การศึกษากระบวนการฉีดเพื่อลดปัญหาฉีดชิ้นงานไม่เต็ม

โดย

นายกษิเกศ ตะบูนเพชร

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
พ.ศ. 2552

การศึกษากระบวนการฉีดเพื่อลดปัญหาฉีดชิ้นงานไม่เต็ม

โดย

นายกษิเกศ ตะบูนเพชร

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
พ.ศ. 2552

Study of Injection Process for Reducing Short Mold Defect

By

Mr. Kasiked Thabunpet

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Development
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Thammasat University
2009

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง

ของ

นายกษิเกศ ตะบูนเพชร

เรื่อง

การศึกษากระบวนการฉีดเพื่อลดปัญหาฉีดชิ้นงานไม่เต็ม

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 22 พฤษภาคม 2552

ประธานกรรมการ _____

(อาจารย์ ดร. จิรวรรณ คล้อยภยันต์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา _____

(รองศาสตราจารย์ ดร. มณฑลี ศาสนนันทน์)

กรรมการ _____

(รองศาสตราจารย์ ดร. ศุภชัย สุรพันธ์)

คณบดี _____

(รองศาสตราจารย์ ดร. อุรุยา วีสกุล)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการฉีดพลาสติก สำหรับอุปกรณ์เชื่อมต่อทางอิเล็คทรอนิคส์ เพื่อลดปัญหาฉีดชิ้นงานไม่เต็ม โดยหาปัจจัยที่มีผลทำให้การฉีดชิ้นงานไม่เต็มลดลง และนำปัจจัยที่ได้มากำหนดค่ามาตรฐานที่เหมาะสม การศึกษาเริ่มด้วยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^K เพื่อหาความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยสำหรับเครื่องฉีดพลาสติก ได้แก่ ปัจจัยความเร็วการฉีด ความดันการฉีด อุณหภูมิแม่พิมพ์ และเวลาการเย็นตัวของชิ้นงาน จากผลการทดลองพบว่ามี 3 ปัจจัยที่มีผลกับอัตราการฉีดชิ้นงานไม่เต็มของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ คือ ความเร็วการฉีด ความดันของการฉีด และอุณหภูมิแม่พิมพ์ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

- เมื่อความเร็วการฉีดอยู่ในระดับสูง ส่งผลให้อัตราการฉีดไม่เต็มของชิ้นงานต่ำ และเมื่อความเร็วการฉีดอยู่ในระดับต่ำ พบว่าอัตราการฉีดไม่เต็มของชิ้นงานสูงขึ้น

- เมื่อความดันการฉีดอยู่ในระดับสูง ส่งผลให้อัตราการฉีดไม่เต็มของชิ้นงานต่ำ และเมื่อความดันของการฉีดอยู่ในระดับต่ำ จะพบอัตราการฉีดไม่เต็มของชิ้นงานสูงขึ้น

- เมื่ออุณหภูมิแม่พิมพ์ อยู่ในระดับสูง ส่งผลให้อัตราการฉีดไม่เต็มของชิ้นงานต่ำ และเมื่ออุณหภูมิแม่พิมพ์อยู่ในระดับต่ำ จะพบอัตราการฉีดไม่เต็มของชิ้นงานสูงขึ้น

- สำหรับปัจจัยอัตราการหล่อเย็นของชิ้นงานนั้น ไม่ส่งผลกระทบต่อสัดส่วนของการฉีดชิ้นงานไม่เต็มเมื่อทำการเพิ่มหรือลดค่าของการหล่อเย็น ดังนั้น จึงสามารถลดอัตราการหล่อเย็นของชิ้นงานลงเพื่อให้ได้จำนวนการผลิตชิ้นงานที่เพิ่มมากขึ้น

ผลที่ได้ถูกนำมากำหนดมาตรฐานการปฏิบัติงานใหม่ โดยเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุงมาตรฐานพบว่า หลังจากการปรับปรุงมาตรฐาน มีค่าใช้จ่ายที่เกิดจากชิ้นงานเสีย เนื่องจากการฉีดไม่เต็มของชิ้นงานน้อยกว่าก่อนการปรับปรุงมาตรฐานการปฏิบัติงาน

Abstract

This research involves a study of injection process for an electronics part with the purpose of reducing short mold defects. The goal is to identify the factors affecting short mold defects and establish operation standard based on the optimum condition. The first part of the study used 2^K Factorial Design of Experiment to determine whether the following factors affect short mold condition: speed of injection, pressure of injection, temperature of mold, and cooling time of product. The results were as follows.

- When the injection speed was high, the proportion of short mold defects was found to be low. On the other hand, when speed of injection was low, it resulted in high short mold defect proportion.

- When the pressure of injection was high, this would lead to low ratio of short mold defects. If pressure was low, the ratio of defects was found to increase.

- When the temperature of mold was high, low defect ratio would follow. If the temperature was low, the defect ratio seemed to increase.

- For the cooling time of product, the findings revealed that it did not have significant impact on the occurrence of short mold as evidenced in defect proportion. Therefore cooling time could be reduced to achieve higher productivity.

The findings were used to establish operation standard and were subsequently implemented in production. It was found that reduction of short mold defects was successfully achieved after improvement, leading to lower defect cost.

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร. มณฑลี ศาสนนันทน์ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้ให้คำแนะนำถึงแนวทางในการศึกษา ช่องทางการเข้าถึงแหล่งความรู้ และสละเวลาอันมีค่าในการให้ข้อคิดอันเป็นประโยชน์ต่อผู้ดำเนินวิจัยในทุก ๆ ด้าน เพื่อมุ่งหวังให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ อันจะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจศึกษาต่อไป

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. จิรวรรณ คล้อยภยันต์ ประธานกรรมการสอบ และรองศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย สุรพันธ์ กรรมการสอบ สำหรับคำแนะนำในการปรับปรุงงานวิจัยที่เป็นประโยชน์ ทำให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณชมพูนุช พิกุล เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ที่คอยช่วยเหลือในการติดต่อประสานงาน

ขอขอบคุณ บริษัท ดีดีเค (ประเทศไทย) จำกัด ที่อนุญาตให้ใช้กระบวนการผลิตเป็นกรณีศึกษาในการวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังว่า การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งาน หรือเป็นแนวทางในการศึกษาเพิ่มเติม คุณประโยชน์ใด ๆ ที่เกิดขึ้นใคร่ขอมอบแด่บิดา มารดา ญาติพี่น้อง และเพื่อนร่วมงาน ผู้ซึ่งเป็นแรงสนับสนุนและเป็นกำลังใจตลอด

นายกษิเกศ ตะบูนเพชร

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2552

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... (2)

Abstract ..... (3)

กิตติกรรมประกาศ..... (4)

สารบัญ ..... (5)

สารบัญตาราง..... (7)

สารบัญภาพประกอบ ..... (8)

บทที่

1. บทนำ 1
   - 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
   - 1.2 วัตถุประสงค์..... 2
   - 1.3 ขอบเขตงานวิจัย 2
   - 1.4 วิธีการวิจัย..... 2
   - 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2
   - 1.6 แผนการวิจัย..... 3

2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
   - 2.1 ข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษา 4
   - 2.2 กระบวนการผลิตคอนเนคเตอร์ 10
   - 2.3 ความรู้ทั่วไปของพลาสติกและเครื่องฉีดพลาสติก..... 12
   - 2.4 ทฤษฎีการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเชิงสถิติ…….. 37
   - 2.5 ข้อมูลพลาสติกชนิด Liquid crystal polymer (LCP)……... 57

3. วิธีดำเนินการวิจัย 63
3.1 วางแผนการเก็บตัวอย่าง 64
3.2 การเก็บข้อมูลในสายการผลิต 64
3.3 ทำการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^K 69
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล 74
3.5 กำหนดมาตรฐานของแต่ละปัจจัยการผลิต 74
3.6 แสดงต้นทุนที่ลดได้หลังจากกำหนดมาตรฐานการผลิตใหม่ 74

4. วิเคราะห์ผล
4.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^K 75
4.2 ผลการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis test) 75
4.3 ผลการวิเคราะห์ 81
4.4 ผลพิจารณาอัตราการฉีดไม่เต็มของชิ้นงาน 91
4.5 การกำหนดมาตรฐานของแต่ละปัจจัยการผลิต 92
4.6 เปรียบเทียบต้นทุนที่ลดได้หลังจากกำหนดมาตรฐานการผลิตใหม่ 92

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ 94

บรรณานุกรม 96

ภาคผนวก 97
ก ผลการทดลองตามรูปแบบเชิงแฟคทอเรียล 2^4 1 การทำซ้ำ 98
ข การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อยืนยันผลจากProgram MINITAB 101

ประวัติการศึกษา 104

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ตารางขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
3.1	แสดงค่าการฉีดชิ้นงานไม่เต็มของชิ้นงานในกระบวนการปกติ	65
3.2	แสดงปัจจัยการฉีดงานไม่เต็ม	69
3.3	สรุประดับของปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลองเบื้องต้น	70
4.1	แสดงแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^4 1 การทำซ้ำ	75
4.2	แสดงผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^4 1 การทำซ้ำ.....	76
4.3	แสดงความยาวของชิ้นงานเมื่อความเร็วฉีด Injection m/c เท่ากับ 55 mm./s	82
4.4	แสดงความยาวของชิ้นงานเมื่อความเร็วฉีด Injection m/c เท่ากับ 60 mm./s	82
4.5	แสดงความยาวของชิ้นงานเมื่อความดันฉีด Injection m/c เท่ากับ 60 MPa..	84
4.6	แสดงความยาวของชิ้นงานเมื่อความดันฉีด Injection m/c เท่ากับ 70 MPa..	84
4.7	แสดงความยาวของชิ้นงานเมื่ออุณหภูมิแม่พิมพ์ เท่ากับ 80 ^{0}C	86
4.8	แสดงความยาวของชิ้นงานเมื่ออุณหภูมิแม่พิมพ์ เท่ากับ 90 ^{0}C	86
4.9	แสดงความยาวของชิ้นงานเมื่อเวลาการเย็นตัวของชิ้นงาน เท่ากับ 2 วินาที...	88
4.10	แสดงความยาวของชิ้นงานเมื่อเวลาการเย็นตัวของชิ้นงาน เท่ากับ 5 วินาที...	89
4.11	แสดงยอดเปอร์เซ็นต์ของเสียก่อนและหลังการปรับปรุง.....	91

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
2.1	บริษัท ดีดีเค 1 (ประเทศไทย) จำกัด	4
2.2	บริษัท ดีดีเค 2 (ประเทศไทย) จำกัด	5
2.3	บริษัท ดีดีเค 3 (ประเทศไทย) จำกัด	5
2.4	แผนผังองค์กร	6
2.5	ผลิตภัณฑ์ของบริษัท ดีดีเค (ประเทศไทย) จำกัด	7
2.6	ขั้นตอนการทำงานของบริษัท ดีดีเค (ประเทศไทย) จำกัด	9
2.7	แผนผังการไหลของกระบวนการฉีดพลาสติก (Injection Molding Process).	11
2.8	แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องฉีด	14
2.9	ส่วนประกอบของชุดฉีด	14
2.10	ส่วนประกอบของชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์	15
2.11	ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์ เพื่อปิดแม่พิมพ์	16
2.12	ขั้นตอนการเลื่อนของชุดฉีด	16
2.13	ขั้นตอนการย้ำเพื่อรักษาความดัน	17
2.14	ตำแหน่งของชุดฉีดขณะหล่อเย็น	17
2.15	การถอยหลังกลับของชุดฉีด	18
2.16	การเปิดออกของแม่พิมพ์	18
2.17	คุณสมบัติของอะมอร์ฟัส (PS) และ พาร์เชียลคริสตัลไลน์ (PE)	19
2.18	อัตราการเฉือนที่มีผลต่อความหนืด	20
2.19	ผลของอุณหภูมิพลาสติกเหลวที่มีต่อความหนืดของพลาสติก	22
2.20	รูปแบบของอุณหภูมิกระบอกฉีดแบบอุณหภูมิต่ำแล้วค่อยๆ สูงขึ้น	23
2.21	รูปแบบของอุณหภูมิกระบอกฉีดแบบอุณหภูมิคงที่	23
2.22	แสดงของอุณหภูมิกระบอกฉีดแบบอุณหภูมิลดลง	23
2.23	ตำแหน่งของสกรูในแต่ละจังหวะการฉีด	26
2.24	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการฉีดย้ำและความหนาชิ้นงาน	29
2.25	ปัจจัยและพารามิเตอร์ของกระบวนการ	37
2.26	กราฟแสดงอิทธิพลที่มีผล และอิทธิพลที่ไม่มีผลของปัจจัยต่อผลิตภัณฑ์	38

2.27	ผลของอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่เกิดขึ้นต่อผลการทดสอบ	44
2.28	แผนภาพพาเรโตแสดงถึงความเป็นปกติหรือมีเสถียรภาพของข้อมูล	49
2.29	แผนภาพพาเรโตที่เป็นไปตามหลักการพาเรโต	50
2.30	แผนภาพพาเรโตที่แสดงค่าสะสมของข้อมูล	50
2.31	โครงสร้าง LCP ชนิดที่ 1	57
2.32	โครงสร้าง LCP ชนิดที่ 2	58
2.33	โครงสร้าง LCP ชนิดที่ 3	58
2.34	แสดงสารประกอบ	62
3.1	แผนภาพลำดับขั้นตอนวิธีการวิจัย	63
3.2	การวัดขนาดความสูงรวมของชิ้นงาน	66
3.3	รูปขยายการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน	66
3.4	การแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ	67
4.1	ผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ ผลหลักและอันตรกิริยา	77
4.2	กราฟแสดงผลหลักของปัจจัย A, B และ C	78
4.3	กราฟแสดงผลของอันตรกิริยา	79
4.4	Normal Plot of the Effects แสดงปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดฉีดชิ้นงานไม่เต็ม (Shortmold)	79
4.5	แผนภูมิพาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดฉีดชิ้นงานไม่เต็ม (Shortmold)	80
4.6	การแจกแจงความถี่ของชิ้นงานกับความเร็วของการฉีด	83
4.7	การคำนวณเนื้อหาความสัมพันธ์ความเร็วการฉีดกับชิ้นงานไม่เต็ม	83
4.8	กราฟแสดงการแจกแจงความถี่ของชิ้นงานกับความของดันของการฉีด	85
4.9	การคำนวณความสัมพันธ์ความดันการฉีดกับชิ้นงานไม่เต็ม	85
4.10	กราฟแสดงการแจกแจงความถี่ของชิ้นงานกับอุณหภูมิแม่พิมพ์	87
4.11	การคำนวณความสัมพันธ์อุณหภูมิแม่พิมพ์กับชิ้นงานไม่เต็ม	88
4.12	การแจกแจงความถี่ของชิ้นงานกับเวลาการเย็นตัวชิ้นงาน	89
4.13	การคำนวณความสัมพันธ์เวลาการเย็นตัวกับชิ้นงานไม่เต็ม	90
4.14	ข้อมูลของงานฉีดชิ้นงานไม่เต็ม	93

บทที่ 1

การศึกษากระบวนการฉีดเพื่อลดปัญหาฉีดชิ้นงานไม่เต็ม

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันบริษัท DDK (THAILAND) Co., Ltd. ได้มีผลิตภัณฑ์ใหม่ และในกระบวนการผลิตชิ้นงานของคอนเน็คเตอร์นั้น ต้องประกอบด้วยชิ้นส่วนหลัก 2 ส่วน คือ บล็อก (block) เป็นชิ้นส่วนที่ขึ้นรูปมาจากการฉีดพลาสติก (Injection molding) และคอนแท็ค (contact) ที่เกิดจากการนำวัตถุดิบประเภทโลหะมาตีขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน หลังจากนั้นจึงนำมาประกอบกันที่ฝ่ายประกอบ (Assembly line)

จากการเก็บข้อมูลของแผนกขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกพบว่า ได้เกิดของเสียจำนวนมากในกระบวนการผลิตซึ่งมีข้อบกพร่อง (defect) อยู่หลายชนิด เช่น งานฉีดไม่เต็มแบบ (Short Mold), งานเป็นรอยประสาน (Weld Line), งานไหม้ (Burn) และอื่น ๆ เป็นต้น เราพบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่ไม่ถูกต้องหรือไม่เหมาะสมจะทำให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ฉีดได้มีโอกาสเป็นของเสีย เนื่องจากต้นทุนการผลิตจริงของแผนกฉีดพลาสติก (Injection Molding Department) มีมูลค่าสูงกว่าต้นทุนการผลิตตามแผนที่กำหนดไว้เป็นจำนวนมาก ซึ่งมีสาเหตุมาจากการมีปริมาณของเสียที่เพิ่มมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสาเหตุและแนวทางแก้ไขข้อบกพร่อง (Defect) ซึ่งจะยกตัวอย่างข้อมูลที่รวบรวมมาดังนี้

Product : TEN-FRAA-400

Order	1,250,000	pcs./month
Block price	2.11	Baht/pcs.
Material price	483.53	Baht/kg.

TEN-FRAA-400	Short mold(pcs.)
Defect (pcs.)	38,425
%defect	3.07
Loss cost (Baht/month)	81157.37

1.2 วัตถุประสงค์

1. วิเคราะห์หาพารามิเตอร์กระบวนการฉีดที่มีผลต่อการฉีดไม่เต็มแบบ

2. เพื่อศึกษาหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการฉีดพลาสติก ในกรณีที่มีปัญหาการฉีดไม่เต็มแบบ เพื่อให้ปริมาณของข้อบกพร่องลดลง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาเพื่อลดต้นทุนของเสียที่เกิดจากกระบวนการฉีดพลาสติกของผลิตภัณฑ์ TEN-FRAA-400 โดยศึกษาที่เครื่องฉีดพลาสติกในแนวนอน (Horizontal Injection Molding Machine) ของบริษัทกรณีศึกษา โดยมุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับการปรับค่าพารามิเตอร์ให้ถูกต้องและเหมาะสมกับการแก้ไขข้อบกพร่องประเภทงานฉีดไม่เต็มแบบ (Short Mold) เท่านั้น โดยลดจาก 3% ให้เหลือ 1%

1.4 วิธีการวิจัย

1. ศึกษาหาสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องบนชิ้นงาน

2. ศึกษาเรื่องกระบวนการฉีด (Process condition) และเรื่องแม่พิมพ์ (Molding) ที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่อง

3. แบ่งแยกปัจจัยหรือพารามิเตอร์กระบวนการฉีดที่มีผลต่อการเกิดงานไม่เต็มแบบ

4. เลือกพารามิเตอร์ของการฉีดงานไม่เต็มแบบ นำมาทำการทดลองหาค่าจุดสมดุล โดยใช้โปรแกรม Minitab

5. นำค่าจุดสมดุลที่ได้มาวิเคราะห์ เพื่อหาพารามิเตอร์กระบวนการฉีดที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งไม่ทำให้เกิดปัญหางานฉีดไม่เต็มแบบ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

วิธีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ถูกต้องและเหมาะสมเมื่อมีผลตอบสนองกับข้อบกพร่องหลายชนิด ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย มีดังต่อไปนี้

1. สามารถลดต้นทุนของเสียเนื่องจากงานฉีดไม่เต็มแบบ (Short Mold) ได้
2. สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดพลาสติกได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม
3. สามารถใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงสำหรับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ต่อไป

1.6 แผนการวิจัย

ตารางที่ 1-1

ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน / กำหนดการ	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. กำหนดแผนงานต่างๆสำหรับศึกษาวิจัย										
● รวบรวมข้อมูลการดำเนินงานของบริษัทกรณีศึกษา	■									
● ศึกษาข้อมูลกระบวนการผลิต		■								
● กำหนดวัตถุประสงค์เป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาวิจัย		■								
2.กำหนดหาสาเหตุของปัญหา										
● ศึกษาจากข้อมูลที่ได้เพื่อค้นหาสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมด		■	■	■						
● คัดเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทำการทดสอบตามหลักทางสถิติ				■	■					
3. การวิเคราะห์หาสาเหตุที่มีนัยสำคัญต่อปัญหา										
● ทดสอบตามหลักทางสถิติที่เลือกมา					■					
● วิเคราะห์ผลการทดสอบเพื่อคัดเลือกปัจจัยที่สำคัญ					■					
4. การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ										
● นำปัจจัยที่สำคัญมาทำการทดลอง					■	■				
● เก็บข้อมูลเพื่อยืนยันผลการปรับปรุง							■	■	■	
● สรุปผลการปรับปรุง									■	
6. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ									■	
7. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษา

2.1.1 ประวัติบริษัทกรณีศึกษา

บริษัท ดีดีเค (ประเทศไทย) จำกัด ดำเนินธุรกิจอุตสาหกรรมผลิตคอนเนคเตอร์ในประเทศไทย โดยก่อตั้งขึ้นเมื่อวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2531 บนเนื้อที่จำนวน 25 ไร่ ในนิคมอุตสาหกรรมนวนคร ภายใต้การสนับสนุนของคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน ด้วยทุนจดทะเบียนแรกเริ่ม 480 ล้านบาทจนกระทั่งปัจจุบันมีทุนจดทะเบียน 730 ล้านบาท เป็นการร่วมทุนระหว่างบริษัท ดีดีเค ประเทศญี่ปุ่น 55% และบริษัท ฟูจิกูระ ประเทศญี่ปุ่น 25% และบริษัท ฟูจิกูระ ประเทศสิงคโปร์ 20% โดยในปัจจุบัน บริษัท ดีดีเค (ประเทศไทย) จำกัด ประกอบไปด้วยโรงงาน 3 โรงงาน ดังนี้

ภาพที่ 2.1
บริษัท ดีดีเค 1 (ประเทศไทย) จำกัด

<u>โรงงาน 1</u> ตั้งอยู่ที่ เลขที่ 55/25 หมู่ 13 นิคมอุตสาหกรรม นวนคร โครงการ 4 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120 ประกอบไปด้วยสำนักงานใหญ่ กระบวนการฉีดพลาสติก กระบวนการขึ้นรูปโลหะ กระบวนการประกอบชิ้นงานขั้นสุดท้าย มีพื้นที่อาคารทั้งหมด 25,865 ตารางเมตร ดังแสดงในภาพที่ 1

ภาพที่ 2.2

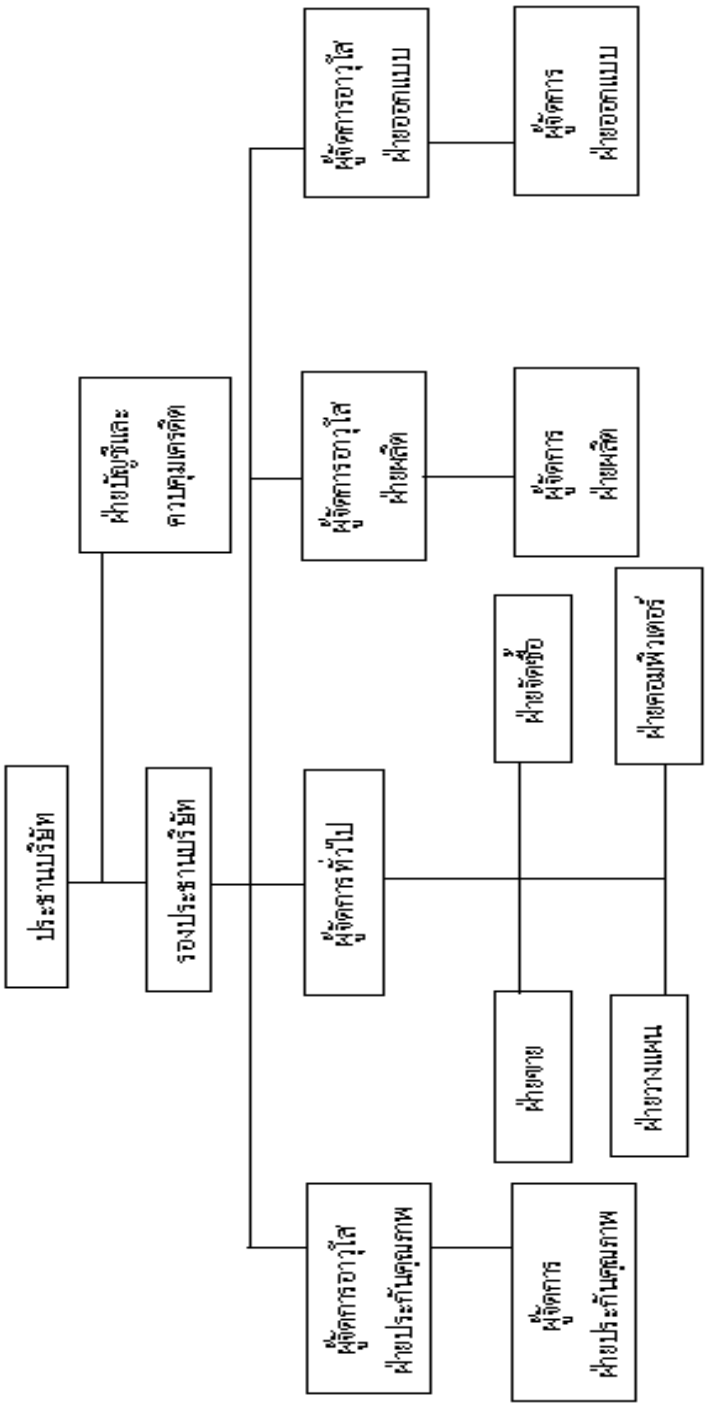
บริษัท ดีดีเค 2 (ประเทศไทย) จำกัด

โรงงาน 2 ตั้งอยู่ที่ เลขที่ 101/54 หมู่ 20 นิคมอุตสาหกรรม นวนคร โครงการ1 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120 ประกอบไปด้วย กระบวนการชุบโลหะ มีพื้นที่อาคารทั้งหมด 7,112 ตารางเมตร ดังแสดงในภาพที่ 2

ภาพที่ 2. 3

บริษัท ดีดีเค 3 (ประเทศไทย) จำกัด

โรงงาน 3 ตั้งอยู่ที่ เลขที่ 129/37-38 แฟคตอรี่แลนด์วังน้อย ตำบลวังจุฬา อำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13170 ประกอบไปด้วย กระบวนการฉีดพลาสติก และกระบวนการประกอบขั้นสุดท้าย มีพื้นที่อาคารทั้งหมด 5,801 ตารางเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3

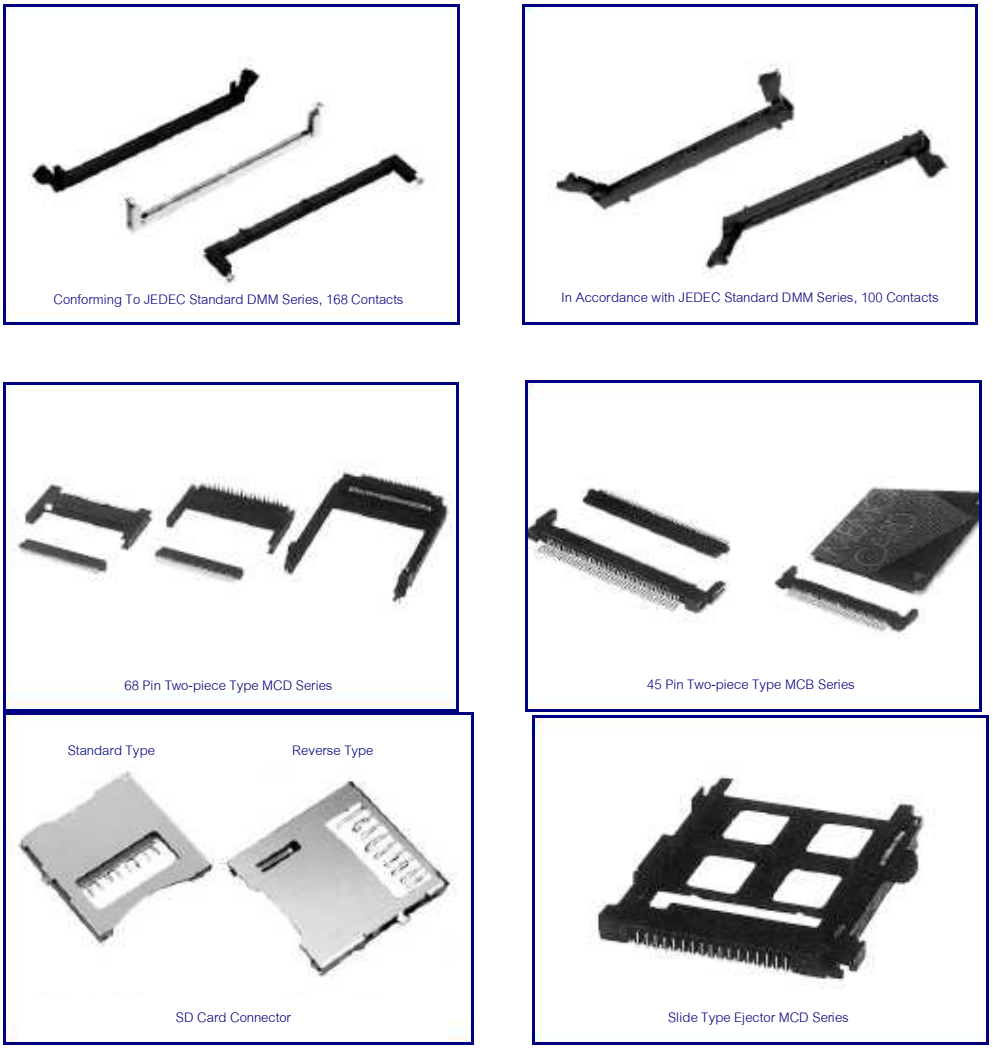


ภาพที่ 2.4

แผนผังองค์กร

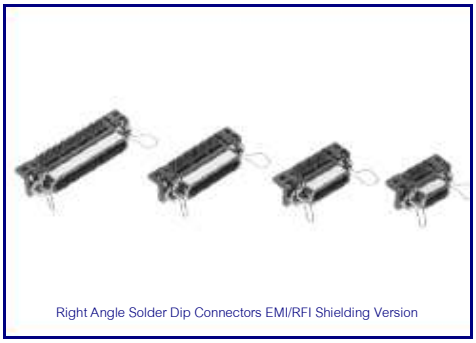
2.1.2 ลักษณะการประกอบการ ผลิตภัณฑ์ หรือการให้บริการ

บริษัท ดีดีเค (ประเทศไทย) จำกัด เป็นหนึ่งในผู้ผลิตและส่งออกคอนเนคเตอร์รายใหญ่ในประเทศไทย ซึ่งคอนเนคเตอร์ คือ สิ่งที่เชื่อมต่ออุปกรณ์อิเลคทรอนิกส์ เพื่อสร้างทางเดินไฟฟ้าของอุปกรณ์อิเลคทรอนิกส์ และเนื่องจากผลิตภัณฑ์เป็นอุปกรณ์อิเลคทรอนิกส์ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ต้องมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ อยู่เสมอเพื่อสนองความต้องการของลูกค้า โดยผลิตภัณฑ์ของบริษัทฯ มีหลายประเภท ดังแสดงในภาพที่ 5

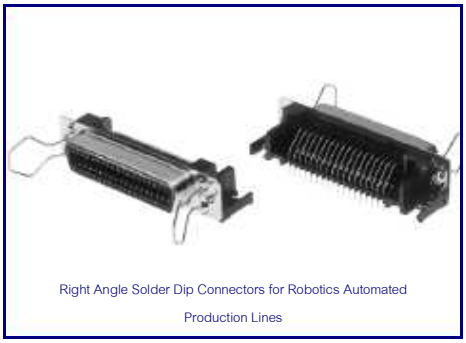


ภาพที่ 2.5

แสดงผลิตภัณฑ์ของบริษัท ดีดีเค (ประเทศไทย) จำกัด

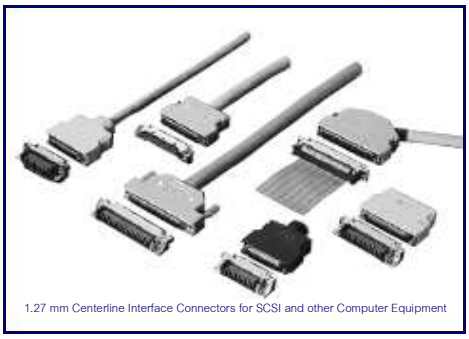


Right Angle Solder Dip Connectors EMI/RFI Shielding Version



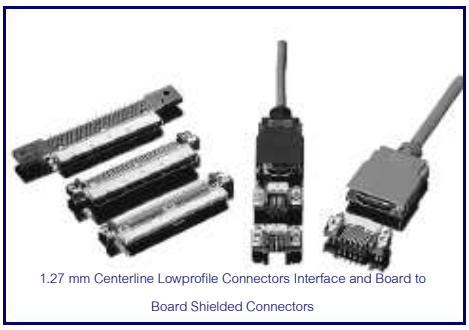
Right Angle Solder Dip Connectors for Robotics Automated Production Lines

Straight Solder Dip Connectors EMI/RFI Shielding Version



1.27 mm Centerline Interface Connectors for SCSI and other Computer Equipment

Industrial Usage Rectangular Connector



1.27 mm Centerline Lowprofile Connectors Interface and Board to Board Shielded Connectors

ภาพที่ 2.5

แสดงผลิตภัณฑ์ของบริษัท ดีดีเค (ประเทศไทย) จำกัด (ต่อ)

ภาพที่ 2.6
แสดงขั้นตอนการทำงานของบริษัท ดีดีเค (ประเทศไทย) จำกัด

- ลูกค้าในประเทศ

CANON, HIACHI GST, JVC, NAMIKI, NEC, NIDEC, NMB, OKI DATA, PIONEER, SHARP, ASIAN STANLEY, KAGA, KATATA, KATOLEC, METCO, SUMITRONICS, CAL-COMP, FABRINET, SVI, CHOAKCHAI, TEAM PRECISION, FUJIKURA-THAILAND, LTEC, PCTT

- ลูกค้าต่างประเทศ

APPLE, BROTHER, DENSO, EMC, EPSON, FUJITSU, FUNAI, HITACHI, HEWLETT-PACKARD, HUAWEI, IBM, INVENTEC, IWATSU

2.2 กระบวนการผลิตคอนเนคเตอร์

คอนเนคเตอร์ประกอบด้วย 2 ชิ้นส่วน คือ ชิ้นส่วนที่เป็นพลาสติก ซึ่งผลิตโดยกระบวนการฉีดพลาสติก (Injection Molding Process) และชิ้นส่วนที่เป็นโลหะ ซึ่งผลิตโดยกระบวนขึ้นรูปโลหะ (Pressing Process) และกระบวนการชุบชิ้นส่วนโลหะ (Plating Process) จากนั้นนำทั้ง 2 ชิ้นส่วนมาประกอบกันโดยกระบวนการประกอบ (Assembly Process) แต่ละกระบวนการมีรายละเอียด ดังนี้

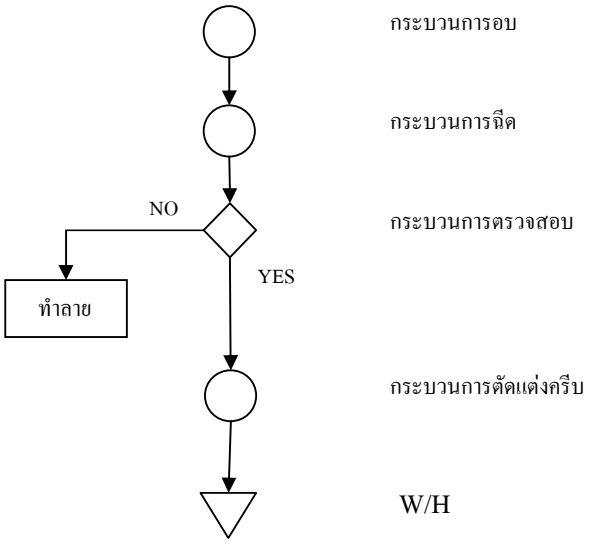
2.2.1 กระบวนการฉีดพลาสติก (Injection Molding Process)

เริ่มจากนำเม็ดพลาสติกมาอบไล่ความชื้นด้วยตู้อบ และส่งเข้าเครื่องฉีดพลาสติกเพื่อฉีดออกมาเป็นชิ้นงานซึ่งมีทั้งชิ้นงานที่เป็นพลาสติกเพียงอย่างเดียว หรือชิ้นงานพลาสติกที่มีโลหะประกอบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องฉีด (Injection Molding Machine) แต่ละประเภทนั่นเอง เพื่อให้เห็นภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้นได้แสดงแผนผังการไหลของกระบวนการฉีดพลาสติก (Injection Molding) ไว้ในภาพที่ 7 สำหรับเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding Machine) ที่ใช้ปัจจุบันมี 3 ประเภท ได้แก่

2.2.1.1 Horizontal Injection Molding Machine (เครื่องฉีดพลาสติกในแนวนอน) เป็นเครื่องฉีดพลาสติกสำหรับชิ้นงานที่เป็นพลาสติกแต่เพียงอย่างเดียว ทำงานด้วยระบบอัตโนมัติ ซึ่งใช้เป็นเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding Machine) สำหรับงานวิจัยฉบับนี้

2.2.1.2 Vertical Injection Molding Machine (เครื่องฉีดพลาสติกในแนวตั้ง) เป็นเครื่องฉีดพลาสติกสำหรับฉีดชิ้นงานที่มีชิ้นส่วนโลหะประกอบอยู่ด้วย ซึ่งได้ทำงานในระบบกึ่งอัตโนมัติ โดยการนำชิ้นส่วนโลหะใส่ลงไปในแม่พิมพ์ และฉีดพลาสติกขึ้นรูปชิ้นงานที่เรียกว่า Sub-Assembly

2.2.1.3 Rotary Injection Molding Machine (เครื่องฉีดแบบแท่นหมุน) ลักษณะของชิ้นงานที่ได้จะคล้ายกับเครื่องฉีดพลาสติกในแนวตั้ง แต่มีประสิทธิภาพมากกว่าเพราะสามารถลดความสูญเสียในระหว่างที่เครื่องฉีดพลาสติกกำลังทำงาน ชิ้นงานที่ฉีดได้เป็นชิ้นงานที่มีชิ้นส่วนโลหะประกอบอยู่ด้วยเช่นเดียวกันกับเครื่องฉีดพลาสติกในแนวตั้ง



ภาพที่ 2.7
แผนผังการไหลของกระบวนการฉีดพลาสติก (Injection Molding Process)

กระบวนการตรวจสอบเป็นกระบวนการสุดท้ายก่อนส่งผลิตภัณฑ์ไปสู่กระบวนการต่อไป (Assembly Process) ซึ่งเป็นการตรวจสอบลักษณะภายนอกของผลิตภัณฑ์ด้วยสายตา (Appearance) 100% โดยลักษณะข้อบกพร่อง (Defect) ที่จัดว่าเป็นของเสียมีหลายชนิด เช่น

- งานฉีดไม่เต็มแบบ (Short Mold)
- งานเป็นรอยประสาน (Weld Line)
- งานสกปรก (Contaminate)
- งานไหม้ (Burn)
- งานเป็นรอยกระแทก (Hit Mark)
- งานพอง (Swell) เป็นต้น

2.2.2 กระบวนการขึ้นรูปโลหะ (Pressing Process)

เป็นการนำแผ่นโลหะมาขึ้นรูปด้วยเครื่องจักรที่ทำงานด้วยความเร็วรอบสูงกว่า 600 รอบต่อนาที โดยใช้แม่พิมพ์ที่ทำการออกแบบมาเพื่อให้สามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่ซับซ้อนได้ภายในแม่พิมพ์ตัวเดียวหรือที่เรียกว่า Progressive Die ชิ้นงานที่สามารถขึ้นรูปในขั้นตอนนี้ได้แก่ Contact, Shell และ Accessory ของชิ้นงานต่างๆ โดยมีการตรวจสอบคุณภาพระหว่างการผลิตด้วยเครื่องมือที่มีความเที่ยงตรงและแม่นยำ ได้แก่ Profile Projector Digital Micrometer,

Microscope และ Measure Scope จากนั้นนำไปตรวจสอบคุณภาพอีกครั้งโดยฝ่ายประกันคุณภาพเพื่อยืนยันข้อมูลก่อนที่จะส่งไปยังกระบวนการผลิตอื่นต่อไป

2.2.3 กระบวนการชุบชิ้นส่วนโลหะ (Plating Process)

ทำโดยการนำชิ้นส่วนโลหะที่ขึ้นรูปแล้วมาผ่านกระบวนการชุบโลหะด้วยทอง, นิกเกิล ,ดีบุก และตะกั่วด้วยเครื่องชุบแบบ Barrel (ถังกลิ้ง) และแบบ Selective (เฉพาะส่วน) ซึ่งสามารถที่จะชุบชิ้นงานโดยเลือกชุบบางส่วน ตามที่ต้องการได้อย่างต่อเนื่องแล้วแต่ละชนิดของชิ้นงาน โดยมีการตรวจสอบคุณภาพระหว่างการผลิตด้วยเครื่อง X-ray Fluorescent Clotting thickness ซึ่งเป็นการตรวจสอบความหนาของการชุบ เพื่อควบคุมคุณภาพการชุบให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดจากนั้นนำไปตรวจสอบคุณภาพอีกครั้งก่อนส่งไปกระบวนการต่อไป (Assembly Process)

2.2.4 กระบวนการประกอบ (Assembly Process)

เป็นการนำชิ้นส่วนต่างๆ มาประกอบเข้าด้วยกันเป็นคอนเนคเตอร์โดยใช้เครื่องจักรที่มีทั้งแบบอัตโนมัติ, กึ่งอัตโนมัติ และแบบใช้คนประกอบ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์ และชิ้นส่วนที่นำมาประกอบ โดยมีการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานระหว่างการผลิตอย่างเคร่งครัด นอกจากนี้แล้วยังมีการตรวจสอบ 100% โดยฝ่ายประกันคุณภาพอีกครั้งในกระบวนการสุดท้ายก่อนบรรจุอีกด้วย

2.3 ความรู้ทั่วไปของพลาสติกและเครื่องฉีดพลาสติก

2.3.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลาสติก

วัตถุดิบสำหรับงานฉีดพลาสติกโดยทั่วไปจะนิยมแบ่งออกเป็น 3 ประเภทด้วยกันคือ กลุ่มเทอร์โมพลาสติก กลุ่มเทอร์โมเซต และกลุ่มอีลาสโตเมอร์ หรือยางสังเคราะห์ซึ่งมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันต่อไปนี้

- <u>เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)</u>

เทอร์โมพลาสติก คือ พลาสติกที่เมื่อนำไปหลอมเหลวแล้วปล่อยให้เย็นจนแข็งตัว ก็ยังสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่อีก พลาสติกประเภทนี้ยังแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ พลาสติกประเภทอะมอร์ฟัสเทอร์โมพลาสติก (Amorphous Thermoplastic) เป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างที่ไม่เป็นผลึก เช่น โพลีสไตรีน (Polystyrene) โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) โพลีอะครีลิค (Polyacrylic) เป็นต้น ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งคือ พลาสติกพาเชียลคริสตัลไลน์เทอร์โมพลาสติก (Partial Crystalline Thermoplastic) เป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างบางส่วนเป็นผลึก เช่น โพลีเอททีลีน (Polyethylene), โพลีเอไมด์ (Polyamide) และโพลีอะซีตัล (Polyacetal) เป็นต้น

- เทอร์โมเซต (Thermoset)

พลาสติกเทอร์โมเซต คือ พลาสติกที่เมื่อนำไปหลอมเหลวแล้วปล่อยให้เย็นจนแข็งตัวจะเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นร่างแห (Molecule Cress-linking) ภายใต้อิทธิพลความร้อนที่เพิ่มขึ้นและทำให้ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก เช่น อีพอกซี่ (Epoxy) ฟินอลิก (Phynolic) ซิลิโคน (Silicone) และยูรีเทน (Urethane) เป็นต้น

- อีลาสโตเมอร์ (Elastomer)

อีลาสโตเมอร์พลาสติกหรือ ยางสังเคราะห์ คือ พลาสติกที่เมื่อนำไปหลอมเหลวแล้วปล่อยให้เย็นจนแข็งตัวด้วยกรรมวิธีวัลคาไนเซชั่น (Vulcanization) จะทำให้เกิดโครงสร้างแบบร่างแห (Molecule Cross-linking) ภายใต้อิทธิพลของความร้อนที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ไม่สามารถนำกลับมาหลอมเหลวได้อีก เช่น ยาง SBR ยาง NBR ยาง NR และยาง CR เป็นต้น

2.3.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการฉีดพลาสติก

การฉีดพลาสติกถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกโดยเฉพาะ แต่ก็สามารถใช้ได้กับพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตได้เช่นกัน การฉีดพลาสติกจะเป็นวิธีที่สามารถผลิตได้ทีละปริมาณมาก ๆ และรวดเร็ว การฉีดพลาสติกสามารถแบ่งออกเป็น 5 กรรมวิธี ได้แก่

- การฉีดแบบ Injection Molding_ เป็นการฉีดพลาสติกแบบธรรมดาที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยจะใช้สกรูเป็นตัวขับเคลื่อนเพื่อดันพลาสติกเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์

- การฉีดแบบ Injection Blow Molding เป็นการฉีดพลาสติกที่ดัดแปลงมาจากการผลิตแบบเป่าโดยกรรมวิธีนี้จะใช้สำหรับผลิตขวดที่มีขนาดเล็กเท่านั้น และความหนาของงานจะต้องมีลักษณะใกล้เคียงกัน

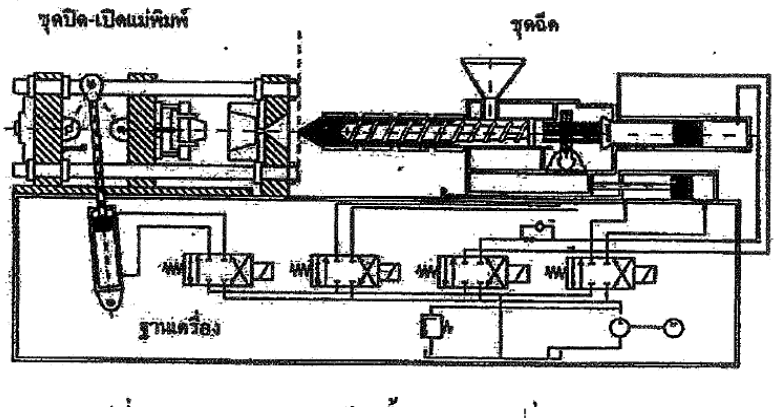
- การฉีดแบบ Inject Stretch Blow Molding เป็นการฉีดพลาสติกที่คล้ายกับการเป่าทั่ว ๆ ไป แต่แตกต่างกันตรงที่จะต้องทารยืดพลาสติกก่อนที่จะทำการเป่า

- การฉีดแบบ Reactive Injection Molding (RIM) เป็นกรรมวิธีที่ใช้พลาสติกโมโนเมอร์เข้าไปในแม่พิมพ์ แทนการฉีดพลาสติกเหลวที่ร้อน แต่เป็นกรรมวิธีที่ยังไม่สามารถใช้ได้กับพลาสติกทั่วๆ ไปได้ ที่ใช้ได้ผลก็คือ โพลียูรีเทน (Polyurethane) เรซิน (Resin) และไนลอน (Nylon) เป็นต้น

- การฉีดแบบ Injection Stamping เป็นกรรมวิธีการผลิตแบบพิเศษสำหรับงานที่ต้องการความละเอียดสูง คือแม่พิมพ์สามารถปรับขนาดได้ เพื่อป้องกันการหดตัวหรือการบิดงอของชิ้นงาน ซึ่งยังไม่เป็นที่นิยมใช้กัน ส่วนมากนิยมใช้ผลิตเกี่ยวกับเลนซ์ (Lenses)

2.3.3 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องฉีดพลาสติก

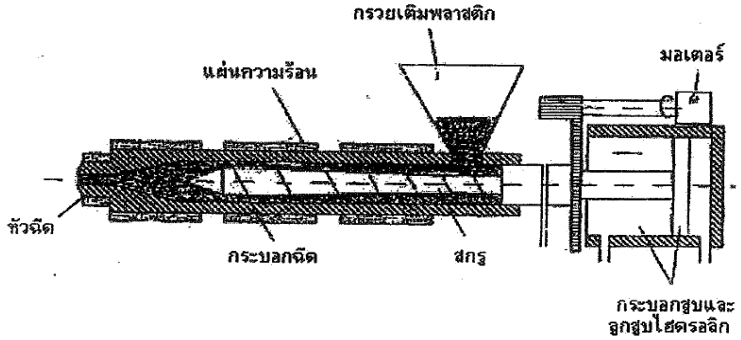
โดยทั่วไปแล้วเครื่องฉีดพลาสติกจะมีโครงสร้างส่วนประกอบสำคัญซึ่งสามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนชุดฉีด (Injection Unit) ส่วนชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit) และส่วนสุดท้ายคือ ส่วนฐานของเครื่องฉีด (Base) ดังแสดงในภาพที่ 8 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องฉีดพลาสติก



ภาพที่ 2.8

แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องฉีด

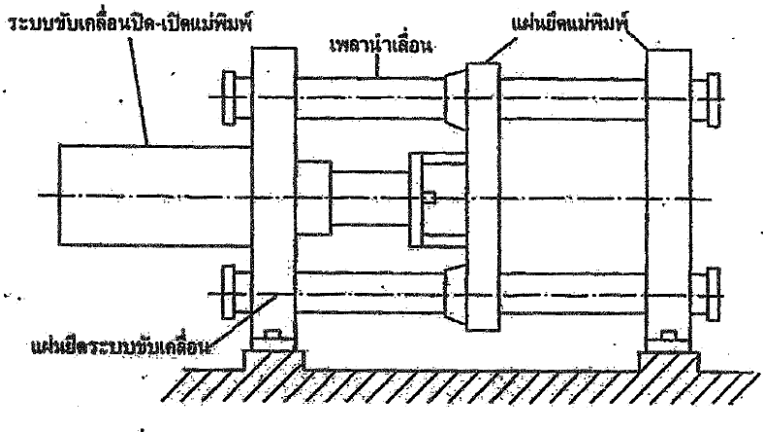
1. ส่วนชุดฉีด จะทำหน้าที่ดึงพลาสติกเข้าสู่กระบอกฉีดหลอมเหลว และส่งพลาสติกเหลวไปที่หัวฉีด และทำหน้าที่ในการฉีด และรักษาความดันย้ำซึ่งจะมีส่วนประกอบพื้นฐานดังต่อไปนี้ คือ หัวฉีด (Nozzle) สกรู (Screw) กระบอกฉีด (Barrel) แผ่นความร้อน (Heater) กรวยเติมพลาสติก (Hopper) กระบอกสูบและลูกสูบไฮดรอลิก (Hydraulic cylinder and pistol) และมอเตอร์ขับเคลื่อนสกรู (drive motor) ดังแสดงในภาพที่ 9 แสดงส่วนประกอบของชุดฉีด



ภาพที่ 2.9

แสดงส่วนประกอบของชุดฉีด

2. ส่วนชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ ทำหน้าที่ในการยึดแม่พิมพ์ทั้งสองส่วน เลื่อนปิด-เปิดแม่พิมพ์ให้แรงในการปิดล็อกแม่พิมพ์ หล่อเย็นชิ้นงานพลาสติก และปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ประกอบไปด้วยแผ่นยึดแม่พิมพ์ซึ่งมีส่วนที่เคลื่อนที่และอยู่กับที่ เพลานำเลื่อน ระบบขับเคลื่อนปิด-เปิดแม่พิมพ์ และแผ่นยึดระบบขับเคลื่อน ดังแสดงในภาพที่ 10 แสดงส่วนประกอบของชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์



ภาพที่ 2.10

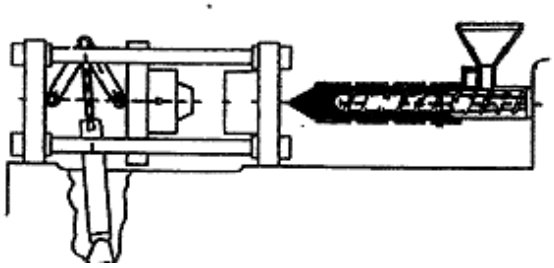
แสดงส่วนประกอบของชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์

3. ส่วนฐานของเครื่องฉีด ทำหน้าที่คอยรับน้ำหนักของชุดฉีด และชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ยึดติดอุปกรณ์ไฮดรอลิกทั้งหมดในเครื่อง และยังทำหน้าที่เป็นถังน้ำมัน ไฮดรอลิก โดยส่วนใหญ่แล้วตัวฐานเครื่องจะมีทำด้วยเหล็กเหนียวที่เชื่อมประกอบเข้าเป็นฐานเครื่อง เพื่อความแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักมากๆ ได้ดี

2.3.4 <u>ขั้นตอนการฉีดพลาสติก</u>

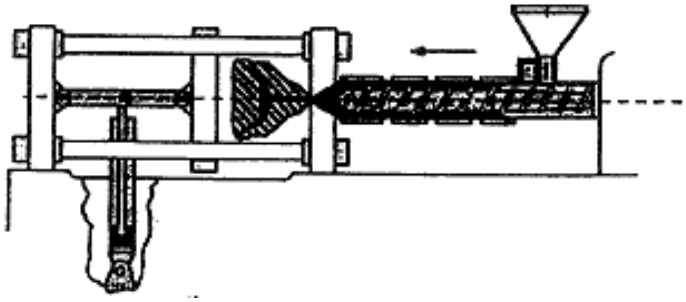
การฉีดพลาสติกแบบนี้เครื่องฉีดจะประกอบด้วยสกรูและเคลื่อนที่ไปตามแนวแกนเหมาะสมกับชิ้นงานที่มีขนาดเล็กไปจนถึงชิ้นงานขนาดใหญ่ เนื่องจากสามารถผลิตชิ้นงานได้หลายลักษณะงาน จึงทำให้มีความนิยมในการฉีดพลาสติกแบบนี้มาก ซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนของการฉีดพลาสติกได้ 9 จังหวะ ดังต่อไปนี้

1. แม่พิมพ์เคลื่อนที่เข้าปิดและล็อคแน่นเพื่อป้องกันการเผยอด้วยแรงต้านภายในแม่พิมพ์ ดังแสดงในภาพที่ 11 ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์ เพื่อปิดแม่พิมพ์



ภาพที่ 2.11
ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์ เพื่อปิดแม่พิมพ์

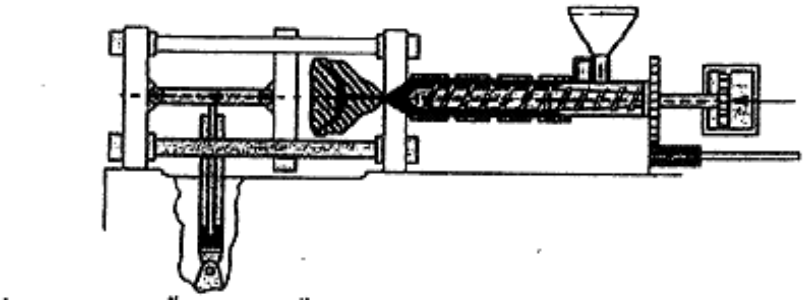
2. ชุดฉีดเลื่อนเข้าหาแม่พิมพ์กระทั่งชนกับแม่พิมพ์ และค้างไว้ด้วยแรงที่พอเหมาะเพื่อป้องกันชุดฉีดถอยหลังกลับในขณะที่ทำการฉีด แสดงในภาพที่ 12 ขั้นตอนการเลื่อนของชุดฉีด



ภาพที่ 2.12
ขั้นตอนการเลื่อนของชุดฉีด

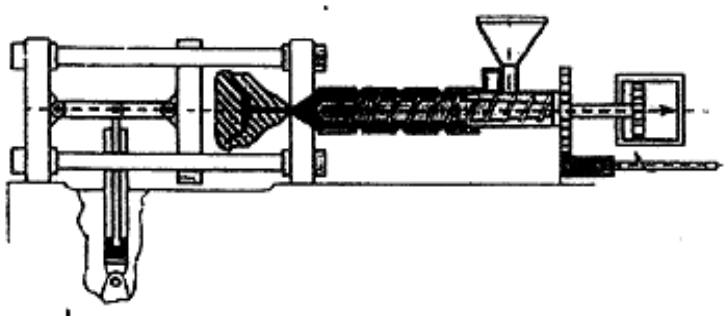
3. ฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ โดยสกรูจะเคลื่อนที่ตามแนวแกน

4. ย้ำรักษาความดันให้กับพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ เพื่อให้ได้ชิ้นงานเนื้อแน่นและไม่เกิดรอยยุบตัวที่ผิวของชิ้นงาน แสดงในภาพที่ 13 ขั้นตอนการย้ำเพื่อรักษาความดันให้กับพลาสติกในแม่พิมพ์



ภาพที่ 2.13
ขั้นตอนการย้ำเพื่อรักษาความดัน

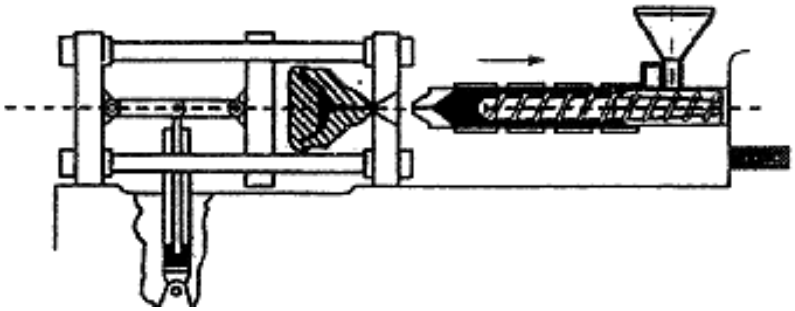
5. หล่อเย็นชิ้นงานฉีดในแม่พิมพ์โดยจังหวะนี้มีอิทธิพลมากต่อเวลาการทำงานทั้งวงจร ดังแสดงในรูปที่ 14 ตำแหน่งของชุดฉีดขณะหล่อเย็น



ภาพที่ 2.14
ตำแหน่งของชุดฉีดขณะหล่อเย็น

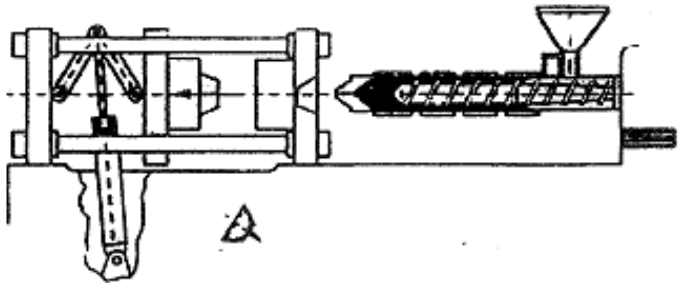
6. การหลอมและป้อนพลาสติกไปหน้าปลายสกรู หลังจากได้ปริมาณพลาสติกเหลวตามที่ต้องการแล้วเกลียวหนอนจะหยุดหมุน

7. ชุดฉีดจะถอยหลังกลับเพื่อป้องกันอุณหภูมิของหัวฉีดลดต่ำลงเกินไป เพราะจะทำให้พลาสติกหนืดเกินไปและไหลไม่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 15 การถอยหลังกลับของชุดฉีด



ภาพที่ 2.15
การถอยหลังกลับของชุดฉีด

8. แม่พิมพ์จะเปิดออกหลังจากสิ้นสุดเวลาในการหล่อเย็น แสดงในรูปที่ 16 การเปิดออกของแม่พิมพ์



ภาพที่ 2.16
การเปิดออกของแม่พิมพ์

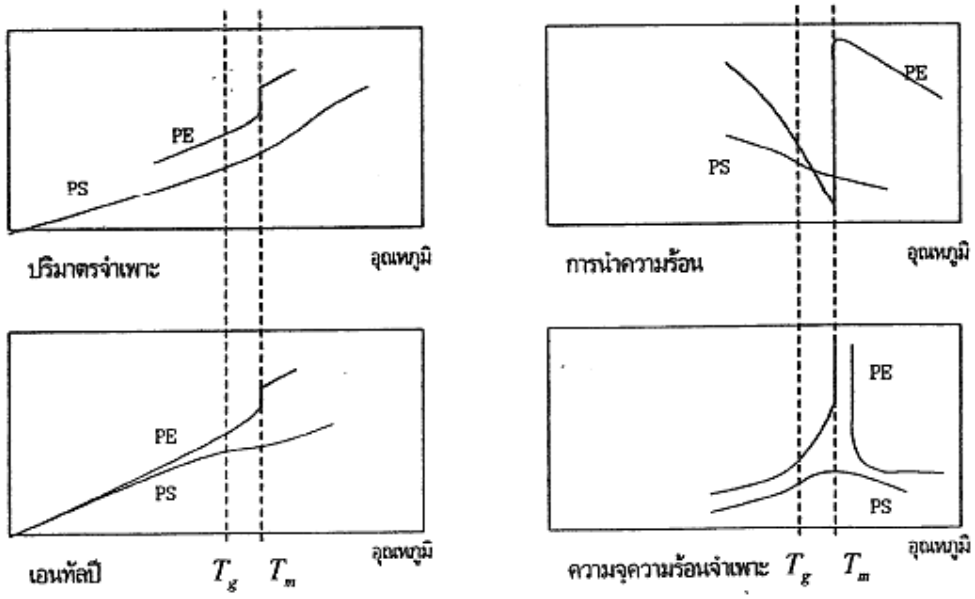
9. ทำการปลดชิ้นงานเมื่อแม่พิมพ์เปิดออกสุดแล้ว

2.3.5 <u>ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงานฉีดพลาสติก</u>

คุณภาพชิ้นงานฉีดพลาสติกขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัวด้วยกัน แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่อิทธิพลของพลาสติก อิทธิพลของการออกแบบ และอิทธิพลของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก ตัวแปรแต่ละประเภทก็จะมีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงานที่แตกต่างกันออกไปไม่ว่าจะมีอิทธิพลโดยทางตรง หรือโดยทางอ้อม มีรายละเอียด ดังนี้

1. <u>อิทธิพลของชนิดพลาสติก</u> ในงานฉีดพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกนั้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอะมอร์ฟัสเทอร์โมพลาสติกกับพาร์เชียลคริสตัสไลน์เทอร์โมพลาสติก พบว่าเมื่อพลาสติกได้รับความร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น คือ ในพลาสติกพาร์เชียลคริสตัลไลน์เทอร์โมพลาสติก เมื่อพิจารณาค่าปริมาตรจำเพาะ และค่าพลังงานจำเพาะ ที่ผลึกเริ่มหลอมเหลว

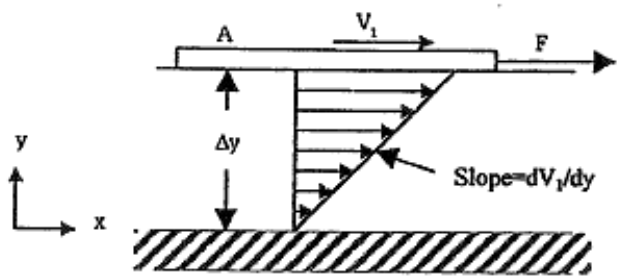
(Glass Transition Temperature) ค่าปริมาตรจำเพาะและค่าพลังงานจำเพาะจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้แล้วค่าการนำความร้อนของพาร์เชียลคริสตัลไลน์เทอร์โมพลาสติกจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อเข้าใกล้จุดหลอมเหลวของผลึก แต่เมื่ออุณหภูมิถึงจุดหลอมเหลวของผลึกแล้วค่าการนำความร้อนจะเพิ่มขึ้นทันที ส่วนค่าความจุความร้อนจำเพาะจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเข้าใกล้จุดผลึกหลอมเหลว และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อสิ้นสุดช่วงผลึกหลอมเหลว ค่านี้จะลดลงอย่างรวดเร็ว หมายความว่าพาร์เชียลคริสตัลไลน์เทอร์โมพลาสติกต้องการความร้อนส่วนหนึ่ง เพื่อช่วยในการหลอมเหลวผลึกนั่นเองโดยการเปรียบเทียบคุณสมบัติอะมอร์ฟัสเทอร์โมพลาสติกและพาร์เชียลคริสตัลไลน์เทอร์โมพลาสติกแสดงในรูปที่ 17 คุณสมบัติของอะมอร์ฟัส (PS) และ พาร์เชียลคริสตัลไลน์ (PE)



ภาพที่ 2.17

คุณสมบัติของอะมอร์ฟัส (PS) และ พาร์เชียลคริสตัลไลน์ (PE)

สำหรับมวลโมเลกุลที่แตกต่างกันของพลาสติกแม้ว่าจะเป็นโพลิเมอร์ชนิดเดียวกัน โพลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำกว่าจะมีอุณหภูมิในการอ่อนตัวต่ำ และความหนืดในสารละลายก็จะต่ำด้วย ความสัมพันธ์ของมวลโมเลกุลกับดัชนีการละลาย (Melt Index) กับความหนืด คือ ถ้าหากดัชนีการละลายสูง ความหนืดก็จะน้อย แสดงว่ามีการไหลได้ดีเมื่อมีการหลอมละลาย นั่นหมายความว่าพลาสติกที่มีมวลโมเลกุลต่ำก็จะมีค่าดัชนีการละลายสูงนั่นเอง นอกจากนี้ความหนืดของพลาสติกเหลวยังขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเฉือน (Shear Rate) อีกด้วย โดยที่อัตราการเฉือนขณะที่พลาสติกไหลจะมีค่าสูงเมื่อความเร็วการไหลของพลาสติกเหลวสูง ดังแสดงในภาพที่ 18 อัตราการเฉือนที่มีผลต่อความหนืด



ภาพที่ 2.18
อัตราการเฉือนที่มีผลต่อความหนืด

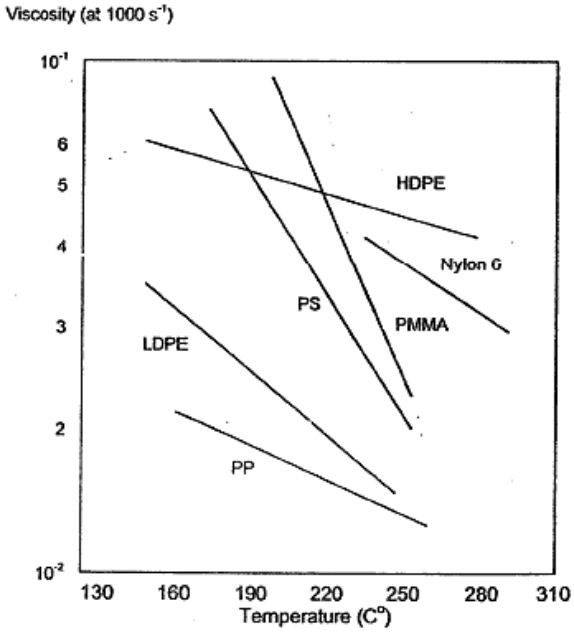
2. <u>อิทธิพลของการออกแบบ</u> เนื่องจากการออกแบบชิ้นงานจำเป็นต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติโดยรวมของชิ้นงานที่ต้องการ ซึ่งได้แก่ คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติการแปรรูป ค่าการไหลของพลาสติก (Flowability) รวมไปถึงข้อจำกัดในการออกแบบแม่พิมพ์และการฉีด ดังนั้นไม่ว่าจะเป็นการออกแบบแม่พิมพ์ การออกแบบระบบทางเข้า (Gate) ระบบทางไหลของพลาสติก (Runner) หรือแม้แต่กระทั่งระบบหล่อเย็น (Cooling) ล้วนแล้วแต่มีความสำคัญกับคุณภาพของชิ้นงานทั้งสิ้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบ ได้แก่ การหดตัว (Shrinkage) ความหนาของชิ้นงาน (Thickness) ความเรียวของชิ้นงาน (Taper) รัศมีระหว่างผิวต่อ (Fillet) ครีบ (Rib) ส่วนนูนของชิ้นงาน (Boss) ส่วนที่เป็นคอคอดของชิ้นงาน (Undercut) รอยต่อ (Weld Line หรือ Knit Line) ระบบทางไหลของพลาสติก (Runner) ระบบทางเข้าพลาสติก (Gate) ความแข็งแรงของชิ้นงาน (Strength) และช่องระบายอากาศในชิ้นงาน (Air ventilation) เป็นต้น

3. อิทธิพลของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก มีบทบาทเป็นอย่างมากต่อคุณภาพชิ้นงานหากแม่พิมพ์ถูกออกแบบได้ถูกต้องและเหมาะสมแล้ว ตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานก็มีเพียงการปรับตั้งพารามิเตอร์เท่านั้น ซึ่งพารามิเตอร์ก็มีหลายค่าด้วยกัน แต่ค่าที่สำคัญ ได้แก่ ความเร็วในการฉีด ระยะเปลี่ยนความดันฉีดเป็นฉีดย้ำ เวลาในการรักษาความดันฉีดย้ำ เวลาในการหล่อเย็น เวลาในการหลอมเหลวและป้อนพลาสติกเหลว อุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ และความดันไฮดรอลิก เป็นต้น การปรับตั้งค่าเหล่านี้ส่วนใหญ่จะเกิดจากการทดลองฉีดไปเรื่อยๆ จนกว่าได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพตามต้องการ ซึ่งทำให้มีการสูญเสียเวลาและต้นทุนในการฉีดเป็นอย่างมาก หากผู้ปรับตั้งมีความรู้และความเข้าใจมากขึ้น ก็จะช่วยให้ฉีดได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพและยังประหยัดเวลา และต้นทุนในการทดลองอีกด้วย

2.3.6 พารามิเตอร์สำคัญในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก

1. อุณหภูมิพลาสติกเหลว (Melt Temperature)

อุณหภูมิพลาสติกเหลว คือ อุณหภูมิที่ปลายหัวฉีด การเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับชิ้นงานแต่ละชิ้นงานนั้น มีตัวแปรที่สำคัญคือ ชนิดของพลาสติก เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิพลาสติกเหลวเกิดการเปลี่ยนแปลง ก็จะทำให้คุณสมบัติต่างๆ ของพลาสติกเปลี่ยนแปลงไปด้วย เช่น ค่าความหนืด (Viscosity) เอนทาลปี (Enthalpy) ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume) เป็นต้น โดยค่าอุณหภูมิจะถูกกำหนดโดยบริษัทผู้ผลิตเม็ดพลาสติกชนิดนั้นๆ ซึ่งจะกำหนดให้เป็นช่วงกว้างๆ ดังนั้นการฉีดพลาสติกที่มีรูปร่างแตกต่างกันจะมีวิธีการเลือกอุณหภูมิพลาสติกเหลวอย่างไร โดยทั่วไปมักจะนิยมใช้ค่าเฉลี่ยของช่วงอุณหภูมิที่บริษัทผู้ผลิตเป็นผู้กำหนดให้ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของความหนืดและอุณหภูมิพลาสติกเหลวพบว่ามีความสัมพันธ์ดังแสดงในภาพที่ 19 ผลของอุณหภูมิพลาสติกเหลวที่มีต่อความหนืดของพลาสติก



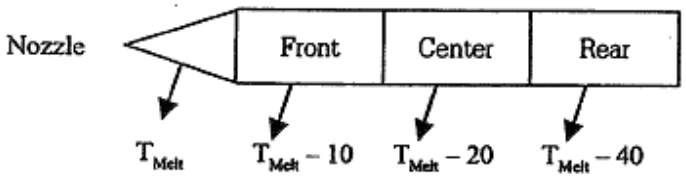
ภาพที่ 2.19

ผลของอุณหภูมิพลาสติกเหลวที่มีต่อความหนืดของพลาสติก

2. <u>อุณหภูมิกระบอกฉีด</u> (Barrel Temperature)

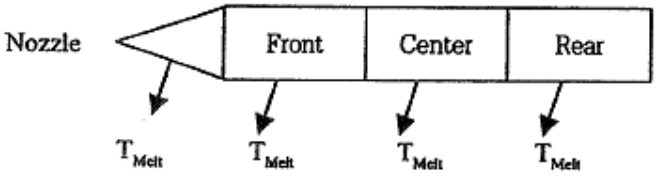
โดยทั่วไปแล้วอุณหภูมิกระบอกฉีดจะแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนหน้า (Front) ส่วนกลาง (Center) และส่วนหลัง (Rear) ซึ่งจะเป็นแผ่นความร้อน (Heater) ที่ติดอยู่กับกระบอกฉีด การตั้งอุณหภูมิกระบอกฉีดจำเป็นจะต้องปรับให้เหมาะสมกับการทำงาน ทั่วไปจะมีการตั้งอุณหภูมิกระบอกฉีดอยู่ 3 แบบ คือ

- แบบอุณหภูมิลดลง (จากหัวฉีดไปยังกรวยเติมพลาสติก) โดยการตั้งอุณหภูมิแบบนี้จะใช้เมื่อระยะชักสกรูมีค่าระหว่าง 1 ถึง 1.5 เท่า ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางสกรู ดังแสดงใน ภาพที่ 20 รูปแบบของอุณหภูมิกระบอกฉีดแบบอุณหภูมิต่ำแล้วค่อยๆ สูงขึ้น



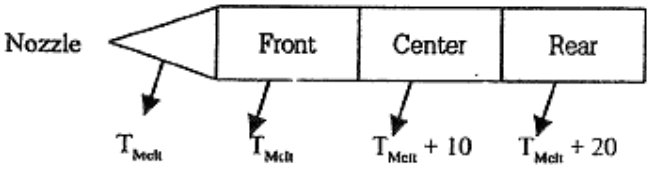
ภาพที่ 2.20
รูปแบบของอุณหภูมิกระบอกฉีดแบบอุณหภูมิต่ำแล้วค่อยๆสูงขึ้น

- แบบอุณหภูมิคงที่ โดยที่การตั้งอุณหภูมิกระบอกฉีดแบบนี้จะใช้เมื่อระยะชักของ สกรูระหว่าง 1.5 ถึง 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู ดังแสดงในภาพที่ 21 รูปแบบของอุณหภูมิกระบอกฉีดแบบอุณหภูมิคงที่



ภาพที่ 2.21
รูปแบบของอุณหภูมิกระบอกฉีดแบบอุณหภูมิคงที่

- แบบอุณหภูมิเพิ่มขึ้น (จากหัวฉีดไปยังกรวยเติมพลาสติก) โดยการตั้งอุณหภูมิแบบนี้จะใช้เมื่อระยะชักสกรูมีค่าระหว่าง 2 ถึง 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู ดังแสดงในภาพที่ 22 รูปแบบของอุณหภูมิกระบอกฉีดแบบอุณหภูมิลดลง



ภาพที่ 2.22
รูปแบบของอุณหภูมิกระบอกฉีดแบบอุณหภูมิลดลง

3. อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature)

อุณหภูมิแม่พิมพ์เป็นตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน การเปลี่ยนแปลงค่าของอุณหภูมิแม่พิมพ์มีอิทธิพลต่อความดันในแม่พิมพ์เช่นเดียวกับอุณหภูมิพลาสติกเหลว คือ ระหว่างจังหวะการฉีด ความหนืดของพลาสติกเหลวจะเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิแม่พิมพ์จะมีอิทธิพลไม่มากต่อชิ้นงานที่มีความหนามาก แต่จะมีอิทธิพลอย่างมากต่อชิ้นงานบางและมีระยะทางการไหลที่ยาว ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้อุณหภูมิแม่พิมพ์ให้เหมาะสม โดยที่ทางบริษัทผู้ผลิตเม็ดพลาสติกจะเป็นผู้กำหนดค่าของอุณหภูมิแม่พิมพ์ให้เหมาะสมกับพลาสติกแต่ละชนิด โดยจะกำหนดเป็นช่วงกว้างๆ มาให้ หลักการการเลือกก็จะเหมือนกับการเลือกอุณหภูมิพลาสติกเหลว คือ เลือกอุณหภูมิเฉลี่ยของแม่พิมพ์ตามที่บริษัทผู้ผลิตเม็ดพลาสติกกำหนดให้

- อุณหภูมิปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ (Detmold Temperature)

อุณหภูมิปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ สามารถตรวจสอบได้จากตัวควบคุมอุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature Control) หรือจากการวัดอุณหภูมิชิ้นงานหลังจากการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ โดยค่านี้มีผลต่อชิ้นงานคือหากการปลดชิ้นงานเกิดขึ้นเมื่อชิ้นงานมีอุณหภูมิสูงมากจะทำให้ชิ้นงานที่เย็นตัวนอกแม่พิมพ์เกิดการหดตัว ไม่ได้ตามขนาดตามที่ต้องการ และยังทำให้ชิ้นงานมีรอยการกระทุ้งที่ผิวของชิ้นงานอีกด้วย แต่หากปลดชิ้นงานที่อุณหภูมิชิ้นงานต่ำมากเกินไปจะทำให้เสียเวลามาก ซึ่งจะทำให้อัตราการผลิตลดโดยไม่จำเป็น ดังนั้นค่าอุณหภูมิปลดชิ้นงานซึ่งถูกกำหนดจากโรงงานผู้ผลิตเม็ดพลาสติก จะเลือกใช้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่พลาสติกไม่เกิดการบิดเบี้ยวหลังและเกิดการหดตัวเมื่อทำการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ (Heat Distribution Temperature :HDT)

4. ระยะชักสกรู (Metering Stroke)

ระยะชักสกรู คือ ระยะพลาสติกเหลวหน้าสกรูจะถึงปริมาตรพลาสติกเหลวที่ต้องการฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 1 ถึง 3 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู หากค่านี้ไม่ถูกคำนวณให้ถูกต้องก็จะทำให้พลาสติกเหลวที่เข้าสู่ชิ้นงานไม่พอดีกับปริมาตรที่ต้องการ ดังนั้นความหนาแน่นของพลาสติกจำเป็นที่จะต้องเป็นค่าขณะที่พลาสติกเป็นของเหลวด้วย ปริมาตรของพลาสติกเหลวต้องรวมไปถึงระบบทางวิ่งและระบบทางเข้าของพลาสติกเป็นของเหลว ปริมาตรของพลาสติกเหลวต้องรวมไปถึงระบบทางวิ่งและระบบทางเข้าของพลาสติกเหลงด้วย ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสูตรต่อไปนี้

$$L \quad \frac{V \times 1000 \times 4}{\pi \times D^2} + \text{Cushion}$$

เมื่อ L = ระยะชักสกรู (mm)

V = ปริมาตรพลาสติกเหลว (mm^3)

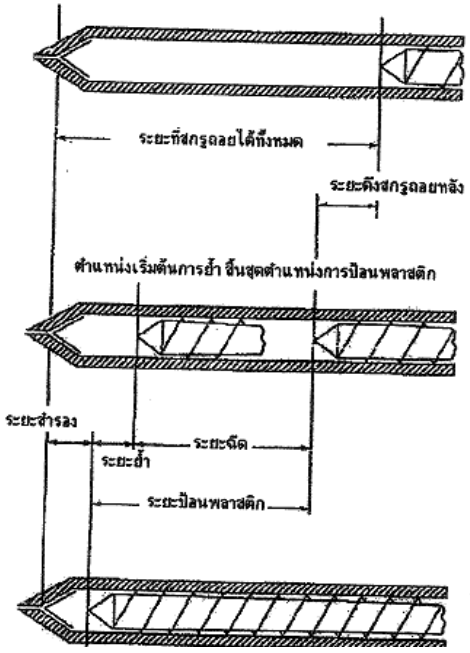
D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู (mm)

5. <u>เวลาที่พลาสติกเหลวแช่อยู่ในกระบอกฉีด</u> (Resident Time)

เวลาที่พลาสติกเหลวแช่อยู่ในกระบอกฉีดนั้นเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากเป็นระยะเวลาที่พลาสติกเหลวหลอมละลาย ซึ่งตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อเวลานี้คือ ความเร็วรอบสกรู ขนาดของชิ้นงาน และขนาดของสกรู ซึ่งสามารถประมาณเวลาได้จากปริมาณของพลาสติกที่ฉีดผ่านหัวฉีด ถ้าหากพลาสติกเหลวแช่อยู่ในกระบอกฉีดเป็นเวลานานเกินไป จะส่งผลให้พลาสติกเสื่อมสภาพได้ แต่หากเวลาที่พลาสติกเหลวแช่ในกระบอกฉีดน้อยเกินไปก็จะทำให้พลาสติกไม่หลอมเหลวเป็นเนื้อเดียวกัน หากใช้เครื่องฉีดพลาสติกมีขนาดใหญ่ฉีดชิ้นงานขนาดเล็ก จะทำให้ระยะเวลาที่พลาสติกแช่ในกระบอกฉีดจะนานมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกขนาดสกรูให้เหมาะสมกับชิ้นงานสำหรับคำแนะนำทั่วๆ ไปในการกำหนดเวลาที่พลาสติกเหลวแช่อยู่ในกระบอกฉีดจะแนะนำให้ไม่ควรแช่อยู่นานเกิน 10นาที

6. <u>ระยะสำรอง</u> (Cushion)

ระยะสำรอง คือ ระยะที่ช่วยป้องกันการเกิดกระแทกของหัวฉีดกับแม่พิมพ์โดยจะต้องตั้งค่านี้ไว้ภายในกระบอกฉีด และป้องกันไม่ให้พลาสติกเกิดการเปลี่ยนแปลงและการไหลย้อนกลับ เนื่องจากปริมาณพลาสติกเหลวที่อยู่ในระยะสำรองที่เหมาะสม จะสามารถชดเชยการหดตัวของพลาสติกที่ถูกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ในจังหวะของการฉีดย้ำด้วย เมื่อเวลาฉีดย้ำสิ้นสุดลงแล้วจำเป็นต้องมีพลาสติกเหลวอยู่ในระยะสำรองเหลืออยู่ การตั้งค่าระยะนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของสกรู คือ หากเครื่องฉีดที่ใช้สกรูขนาดใหญ่ก็จะเลือกใช้ระยะสำรองที่มากกว่าเครื่องฉีดที่ใช้สกรูขนาดเล็ก โดยค่าที่แนะนำให้ใช้ คือ ขนาดสกรู 18 ถึง 100 มิลลิเมตรจะแนะนำให้ใช้ระยะสำรอง 1 ถึง 5 มิลลิเมตร โดยตำแหน่งของสกรูของระยะสำรองและขั้นตอนการฉีดอื่นๆ แสดงในภาพที่ 23 ตำแหน่งของสกรูในแต่ละจังหวะการฉีด



ภาพที่ 2.23

ตำแหน่งของสกรูในแต่ละจังหวะการฉีด

7. <u>ความเร็วรอบสกรู</u> (Screw Speed)

ความเร็วรอบสกรูมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิพลาสติกเหลว และระยะเวลาในการหลอมเหลวและป้อนพลาสติก หากความเร็วรอบสกรูสูง ก็จะทำให้อุณหภูมิพลาสติกเหลวสูงขึ้นแต่จะทำให้ระยะเวลาในการหลอมเหลวและป้อนพลาสติกเหลวก็สั้นลง โดยทั่วไปจะแนะนำให้ใช้ความเร็วรอบสกรูสูง เนื่องจากจะทำให้เกิดแรงเสียดทานสูง ส่งผลให้เนื้อพลาสติกหลอมละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ดียิ่งขึ้น สำหรับคำนวณความเร็วรอบสกรูสามารถคำนวณได้จากสูตรแสดงดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1พลาสติกทั่วไป $n = \dfrac{0.2 \times 1000 \times 60}{\pi \times D}$

กรณีที่ 2 พลาสติกที่ไวต่อความร้อน $n = \dfrac{0.2 \times 1000 \times 60}{\pi \times D}$

เมื่อ n = ความเร็วรอบสกรู (rpm)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู (mm)

8. ความดันต้านการถอยกลับสกรู (Back Pressure)

ความดันต้านการถอยกลับสกรู เป็นความดันที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งด้านท้ายของสกรู โดยทั่วไปแล้วพลาสติกเข้าสู่กระบอกฉีดได้สม่ำเสมอหรือไม่นั้นจำเป็นต้องอาศัยความดันต้านการถอยกลับของสกรู เพื่อควบคุมระยะเวลาในการหมุนตัวถอยหลังของสกรูเพื่อทำการป้อนพลาสติกเข้าสู่กระบอกฉีด ซึ่งหากเพิ่มความดันต้านการถอยกลับของสกรูให้มากขึ้น จะทำให้ระยะเวลาของป้อนพลาสติกเหลวเข้าสู่กระบอกฉีดนานขึ้นอีกด้วย โดยค่าความดันนี้จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาการป้อนพลาสติกเหลวเข้าสู่กระบอกฉีดที่ต้องการ ตัวพลาสติกเหลวก็เป็นสิ่งสำคัญที่มีผลต่อความดันต้านการถอยกลับของสกรู โดยที่พลาสติกที่ใหม่ไม่ผ่านการใช้มาก่อน และไม่มีการผสมสีแนะนำให้ใช้ความดันต่ำ คือประมาณ 5 บาร์ ส่วนพลาสติกที่ผ่านการใช้มาแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ กับพลาสติกที่มีการผสมสีแนะนำให้ใช้ความดันประมาณ 10 บาร์ เพื่อช่วยให้เกิดการคลุกเคล้าของสีกับเม็ดพลาสติก หรือพลาสติกที่ถูกนำมาใช้ใหม่ให้เนื้อพลาสติกมีความสม่ำเสมอ

9. ระยะเปลี่ยนจากจังหวะฉีดเติมเป็นฉีดย้ำ (Switch Over)

การเปลี่ยนจากจังหวะการฉีดเติมเป็นฉีดย้ำนั้น หากต้องการปรับเปลี่ยนความดันไฮดรอลิก ขณะที่ออกคำสั่งให้เปลี่ยนจากจังหวะการฉีดเติมเป็นการฉีดย้ำนั้น จะพบว่าจะเกิดขึ้นช้ากว่าเวลาที่เรากำหนด เนื่องจากเกิดการหน่วงของการทำงานของชุดควบคุมไฮดรอลิก การกำหนดตำแหน่งนี้จำเป็นจะต้องกำหนดระยะที่เกิดขึ้นก่อนตำแหน่งที่ต้องการจริงแต่เป็นสิ่งที่ยากเนื่องจากมีตัวแปรหลายตัวที่มีผลต่อเวลาที่ตอบสนองการทำงานของไฮดรอลิก เช่น ปริมาตรน้ำมันไฮดรอลิก ความดัน อุณหภูมิน้ำมันไฮดรอลิกในระบบ เป็นต้น ดังนั้นการหาตำแหน่งที่แท้จริงของการเปลี่ยนจังหวะการฉีดเติมเป็นการฉีดย้ำ ได้มาจากการสังเกตการเคลื่อนที่ของสกรู การสังเกตจะสามารถช่วยให้หาระยะที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องได้ ผลของการปรับค่าระยะเปลี่ยนจังหวะการฉีดเติมเป็นการฉีดย้ำช้าเกินไป จะทำให้เวลาที่ใช้นานขึ้น ความดันไฮดรอลิกก็ต้องสูงขึ้น ความดันในแม่พิมพ์สูงขึ้น จะทำให้ชิ้นงานเกิดครีบ น้ำหนักของชิ้นงานมากเกินไป และเกิดความเค้นตกค้างในชิ้นงานทำให้ชิ้นงานเปราะแตกหักได้ง่าย หากเปลี่ยนเร็วเกินไปจะทำให้ความดันในแม่พิมพ์ต่ำเกินไปจนพลาสติกถูกฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ ชิ้นงานมีน้ำหนักเบาเกินไป เกิดรอยยุบ ผิวชิ้นงานเป็นรอย และเกิดความเครียดในชิ้นงานทำให้ชิ้นงานเปราะแตกง่าย

10. ความเร็วฉีด (Injection Speed)

ความเร็วในการฉีด คือ ความเร็วของสกรูที่เคลื่อนที่เพื่อทำหน้าที่ดันพลาสติกเหลวให้ไปอยู่ที่หัวฉีดและเข้าสู่แม่พิมพ์ โดยมีไฮดรอลิกเป็นตัวขับ ความเร็วฉีดและความดันฉีดจะเป็นสิ่งที่เกิดคู่กัน โดยถ้าใช้ความเร็วฉีดสูงก็จะทำให้ความดันฉีดสูงขึ้นด้วย และถ้าหากใช้

ความเร็วฉีดต่ำแล้วความดันฉีดก็จะต่ำลงด้วย ซึ่งความเร็วในการฉีดนี้จะมีผลต่อการไหลของพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ คือเมื่อพลาสติกเหลวไหลเข้าสู่แม่พิมพ์แล้ว ความร้อนจะถูกถ่ายเทให้กับผนังแม่พิมพ์ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า ทำให้พลาสติกเกิดการแข็งตัวและเกาะอยู่ที่ผนังแม่พิมพ์ ซึ่งเป็นผลให้ทางไหลของพลาสติกในแม่พิมพ์แคบลง เคลื่อนที่ไปได้ช้า และต้องใช้ความดันฉีดสูง โดยทั่วไปแนะนำให้ใช้ความเร็วฉีดสูงสุดเท่าที่จะทำได้เนื่องจากแรงเฉือน (Shear stress) จะทำให้พลาสติกเหลวเกิดความร้อนและคงสภาพความเป็นของเหลว และยังเป็นการประกันความเชื่อมั่นว่าสกรูจะมีการเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอ

11. <u>ความดันฉีด</u> (Injection Pressure)

ความดันฉีด คือ ความดันที่ทำให้พลาสติกเหลวที่อยู่หน้าสกรูถูกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ ซึ่งสามารถปรับได้จากความดันไฮดรอลิก พลาสติกเหลวจะสามารถไหลเข้าสู่แม่พิมพ์เต็มหรือไม่ก็ขึ้นอยู่กับความดันฉีดเช่นกัน ความดันฉีดขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงาน ความสามารถในการไหลของพลาสติกเหลว และระยะทางการไหลที่ยาวที่สุด เนื่องจากมีสูตรคำนวณที่ต้องอาศัยข้อมูลที่ยุ่งยาก โดยต้องอาศัยค่าความสามารถในการไหลของพลาสติก ความหนาของชิ้นงานและระยะทางการไหลที่ยาวที่สุด ซึ่งต้องมีการเผื่อความดันที่ตกคร่อมหัวฉีดอีก 20 บาร์ สามารถสรุปเป็นสูตรการคำนวณความดันฉีดแสดงดังต่อไปนี้

$$IP = (K_F \times K_S \times F_W) + 200$$

เมื่อ IP = ความดันฉีด (bar)

K_F = Flowability (bar/mm)

K_S = Thickness factor

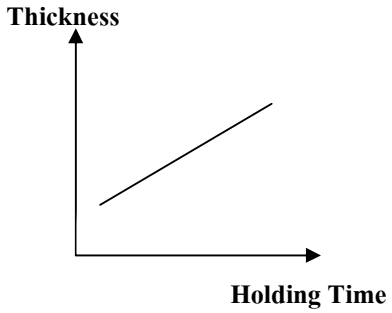
F_W = ระยะทางการไหลที่ยาวที่สุด (mm)

12. <u>ความดันฉีดย้ำ</u> (Holding Pressure)

การฉีดย้ำเป็นขั้นตอนการฉีดเมื่อพลาสติกถูกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ไปแล้วประมาณ 90% ถึง 95% ความสำคัญของการฉีดย้ำเพื่อป้องกันไม่ให้พลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ไหลย้อนกลับเนื่องจากในโพรงแม่พิมพ์มีความดันสูงกว่า ซึ่งเป็นสาเหตุของการยุบตัวของชิ้นงานเนื่องจากการหดตัวของพลาสติกเหลวที่เย็นตัว และความไม่เที่ยงตรงของชิ้นงานกระบวนการฉีดย้ำจะทำจนกระทั่งพลาสติกเหลวทางเข้าพลาสติกเกิดการแข็งตัวจนปิดสนิท การฉีดย้ำจะใช้ความดันประมาณ 40% ถึง 60% ของความดันระบบ โดยทำการย้ำพลาสติกเหลวที่เหลืออีกประมาณ 5% ถึง 10 % เข้าสู่แม่พิมพ์จนเต็ม สำหรับค่าความดันฉีดย้ำที่ทำการปรับตั้งนั้น แนะนำให้ใช้ค่า 50% ของความดันฉีด

13. <u>เวลาในการฉีดย้ำ</u> (Holding Time)

เวลาในการฉีดย้ำมีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน โดยเฉพาะความเที่ยวตรงของชิ้นงาน ถ้าหากเวลาในการฉีดย้ำน้อยเกินไป จะทำให้ความดันในแม่พิมพ์จะไม่คงสภาพนานพอที่จะทำให้พลาสติกเหลวแน่นเต็มแม่พิมพ์ได้ ความดันในโพรงแม่พิมพ์จะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจาการไหลย้อนกลับของพลาสติกเหลว ทำให้ชิ้นงานไม่ได้ขนาดและน้ำหนักตามต้องการ แต่หากใช้เวลาในการฉีดย้ำนานเกินไปจะทำให้ความดันในแม่พิมพ์คงสภาพนานเกินไป ทำให้พลาสติกถูกอัดแน่นเป็นเวลานานจนอาจทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหายได้ เวลาในการฉีดย้ำที่เหมาะสมนั้นโดยทั่วไปจะมีวิธีการทดสอบโดยการทดลองฉีดด้วยเวลาฉีดย้ำที่แตกต่างกัน และชั่งน้ำหนักของชิ้นงาน ซึ่งปัญหาคือการควบคุมพารามิเตอร์อื่น ๆ ให้คงที่ตลอดเวลา ซึ่งแนะนำให้ใช้เวลาในการฉีดย้ำประมาณ 1 ถึง 3 วินาที หากใช้เวลานานกว่านี้ก็จะทำให้ชิ้นงานเกิดความเครียดตกค้างขึ้นในชิ้นงานได้ ซึ่งเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชิ้นงานกับเวลาในการฉีดย้ำ และความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของชิ้นงานกับเวลาในการฉีดย้ำ พบว่าเวลาที่ใช้ในการฉีดย้ำมีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรงกับความหนาของชิ้นงาน คือเมื่อชิ้นงานมีความหนามาก ทำให้เวลาในการฉีดย้ำก็ต้องมาก



ภาพที่ 2.24
ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการฉีดย้ำและความหนาชิ้นงาน

14. <u>แรงปิดแม่พิมพ์</u> (Clamping Force)

การปิดแม่พิมพ์เพื่อป้องกันไม่ให้แม่พิมพ์เผยอออกขณะทำการฉีด ดังนั้นแรงที่ใช้ทำการปิดแม่พิมพ์จำเป็นจะต้องเพียงพอไม่ให้พลาสติกเหลวล้นออกมาซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดครีบในชิ้นงาน ตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อแรงปิดแม่พิมพ์ ได้แก่ ความหนืดของพลาสติกเหลว อัตราส่วนระหว่างระยะทางการไหลกับความหนาของชิ้นงาน อุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิ

แม่พิมพ์ พื้นที่ภาพฉายของชิ้นงาน ความแข็งแรงของแม่พิมพ์ และช่องระบายอากาศของแม่พิมพ์ตัวแปรเหล่านี้มีผลต่อความดันที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์ ดังนั้นการคำนวณค่าแรงปิดแม่พิมพ์จะคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$F = \frac{P_{cavity} \times A}{1000}$$

เมื่อ F = แรงปิดแม่พิมพ์ (ton)

P_{cavity} = ความดันเฉลี่ยในแม่พิมพ์ (kg/cm^2)

A = พื้นที่ภาพฉายของแม่พิมพ์ (mm^2)

สำหรับการคำนวณหาค่าความดันที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์ สามารถทำได้โดยการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ที่ติดไว้กับผนังด้านในของแม่พิมพ์ที่สัมผัสกับพลาสติกเหลว หากไม่มีเครื่องมือวัดความดันในแม่พิมพ์ก็สามารถประมาณค่าความดันที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์ประมาณ 60% ถึง 70% ของความดันฉีดที่เกิดขึ้นจริง

15. <u>เวลาในการหล่อเย็น</u> (Cooling time)

การหล่อเย็นเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งในการฉีดพลาสติก โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเภทเทอร์โมพลาสติก เพื่อให้พลาสติกเย็นตัวก่อนที่จะทำการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ การควบคุมแม่พิมพ์ให้มีอุณหภูมิคงที่นั้นสามารถทำได้โดยการผ่านน้ำหรือน้ำมันไปที่แม่พิมพ์ สามารถปรับตั้งได้จากเครื่องฉีดโดยตรงซึ่งก็คือ การควบคุมอุณหภูมิน้ำหรือน้ำมันให้คงที่ และนอกจากนี้แล้วการไหลของน้ำหรือน้ำมันจะต้องมีการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) เพื่อให้การระบายความร้อนมีประสิทธิภาพสูงสุด หากน้ำมีการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) เนื่องจากการไหลแบบนี้จะทำให้เกิดน้ำเป็นชั้นๆ (Boundary layer) ซึ่งจะไปขวางการถ่ายเทความร้อนทำให้การหล่อเย็นที่เกิดขึ้นก็จะไม่เกิดประสิทธิผล ดังนั้น การไหลของน้ำจะต้องมีอัตราการไหลไม่น้อยกว่า 10 ถึง15 ลิตรต่อนาที การดูง่ายๆ คือ ควรเปิดน้ำให้น้ำที่ออกจากท่อนั้นเต็มท่ออยู่เสมอ นอกจากอัตราการไหลของน้ำแล้ว เวลาในการหล่อเย็นควรจะเพียงพอสำหรับการทำให้แม่พิมพ์มีอุณหภูมิที่ต้องการ นอกจากนี้ เวลาในการหล่อเย็นยังมีผลต่อเวลาในการฉีด หากเวลาในการหล่อเย็นนานเกินไปก็จะทำให้อัตราการผลิตต่ำ หากเวลาในการหล่อเย็นเร็วเกินไปก็อาจจะทำให้ชิ้นงานเกิดการหดตัวและบิดเบี้ยวหลังจากที่ปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ โดยส่วนใหญ่แล้วผู้ทำการปรับตั้งเครื่องมักจะใช้วิธีการเปิดน้ำ และทดลองฉีดจนกว่าจะได้เวลาในการหล่อเย็นที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้เสียเวลาและวัตถุดิบในการทดลองเป็นอย่างมาก การนำเอาสูตรเข้ามาช่วย

คำนวณเวลาในการหล่อเย็นจะสามารถช่วยลดเวลาในการทดลองได้ โดยสูตรคำนวณแสดงดังต่อไปนี้

$$CT = \frac{d^2}{\pi^2 \times a_{eff}} \ln \frac{4}{\pi}\left(\frac{T_{Melt} - T_{Mold}}{T_{Demold} - T_{Mold}}\right)$$

เมื่อ CT = เวลาหล่อเย็น (s)

d = ความหนาของชิ้นงาน (mm^2/s)

T_{Melt} = อุณหภูมิพลาสติกเหลว (^{O}C)

T_{Mold} = อุณหภูมิแม่พิมพ์ (^{O}C)

T_{Demold} = อุณหภูมิปลดชิ้นงาน (^{O}C)

2.3.7 ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในชิ้นงานและวิธีแก้ไข

สาเหตุของปัญหาการเกิดข้อบกพร่องกับชิ้นงาน สามารถจำแนกออกเป็นสาเหตุใหญ่ด้วยกัน คือ ปัญหาเนื่องจากคุณสมบัติของพลาสติก, ปัญหาเนื่องจากแม่พิมพ์, ปัญหาจากการปรับพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดพลาสติก และปัญหาจากประสิทธิภาพของเครื่องฉีดพลาสติก ส่วนแนวทางการแก้ปัญหาการเกิดข้อบกพร่องในชิ้นงานมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน คือ ปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องฉีดพลาสติก, แก้ไขแม่พิมพ์ และปรับพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดให้เหมาะสม กรณีที่รูปแบบของชิ้นงานยากต่อการฉีดควรออกแบบชิ้นงานใหม่ให้สามารถฉีดได้ง่ายขึ้น และจัดการกับระบบการฉีดพลาสติกให้เป็นอุปกรณ์เสริมสำหรับช่วยในการฉีดพลาสติกด้วย ซึ่งสามารถสรุปแนวทางวิธีการแก้ไขโดยแยกเป็นข้อบกพร่องแต่ละชนิด ดังนี้

<u>รอยยุบในชิ้นงาน</u> (Sink Mark) มีวิธีแก้ไขดังนี้

- เพิ่มความดันฉีดย้ำและเวลาในการฉีดย้ำ
- เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลวที่หัวฉีด
- ลดความเร็วในการฉีด
- ลดความดันต้านการถอดกลับของสกรู
- ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น
- ลดอุณหภูมิแม่พิมพ์
- เพิ่มขนาดทางเข้าพลาสติกเหลว
- เพิ่มอัตราการป้อนพลาสติกเหลว
- ปรับปรุงระบบทางเข้าของพลาสติกเหลวให้ดียิ่งขึ้น

พลาสติกไหม้ (Burning) มีวิธีแก้ไขดังนี้

- ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว
- ลดความเร็วในการฉีด
- ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น
- เพิ่มขนาดทางเข้าพลาสติกเหลว
- เพิ่มช่องระบายอากาศให้กับแม่พิมพ์

มีจุดบนผิวชิ้นงาน (Surface Blemished) มีวิธีแก้ไขดังนี้

- เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว
- เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลวที่หัวฉีด
- เพิ่มความเร็วรอบสกรู
- ลดความเร็วในการฉีด
- เพิ่มความดันต้านการถอยกลับของสกรู
- เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์
- ทำความสะอาดแม่พิมพ์
- ทำความสะอาดระบบทางไหลของพลาสติก
- เพิ่มขนาดของสลักเย็น
- อบพลาสติกให้แห้งสนิท

ชิ้นงานเป็นครีบ (Flash) มีวิธีแก้ไขดังนี้

- ลดความดันฉีดให้ต่ำลง
- ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว
- ลดความดันและเวลาในการฉีดย้ำ
- เพิ่มแรงในการปิดแม่พิมพ์
- ลดความเร็วในการฉีด
- ลดอุณหภูมิของแม่พิมพ์
- แก้ไขแม่พิมพ์ใหม่

ผิวชิ้นงานด้าน (Dull Surface) มีวิธีแก้ไขดังนี้

- เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว
- เพิ่มความเร็วรอบของสกรู
- ลดความเร็วในการฉีด

- เพิ่มความดันต้านการถอยกลับของสกรู
- ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น
- เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์
- ทำความสะอาดแม่พิมพ์
- เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว
- อบพลาสติกให้แห้งสนิท
- ใช้พลาสติกที่ไม่มีสิ่งเจือปน

<u>เนื้อพลาสติกแบ่งเป็นชั้น</u> (Laminations) มีวิธีแก้ไขดังนี้

- ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว
- เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลวที่หัวฉีด
- เพิ่มความเร็วรอบสกรู
- ลดความเร็วในการฉีด
- เพิ่มความดันต้านการถอยกลับของสกรู
- ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น
- เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์
- เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว
- อบพลาสติกให้แห้งสนิท
- ใช้พลาสติกที่ไม่มีสิ่งเจือปน

<u>ชิ้นงานติดอยู่ในแม่พิมพ์</u> (Part sticks in mold) มีวิธีแก้ไขดังนี้

- ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว
- ลดความดันและเวลาในการฉีดย้ำ
- ลดความเร็วในการฉีด
- ลดอุณหภูมิของแม่พิมพ์
- ทำความสะอาดแม่พิมพ์
- แก้ไขแม่พิมพ์ใหม่
- ใช้แม่พิมพ์ตัวใหม่
- ตรวจสอบขนาดของหัวฉีด และทำความสะอาดหัวฉีด
- เพิ่มช่องระบายอากาศสำหรับปลดชิ้นงาน

<u>ชิ้นงานบิดเบี้ยว</u> (Part Distort) มีวิธีแก้ไขดังนี้

- ลดความดันฉีดให้ต่ำลง
- เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว
- ลดความดันและเวลาในการฉีดย้ำ
- ลดความเร็วในการฉีด
- เพิ่มความดันต้านการถอยกลับของสกรู
- เพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์
- เพิ่มเวลาในการหล่อเย็นและเวลาในการเปิดแม่พิมพ์

สีของชิ้นงานเปลี่ยนไป (Discoloration of Sprue) มีวิธีแก้ไขดังนี้

- ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว
- ฉีดด้วยสกรูที่กำลังหมุน
- ลดความเร็วในการฉีด
- เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์
- เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว
- เพิ่มขนาดของสลักเย็น

มีรอยประสานจากการไหลของพลาสติก (Weld Line) มีวิธีแก้ไขดังนี้

- เพิ่มความดันฉีดให้สูงขึ้น
- เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว
- เพิ่มความเร็วในการฉีด
- เพิ่มความดันต้านการถอยกลับของสกรู
- ขยายช่องของหัวฉีดให้กวางยิ่งขึ้น
- เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์
- เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว
- เพิ่มช่องระบายอากาศให้กับแม่พิมพ์
- อบพลาสติกให้แห้งสนิท

ชิ้นงานเปราะแตกง่าย (Brittle Part) มีวิธีแก้ไขดังนี้

- เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว
- ลดความดันและเวลาในการฉีดย้ำ
- เพิ่มความเร็วรอบสกรู
- ลดความเร็วในการฉีด

- เพิ่มความดันต้านการถอยกลับของสกรู
- เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์
- เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว
- เพิ่มขนาดของสลักเย็น
- อบพลาสติกให้แห้งสนิท

<u>ผิวชิ้นงานเป็นคลื่น</u> (Wavy Surface) มีวิธีแก้ไขดังนี้

- เพิ่มความดันฉีดให้สูงขึ้น
- เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว
- เพิ่มความดันและเวลาในการฉีดย้ำ
- เพิ่มความเร็วในการฉีด
- ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น
- ลดอุณหภูมิแม่พิมพ์
- เพิ่มอัตราการป้อนพลาสติกเหลว
- เพิ่มเวลาในการหล่อเย็นและเวลาในการเปิดแม่พิมพ์

<u>รอยหยักเป็นทางยาวบนผิวชิ้นงาน</u> (Worms track on Part) มีวิธีแก้ไขดังนี้

- เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว
- เพิ่มอุณหภูมิหัวฉีด
- เพิ่มความเร็วรอบของสกรู
- ลดความเร็วในการฉีด
- เพิ่มความดันต้านการถอยกลับของสกรู
- ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น
- เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว
- เพิ่มขนาดของสลักเย็น
- อบพลาสติกให้แห้งสนิท

<u>มีรอยเป็นทางในชิ้นงาน</u> (Streaks on Part) มีวิธีแก้ไขดังนี้

- เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว
- ลดความเร็วรอบของสกรู
- ปรับหัวฉีดให้แน่นยิ่งขึ้น
- ลดความเร็วในการฉีด

- เพิ่มความดันต้านการถอยกลับของสกรู
- อบพลาสติกให้แห้งสนิท

<u>มีโพรงในชิ้นงาน</u> (Voids in Part) มีวิธีแก้ไขดังนี้

- ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว
- เพิ่มความดันและเวลาในการฉีดย้ำ
- เพิ่มอุณหภูมิหัวฉีด
- ลดความเร็วในการฉีด
- เพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์
- เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว
- เพิ่มอัตราการป้อนพลาสติก

<u>ฉีดไม่เต็มแบบ</u> (Short Mold) มีวิธีแก้ไขดังนี้

- เพิ่มความดันฉีดให้สูงขึ้น
- เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว
- เพิ่มอุณหภูมิหัวฉีด
- ทำความสะอาดหัวฉีด
- ปิดวาล์วหัวฉีด
- เพิ่มความเร็วในการฉีด
- เพิ่มความดันต้านการถอยกลับของสกรู
- ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น
- เพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์
- เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว
- เพิ่มช่องระบายอากาศให้กับแม่พิมพ์
- เพิ่มอัตราการป้อนพลาสติก

<u>รอยพ่น</u> (Jetting) มีวิธีการแก้ไขดังนี้

- เพิ่มขนาดของทางเข้า (Gate)
- ลดความเร็วฉีดให้ต่ำลง
- เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลวให้สูงขึ้น
- เพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์ให้สูงขึ้น
- แก้ไขขนาดของชิ้นงานให้มีความหนาลดลง

2.4 ทฤษฎีการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเชิงสถิติ

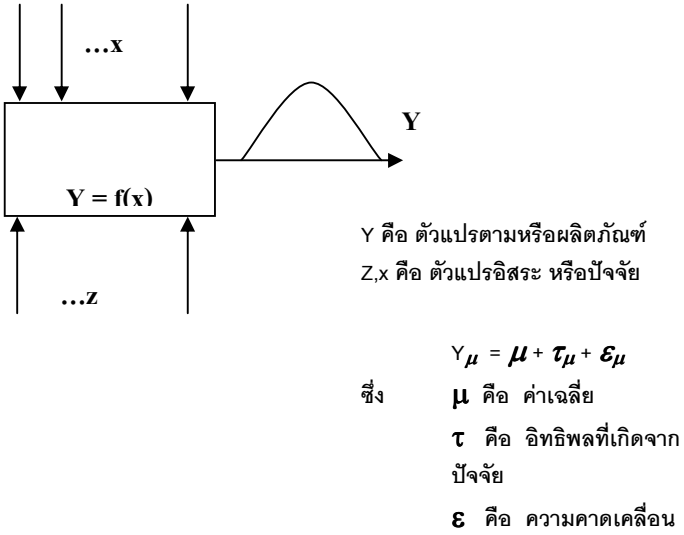
2.4.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments)

เป็นการออกแบบการทดลองเพื่อตรวจสอบว่าปัจจัย (Factor) ใด หรือตัวแปร (Input Variable) ใดมีผลต่อสิ่งที่ให้ความสำคัญหรือความสนใจในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา (Output Response)อย่างเช่นในการทดลองนี้ให้ความสำคัญและสนใจในผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์(ชิ้นงานเต็มแบบพิมพ์)

ปัจจัย (Factor) ในการผลิตสามารถแบ่งได้เป็น

1. ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการผลิต เช่น ในเรื่องของแม่พิมพ์ที่เราสามารถออกแบบหรือแก้ไขให้สมบูรณ์เพื่อลดปัจจัยที่มีผลต่อชิ้นงาน

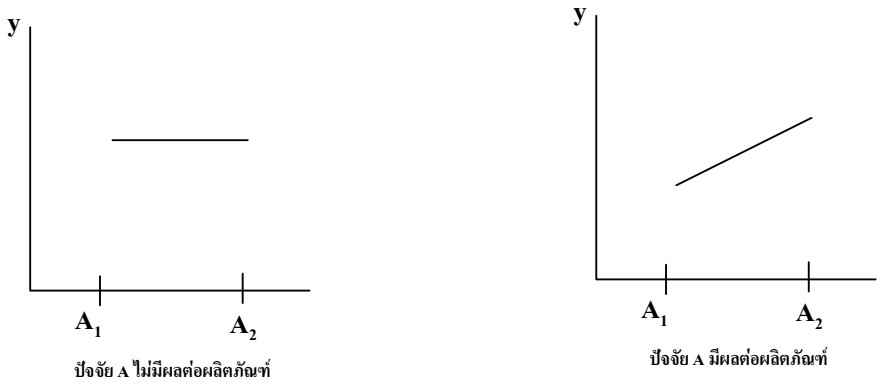
2. ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการผลิตอันเนื่องมาจากเทคโนโลยีไม่ทันสมัยพอต้นทุนในการควบคุมสูงมาก หรือไม่มีความสามารถควบคุมเพราะเกิดจากสภาพแวดล้อมในการผลิต เช่น พารามิเตอร์ของเครื่องฉีดนั้นมีหลายปัจจัยในการแก้ไขปัญหางาน อาจจะสามารถแก้ไขปัญหางานชนิดนี้ได้เฉพาะหน้าเท่านั้นเอง



ภาพที่ 2.25

ปัจจัย และพารามิเตอร์ของกระบวนการ

การออกแบบการทดลองเพื่อทำการวิเคราะห์ได้ว่าปัจจัยใดมีผลต่อผลิตภัณฑ์หรือไม่มีผลนั้นต้องทำการเปลี่ยนแปลงอย่างน้อย 2 ระดับ จากนั้นทำการทดลองจาก และวิเคราะห์ผลการทดลอง ตัวอย่างเช่น ให้ Y หมายถึง ค่าความเข้มข้นของสี ซึ่งสรุปผลเมื่อได้กราฟตัวอย่าง ดังนี้



ภาพที่ 2.26

กราฟแสดงอิทธิพลที่มีผล และอิทธิพลที่ไม่มีผลของปัจจัยต่อผลิตภัณฑ์

จากการเก็บข้อมูลของปัจจัยการฉีดชิ้นงานไม่เต็มพบว่า มีปัจจัยหลักๆ อยู่ 2 ปัจจัย

1. ความเร็วของการฉีด

2. ความดันการฉีด

ส่วนปัจจัยอื่น เช่น อุณหภูมิพลาสติก เพิ่มอัตราการป้อนพลาสติกเหลว ยังไม่ใช่เหตุผลหลักในการปรับปรุงพารามิเตอร์เกี่ยวกับปัญหาฉีดชิ้นงานไม่เต็ม

2.4.2 วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง

1. เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือ การพิสูจน์ถึงข้อเท็จจริง หรือความเชื่อจากประสบการณ์ หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต

2. เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ

2.4.3 คำจำกัดความ (Definition)

1. อิทธิพลหรือผล (Effect) หมายถึง ผลของตัวแปรต้น (ปัจจัยที่ทราบค่า สามารถกำหนดและเปลี่ยนแปลงได้) ที่มีต่อตัวแปรตาม (คุณลักษณะที่สามารถทราบได้หลังจากการทดลองในแต่ละครั้งหรือค่าที่ต้องการวัด)

2. ปัจจัย (Factor) หมายถึง คุณสมบัติใดๆ ที่คาดว่ามีอิทธิผลต่อผลการทดลองของคุณลักษณะในตัวผลิตภัณฑ์

3. ระดับของปัจจัย (Level of Factor) หมายถึง สภาวะต่างๆ ของปัจจัยหนึ่งๆ ที่ทำการกำหนดในการทดลอง ส่วนการทดลองนี้ได้เลือกความเร็วของการฉีดและความดันการฉีด

4. ปัจจัยรบกวน (Noise Factor) หมายถึง ปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบเล็กๆ น้อยๆ ในการทดลอง ที่ไม่ทราบลักษณะและไม่สามารถควบคุมได้

2.4.4 หลักในการออกแบบการทดลอง

(ก) การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ การทำให้โอกาสในการเก็บข้อมูลของข้อมูลในแต่ละการทดลองเท่าๆ กัน เพื่อกระจายผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ให้กับข้อมูลทุกระดับที่ศึกษาให้เท่ากัน โดยการทำการทดลองแบบสุ่มนี้ยังสามารถแบ่งออกได้อีก 3 วิธีคือ

1. การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete randomization)
2. การทำแบบสุ่มอย่างง่าย (Sample randomization)
3. การทำแบบสุ่มแบบสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete randomization within blocks)

(ข) การทำซ้ำ (Replication) คือ การทำการทดลองซ้ำในแต่ละข้อมูล เพื่อกำจัดเอาผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ออก

(ค) การบล็อก (Blocking) คือ การจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วงๆ เพื่อลดผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ แต่ไม่จำเป็นที่จะต้องมีการทำเสมอไป

2.4.5 ลำดับขั้นตอนในการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1. การนิยามปัญหา เป็นการระบุว่าความต้องการในการผลิตคืออะไร ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตคืออะไร ซึ่งการนิยามปัญหาในที่นี้ จะเกี่ยวโยงไปถึงวัตถุประสงค์ในการทดลอง

2. การเลือกปัจจัยที่มีผลและกำหนดระดับของปัจจัย เป็นการใช้หลักการทางทฤษฎีและประสบการณ์ที่เคยปฏิบัติมาในการผลิต เพื่อระบุว่ามีปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง และในแต่ละปัจจัยนั้น ควรจะมีช่วงในการทดลองอย่างไร เพื่อระบุระดับของปัจจัยในการทดลอง สุดท้าย คือ ระบุว่าระดับที่ใช้ควรเป็นแบบใด แบบกำหนด (Fixed levels), แบบสุ่ม (Random levels) หรือ แบบผสม (Mixed levels)

2.1 แบบกำหนด (Fixed levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุม หรือกำหนดค่าได้แน่นอน

2.2 แบบสุ่ม (Random levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน

2.3 แบบผสม (Mixed levels) หมายถึง การผสมผสานระดับของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนดได้ และแบบสุ่ม

3. การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response variables) ในการเลือกตัวแปรตอบสนองผู้ทำการทดลองจะต้องเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษา และการวัดค่านั้น จะต้องแม่นยำ รวมทั้งความถูกต้องของเครื่องวัดด้วย

4. การเลือกแบบการทดลอง จะต้องพิจารณาถึงจำนวนข้อมูล ที่ทำซ้ำในการทดลอง ความ ข้อจำกัดในการสุ่ม (Randomization) และการบล็อก (Blocking) ที่เกี่ยวข้องทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวโยงกันในกันในด้านความเสี่ยง รวมไปถึงต้นทุนที่ใช้ในการทดลองสำหรับการเลือกปัจจัยต่างๆ โดยได้สรุปต้นทุนของปัญหานี้มาดังนี้

Order	1,250,000	pcs./month
Block price	2.11	Baht/pcs.
Material price	483.53	Baht/kg.

สรุปการลดต้นทุนของปัญหาการฉีดชิ้นงานไม่เต็ม ประมาณ 80,000 บาท/เดือน

5. การทำการทดลอง ในขณะทำการทดลอง จะต้องปฏิบัติตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้นั่นคือ ต้องมีการสุ่ม การทำซ้ำ และข้อควรระวังในขณะทำการทดลองคือ โดยใช้เครื่องมือในการวัดและตรวจสอบชิ้นงานที่มีความเที่ยงตรงสูง ผ่านการตรวจสอบมีความถูกต้องของเครื่องมือวัดและความสม่ำเสมอในการทดลอง เพื่อให้ความผิดพลาด (Error) ที่ออกมามีน้อยที่สุด

6. การวิเคราะห์ข้อมูล ในการวิเคราะห์ข้อมูล จะใช้ความรู้ทางด้านสถิติเข้ามาวิเคราะห์และสรุปผล รวมทั้งตัดสินความถูกต้องของข้อมูลที่เกิดขึ้น ก่อนที่จะตีความข้อมูลพึงระลึกเสมอว่า วิธีทางสถิติไม่สามารถบอกได้ว่าปัจจัยใดมีผล (Effect) เท่าใดได้แน่นอน แต่เป็นเพียงเครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ภายใต้ความเชื่อมั่นเป็นเปอร์เซ็นต์ในการสรุปผล

7. สรุปผลและข้อเสนอแนะ เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว จะต้องสรุปผลของการวิเคราะห์ ซึ่งอาจแสดงในรูปของกราฟ ตาราง แผนภูมิ ฯลฯ และให้ข้อเสนอแนะ เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น และจะต้องนำข้อเสนอแนะนั้นไปทำการพิสูจน์และแก้ไขการทดลองให้ได้ข้อสรุปที่มีค่าแม่นยำที่สุด

2.4.6 หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล

2.4.6.1 การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-square) เป็นการวิเคราะห์ว่าการออกแบบที่ได้ออกแบบขึ้นมาในใช้ในการทดลองนั้น มีความเหมาะสมเพียงไร ซึ่งในการทดลองทุกครั้ง จะต้องมีความผันแปรที่อธิบายไม่ได้ (Unexplained variable) หรือความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ การออกแบบการทดลองที่ดีจะต้องทำให้เกิดความผันแปรที่อธิบายไม่ได้น้อยที่สุด

$$\text{การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-square)} = \frac{\text{ความผันแปรที่อธิบายได้ x 100\%}}{\text{ความผันแปรทั้งหมด}}$$

ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-square) ต่ำ สามารถแก้ไขโดย

1. เพิ่มจำนวนซ้ำในการทดลอง
2. ตรวจสอบหาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง แล้วออกแบบการทดลองใหม่
3. ถ้าทำการเพิ่มปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) ยังต่ำอยู่แสดงว่าผลจากปัจจัยรบกวน (Noise factor) มีมาก จึงควรทาการบล็อก (Blocking) เพื่อลดผลจาปัจจัยรบกวนให้น้อยที่สุด

2.4.6.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model adequacy checking)

จากสมการ $Y_\mu = \mu + \tau_\mu + \varepsilon_\mu$

ซึ่ง μ คือ ค่าเฉลี่ย

τ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย

ε คือ ความคาดเคลื่อน

ในการออกแบบการทดลองส่วนใหญ่ มักจะต้องสมมุติฐานในการวิเคราะห์จากการที่ y (ตัวแปรตอบสนอง) ให้มีการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal distribution) และในการที่ y จะมีการกระจายแบบนี้ ε (ค่าความคาดเคลื่อน) มีการกระจายแบบปกติ และต้องเป็นการกระจายที่เป็นอิสระด้วย คือมี ε_μ - NID $(0,\sigma^2)$

การตรวจสอบ ε_μ มี 3 ขั้นตอนคือ

1. การตรวจสอบการกระจายว่าเป็นการแจกแจงปกติ (Normal distribution) หรือไม่ โดย

- การทดสอบแบบไคร์สแควร์ (X^2 – goodness of fit test)
- การทดสอบแบบโคโกโมรอฟ- สเมอร์นอฟ (Kolgomorov-Smirnov test)

- การทดสอบโดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงปกติ (NOPP)

2. การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter plot) แล้วดูลักษณะการกระจายของจุดที่ใช้แทนข้อมูลบนแผนภูมิ ว่ามีการกระจายแบบอิสระหรือไม่

3. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรแรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย ซึ่งเป็นแผนภูมิการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อน (residual) ในแต่ละระดับปัจจัย ถ้ารูปร่างของการกระจายของข้อมูลที่ออกมาไม่เป็นลักษณะของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแปรปรวน (megaphone) แสดงว่า ข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability)

2.4.6.3 การตั้งสมมุติฐานในการตรวจสอบ (Hypothesis Testing)

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้วิธีทางสถิตินั้น จะมีความเสี่ยงเข้ามาเกี่ยวข้องอยู่ด้วยเสมอ ดังนั้นในการตรวจสอบ และวิเคราะห์ข้อมูลจึงต้องอยู่ภายใต้ความเสี่ยงดังกล่าว

การตั้งสมมุติฐานในการตรวจสอบ จะตั้งสมมุติฐานใน 2 ทางเลือก คือ

H_0 : ระดับของปัจจัยไม่มีผลต่อกระบวนการผลิต

H_1 : ระดับของปัจจัยมีผลต่อกระบวนการผลิต

ทั้งนี้ภายใต้ความเสี่ยงทั้ง 2 ชนิด คือ α และ β โดย

α หมายถึง ความเสี่ยงในการไม่ยอมรับสมมุติฐานหลัก (Null Hypotheses) ทั่งที่สมมุติฐานหลักเป็นจริง

β หมายถึง ความเสี่ยงในการยอมรับสมมุติฐานหลัก (Null Hypotheses) ทั่งที่สมมุติฐานหลักไม่เป็นจริง

และจากความเสี่ยงทั้งของทั้ง 2 แบบนี้เอง จึงต้องมีการกำหนดจำนวนซ้ำของการทดลองไว้ เพื่อให้มีความเชื่อมั่น หรือมีความเสี่ยงในการยอมรับข้อมูล ตามที่กำหนดไว้ และในการวิเคราะห์ ก็มักจะกำหนดให้ค่าของ α มีค่าคงที่ และค่าของ β ให้มีค่าน้อยที่สุด

การตั้งสมมุติฐาน แบ่งออกได้เป็น 2 กรณี

1. กรณีของรูปแบบกำหนด จะเป็นการตรวจสอบว่า ปัจจัยมีผลต่อกระบวนการหรือไม่ ดังนั้นสมมุติฐานที่ตั้ง คือ

H_0 : ปัจจัยไม่มีผลต่อกระบวนการผลิต

H_1 : ปัจจัยมีผลต่อกระบวนการผลิต

หรือเขียนในรูปแบบสัญลักษณ์ เมื่อ τ คืออิทธิพลของปัจจัย คือ

H_0 : $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \ldots = \tau_a = 0$

H_1 : $\tau_1 \neq 0$

2. กรณีของรูปแบบสุ่ม จะเป็นการตรวจสอบว่า ความแปรปรวน (σ^2) จะมีค่าเท่ากับศูนย์หรือไม่เพราะไม่สามารถหาค่าอิทธิพล (effect) ที่เกิดขึ้นแน่นอนได้ ดังนั้นสมมุติฐานคือ

H_0 : $\sigma^2 = 0$

H_1 : $\sigma^2 \neq 0$

2.4.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)

ผู้ที่นำวิธีการนี้มาใช้ คือ ฟิชเชอร์ (Fisher) ซึ่งวิธีการนี้จากหลักการที่ว่า ในพิจารณาอิทธิพลของปัจจัย ให้วิเคราะห์ที่ความแตกต่าง โดยวัดความแตกต่างรวมออกมาในรูปของความแปรปรวน (Variance) แล้วแตกออกมาเป็นความแตกต่างย่อย แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างย่อยเหล่านั้น หากความแตกต่างใดมีค่ามากกว่า แสดงว่า ปัจจัย หรือระดับของปัจจัย ที่ทำให้เกิดความแตกต่างนั้น มีผลต่อคุณสมบัติที่ทำการวัด โดยตัวที่ประมาณค่าความแปรปรวน (Variance) ที่ดีที่สุด คือค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square, MS) ซึ่ง

$$MS = \frac{SS}{df}$$

เมื่อ SS คือ ผลรวมกำลังสอง (Sum of Square)

$$F = \frac{Var\ (tr)}{Var\ (E)}$$

และ df คือ ขั้นของความอิสระ (degree of freedom) จากนั้นจะเปรียบเทียบค่าความแปรปรวนโดยที่

Var (tr) คือ ความแปรปรวนของทรีทเมนต์

Var (E) คือ ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน

และจากการใช้การกระจายแบบแจกแจงเอฟ (F-distribution) เป็นตัวทดสอบ ดังนั้นจึงต้องใช้ ε_μ - NID (0,σ^2)

2.4.8 การเลือกแบบการทดลอง

ก. แผนการทดลองแบบสมบูรณ์ (Complete Randomized Design)

- ใช้กับการทดลองปัจจัยเดียว (Single factor experiment)
- ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้มีขนาดไม่มากนัก และไม่มีปัจจัยรบกวน

การทดลองจะทำโดยยึดหลักการทดลองแบบสุ่ม (Randomization) และการดำเนินการทำซ้ำ (Replication)

ข. แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม (Randomized Complete Block Design)

ใช้กับการทดลองที่มีปัจจัยเดียว และทราบว่ามีปัจจัยรบกวน (Nuisance factor) อยู่ในการทดลองโดยมีหลักการดังนี้

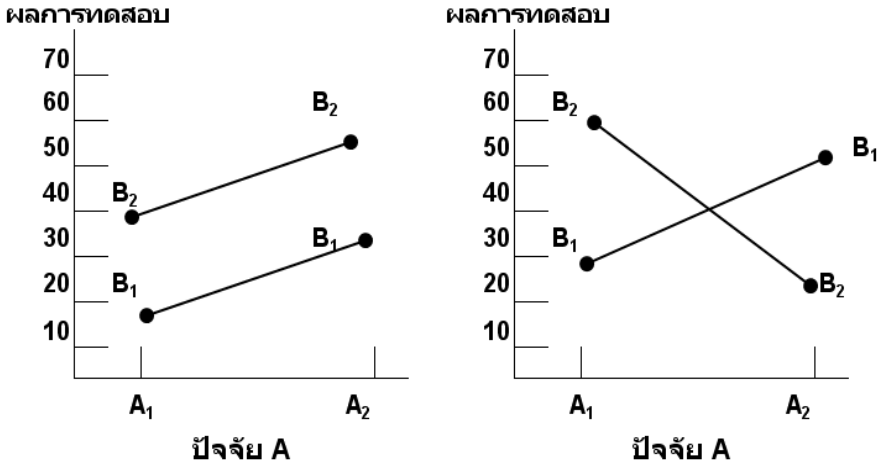
1. ทำการสุ่มทดลองทุกครั้ง (Random)

2. ทำการทดลองซ้ำตามจำนวนซ้ำที่กำหนด (Replicate)

3. ทำการบล็อก (Blocking) เพื่อลดปัจจัยรบกวน ซึ่งอาจจะทำการบล็อกมากกว่าหนึ่งบล็อกก็ได้ขึ้นกับรูปแบบของการทดลอง

ค. แผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Design)

ใช้กับการทดลองที่มีปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัย ซึ่งเป็นการทดลองที่มีหลายปัจจัย (Multiple factor experiment) ดังนั้นนอกจากจะเกิดอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main effect) ยังอาจเกิดอิทธิพล (effect) ของอีกปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงด้วย ดังแสดงตัวอย่างการเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วมหรือ ปฏิสัมพันธ์ดังภาพที่ 27 ผลของอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่เกิดขึ้นต่อผลการทดสอบ



(1) ไม่มีผลของอิทธิพลของปัจจัยร่วม (2) มีผลของอิทธิพลของปัจจัยร่วม

ภาพที่ 2.27

ผลของอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่เกิดขึ้นต่อผลการทดสอบ

แผนกทดลองแบบแฟกทอเรียลทั่วไป (Factorial Design) มีรูปแบบทั่วๆ ไปคือ AxBxCx…แฟกทอเรียล เช่น 3x2x2 แฟกทอเรียล รูปแบบของแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่สำคัญ ได้แก่

1. 2^k แฟกทอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยเพียงแค่ 2 ระดับ ในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย เช่น 2^2 แฟกทอเรียล, 2^3 แฟกทอเรียล เป็นต้น

2. 3^k แฟกทอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยไว้เพียง 3 ระดับ ในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย เช่น 3^2 แฟกทอเรียล, 3^3 แฟกทอเรียล เป็นต้น

เหตุที่ใช้ เนื่องจากการทดลองแบบ 2^k แฟกทอเรียล นั้นเหมาะสมกับรูปแบบ (Model) ที่มีความเป็นเส้นตรง (Linearity) จึงมีความถูกต้องในการตีความข้อมูลได้อย่างถูกต้อง

2.4.9 หลักการและแนวคิดเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพ

2.4.9.1 การควบคุมคุณภาพ

คุณภาพ (Quality) หมายถึง ความเหมาะสมสำหรับการใช้งาน (Fitness for use) สามารถตอบสนองความต้องการและสร้างความพึงพอใจแก่ลูกค้า (Customer Satisfaction) สำหรับความต้องการของลูกค้าโดยทั่วไปจะกำหนดด้วยข้อกำหนด (Specification) หรือมาตรฐาน (Standard) นั่นคือ คุณภาพเป็นความหมายที่รวมถึงคุณลักษณะและคุณสมบัติเชิงคุณภาพทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามข้อกำหนด ความต้องการและความคาดหวังของลูกค้า

การควบคุมคุณภาพ (Quality Control) ตามความหมายของมาตรฐาน MIL-STD-109 กล่าวว่า การควบคุมคุณภาพ คือ การปริหารงานในด้านการควบคุมวัตถุดิบและควบคุมการผลิต เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จออกมามีข้อบกพร่องและเสียหายได้

และเนื่องจากระบบการผลิตได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ วัตถุดิบ กระบวนการผลิต และผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป การควบคุมคุณภาพในระบบการผลิตจึงจำแนกออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. การควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ
2. การควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิต
3. การควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

วัตถุประสงค์ในการควบคุมคุณภาพ คือ การผลิตสินค้าที่มีคุณภาพหรือมีคุณสมบัติตรงตามที่ลูกค้าต้องการอย่างสม่ำเสมอ โดยอยู่ภายใต้ต้นทุนและเวลาที่เหมาะสมตามแนวทางการบริหารงานสมัยใหม่ที่สร้างความพึงพอใจให้แก่ลูกค้า นั่นก็คือการมอบคุณภาพของสินค้า ดังนั้นไม่ว่าธุรกิจหรืออุตสาหกรรมใดจึงให้ความสำคัญต่อกิจกรรมการจัดการระบบควบคุมคุณภาพ

2.4.9.2 การควบคุมคุณภาพเพื่อการยอมรับ

การควบคุมคุณภาพเพื่อการยอมรับสามารถจำแนกได้ 4 ประเภท (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2543) ดังนี้

1. การตรวจสอบแบบ 100% หมายถึง การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ทีละหน่วย ทุกๆ หน่วย

2. การตรวจสอบเป็นครั้งคราว (Spot-check Inspection) หมายถึง การตรวจสอบแบบเลือกตามใจชอบโดยมิได้วางอยู่บนเกณฑ์ด้านวิทยาศาสตร์ ได้แก่ การตรวจสอบชิ้นงานชิ้นแรก (First-Item Inspection) , การตรวจสอบชิ้นงานชิ้นสุดท้าย (End-Item Inspection) และการตรวจสอบแบบเดินตรวจหรือลาดตระเวน (Patrol Inspection) เป็นต้น

3. การให้คำรับรอง (Certification) หมายถึง การควบคุมคุณภาพเพื่อการยอมรับโดยการให้วิศวกรหรือสถาบันที่ลูกค้าให้การยอมรับเป็นผู้ออกประกาศนียบัตรรับรองคุณภาพให้ ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยยังมีสถาบันดังกล่าวไม่มากนักและโดยส่วนใหญ่จะเป็นสถาบันทางราชการ

4. การชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับ(Acceptance Sampling) หมายถึง การตรวจสอบสิ่งตัวอย่าง (Sample) ที่เลือกขึ้นมาจากงานทั้งหมด โดยวิธีการทางสถิติด้วยกฎของความน่าจะเป็น (Propability) และอาศัยคุณลักษณะของสิ่งตัวอย่างที่ตรวจสอบ ได้ในการอธิบายคุณ ลักษณะของชิ้นงานทั้งหมดที่ต้องการตัดสินใจ

2.4.9.3 การตรวจสอบคุณภาพ (Inspection)

Juran และ Gryna (Juran, J. M., 1993, p. 12 อ้างถึงใน กิตติศักดิ์ พลอยวานิชเจริญ, 2541, หน้า 159) กล่าวสรุปไว้ว่า การตรวจสอบเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นจะต้องมีในระบบควบคุมคุณภาพ โดยทั่วไปการตรวจสอบมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการตัดสินใจยอมรับ วัตถุดิบ ชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในวัตถุประสงค์อื่นๆ ได้แก่ เพื่อวัดความถูกต้องของการตรวจสอบการวัดผลกระบวนการผลิตหรือการตัดสินคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์

การตรวจสอบเป็นกระบวนการ เพื่อค้นหาปัญหาหรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น ซึ่งถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการแก้ไขปัญหาและหาแนวทางในการป้องกันปัญหาเหล่านั้น การตรวจสอบมาจากการเฝ้าดู วัด และทำการทดสอบต่างๆทั้งนี้เพื่อควบคุมให้ได้ผลิตภัณฑ์ตรงตามมาตรฐานและคุณภาพที่ตั้งไว้ เป้าหมายของการตรวจสอบคือ พยายามรักษาระดับคุณภาพให้อยู่

ในระดับมาตรฐานที่กำหนดไว้ และหากไม่สามารถจะทำการตรวจสอบได้ครบถ้วนสมบูรณ์ ก็พยายามควบคุมคุณภาพให้ความผันแปรอยู่ภายในขอบเขตอันหนึ่งที่พอจะยอมรับได้

โดยทั่วไปจะสามารถพิจารณาจุดตรวจสอบต่างๆ ได้ดังนี้

1. การตรวจรับวัตถุดิบจากผู้ผลิตหรือผู้ขาย (Vendor Inspection)
2. การเริ่มต้นการปฏิบัติการ หรือระหว่างการตั้งเครื่อง (Setup Inspection)
3. การเคลื่อนย้ายสินค้าจากหน่วยงานหนึ่งไปยังอีกหน่วยงานหนึ่ง (Inspection in Process)
4. กระบวนการที่ต้องคำนึงถึงเรื่องคุณภาพมาก หรือกระบวนการที่มีค่าใช้จ่ายสูง
5. กระบวนการที่จำเป็นต้องควบคุมคุณภาพ
6. เมื่อดำเนินการผลิตเรียบร้อยแล้วทุกขั้นตอนการผลิต (Finish goods Inspection) ลักษณะการตรวจสอบ

ลักษณะของการตรวจสอบสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ ดังนี้

1. การตรวจสอบแบบตามตัวแปร

เป็นการตรวจสอบเพื่อการควบคุมลักษณะที่สามารถวัดได้ของชิ้นส่วน ซึ่งแปรผันให้อยู่ในขอบเขตอันหนึ่ง เช่น การวัดขนาด ความแข็งแรง ความเร็ว เป็นต้น

2. การตรวจสอบแบบดี – เสีย

เป็นการตรวจสอบเพื่อการควบคุมลักษณะของชิ้นส่วนที่ไม่สามารถวัดได้ในเชิงปริมาณ เช่น การตรวจสอบการใช้งานของหลอดไฟว่าติด หรือดับ เป็นต้น

3. การตรวจสอบแบบตามจำนวนตำหนิ

เป็นการตรวจสอบเพื่อการควบคุมตำหนิบนชิ้นส่วนให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด เช่น จำนวนตำหนิบนตัวถังรถยนต์ ตำหนิบนเนื้อผ้า จำนวนฟองอากาศในแก้ว เป็นต้น

ซึ่งในการทดลองนี้ได้ใช้การตรวจสอบแบบตามจำนวนตำหนิ คือ ชิ้นงานที่ฉีดไม่เต็ม โดยมีระดับของชิ้นงานที่ยอมรับได้และไม่ได้ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยสายตาผ่านกล้อง Measure Scope

2.4.9.4 ขั้นตอนการดำเนินการควบคุม

สามารถสรุปการดำเนินการควบคุมคุณภาพได้ 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. กำหนดมาตรฐานคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำการควบคุม
2. การเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ กับมาตรฐานคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดไว้ว่าได้ผลตามมาตรฐานคุณภาพที่ต้องการหรือไม่

3. การเก็บข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาและสาเหตุต่างๆ ที่เกิดขึ้น จากฝ่ายต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์และทำการแก้ไขปรับปรุงการผลิตต่อไป

4. การวางแผนการปรับปรุง เป็นขั้นตอนในการพัฒนาปรับปรุงมาตรฐานต่างๆ ทั้งส่วนของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต เป็นต้น เพื่อเพิ่มระดับคุณภาพให้สูงระดับที่ดีกว่าเดิม

2.4.9.5 QC Tools (แบบเก่า)

เครื่องมือทางด้านการควบคุมคุณภาพ (QC) ใช้เป็นกลวิธีในการวิเคราะห์และแก้ปัญหาภายใต้หลักการ 2 ประการ คือ

1. ทำง่าย

2. สามารถประยุกต์ใช้ได้หลายแบบ

เพราะฉะนั้นจึงได้รวบรวมมาเป็นเครื่องมือ 7 อย่างและสามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่มประยุกต์ คือ

1. เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ความเสถียรของข้อมูล เพื่อเป็นการศึกษาหรือยกตัวอย่าง เพื่อดูว่าประชากรหรือตัวอย่างที่กำลังศึกษาได้รับการทำให้เป็นมาตรฐานหรือไม่

2. เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ความผันแปร เพื่อเป็นการวิเคราะห์ความผันแปรของข้อมูล และแยกสาเหตุที่เป็นปกติและไม่ปกติออกจากกัน

3. เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์เหตุและผล เป็นลักษณะเชิงพรรณนา เช่น การกำหนดสมมติฐานของสาเหตุ การพิสูจน์เหตุและผล

2.4.9.6 ใบตรวจสอบ (Check Sheet)

ใบตรวจสอบเป็นเอกสารที่อยู่ในรูปของตาราง แบบฟอร์มหรือแผนภาพใดๆที่ออกแบบได้ง่ายต่อการจดบันทึกข้อมูล การจำแนกข้อมูลและการวิเคราะห์ผล หรืออาจจะมีลักษณะเป็นตารางแสดงรายละเอียดต่างๆ ที่ต้องการตรวจสอบไว้พร้อมแล้วสามารถนำไปใช้งานโดยไม่ต้องกรอกรายละเอียดใหม่ เพียงแต่กาเครื่องหมายลงในช่องที่ตรงกับรายละเอียดที่จัดไว้เท่านั้น

เราสามารถแบ่งชนิดของใบตรวจสอบได้เป็น 3 ลักษณะดังนี้

1. ใบตรวจสอบแสดงลักษณะการกระจายของข้อมูลจากกระบนการผลิต

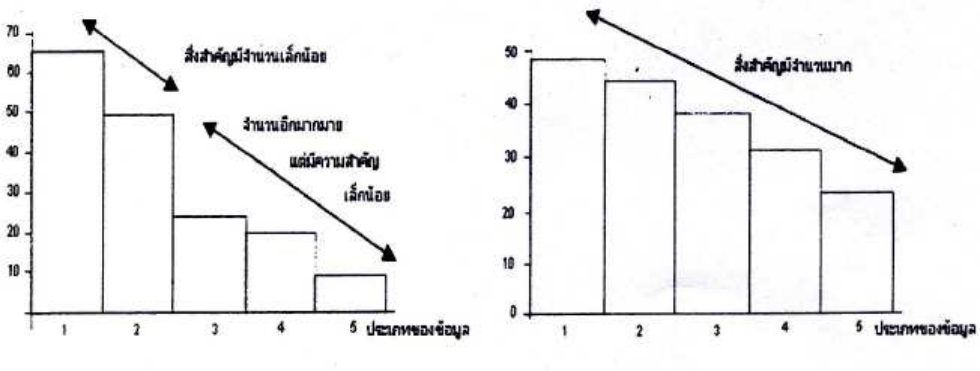
2. ใบตรวจสอบแสดงจำนวนข้อบกพร่องหรือรอยตำหนิ

3. ใบตรวจสอบตำแหน่งข้อบกพร่องหรือรอยตำหนิ

2.4.9.7 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram)

แผนภูมิพาเรโต คือ กราฟแท่งที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นหรืออาการบกพร่องกับจำนวนที่เกิดขึ้น โดยพิจารณาสาเหตุที่สำคัญสูงสุดไปยังน้อยสุด

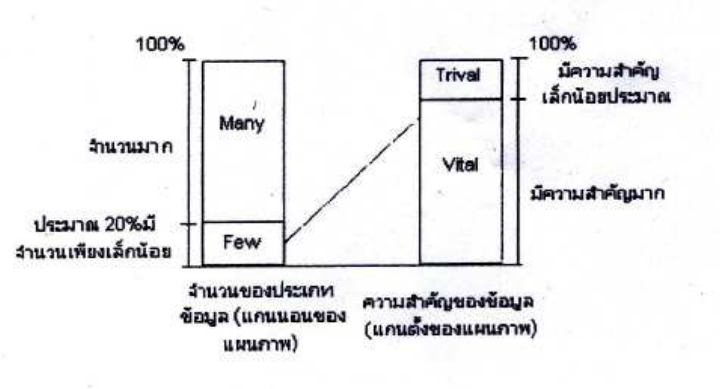
โจเซพ จูราน พบว่า “ถ้าข้อมูลอยู่ในสภาวะเสถียรแล้ว ข้อมูลที่มีความสำคัญมากจะมีจำนวนเพียงเล็กน้อย (Vital Few) ในขณะที่ข้อมูลที่เหลืออีกจำนวนมากมายจะมีความสำคัญเพียงเล็กน้อย (Trival Many)” และเขาเรียกหลักการที่ศึกษาพบนี้ว่า “หลักการพาเรโต (Pareto Principles)” โดยแยกความผันแปรในข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ความมีเสถียรสำหรับการเลือกประเภทของข้อมูลนี้ ดร. จูราน ได้เรียกชื่อว่า “แผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram)”



ภาพที่ 2.28

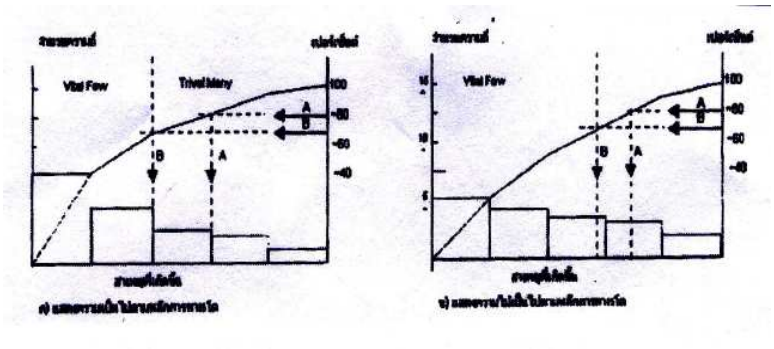
แผนภาพพาเรโตแสดงถึงความเป็นปกติหรือมีเสถียรภาพของข้อมูล

ดร. โจเซฟ จูราน พบว่าตัวแบบของความมีเสถียรภาพของข้อมูลนั้นจะมีลักษณะที่ข้อมูลที่มีความสำคัญมาก (โดยประมาณ 80% ที่ได้จากทั้งหมด) จะมาจากประเภทของข้อมูลจำนวนเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 20% ของประเภทข้อมูลทั้งหมด) จะมีความสำคัญเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 20% ของตัววัดความสำคัญทั้งหมด) บางตำราจะเรียกกฎสำหรับหลักการพาเรโตนี้ว่า “กฎ 80-20” ซึ่งเป็นเพียงแค่ต้องการให้เข้าใจได้โดยง่าย โดยให้รวมกันได้เท่ากับ 100 โดยแท้จริงแล้วอาจแสดงเป็น 80-25 หรือ 75-30 ก็ได้ซึ่งสามารถอธิบายตัวอย่างง่ายๆ โดยกราฟ



ภาพที่ 2.29
แแผนภาพพาเรโตที่เป็นไปตามหลักการพาเรโต

เพื่อวิเคราะห์ความหมายตามหลักการของพาเรโตด้วยแผนภาพพาเรโตนั้น จะมีความง่ายขึ้นถ้าหากมีการใช้เส้นกราฟแสดงค่าสะสมของข้อมูลทุกประเภทแล้วประยุกต์ใช้กฎ 80 - 20



ภาพที่ 2.30
แผนภาพพาเรโตที่แสดงค่าสะสมของข้อมูล

โดยแผนภูมิพาเรโตที่จะใช้วิเคราะห์แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. แผนภูมิพาเรโตจากปรากฏการณ์ (หรือผลของปัญหา) เขียนขึ้นจากการตรวจสอบหาประเภทต่างๆ ของปรากฏการณ์ ความบกพร่องต่างๆ ที่เป็นสิ่งที่ไม่ปรารถนาในการผลิต

2. แผนภูมิพาเรโตจากสาเหตุของปัญหา ผังชนิดนี้จะพบมากในการผลิต ใช้บอกที่มาหรือจุดที่เป็นต้นตอของความบกพร่องใดๆ ที่เกิดขึ้นและตรวจพบ

2.4.9.8 แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

แผนภูมิควบคุมเป็นเครื่องมือที่ใช้เพื่อตรวจจับหาข้อบกพร่องที่เป็น แบบเรื้อรังและแบบเฉียบพลัน เป็นการตรวจจับจุดค่าวัดเกิดขึ้นทันทีทันใด ณ เวลาใดๆ ที่ผิดไปจากค่าขอบเขตควบคุม และเป็นการจับแนวโน้ม (Trend) หรือวัฏจักรการเกิดความผิดปกติต่างๆ จึงทำให้สามารถติดตามผลที่ เกิดขึ้นในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งของกระบนการได้ตลอดเวลาและสามารถวิเคราะห์หาสเหตุเพื่อแก้ไขได้ทันท่วงที

แผนภูมิควบคุมเป็นแผนภูมิที่มีโครงสร้างประกอบด้วยเส้นควบคุม 3 เส้น ได้แก่ เส้นค่ากลาง (Center Line : CL) คือ เส้นที่แสดงจำนวนหรือขนาดของข้อกำหนดหรือเป้าหมายการผลิตและเส้นควบคุมอีก 2 เส้น ได้แก่ ขีดจำกัดควบคุมบน (Upper Control Limit : UCL) และขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower Control Limit : LCL) คือ เส้นขอบเขตของการควบคุมค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดที่ยอมให้เกิดขึ้น ถ้าผลผลิตที่ได้มีค่าที่กำหนดอยู่ภายในขอบเขตการควบคุมระหว่าง 2 เส้นนี้ แสดงว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ หากว่าค่าดังกล่าวอยู่นอกขอบเขตการควบคุม จะถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับไม่ได้ และต้องมีการวิเคราะห์สาเหตุเพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าวต่อไป

แผนภูมิควบคุมเชิงปริมาณหรือ เป็นข้อมูลที่ได้จากการวัด เรียกว่า Variable Control Chart โดยทั่วไปนิยมใช้กัน 2 อย่างคือ แผนภูมิ X bar – R chart สำหรับข้อมูลแบบกลุ่ม และ X-MR สำหรับข้อมูลเชิงเดี่ยว

1. แผนภูมิ X bar เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมตรวจสอบและบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ว่าอยู่ในสภาพปกติหรือไม่

2. แผนภูมิ R chart เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมตรวจสอบและบอกถึงการเปลี่ยนแปลงค่าพิสัย (Range) องผลิตภัณฑ์ว่าอยู่ในสภาพปกติหรือไม่

3. แผนภูมิ X chart เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมคุณสมบัติที่วัดได้จากผลิตภัณฑ์

4. แผนภูมิ MR chart เป็นแผนภูมิที่ใช้เพื่อควบคุมค่าการกระจายของคุณสมบัติที่วัดด้วยค่าพิสัย

แผนภูมิควบคุมเชิงคุณลักษณะ หรือเป็นข้อมูลที่ได้จากการตรวจนับ เรียกว่า Attribute Chart โดยแบ่งอกได้เป็น 2 ชนิดคือ

1 แผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสีย P chart และแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสีย NP chart เป็นแผนภูมิที่ตรวจสอบโดยการสุ่มตัวอย่าง แล้วระบุจำนวนของดีหรือของเสียในกระบวนการผลิตว่าอยู่ในสภาพปกติหรือไม่

2 แผนภูมิควบคุมจำนวนตำหนิ C chart เป็นแผนภูมิที่ใช้ตรวจสอบโดยการนับจำนวนข้อตำหนิที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์นั้นมีความซับซ้อนหรือมีข้อกำหนดมากมาย การจะระบุว่าเป็นของดีหรือของเสียทำได้ยากหรือมีค่าใช้จ่ายสูงสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูง แผนภูมิจำนวนตำหนิ ได้แก่ แผนภูมิ C chart เมื่อจำนวนตัวอย่างกลุ่มย่อยที่มีค่าคงที่และเท่ากับ 1 หน่วย และ U chart ใช้ในกรณีที่จำนวนหน่วยตัวอย่างของกลุ่มย่อยมีค่ามากกว่า 1 หน่วย

สรุปลักษณะที่สำคัญของแผนภูมิควบคุม มีลักษณะคล้ายกราฟเส้นตรง แต่เนื่องมาจากมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเฝ้าติดตามดูความผันแปรของค่าของข้อมูล จึงมีองค์ประกอบเพิ่มเติม ได้แก่

1. เส้นพิกัดด้านบน (Upper Control Limit: UCL)
2. เส้นพิกัดด้านล่าง (Lower Control Limit: LCL)
3. เส้นกลาง (Center Line: CL)

ถ้าข้อมูลอยู่ภายใต้ความผันแปรตามธรรมชาติ ข้อมูลจะมีพฤติกรรมแบบสุ่มรอบๆ เส้นกลางและมีขนาดของความผันแปรอยู่ภายใต้พิกัดด้านบนและพิกัดด้านล่าง

2.4.9.9 กราฟต่างๆ (Graphs)

กราฟคือเครื่องมือสำหรับใช้แสดงข้อมูลที่เป็นตัวเลขออกมาให้เห็นเป็นภาพเพื่อสะดวกในการวิเคราะห์ข้อมูลที่เป็นตัวเลขทุกประเภทโดยนำเสนอในรูปแบบ กราฟได้ กราฟที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย เช่น กราฟเส้น กราฟแท่ง เป็นต้น

2.4.9.10 ฮิสโตแกรม (Histogram)

ฮิสโตแกรม เป็นแผนภูมิที่แสดงความถี่ของสิ่งที่เกิดขึ้นโดยแสดงเป็นกราฟแท่งสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างเท่ากันและมีด้านข้างติดกัน ประโยชน์ของฮิสโตแกรม

1. เพื่อศึกษาว่าข้อมูลชุดหนึ่งมีการกระจายตัวมากน้อยเพียงไร อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้มากน้อยเพียงไร

2. ใช้ในการคำนวณหาค่าทางสถิติของข้อมูลชุดนั้น อาทิ ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3. จากค่าของขอบเขตที่ยอมรับได้ และค่าทางสถิติที่ยอมรับได้ทำให้สามารถระบุค่าดัชนีวัดค่าความสามารถของกระบวนการ (ProcessCapability Index :Cp) ได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการเทียบเคียง (Benchmarking) และการปรับปรุงกระบวนการอย่างไร

4. ใช้ตรวจสอบประสิทธิผลของการปรับปรุง

2.4.9.11 ผังก้างปลาหรือผังเหตุและผล (Fishbone Diagram)

ผังก้างปลาเป็นแผนภูมิที่ใช้ต่อจากแผนภูมิพาเรโต กล่าวคือ หลังจากตัดสินใจที่จะเลือกแก้ไขปัญหาใดจากการทำแผนภูมิพาเรโต แล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการระดมความคิดเพื่อแก้ปัญหาที่เลือกมา โดยแสดงผลของสาเหตุของปัญหาไว้ที่ปลายของแผนภูมิและระหว่างที่จะถึงปลาย ของแผนภูมิจะแสดงสาเหตุต่างๆของปัญหาที่เกิดขึ้น โดยมีหลักการเขียนคือ กำหนดปัญหาที่ต้องแก้ไขและเขียนต้นเหตุของปัญหาที่เป็นสาเหตุของ ปัญหาเล็กๆแตกแยกแขนงออกจากเส้นตามแนวแกนนอน โดยเริ่มจากต้นเหตุใหญ่ของปัญหา ซึ่งโดยทั่วไปจะประกอบด้วย

1. คน (Man)
2. เครื่องจักร (Machine)
3. วัสดุ (Material)
4. วิธีการทำงาน (Method)
5. สภาพแวดล้อม (Environment)

2.4.9.12 แผนผังการกระจาย

แผนผังการกระจายคือ ผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของ 2 ตัวแปร ที่นำเสนอในรูปกราฟ 2 แกน (แกนนอนและแกนตั้ง) ทั้งนี้เมื่อทำการลงจุดของค่าวัดในกราฟที่เป็นตัวแทนของความสัมพันธ์กันแล้ว สามารถทำให้บอกได้ว่าตัวแปรที่กำลังศึกษาทั้งสองสิ่งนั้นมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ หากมีความสัมพันธ์กันจะเป็นความสัมพันธ์รูปแบบใด

<u>เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบต่อคุณภาพ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA)</u>

การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบต่อคุณภาพ เป็นวิธีการในการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบของระบบการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตหรือบริการ โดยเป็นแนวทางในการป้องกัน (Preventive Approach) ที่ใช้สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต โดยพิจารณาความเป็นได้ในการเกิดข้อบกพร่อง และทำการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องที่เป็นไปได้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิต เพื่อค้นหาสาเหตุและผลกระทบจากข้อบกพร่องนั้นๆ หลังจากนั้นก็ทำการกำหนดวิธีการตรวจสอบและบ่งชี้

ข้อบกพร่อง ประเมินโอกาสการตรวจพบลักษณะข้อบกพร่อง และทำการกำหนดวิธีการเกิดขึ้นอีกของข้อบกพร่องนั้นๆ ในการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบของข้อบกพร่องของการออกแบบและกระบวนการนั้นๆ จัดทำเป็นตารางที่มีคะแนนความเสี่ยงสูงเพื่อนำมาจัดลำดับว่าควรจะปรับปรุงการออกแบบหรือกระบวนการใดก่อน โดยมีจุดมุ่งหมายในการปรับปรุง คือลดคะแนนความเสี่ยงของข้อบกพร่องแต่ละข้อลง

ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบ หรือการทำ FMEA มีจุดประสงค์ คือ การป้องกันข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นโดยทำการแยกแยะและบ่งชี้ลักษณะความเสี่ยงของการออกแบบและกระบวนการผลิต มีความพยายามลดโอกาสในการเกิดข้อบกพร่อง ลดความรุนแรงของผลอันเกิดจากลักษณะข้อบกพร่อง และนำผลจากการวิเคราะห์ที่ได้นำไปใช้ในการปรับปรุงการออกแบบและกระบวนการผลิต ผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้จากการวิเคราะห์ คือ แผนปฏิบัติการเพื่อกำจัดหรือลดข้อบกพร่องทางกายภาพของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตโดยการคำนึงถึงลำดับก่อนหลังของความสำคัญของปัญหา การทำวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบมีลักษณะเป็นกระบวนการแบบเป็นระบบหรือ Systematic Technique มีการทำงานเป็นทีมและใช้ความรู้จากบุคลากรที่มีประสบการณ์จากทุกฝ่ายขององค์กรช่วยทำการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น

ต้นทุนคุณภาพ

ต้นทุนคุณภาพ หมายถึง ต้นทุน ค่าใช้จ่าย และสิ่งต่างๆ ที่ต้องจ่ายไป เนื่องจากการเกิดคุณภาพที่ไม่ดี และพยายามที่จะรักษาคุณภาพของสินค้าและบริการให้ได้คุณภาพตามต้องการ โดยต้นทุนคุณภาพจะกระจายอยู่ในทุกๆกิจกรรมขององค์การ เช่น ฝ่ายจัดซื้อ ฝ่ายขาย ฝ่ายผลิต ฝ่ายออกแบบ หรือฝ่ายบริการ เป็นต้น นอกจากนั้นของที่ชำรุด ของที่ต้องซ่อมแซมใหม่ล้วนแต่เป็นต้นทุนคุณภาพทั้งสิ้น และยังมีต้นทุนที่วัดออกมาเป็นตัวเงินไม่ได้ ได้แก่ ความไม่พึงพอใจของลูกค้า ความเสียชื่อเสียงขององค์กร ก็จัดว่าเป็นต้นทุนคุณภาพด้วย

ประเภทและองค์ประกอบของต้นทุนคุณภาพ

การแบ่งประเภทของต้นทุนคุณภาพที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย คือ การแบ่งประเภทของต้นทุนคุณภาพออกเป็น 3 ประเภทตาม PAF Model ของ Feigenbaum คือ ต้นทุนการป้องกัน (Prevention Cost) ต้นทุนการตรวจสอบ การวัด และการประเมินผล (Appraisal Cost) และต้นทุนความล้มเหลว (Failure Cost)

1. **ต้นทุนการป้องกัน** (Prevention Cost) หมายถึง ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการทำกิจกรรมต่างๆ เพื่อป้องกัน หรือลดความเสี่ยงของการเกิดข้อบกพร่องในการผลิต ต้นทุนทางด้านนี้รวมอยู่ในหน่วยงานทางด้านการออกแบบเครื่องมือและระบบเพื่อคงไว้ซึ่งคุณภาพ เช่น ต้นทุนการออกแบบคุณภาพ ต้นทุนการวางแผนคุณภาพ ต้นทุนการฝึกอบรมพนักงานในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพ ต้นทุนการบำรุงรักษาเครื่องจักร เป็นต้น ค่าใช้จ่ายเหล่านี้วัดได้จากการลงทุนก่อนที่จะผลิตสินค้า

2. **ต้นทุนการตรวจสอบ การวัด และการประเมินผล** (Appraisal Cost) หมายถึง ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการทำกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวัด การประเมิน การตรวจสอบ การตรวจติดตามการทดสอบผลิตภัณฑ์หรือบริการ เพื่อสร้างความมั่นใจว่า ผลิตภัณฑ์หรือบริการที่ได้ตรงตามมาตรฐานของคุณภาพ และความต้องการของลูกค้า เช่น ต้นทุนการสอบเทียบเครื่องมือวัด ต้นทุนการตรวจสอบวัตถุดิบ สินค้าระหว่างผลิต และสินค้าสำเร็จรูป หรือต้นทุนในการตรวจสมรรถนะของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ การปรับตั้งเครื่องจักรอุปกรณ์ ตรวจผลิตภัณฑ์ระหว่างผลิต เป็นต้น

3. **ต้นทุนความล้มเหลว** (Failure Cost) หมายถึง ต้นทุนที่เกิดขึ้นมาจากความบกพร่องในการดำเนินงาน หรือผลิตภัณฑ์หรือบริการไม่เป็นไปตามมาตรฐาน หรือความต้องการของลูกค้า ต้นทุนประเภทนี้แบ่งย่อยได้อีก 2 ประเภท คือ

3.1 ต้นทุนความล้มเหลวภายใน (Internal Failure Cost) หมายถึง ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการที่ผลิตภัณฑ์หรือบริการไม่ตรงตามความต้องการของลูกค้า และพบก่อนที่จะมีการส่งมอบผลิตภัณฑ์หรือบริการให้แก่ลูกค้า แบ่งออกเป็นด้านต่างๆดังนี้

- ชำรุด (Scrap) เป็นต้นทุนที่เสียไปเมื่อเกิดการชำรุดเสียหายจนซ่อมแซมใหม่ไม่ได้ ทำให้ต้องสูญเสียต้นทุนค่าแรงงาน ต้นทุนค่าวัสดุ ต้นทุนค่าโสหุ้ยทั้งหมด

- ซ่อมแซม (Rework) เป็นต้นทุนที่เสียไปในการซ่อมผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่ได้คุณภาพให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้คุณภาพตามมาตรฐาน

- การวิเคราะห์ความเสียหาย เป็นต้นทุนในการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหายและไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐาน

- การตรวจสอบซ้ำ เป็นต้นทุนในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ต้องนำไปซ่อมแซม

- การตรวจของเสียที่ปนเข้ามาจากผู้ส่งไม่พบ เกิดขึ้นเมื่อผู้ส่งวัตถุดิบมาให้เรามีของเสียปนมาแต่เราตรวจไม่พบทำให้ต้องยอมรับของเสียปนเข้ามาด้วย

- การลดราคา เกิดจากการลดราคาขายต่อหน่วยลงมาจากราคาปกติ เพราะว่าผลิตภัณฑ์นั้นไม่ได้มาตรฐานแต่ยังใช้งานได้

3.2 ต้นทุนความล้มเหลวภายนอก (External Failure Cost) หมายถึง ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการที่ผลิตภัณฑ์หรือบริการไม่ตรงตามความต้องการของลูกค้า และพบหลังจากที่ได้มีการส่งมอบผลิตภัณฑ์หรือบริการให้แก่ลูกค้าแล้ว แบ่งออกเป็นด้านต่างๆ ดังนี้

- การต่อว่า (Complaints) เป็นต้นทุนในการปรับปรุงด้านต่าง ๆ ที่ได้รับการต่อว่าจากผู้บริโภค

- การไม่ยอมรับและการเปลี่ยนใหม่ เป็นต้นทุนในการขนส่งและนำไปเปลี่ยนให้ใหม่ในกรณีส่งคืน

- การซ่อมแซม เป็นต้นทุนการซ่อมแซมของที่ส่งคืนมา

- การรับประกัน เป็นต้นทุนสำหรับชิ้นส่วนที่ต้องนำไปเปลี่ยนให้ใหม่ในช่วงการรับประกัน

- ความผิดพลาด เป็นต้นทุนสำหรับการที่ต้องนำผลิตภัณฑ์ไปเปลี่ยนให้ใหม่เนื่องจากความผิดพลาดใด ๆ

- ความรับผิดชอบ เป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการถูกฟ้องร้อง

<u>ประโยชน์ของต้นทุนคุณภาพ</u>

ต้นทุนคุณภาพเป็นเครื่องมือและแนวทางในการวัดผลงานขององค์กร ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ ประโยชน์ของการวิเคราะห์ต้นทุนคุณภาพ ได้แก่ การทำให้องค์กรสนใจกระบวนการทำงาน สนใจการวัดผล และขจัดกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มออกไปจากกระบวนการ โดยสามารถคิดออกมาเป็นจำนวนเงินให้เห็นจริงได้ สำหรับรายละเอียดของประโยชน์ในการคิดค้นต้นทุนคุณภาพนั้น นักวิชาการด้านคุณภาพสรุปว่ามีประโยชน์ดังนี้ คือ

1. การคิดค้นต้นทุนคุณภาพ มีประโยชน์ที่ทำให้ผู้บริหารและพนักงานเข้าใจตรงกัน การสื่อความหมายว่าอะไรเป็นเรื่องเกี่ยวกับคุณภาพบ้างนั้น ไม่มีอะไรดีไปกว่าการคำนวณออกมาเป็นต้นทุน บางคนอาจคิดว่าเข้าใจเรื่องคุณภาพดีแล้ว แต่เมื่อคำนวณออกมาเป็นต้นทุนจะยิ่งเห็นภาพชัดขึ้น

2. การคิดค้นต้นทุนคุณภาพช่วยให้เห็นจุดที่จะลดค่าใช้จ่าย เพราะต้นทุนคุณภาพที่ไม่ดีไม่ใช่เกิดโดยทั่วไป แต่ที่จริงแล้วเกิดไม่ทุกจุด อีกทั้งแต่ละจุดอาจมีปัญหาคุณภาพไม่เท่ากัน

3. การคิดต้นทุนคุณภาพช่วยลดปัญหาความไม่พอใจของลูกค้า และปัญหาที่อาจกระทบยอดขาย เพราะต้นทุนคุณภาพที่ไม่ดีบางอย่างมีผลหลังจากที่ขายไปแล้ว เช่นการเสียเงินค่ารับประกัน หรือการเปลี่ยนสินค้าให้ลูกค้า รวมไปถึงการเสียเวลาและปัญหากวนใจลูกค้า

4. การคิดต้นทุนทำให้ได้ข้อมูลคุณภาพซึ่งเป็นที่ยอมรับมากกว่า เพราะเป็นการเก็บและวิเคราะห์โดยทีมที่มีตัวแทนจากฝ่ายบัญชีอยู่ด้วย

5. การคิดต้นทุนช่วยให้การตัดสินใจลงทุนปรับปรุงคุณภาพมีประสิทธิภาพ โดยเลือกลงทุนในทางเลือกที่เสียค่าใช้จ่ายต่ำ

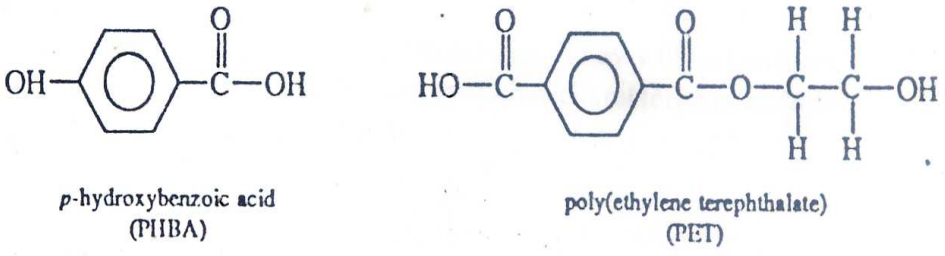
6. การคิดต้นทุนทำให้เกิดการพัฒนาการวัดผลงานที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ทั้งส่วนที่เกี่ยวข้องกับความพึงพอใจของลูกค้าและการผลิต ตลอดจนส่วนที่เป็นต้นทุนคุณภาพทางอ้อม

7. การคิดต้นทุนทำให้มีการปรับปรุงผลตอบแทนการลงทุนและการขายให้สูงขึ้น

2.5 **ข้อมูลพลาสติกชนิด** Liquid crystal polymer (LCP)

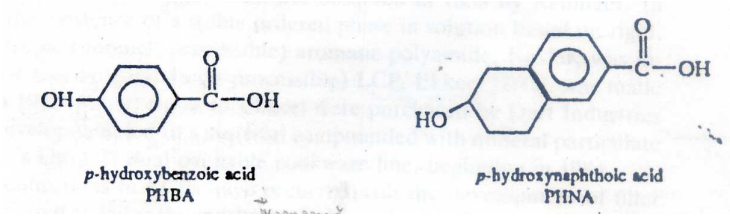
2.5.1 Liquid crystal polymer คือ พลาสติกชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเฉพาะ ทำให้แน่นติดกันได้ มีความแข็งแรงสูงเนื่องจากวัสดุในขณะหลอมนั้นมี degree of crystalline สูง LDP จะประกอบด้วยโมเลกุลที่ยาว และสมส่วน ควบคุมทิศทางการไหลง่าย เข้ากันได้กับวัสดุที่แข็งซึ่งเป็นผลมาจากโครงสร้างทางเคมีและสภาวะภายใต้กระบวนการขึ้นรูปของโพลีเมอร์

LDP สามารถแบ่งโดยกระบวนการทางความร้อนได้ 3 ชนิด ชนิดที่ 1 มีช่วงความร้อนต่ำที่สุดให้ความร้อนเพื่อให้ตัวพลาสติกเกิดการโค้งงอ หย่อนตัวลงมามีระดับขอบเขตความร้อนตั้งแต่ 180 - 420 °F (82 – 216°C) ตัวอย่างเช่น p-hydroxybenzoic acid (PHBA) และpoly (ethylene terephthlate) (PET).



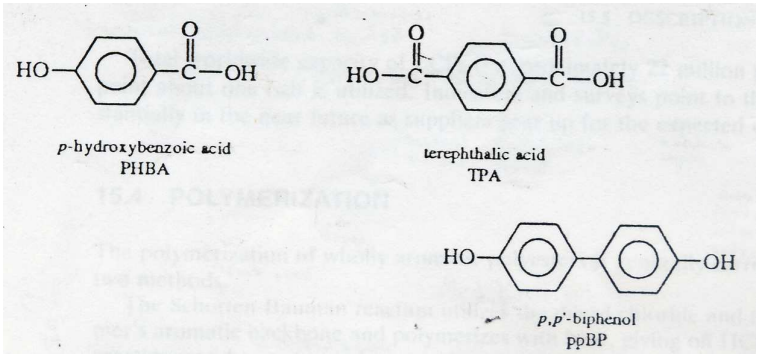
ภาพที่ 2.31
โครงสร้าง LCP ชนิดที่ 1

ชนิดที่ 2 LCPs มีขอบเขตอยู่ใน HDT มีอุณหภูมิตั้งแต่ 350-465°F (177-241°C) มีชื่อทางการค้าว่า Vectra โดยได้มาจาก aromatic copolyester ซึ่งจะประกอบไปด้วย PHBA และp-hydroxynaphthoic acid (PHNA).



ภาพที่ 2.32
โครงสร้าง LCP ชนิดที่ 2

ชนิดที่ 3 LCPs มีชื่อทางการค้าว่า Xydar มีมากใน HDT มีอุณหภูมิตั้วแต่ 500-670°F (260-354°C) เป็น terpolymer โดยได้มาจาก aromatic copolyester ซึ่งจะมีใน PHBA , terephthalic acid (TPA) และ p,p'-bipnol (ppBP).



ภาพที่ 2.33
โครงสร้าง LCP ชนิดที่ 3

LCPs จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างไปจากวัสดุธรรมดาทั่วไป ในส่วนพื้นผิวจะมีการจัดเรียงโมเลกุลเป็นเส้น ตามแนวทางการไหลของวัสดุ ส่วนโมเลกุลตรงกลางจะมีทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลมีความเป็นผลึกสูงมาก ในการจัดเรียงระหว่างที่พื้นผิวกับบริเวณตรงกลางจะมีการเรียงตัวเปลี่ยนไปทีละเล็กทีละน้อยจนกระทั่งได้มุม 90° ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ออกมานั้น ในส่วนผิวการปรับตัวของเส้นการไหลที่ผิวจะมีความแตกต่างกัน ส่วนการปรับตัวของการไหลในส่วนตรงกลางจะมีการเชื่อมโยงกัน ทำให้ LCPs มีความแข็งแรงสูงมาก

ไม่ว่าจะเป็นรูปร่างโมเลกุล โครงสร้างความเป็นผลึกของโพลีเมอร์ ก็ล้วนแล้วแต่มีผลกับสมบัติทางกล สมบัติทางไฟฟ้าซึ่งรวมไปถึงทิศทางการไหลด้วย โดยทั่วไปแล้วสมบัติของโพลีเมอร์ชนิดนี้จะมีความสามารถสูงมาก ทำให้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ต้องคำนึงถึงการนำไปใช้งานให้ดีก่อน ส่วนในการออกแบบแม่พิมพ์ควรต้องคำนวณการหดตัวของชิ้นงานในแม่พิมพ์ให้ดี ส่วนการใส่สารเติมแต่งอย่างฟิลเลอร์ควรพิจารณาถึงผลให้ดีเสียก่อน ซึ่งการค้าส่วนใหญ่จะมีการผสม LCPs เกรดต่างๆ กับแร่หรือแก้ว

2.5.2 ประเภท

LCPs มีคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ยอดเยี่ยม มีความแข็งเกร็ง แข็งแรง เปราะ เป็นเทอร์โมพลาสติก ต้านทานอุณหภูมิได้สูง ติดไฟยาก สมบัติทางไฟฟ้าดีเยี่ยม และต้านทานสารเคมีสูง

2.5.3 ประวัติ

ในช่วงแรก LCPs มีการค้นพบในธรรมชาติเป็นโพลีเมอร์ชีวภาพ เช่น โปรตีน viri และ polysaccharides มีการผสม LCPs แต่ไม่เป็นที่ยอมรับจนกระทั่งกลางปี 1950s. ปี1888 ความเป็นผลึกถูกปรับปรุงจนอยู่ในรูปสารละลายได้โดย Reinitzer ในปี 1949 Onsagar สร้างทฤษฎีเกี่ยวกับการคงอยู่ด้วยสถานะที่เสถียรในสารละลายพื้นฐาน ในปี1965 Kevlar ค้นพบ aromatic polyamide ขึ้นรูปได้โดยการไม่หลอมเหลวซึ่งถือเป็นก้าวแรกของ LCPs ในปี 1972 มีการเริ่มค้า LCPs เป็นครั้งแรก ในปี 1978 Ekkcel มีการจดลิขสิทธ์ ในปี 1984 ผลิตภัณฑ์มีความก้าวหน้าจนมีการใช้วัสดุมาผสมกับแร่ต่างๆ

มีการปรับปรุง LCPs ครั้งใหญ่มีการค้นพบฟิลเลอร์ ซึ่งฟิลเลอร์นี้มีส่วนต่อสมบัติต่างๆ เช่น ทางกล ทางไฟฟ้า อุณหภูมิ และกระบวนการผลิต โดยฟิลเลอร์จะหยุดการเกิดผลึก โดยทั่วไปเราจะใช้ mill glass ,glass fiber ,mineral fiber และminaral particulate

LCPs มีปริมาณการใช้ถึง 22 ล้านปอนด์ต่อปีทั่วโลก ซึ่งการจากสำรวจดรรชนีมีปริมาณการเจริญเติบโตและในอนาคตอันใกล้นี้มีการคาดหมายว่าจะมีพอตามความต้องการ

2.5.4 Polymerization

การเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันทั้งหมดเกิดจากอโรมาติกโพลีเอสเทอร์ มีการทำได้ 2 วิธี

- วิธีที่ 1 ปฏิกิริยา Schotten-Bauman จะได้ diacyl chloride และ diphenol จากการแตกพันธะอโรมาติกของโพลีเมอร์ และปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันจากการให้ความร้อน ซึ่งจะให้ HCl เป็น by-product ปฏิกิริยานี้สามารถดำเนินปฏิกิริยาในสารละลายได้โดยทำได้จากปฏิกิริยา polycondensation หรือ จากการหลอม polycondensation

- วิธีที่ 2 Polymerization จากการแลกเปลี่ยนเอสเทอร์ และ polycondensation ในการหลอม จากการแตกของพันธะอโรมาติกภายใต้ความร้อนและสูญญากาศจะได้ diacid, hydroxy acid และ diacetoxyโพลีเมอร์จะได้ผลิตภัณฑ์ ร่วมกับ acetic เป็น by-product ซึ่งปฏิกิริยาทั้ง 2 วิธี โมโนเมอร์เมื่อทำปฏิกิริยาแล้ว ในขั้นแรกจะมีน้ำหนักของสายโซ่โมเลกุลต่ำถึงปานกลางในสารละลายหรือการหลอม ต่อมาโพลีเมอร์จะเริ่มมีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นระหว่างการให้ความร้อนจนเริ่มการเป็นของแข็ง

ราคาของวัสดุมีความสำคัญในการเลือกใช้มาก ในปี 1988 มีราคาตั้งแต่ 7.35 - 30 เหรียญตามแต่เกรดของเรซิน และคุณภาพ

2.5.5 คุณสมบัติ

2.5.5.1 สมบัติทางอุณหภูมิ

LCPs มีการทนต่ออุณหภูมิที่ยอดเยี่ยมมากโดย HDT ทนต่ออุณหภูมิสูงประมาณ 671 $^{\circ}$F (355°C) สามารถใช้งานที่สูงประมาณ 575°F (302°C) อุณหภูมิมีการต้านทานที่ยอดเยี่ยมขณะให้ความร้อนสูงที่ช่วงเวลาหนึ่งๆ ทำให้เกิดความล้าน้อย LCPs จะมีคุณสมบัติหน่วงไฟอยู่ มีความเหนียวต่ำ 0.031 in การทดสอบ LCPs ชนิดที่ 3 ซึ่งสามารถทนความร้อนได้ 2,000 $^{\circ}$F (1095°C) 15 นาที โพลีเมอร์ที่ผิวสามารถดับไฟได้เมื่อมีการลุกไหม้เกิดขึ้น คุณสมบัติการนำความร้อนค่อนข้างต่ำเหมือนพลาสติกโดยทั่วไปที่เป็นฉนวนแต่อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเติมฟิลเลอร์ลงไปในปริมาณที่แตกต่างกัน ก็สามารถทำให้มีการนำความร้อนต่างกันด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การหดตัว-ขยายตัวต่ำของ LCPs มาก (มีค่าระหว่าง 5-10 x 10^{-6}in./in/$^{\circ}$F(9-18x10^{-6}in./in$^{\circ}$F)) เป็นไปตามกลไกการไหล

2.5.5.2 สมบัติทางกล

LCPs มีความแข็งแรง มีการทนต่อแรงดึง และมีความคงรูปสูง(25,000 psi และ 30,000 psi (172 และ 207 MPa) โดยเฉพาะเมื่อมีการวัดในทิศทางของการไหลค่ามอดูลัสของแรงดึง และการคงรูปมีค่าอยู่ระหว่าง 2-4x10^{6}psi (13,800-27,600 MPa) LCPs ชนิดที่ 3 มี

การผสมทำให้ค่าการยืดตัวมีสูงขึ้นถึง 5,000 psi (34 MPa)ที่อุณหภูมิ 575°F (302°C) ซึ่งในการทำจะกระทำได้เพียงเทอร์โมพลาสติกเท่านั้น อุณหภูมิจะมีผลต่อเปอร์เซ็นการยืดตัว-หดตัวต่ำ (1-3%) การทนต่อแรงกระแทก 1-3 ft-lb/in. (53-160 J/m) สำหรับพวกที่มีความเป็นผลึกสูงเท่านั้น

คุณสมบัติการวัดของวัสดุไหลสามารถมีถึง 50-70% ซึ่งคล้ายกันกับสมบัติของทิศทางการไหล การวิเคราะห์ถึงทิศทางจะทำให้ได้วัสดุที่มีสมรรถนะดียิ่งขึ้น

สำหรับชนิด 1 กับ 2 LCPs จะมีการเติมเส้นใยแก้วเสริมเข้าไปจะทำให้มีคุณสมบัติทางกลและทางอุณหภูมิดีกว่าตอนยังไม่ผสม เส้นใยแก้วเสริมแรงจะช่วยเพิ่มพูนสมบัติทางกลแต่จะไม่มีผลต่อสมบัติด้านอุณหภูมิ ฟิลเลอร์ตัวอื่น ๆ อาจช่วยลดความสามารถท่งความร้อนและสมบัติทางกลของชนิดที่ 3 แต่มันก็ช่วยให้สามารถขึ้นรูปกระบวนผลิตได้ง่ายขึ้น

2.5.5.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้า

โพลีเมอร์มีความเป็นฉนวนไฟฟ้า มีความต้านทานอยู่ประมาณ $4x10^{15}$ ohm-cm. และมาสารถใช้ป้องกันไฟฟ้าได้สูงถึง 1,100v/mil (43v/mm)ได้นานถึง 244 วินาที สารประกอบฟิลเลอร์ชนิดพิเศษ จะยอมให้ LCPs เกิดไฟฟ้าสถิตได้ทำให้ถูกใช้เป็นเครื่องนำไฟฟ้าทนต่อคลื่นไมโครเวฟได้แต่เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะถูกทำให้อุณหภูมิกว้างขึ้นตามไปด้วยซึ่งในอนาคตอาจมีการใช้วัสดุนี้ทำไมโครเวฟหรือเครื่องครัวต่าง ๆ ก็ได้

2.5.5.4 คุณสมบัติเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม

LCPs ตามธรรมชาติมีการทนต่อสารเคมีตามธรรมชาติได้สูงมาก และสามารถทนต่อสารละลายได้ทั้งเครื่องบริโภค น้ำมัน ไฮโดรคาร์บอน และกรดอ่อน-เบสอ่อนได้ตามตารางที่ 15.1 มีการกันความชื้นอย่างดี

โดยองค์กรอาหารและยา (FDA) ได้ยอมรับให้ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้สามารถใช้เกี่ยวกับอาหารได้

TABLE 15.1. Chemical Resistance of 40% Glass-filled LCP

	Weight Change, %	Tensile Strength Change	Tensile Modulus Change	Elongation, %
Chlorobenzene	A	A	A	A
Corn oil (Tested at 218°C)	A	B	A	A
Distilled H_2O	A	A	A	A
Gasoline (unleaded premium)	A	B	A	B
Hydrochloric acid, 37%	A	A	A	A
Isopropyl alcohol	A	A	A	A
Methyl ethyl ketone	A	A	A	A
Sodium hydroxide 20%	C	C	B	A
Trichloroethylene	A	A	A	A

"A = Less than 2 standard deviation drop in property values (excellent).
B = Less than 3 standard deviation drop in property values (very good).
C = Less than 4 standard deviation drop in property values (good).
D = 4 or more standard deviation drop in property values (poor).

ภาพที่ 2.34

แสดงสารประกอบ

2.5.5.5 การประยุกต์ในด้านต่าง ๆ

- ผู้บริโภค

ในทุก ๆ วันนี้ LCPs มีการประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายเครื่องอุปกรณ์ในครัวประมาณ 80-90% ทำจาก LCPs ที่ LCPs ใช้ทำเครื่องครัวก็เพราะมีสมรรถนะที่ทนต่อความร้อนไดเป็นอย่างดีทนต่อคลื่นไมโครเวฟต้านสารเคมีมีความเสถียรภาพเมื่อขาดน้ำคุณสมบัติคล้ายเลต LCPs สามารถใช้ในเตาอบได้รวมไปถึงการทำพื้น เพดาน และแผ่นเสียงอีกด้วย เนื่องจาก LCPs มีความต้านทานความร้อนและมีการทนต่อไฟฟ้าได้เป็นอย่างดีทำให้ LCPs ถูกใช้เป็นฉนวนให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็กได้

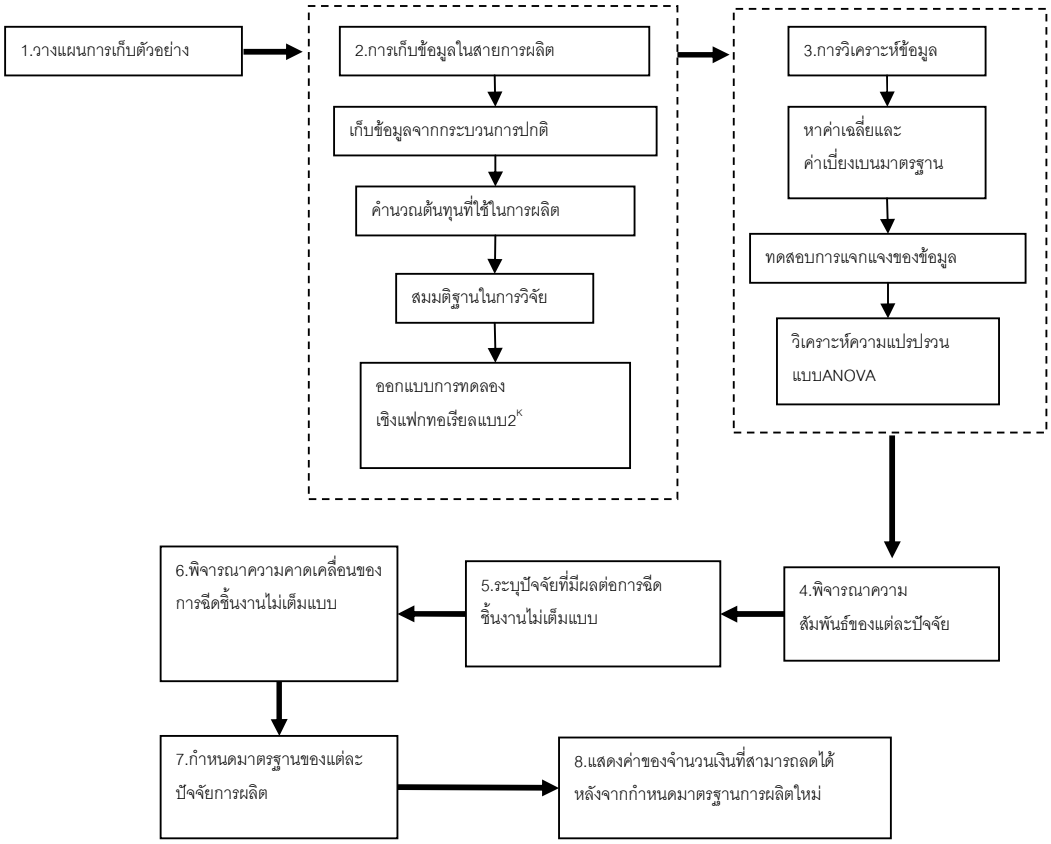
- เครื่องใช้ไฟฟ้าและ อุปกรณ์อีเล็กทรอนิกส์

ปริมาณความจุความร้อน รวมถึงกลไกการไหลอย่างง่าย ๆ กับความคงรูปขณะไหลทำให้ LCPs เป็นที่น่าสนใจในตลาดอีเล็กทรอนิกส์ อุสาหกรรมอีเล็กทรอนิกส์ ใช้ประกอบชิ้นส่วนที่สลับซับซ้อน เพราะตัวมีการทนความร้อนได้สูง LCPs ส่วนใหญ่จะถูกใช้ทำ socket, connector (ตัวนำ) และ chip carrier LCPs มีการทนความร้อน มีพฤติกรรมการหด-ขยายตัวต่ำและมีความเสถียรภาพดีเยี่ยมทำเหมาะกับการทำ แผ่นPrinted circuit boards.

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเรื่อง “การศึกษากระบวนการฉีดเพื่อลดปัญหาฉีดชิ้นงานไม่เต็ม” ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย, โดยเริ่มจากเก็บตัวอย่างข้อมูล, พิจารณาความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย, ตั้งสมมติฐาน, ออกแบบการทดลอง, วิเคราะห์ผลตามทดลอง, สรุปผล, นำผลที่ได้มากำหนดมาตรฐานใหม่ในการผลิต และสุดท้ายแสดงค่าจำนวนเงินที่สามารถลดได้ ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1
แสดงแผนภาพลำดับขั้นตอนวิธีการวิจัย

3.1 วางแผนการเก็บตัวอย่าง

3.1.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการกำหนดประชากรที่ใช้ในการวิจัยตามความสะดวกในการเก็บข้อมูลของผู้วิจัย ซึ่งได้แก่ วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตของบริษัท DDK (Thailand) Ltd. คือ เม็ดพลาสติก Liquid Crystalline Polymer (LCP), SUMIKASUPER E6808GHF-BLACK โดยบริษัท SUMITOMO CHEMICAL จำนวน 1 ถุง น้ำหนัก 25 กิโลกรัม ผลิตชิ้นงาน TEN-FRAA-400 ได้ จำนวน 7,000 ชิ้น

3.1.2 ผู้วิจัยทำการกำหนดจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองตามแผนการสุ่มตัวอย่าง เชิงนับโดยใช้ ระดับคุณภาพที่ยอมรับได้ (ACCEPTABLE QUALITY LEVEL, AQL) ที่1.5% และระดับคุณภาพที่จะปฏิเสธได้ (REJECTABLE QUALITY LEVEL, RQL) ที่ 10%จำนวน 30 ชิ้น

3.1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- เครื่องInjection ยี่ห้อ NISSEI รุ่น NEX 50 ton
- กล้อง Microscope 1 เครื่อง สำหรับตรวจลักษณะทั่วไปของชิ้นงาน
- กล้อง Measure scope 1 เครื่อง สำหรับวัดขนาดของการฉีดชิ้นงานไม่เต็ม
- ใบบันทึกการติดตั้งแม่พิมพ์
- ใบตรวจสอบข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์
- โปรแกรมการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ MINITAB

3.2 การเก็บข้อมูลในสายการผลิต

3.2.1 ผู้วิจัยได้เข้าไปเก็บข้อมูลเกี่ยวกับปัญหางานฉีดไม่เต็มแบบ และสอบถามถึงการทำงานของOperator ที่ตรวจสอบชิ้นงานหน้าเครื่องจักร

3.2.2 เก็บข้อมูลชิ้นงาน TEN-FRAA-400 จากกระบวนการผลิตปกติ ตามแผนการสุ่มตัวอย่าง n = 30 ชิ้น โดยการตั้งค่าปัจจัยต่างๆ ตามมาตรฐานการปฏิบัติงาน การฉีดชิ้นงานพลาสติก product TEN-FRAA-400 ใช้ความเร็วการฉีด ความดันการฉีด วัดขนาดการฉีดชิ้นงานไม่เต็มโดยใช้กล้อง Microscope และบันทึกค่าขนาดการวัดของการฉีดไม่เต็มแบบ ลงในใบบันทึกผลการตรวจสอบเนื่องจากกระบวนการผลิตเป็นแบบต่อเนื่อง การเก็บข้อมูลโดยวิธีการสุ่มตัวอย่างเชิงนับหลังจากชิ้นงานผ่านขั้นตอนสุดท้ายแล้วจึงหยิบชิ้นงานแบบสุ่ม 30 ชิ้น มาดำเนินการวัดขนาดการฉีดงานไม่เต็ม โดยมาตรฐานแล้วจะมีความสูงของชิ้นงานรวม 26.28±0.05 มิลลิเมตร และค่าที่สามารถยอมรับได้ในการฉีดชิ้นงานไม่เต็มคือ 0.3 มิลลิเมตรเท่านั้น เพราะฉะนั้นค่าช่วง

สำหรับงานดีคือ 25.98~26.28 มิลลิเมตร ส่วนในขั้นตอนการผลิตจะใช้เครื่องจักรเดียวกัน พนักงานปฏิบัติงานชุดเดียวกันและวัตถุดิบที่ผ่านการรับรองจากฝ่ายจัดซื้อ เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง

3.2.3 หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 3.1 สามารถหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยใช้ โปรแกรม MINITAB คำนวณได้ดังนี้

ตารางที่ 3.1

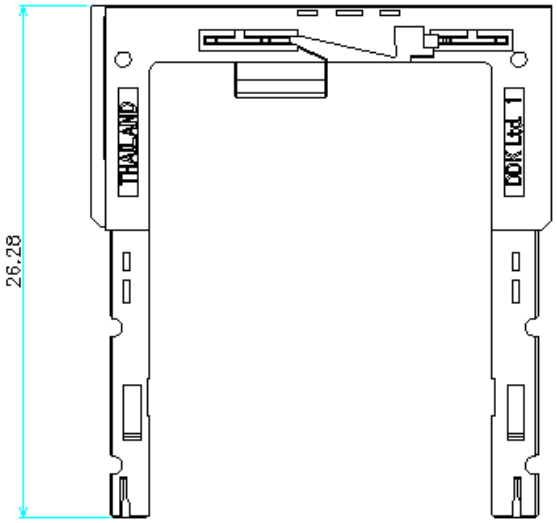
แสดงค่าการฉีดชิ้นงานไม่เต็มของชิ้นงานในกระบวนการปกติ

26.05	25.96	25.75	25.81	25.97	25.55
26.03	25.99	26.05	26.11	25.78	26.13
25.91	25.84	25.88	25.99	26.10	26.02
25.95	26.01	25.99	26.08	25.95	26.15
26.02	26.07	26.12	25.99	26.12	25.82

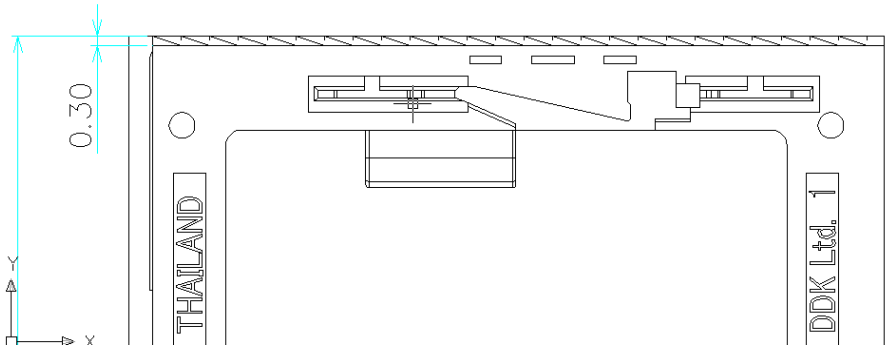
ค่าเฉลี่ย = 25.98 มิลลิเมตร

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.1152

เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลหลังจากการวิจัย เพื่อหาต้นทุนที่สามารถลดลงได้จากการตั้งมาตรฐานการปฏิบัติงานใหม่ ซึ่งความสูงทั้งหมดของชิ้นงานและบริเวณที่ชิ้นงานไม่เต็ม ได้แสดงในภาพที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

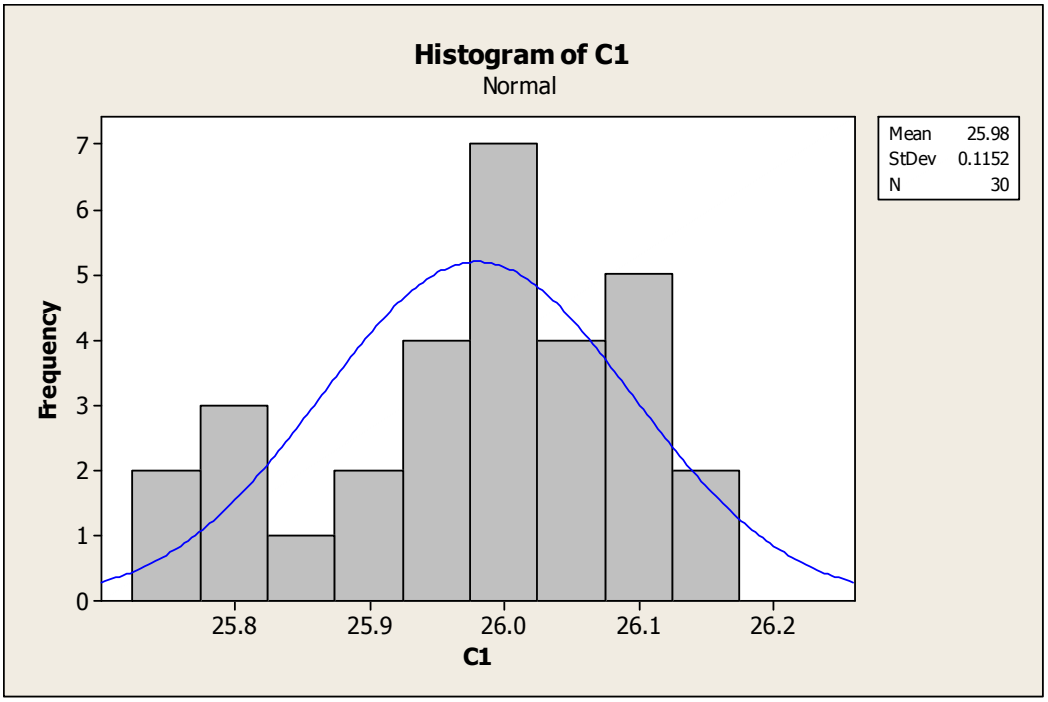


ภาพที่ 3.2
การวัดขนาดความสูงรวมของชิ้นงาน



ภาพที่ 3.3
รูปขยายการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน

3.2.4 ทดสอบการแจกแจงของข้อมูลในตารางที่ 3.1 ซึ่งเป็นกราฟฮิสโตแกรมลักษณะของกราฟจะมีภาพร่างคล้ายระฆังคว่ำ มีการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4

แสดงการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ

3.2.5 คำนวณต้นทุนที่ใช้ในการผลิต ซึ่งทางบริษัทได้รวมเฉลี่ยและคำนวณได้ว่า ชิ้นงาน 1 ชิ้น ราคา 2.11 บาทต่อชิ้น

3.2.6 การเลือกปัจจัยในบทที่ 2 ที่ส่งผลต่อการฉีดชิ้นงานไม่เต็ม เราไม่สามารถนำปัจจัยบางตัวเข้ามาใช้เพื่อกำหนดสมมุติฐานได้ เนื่องจากผลดังนี้

3.2.6.1 ความดันฉีด เป็นปัจจัยที่ทำให้เนื้อพลาสติกสามารถไหลเข้าแม่พิมพ์ได้มากขึ้น โดยอาศัยแรงดันไฮดรอลิคของเครื่องเพื่อทำให้ความดันฉีดของเครื่องเพิ่มขึ้นและค่าในการปรับปัจจัยนี้จะอยู่ในช่วงที่แคบเพื่อให้สามารถควบคุมคุณภาพงาน รวมถึงเพื่อแก้ปัญหาการฉีดชิ้นงานไม่เต็มด้วย

3.2.6.2 อุณหภูมิพลาสติกเหลว เนื่องจากพลาสติกชนิดนี้ได้มีมาตรฐานของอุณหภูมิที่ใช้ปรับค่านี้จากผู้ผลิตมาด้วย ซึ่งมาตรฐานได้กำหนดไว้ที่อุณหภูมิ 330-340 ^{0}C (อุณหภูมิพลาสติกที่ปลายหัวฉีด) และทางผู้ปฏิบัติการนั้นได้ใช้อุณหภูมิที่ 340 ^{0}C อยู่แล้ว เพื่อให้เนื้อพลาสติกนั้น สามารถไหลเข้าแม่พิมพ์ได้ง่ายมากขึ้นและช่วยแก้ปัญหาของงานฉีดไม่เต็ม

3.2.6.3 อุณหภูมิแม่พิมพ์ เป็นตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน การเปลี่ยนแปลงค่าของอุณหภูมิแม่พิมพ์มีอิทธิพลต่อพลาสติกเหลว เพราะเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิแม่พิมพ์สูงขึ้นจะส่งผลให้พลาสติกนั้นเหลวและสามารถไหลได้มากขึ้น

3.2.6.4 ความสะอาดของหัวฉีด เนื่องจากถ้าหัวฉีดมีสิ่งสกปรกตกค้างอยู่เป็นจำนวนมากจะทำให้การไหลของเนื้อพลาสติกจากหัวฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์นั้นได้ไม่เต็มที่และไม่สามารถควบคุมค่าที่ปรับได้ ทำให้เกิดการแกว่งของค่าปัจจัยต่างๆ ซึ่งทางผู้ปฏิบัติการได้มีตารางของการทำความสะอาดหัวฉีดและได้ปฏิบัติตามแผนอย่างเคร่งครัด

3.2.6.5 วาล์วหัวฉีด เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยควบคุมการทำงานของหัวฉีด ซึ่งระบบนี้จะติดตั้งมากับเครื่องจักรเป็นบางรุ่นเท่านั้น ซึ่งเครื่องจักรที่ทำการทดลองนี้เป็นรุ่นที่ไม่ได้ติดตั้ง

3.2.6.6 ความเร็วฉีด เป็นความเร็วของสกรูที่เคลื่อนที่เพื่อทำหน้าที่ดันเนื้อพลาสติกเหลวให้ไปอยู่ที่หัวฉีดและเข้าสู่แม่พิมพ์ โดยมีไฮดรอลิกเป็นตัวขับความเร็วฉีด ซึ่งความเร็วในการฉีดนี้จะมีผลต่อการไหลของพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ เมื่อพลาสติกเหลวไหลเข้าสู่แม่พิมพ์ด้วยค่าความเร็วที่สูงขึ้น สามารถนำเนื้อพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ได้ดีมากขึ้น

3.2.6.7 ความดันต้านการถอยกลับของสกรู เป็นปัจจัยที่ใช้สำหรับในการปรับค่าปัญหางานยุบตัวโดยเฉพาะและสามารถช่วยปัญหางานฉีดไม่เต็มได้บ้าง แต่ปัจจัยค่านี้ทางผู้ปฏิบัติการนั้นได้มีการปรับค่าที่ไม่เกิน 50 MPa เนื่องจากเป็นการป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตัววาล์วต้านการถอยกลับและสกรูของเครื่องฉีด

3.2.6.8 ช่องของหัวฉีด เป็นพื้นที่ว่างสำหรับบรรจุเนื้อพลาสติก เพื่อทำการหลอมเลว ซึ่งขนาดของช่องหัวฉีดนี้ได้เป็นขนาดมาตรฐาน เพื่อง่ายต่อการบำรุงรักษาและลดต้นทุนของการใช้ช่องหัวฉีดที่ผิดจากขนาดมาตรฐาน เพราะทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มในการปรับแต่งขนาดของช่องของหัวฉีด

3.2.6.9 ขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว เนื่องจากทางเข้าพลาสติกของชิ้นงานทางลูกค้าได้กำหนดมาในแบบชิ้นงาน ทำให้ขนาดและพื้นที่ในการออกแบบถูกจำกัด เพราะกระทบต่อกระบวนการหยิบชิ้นงานของลูกค้า ซึ่งใช้อุปกรณ์อัตโนมัติในการหยิบจับ

3.2.6.10 ช่องระบายอากาศของแม่พิมพ์ เป็นการทำให้เนื้อพลาสติกไหลเข้าสู่แม่พิมพ์ได้ดีขึ้น เนื่องจากเมื่อทำการฉีดเนื้อพลาสติกเข้าแม่พิมพ์จะพบว่าเกิดสภาวะสุญญากาศที่บริเวณตำแหน่งปลายสุดท้ายของชิ้นงาน จึงได้ทำการเปิดช่องระบายอากาศของแม่พิมพ์

3.2.6.11 อัตราการป้อนพลาสติก เป็นระยะของช่องว่างที่สกรูเพื่อไว้สำหรับบรรจุพลาสติกเหลว ซึ่งสามารถปรับค่าได้และทางผู้ปฏิบัติการนั้นได้ทำการคำนวณจากปริมาตร

ของชิ้นงานเพื่อให้ได้อัตราการป้อนพลาสติกที่ใกล้เคียงที่สุด แต่ถ้ามีการเพิ่มอัตราการป้อนที่มากเกินค่าที่แท้จริงมากนั้น ส่งผลให้ชิ้นส่วนแม่พิมพ์เกิดเสียหายได้

จากปัจจัยทั้งหมดและข้อจำกัดรวมถึงผลกระทบอื่นที่เกิดขึ้นจากการปรับค่าปัจจัยต่างของเครื่องจักร ผู้วิจัยสามารถสรุปดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2

แสดงปัจจัยการฉีดงานไม่เต็ม

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการฉีดงานไม่เต็ม	**ข้อจำกัดและผลกระทบอื่น**
ความดันฉีด	*สามารถปรับค่าได้*
อุณหภูมิพลาสติกเหลว	**มีข้อจำกัดและผลกระทบอื่น**
อุณหภูมิแม่พิมพ์	*สามารถปรับค่าได้*
ความสะอาดหัวฉีด	**ผ่านการตรวจสอบเรียบร้อย**
วาล์วหัวฉีด	**เครื่องจักรรุ่นนี้ไม่มีวาล์ว**
ความเร็วฉีด	*สามารถปรับค่าได้*
ความดันต้านการถอยกลับของสกรู	**ผ่านการตรวจสอบและเป็นมาตรฐาน**
ช่องของหัวฉีด	**เป็นมาตรฐานของเครื่องฉีด**
ขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว	**พื้นที่ของชิ้นงานจำกัดและลูกค้ากำหนด**
ช่องระบายอากาศของแม่พิมพ์	**ผ่านการตรวจสอบเรียบร้อย**
อัตราการป้อนพลาสติก	**เป็นมาตรฐานจากการคำนวณ**

หลังจากการตัดปัจจัยต่างๆ แล้ว พบว่ามีเพียง 3 ปัจจัย เท่านั้น คือ เพิ่มความดันฉีด, เพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์, เพิ่มความเร็วฉีด และผู้วิจัยได้เพิ่มปัจจัยของเวลาการหล่อเย็นของชิ้นงานจาก 5 วินาที มาเป็น 2 วินาที (จากมาตรฐานของเม็ดพลาสติก) สำหรับทำให้อัตราการผลิตชิ้นงานต่อรอบการผลิตนั้นได้จำนวนชิ้นงานที่เพิ่มขึ้น จึงได้นำทั้ง 4 ปัจจัยนี้มาออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^4

3.3 ทำการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^K

นำวิเคราะห์ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อ การฉีดไม่เต็มของ TEN-FRAA-400 ที่ Injection m/c นำปัจจัยที่มีผลต่อการฉีดไม่เต็ม มาออกแบบการการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^4 และทำการยืนยันผลด้วยการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis test)

3.3.1 ทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis test) การวิจัยนี้จะนำปัจจัยในการผลิตด้วยกระบวนการ Injection จำนวน 2 ปัจจัยมาดำเนินการศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ กับการฉีดที่ได้ชิ้นงานที่ไม่เต็ม อย่างมีนัยสำคัญ

การกำหนดระดับของปัจจัย *(Brefogle, 1999)* ในการทดลองนี้จะทำการกำหนดระดับของปัจจัย (Level) ใช้ระดับเป็นแบบกำหนดตายตัว (Fixed Level) เนื่องจากเป็นปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าได้แน่นอนโดยอาศัยข้อมูลจากคู่มือการปรับพารามิเตอร์ (MOC-xxx-xxx) ของผลิตภัณฑ์ TEN-FRAA-400 โดยพิจารณาจากค่าสูงสุดและต่ำสุดที่อยู่ในช่วงการทำงานซึ่งกำหนดโดยวิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการฉีด (Molding Process Engineer) ดังนั้นจึงกำหนดระดับของปัจจัยที่ใช้สำหรับการทดลองเบื้องต้นออกเป็น 2 ระดับ ดังนี้

ตารางที่ 3.3
สรุประดับของปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลองเบื้องต้น

ปัจจัย	สัญลักษณ์	หน่วย	ระดับของปัจจัย	
			-1 (ต่ำ)	+1 (สูง)
ความเร็วฉีด (Injection Velocity; V)	V	mm./s	55	60
ความดันฉีด (Injection Pressure; P)	P	MPa	60	70
อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Temperature mold; T)	T	^{0}C	80	90
อุณหภูมิการหล่อเย็น (Cooling Time; C)	CT	^{0}C	2	5

โดยสมมติฐานของการศึกษานี้แสดงดังสมการต่อไปนี้ (โดยใช้ระดับนัยสำคัญที่ 0.05)

H_0: $\triangle\mu = 0$ (1)

H_1: $\triangle\mu < 0$ (2)

โดยกำหนดให้

$\triangle\mu$ แทนค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างค่าความสูงรวมทั้งหมดของชิ้นงาน TEN-FRAA-400 เมื่อปัจจัยในกระบวนการฉีดเปลี่ยน

ในกรณีที่ H_0 ในสมการที่ (1) ถูกปฏิเสธ หรือสมการที่ (2) เป็นจริง แสดงว่าปัจจัยที่ศึกษามามีผลกับการฉีดชิ้นงานไม่เต็มของ TEN-FRAA-400 อย่างมีนัยสำคัญ

<u>การศึกษาทดสอบสมมติฐานของปัจจัย ความเร็วการฉีด</u>

การศึกษาทดสอบสมมติฐานของปัจจัย ความเร็วการฉีด Injection m/c กับการฉีดชิ้นงานไม่เต็มโดยใช้สมมติฐานที่ (3) ถึง (4)

H_0: $\mu_1 - \mu_2 = 0$ (3)

H_1: $\mu_1 - \mu_2 < 0$ (4)

โดยกำหนดให้

μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของชิ้นงานไม่เต็ม เมื่อความเร็วการฉีด Injection m/c เท่ากับ 55 mm./s

μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของชิ้นงานไม่เต็ม เมื่อความเร็วการฉีด Injection m/c เท่ากับ 60 mm./s

ในกรณีที่ H_0 ในสมการที่ (3) ถูกปฏิเสธ หรือสมการที่ (4) เป็นจริง แสดงว่าความเร็วการฉีด Injection m/c มีผลกับการฉีดชิ้นงานไม่เต็มของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญโดยพิจารณาจากค่า P-VALUE ต้องน้อยกว่า ค่าระดับนัยสำคัญ (0.05) และในกรณีที่ H_0 ในสมการที่ (3) เป็นจริงหรือสมการที่ (4) ถูกปฏิเสธ แสดงว่าความเร็วการฉีด Injection m/c ไม่มีผลกับการฉีดชิ้นงานไม่เต็มของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญโดยพิจารณาจาก ค่า P-VALUE ต้องมากกว่า ค่าระดับนัยสำคัญ (0.05)

วิธีการวิจัยทำโดยการ กำหนดให้ปัจจัยอื่น ๆ ในกระบวนการผลิตคงที่ และปรับค่าความเร็วการฉีด Injection m/c ที่ค่า 55 mm./s หลังจากนั้นสุ่มชิ้นงานจาก 300ชิ้นมา 30 ชิ้นตามแผนการสุ่มตัวอย่างเชิงนับ และวัดค่าความสูงรวมของชิ้นงาน บันทึกค่าที่วัดได้ลงในใบบันทึกผลการตรวจสอบ ขั้นต่อไปปรับค่าความเร็วการฉีด Injection m/c ที่ค่า 60 mm./s หลังจากนั้นสุ่มชิ้นงานจาก 300ชิ้นมา 30 ชิ้นตามแผนการสุ่มตัวอย่างเชิงนับ และวัดค่าความสูงรวมของชิ้นงาน บันทึกค่าที่วัดได้ลงในใบบันทึกผลการตรวจสอบ หลังจากนั้น นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลและหาค่า P – VALUE เพื่อนำค่าที่ได้มายืนยันสมมติฐาน ที่ได้กำหนดไว้

<u>การศึกษาทดสอบสมมติฐานของปัจจัย ความดันของการฉีด</u>

การศึกษาทดสอบสมมติฐานของปัจจัย ความดันของการฉีดInjection m/c กับ การฉีดชิ้นงานไม่เต็มของชิ้นงาน โดยใช้สมมติฐานที่ (5) ถึง (6)

H_0: $\mu_3 - \mu_4 = 0$ (5)

H_1: $\mu_3 - \mu_4 < 0$ (6)

โดยกำหนดให้

μ_3 แทนค่าเฉลี่ยของชิ้นงานไม่เต็ม เมื่อความดันของการฉีดInjection m/c เท่ากับ 60 MPa

μ_4 แทนค่าเฉลี่ยของชิ้นงานไม่เต็ม เมื่อความดันของการฉีดInjection m/c เท่ากับ 70 MPa

ในกรณีที่ H_0 ในสมการที่ (5) ถูกปฏิเสธ หรือสมการที่ (6) เป็นจริง แสดงว่าความดันของการฉีดInjection m/c มีผลกับการฉีดชิ้นงานไม่เต็มของชิ้นงาน TEN-FRAA-400 อย่างมีนัยสำคัญโดยพิจารณาจาก ค่า P-VALUE ต้องมากกว่า ค่าระดับนัยสำคัญ (0.05) และในกรณีที่ H_0 ในสมการที่ (5) เป็นจริง หรือสมการที่ (6) ถูกปฏิเสธ แสดงว่าความดันของการฉีดInjection m/c ไม่มีผลกับการฉีดชิ้นงานไม่เต็มของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญโดยพิจารณาจาก ค่า P-VALUE ต้องมากกว่า ค่าระดับนัยสำคัญ (0.05)

วิธีการวิจัยทำโดยการ กำหนดให้ปัจจัยอื่น ๆ ในกระบวนการผลิตคงที่ และปรับค่าความดันของการฉีดInjection m/c ที่ค่า 60 MPa นั้นสุ่มชิ้นงานจากชิ้นงาน 300ชิ้นมา 30 ชิ้นตามแผนการสุ่มตัวอย่างเชิงนับ และวัดค่าความสูงรวมของชิ้นงาน บันทึกค่าที่วัดได้ลงในใบบันทึกผลการตรวจสอบ ขั้นต่อไปปรับค่าความดันของการฉีดInjection m/c ที่ค่า 70 MPa หลังจากนั้นสุ่มชิ้นงานจากชิ้นงาน 300 ชิ้น มา 30 ชิ้นตามแผนการสุ่มตัวอย่างเชิงนับ และวัดค่าความสูงรวมทั้งหมดของชิ้นงาน บันทึกค่าที่วัดได้ลงในใบบันทึกผลการตรวจสอบ หลังจากนั้น นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลและหาค่า P – VALUE เพื่อนำค่าที่ได้มายืนยันสมมติฐาน ที่ได้กำหนดไว้

<u>การศึกษาทดสอบสมมติฐานของปัจจัย อุณหภูมิแม่พิมพ์ กับการฉีดชิ้นงานไม่เต็ม</u>

การศึกษาทดสอบสมมติฐานของปัจจัย อุณหภูมิแม่พิมพ์ กับการฉีดชิ้นงานไม่เต็มของชิ้นงาน TEN-FRAA-400 โดยใช้สมมติฐานที่ (7) ถึง (8)

H_0: $\mu_5 - \mu_6 = 0$ (7)

H_1: $\mu_5 - \mu_6 < 0$ (8)

โดยกำหนดให้

μ_5 แทนค่าเฉลี่ยของชิ้นงานไม่เต็ม เมื่ออุณหภูมิแม่พิมพ์ เท่ากับ 80 องศาเซลเซียส

μ_6 แทนค่าเฉลี่ยของชิ้นงานไม่เต็ม เมื่ออุณหภูมิแม่พิมพ์ เท่ากับ 90 องศาเซลเซียส

ในกรณีที่ H_0 ในสมการที่ (7) ถูกปฏิเสธ หรือสมการที่ (8) เป็นจริง แสดงว่าอุณหภูมิแม่พิมพ์ มีผลกับการฉีดชิ้นงานไม่เต็มของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญโดยพิจารณาจาก ค่า P-VALUE ต้องมากกว่า ค่าระดับนัยสำคัญ (0.05) และ ในกรณีที่ H_0 ในสมการที่ (7) เป็นจริง หรือสมการที่ (8) ถูกปฏิเสธ แสดงว่าอุณหภูมิแม่พิมพ์ ไม่มีผลกับการฉีดชิ้นงานไม่เต็มของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญโดยพิจารณาจาก ค่า P-VALUE ต้องมากกว่า ค่าระดับนัยสำคัญ (0.05)

วิธีการวิจัยทำโดยการ กำหนดให้ปัจจัยอื่น ๆ ในกระบวนการผลิตคงที่ และปรับค่าอุณหภูมิแม่พิมพ์ ที่ค่า 80 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นสุ่มชิ้นงานจากชิ้นงาน 300ชิ้นมา 30 ชิ้นตามแผนการสุ่มตัวอย่างเชิงนับ และวัดค่าความสูงรวมของชิ้นงาน บันทึกค่าที่วัดได้ลงในใบบันทึกผลการตรวจสอบ ขั้นต่อไปปรับค่า อุณหภูมิแม่พิมพ์ ที่ค่า 90 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นสุ่มชิ้นงานจากชิ้นงาน 300 ชิ้นมา 30 ชิ้นตามแผนการสุ่มตัวอย่างเชิงนับ และวัดค่าความสูงรวมของชิ้นงาน บันทึกค่าที่วัดได้ลงในใบบันทึกผลการตรวจสอบ หลังจากนั้น นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลและหาค่า P – VALUE เพื่อนำค่าที่ได้มายืนยันสมมติฐาน ที่ได้กำหนดไว้

<u>การศึกษาทดสอบสมมติฐานของปัจจัย เวลาการเย็นตัวของชิ้นงาน กับการฉีดชิ้นงานไม่เต็ม</u>

สำหรับเวลาการเย็นตัวนี้ ได้มีการร้องขอจากฝ่ายผลิต เนื่องจากสามารถทำให้ยอดการผลิตสูงขึ้นและนำมาทดสอบเพื่อดูจำนวนของเสียประเภทชิ้นงานไม่เต็ม

การศึกษาทดสอบสมมติฐานของปัจจัย เวลาการเย็นตัวของชิ้นงาน กับ การฉีดชิ้นงานไม่เต็มของชิ้นงาน โดยใช้สมมติฐานที่ (9) ถึง (10)

$$H_0: \mu_7 - \mu_8 = 0 \qquad (9)$$

$$H_1: \mu_7 - \mu_8 < 0 \qquad (10)$$

โดยกำหนดให้

μ_7 แทนค่าเฉลี่ยของชิ้นงานไม่เต็ม เมื่อเวลาการเย็นตัว 2 วินาที

μ_8 แทนค่าเฉลี่ยของชิ้นงานไม่เต็ม เมื่อเวลาการเย็นตัว 5 วินาที

ในกรณีที่ H_0 ในสมการที่ (9) ถูกปฏิเสธ หรือสมการที่ (10) เป็นจริง แสดงว่า เวลาการเย็นตัว มีผลกับการฉีดชิ้นงานไม่เต็ม อย่างมีนัยสำคัญโดยพิจารณาจาก ค่า P-VALUE ต้องมากกว่า ค่าระดับนัยสำคัญ (0.05) และ ในกรณีที่ H_0 ในสมการที่ (9) เป็นจริง หรือสมการที่ (10) ถูกปฏิเสธ แสดงว่าเวลาการเย็นตัวของชิ้นงานไม่มีผลกับการฉีดชิ้นงานไม่เต็ม อย่างมีนัยสำคัญโดยพิจารณาจาก ค่า P-VALUE ต้องมากกว่า ค่าระดับนัยสำคัญ (0.05)

วิธีการวิจัยทำโดยการ กำหนดให้ปัจจัยอื่น ๆ ในกระบวนการผลิตคงที่ และปรับค่าเวลาการเย็นตัวของชิ้นงาน ที่ค่า 2 วินาที หลังจากนั้นสุ่มชิ้นงานจากชิ้นงาน 300 ชิ้นมา 30 ชิ้น ตามแผนการสุ่มตัวอย่างเชิงนับ และวัดค่าความยาว บันทึกค่าที่วัดได้ลงในใบบันทึกผลการตรวจสอบ ขั้นต่อไปปรับค่า เวลาการเย็นตัวของชิ้นงาน ที่ค่า 5 วินาที หลังจากนั้นสุ่มชิ้นงานจากชิ้นงาน 300 ชิ้นมา 30 ชิ้นตามแผนการสุ่มตัวอย่างเชิงนับ และวัดค่าความสูงรวมของชิ้นงาน บันทึกค่าที่วัดได้ลงในใบบันทึกผลการตรวจสอบ หลังจากนั้น นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลและหาค่า P – VALUE เพื่อนำค่าที่ได้มายืนยันสมมติฐาน ที่ได้กำหนด

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 การวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ โดยดูจาก กราฟฮิสโตแกรม ลักษณะของกราฟจะมีภาพร่างคล้ายระฆังคว่ำ ทำโดยการนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB ใช้ฟังก์ชั่น ANOVA

3.4.2 การวิเคราะห์ ปัจจัยที่มีผล กับการฉีดชิ้นงานไม่เต็ม โดยพิจารณาจาก ค่า P-VALUE ที่คำนวณได้เทียบกับ ระดับนัยสำคัญ 95% (α = 0.05)

ถ้าค่า P- VALUE น้อยกว่า α จะ ปฏิเสธ H_0 คือไม่ยอมรับสมมติฐานหลักและ ค่า P- VALUE มากกว่า α จะยอมรับ H_0 คือสมมติฐานหลักเป็นจริง

3.4.3 ผลการวิเคราะห์มาระบุปัจจัยที่มีผลต่อการฉีดไม่เต็มของ TEN-FRAA-400 ที่ Injection m/c

3.5 กำหนดมาตรฐานของแต่ละปัจจัยการผลิต

นำปัจจัยที่ทำให้เกิดการฉีดชิ้นงานไม่เต็มต่ำสุด พิจารณาจากค่าของปัจจัยที่ส่งผลให้ความสูงรวมของชิ้นงานเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด มากำหนดเป็นมาตรฐานการปฏิบัติงาน

3.6 แสดงต้นทุนที่ลดได้หลังจากกำหนดมาตรฐานการผลิตใหม่

เปรียบเทียบต้นทุนก่อนและหลังการแก้ไขมาตรฐาน ด้วยวิธีการคิดจำนวนชิ้นงานที่เสียไปมาคิดมูลค่า (2.11 บาทต่อชิ้น) กระบวนการผลิตแล้วนำต้นทุนที่คำนวณได้มาหาค่าต้นทุนที่ลดได้

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^K

นำปัจจัยที่เลือกมากำหนดสมมุติฐานกับอัตราการฉีดชิ้นงานไม่เต็มของชิ้นงานมา 4 ปัจจัย มาออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^4 แบบ 2 ระดับ 4 ปัจจัย 1 การทำซ้ำ

จาก Design table สามารถนำมากำหนดภาพแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล ของทั้ง 4 ปัจจัย ทั้งหมด 16 การทดลอง และลำดับการทดลองที่กำหนดมีภาพแบบตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1

แสดงแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^4 1 การทำซ้ำ

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	T	V	P	CT	proportion
1	8	1	1	1					
2	1	2	1	1					
3	2	3	1	1					
4	3	4	1	1					
5	7	5	1	1					
6	10	6	1	1					
7	15	7	1	1					
8	4	8	1	1					
9	6	9	1	1					
10	14	10	1	1					
11	11	11	1	1					
12	5	12	1	1					
13	9	13	1	1					
14	12	14	1	1					
15	16	15	1	1					
16	13	16	1	1					

4.2 ผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^K

นำตารางแบบที่กำหนดในตารางที่ 4.1 มาทำการทดลอง เก็บจำนวนตัวอย่างในการทดลอง n = 30 ชิ้นต่อครั้ง นำผลที่ได้ของแต่ละการทดลองมาคำนวณหาสัดส่วนของการฉีดไม่เต็มของชิ้นงาน ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2

แสดงผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^4 1 การทำซ้ำ

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	T	V	P	CT	proportion
1	8	1	1	1	90	60	70	2	0.00
2	1	2	1	1	80	55	60	2	0.98
3	2	3	1	1	90	55	60	2	0.75
4	3	4	1	1	80	60	60	2	0.68
5	7	5	1	1	80	60	70	2	0.26
6	10	6	1	1	90	55	60	5	0.73
7	15	7	1	1	80	60	70	5	0.25
8	4	8	1	1	90	60	60	2	0.41
9	6	9	1	1	90	55	70	2	0.29
10	14	10	1	1	90	55	70	5	0.28
11	11	11	1	1	80	60	60	5	0.73
12	5	12	1	1	80	55	70	2	0.60
13	9	13	1	1	80	55	60	5	0.95
14	12	14	1	1	90	60	60	5	0.38
15	16	15	1	1	90	60	70	5	0.00
16	13	16	1	1	80	55	70	5	0.58

กำหนดให้ V = เมื่อความเร็วการฉีด Injection m/c มีหน่วยวัดเป็น mm./s

P = เมื่อความดันการฉีด Injection m/c มีหน่วยวัดเป็น MPa

T = อุณหภูมิแม่พิมพ์ มีหน่วยวัดเป็น องศาเซสเซียส

CT = เวลาหล่อเย็นของชิ้นงาน มีหน่วยวัดเป็น วินาที

Proportion = สัดส่วนการฉีดชิ้นงานไม่เต็ม มีหน่วยเป็น จำนวนเต็ม

จากการนำสมมติฐานเข้าสู่การทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^4 สามารถแสดงผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ ผลหลักและอันตรกิริยาตามภาพที่ 4.1

Factorial Fit: Short Mold versus T, V, P, CT

```
Estimated Effects and Coefficients for Short Mold (coded units)

Term       Effect     Coef
Constant             0.4919
T         -0.2737  -0.1369
V         -0.3063  -0.1531
P         -0.4188  -0.2094
CT        -0.0087  -0.0044
T*V       -0.0088  -0.0044
T*P       -0.0063  -0.0031
T*CT      -0.0063  -0.0031
V*P       -0.0037  -0.0019
V*CT       0.0113   0.0056
P*CT      -0.0013  -0.0006
```

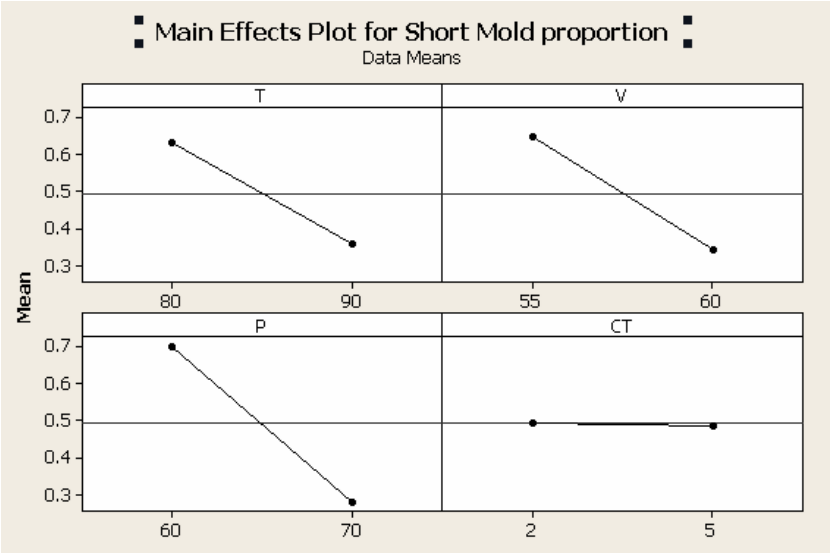
```
T*V*P      0.0338   0.0169
T*V*CT    -0.0112  -0.0056
T*P*CT     0.0113   0.0056
V*P*CT    -0.0062  -0.0031
T*V*P*CT   0.0113   0.0056


S = *   PRESS = *


Analysis of Variance for Short Mold (coded units)

Source              DF   Seq SS   Adj SS    Adj MS  F  P
Main Effects         4  1.37663  1.37663  0.344156  *  *
2-Way Interactions   6  0.00119  0.00119  0.000198  *  *
3-Way Interactions   4  0.00573  0.00573  0.001431  *  *
4-Way Interactions   1  0.00051  0.00051  0.000506  *  *
Residual Error       0        *        *         *
Total               15  1.38404


Estimated Coefficients for Short Mold using data in uncoded units

Term             Coef
Constant     -8.38000
T            0.200333
V            0.177333
P            0.282000
CT           -20.3700
T*V       -0.00320000
T*P       -0.00410000
T*CT         0.231333
V*P       -0.00466667
V*CT         0.369333
P*CT         0.290000
T*V*P     6.00000E-05
T*V*CT    -0.00420000
T*P*CT    -0.00330000
V*P*CT    -0.00526667
T*V*P*CT  6.00000E-05
```

ภาพที่ 4.1

แสดงผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ ผลหลักและอันตรกิริยา

การวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดฉีดงานไม่เต็ม (Short mold) เนื่องจากการทดลองไม่มีการทำซ้ำ (No Replicate) จึงทำให้จำนวนการทดลอง (Runs) ไม่เพียงพอต่อการประมาณค่าความผิดพลาด (Degree of freedom for error = 0) ซึ่งทำให้การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม MINITAB ไม่แสดงค่า P-Value ดังแสดงในภาพที่ 4.1 ดังนั้นจึงต้องใช้ Normal Plot of the Effects และแผนภูมิพาเรโต ซึ่งแสดงในภาพที่ 4.4 และภาพที่ 4.5 สำหรับพิจารณาว่าปัจจัยใดมีนัยสำคัญต่อข้อบกพร่องชนิดฉีดชิ้นงานไม่เต็ม (Short mold) นอกจากนี้ได้แสดงผลของปัจจัยหลักที่มีต่อข้อบกพร่องชนิดฉีด

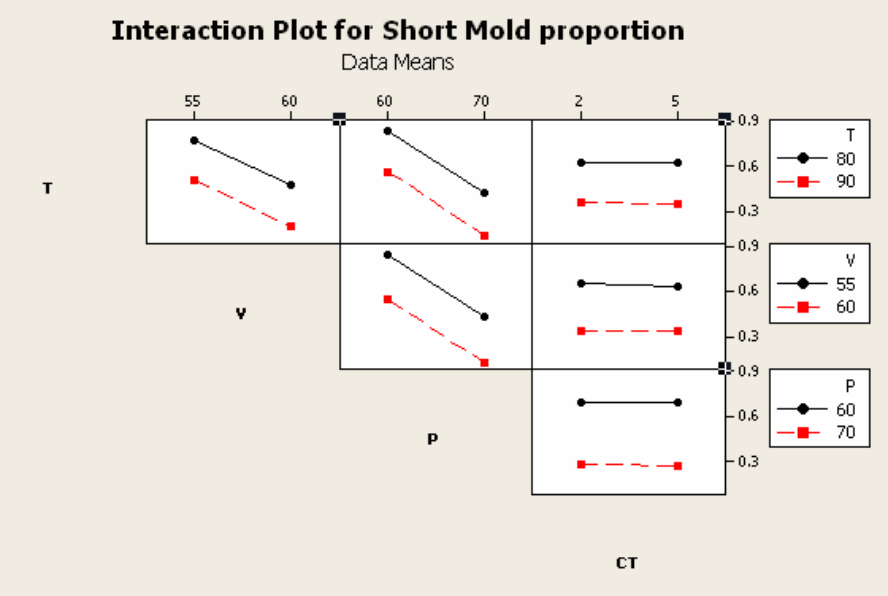
ชิ้นงานไม่เต็ม (Short mold) และผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อข้อบกพร่องชนิดฉีดชิ้นงานไม่เต็ม (Short mold) ดังภาพที่ 4.2 และภาพที่ 4.3 ตามลำดับ และเนื่องจากการไม่แสดงค่าของ P-Value ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการทดสอบสมมุติฐาน เพื่อสนับสนุนผลและยืนยันข้อมูลของ P-Value



ภาพที่ 4.2

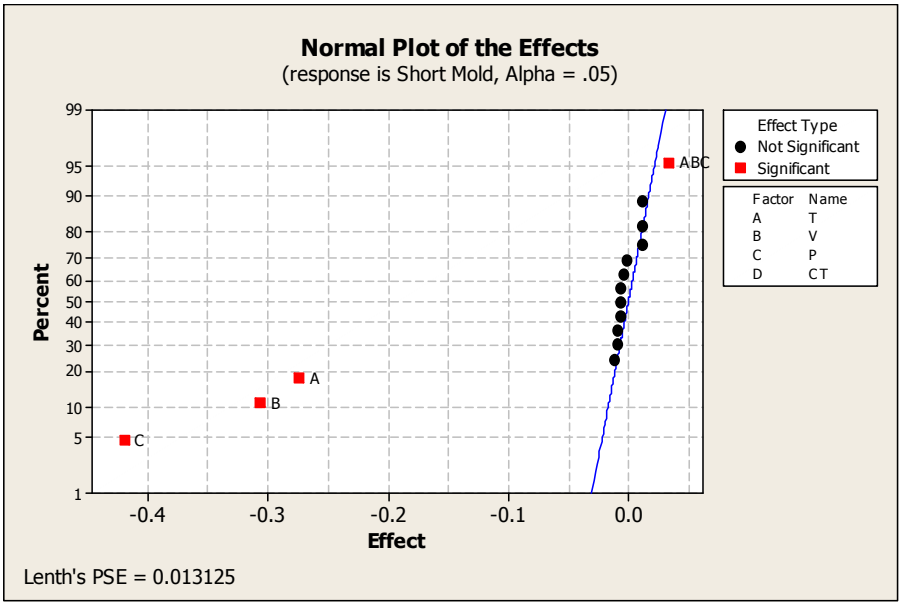
กราฟแสดงผลหลักของปัจจัย A, B และ C

กราฟแสดงผลของอันตรกิริยาตามภาพที่ 4.3 พบว่า T,V,P มีอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญจะสอดคล้องกันสามารถทำให้การฉีดไม่เต็มของชิ้นงานนั้นลดลง



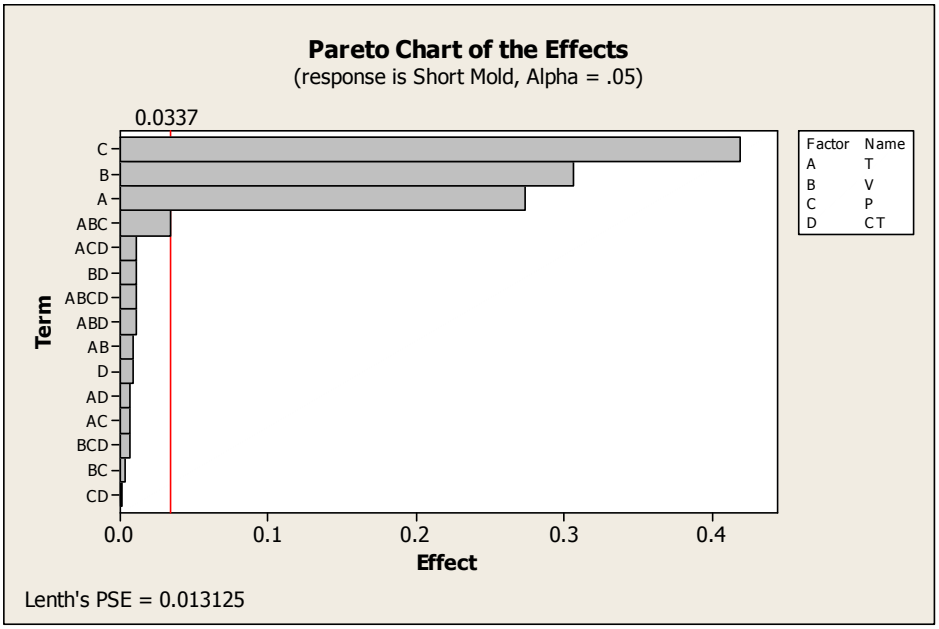
ภาพที่ 4.3

กราฟแสดงผลของอันตรกิริยา



ภาพที่ 4.4

Normal Plot of the Effects แสดงปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดฉีดชิ้นงานไม่เต็ม (Short mold)



ภาพที่ 4.5

แผนภูมิพาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดฉีดชิ้นงานไม่เต็ม (Short mold)

ผลการทดลองที่ได้ตามตารางที่ 4.2 มาหาผลของความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยโดยแยกเป็นผลหลัก (Main effects) ภาพที่ 4.2 และอันตรกิริยา (Interaction) ภาพที่ 4.3 จะแสดงผลหลัก T, V และ P ได้ผลดังนี้

ผลของ T , V และP พบว่าในการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^4 นั้นไม่สามารถมองเห็นแนวโน้มของความสัมพันธ์ได้ชัดเจนนัก จึงได้นำทฤษฎีการฉีดมาใช้ในหัวข้อดังนี้

ความเร็วฉีด คือ ความเร็วของสกรูที่เคลื่อนที่เพื่อทำหน้าที่ดันพลาสติกเหลวให้ไปอยู่ที่หัวฉีดและเข้าสู่แม่พิมพ์ โดยมีไฮดรอลิกเป็นตัวขับความเร็วฉีด ซึ่งความเร็วในการฉีดนี้จะมีผลต่อการไหลของพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ คือเมื่อพลาสติกเหลวไหลเข้าสู่แม่พิมพ์ด้วยค่าความเร็วที่สูงขึ้น สามารถนำเนื้อพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ได้ดีมากขึ้น

ความดันฉีด คือ ความดันที่ทำให้พลาสติกเหลวที่อยู่หน้าสกรูถูกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ ซึ่งสามารถปรับได้จากความดันไฮดรอลิก พลาสติกเหลวจะสามารถไหลเข้าสู่แม่พิมพ์ด้วยค่าความดันที่สูงขึ้น ซึ่งสามารถนำเนื้อพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ได้ดีมากขึ้น

อุณหภูมิแม่พิมพ์เป็นตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน การเปลี่ยนแปลงค่าของอุณหภูมิแม่พิมพ์มีอิทธิพลต่อพลาสติกเหลว เพราะเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิแม่พิมพ์สูงขึ้นจะส่งผลให้พลาสติกนั้นเหลวและสามารถไหลได้มากขึ้น

จากทฤษฎีที่ได้มาประกอบรวมกับผลการทดลองแล้วสรุปความสัมพันธ์ได้ดังนี้

เมื่อ T มีค่าอยู่ที่ระดับสูง ส่งผลให้สัดส่วนของการฉีดชิ้นงานไม่เต็มลดลง

เมื่อ V มีค่าอยู่ที่ระดับสูง ส่งผลให้สัดส่วนของการฉีดชิ้นงานไม่เต็มลดลง

เมื่อ P มีค่าอยู่ที่ระดับสูง ส่งผลให้สัดส่วนของการฉีดชิ้นงานไม่เต็มลดลง

และเมื่อ CT เวลาการหล่อเย็นของชิ้นงาน ไม่ว่าจะอยู่ที่ค่าต่ำหรือสูง พบว่า ไม่ส่งผลต่อสัดส่วนการฉีดชิ้นงานไม่เต็ม ดังนั้นการพิจารณาผลหลักเท่านั้นจะพบว่า เมื่อปรับระดับค่าทั้งความเร็วการฉีด,ความดันการฉีดและอุณหภูมิแม่พิมพ์ให้สูงแล้ว จะทำให้สัดส่วนของการฉีดชิ้นงานไม่เต็มลดลง แต่ต้องคำนึงถึงในเรื่องของแม่พิมพ์ที่อยู่ในสภาพที่ดีด้วยเมื่อเราทำการปรับเพิ่มระดับของ T,Vและ P เพื่อที่จะได้อัตราของเสียการฉีดชิ้นงานไม่เต็มลดลง

4.3 ผลการวิเคราะห์

เนื่องจากในการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลนั้น ไม่สามารถทราบค่า P-VALUE ได้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบสมมุติฐานแบบ Hypothesis เพื่อสนับสนุนผลการทดลองและนำทฤษฎีการฉีดมารองรับ และผลการวิเคราะห์ข้อมูลของปัจจัยที่มีผลต่อการฉีดชิ้นงานไม่เต็มของชิ้นงาน TEN-FRAA-400 โดยการวิจัยนี้จะนำปัจจัยในการผลิตของกระบวนการInjection จำนวน 4 ปัจจัย คือ ความเร็วฉีด,ความดันฉีด,อุณหภูมิแม่พิมพ์และเวลาการหล่อเย็นของชิ้นงานมาดำเนินการศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ กับการฉีดชิ้นงานไม่เต็มของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ

4.3.1 สำหรับในการทดสอบสมมุติฐานเพื่อวิเคราะห์ผลของความเร็วการฉีดต่อค่าเฉลี่ยของชิ้นงานไม่เต็ม โดยเปรียบเทียบระหว่างความเร็วการฉีดที่ 55 mm/s และ 60 mm/s ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลค่าความยาวของชิ้นงานเมื่อปรับค่าความเร็วการฉีด โดยปัจจัยอื่นคงที่และวัดขนาดความยาวของชิ้นงานและเก็บข้อมูลของเสีย ผลที่ได้แสดงตามตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3

แสดงความยาวของชิ้นงานเมื่อความเร็วการฉีด Injection m/c เท่ากับ 55 mm./s

ความยาวชิ้นงาน TEN-FRAA-400(มิลลิเมตร):ความเร็วการฉีด									
25.57	25.68	26.12	25.76	25.59	25.87	26.15	25.43	25.71	25.99
26.15	25.91	26.05	26.05	25.83	25.72	25.65	25.96	25.67	25.82
25.73	26.04	25.55	25.96	25.67	25.78	25.94	25.91	26.01	25.72

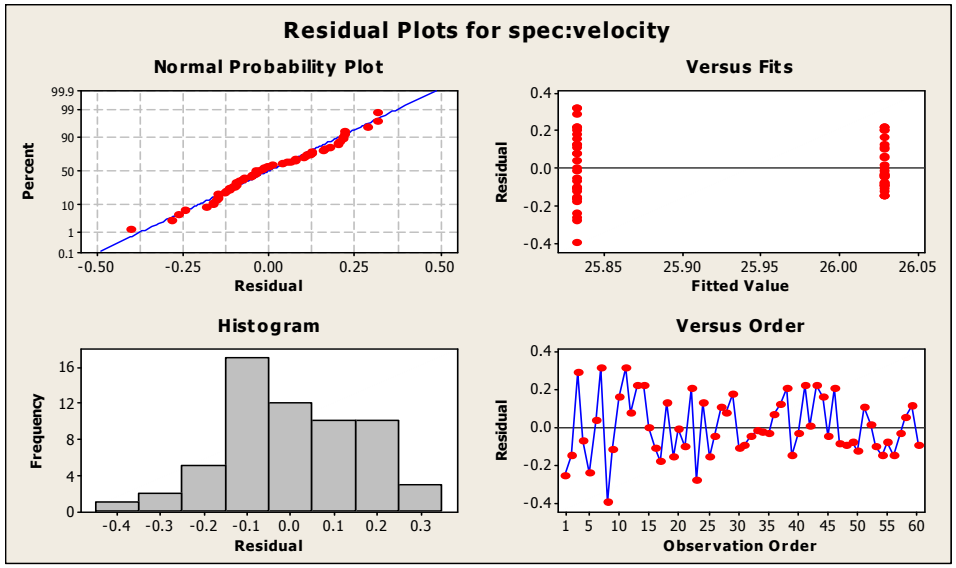
ตารางที่ 4.4

แสดงความยาวของชิ้นงานเมื่อความเร็วการฉีด Injection m/c เท่ากับ 60 mm./s

ความยาวชิ้นงาน TEN-FRAA-400(มิลลิเมตร):ความเร็วการฉีด									
25.93	25.98	26.01	26.00	25.99	26.09	26.15	26.23	25.88	25.99
26.25	26.03	26.25	26.19	25.98	26.23	25.94	25.93	25.95	25.90
26.13	26.04	25.92	25.88	25.95	25.88	25.99	26.08	26.14	25.93

นำค่าความยาวของชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง ที่แสดงในตารางที่ 4.3 มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลที่ได้แสดงคือ ค่าเฉลี่ยของความยาวของชิ้นงานอยู่ที่ 25.833 มิลลิเมตรและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.1924 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และที่แสดงในตารางที่ 4.4 มาคำนวณ หาค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลที่ได้คือ ค่าเฉลี่ยความยาวของชิ้นงานอยู่ที่ 26.028 มิลลิเมตรและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.1179 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

นำผลการทดลองตามตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 มาทดสอบการแจกแจงความถี่ของข้อมูลทั้ง 2 โดยใช้โปรแกรม MINITAB คำนวณผล ผลที่ได้แสดงตามภาพที่ 4.6 สรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงความถี่แบบปกติ



ภาพที่ 4.6

กราฟแสดงการแจกแจงความถี่ของชิ้นงานปัจจัยความเร็วการฉีด Injection m/c

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองตามตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่าง การฉีดชิ้นงานไม่เต็มของชิ้นงานกับความเร็วการฉีด Injection m/c โดยใช้วิธีการทดสอบสมมุติฐาน คำนวณโดยโปรแกรม MINITAB ผลที่ได้จากการคำนวณ แสดงในภาพที่ 4.7 ซึ่งจะพบว่า ค่า P-VALUE = 0 ซึ่งน้อยกว่า ระดับนัยสำคัญที่ 0.05

One-way ANOVA: spec:velocity versus Velocity

```
Source    DF      SS      MS      F      P
Velocity   1  0.5704  0.5704  22.40  0.000
Error     58  1.4771  0.0255
Total     59  2.0475

S = 0.1596   R-Sq = 27.86%   R-Sq(adj) = 26.61%

                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level   N    Mean  StDev  --------+---------+---------+---------+-
55     30  25.833  0.192  (------*------)
60     30  26.028  0.118                   (-------*------)
                          --------+---------+---------+---------+-
                               25.840    25.920    26.000    26.080
Pooled StDev = 0.160

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Velocity

Individual confidence level = 95.00%
```

ภาพที่ 4.7

การคำนวณความสัมพันธ์ความเร็วการฉีด กับชิ้นงานไม่เต็มของชิ้นงาน

สรุปผลการทดลอง ปัจจัยความเร็วการฉีด Injection m/c

ผลการทดลอง ค่า P-VALUE = 0 น้อยกว่า ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 หมายความว่า ความเร็วการฉีด Injection m/c มีผลต่ออัตราการฉีดชิ้นงานไม่เต็มของชิ้นงาน

4.3.2 สำหรับในการทดสอบสมมุติฐานเพื่อวิเคราะห์ผลของความดันการฉีดต่อค่าเฉลี่ยของชิ้นงานไม่เต็ม โดยเปรียบเทียบระหว่างความดันการฉีดที่ 60 MPa และ 70 MPa ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลค่าความยาวของชิ้นงานเมื่อปรับค่าความดัน โดยปัจจัยอื่นคงที่และวัดขนาดความยาวของชิ้นงานและเก็บข้อมูลของเสีย ผลที่ได้จะแสดงตามตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5

แสดงความยาวของชิ้นงานเมื่อความดันของการฉีด Injection m/c เท่ากับ 60 MPa

ความยาวชิ้นงาน TEN-FRAA-400(มิลลิเมตร):ความดันการฉีด									
25.43	25.68	26.01	26.09	25.99	25.87	26.10	26.73	25.78	25.82
25.76	26.01	26.02	25.83	25.98	26.13	25.83	25.88	25.64	25.72
25.63	26.00	25.76	25.69	25.99	25.76	25.79	26.02	26.05	25.72

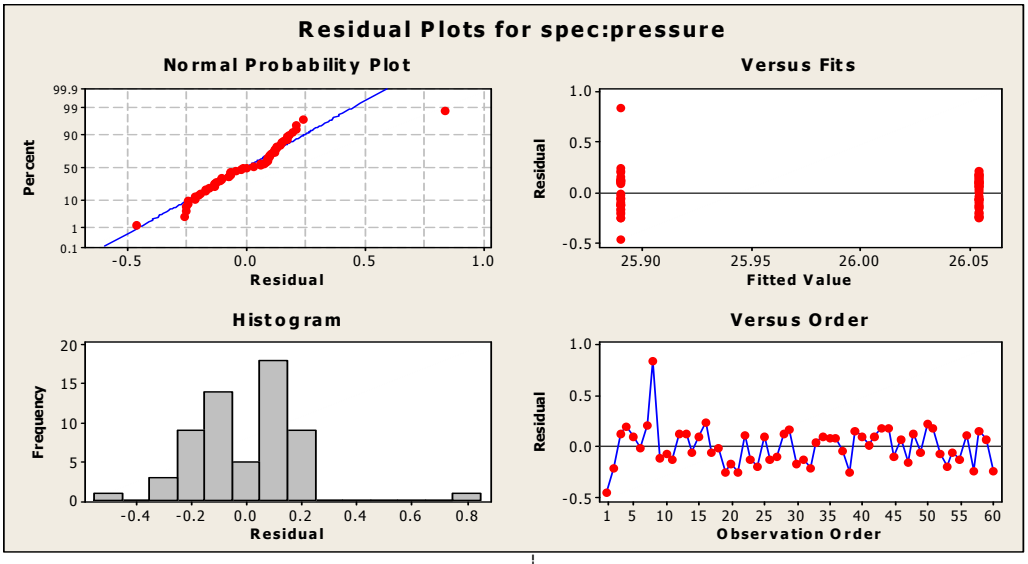
ตารางที่ 4.6

แสดงความยาวของชิ้นงานเมื่อความดันของการฉีด Injection m/c เท่ากับ 70 MPa

ความยาวชิ้นงาน TEN-FRAA-400(มิลลิเมตร):ความดันการฉีด									
25.93	25.84	26.09	26.15	26.14	26.13	26.01	25.80	26.21	26.15
26.06	26.15	26.23	26.24	25.95	26.12	25.90	26.18	25.99	26.27
26.23	25.98	25.86	25.99	25.92	26.17	25.81	26.20	26.12	25.81

นำค่าความยาวของชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง ที่แสดงในตารางที่ 4.5 มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลที่ได้คือ ค่าเฉลี่ยความยาวของชิ้นงานอยู่ที่ 25.890 มิลลิเมตรและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.2307 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และที่แสดงในตารางที่ 4.6 มาคำนวณ หาค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลที่ได้คือ ค่าเฉลี่ยของชิ้นงานไม่เต็ม อยู่ที่ 26.054 มิลลิเมตรและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.1461 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

นำผลการทดลองตามตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 มาทดสอบการแจกแจงความถี่ของข้อมูลทั้ง 2 โดยใช้โปรแกรม MINITAB คำนวณผล ผลที่ได้แสดงตามภาพที่ 4.8 สรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงความถี่แบบปกติ



ภาพที่ 4.8

กราฟแสดงการแจกแจงความถี่ของชิ้นงานกับความดันของการฉีด

นำผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดชิ้นงานไม่เต็มกับความดันของการฉีด Injection m/c โดยใช้วิธีการทดสอบสมมุติฐาน คำนวณโดยโปรแกรม MINITAB ผลที่ได้จากการคำนวณ แสดงในภาพที่ 4.9 จะพบว่า ค่า P-VALUE = 0.002 ซึ่งน้อยกว่า ระดับนัยสำคัญที่ 0.05

One-way ANOVA: spec:pressure versus Pressure

```
Source    DF      SS      MS      F      P
Pressure   1  0.4034  0.4034  10.81  0.002
Error     58  2.1642  0.0373
Total     59  2.5677

S = 0.1932   R-Sq = 15.71%   R-Sq(adj) = 14.26%

                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level   N    Mean  StDev  ---+---------+---------+---------+------
60     30  25.890  0.231  (--------*--------)
70     30  26.054  0.146                    (--------*--------)
                          ---+---------+---------+---------+------
                          25.840    25.920    26.000    26.080

Pooled StDev = 0.193

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Pressure

Individual confidence level = 95.00%
```

ภาพที่ 4.9

การคำนวณความสัมพันธ์ความดันของการฉีดกับชิ้นงานไม่เต็ม

สรุปผลการทดลอง ปัจจัยความดันของการฉีดInjection m/c

ผลการทดลองพบว่า ค่า P-VALUE = 0.000 น้อยกว่า ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 หมายความว่า ความดันของการฉีด Injection m/c มีผลต่ออัตราการฉีดชิ้นงานไม่เต็ม

4.3.3 สำหรับในการทดสอบสมมุติฐานเพื่อวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิแม่พิมพ์ ต่อค่าเฉลี่ยของชิ้นงานไม่เต็ม โดยเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์ ที่ 80 องศาเซลเซียส และ 90 องศาเซลเซียส ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลค่าความยาวของชิ้นงานเมื่อปรับค่าความดัน โดยปัจจัยอื่นคงที่และวัดขนาดความยาวของชิ้นงานและเก็บข้อมูลของเสีย ผลที่ได้จะแสดงตามตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7

แสดงความยาวของชิ้นงานเมื่ออุณหภูมิแม่พิมพ์ เท่ากับ 80 องศาเซลเซียส

ความยาวชิ้นงาน TEN-FRAA-400(มิลลิเมตร):อุณหภูมิแม่พิมพ์									
25.51	25.42	25.68	25.99	25.97	25.63	26.00	25.74	25.92	25.65
25.83	25.75	25.98	25.88	25.81	25.55	25.89	26.04	25.99	26.01
25.42	25.73	25.94	25.87	25.83	26.05	25.99	26.02	25.87	25.71

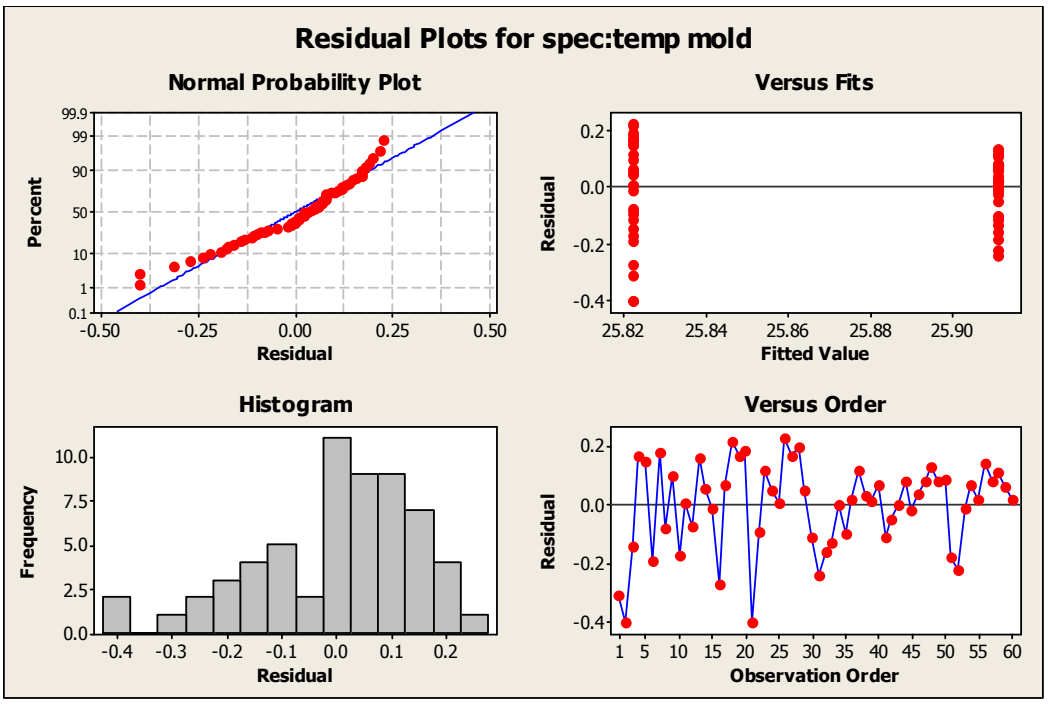
ตารางที่ 4.8

แสดงความยาวของชิ้นงานเมื่ออุณหภูมิแม่พิมพ์ เท่ากับ 90 องศาเซลเซียส

ความยาวชิ้นงาน TEN-FRAA-400(มิลลิเมตร):อุณหภูมิแม่พิมพ์									
25.67	25.75	25.78	25.91	25.81	25.93	26.03	25.94	25.92	25.98
25.80	25.86	25.91	25.99	25.89	25.95	25.99	26.04	25.99	26.00
25.73	25.69	25.90	25.98	25.93	26.05	25.99	26.02	25.97	25.93

นำค่าความยาวของชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง ที่แสดงในตารางที่ 4.7 มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลที่ได้คือค่าเฉลี่ยความยาวของชิ้นงานอยู่ที่ 25.822 มิลลิเมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.1845 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และที่แสดงในตารางที่ 4.8 มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลที่ได้แสดงคือ ค่าเฉลี่ยความยาวของชิ้นงานอยู่ที่ 25.911 มิลลิเมตรและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.1050 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

นำผลการทดลองตามตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8 มาทดสอบการแจกแจงความถี่ของข้อมูลทั้ง 2 โดยใช้โปรแกรม MINITAB คำนวณผล ผลที่ได้แสดงตามภาพที่ 4.10 สรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงความถี่แบบปกติ



ภาพที่ 4.10
กราฟแสดงการแจกแจงความถี่ของชิ้นงานกับอุณหภูมิแม่พิมพ์

นำผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8 มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดชิ้นงานไม่เต็มกับอุณหภูมิแม่พิมพ์ โดยใช้วิธีการทดสอบสมมุติฐานคำนวณด้วยโปรแกรม MINITAB ผลที่ได้จากการคำนวณ แสดงในภาพที่ 4.11 จะพบว่า ค่า P-VALUE = 0.026 น้อยกว่า ระดับนัยสำคัญ 0.05

One-way ANOVA: spec:temp mold versus Temp mold

```
Source     DF      SS      MS     F      P
Temp mold   1  0.1179  0.1179  5.23  0.026
Error      58  1.3076  0.0225
Total      59  1.4255

S = 0.1501   R-Sq = 8.27%   R-Sq(adj) = 6.69%


                           Individual 95% CIs For Mean Based on
                           Pooled StDev
Level   N    Mean  StDev  -------+---------+---------+---------+--
80     30  25.822  0.185  (----------*----------)
90     30  25.911  0.105                  (----------*----------)
                           -------+---------+---------+---------+--
                               25.800    25.850    25.900    25.950

Pooled StDev = 0.150


Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Temp mold

Individual confidence level = 95.00%
```

ภาพที่ 4.11

แสดงการคำนวณเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดชิ้นงานไม่เต็มกับอุณหภูมิแม่พิมพ์

สรุปผลการทดลอง ปัจจัยอุณหภูมิแม่พิมพ์

ผลการทดลองได้ ค่า P-VALUE = 0.026 น้อยกว่า ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 หมายความว่า อุณหภูมิแม่พิมพ์ มีผลต่ออัตราการฉีดชิ้นงานไม่เต็ม

4.3.4 สำหรับในการทดสอบสมมุติฐานเพื่อวิเคราะห์ผลของเวลาการเย็นตัวของชิ้นงาน ต่อค่าเฉลี่ยของชิ้นงานไม่เต็ม โดยเปรียบเทียบระหว่างเวลาการเย็นตัวของชิ้นงานที่ 2 วินาที และ 5 วินาที ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลค่าความยาวของชิ้นงานเมื่อปรับค่าเวลาการเย็นตัวของชิ้นงาน โดยปัจจัยอื่นคงที่และวัดขนาดความยาวของชิ้นงานและเก็บข้อมูลของเสีย ผลที่ได้จะแสดงตามตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.9

แสดงความยาวของชิ้นงานเมื่อเวลาการเย็นตัวของชิ้นงาน เท่ากับ 2 วินาที

ความยาวชิ้นงาน TEN-FRAA-400(มิลลิเมตร):เวลาหล่อเย็น									
25.65	25.56	25.98	25.99	25.99	25.48	25.87	25.54	25.90	25.87
25.78	25.65	25.82	25.90	25.81	25.57	25.89	25.84	25.92	26.06
25.51	25.61	25.99	25.87	25.83	26.00	25.91	26.00	25.79	25.82

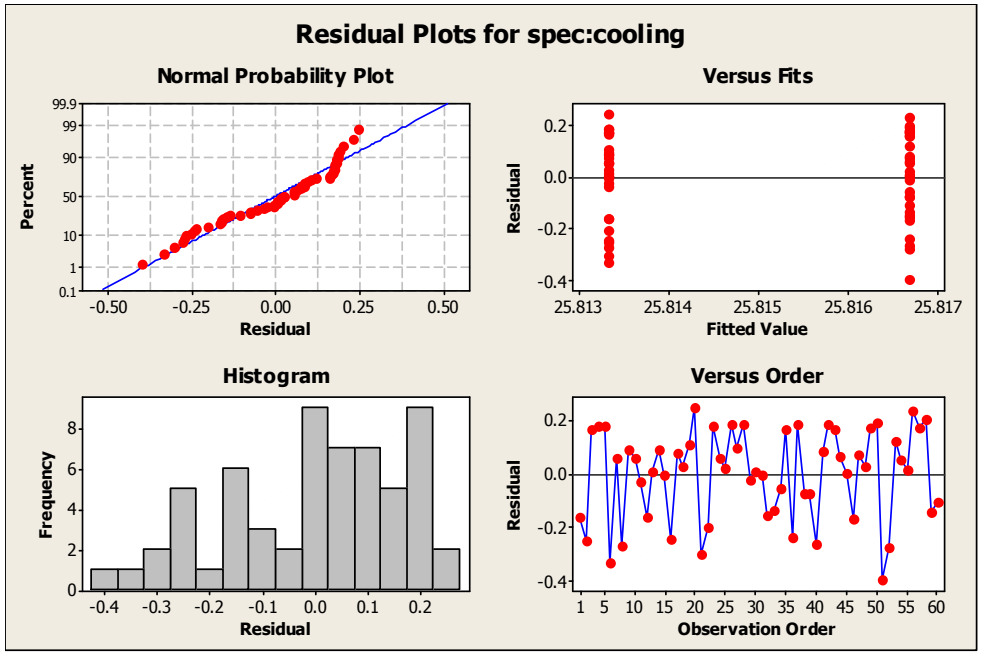
ตารางที่ 4.10

แสดงความยาวของชิ้นงานเมื่อเวลาการเย็นตัวของชิ้นงาน เท่ากับ 5 วินาที

ความยาวชิ้นงาน TEN-FRAA-400(มิลลิเมตร):เวลาหล่อเย็น									
25.81	25.66	25.68	25.76	25.98	25.58	26.00	25.74	25.74	25.55
25.90	26.00	25.98	25.88	25.82	25.65	25.89	25.84	25.99	26.01
25.42	25.54	25.94	25.87	25.83	26.05	25.99	26.02	25.67	25.71

นำค่าความยาวของชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง ที่แสดงในตารางที่ 4.9 มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลที่ได้คือ ค่าเฉลี่ยความยาวของชิ้นงานอยู่ที่ 25.813 มิลลิเมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.1662 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และที่แสดงในตารางที่ 4.10 มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลที่ได้คือ ค่าเฉลี่ยความยาวของชิ้นงานอยู่ที่ 25.817 มิลลิเมตรและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.1690 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

นำผลการทดลองตามตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10 มาทดสอบการแจกแจงความถี่ของข้อมูลทั้ง 2 โดยใช้โปรแกรม MINITAB คำนวณผล ผลที่ได้แสดงตามภาพที่ 4.12 สรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงความถี่แบบปกติ



ภาพที่ 4.12

กราฟแสดงการแจกแจงความถี่ของชิ้นงานกับเวลาการเย็นตัวของชิ้นงาน

นำผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10 มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดชิ้นงานไม่เต็มกับเวลาการเย็นตัว โดยใช้วิธีการทดสอบสมมุติฐาน คำนวณด้วยโปรแกรม MINITAB ผลที่ได้จากการคำนวณ แสดงในภาพที่ 4.13 จะพบว่า ค่า P-VALUE = 0.939 มากกว่า ระดับนัยสำคัญ 0.05

One-way ANOVA: spec:cooling versus Cooling tm

```
Source      DF      SS      MS     F      P
Cooling tm   1  0.0002  0.0002  0.01  0.939
Error       58  1.6307  0.0281
Total       59  1.6309

S = 0.1677   R-Sq = 0.01%   R-Sq(adj) = 0.00%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level   N    Mean  StDev   --+---------+---------+---------+-------
2      30  25.813  0.166   (-----------------*-----------------)
5      30  25.817  0.169    (-----------------*-----------------)
                           --+---------+---------+---------+-------
                          25.760    25.795    25.830    25.865

Pooled StDev = 0.168


Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Cooling tm

Individual confidence level = 95.00%
```

ภาพที่ 4.13

แสดงการคำนวณเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดชิ้นงานไม่เต็มกับ

เวลาการเย็นตัวของชิ้นงาน

สรุปผลการทดลอง ปัจจัยเวลาการเย็นตัวของชิ้นงาน

ผลการทดลองได้ ค่า P-VALUE = 0.939 มากกว่า ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงยอมรับ H_0 หมายความว่า เวลาการเย็นตัวของชิ้นงาน ไม่มีผลต่ออัตราการฉีดชิ้นงานไม่เต็ม

ดังนั้น การทดสอบสมมติฐานของทั้ง 4 ปัจจัย ตามที่ได้กำหนดไว้สามารถสรุปได้ว่า มี 3 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการฉีดชิ้นงานไม่เต็ม ดังนี้

1. ความเร็วการฉีดของ Injection M/C
2. ความดันการฉีดของ Injection M/C
3. อุณหภูมิแม่พิมพ์

4.4 ผลพิจารณาอัตราการฉีดไม่เต็มของชิ้นงาน

จากผลการทดสอบสมมุติฐาน Hypothesis เพื่อสนับสนุนผลลัพธ์ของแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล และนำทฤษฎีการฉีดมารองรับและยืนยันผลการทดลอง เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลของปัจจัยที่มีผลต่อการฉีดชิ้นงานไม่เต็มของชิ้นงาน TEN-FRAA-400 โดยการวิจัยนี้จะนำปัจจัยในการผลิตของกระบวนการ Injection จำนวน 4 ปัจจัย คือ ความเร็วฉีด,ความดันฉีด,อุณหภูมิแม่พิมพ์และเวลาการหล่อเย็นของชิ้นงาน มาดำเนินการศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ กับการฉีดชิ้นงานไม่เต็มของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากวิเคราะห์ผลจากตารางที่ 4.2 พบว่าจะพบสัดส่วนการฉีดชิ้นงานไม่เต็มในสัดส่วนที่ค่าต่ำที่สุด จึงนำปัจจัยในผลการทดลองนั้นมาใช้เพื่อเป็นมาตรฐานใหม่ และมีการปรับค่าดังนี้

1. ความเร็วการฉีด Injection m/c เท่ากับ 60 mm./s
2. ความดันของการฉีดInjection m/c เท่ากับ 70 MPa
3. อุณหภูมิแม่พิมพ์ เท่ากับ 90 องศาเซลเซียส
4. เวลาหล่อเย็นของชิ้นงาน เท่ากับ 2 วินาที

พบว่า เมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ตามที่ได้จากการทดลองนั้นได้ผลการทดลองในเรื่องอัตราส่วนของการฉีดไม่เต็มของชิ้นงานในผลลัพธ์ คือสามารถลดปัญหาการฉีดชิ้นงานไม่เต็มได้ลดลง โดยได้เริ่มทำการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงตั้งแต่ พ.ค 51-ก.ย 51 และเก็บข้อมูลหลังการเข้าไปปรับปรุง ตั้งแต่ ต.ค 51 – ม.ค 52 แสดงผลดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11

แสดงยอดเปอร์เซ็นต์ของเสียก่อนและหลังการปรับปรุง

เดือน	ก่อนการปรับปรุง %การฉีดชิ้นงานไม่เต็ม	หลังการปรับปรุง %การฉีดชิ้นงานไม่เต็ม
พ.ค 51	3.15	-
มิ.ย 51	3.23	-
ก.ค 51	2.95	-
ส.ค 51	2.91	-
ก.ย 51	3.12	-
ต.ค 51	-	0.49
พ.ย 51	-	0.65
ธ.ค 51	-	0.71
ม.ค 52	-	0.18

4.5 การกำหนดมาตรฐานของแต่ละปัจจัยการผลิต

ผลการทดลองระบุปัจจัยที่มีผลกับอัตราการฉีดไม่เต็มของชิ้นงาน TEN-FRAA-400 ตามหัวข้อที่ 4.3 ได้นำปัจจัยที่ระบุมาวิเคราะห์แต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการฉีดไม่เต็ม และได้ค่าของปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการฉีดไม่เต็มของชิ้นงานน้อยที่สุดตามหัวข้อที่ 4.4 และผลที่ได้นั้นคือมีอัตราส่วนการฉีดไม่เต็มชิ้นงานในระดับที่น่าพึงพอใจ ผลที่ได้จึงนำมากำหนดเป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานของแต่ละปัจจัยใหม่ตามผลของการทดลอง ดังนี้

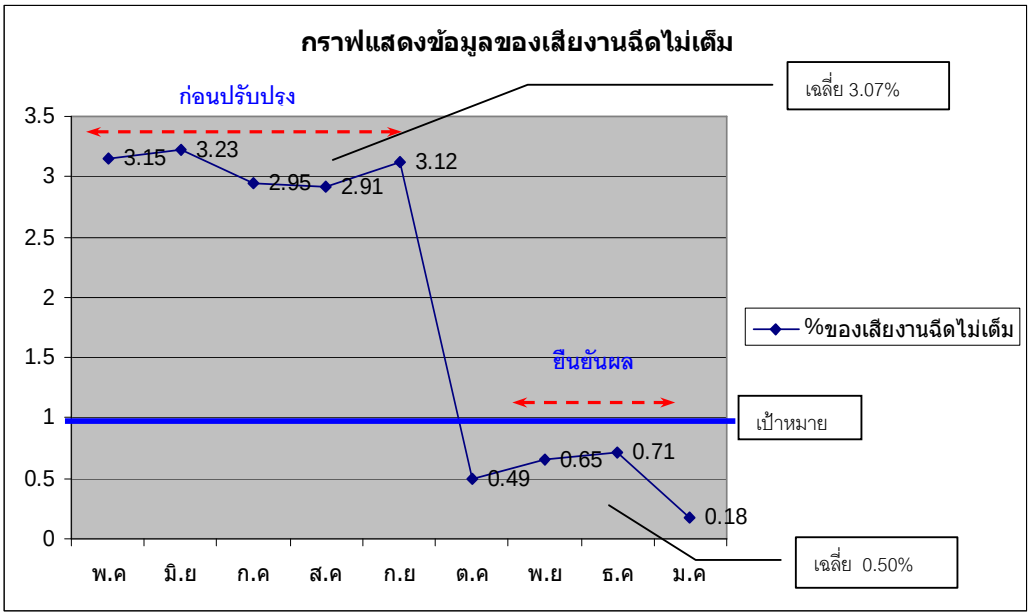
1. ความเร็วการฉีด Injection m/c เท่ากับ 60 mm./s
2. ความดันของการฉีดInjection m/c เท่ากับ 70 MPa
3. อุณหภูมิแม่พิมพ์ เท่ากับ 90 องศาเซลเซียส
4. เวลาหล่อเย็นของชิ้นงาน เท่ากับ 2 วินาที เนื่องจากไม่ส่งผลต่ออัตราของเสียและสามารถทำให้ได้ผลผลิตของชิ้นงานที่เพิ่มมากขึ้น นำมาตรฐานการปฏิบัติงานที่กำหนดขึ้นใหม่ไปใช้งานในกระบวนการผลิตชิ้นงานของบริษัท

4.6 เปรียบเทียบต้นทุนที่ลดได้หลังจากกำหนดมาตรฐานการผลิตใหม่

เปรียบเทียบต้นทุนก่อนและหลังการแก้ไขมาตรฐาน ด้วยวิธีการคิดจำนวนชิ้นงานที่เสียไปมาคิดมูลค่า (2.11 บาทต่อชิ้น) กระบวนการผลิตแล้วนำต้นทุนที่คำนวณได้มาหาค่าต้นทุนที่ลดได้ จากยอดการสั่งซื้อ1,250,000 ตัว/เดือน ซึ่งเดิมอัตราส่วนของเสียประเภทการฉีดไม่เต็มจาก 3.07% เป็น 0.5%*** ภาพที่ 4.14 แสดงข้อมูลของงานฉีดชิ้นงานไม่เต็ม

*** (หมายเหตุ: หลังจากได้นำมาตรฐานการผลิตใหม่มาใช้)

คำนวณค่าของเสียงานฉีดไม่เต็มลดลงได้ 2.57% (ราคาชิ้นงาน 2.11 บาทต่อชิ้น) ซึ่งเป็นจำนวนเงินที่สามารถลดได้ เท่ากับ 67,783.75 บาทต่อเดือน



ภาพที่ 4.14
แสดงข้อมูลของงานฉีดชิ้นงานไม่เต็ม

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเกี่ยวกับ การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการฉีดไม่เต็มของชิ้นงาน เพื่อจัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงานและแก้ไขเอกสารของพารามิเตอร์การฉีดพลาสติกชิ้นงานTEN-FRAA-400 มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิตที่เกิดจากชิ้นงานเสีย ซึ่งเป็นชิ้นงานเสียจำพวกชิ้นงานไม่เต็มแบบ (Shortmold) เนื่องจากชิ้นงานไม่เต็มแบบของกระบวนการฉีดนั้นมีจำนวนมาก ส่งผลให้ยอดของการผลิตและการส่งงานไปแผนกถัดไปนั้นต่ำลง ปัจจัยที่นำมาศึกษามาด้วยกันทั้งหมด 4 ปัจจัย คือ

1. ความเร็วของการฉีด Injection m/c
2. ความดันของการฉีดInjection m/c
3. อุณหภูมิแม่พิมพ์
4. เวลาการเย็นตัวของชิ้นงาน

5.1.1 การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ตอนคือ ออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^4 และสนับสนุนผลด้วยการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis test) ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ ดังนี้

- ความเร็วของการฉีด Injection m/c ที่ความเร็วระดับสูง จะส่งผลให้อัตราการฉีดไม่เต็มของชิ้นงานต่ำลง ในทางกลับกันเมื่อความเร็วการฉีด Injection m/c ที่ความเร็วอยู่ในระดับต่ำ อัตราการฉีดไม่เต็มของชิ้นงานก็จะสูง

- ความดันของการฉีดInjection m/c ที่ความเร็วระดับสูง จะส่งผลให้อัตราการฉีดไม่เต็มของชิ้นงานต่ำลง ในทางกลับกันเมื่อความดันของการฉีด injection m/c ที่ความเร็วอยู่ในระดับต่ำ อัตราการฉีดไม่เต็มของชิ้นงานก็จะสูง

- อุณหภูมิแม่พิมพ์อยู่ในระดับต่ำ จะส่งผลให้อัตราการฉีดไม่เต็มของชิ้นงานสูง เมื่ออุณหภูมิแม่พิมพ์อยู่ในระดับสูง อัตราการการฉีดไม่เต็มของชิ้นงานต่ำ

5.2 นำผลที่ได้มากำหนดเป็นมาตรฐานการปฏิบัติงาน โดยทำการแก้ไขเอกสาร และใช้กับกระบวนการผลิตจริง ผลที่ได้หลังจากนำมาตรฐานใหม่ไปใช้แล้ว พบว่าสามารถลดต้นทุนในการผลิตที่เกิดจากปัญหาการฉีดไม่เต็มของชิ้นงานได้จริง ตามสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้ คือ เป้าหมายลดของเสียการฉีดชิ้นงานไม่เต็มจาก 3.07% ให้ลดลงเหลือ 1% ซึ่งหลังจากการกำหนดมาตรฐาน

การผลิตใหม่แล้วเราสามารถลดลงได้เหลือ 0.5% จึงมีส่วนที่แตกต่างของของจำนวนงานฉีดไม่เต็ม คือ 2.57% เมื่อคิดเป็นจำนวนเงิน เท่ากับ 67,783.75 บาท ต่อเดือน

5.2 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาครั้งนี้ การปรับตั้งค่าหรือออกแบบการทดลองนั้นอาจจะต้องทำการแก้ไข เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับชิ้นงานมากที่สุด โดยชิ้นงาน TEN-FRAA-400 นั้น นอกจากพบของเสียประเภทการฉีดชิ้นงานไม่เต็มแล้ว ยังมีของเสียประเภทอื่นๆ อีก ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ดีและลดขั้นตอนการทำการทดลองนั้น จึงต้องปฏิบัติตามมาตรฐานใหม่ที่ได้กำหนดไว้

2. ในการศึกษาครั้งนี้ ศึกษาเฉพาะปัจจัยที่ เกิดจากเครื่องจักรในกระบวนการผลิตเท่านั้น ในความเป็นจริงแล้วยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ จะส่งผลต่ออัตราการฉีดชิ้นงานไม่เต็มของชิ้นงานได้อีก คือ ชนิดของเม็ดพลาสติก รวมถึงเกรดของเม็ดพลาสติกที่มีคุณสมบัติและคุณลักษณะต่างกัน ดังนั้นถ้าชิ้นงาน TEN-FRAA-400 ได้มีความจำเป็นที่ต้องเปลี่ยนชนิดของเม็ดพลาสติกเป็นชนิดอื่นๆ ควรที่จะต้องทำการออกแบบการทดลองใหม่ เนื่องจากเม็ดพลาสติกแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันทางด้านคุณสมบัติ

3. การเลือกปัจจัยที่นำมาศึกษาให้เหมาะสม ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตจริง และการซ่อมบำรุงรักษาแม่พิมพ์ที่ใช้อยู่ เนื่องจากวัสดุพลาสติกที่นำมาใช้ในการฉีดมีส่วนผสมของเส้นใยแก้ว ซึ่งจะทำให้ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์นั้นเสื่อมสภาพหรือเสียหายได้เร็วกว่าปกติ ควรทำความสะอาดตามระยะเวลาที่กำหนด เพื่อยืดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนต่างๆของแม่พิมพ์ รวมถึงเครื่องฉีดที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ด้วยมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องให้เครื่องฉีดแต่ละเครื่องอยู่ในสภาพที่ดี เนื่องจากทำให้มีความเที่ยงตรงแม่นยำมากขึ้นในการปรับค่าพารามิเตอร์ รวมถึงการแก้ไขปัญหางาน

4. ได้เพิ่มมาตรฐานการปฏิบัติงาน โดยให้เริ่มเก็บงานหลังจากเริ่มต้นการผลิตแล้ว 30 รอบการผลิต เนื่องจากพบปริมาณของเสียปะปนรวมกับงานดี สาเหตุเกิดจากก่อนการเริ่มต้นการผลิตแต่ละช่วงเวลานั้นได้มีการหยุดเครื่อง เนื่องจากการพักเบรคของพนักงานรวมถึงการเปลี่ยนกะระหว่างกลางวันและกลางคืน (นโยบายบริษัทงดการทำงานล่วงเวลา) ทำให้พบของเสียประเภทการฉีดชิ้นงานไม่เต็มปะปนกับงานดี ส่งผลให้ข้อมูลผิดพลาด แต่จากการได้เข้าไปทำตรวจสอบและเพิ่มมาตรฐานการปฏิบัติงานพบว่าได้ผลลัพธ์%ของเสียการฉีดไม่เต็มของชิ้นงานลดลง

บรรณานุกรม

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. *การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) : ประมวลผลด้วย MINITAB*. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2549

พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. *พลาสติกวิศวกรรม*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: พานิชพระนคร (2535), 2538

ปารเมศ ชุติมา, *การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม*, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2545

วัชระ ทองบุญชู, *ขั้นตอนการใช้ Program MINITAB สำหรับตัวอย่างหลักสูตร DOE* , สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) ; 25 กันยายน 2549

สุเทพ บุตรดี. *การศึกษาการปรับตั้งพารามิเตอร์ที่สำคัญของเครื่องฉีด*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546

ภาษาอังกฤษ

Montgomery, D. C. *Design and analysis of experiments*. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons, 2005.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^4 1 การทำซ้ำ

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	T	V	P	CT	proportion
1	8	1	1	1	90	60	70	2	0.00
2	1	2	1	1	80	55	60	2	0.98
3	2	3	1	1	90	55	60	2	0.75
4	3	4	1	1	80	60	60	2	0.68
5	7	5	1	1	80	60	70	2	0.26
6	10	6	1	1	90	55	60	5	0.73
7	15	7	1	1	80	60	70	5	0.25
8	4	8	1	1	90	60	60	2	0.41
9	6	9	1	1	90	55	70	2	0.29
10	14	10	1	1	90	55	70	5	0.28
11	11	11	1	1	80	60	60	5	0.73
12	5	12	1	1	80	55	70	2	0.60
13	9	13	1	1	80	55	60	5	0.95
14	12	14	1	1	90	60	60	5	0.38
15	16	15	1	1	90	60	70	5	0.00
16	13	16	1	1	80	55	70	5	0.58

ตารางแสดงความยาวของชิ้นงานเมื่อความเร็วการฉีด Injection m/c เท่ากับ 55 mm./s

ความยาวชิ้นงาน TEN-FRAA-400(มิลลิเมตร):ความเร็วการฉีด									
25.57	25.68	26.12	25.76	25.59	25.87	26.15	25.43	25.71	25.99
26.15	25.91	26.05	26.05	25.83	25.72	25.65	25.96	25.67	25.82
25.73	26.04	25.55	25.96	25.67	25.78	25.94	25.91	26.01	25.72

ตารางแสดงความยาวของชิ้นงานเมื่อความเร็วการฉีด Injection m/c เท่ากับ 60 mm./s

ความยาวชิ้นงาน TEN-FRAA-400(มิลลิเมตร):ความเร็วการฉีด									
25.93	25.98	26.01	26.00	25.99	26.09	26.15	26.23	25.88	25.99
26.25	26.03	26.25	26.19	25.98	26.23	25.94	25.93	25.95	25.90
26.13	26.04	25.92	25.88	25.95	25.88	25.99	26.08	26.14	25.93

ตารางแสดงความยาวของชิ้นงานเมื่อความดันของการฉีด Injection m/c เท่ากับ 60 MPa

ความยาวชิ้นงาน TEN-FRAA-400(มิลลิเมตร):ความดันการฉีด									
25.43	25.68	26.01	26.09	25.99	25.87	26.10	26.73	25.78	25.82
25.76	26.01	26.02	25.83	25.98	26.13	25.83	25.88	25.64	25.72
25.63	26.00	25.76	25.69	25.99	25.76	25.79	26.02	26.05	25.72

ตารางแสดงความยาวของชิ้นงานเมื่อความดันของการฉีด Injection m/c เท่ากับ 70 MPa

ความยาวชิ้นงาน TEN-FRAA-400(มิลลิเมตร):ความดันการฉีด									
25.93	25.84	26.09	26.15	26.14	26.13	26.01	25.80	26.21	26.15
26.06	26.15	26.23	26.24	25.95	26.12	25.90	26.18	25.99	26.27
26.23	25.98	25.86	25.99	25.92	26.17	25.81	26.20	26.12	25.81

ตารางแสดงความยาวของชิ้นงานเมื่ออุณหภูมิแม่พิมพ์เท่ากับ 80 องศาเซลเซียส

ความยาวชิ้นงาน TEN-FRAA-400(**มิลลิเมตร**):**อุณหภูมิแม่พิมพ์**									
25.51	25.42	25.68	25.99	25.97	25.63	26.00	25.74	25.92	25.65
25.83	25.75	25.98	25.88	25.81	25.55	25.89	26.04	25.99	26.01
25.42	25.73	25.94	25.87	25.83	26.05	25.99	26.02	25.87	25.71

ตารางแสดงความยาวของชิ้นงานเมื่ออุณหภูมิแม่พิมพ์เท่ากับ 90 องศาเซลเซียส

ความยาวชิ้นงาน TEN-FRAA-400(**มิลลิเมตร**):**อุณหภูมิแม่พิมพ์**									
25.67	25.75	25.78	25.91	25.81	25.93	26.03	25.94	25.92	25.98
25.80	25.86	25.91	25.99	25.89	25.95	25.99	26.04	25.99	26.00
25.73	25.69	25.90	25.98	25.93	26.05	25.99	26.02	25.97	25.93

ตารางแสดงความยาวของชิ้นงานเมื่อเวลาการเย็นตัวของชิ้นงานเท่ากับ 2 วินาที

ความยาวชิ้นงาน TEN-FRAA-400(มิลลิเมตร):เวลาหล่อเย็น									
25.65	25.56	25.98	25.99	25.99	25.48	25.87	25.54	25.90	25.87
25.78	25.65	25.82	25.90	25.81	25.57	25.89	25.84	25.92	26.06
25.51	25.61	25.99	25.87	25.83	26.00	25.91	26.00	25.79	25.82

ตารางแสดงความยาวของชิ้นงานเมื่อเวลาการเย็นตัวของชิ้นงานเท่ากับ 5 วินาที

ความยาวชิ้นงาน TEN-FRAA-400(มิลลิเมตร):เวลาหล่อเย็น									
25.81	25.66	25.68	25.76	25.98	25.58	26.00	25.74	25.74	25.55
25.90	26.00	25.98	25.88	25.82	25.65	25.89	25.84	25.99	26.01
25.42	25.54	25.94	25.87	25.83	26.05	25.99	26.02	25.67	25.71

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อยืนยันผลจากProgram MINITAB

Factorial Fit: Short Mold versus T, V, P, CT

Estimated Effects and Coefficients for Short Mold (coded units)

Term	Effect	Coef
Constant		0.4919
T	-0.2737	-0.1369
V	-0.3063	-0.1531
P	-0.4188	-0.2094
CT	-0.0087	-0.0044
T*V	-0.0088	-0.0044
T*P	-0.0063	-0.0031
T*CT	-0.0063	-0.0031
V*P	-0.0037	-0.0019
V*CT	0.0113	0.0056
P*CT	-0.0013	-0.0006
T*V*P	0.0338	0.0169
T*V*CT	-0.0112	-0.0056
T*P*CT	0.0113	0.0056
V*P*CT	-0.0062	-0.0031
T*V*P*CT	0.0113	0.0056

S = * PRESS = *

Analysis of Variance for Short Mold (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	1.37663	1.37663	0.344156	*	*
2-Way Interactions	6	0.00119	0.00119	0.000198	*	*
3-Way Interactions	4	0.00573	0.00573	0.001431	*	*
4-Way Interactions	1	0.00051	0.00051	0.000506	*	*
Residual Error	0	*	*	*		
Total	15	1.38404				

Estimated Coefficients for Short Mold using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-8.38000
T	0.200333
V	0.177333
P	0.282000
CT	-20.3700
T*V	-0.00320000
T*P	-0.00410000
T*CT	0.231333
V*P	-0.00466667
V*CT	0.369333
P*CT	0.290000
T*V*P	6.00000E-05
T*V*CT	-0.00420000
T*P*CT	-0.00330000
V*P*CT	-0.00526667
T*V*P*CT	6.00000E-05

One-way ANOVA: spec:velocity versus Velocity

```
Source    DF      SS      MS      F      P
Velocity   1  0.5704  0.5704  22.40  0.000
Error     58  1.4771  0.0255
Total     59  2.0475

S = 0.1596   R-Sq = 27.86%   R-Sq(adj) = 26.61%

                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level   N    Mean  StDev  --------+---------+---------+---------+-
55     30  25.833  0.192  (------*------)
60     30  26.028  0.118                        (-------*------)
                          --------+---------+---------+---------+-
                               25.840    25.920    26.000    26.080
Pooled StDev = 0.160

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Velocity

Individual confidence level = 95.00%
```

One-way ANOVA: spec:pressure versus Pressure

```
Source    DF      SS      MS      F      P
Pressure   1  0.4034  0.4034  10.81  0.002
Error     58  2.1642  0.0373
Total     59  2.5677

S = 0.1932   R-Sq = 15.71%   R-Sq(adj) = 14.26%

                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level   N    Mean  StDev  ---+---------+---------+---------+------
60     30  25.890  0.231  (--------*--------)
70     30  26.054  0.146                      (--------*--------)
                          ---+---------+---------+---------+------
                          25.840    25.920    26.000    26.080

Pooled StDev = 0.193

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Pressure

Individual confidence level = 95.00%
```

One-way ANOVA: spec:temp mold versus Temp mold

```
Source     DF      SS      MS     F      P
Temp mold   1  0.1179  0.1179  5.23  0.026
Error      58  1.3076  0.0225
Total      59  1.4255

S = 0.1501   R-Sq = 8.27%   R-Sq(adj) = 6.69%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level   N    Mean  StDev  -------+---------+---------+---------+--
80     30  25.822  0.185  (----------*----------)
90     30  25.911  0.105                  (----------*----------)
                          -------+---------+---------+---------+--
                              25.800    25.850    25.900    25.950

Pooled StDev = 0.150


Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Temp mold

Individual confidence level = 95.00%
```

One-way ANOVA: spec:cooling versus Cooling tm

```
Source      DF      SS      MS     F      P
Cooling tm   1  0.0002  0.0002  0.01  0.939
Error       58  1.6307  0.0281
Total       59  1.6309

S = 0.1677   R-Sq = 0.01%   R-Sq(adj) = 0.00%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level   N    Mean  StDev   --+---------+---------+---------+-------
2      30  25.813  0.166   (----------------*-----------------)
5      30  25.817  0.169    (----------------*-----------------)
                           --+---------+---------+---------+-------
                          25.760    25.795    25.830    25.865

Pooled StDev = 0.168


Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Cooling tm

Individual confidence level = 95.00%
```

ประวัติการศึกษา

ชื่อ - สกุล	นายกษิเกศ ตะบูนเพชร
วันเดือนปีเกิด	19 มกราคม 2527
วุฒิการศึกษา	ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	สาขาวิศวกรรมวัสดุและโลหะการ (พลาสติก)
	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี พ.ศ.2548