

การปรับปรุงค่าพารามิเตอร์สำหรับกระบวนการฉีดพลาสติกกรณีที่มีข้อบกพร่องหลายชนิด



นางสาววราภรณ์ ขำสนิท

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต


สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVEMENT OF PARAMETER SETTING FOR PLASTIC INJECTION MOLDING
PROCESS IN CASE OF MULTI-DEFECT TYPES



Miss Waraporn Khumsanit

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

วราภรณ์ ขำสนิท : การปรับปรุงค่าพารามิเตอร์สำหรับกระบวนการฉีดพลาสติกกรณีที่มี
ข้อบกพร่องหลายชนิด (IMPROVEMENT OF PARAMETER SETTING FOR PLASTIC
INJECTION MOLDING PROCESS IN CASE OF MULTI-DEFECT TYPES) อ.ที่
ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศศ.ดร.นภัสดวงศ์ โรจนโรวรรณ, 193 หน้า.

งานวิจัยฉบับนี้ได้ประยุกต์แนวคิดซิกซ์ ซิกมาเข้ามาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการฉีดพลาสติก
โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนของเสียรวมทั้งที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป และข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่
เต็มแม่พิมพ์ การดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอนตามแนวคิดของซิกซ์ ซิกมา โดยเริ่มจากขั้นตอน
การนิยามปัญหาซึ่งได้มีการศึกษาสภาพปัญหา กำหนดเป้าหมาย และขอบเขตของการปรับปรุง ต่อมาใน
ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาได้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดซึ่งได้วิเคราะห์ทั้งความ
ถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด ศึกษาความสามารถของกระบวนการ จากนั้นระดมสมองเพื่อ
ค้นหาปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องชนิดครีป และข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์โดย
ใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล จากนั้นระดมสมองอีกครั้งเพื่อค้นหาปัจจัยนำเข้าที่มีอิทธิพลสูง และจัดลำดับ
ความสำคัญของปัจจัยนำเข้ดังกล่าวโดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล จากนั้นใน
ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาได้ทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
ต่อสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป และข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ สำหรับ
ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ ได้ทำการทดลองเพิ่มบางส่วนจากการออกแบบการทดลองก่อน
หน้านี้ เพื่อให้ได้ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนของเสียรวมทั้งที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป
และข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์มีค่าต่ำที่สุด และขั้นตอนสุดท้ายคือขั้นตอนการควบคุม
กระบวนการผลิต ได้ทำการทดสอบเพื่อยืนยันผล และจัดทำแผนการควบคุมโดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือ
คุณภาพที่เหมาะสมในการตรวจติดตาม และควบคุมปัจจัยนำเข้เพื่อรักษามาตรฐานหลังการปรับปรุง

ผลการวิจัยพบว่า (1) ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเกิดการเกิดข้อบกพร่องชนิดครีป และข้อบกพร่องชนิด
ฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์มากที่สุด คือ ความดันฉีด ความเร็วฉีด และระยะย้าย (2) สภาพการฉีดที่ทำให้ต้นทุนของ
เสียรวมทั้งที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป และข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์มีค่าต่ำที่สุด คือ ความดัน
ฉีด 55.6 เมกกะปาสกาล ความเร็วฉีด 62.9 มิลลิเมตร/วินาที และระยะย้าย 5.3 มิลลิเมตร และ(3) จากสภาวะ
การฉีดใหม่ดังกล่าวสามารถลดต้นทุนของเสียรวมทั้งที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป และข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่
เต็มแม่พิมพ์ จากเดิม 0.3194 บาท/ชิ้น เหลือ 0.0293 บาท/ชิ้น

ภาควิชา:วิศวกรรมอุตสาหกรรม..... ลายมือชื่อนิติศ:
สาขาวิชา:วิศวกรรมอุตสาหกรรม..... ลายมือชื่อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
ปีการศึกษา: 2551

4871471421: MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD: MULTI RESPONSE/ SIX SIGMA/ INJECTION MOLDING PROCESS

WARAPORN KHUMSANIT: IMPROVEMENT OF PARAMETER SETTING FOR PLASTIC INJECTION MOLDING PROCESS IN CASE OF MULTI-DEFECT TYPES. THESIS PRINCIPAL ADVISOR: ASST. PROF. NAPASSAVONG ROJANAROWAN, Ph.D., 193 pp.

This thesis applies Six Sigma approach for improving injection molding process with the aim to reduce total defective cost due to flash defect and short mold defect. The thesis follows Six Sigma's main five study stages. Firstly, in the Define phase, the problem, the objective and the scope of the project are identified. Secondly, in the Measure phase, an attribute measurement system is assessed for accuracy and precision by performing an attribute agreement analysis and process capability of the process is determined. Then, the potential causes for flash and short mold defects are brainstormed by developing Cause and Effect Diagram. Then, the potential causes are narrowed down and prioritized by applying Cause and Effect Matrix. Next, in the Analysis phase, the Design of Experiment (DOE) is applied to test significance of Key Process Input Variables (KPIVs) affecting the problem. In the Improvement phase, the most suitable factor levels that offer the smaller number of defectives and the lower total cost are discovered by adding partial experiments of the alternate fraction. Finally, in the Control phase, it employs the chosen levels in a pilot production to confirm the expected result. Furthermore, to maintain standards of the improved production process, a control plan, which applies proper quality tools to monitor and control both KPIV's and responses, is additionally organized.

As a result it is found that (1) The factors that affect flash defect and short mold defect the most were injection pressure, injection velocity, and holding position. (2) The operating condition that helps reduce the total defective cost due to flash defect and short mold defect appears to be the injection pressure of 55.6 Mpa, the injection velocity of 62.9 mm./sec. and the holding position of 5.3 mm. (3) The above operating condition helps decrease the total defective cost due to flash defect and short mold defect from 0.3914 baht per piece to 0.0293 baht per piece.

Department: INDUSTRIAL ENGINEER Student's signature: [Signature]
Field of study: INDUSTRIAL ENGINEER Principal advisor's signature: [Signature]
Academic year: 2008

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงสำเร็จลุล่วงด้วยดีไม่ได้หากขาดความช่วยเหลือและการอนุเคราะห์จากบุคคลต่างๆดังต่อไปนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสวรงค์ โจรินโรวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาคอยเอาใจใส่ดูแล ให้คำปรึกษา และตรวจทานวิทยานิพนธ์จนกระทั่งสำเร็จลงได้ด้วยดี

รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึกษ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.จิตรา รุ่งกิจการพานิช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้เวลาและคำแนะนำจนกระทั่งการสอบสำเร็จลงได้ด้วยดี

ส่วนหนึ่งของความสำเร็จครั้งนี้ ได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลในฝ่ายผลิตพลาสติกของโรงงานตัวอย่างที่สนับสนุนในด้านข้อมูล ความรู้เฉพาะด้าน และข้อเสนอแนะต่างๆ ตลอดจนความร่วมมือในการปฏิบัติการแก้ไขปัญหาต่างๆเป็นอย่างดี

สุรศักดิ์ ชุ่มกลาง ที่คอยให้การสนับสนุนดูแล ตลอดจนกำลังใจและความเข้าใจที่มีให้อย่างดีเสมอมา

จากความช่วยเหลือของบุคคลที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งสิ้น ผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงจากใจจริง สำหรับการสนับสนุนและความเอื้อเฟื้อต่างๆที่มีให้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้กำเนิด และครอบครัวทุกคนที่คอยดูแลเลี้ยงดูเป็นอย่างดี จนกระทั่งวันนี้ผู้วิจัยสำเร็จการศึกษาลงได้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ประวัติความเป็นมาและรายละเอียดของบริษัท ตรีศึกษา.....	2
1.3 สภาพปัญหาปัจจุบัน.....	5
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	5
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.8 ขั้นตอนของการดำเนินการวิจัย.....	6
บทที่ 2 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์พลาสติก.....	9
2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลาสติก.....	9
2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการฉีดพลาสติก.....	10
2.4 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องฉีดพลาสติก.....	11
2.5 ขั้นตอนการฉีดพลาสติก.....	13
2.6 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงานฉีดพลาสติก.....	15
2.7 พารามิเตอร์สำคัญในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก.....	18
2.8 ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในชิ้นงานและวิธีแก้ไข.....	28

บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	34
3.1 ความหมายและประวัติความเป็นมาของซิกซ์ ซิกมา.....	34
3.2 การปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา.....	35
บทที่ 4 การนิยามปัญหา.....	59
4.1 บทนำ.....	59
4.2 การกำหนดทีมงานดำเนินงาน.....	59
4.3 การศึกษากระบวนการผลิต.....	60
4.4 สภาพปัญหาในปัจจุบัน.....	62
4.5 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	68
4.6 ขอบเขตของงานวิจัย.....	69
4.7 สรุปผลขั้นตอนการนิยามปัญหา.....	69
บทที่ 5 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา.....	70
5.1 บทนำ.....	70
5.2 การวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis).....	70
5.3 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ.....	78
5.4 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variable หรือ KPIV).....	78
5.5 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ในกระบวนการฉีดพลาสติก.....	90
5.6 สรุปผลขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา.....	98
บทที่ 6 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา.....	100
6.1 บทนำ.....	100
6.2 การกำหนดตัวแปรตอบสนอง.....	101
6.3 การเลือกปัจจัยที่ทำการศึกษา.....	101
6.4 การออกแบบการทดลองเบื้องต้น.....	102
6.5 ผลการทดลองเบื้องต้น.....	105

6.6	สรุปผลขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา.....	117
บทที่ 7	การปรับปรุง.....	118
7.1	บทนำ.....	118
7.2	การกำหนดปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ.....	118
7.3	การกำหนดตัวแปรตอบสนอง.....	118
7.4	การออกแบบการทดลอง.....	120
7.5	ขั้นตอนการทดลอง.....	123
7.6	ผลการทดลอง.....	124
7.7	การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	125
7.8	การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	128
7.9	การหาค่าเงื่อนไขที่เหมาะสม.....	139
7.10	สรุปผลขั้นตอนการปรับปรุง.....	146
บทที่ 8	การทดสอบเพื่อยืนยันผล.....	148
8.1	บทนำ.....	148
8.2	ขั้นตอนการทดสอบเพื่อยืนยันผล.....	148
8.3	การวิเคราะห์ผลการทดสอบเพื่อยืนยันผล.....	154
8.4	สรุปผลขั้นตอนการทดสอบเพื่อยืนยันผล.....	156
บทที่ 9	การควบคุมกระบวนการผลิต.....	157
9.1	บทนำ.....	157
9.2	แผนการควบคุม.....	157
9.3	ข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต.....	163
9.4	สรุปผลขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต.....	169
บทที่ 10	บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	171
10.1	บทนำ.....	171

10.2 บทสรุปจากขั้นตอนการนิยามปัญหา.....	171
10.3 บทสรุปจากขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา.....	172
10.4 บทสรุปจากขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา.....	173
10.5 บทสรุปจากขั้นตอนการปรับปรุง.....	174
10.6 บทสรุปจากขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต.....	175
10.7 ข้อจำกัดในงานวิจัย.....	176
10.8 ข้อเสนอแนะ.....	176
รายการอ้างอิง.....	177
ภาคผนวก.....	179
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	193

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงแนวทางแก้ไขข้อบกพร่องในชิ้นงานพลาสติก.....	28
4.1	ข้อมูลของเสียแต่ละส่วนผลิตของแผนกฉีดพลาสติก (Molding Department).....	63
4.2	ข้อมูลของผลิตภัณฑ์ต่างๆที่ฉีดในพื้นที่ SPU3.....	64
4.3	ข้อมูลทั่วไปของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200.....	65
4.4	จำนวนของเสียจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ระหว่างเดือนธันวาคม 2550 – เดือนกุมภาพันธ์ 2551.....	66
4.5	จำนวนของเสียจากข้อบกพร่องที่ต้องทำลายทิ้งของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ระหว่างเดือนธันวาคม 2550 – กุมภาพันธ์ 2551.....	66
4.6	ข้อบกพร่องทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ที่ฉีดจากแม่พิมพ์หมายเลข MOD-HD6-008 เครื่องฉีดที่ IS-65 ระหว่างเดือนธันวาคม 2550 – กุมภาพันธ์ 2551.....	67
5.1	เกณฑ์การยอมรับของระบบการวัด.....	71
5.2	ผลของการตรวจสอบกรณีข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash).....	72
5.3	ผลของการตรวจสอบกรณีข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold).....	75
5.4	ปัจจัยจากวัตถุดิบที่มีอิทธิพลต่อข้อบกพร่อง Flash และ Short Mold.....	81
5.5	ปัจจัยจากแม่พิมพ์ที่มีอิทธิพลต่อข้อบกพร่อง Flash และ Short Mold.....	82
5.6	ปัจจัยจากเครื่องฉีดที่มีอิทธิพลต่อข้อบกพร่อง Flash และ Short Mold.....	82
5.7	ตัวอย่างการกำหนดสภาวะการฉีดที่มีอิทธิพลต่อข้อบกพร่อง Flash และ Short Mold..	83
5.8	รายละเอียดวัตถุดิบที่ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200.....	86
5.9	รายละเอียดเครื่องจักรที่ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200.....	87
5.10	แหล่งที่มาของพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อข้อบกพร่อง ชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold).....	92
5.11	พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อข้อบกพร่อง Flash และ Short Mold.....	93
5.12	พารามิเตอร์ที่ไม่สามารถปรับค่าได้.....	94
5.13	ผลการให้คะแนนเพื่อวิเคราะห์ปัญหา โดยใช้ตารางสาเหตุและผลกระทบ (Cause and Effect Matrix).....	95

ตารางที่	หน้า
5.14	ผลลัพธ์การให้คะแนนจากตาราง Cause and Effect Matrix ของพารามิเตอร์ ที่มีผลกระทบต่อข้อบกพร่องชนิด Flash และ Short Mold..... 96
5.15	สรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัด.....98
6.1	สรุประดับของปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลองเบื้องต้น..... 102
6.2	ข้อมูลการหาขนาดตัวอย่าง (Sample Size) ของการทดลองเบื้องต้น..... 104
6.3	สมการการแปลงข้อมูลของ Bisgaard และ Fuller..... 105
6.4	ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) โดยใช้วิธีแปลงค่าตัวแปรตอบสนองของ Freeman และ Tukey (F&T) 105
6.5	ผลของปัจจัยหลักต่อปริมาณสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash)..... 111
6.6	ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่อง Short Mold โดยใช้วิธีแปลงค่าตัวแปรตอบสนองของ Freeman และ Tukey (F&T)..... 111
6.7	ผลของปัจจัยหลัก (Main Effect) ต่อปริมาณสัดส่วนฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์..... 117
6.8	สรุปผลของปัจจัยนำเข้าต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และสัดส่วน ข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)..... 117
7.1	ต้นทุนของเสียแต่ละข้อบกพร่อง..... 119
7.2	ขนาดตัวอย่างของแต่ละข้อบกพร่องสำหรับการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการ..... 122
7.3	ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการ..... 123
7.4	ผลลัพธ์ของการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต..... 124
7.5	ข้อมูลต้นทุนของเสียที่ใช้ทดสอบโดยโปรแกรม MINITAB..... 142
7.6	ค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ..... 144
8.1	สัดส่วนของเสีย และต้นทุนของเสียรวมหลังการปรับปรุงกระบวนการ กรณีเพิ่มวิธีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet) 150
8.2	สัดส่วนของเสีย และต้นทุนของเสียรวมหลังการปรับปรุงกระบวนการ กรณีไม่มีวิธีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet) 152
9.1	แผนการควบคุมปัจจัยนำเข้า (เฉพาะปัจจัยที่มีนัยสำคัญ)..... 162
9.2	วิเคราะห์การดำเนินการปรับปรุงคุณภาพ โดยเพิ่มวิธีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet) กรณีข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) 166

ตารางที่		หน้า
9.3	วิเคราะห์การดำเนินการปรับปรุงคุณภาพ โดยเพิ่มวิธีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet) กรณีข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold).....	166
9.4	วิเคราะห์การดำเนินการปรับปรุงคุณภาพ โดยไม่เพิ่มวิธีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet) กรณีข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash).....	167
9.5	วิเคราะห์การดำเนินการปรับปรุงคุณภาพ โดยไม่เพิ่มวิธีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet) กรณีข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold).....	168
9.6	ต้นทุนของเสียต่อหน่วยหลังการดำเนินการทางคุณภาพด้วยวิธี ซิกซ์ ซิกมา.....	169



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบที่	หน้า
1.1	โครงสร้างองค์กรของบริษัทกรณีศึกษา..... 3
1.2	ตัวอย่างชิ้นส่วนพลาสติก (Block) ของผลิตภัณฑ์คอนเนคเตอร์..... 4
1.3	ตัวอย่างชิ้นส่วน โลหะ (Contact) ของผลิตภัณฑ์คอนเนคเตอร์.....4
1.4	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์คอนเนคเตอร์ (Connector)..... 4
2.1	โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding Machine)..... 11
2.2	ส่วนประกอบชุดฉีด..... 12
2.3	ส่วนประกอบของชุดปิด – เปิดของแม่พิมพ์..... 12
2.4	ขั้นตอนการเคลื่อนที่เพื่อปิดแม่พิมพ์..... 13
2.5	ขั้นตอนการเคลื่อนของชุดฉีด..... 13
2.6	ขั้นตอนการฉีดเข้าเพื่อรักษาความดัน ให้กับพลาสติกในแม่พิมพ์..... 14
2.7	ตำแหน่งของชุดฉีดขณะหล่อเย็น..... 14
2.8	การถอยหลังกลับของชุดฉีด..... 15
2.9	การเปิดออกของแม่พิมพ์..... 15
2.10	คุณสมบัติของอะมอร์ฟัส (PS) และ พาร์เซิลคริสตัลไลน์ (PE)..... 16
2.11	อัตรา การ เหนือ ที่มีผลต่อความหนืด..... 17
2.12	ผลของอุณหภูมิพลาสติกเหลวที่มีต่อความหนืดของพลาสติก..... 18
2.13	รูปแบบของอุณหภูมิกระบอกฉีดแบบอุณหภูมิต่ำแล้วค่อยๆสูงขึ้น..... 19
2.14	รูปแบบของอุณหภูมิกระบอกฉีดแบบอุณหภูมิ..... 19
2.15	รูปแบบของอุณหภูมิกระบอกฉีดแบบอุณหภูมิตดลง..... 20
2.16	ตำแหน่งของสกรูในแต่ละจังหวะการฉีด..... 22
2.17	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลานี้ดย้ำกับความหนาของชิ้นงาน..... 26
3.1	ผลของอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่เกิดขึ้นต่อผลการทดสอบ..... 47
3.2	การออกแบบ CCD เมื่อ $k = 2$ และ $k = 3$ 50
3.3	การออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคน สำหรับสามตัวแปร..... 51
3.4	แผนภาพพาเรโตแสดงถึงความเป็นปกติหรือมีเสถียรภาพของข้อมูล..... 55
3.5	แสดงแผนภาพพาเรโตที่เป็นไปตามหลักการพาเรโต..... 55

ภาพประกอบที่	หน้า
4.1	แผนภาพกระบวนการฉีดพลาสติก (Injection Molding Process)..... 60
4.2	แผนภาพพาร โดแสดงปริมาณของเสียในพื้นที่ของฝ้ายฉีดพลาสติกในหน่วย PPM..... 64
4.3	ผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200..... 65
4.4	แผนภูมิพาร โดแสดงจำนวนข้อบกพร่องที่ต้องทำลายทิ้งของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ระหว่างเดือนธันวาคม – กุมภาพันธ์ 2551..... 67
4.5	ลักษณะข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash)..... 68
4.6	ลักษณะข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)..... 69
5.1	แผนผังแสดงเหตุและผลของปัจจัยที่เป็นไปได้ที่มีผลกระทบต่อของเสีย จากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash)..... 79
5.2	แผนผังแสดงเหตุและผลของปัจจัยที่เป็นไปได้ที่มีผลกระทบต่อของเสีย จากข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)..... 80
5.3	แม่พิมพ์หมายเลข MOD-HD6-008..... 87
5.4	เครื่องฉีดพลาสติกรุ่น Sumitomo หมายเลข IS-65..... 88
5.5	ผู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของฝ้ายฉีดพลาสติก..... 89
5.6	แผนภูมิแท่งเรียงลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบกับข้อบกพร่อง Flash และข้อบกพร่อง Short Mold ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200..... 97
6.1	ผลของการวิเคราะห์การทดลองเบื้องต้นเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อข้อบกพร่อง ชนิดครีป (Flash)..... 107
6.2	Normal Probability Plot of the Effects แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มี นัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash)..... 108
6.3	แผนภูมิพาร โดแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่อง ชนิดครีป (Flash)..... 109
6.4	ผลของปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash)..... 109
6.5	อันตรกิริยาของปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash)..... 110
6.6	ผลของการวิเคราะห์การทดลองเบื้องต้นเพื่อค้นหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วน ข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)..... 113

ภาพประกอบที่	หน้า
6.7 Normal Plot of the Effects แสดงปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อ สัดส่วนข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold).....	114
6.8 แผนภูมิพาเรโต แสดงปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วน ข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold).....	115
6.9 ผลของปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่อง ชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold).....	115
6.10 อันตรกิริยา (Interaction Plot) ของปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่อง ชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold).....	116
7.1 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองกรณีตัวแปรตอบสนอง คือ สัดส่วนของเสียเนื่องจากครีป (Flash).....	126
7.2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองกรณีตัวแปรตอบสนอง คือ สัดส่วนของเสียเนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold).....	127
7.3 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองกรณีตัวแปรตอบสนอง คือ ต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold).....	127
7.4 ผลการวิเคราะห์การทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตกรณีตัวแปรตอบสนอง คือ สัดส่วนของเสียเนื่องจากครีป (Flash).....	129
7.5 Main Effect Plot ที่มีผลต่อสัดส่วนของเสียเนื่องจากครีป (Flash).....	130
7.6 Interaction Effect Plot ที่มีผลต่อสัดส่วนของเสียเนื่องจากครีป (Flash).....	130
7.7 Contour Plot ที่มีผลต่อสัดส่วนของเสียเนื่องจากครีป (Flash).....	131
7.8 Surface Plot ที่มีผลต่อสัดส่วนของเสียเนื่องจากครีป (Flash).....	131
7.9 ผลการวิเคราะห์การทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตกรณีตัวแปรตอบสนอง คือ สัดส่วนของเสียเนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold).....	132
7.10 Main Effect Plot ที่มีผลต่อสัดส่วนของเสียเนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold).....	133
7.11 Interaction Plot ที่มีผลต่อสัดส่วนของเสียเนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)....	134
7.12 Contour Plot ที่มีผลต่ออัตราส่วนของเสียเนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)....	134
7.13 Surface Plot ที่มีผลต่อสัดส่วนของเสียเนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold).....	135

ภาพประกอบที่	หน้า
7.14 ผลการวิเคราะห์การทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตกรณีตัวแปรตอบสนอง คือ ต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost).....	136
7.15 Main Effect Plot ที่มีผลต่อต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่อง ชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold).....	137
7.16 Interaction Plot ที่มีผลต่อต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่อง ชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold).....	137
7.17 Contour Plot ที่มีผลต่อต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่อง ชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold).....	138
7.18 Surface Plot ที่มีผลต่อต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่องชนิด ครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold).....	138
7.19 ผลลัพธ์การหาตัวแบบถดถอยจากวิธีของ Stepwise โดยใช้โปรแกรม MINITAB.....	140
7.20 ผลการวิเคราะห์การทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย.....	141
7.21 ผลลัพธ์แสดงค่าเงื่อนไขที่เหมาะสม โดยใช้โปรแกรม MINITAB.....	143
7.22 กราฟแสดงจุดต่ำสุดของต้นทุนของเสียรวม (Total Cost).....	143
7.23 แสดงค่าความดันฉีด (Injection Pressure) ก่อนและหลังปรับปรุง.....	144
7.24 แสดงค่าความเร็วฉีด (Injection Velocity) ก่อนและหลังปรับปรุง.....	145
7.25 แสดงค่าระยะย่ำ (Holding Position) ก่อนและหลังปรับปรุง.....	145
8.1 เปรียบเทียบสัดส่วนของเสียระหว่างช่วงก่อนปรับปรุงกระบวนการ และช่วงขึ้นยืนผลกรณีมีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet)	151
8.2 เปรียบเทียบต้นทุนของเสียรวมระหว่างช่วงก่อนและปรับปรุงกระบวนการ และช่วงขึ้นยืนผลกรณีมีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet)	151
8.3 เปรียบเทียบสัดส่วนของเสียระหว่างช่วงก่อนปรับปรุงกระบวนการ และช่วงขึ้นยืนผลกรณีไม่มีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet).....	153
8.4 เปรียบเทียบต้นทุนของเสียรวมระหว่างช่วงก่อนและปรับปรุงกระบวนการ และช่วงขึ้นยืนผลกรณีไม่มีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet).....	154
9.1 แผนภูมิ I-MR ช่วงการสร้างแผนภูมิควบคุมของปัจจัยความดันฉีด (Injection Pressure).....	158

ภาพประกอบที่

หน้า

9.2	แผนภูมิ I-MR ช่วงการสร้างแผนภูมิควบคุมของปัจจัยความเร็วฉีด (Injection Velocity).....	159
9.3	แผนภูมิ I-MR ช่วงการสร้างแผนภูมิควบคุมของปัจจัยระยะย่ำ (Holding Position).....	160
9.4	ขั้นตอนการแก้ไขเมื่อปัจจัยนำเข้าไม่ปฏิบัติตามค่าที่กำหนด.....	161
9.5	แผนภูมิ I-MR แสดงผลของการตรวจสอบความดันฉีด (Injection Pressure).....	163
9.6	แผนภูมิ I-MR แสดงผลของการตรวจสอบความเร็วฉีด (Injection Velocity).....	164
9.7	แผนภูมิ I-MR แสดงผลของการตรวจสอบระยะย่ำ (Holding Pressure).....	165



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

กรรมวิธีการฉีดพลาสติก (Injection Molding Process) เป็นกรรมวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกเนื่องจากสามารถผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ดี ราคาของเครื่องจักรไม่แพง ใช้พื้นที่ในการผลิตไม่มาก และสามารถใช้ได้กับพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติก และพลาสติกชนิดเทอร์โมเซต โดยที่คุณภาพของผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ได้จากกรรมวิธีการฉีดพลาสติก (Injection Molding Process) ขึ้นอยู่กับอิทธิพลหลัก 3 ประการ ได้แก่ อิทธิพลของคุณสมบัติพลาสติก อิทธิพลของการออกแบบแม่พิมพ์ และอิทธิพลของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก ถ้าหากแม่พิมพ์ได้ถูกออกแบบไว้อย่างถูกต้องและเหมาะสมดีแล้ว พบว่าบทบาทของอิทธิพลจากค่าพารามิเตอร์จะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์พลาสติกเป็นอย่างมาก โดยที่ค่าพารามิเตอร์สำหรับกรรมวิธีการฉีดพลาสติก (Injection Molding Process) มีอยู่หลายค่า เช่น ความเร็วในการฉีด อุณหภูมิของพลาสติกเหลว เวลาในการหลอมเหลว หรือความดันฉีด เป็นต้น หากการปรับค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการฉีดพลาสติกไม่ถูกต้อง หรือไม่เหมาะสมแล้วมีโอกาสทำให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ฉีดได้มีข้อบกพร่อง (Defect) เกิดขึ้น ซึ่งมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น ฉีดไม่เต็มแบบ (Short Mold), ไหม้ (Burn), พอง (Swell), สกปรก (Contaminate) และเป็นรอยประสาน (Weld Line) เป็นต้น ซึ่งข้อบกพร่องเหล่านี้ถือว่าเป็นของเสียที่ไม่สามารถแก้ไขได้จะต้องทำลายทิ้งเท่านั้น นอกจากนี้ยังพบว่าการปรับค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการฉีดพลาสติกที่ไม่ถูกต้อง หรือไม่เหมาะสมยังมีโอกาสทำให้ชิ้นงานพลาสติกเป็นครีบ (Flash) ได้อีกด้วย หากครีบบมีขนาดที่สูงกว่าที่กำหนดไว้ในคู่มือผลิตภัณฑ์ (Molding Production Specification: MOPS) แล้ว จำเป็นต้องเพิ่มกระบวนการแก้ไข โดยการตัดแต่งครีบ (Finishing) ออกเสียก่อนจึงสามารถส่งชิ้นงานดังกล่าวไปให้ลูกค้าได้

จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าอิทธิพลจากค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการฉีดพลาสติก (Injection Molding Process) มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์พลาสติกเป็นอย่างมาก โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ส่วนใหญ่จะเกิดจากการทดลองฉีดพลาสติกไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่มีคุณภาพ

ตามที่ต้องการ ซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียทั้งเวลาและต้นทุนในการทดลองผิดเป็นอย่างมาก ดังนั้น หากผู้ปฏิบัติงานมีความรู้และความเข้าใจในเรื่องการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมมากขึ้น จะช่วยให้สามารถฉีดได้ชิ้นงานได้อย่างมีคุณภาพและยังประหยัดเวลา และต้นทุนในการผลิตอีกด้วย

1.2 ประวัติความเป็นมาและรายละเอียดของบริษัทกรณีศึกษา

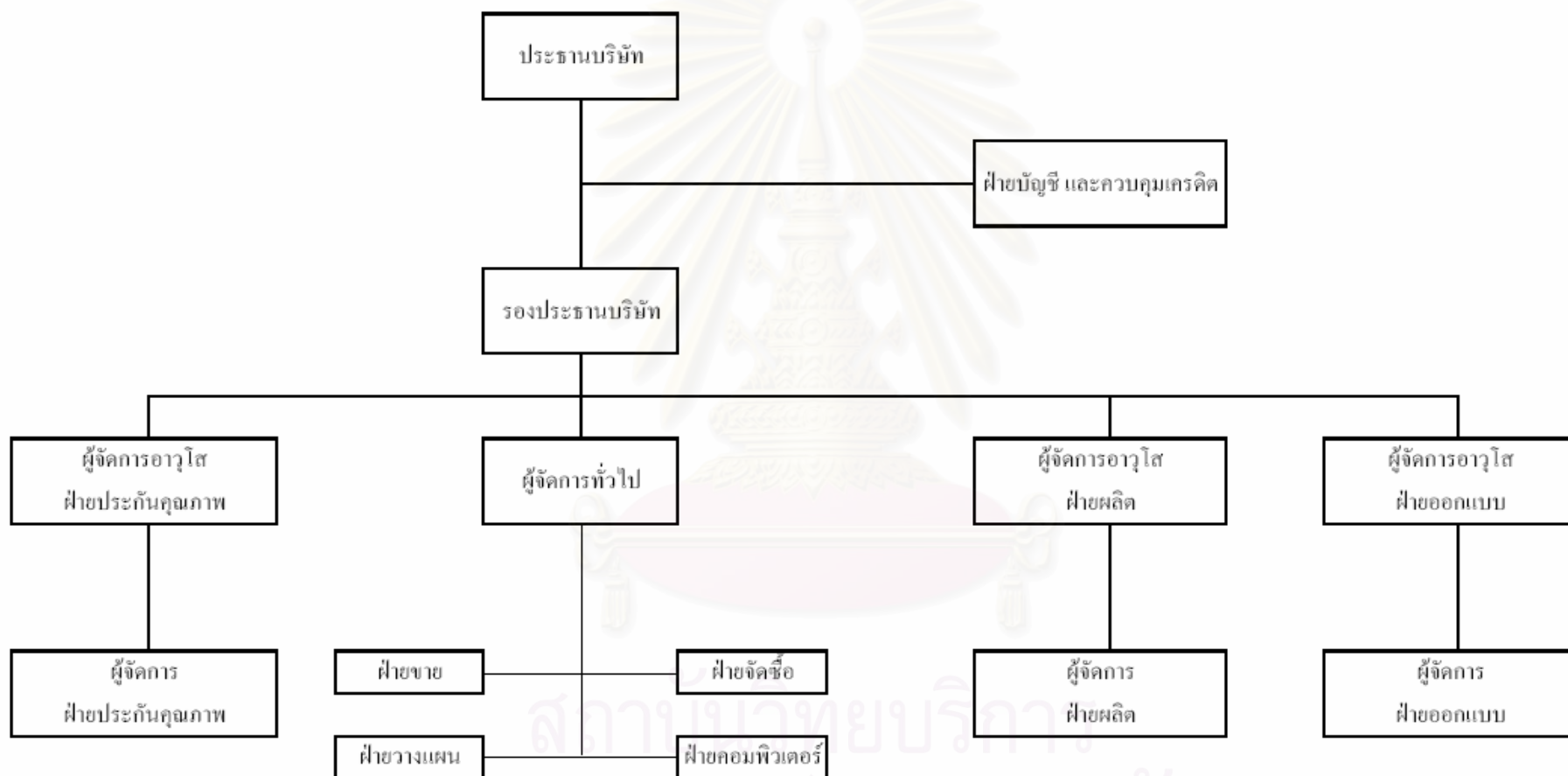
บริษัทกรณีศึกษาคำเนินธุรกิจผลิตผลิตภัณฑ์คอนเนคเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อกระแสไฟฟ้า ภายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ โดยก่อตั้งขึ้นเมื่อวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2531 บนเนื้อที่จำนวน 25 ไร่ ภายในนิคมอุตสาหกรรมนวนคร ภายใต้การสนับสนุนของคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (B.O.I.) ด้วยทุนจดทะเบียนแรกเริ่ม 480 ล้านบาท จนกระทั่งปัจจุบันมีทุนจดทะเบียน 730 ล้านบาท ปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษาประกอบด้วย โรงงาน 3 โรงงาน ดังต่อไปนี้

โรงงาน 1 ตั้งอยู่เลขที่ 55/25 ม.13 นิคมอุตสาหกรรมนวนคร จ.ปทุมธานี ประกอบด้วยสำนักงานใหญ่ กระบวนการฉีดพลาสติก กระบวนการขึ้นรูปโลหะ และกระบวนการประกอบ มีพื้นที่ทั้งหมด 13,341 ตารางเมตร

โรงงาน 2 ตั้งอยู่เลขที่ 101/54 ม.20 นิคมอุตสาหกรรมนวนคร จ.ปทุมธานี ประกอบด้วย กระบวนการชุบโลหะ มีพื้นที่ทั้งหมด 2,659 ตารางเมตร

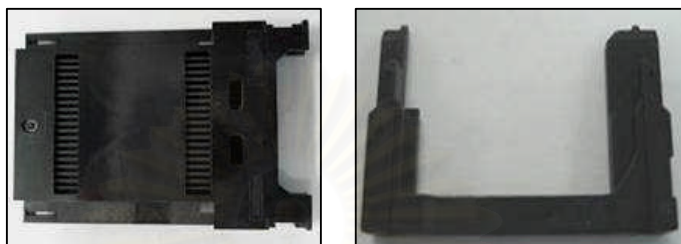
โรงงาน 3 ตั้งอยู่เลขที่ 129/37-38 แฟลคตอรีแลนด์วังน้อย จ.พระนครศรีอยุธยา ประกอบด้วย กระบวนการฉีดพลาสติก และกระบวนการประกอบ มีพื้นที่ทั้งหมด 4,020 ตารางเมตร

บริษัทกรณีศึกษาเป็นฐานการผลิตผลิตภัณฑ์คอนเนคเตอร์ที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย และประสบความสำเร็จเป็นอย่างสูงในฐานะผู้นำทางเทคโนโลยี และระบบการผลิตที่ทันสมัย ซึ่งบริษัทได้ให้ความสำคัญอย่างจริงจัง และต่อเนื่องในการสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง และมีราคาที่สามารถแข่งขันในตลาดโลกได้ นอกจากนี้ยังเน้นเรื่องการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อมให้สอดคล้องตามข้อบัญญัติของกฎหมาย ปัจจุบันมีพนักงานมากกว่า 5,000 คน และตระหนักถึงการพัฒนาระบบทรัพยากรมนุษย์ควบคู่ไปด้วย โดยการมุ่งเน้นพัฒนาคุณภาพชีวิตอย่างต่อเนื่อง ซึ่งบริษัทกรณีศึกษาจัดให้มีโครงสร้างองค์กรดังแสดงในรูปที่ 1.1

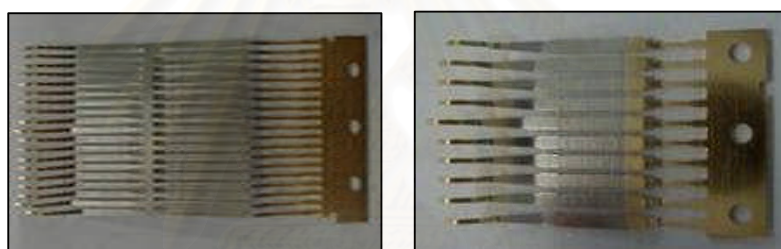


รูปที่ 1.1 โครงสร้างองค์กรของวิทยาลัยการศึกษาศากอน

คอนเนคเตอร์มีหน้าที่เชื่อมต่อกระแสไฟฟ้าภายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ชนิด คือ พลาสติก (Block) กับ โลหะ (Contact) ที่นำมาประกอบกันเป็นคอนเนคเตอร์ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 1.2 - 1.4 ตามลำดับ



รูปที่ 1.2 ตัวอย่างชิ้นส่วนพลาสติก (Block) ของผลิตภัณฑ์คอนเนคเตอร์



รูปที่ 1.3 ตัวอย่างชิ้นส่วนโลหะ (Contact) ของผลิตภัณฑ์คอนเนคเตอร์



รูปที่ 1.4 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์คอนเนคเตอร์ (Connector)

1.3 สภาพปัญหาปัจจุบัน

เนื่องจากต้นทุนการผลิตที่เกิดขึ้นจริงของฝ่ายฉีดพลาสติก (Injection Molding Department) มีมูลค่าสูงกว่าต้นทุนการผลิตที่วางแผนไว้เป็นจำนวนมาก ซึ่งสาเหตุอันดับหนึ่งที่ทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นมาคือต้นทุนค่าจ้างสำหรับแก้ไขชิ้นงานพลาสติกในกระบวนการตัดแต่งครีป (Finishing Process) ซึ่งมีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding Machine) ไม่ถูกต้องหรือไม่เหมาะสมจึงทำให้เกิดข้อบกพร่องชนิดงานเป็นครีป (Flash) อย่างไรก็ตามเมื่อมีการปรับพารามิเตอร์เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องชนิดงานเป็นครีป (Flash) แล้วก็นำมาซึ่งข้อบกพร่องชนิดงานฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ได้เพราะวิธีการปรับพารามิเตอร์เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องทั้ง 2 ชนิดนั้นจะปรับในทิศทางที่ตรงข้ามกัน ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงสนใจศึกษาสำหรับใช้เป็นแนวทางในการปรับพารามิเตอร์เพื่อให้ได้ค่าถูกต้องและเหมาะสม เพื่อสามารถลดจำนวนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดงานเป็นครีป (Flash) และงานฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ลงให้มากที่สุดจะทำให้ต้นทุนการผลิตจริงมีค่าลดลง

1.4 วัตถุประสงค์งานวิจัย

เพื่อปรับปรุงวิธีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการฉีดพลาสติก กรณีที่มีข้อบกพร่อง (Defect) หลายชนิด

1.5 ขอบเขตงานวิจัย

เป็นการศึกษาเพื่อลดต้นทุนของเสีย และค่าจ้างสำหรับกระบวนการตัดแต่งครีป (Finishing) ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 โดยศึกษาที่เครื่องฉีดพลาสติกในแนวนอน (Horizontal Injection Molding Machine) ที่เครื่องหมายเลข IS-65 และใช้แม่พิมพ์หมายเลข MOD-HD6-008 ของบริษัทกรณีศึกษา โดยมุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับการปรับค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการฉีดพลาสติกให้ถูกต้องและเหมาะสมเพื่อแก้ไขข้อบกพร่อง (Defect) 2 ชนิด คือ ครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) เท่านั้น

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

มีวิธีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ถูกต้องและเหมาะสมเมื่อมีผลตอบสนองหลายค่า กรณีที่มีข้อบกพร่อง (Defect) หลายชนิด

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถลดต้นทุนของเสียเนื่องจากงานฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ได้
2. สามารถลดต้นทุนค่าจ้างของกระบวนการตัดแต่งครีป (Finishing) ได้
3. สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดพลาสติก ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม
4. สามารถใช้เป็นแนวทางในการลดของเสียสำหรับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่มีข้อบกพร่องหลายชนิด

1.8 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การลดต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ได้ดำเนินการวิจัยตามแนวทางของ ซิกซ์ซิกมา ทั้งหมด 5 ระยะ ดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง
2. ระบุนิยามปัญหา (Define Phase)
 - 2.1 ศึกษากระบวนการฉีดพลาสติก (Injection Molding Process) และศึกษาข้อมูลสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันที่เกี่ยวข้องกับของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก
 - 2.2 กำหนดปัญหา วัตถุประสงค์ เป้าหมาย และขอบเขตของการศึกษาวิจัย
 - 2.3 จัดตั้งทีมงานวิจัยซึ่งคัดเลือกจากผู้มีความรู้ ความชำนาญ และมีประสบการณ์ในกระบวนการฉีดพลาสติก
 - 2.4 ศึกษากระบวนการฉีดพลาสติก และศึกษาข้อมูลสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันที่เกี่ยวข้องกับของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก
 - 2.5 สรุปผลและวางแผนขั้นตอนต่อไป

3. มาตรการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)
 - 3.1 เก็บรวบรวมข้อมูลและพิจารณาความสามารถของกระบวนการผลิตในปัจจุบัน เช่น ลักษณะของข้อบกพร่อง หรือธรรมชาติของงานเสียที่เกิดขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์หาสาเหตุ
 - 3.2 ประเมินความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด (Measurement System Analysis) ในการตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยสายตา
 - 3.3 ระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า (Key process Input Variable หรือ KPIV)
 - 3.3.1 หาสาเหตุที่เป็นไปได้ของข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) โดยใช้แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause & Effect Diagram)
 - 3.3.2 กำหนดปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผล (KPIV) โดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) และจัดเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยเบื้องต้น โดยการระดมสมองเพื่อตัดปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลน้อยต่อการเกิดข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ออกไปบางส่วน
 - 3.4 สรุปผลและวางแผนการทดลองในขั้นต่อไป
4. มาตรการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)
 - 4.1 นำปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (KPIV) ที่ได้จากระยะการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) มาออกแบบการทดลอง (Design of Experiment หรือ DOE) เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนของเสีย
 - 4.2 กำหนดปัจจัยและพิจารณาปัญหาข้อจำกัดต่างๆที่อาจส่งผลกระทบต่อ การทดลอง และกำหนดระดับของปัจจัยที่จะนำมาทดลองแต่ละตัวตามความเหมาะสม
 - 4.3 พิจารณาเลือกรูปแบบการทดลอง และขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง จากนั้นวางแผนการทดลองโดยกำหนดขั้นตอนการทดลอง และวิธีการเก็บข้อมูลของของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)
 - 4.4 ทำการทดลองตามแผนที่กำหนดไว้
 - 4.5 สรุปผลและวางแผนขั้นต่อไป

5. ระยะเวลาปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)
 - 5.1 นำปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่ได้จากระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) มาออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบมีส่วนประสมกลางที่เพิ่มจุดศูนย์กลาง (Central Composite Design: CCD) เนื่องจากประเมินว่าความสัมพันธ์ของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญกับสัดส่วนของเสียชนิดครีป (Flash) สัดส่วนของเสียชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) และต้นทุนของเสียรวม (Total Cost) ของข้อบกพร่องทั้ง 2 ชนิดมีลักษณะเป็นส่วนโค้ง (Curvature) จึงทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการแบบมีส่วนประสมกลางที่เพิ่มลักษณะกำลังสอง (Second Order)
 - 5.2 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
 - 5.3 จากผลการทดลองทำการกำหนดระดับของปัจจัยที่สามารถลดปริมาณของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ลงเพื่อนำไปปรับปรุงกระบวนการผลิตจริงในขั้นตอนต่อไป
6. ระยะเวลาติดตามควบคุม (Control Phase)
 - 6.1 ทำการทดสอบยืนยันผล โดยการเก็บข้อมูลหลังการให้ระดับของปัจจัยที่สรุปได้จากระยะเวลาปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase) เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์
 - 6.2 จัดทำแผนควบคุม (Control Plan) โดยพิจารณาถึงลักษณะและข้อจำกัดของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะทำการควบคุมด้วย
 - 6.3 พิจารณาเลือกแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมกับตัวแปรนั้นๆ
 - 6.4 กำหนดวิธีการวัด ขนาดตัวอย่าง และความถี่ในการวัด
 - 6.5 สรุปผลการปรับปรุงที่ได้ โดยพิจารณาเปรียบเทียบผลการปรับปรุงจากสัดส่วนของเสีย และต้นทุนของเสียที่สามารถลดได้หลังการปรับปรุง
 - 6.6 จัดทำมาตรฐานการผลิต
7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

บทที่ 2

การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์พลาสติก

ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่เราพบอยู่ทั่วไปนั้น โดยทั่วไปจะมีกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันออกไป เช่น กรรมวิธีการอัดรีด (Extrusion) ซึ่งใช้ในการผลิตชิ้นงานต่าง ๆ ได้แก่ ท่อ สายยาง กรอบประตู หน้าต่าง เป็นต้น กรรมวิธีการเป่าถุงและแผ่นฟิล์ม (Blow Film) ใช้ในงานเป่าภาชนะต่างๆ ที่มีลักษณะเป็นรูปทรงกลมวง (Blow Molding) กรรมวิธีขึ้นรูปจากแผ่นฟิล์มพลาสติก (Thermoforming) กรรมวิธีการรีด (Calendering) และกรรมวิธีการฉีดพลาสติก (Injection Molding) ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากสามารถผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างได้หลากหลาย สามารถฉีดชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ดี ราคาเครื่องจักรไม่แพงมาก ใช้พื้นที่ในการผลิตไม่มาก และยังสามารถทำงานได้ทั้งแบบพลาสติกที่เป็นผงและเม็ด ทั้งพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก และเทอร์โมเซต

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลาสติก

วัตถุประสงค์สำหรับงานฉีดพลาสติก โดยทั่วไปจะนิยมแบ่งออกเป็น 3 ประเภทด้วยกันคือ กลุ่มเทอร์โมพลาสติก กลุ่มเทอร์โมเซต และกลุ่มอีลาสโตเมอร์หรือยางสังเคราะห์ซึ่งมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันต่อไปนี้

2.2.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

เทอร์โมพลาสติก คือ พลาสติกที่เมื่อนำไปหลอมเหลวแล้วปล่อยให้เย็นจนแข็งตัว ก็ยังสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่อีก พลาสติกประเภทนี้ยังแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ พลาสติกประเภทอะมอร์ฟัสเทอร์โมพลาสติก (Amorphous Thermoplastic) เป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างที่ไม่เป็นผลึก เช่น โพลีสไตรีน (Polystyrene) โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) โพลีอะครีลิก (Polyacrylic) เป็นต้น ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งคือ พลาสติกพหุคริสตัลไลน์เทอร์โมพลาสติก (Partial Crystalline

Thermoplastic) เป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างบางส่วนเป็นผลึก เช่น โพลีเอทิลีน (Polyethylene), โพลีเอไมด์ (Polyamide) และ โพลีอะซิเตล (Polyacetal) เป็นต้น

2.2.2 เทอร์โมเซต (Thermoset)

พลาสติกเทอร์โมเซต คือ พลาสติกที่เมื่อนำไปหลอมเหลวแล้วปล่อยให้เย็นจนแข็งตัวจะเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นร่างแห (Molecule Cross-linking) ภายใต้อิทธิพลความร้อนที่เพิ่มขึ้นและทำให้ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก เช่น อีพอกซี (Epoxy) ฟีนอลิก (Phenolic) ซิลิโคน (Silicone) และยูรีเทน (Urethane) เป็นต้น

2.2.3 อีลาสโตเมอร์ (Elastomer)

อีลาสโตเมอร์พลาสติก หรือ ยางสังเคราะห์ คือ พลาสติกที่เมื่อนำไปหลอมเหลวแล้วปล่อยให้เย็นจนแข็งตัวด้วยกรรมวิธีวัลคาไนเซชัน (Vulcanization) จะทำให้เกิดโครงสร้างแบบร่างแห (Molecule Cross-linking) ภายใต้อิทธิพลของความร้อนที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ไม่สามารถนำกลับมาหลอมเหลวได้อีก เช่น ยางSBR, ยางNBR, ยางNR และยางCR เป็นต้น

2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการฉีดพลาสติก

การฉีดพลาสติกถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก โดยเฉพาะแต่ก็สามารถใช้ได้กับพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตได้เช่นกัน การฉีดพลาสติกจะเป็นวิธีที่สามารถผลิตได้ทีละปริมาณมากๆ และรวดเร็ว การฉีดพลาสติกสามารถแบ่งออกเป็น 5 กรรมวิธี ได้แก่

2.3.1 การฉีดแบบ Injection Molding เป็นกรรมวิธีการฉีดพลาสติกแบบธรรมดาที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยจะใช้สกรูเป็นตัวขับเคลื่อนเพื่อดันพลาสติกเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์

2.3.2 การฉีดแบบ Injection Blow Molding เป็นกรรมวิธีการฉีดพลาสติกที่ดัดแปลงมาจากกรรมวิธีการเป่า โดยกรรมวิธีนี้จะใช้สำหรับผลิตขวดที่มีขนาดเล็กเท่านั้น และความหนาของชิ้นงานจะต้องมีลักษณะใกล้เคียงกัน

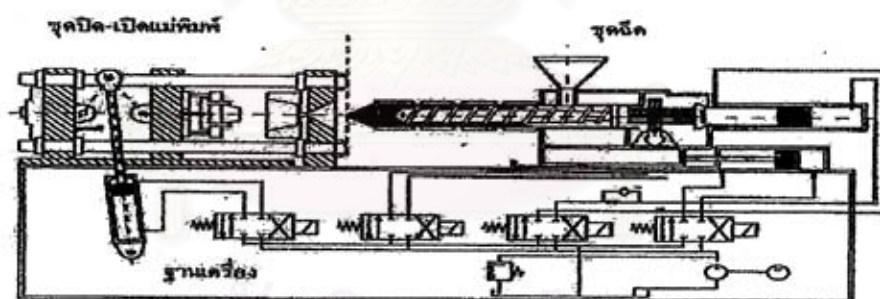
2.3.3 การฉีดแบบ Inject Stretch Blow Molding เป็นการฉีดพลาสติกที่คล้ายกับการเป่าทั่วไป แต่แตกต่างกันตรงที่จะต้องทำการยืดพลาสติกก่อนที่จะทำการเป่า

2.3.4 การฉีดแบบ Reactive Injection Molding (RIM) เป็นกรรมวิธีที่ใช้พลาสติกโมโนเมอร์เข้าไปในแม่พิมพ์แทนการฉีดพลาสติกเหลวที่ร้อน แต่เป็นกรรมวิธีที่ยังไม่สามารถใช้ได้กับพลาสติกทั่วไป ที่ใช้ได้ผลคือ โพลียูรีเทน (Polyurethane) เรซิน (Resin) และไนลอน (Nylon)

2.3.5 การฉีดแบบ Injection Stamping เป็นกรรมวิธีการผลิตแบบพิเศษสำหรับงานที่ต้องการความละเอียดสูงโดยแม่พิมพ์สามารถปรับขนาดได้ เพื่อป้องกันการหดตัวหรือการบิดงอของชิ้นงาน ซึ่งยังไม่เป็นที่นิยมใช้กัน ส่วนมากนิยมใช้ผลิตเกี่ยวกับเลนส์ (lenses)

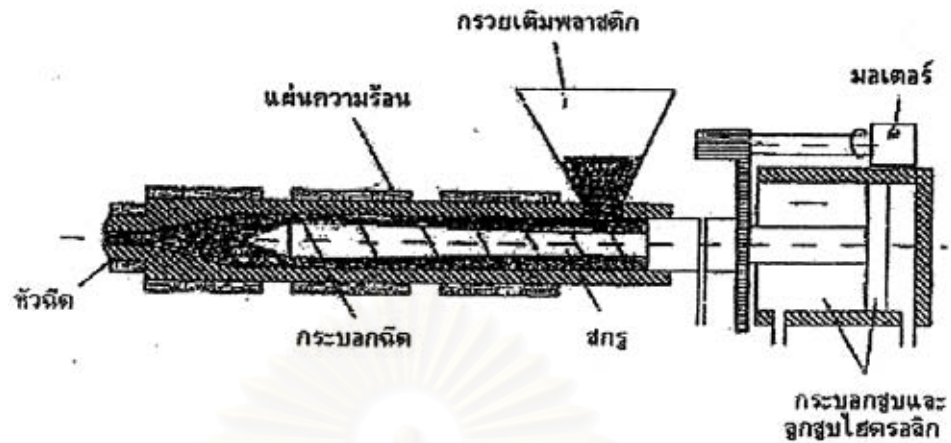
2.4 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องฉีดพลาสติก

โดยทั่วไปเครื่องฉีดพลาสติกจะมีโครงสร้างสำคัญซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนชุดฉีด (Injection Unit) ส่วนชุดปิดเปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit) และส่วนฐานของเครื่องฉีด (Base) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งแสดงโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding Machine)



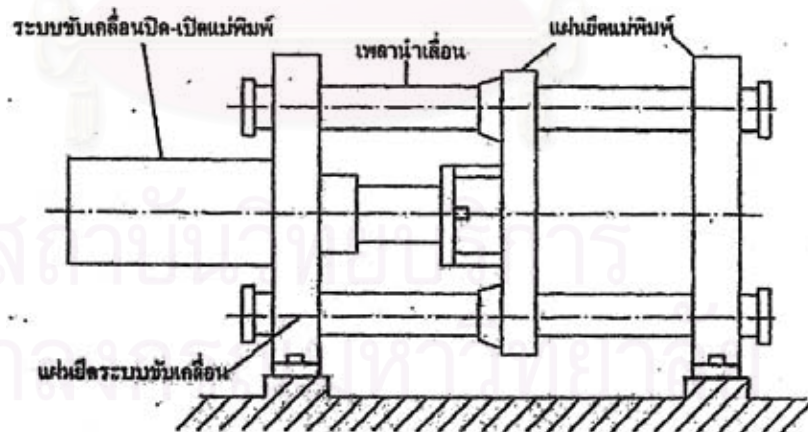
รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding Machine)

2.4.1 ส่วนชุดฉีด ทำหน้าที่ดึงพลาสติกเข้าสู่กระบอกฉีดหลอมเหลว และส่งพลาสติกเหลวไปที่หัวฉีด และทำหน้าที่ในการฉีดและรักษาความดันไว้ โดยมีส่วนประกอบพื้นฐาน คือ หัวฉีด (Nozzle) สกรู (Screw) กระบอกฉีด (Barrel) แผ่นความร้อน (Heater) กรวยเติมพลาสติก (Hopper) กระบอกสูบลูกสูบไฮดรอลิก (Hydraulic cylinder and piston) และมอเตอร์ขับเคลื่อนสกรู (Drive motor) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งแสดงส่วนประกอบของชุดฉีด



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบชุดฉีด

2.4.2 ส่วนชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ ทำหน้าที่ในการยึดแม่พิมพ์ทั้งสองส่วน เลื่อนปิด - เปิดแม่พิมพ์ให้แรงในการปิดล็อกแม่พิมพ์ หล่อเย็นชิ้นงานพลาสติก และปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ประกอบด้วยแผ่นยึดแม่พิมพ์ซึ่งมีส่วนที่เคลื่อนที่และอยู่กับที่ เพลาหน้าเลื่อน ระบบขับเคลื่อนปิด-เปิดแม่พิมพ์ และแผ่นยึดระบบขับเคลื่อน ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งแสดงส่วนประกอบของชุดปิด - เปิดแม่พิมพ์



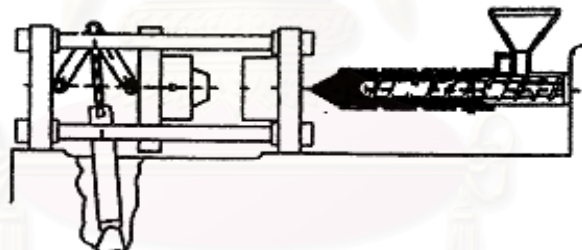
รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของชุดปิด - เปิดของแม่พิมพ์

2.4.3 ส่วนฐานของเครื่องฉีด ทำหน้าที่คอยรับน้ำหนักของชุดฉีด และชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ยึดติดอุปกรณ์ไฮดรอลิกทั้งหมดในเครื่อง และทำหน้าที่เป็นถังน้ำมันไฮดรอลิก โดยส่วนใหญ่แล้วตัวฐานเครื่องจะทำด้วยเหล็กเหนียวเชื่อมประกอบเป็นฐานเครื่องเพื่อความแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักมากๆ ได้ดี

2.5 ขั้นตอนการฉีดพลาสติก

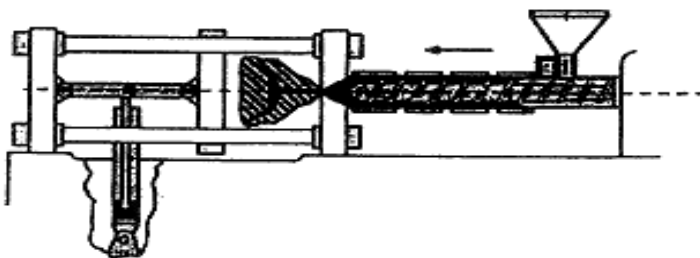
การฉีดพลาสติกแบบ Injection Molding นั้นเครื่องฉีดจะประกอบด้วยสกรูที่เคลื่อนที่ไปตามแนวแกนเหมาะสมกับชิ้นงานที่มีขนาดเล็กไปจนถึงชิ้นงานขนาดใหญ่ และสามารถผลิตชิ้นงานได้หลายลักษณะจึงทำให้เป็นที่นิยมอย่างมาก ซึ่งมีขั้นตอนของการฉีดพลาสติก 9 จังหวะดังต่อไปนี้

จังหวะที่ 1 แม่พิมพ์เคลื่อนที่เข้าปิด และล็อกแน่นเพื่อป้องกันการแยกด้วยแรงดันภายในแม่พิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งแสดงขั้นตอนการเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์เพื่อปิดแม่พิมพ์



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการเคลื่อนที่เพื่อปิดแม่พิมพ์

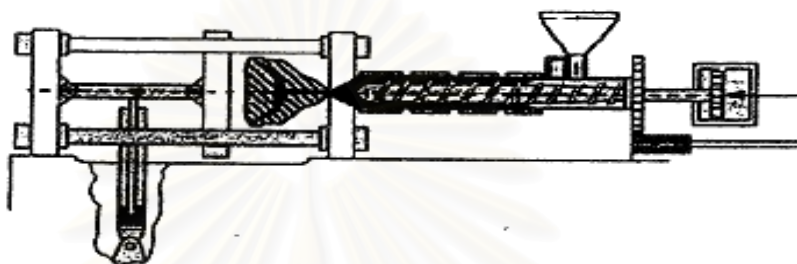
จังหวะที่ 2 ชุดฉีดเคลื่อนเข้าหาแม่พิมพ์กระทั่งชนกับแม่พิมพ์และค้างไว้ด้วยแรงที่พอเหมาะเพื่อป้องกันชุดฉีดถอยหลังกลับในขณะที่ทำการฉีด แสดงในรูปที่ 2.5 เป็นขั้นตอนการเคลื่อนของชุดฉีด



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการเคลื่อนของชุดฉีด

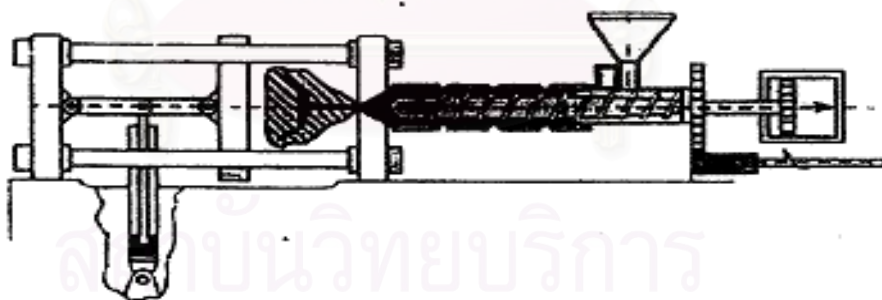
จังหวะที่ 3 นิดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ โดยสกรูจะเคลื่อนที่ตามแนวแกน

จังหวะที่ 4 นิดย้ารักษาความดันให้กับพลาสติกเหลวภายในแม่พิมพ์ เพื่อให้ได้ชิ้นงานเนื้อแน่นและไม่เกิดรอยยุบตัวที่ผิวของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งแสดงขั้นตอนการฉีดย้าเพื่อรักษาความดันให้กับพลาสติกในแม่พิมพ์



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการฉีดย้าเพื่อรักษาความดันให้กับพลาสติกในแม่พิมพ์

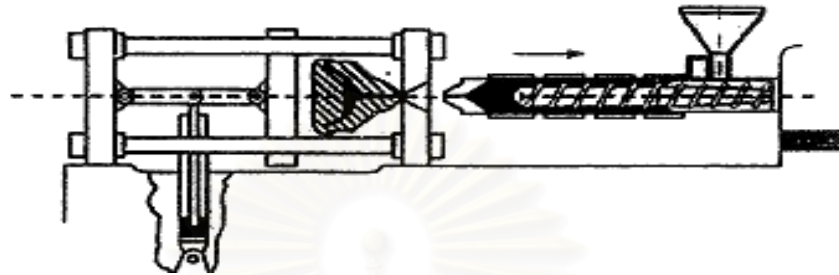
จังหวะที่ 5 การหล่อเย็นชิ้นงานฉีดในแม่พิมพ์โดยจังหวะนี้มีอิทธิพลมากต่อเวลาการทำงานทั้งวงจร ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งแสดงตำแหน่งของชุดฉีดขณะหล่อเย็น



รูปที่ 2.7 ตำแหน่งของชุดฉีดขณะหล่อเย็น

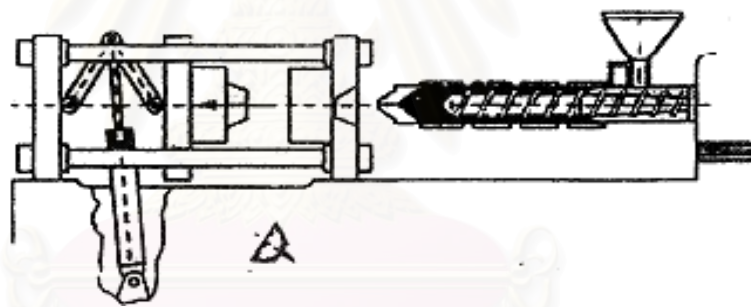
จังหวะที่ 6 การหลอมและป้อนพลาสติกไปหน้าปลายสกรู หลังจากได้ปริมาณพลาสติกเหลวตามที่ต้องการแล้วเกลียวหนอนจะหยุดหมุน

จังหวะที่ 7 ชุดนี้จะถอยหลังกลับเพื่อป้องกันอุณหภูมิของหัวฉีดลดต่ำลงเกินไป เพราะจะทำให้พลาสติกหนืดเกินไปและไหลไม่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 การถอยหลังกลับของชุดฉีด



รูปที่ 2.8 การถอยหลังกลับของชุดฉีด

จังหวะที่ 8 แม่พิมพ์จะเปิดออกหลังจากสิ้นสุดเวลาในการหล่อเย็น แสดงในรูปที่ 2.9 การเปิดออกของแม่พิมพ์



รูปที่ 2.9 การเปิดออกของแม่พิมพ์

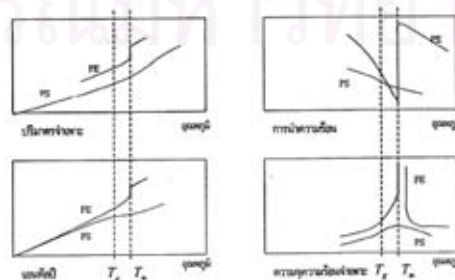
จังหวะที่ 9 การปลดชิ้นงานเมื่อแม่พิมพ์เปิดออกสุดแล้ว

2.6 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงานฉีดพลาสติก

คุณภาพชิ้นงานพลาสติกขึ้นอยู่กับอิทธิพลหลัก 3 อิทธิพล ได้แก่ อิทธิพลของคุณสมบัติพลาสติก อิทธิพลของการออกแบบ และอิทธิพลของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก อิทธิพลแต่ละประเภทจะมีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานที่แตกต่างกันออกไป ไม่ว่าจะเป็นโดยตรงหรือโดยทางอ้อมก็ตาม มีรายละเอียดดังนี้

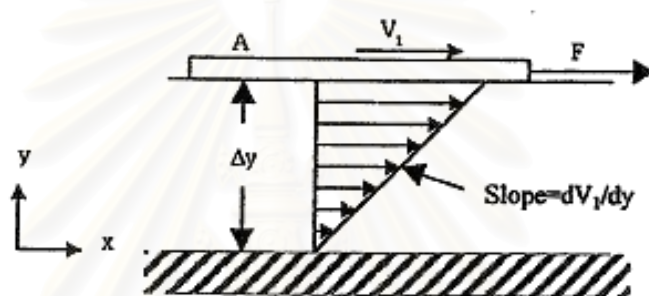
2.6.1 อิทธิพลของชนิดพลาสติก พลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์กลุ่มใหญ่อาจมีหมู่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบแตกต่างกันทำให้รวมตัวกันหรือเข้าแบบให้มีรูปร่างตามที่ต้องการ โดยแบ่งพลาสติกออกเป็น 2 ประเภทตามพันธะเคมีที่กระทำได้ออกมาเป็น โครงสร้างและลักษณะเฉพาะเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น คือ เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) และเทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting Plastic) ส่วนอีลาสโตเมอร์ หรืออาจเป็นโพลิเมอร์ที่มีลักษณะยืดหยุ่น (Elastical) ได้มากเมื่อออกแรงดึงและจะกลับมามาอยู่ในสภาพเดิมเมื่อปล่อยแรงดึง

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษาที่มีลักษณะเป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก ดังนั้นผู้วิจัยจึงศึกษาเฉพาะส่วนที่เป็นเทอร์โมพลาสติก มีรายละเอียดดังนี้ เทอร์โมพลาสติก ประกอบไปด้วยสายโซ่โพลิเมอร์ขนาดยาวซึ่งเกิดจากการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะของโมโนเมอร์ เป็นพลาสติกที่มีความเหนียว สายโซ่อาจมีกิ่งก้านหรือไม่ก็ได้ การเชื่อมต่อระหว่างสายโซ่จะเกิดขึ้นจากพันธะแวนเดอร์วาลที่มีพลังงานพันธะอ่อนแอ เทอร์โมพลาสติกอาจมีระบบผลึกหรือสภาพอสัญฐานก็ได้ การเปลี่ยนสภาพของเทอร์โมพลาสติกจะขึ้นอยู่กับความร้อน โดยสามารถหลอมเหลวหรือเปลี่ยนรูปร่างได้ด้วยความร้อนและแข็งตัวเมื่อทำให้เย็น จึงทำการขึ้นรูปโดยการให้ความร้อนสูงๆ อีกทั้งยังสามารถรีไซเคิลได้โดยคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลง ตัวอย่างของเทอร์โมพลาสติก เช่น อะมอร์ฟัสเทอร์โมพลาสติก พาร์เซียมลคริสตัลไลน์เทอร์โมพลาสติก โดยพบว่าการนำความร้อนของพาร์เซียมลคริสตัลไลน์เทอร์โมพลาสติกจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อเข้าใกล้จุดหลอมเหลวของผลึก แต่เมื่ออุณหภูมิถึงจุดหลอมเหลวของผลึกแล้วค่าการนำความร้อนจะเพิ่มขึ้นทันที ส่วนค่าความจุความร้อนจำเพาะจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเข้าใกล้จุดผลึกหลอมเหลว และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อสิ้นสุดช่วงผลึกหลอมเหลว ค่านี้จะลดลงอย่างรวดเร็ว หมายความว่า พาร์เซียมลคริสตัลไลน์เทอร์โมพลาสติกต้องการความร้อนส่วนหนึ่งเพื่อช่วยในการหลอมเหลวผลึกนั่นเองโดยการเปรียบเทียบคุณสมบัติอะมอร์ฟัสเทอร์โมพลาสติกและพาร์เซียมลคริสตัลไลน์เทอร์โมพลาสติกแสดงในรูปที่ 2.10 คุณสมบัติของอะมอร์ฟัส (PS) และ พาร์เซียมลคริสตัลไลน์ (PE)



รูปที่ 2.10 คุณสมบัติของอะมอร์ฟัส (PS) และ พาร์เซียมลคริสตัลไลน์ (PE)

สำหรับมวลโมเลกุลที่แตกต่างกันของพลาสติกแม้ว่าจะเป็นโพลิเมอร์ชนิดเดียวกัน โพลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำกว่า จะมีอุณหภูมิในการอ่อนตัวต่ำ และความหนืดในสารละลายก็จะต่ำด้วยความสัมพันธ์ของมวลโมเลกุลกับดัชนีการละลาย (Melt Index) กับความหนืด คือ ถ้าหากดัชนีการละลายสูงความหนืดก็จะน้อยแสดงว่ามีการไหลได้ดีเมื่อมีการหลอมละลาย นั่นหมายความว่าพลาสติกที่มีมวลโมเลกุลต่ำก็จะมีค่าดัชนีการละลายสูงนั่นเอง นอกจากนี้ความหนืดของพลาสติกเหล่านี้ยังขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเฉือน (Shear Rate) อีกด้วย โดยที่อัตราการเฉือนขณะที่พลาสติกไหลจะมีค่าสูงเมื่อความเร็วการไหลของพลาสติกไหลสูง ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 อัตราการเฉือนที่มีผลต่อความหนืด

2.6.2 อิทธิพลของการออกแบบ เนื่องจากการออกแบบชิ้นงานจำเป็นต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติโดยรวมของชิ้นงานที่ต้องการ ซึ่งได้แก่ คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติการแปรรูป ค่าการไหลของพลาสติก (Flowability) รวมไปถึงข้อจำกัดในการออกแบบแม่พิมพ์และการฉีด ดังนั้นไม่ว่าจะเป็นการออกแบบแม่พิมพ์ การออกแบบระบบทางเข้า (Gate) ระบบทางไหลของพลาสติก (Runner) หรือแม้แต่กระทั่งระบบหล่อเย็น (Cooling) ส่วนแล้วแต่มีความสำคัญกับคุณภาพของชิ้นงานทั้งสิ้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบได้แก่ การหดตัว (Shrinkage) ความหนาของชิ้นงาน (Thickness) ความเรียวของชิ้นงาน (Taper) รัศมีระหว่างผิวต่อ (Fillet) ครีป (Rib) ส่วนนูนของชิ้นงาน (Boss) ส่วนที่เป็นคอคอดของชิ้นงาน (Undercut) รอยต่อ (Weld Line หรือ Knit Line) ระบบทางไหลของพลาสติก (Runner) ระบบทางเข้าพลาสติก (Gate) ความแข็งแรงของชิ้นงาน (Strength) และช่องระบายอากาศในชิ้นงาน (Air ventilation) เป็นต้น

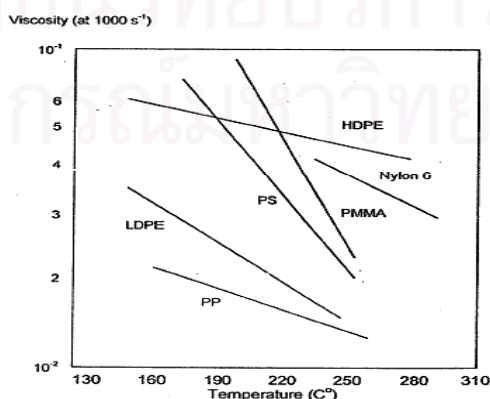
2.6.3 อิทธิพลของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก มีบทบาทเป็นอย่างมากต่อคุณภาพชิ้นงานหากแม่พิมพ์ถูกออกแบบได้ถูกต้องและเหมาะสมแล้ว ตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพ

ชิ้นงานก็มีเพียงการปรับตั้งพารามิเตอร์เท่านั้น ซึ่งพารามิเตอร์ก็มีหลายค่าด้วยกัน แต่ค่าที่สำคัญ ได้แก่ ความเร็วในการฉีด ระยะเปลี่ยนความดันฉีดเป็นฉีดย้ำ เวลาในการรักษาความดันฉีดย้ำ เวลาในการหล่อเย็น เวลาในการหลอมเหลวและป้อนพลาสติกเหลว อุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ และความดันไฮดรอลิก เป็นต้น การปรับตั้งค่าเหล่านี้ส่วนใหญ่จะเกิดจากการทดลองฉีดไปเรื่อย ๆ จนกว่าได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพตามต้องการ ซึ่งทำให้มีการสูญเสียเวลาและต้นทุนในการฉีดเป็นอย่างมาก หากผู้ปรับตั้งมีความรู้และความเข้าใจมากขึ้น ก็จะช่วยให้ฉีดได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพและยังประหยัดเวลา และต้นทุนในการทดลองอีกด้วย

2.7 พารามิเตอร์สำคัญในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก

2.7.1 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 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของความหนืดและอุณหภูมิพลาสติกเหลวพบว่ามีความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 2.12

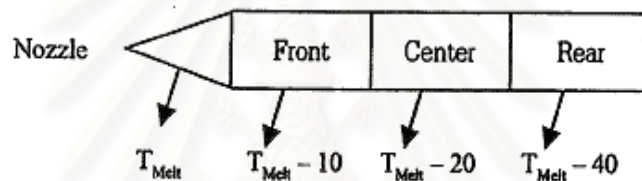


รูปที่ 2.12 ผลของอุณหภูมิพลาสติกเหลวที่มีต่อความหนืดของพลาสติก

2.7.2 อุณหภูมิกระบอบกีด (Barrel Temperature)

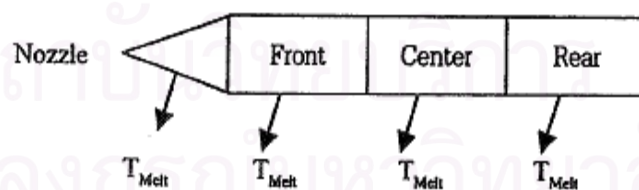
โดยทั่วไปแล้วอุณหภูมิกระบอบกีดจะแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนหน้า (Front) ส่วนกลาง (Center) และส่วนหลัง (Rear) ซึ่งจะเป็นแผ่นความร้อน (Heater) ที่ติดอยู่กับกระบอบกีด การตั้งอุณหภูมิกระบอบกีดจำเป็นจะต้องปรับให้เหมาะสมกับการทำงาน ทั่วไปจะมีการตั้งอุณหภูมิกระบอบกีดอยู่ 3 แบบ คือ

แบบอุณหภูมิลดลง (จากหัวฉีดไปยังกรวยเติมพลาสติก) โดยการตั้งอุณหภูมิแบบนี้จะใช้เมื่อระยะชักสกรูมีค่าระหว่าง 1 - 1.5 เท่า ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางสกรู ดังแสดงใน รูปที่ 2.13



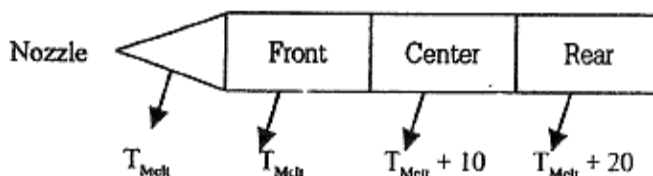
รูปที่ 2.13 รูปแบบของอุณหภูมิกระบอบกีดแบบอุณหภูมิต่ำแล้วค่อยๆสูงขึ้น

แบบอุณหภูมิคงที่ โดยที่การตั้งอุณหภูมิกระบอบกีดแบบนี้จะใช้เมื่อระยะชักของสกรูระหว่าง 1.5 ถึง 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 รูปแบบของอุณหภูมิกระบอบกีดแบบอุณหภูมิคงที่

แบบอุณหภูมิเพิ่มขึ้น (จากหัวฉีดไปยังกรวยเติมพลาสติก) โดยการตั้งอุณหภูมิแบบนี้จะใช้เมื่อระยะชักสกรูมีค่าระหว่าง 2 - 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 รูปแบบของอุณหภูมิกระบอกฉีดแบบอุณหภูมิตกลง

2.7.3 อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature)

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

2.7.4 อุณหภูมิปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ (Demold Temperature)

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

2.7.5 ระยะเวลาชักสกรู (Metering Stroke)

ระยะเวลาชักสกรู คือ ระยะพลาสติกเหลวหน้าสกรูจะถึงปริมาตรพลาสติกเหลวที่ต้องการฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 1 ถึง 3 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู หากค่านี้ไม่ถูกคำนวณให้ถูกต้องก็จะทำให้พลาสติกเหลวที่เข้าสู่ชิ้นงานไม่พอดีกับปริมาตรที่ต้องการ ดังนั้นความหนาแน่นของพลาสติกจำเป็นที่จะต้องเป็นค่าขณะที่พลาสติกเป็นของเหลวด้วย ปริมาตรของพลาสติกเหลวต้องรวมไปถึงระบบทางวิ่งและระบบทางเข้าของพลาสติกเป็นของเหลว ปริมาตรของพลาสติกเหลวต้องรวมไปถึงระบบทางวิ่งและระบบทางเข้าของพลาสติกเหลวด้วย ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสูตรต่อไปนี้

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

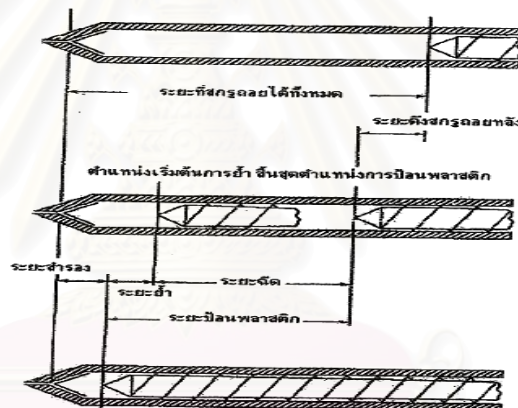
เมื่อ	L	คือ	ระยะเวลาชักสกรู (mm)
	V	คือ	ปริมาตรพลาสติกเหลว (mm ³)
	D	คือ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู (mm)

2.7.6 เวลาที่พลาสติกเหลวอยู่ในกระบอกล็อค (Resident Time)

เวลาที่พลาสติกเหลวอยู่ในกระบอกล็อคนั้นเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากเป็นระยะเวลาที่พลาสติกเหลวหลอมละลาย ซึ่งตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อเวลานี้คือ ความเร็วรอบสกรู ขนาดของชิ้นงาน และขนาดของสกรู ซึ่งสามารถประมาณเวลาได้จากปริมาณของพลาสติกที่ฉีดผ่านหัวฉีด ถ้าหากพลาสติกเหลวอยู่ในกระบอกล็อคเป็นเวลานานเกินไป จะส่งผลให้พลาสติกเสื่อมสภาพได้ แต่หากเวลาที่พลาสติกเหลวอยู่ในกระบอกล็อคน้อยเกินไปก็จะทำให้พลาสติกไม่หลอมเหลวเป็นเนื้อเดียวกัน หากใช้เครื่องฉีดพลาสติกมีขนาดใหญ่ฉีดชิ้นงานขนาดเล็ก จะทำให้ระยะเวลาที่พลาสติกอยู่ในกระบอกล็อคจะนานมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกขนาดสกรูให้เหมาะสมกับชิ้นงานสำหรับคำแนะนำที่ว่าๆ ไปในการกำหนดเวลาที่พลาสติกเหลวอยู่ในกระบอกล็อคจะแนะนำให้ไม่ควรแช่อยู่นานเกิน 10 นาที

2.7.7 ระยะเวลาสำรอง (Cushion)

ระยะเวลาสำรอง คือ ระยะเวลาที่ช่วยป้องกันการเกิดกระแทกของหัวฉีดกับแม่พิมพ์ โดยจะต้องตั้งค่านีไว้ภายในกระบอกลัด และป้องกันไม่ให้พลาสติกเกิดการเปลี่ยนแปลงและการไหลย้อนกลับ เนื่องจากปริมาณพลาสติกเหลวที่อยู่ในระยะเวลาสำรองที่เหมาะสม จะสามารถชดเชยการหดตัวของพลาสติกที่ถูกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ในจังหวะของการฉีดด้วย เมื่อเวลาฉีดเข้าสู่สิ้นสุดลงแล้วจำเป็นต้องมีพลาสติกเหลวอยู่ในระยะเวลาสำรองเหลืออยู่ การตั้งค่าระยะนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของสกรู คือ หากเครื่องฉีดที่ใช้สกรูขนาดใหญ่ก็จะเลือกใช้ระยะเวลาสำรองที่มากกว่าเครื่องฉีดที่ใช้สกรูขนาดเล็ก โดยค่าที่แนะนำให้ใช้คือ ขนาดสกรู 18 ถึง 100 มิลลิเมตรจะแนะนำให้ใช้ระยะเวลาสำรอง 1 ถึง 5 มิลลิเมตร โดยตำแหน่งของสกรูของระยะเวลาสำรองและขั้นตอนการฉีดอื่นๆแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ตำแหน่งของสกรูในแต่ละจังหวะการฉีด

2.7.8 ความเร็วรอบสกรู (Screw Speed)

ความเร็วรอบสกรูมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิพลาสติกเหลว และระยะเวลาในการหลอมเหลวและป้อนพลาสติก หากความเร็วรอบสกรูสูง ก็จะทำให้อุณหภูมิพลาสติกเหลวสูงขึ้นแต่จะทำให้ระยะเวลาในการหลอมเหลวและป้อนพลาสติกเหลวก็สั้นลง โดยทั่วไปจะแนะนำให้ใช้ความเร็วรอบสกรูสูง เนื่องจากจะทำให้เกิดแรงเสียดทานสูง ส่งผลให้เนื้อพลาสติกหลอมละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ดียิ่งขึ้น สำหรับคำนวณความเร็วรอบสกรูสามารถคำนวณได้จากสูตรแสดงดังต่อไปนี้

$$\text{กรณีที่ 1 พลาสติกทั่วไป} \quad N = \frac{0.2 \times 1000 \times 60}{\pi \times D}$$

$$\text{กรณีที่ 2 พลาสติกที่ไวต่อความร้อน} \quad N = \frac{0.2 \times 1000 \times 60}{\pi \times D}$$

เมื่อ N คือ ความเร็วรอบสกรู (rpm)
 D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู (mm)

2.7.9 ความดันต้านการถอยกลับสกรู (Back Pressure)

ความดันต้านการถอยกลับสกรู เป็นความดันที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งด้านท้ายของสกรู โดยทั่วไปแล้วพลาสติกเข้าสู่กระบอกลัดได้สม่ำเสมอหรือไม่จำเป็นต้องอาศัยความดันต้านการถอยกลับของสกรู เพื่อควบคุมระยะเวลาในการหมุนตัวถอยหลังของสกรูเพื่อทำการป้อนพลาสติกเข้าสู่กระบอกลัด ซึ่งหากเพิ่มความดันต้านการถอยกลับของสกรูให้มากขึ้น จะทำให้ระยะเวลาของป้อนพลาสติกเหลวเข้าสู่กระบอกลัดนานขึ้นอีกด้วย โดยค่าความดันนี้จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาการป้อนพลาสติกเหลวเข้าสู่กระบอกลัดที่ต้องการ ตัวพลาสติกเหลวก็เป็นสิ่งสำคัญที่มีผลต่อความดันต้านการถอยกลับของสกรู โดยที่พลาสติกที่ใหม่ไม่ผ่านการใช้มาก่อน และไม่มีส่วนผสมแนะนำให้ใช้ความดันต่ำ คือประมาณ 5 บาร์ ส่วนพลาสติกที่ผ่านการใช้มาแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ กับพลาสติกที่มีส่วนผสมแนะนำให้ใช้ความดันประมาณ 10 บาร์ เพื่อช่วยให้เกิดการคลุกเคล้าของสีกับเม็ดพลาสติก หรือพลาสติกที่ถูกนำมาใช้ใหม่ให้เนื้อพลาสติกมีความสม่ำเสมอ

2.7.10 ระยะเวลาเปลี่ยนจากจังหวะฉีดเดิมเป็นฉีดย้ำ (Switch Over)

การเปลี่ยนจากจังหวะการฉีดเดิมเป็นฉีดย้ำนั้น หากต้องการปรับเปลี่ยนความดันไฮดรอลิก ขณะที่ออกคำสั่งให้เปลี่ยนจากจังหวะการฉีดเดิมเป็นการฉีดย้ำนั้น จะพบว่าจะเกิดขึ้นช้ากว่าเวลาที่เรากำหนด เนื่องจากเกิดการหน่วงของการทำงานของชุดควบคุมไฮดรอลิก การกำหนดตำแหน่งนี้ จำเป็นจะต้องกำหนดระยะเวลาที่เกิดขึ้นก่อนตำแหน่งที่ต้องการจริงแต่เป็นสิ่งที่ยากเนื่องจากมีตัวแปรหลายตัวที่มีผลต่อเวลาที่ตอบสนองการทำงานของไฮดรอลิก เช่น ปริมาณน้ำมันไฮดรอลิก ความดัน อุณหภูมิ น้ำมันไฮดรอลิกในระบบ เป็นต้น ดังนั้นการหาตำแหน่งที่แท้จริงของการเปลี่ยนจังหวะการฉีดเดิมเป็นการฉีดย้ำ ได้มาจากการสังเกตการเคลื่อนที่ของสกรู การสังเกตจะสามารถ

ช่วยให้หาระยะที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องได้ ผลของการปรับค่าระยะเปลี่ยนจังหวะการฉีดเดิมเป็นการฉีดช้าเกินไป จะทำให้เวลาที่ใช้นานขึ้น ความดันไฮดรอลิกก็ต้องสูงขึ้น ความดันในแม่พิมพ์สูงขึ้น จะทำให้ชิ้นงานเกิดครีบ น้ำหนักของชิ้นงานมากเกินไป และเกิดความเค้นตกค้างในชิ้นงานทำให้ชิ้นงานเปราะแตกหักได้ง่าย หากเปลี่ยนเร็วเกินไปจะทำให้ความดันในแม่พิมพ์ต่ำเกินไปจนพลาสติกถูกฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ ชิ้นงานมีน้ำหนักเบาเกินไป เกิดรอยยุบ ผิวชิ้นงานเป็นรอย และเกิดความเครียดในชิ้นงานทำให้ชิ้นงานเปราะแตกง่าย

2.7.11 ความเร็วฉีด (Injection Speed)

ความเร็วในการฉีด คือ ความเร็วของสกรูที่เคลื่อนที่เพื่อทำหน้าที่ดันพลาสติกเหลวให้ไปอยู่ที่หัวฉีดและเข้าสู่แม่พิมพ์ โดยมีไฮดรอลิกเป็นตัวขับ ความเร็วฉีดและความดันฉีดจะเป็นสิ่งที่เกิดคู่กัน โดยถ้าใช้ความเร็วฉีดสูงก็จะทำให้ความดันฉีดสูงขึ้นด้วย และถ้าหากใช้ความเร็วฉีดต่ำแล้วความดันฉีดก็จะต่ำลงด้วย ซึ่งความเร็วในการฉีดนี้จะมีผลต่อการไหลของพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ คือเมื่อพลาสติกเหลวไหลเข้าสู่แม่พิมพ์แล้ว ความร้อนจะถูกถ่ายเทให้กับผนังแม่พิมพ์ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าทำให้พลาสติกเกิดการแข็งตัว และเกาะอยู่ที่ผนังแม่พิมพ์ซึ่งเป็นผลให้ทางไหลของพลาสติกในแม่พิมพ์แคบลง เคลื่อนที่ไปได้ช้า และต้องใช้ความดันฉีดสูง โดยทั่วไปแนะนำให้ใช้ความเร็วฉีดสูงสุดเท่าที่จะทำได้เนื่องจากแรงเฉือน (Shear stress) จะทำให้พลาสติกเหลวเกิดความร้อนและคงสภาพความเป็นของเหลว และยังเป็นประกันความเชื่อมั่นว่าสกรูจะมีการเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอ

2.7.12 ความดันฉีด (Injection Pressure)

ความดันฉีด คือ ความดันที่ทำให้พลาสติกเหลวที่อยู่หน้าสกรูถูกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ ซึ่งสามารถปรับได้จากความดันไฮดรอลิก พลาสติกเหลวจะสามารถไหลเข้าสู่แม่พิมพ์เต็มหรือไม่ก็ขึ้นอยู่กับความดันฉีดเช่นกัน ความดันฉีดขึ้นอยู่กับความหนืดของชิ้นงาน ความสามารถในการไหลของพลาสติกเหลว และระยะทางการไหลที่ยาวที่สุด เนื่องจากมีสูตรคำนวณที่ต้องอาศัยข้อมูลที่ยุ่งยาก โดยต้องอาศัยค่าความสามารถในการไหลของพลาสติก ความหนืดของชิ้นงาน และระยะทางการไหลที่ยาวที่สุด ซึ่งต้องมีการเผื่อความดันที่ตกคร่อมหัวฉีดอีก 20 บาร์ สามารถสรุปเป็นสูตรการคำนวณความดันฉีดแสดงดังต่อไปนี้

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

เมื่อ	IP	คือ	ความดันฉีด (bar)
	K_F	คือ	Flowability (bar/mm)
	K_S	คือ	Thickness factor
	F_W	คือ	ระยะทางการไหลที่ยาวที่สุด (mm)

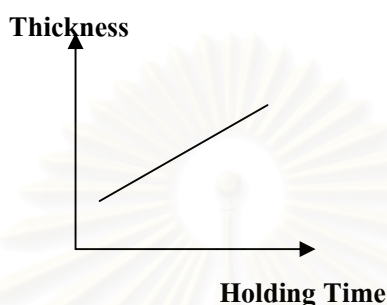
2.7.13 ความดันฉีดย้ำ (Holding Pressure)

การฉีดย้ำเป็นขั้นตอนการฉีดเมื่อพลาสติกถูกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ไปแล้วประมาณ 90% ถึง 95% ความสำคัญของการฉีดย้ำเพื่อป้องกันไม่ให้พลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ไหลย้อนกลับ เนื่องจากในโพรงแม่พิมพ์มีความดันสูงกว่า ซึ่งเป็นสาเหตุของการยุบตัวของชิ้นงานเนื่องจากการหดตัวของพลาสติกเหลวที่เย็นตัว และความไม่เที่ยงตรงของชิ้นงาน กระบวนการฉีดย้ำจะทำจนกระทั่งพลาสติกเหลวทางเข้าพลาสติกเกิดการแข็งตัวจนปิดสนิท การฉีดย้ำจะใช้ความดันประมาณ 40% ถึง 60% ของความดันระบบ โดยทำการย้ำพลาสติกเหลวที่เหลืออีกประมาณ 5% ถึง 10% เข้าสู่แม่พิมพ์จนเต็ม สำหรับค่าความดันฉีดย้ำที่ทำการปรับตั้งนั้น แนะนำให้ใช้ค่า 50% ของความดันฉีด

2.7.14 เวลาในการฉีดย้ำ (Holding Time)

เวลาในการฉีดย้ำมีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน โดยเฉพาะความเที่ยงตรงของชิ้นงาน ถ้าหากเวลาในการฉีดย้ำน้อยเกินไป จะทำให้ความดันในแม่พิมพ์จะไม่คงสภาพนานพอที่จะทำให้พลาสติกเหลวแน่นเต็มแม่พิมพ์ได้ ความดันในโพรงแม่พิมพ์จะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากการไหลย้อนกลับของพลาสติกเหลว ทำให้ชิ้นงานไม่ได้ขนาดและน้ำหนักตามต้องการ แต่หากใช้เวลาในการฉีดย้ำนานเกินไปจะทำให้ความดันในแม่พิมพ์คงสภาพนานเกินไป ทำให้พลาสติกถูกอัดแน่นเป็นเวลานานจนอาจทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหายได้ เวลาในการฉีดย้ำที่เหมาะสมนั้นโดยทั่วไปจะมีวิธีการทดสอบโดยการทดลองฉีดด้วยเวลาฉีดย้ำที่แตกต่างกัน และชั่งน้ำหนักของชิ้นงาน ซึ่งปัญหาคือการควบคุมพารามิเตอร์อื่น ๆ ให้คงที่ตลอดเวลา ซึ่งแนะนำให้ใช้เวลาในการฉีดย้ำประมาณ 1 ถึง 3 วินาที หากใช้เวลานานกว่านี้ก็จะทำให้ชิ้นงานเกิดความเครียดตกค้างขึ้นในชิ้นงานได้ ซึ่งเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชิ้นงานกับเวลาในการฉีดย้ำ และ

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของชิ้นงานกับเวลาในการฉีดขึ้นรูป พบว่าเวลาที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปมีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรงกับความหนาของชิ้นงาน คือเมื่อชิ้นงานหนามากเวลาฉีดขึ้นรูปก็ยิ่งต้องมาก ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาฉีดขึ้นรูปกับความหนาของชิ้นงาน

2.7.15 แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamping Force)

การปิดแม่พิมพ์เพื่อป้องกันไม่ให้แม่พิมพ์แยกออกขณะทำการฉีด ดังนั้นแรงที่ใช้ทำการปิดแม่พิมพ์จำเป็นต้องเพียงพอไม่ให้พลาสติกไหลล้นออกมาซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดครีบก้นในชิ้นงาน ตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อแรงปิดแม่พิมพ์ ได้แก่ ความหนืดของพลาสติกเหลวอัตราส่วนระหว่างระยะทางการไหลกับความหนาของชิ้นงาน อุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ พื้นที่ภาพฉายของชิ้นงาน ความแข็งแรงของแม่พิมพ์ และช่องระบายอากาศของแม่พิมพ์ตัวแปรเหล่านี้มีผลต่อความดันที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์ ดังนั้นการคำนวณค่าแรงปิดแม่พิมพ์จะคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

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

เมื่อ	F	คือ	แรงปิดแม่พิมพ์ (ton)
	P_{cavity}	คือ	ความดันเฉลี่ยในแม่พิมพ์ (kg/cm^2)
	A	คือ	พื้นที่ภาพฉายของแม่พิมพ์ (mm^2)

สำหรับการคำนวณหาค่าความดันที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์ สามารถทำได้โดยการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ที่ติดไว้กับผนังด้านในของแม่พิมพ์ที่สัมผัสกับพลาสติกเหลว หากไม่มีเครื่องมือวัดความดันในแม่พิมพ์ก็สามารถประมาณค่าความดันที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์ประมาณ 60% ถึง 70% ของความดันที่เกิดขึ้นจริง

2.7.16 เวลาในการหล่อเย็น (Cooling time)

การหล่อเย็นเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการฉีดพลาสติก โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเภทเทอร์โมพลาสติก เพื่อให้พลาสติกเย็นตัวก่อนที่จะทำการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ การควบคุมแม่พิมพ์ให้มีอุณหภูมิคงที่นั้นสามารถทำได้โดยการผ่านน้ำหรือน้ำมันไปที่แม่พิมพ์ สามารถปรับตั้งได้จากเครื่องฉีดโดยตรง ซึ่งก็คือการควบคุมอุณหภูมิน้ำหรือน้ำมันให้คงที่ และนอกจากนี้แล้วการไหลของน้ำหรือน้ำมันจะต้องมีการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) เพื่อให้การระบายความร้อนมีประสิทธิภาพสูงสุด หากน้ำมีการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) เนื่องจากการไหลแบบนี้จะทำให้เกิดน้ำเป็นชั้นๆ (Boundary layer) ซึ่งจะไปขวางการถ่ายเทความร้อนทำให้การหล่อเย็นที่เกิดขึ้นก็จะไม่เกิดประสิทธิผล ดังนั้นการไหลของน้ำจะต้องมีอัตราการไหลไม่น้อยกว่า 10 ถึง 15 ลิตรต่อนาที การดูง่ายๆ ก็คือควรเปิดน้ำให้น้ำที่ออกจากท่อนั้นเต็มท่ออยู่เสมอ นอกจากอัตราการไหลของน้ำแล้ว เวลาในการหล่อเย็นควรจะเพียงพอสำหรับการทำให้แม่พิมพ์มีอุณหภูมิที่ต้องการ นอกจากนี้ เวลาในการหล่อเย็นยังมีผลต่อเวลาในการฉีด หากเวลาในการหล่อเย็นนานเกินไปก็จะทำให้อัตราการผลิตต่ำ หากเวลาในการหล่อเย็นเร็วเกินไปก็อาจจะทำให้ชิ้นงานเกิดการหดตัวและบิดเบี้ยวหลังจากที่ปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ โดยส่วนใหญ่แล้วผู้ทำการปรับตั้งเครื่องมักจะใช้วิธีการเปิดน้ำ และทดลองฉีดจนกว่าจะได้เวลาในการหล่อเย็นที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้เสียเวลาและวัตถุดิบในการทดลองเป็นอย่างมาก การนำเอาสูตรเข้ามาช่วยคำนวณเวลาในการหล่อเย็นจะสามารถช่วยลดเวลาในการทดลองได้ โดยสูตรคำนวณแสดงดังต่อไปนี้

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

เมื่อ	CT	=	เวลาหล่อเย็น (s)
	d	=	ความหนาของชิ้นงาน (mm ² /s)
	T _{Melt}	=	อุณหภูมิพลาสติกเหลว (°C)
	T _{Mold}	=	อุณหภูมิแม่พิมพ์ (°C)
	T _{Demold}	=	อุณหภูมิปลดชิ้นงาน (°C)

2.8 ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในชิ้นงานและวิธีแก้ไข

สาเหตุของปัญหาการเกิดข้อบกพร่องกับชิ้นงาน สามารถจำแนกออกเป็นสาเหตุใหญ่ด้วยกัน คือ ปัญหาเนื่องจากคุณสมบัติของพลาสติก, ปัญหาเนื่องจากแม่พิมพ์, ปัญหาจากการปรับพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดพลาสติก และปัญหาจากประสิทธิภาพของเครื่องฉีดพลาสติก ส่วนแนวทางการแก้ปัญหาการเกิดข้อบกพร่องในชิ้นงานมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน คือ ปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องฉีดพลาสติก แก้ไขแม่พิมพ์ และปรับพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดให้เหมาะสม กรณีที่รูปแบบของชิ้นงานยากต่อการฉีดควรออกแบบชิ้นงานใหม่ให้สามารถฉีดได้ง่ายขึ้น และจัดการกับระบบการฉีดพลาสติกให้เป็นอุปกรณ์เสริมสำหรับช่วยในการฉีดพลาสติกด้วย ซึ่งสามารถสรุปแนวทางวิธีการแก้ไขโดยแยกเป็นข้อบกพร่องแต่ละชนิด ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แนวทางแก้ไขข้อบกพร่องในชิ้นงานพลาสติก (สุเทพ บุตรดี, 2546)

ข้อบกพร่อง	การแก้ไข
รอยยุบในชิ้นงาน (Sink Mark)	<ul style="list-style-type: none"> - เพิ่มความดันฉีดเข้าและเวลาในการฉีดเข้า - เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลวที่หัวฉีด - ลดความเร็วในการฉีด - ลดความดันต้านการถดถอยกลับของสกรู - ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น - ลดอุณหภูมิแม่พิมพ์ - เพิ่มอัตรา การ ป้อนพลาสติกเหลว - เพิ่มขนาดทางเข้าพลาสติกเหลว - แก้ระบบทางเข้าของพลาสติกเหลวให้ดี

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) แนวทางแก้ไขข้อบกพร่องในชิ้นงานพลาสติก (สุเทพ บุตรดี, 2546)

ข้อบกพร่อง	การแก้ไข
พลาสติกไหม้ (Burning)	<ul style="list-style-type: none"> - ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว - ลดความเร็วในการฉีด - ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น - เพิ่มช่องระบายอากาศให้กับแม่พิมพ์
มีจุดบนผิวชิ้นงาน (Surface Blemished)	<ul style="list-style-type: none"> - เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว - เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลวที่หัวฉีด - เพิ่มความเร็วรอบสกรู - ลดความเร็วในการฉีด - เพิ่มความดันด้านการถอยกลับของสกรู - เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ - ทำความสะอาดแม่พิมพ์ - ทำความสะอาดระบบทางไหลของพลาสติก - อบพลาสติกให้แห้งสนิท
ชิ้นงานเป็นครีบ (Flash)	<ul style="list-style-type: none"> - ลดความดันฉีดให้ต่ำลง - ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว - ลดความดันและเวลาในการฉีดซ้ำ - เพิ่มแรงในการปิดแม่พิมพ์ - ลดความเร็วในการฉีด - ลดอุณหภูมิของแม่พิมพ์
ผิวชิ้นงานด้าน (Dull Surface)	<ul style="list-style-type: none"> - เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว - เพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์ - เพิ่มความเร็วรอบของสกรู - ลดความเร็วในการฉีด - เพิ่มความดันด้านการถอยกลับของสกรู

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) แนวทางแก้ไขข้อบกพร่องในชิ้นงานพลาสติก (สุเทพ บุตรดี, 2546)

ข้อบกพร่อง	การแก้ไข
ผิวชิ้นงานด้าน (Dull Surface)	<ul style="list-style-type: none"> - ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น - ทำความสะอาดแม่พิมพ์ - เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว - อบพลาสติกให้แห้งสนิท
เนื้อพลาสติกแบ่งเป็นชั้น (Laminations)	<ul style="list-style-type: none"> - ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว - เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลวที่หัวฉีด - เพิ่มความเร็วรอบสกรู - ลดความเร็วในการฉีด - เพิ่มความดันด้านการถอยกลับของสกรู - ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น - เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ - เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว - อบพลาสติกให้แห้งสนิท
ชิ้นงานติดอยู่ในแม่พิมพ์ (Part sticks in mold)	<ul style="list-style-type: none"> - ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว - ลดความดันและเวลาในการฉีด - ลดความเร็วในการฉีด - ลดอุณหภูมิของแม่พิมพ์ - ทำความสะอาดแม่พิมพ์ - แก้ไขแม่พิมพ์ใหม่
รอยเป็นทางในชิ้นงาน (Streaks on Part)	<ul style="list-style-type: none"> - เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว - ลดความเร็วรอบของสกรู - ลดความเร็วในการฉีด - เพิ่มความดันด้านการถอยกลับของสกรู - อบพลาสติกให้แห้งสนิท

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) แนวทางแก้ไขข้อบกพร่องในชิ้นงานพลาสติก (สุเทพ บุตรดี, 2546)

ข้อบกพร่อง	การแก้ไข
ชิ้นงานบิดเบี้ยว (Part Distort)	<ul style="list-style-type: none"> - ลดความดันฉีดให้ต่ำลง - เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว - ลดความดันในการฉีด - ลดเวลาในการฉีด - ลดความเร็วในการฉีด - เพิ่มความดันด้านการถอยกลับของสกรู - เพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์ - เพิ่มเวลาในการหล่อเย็น - เพิ่มเวลาในการเปิดแม่พิมพ์ - อบพลาสติกให้แห้งสนิท
สีของชิ้นงานเปลี่ยนไป (Discoloration of Sprue)	<ul style="list-style-type: none"> - ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว - ฉีดด้วยสกรูที่กำลังหมุน - ลดความเร็วในการฉีด - เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ - เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว - เพิ่มขนาดของสลักเย็น
รอยประสานจากการไหลของพลาสติก (Weld Line)	<ul style="list-style-type: none"> - เพิ่มความดันฉีดให้สูงขึ้น - เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว - เพิ่มความเร็วในการฉีด - เพิ่มความดันด้านการถอยกลับของสกรู - ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น - เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ - เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว - เพิ่มช่องระบายอากาศให้กับแม่พิมพ์ - อบพลาสติกให้แห้งสนิท

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) แนวทางแก้ไขข้อบกพร่องในชิ้นงานพลาสติก (สุเทพ บุตรดี, 2546)

ข้อบกพร่อง	การแก้ไข
ชิ้นงานเปราะแตกง่าย (Brittle Part)	<ul style="list-style-type: none"> - เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว - ลดความดันในการฉีด - ลดเวลาในการฉีด - เพิ่มความเร็วรอบสกรู - ลดความเร็วในการฉีด - เพิ่มความดันด้านการถอยกลับของสกรู - เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ - เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว - อบพลาสติกให้แห้งสนิท - เพิ่มขนาดของสลักเย็น
ผิวชิ้นงานเป็นคลื่น (Wavy Surface)	<ul style="list-style-type: none"> - เพิ่มความดันฉีดให้สูงขึ้น - เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว - เพิ่มความดันและเวลาในการฉีด - เพิ่มความเร็วในการฉีด - ลดอุณหภูมิแม่พิมพ์ - เพิ่มอัตราการป้อนพลาสติกเหลว - เพิ่มเวลาหล่อเย็นและเวลาเปิดแม่พิมพ์
รอยหยักเป็นทางยาวบนผิวชิ้นงาน (Worms track on Part)	<ul style="list-style-type: none"> - เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว - เพิ่มอุณหภูมิหัวฉีด - เพิ่มความเร็วรอบของสกรู - ลดความเร็วในการฉีด - เพิ่มความดันด้านการถอยกลับของสกรู - เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว - เพิ่มขนาดของสลักเย็น - อบพลาสติกให้แห้งสนิท

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) แนวทางแก้ไขข้อบกพร่องในชิ้นงานพลาสติก (สุเทพ บุตรดี, 2546)

ข้อบกพร่อง	การแก้ไข
มีโพรงในชิ้นงาน (Voids in Part)	<ul style="list-style-type: none"> - ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว - เพิ่มความดันและเวลาในการฉีด - เพิ่มอุณหภูมิหัวฉีด - ลดความเร็วในการฉีด - เพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์ - เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว
ฉีดไม่เต็มแบบ (Short Mold)	<ul style="list-style-type: none"> - เพิ่มความดันฉีดให้สูงขึ้น - เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว - เพิ่มอุณหภูมิหัวฉีด - ทำความสะอาดหัวฉีด - เพิ่มความเร็วในการฉีด - เพิ่มความดันด้านการถอยกลับของสกรู - ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น - เพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์ - เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว - เพิ่มช่องระบายอากาศให้กับแม่พิมพ์ - เพิ่มอัตราการป้อนพลาสติก
รอยฟัน (Jetting)	<ul style="list-style-type: none"> - เพิ่มขนาดของทางเข้า (Gate) - ลดความเร็วฉีดให้ต่ำลง - เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลวให้สูงขึ้น - เพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์ให้สูงขึ้น - แก้ไขขนาดของชิ้นงานให้มีความหนา ลดลง

บทที่ 3

ทฤษฎีเกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่นำมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินการวิจัยเกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านสถิติในเรื่องต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น และดำเนินการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางของกระบวนการซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma) ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

3.1 ความหมายและประวัติความเป็นมาของซิกซ์ ซิกมา

ซิกซ์ ซิกมา คือ ระบบที่องค์กรสามารถนำความรู้และการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติต่าง ๆ มาใช้ได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อให้ผลิตภัณฑ์สำเร็จมีคุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ ซิกซ์ ซิกมา ได้ถูกเริ่มใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1980 โดยบริษัทโมโตโรล่าผู้บุกเบิกแนวความคิดทาง ซิกซ์ ซิกมา คือ Robert W. Galvin เพื่อที่จะใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตโทรศัพท์เคลื่อนที่ และเพจเจอร์ ซึ่งหลังจากประสบผลสำเร็จเขาจึงได้รับการแต่งตั้งให้เป็น CEO (Chief Executive Officer) ของบริษัทโมโตโรล่าในเวลาต่อมา และปี ค.ศ. 1986 วิธีการทาง ซิกซ์ ซิกมา ได้ถูกพัฒนาโดย Dr. Mikel J. Harry ซึ่งเป็นพนักงานของบริษัทโมโตโรล่าเช่นเดียวกัน จนในปี ค.ศ. 1988 หลังจากที่บริษัทโมโตโรล่าได้ใช้ปรัชญาทาง ซิกซ์ ซิกมา เพื่อการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในองค์กรทำให้บริษัท โมโตโรล่า ได้รับรางวัลชนะเลิศทางด้านคุณภาพ Malcolm Baldrige National Quality Award

กลยุทธ์ในการปรับปรุงคุณภาพของโมโตโรล่าได้กลายเป็นจุดสนใจขององค์กรต่างๆทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมเกี่ยวกับยานยนต์ซึ่งวิธีการทาง ซิกซ์ ซิกมา ได้จุดประกายความสนใจขององค์กรต่างๆที่จะใช้วิธีการนี้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อที่จะสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ตรงตามเป้าหมาย หนึ่งในนั้นคือบริษัท ไอบีเอ็ม ซึ่งเป็นบริษัทแรกที่นำวิธีการนี้มาใช้ในองค์กร โดยประยุกต์ใช้กับหน่วยงาน Application Business Systems Division ซึ่งหลังจากประสบความสำเร็จในการประยุกต์ใช้วิธีการทาง ซิกซ์ ซิกมา เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทำให้บริษัทไอบีเอ็ม ได้รับรางวัล Malcolm Baldrige National Quality Award ในปี 1990

3.2 การปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา

การที่จะบรรลุวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทำให้เกิดความสำเร็จตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ตามวิธีการทางซิกซ์ ซิกมา จะต้องมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องในทุกๆจุดของการปฏิบัติงานซึ่งจะต้องอาศัยกลยุทธ์ในการประยุกต์ใช้วิธีการต่างๆในวิชาสถิติซึ่งในวิธีการทาง ซิกซ์ ซิกมา จะประยุกต์ใช้กลยุทธ์ 5 ขั้นตอนที่สำคัญเพื่อการปรับปรุงกระบวนการผลิต คือ

1. ขั้นตอนการกำหนดแผนงาน ในการแก้ไขปัญหา (Define Phase)
2. ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Measurement Phase)
3. ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)
4. ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)
5. ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต (Control Phase)

โดยรายละเอียดและเครื่องมือทางสถิติที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในแต่ละกิจกรรมทั้ง 5 ขั้นตอน มีดังนี้

3.2.1 ขั้นตอนการกำหนดแผนงานในการแก้ไขปัญหา (Define Phase)

เป็นช่วงที่มีความสำคัญที่สุด โดยมีกำหนดความต้องการของลูกค้าและเป้าหมายของกระบวนการ/ผลิตภัณฑ์/บริการ รวมทั้งการระบุรายละเอียดปัญหาและผลกระทบต่อธุรกิจ ซึ่งขั้นตอนการกำหนดแผนงานในการแก้ไขปัญหานี้มีรายละเอียดและเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

รายละเอียดเอกสารของโครงการ (Project Charter)

เอกสารโครงการควรประกอบด้วยรายการต่างๆที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- กรณีทางธุรกิจสำหรับการคัดเลือกโครงการ (Business Case for the Project Selection)

โดยระบุถึงลำดับความสำคัญของโครงการ

- ข้อความแสดงถึงปัญหาเบื้องต้น (Preliminary Problem Statement) โดยแสดงความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นกับเป้าหมายหรือสิ่งที่ลูกค้าคาดหวัง ซึ่งข้อความแสดงถึงปัญหาจะต้องสัมพันธ์กับกรณีธุรกิจ และต้องสามารถวัดผลได้

- กำหนดขอบเขตของโครงการ (Project Scope) ให้อย่างชัดเจน

● กำหนดเป้าหมายและระยะเวลาตามเป้าหมาย เพื่อใช้ติดตามและประเมินความคืบหน้าของโครงการ

- บทบาทความรับผิดชอบของคณะทำงาน

การกำหนดปัญหา (Problem Statement)

ระบุปัญหาที่ต้องการทำการศึกษาและแก้ไข ซึ่งปัญหานั้นต้องสัมพันธ์ในส่วนที่มีผลกระทบต่อลูกค้า หรือทางด้านคุณภาพ (CTQ's: Critical to Quality) โดยจะเป็นข้อความที่แสดงถึงปัญหาที่ควรเป็นคำตอบของคำถามเหล่านี้ คือ เกิดอะไรที่ผิดปกติ ปัญหาเกิดขึ้นที่ใด ปัญหานั้นรุนแรงเพียงใด และอะไรคือปัญหาที่มีผลกระทบต่อธุรกิจ เป็นต้น

การวิเคราะห์คานา

เป็นวิธีการหนึ่งที่จะทำการจัดลำดับความสำคัญของความต้องการของลูกค้าซึ่งมีพื้นฐานมาจากการแบ่งพื้นฐานของ โนริกิ คานา โดยการแบ่งความต้องการของลูกค้าออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. ความไม่พอใจหรือความต้องการพื้นฐาน เป็นความคาดหวังต่ำสุดที่ที่ลูกค้าต้องการ ซึ่งสินค้าทุกชนิดจำเป็นจะต้องมีสมรรถนะให้ตรงกับความต้องการต่ำสุดของลูกค้า ซึ่งลูกค้าจะไม่พึงพอใจถ้าสมรรถนะของสินค้าไม่ตรงตามความต้องการ
2. ความพึงพอใจหรือความต้องการที่หลากหลาย การปฏิบัติที่ดีกว่าหรือแย่กว่าของคุณสมบัติบนความต้องการเหล่านี้ สิ่งที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าถือเป็นอัตราที่ลูกค้ากำหนดให้ โดยลูกค้าที่ได้รับลักษณะเหล่านี้มากกว่าก็จะมีคามพึงพอใจที่มากกว่า
3. ความยินดีหรือความต้องการที่แฝงอยู่ เป็นลักษณะปัจจัยหรือความสามารถที่มากกว่าความคาดหวังของลูกค้า หรือความต้องการเป้าหมายที่ลูกค้าไม่สามารถแสดงออกมาให้รู้ได้ด้วยตนเอง

แผนภาพกระบวนการผลิต (Process Map)

ส่วนนี้เป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการที่จะหาสาเหตุของปัญหา ซึ่งการสร้างแผนภาพของกระบวนการ การผลิต จะต้องทำอย่างละเอียดทุกขั้นตอนในการประกอบผลิตภัณฑ์ เพื่อที่จะสามารถระบุตัวแปรสำคัญ ใน กระบวนการผลิต (Process Input) และผลลัพธ์ในกระบวนการผลิต (Process Output) ขั้นตอนนี้จึงเปรียบ เสมือนเป็นการตรวจวิเคราะห์ของกระบวนการผลิตซึ่งอาจจะทำให้เราทราบถึง วิ่งผิดปกติ หรือทราบ สาเหตุที่แท้จริงของความบกพร่องในการผลิต ที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งขั้นตอนนี้อานเป็น ขั้นตอนที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์ปัญหาโดยการทดลองโดยการตั้งสมมติฐาน หรือ โดยการใช้ข้อมูลทางด้าน สถิติที่มีการเก็บรวบรวมอย่างถูกวิธี

การสร้างแผนการไหลของผลิตภัณฑ์ต้องใช้การระดมสมอง และทีมงานที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์เพื่อที่จะได้รายละเอียดที่สำคัญและครบถ้วนของกระบวนการผลิต ซึ่งแผนภาพการไหลนั้นจะต้องสามารถ บอกถึงสาเหตุแห่งความบกพร่องของผลิตภัณฑ์ (Cause of Poor Quality: COPQ)

การสร้างแผนการไหลของผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องยิ่ง ในการระบุที่มาของข้อบกพร่องและสิ่งที่ย้อนในกระบวนการผลิต (Hidden Factory) ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลให้สูญเสียเวลา เงิน ทรัพยากร และพื้นที่จัดเก็บ

การระดมสมอง (Brainstorming)

ในการเริ่มต้นทีมงานจะรวมอยู่ในห้องซึ่งมีโต๊ะที่วางอยู่ในลักษณะที่สามารถทำการสนทนาได้ต่อกันได้ (มักใช้เป็นรูปตัวยู) การระดมสมองนั้น สมาชิกที่ถูกเลือกมานั้นควรมีมุมมองที่แตกต่างกันหรือมีหน้าที่ความรับผิดชอบที่ต่างกันในเรื่องที่จะทำการระดมสมอง โดยคำถามหรือปัญหาจะถูกเขียนให้ทุกคนสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจนภายในห้อง โดยปกติในการระดมสมองจำเป็นต้องมีผู้นำในการระดมสมอง ซึ่งข้อควรปฏิบัติที่ผู้นำในการระดมสมองจะต้องจดจำไว้ก่อนเริ่ม คือ

1. ควรจะถามความคิดเห็นของสมาชิกคนละความคิดเห็น โดยการวนถาม โดยจะถามวนต่อเนื่องกันไป จนกระทั่งสมาชิกทุกคนไม่มีความคิดเห็นที่จะเสนอแล้ว
2. ก่อนที่จะทำการสรุปว่าความคิดเห็นใดตรงกับประเด็นปัญหาหรือไม่ ความคิดเห็นที่ถูกนำเสนอขึ้นมานั้นจะต้องได้รับการประเมินหรือวิเคราะห์ในทุกๆความคิดเห็น
3. พยายามสนับสนุนความคิดเห็นที่ค่อนข้างแหวกแนว เพราะการที่จะแสดงความคิดเห็นที่แหวกแนวนั้นค่อนข้างที่จะยากที่จะนำเสนอออกมาได้ ดังนั้นไม่ควรที่จะจำกัดความคิดเห็นเหล่านี้ และความคิดเห็นที่แหวกแนวนี้เองจะเป็นตัวสนับสนุน ให้มีการแสดงความคิดเห็นที่แหวกแนวอื่นตามมา
4. พยายามทำให้บรรยากาศในการ ระดมสมองเป็นบรรยากาศที่สนุกสนานและไม่เป็นทางการมากนัก
5. จุดมุ่งหมายที่สำคัญคือต้องการจำนวนความคิดที่มากที่สุด ไม่ใช่คุณภาพ เพราะเมื่อยังมีความคิดเห็นมากเท่าใด โอกาสที่จะเป็นความคิดเห็นที่ดีก็จะมีมากขึ้นด้วย
6. พยายามค้นหาแนวทางการปรับปรุงและรวมกลุ่มความคิดเห็นให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน

3.2.2 ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

ผังแสดงเหตุและผล คือ ผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางคุณภาพกับปัจจัยต่าง ๆ (ที่เกี่ยวข้อง) กล่าวคือ คุณลักษณะทางคุณภาพคือผลที่เกิดขึ้นจากสาเหตุคือปัจจัยต่าง ๆ ที่เป็นต้นตอของคุณลักษณะอันนั้น

การสร้างผังแสดงเหตุและผลที่จะเอื้อประโยชน์ต่อการแก้ปัญหาได้จริง ๆ ไม่ใช่เรื่องง่าย ผู้ที่สามารถสร้างผังก้างปลาได้ถูกต้อง คือ ผู้ที่มีโอกาสแก้ปัญหาทางคุณภาพได้ถูกต้องเช่นเดียวกัน ข้อสังเกตเกี่ยวกับผังแสดงเหตุและผล จะต้องทำการแยกแยะและเลือกสรรเพื่อหาปัจจัยอันเป็นสาเหตุแห่งปัญหานั้นควรใช้การปรึกษาหารือในกลุ่มคนหลาย ๆ ความคิดมาร่วมกันเพราะการละเว้นหรือมองข้ามปัจจัยบางอย่างไปจะก่อผลเสียภายหลังได้ (อาจทำให้การแก้ปัญหาผิดจุดได้) เลือกคุณลักษณะของปัญหาและปัจจัยสาเหตุในรูปแบบขนาด หรือ ปริมาณที่สามารถใส่หน่วยวัดลงไปได้ เพราะในที่สุดแล้วผลสรุปจากผังก้างปลาจะต้องนำไปแก้ไขปรับปรุงตัวแปรต่าง ๆ ในการผลิต การนำผังแสดงเหตุและผลไปใช้งานจะต้องก่อนสรุปปัญหาควรใส่น้ำหนักหรือคะแนนให้กับปัจจัยสาเหตุแต่ละตัวเพื่อได้ใช้การจัดลำดับความสำคัญของปัญหาซึ่งแนวทางเสนอแนะนี้จะนำไปผังแสดงเหตุผลที่ได้ไปเชื่อมโยงกับการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

ตารางความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

เป็นตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองที่ทำการศึกษา (KPOV) กับปัจจัยนำเข้าที่สำคัญต่าง ๆ ที่ได้จากการระดมความคิดโดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล โดยจะวิเคราะห์ถึงระดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญนี้ที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองต่างๆ ที่พิจารณาโดยใช้ความรู้ความชำนาญและประสบการณ์ในการปฏิบัติงานของผู้ร่วมระดมความคิด ผลลัพธ์ที่สำคัญของการทำตารางความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผลนี้จะได้จากแผนภูมิพาเรโตซึ่งเรียงปัจจัยตามลำดับผลกระทบที่มีต่อปัญหาที่ทำการศึกษา ทำให้สามารถที่จะพิจารณาเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญในระดับต้นๆ มาทำการแก้ไขก่อน หรือนำผลที่ได้มาใช้ในการประเมินแผนการควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิตได้โดยมีวิธีการสร้างตารางความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล ดังนี้

1. แจกแจงตัวแปรตอบสนองที่สนใจในการศึกษา ซึ่งตัวแปรที่มีความสำคัญต่อความพึงพอใจของลูกค้าหรือกลุ่มผู้ทำการวิเคราะห์ให้มีความสำคัญ โดยเขียนไว้ในส่วนของบนของตาราง โดยรายการเหล่านี้ต้องเป็นสิ่งที่คณะทำงานหรือลูกค้าเชื่อว่ามีค่าความสำคัญ

2. ทำการจัดลำดับความสำคัญของตัวแปรตอบสนองที่ได้แจกแจงนี้ โดยในการให้คะแนนโดยทั่วไป มักจะใช้สเกล 1 ถึง 10 ซึ่งตัวเลขที่มีค่ามากจะแสดงถึงตัวแปรตอบสนองที่มีความสำคัญมากที่สุดจะได้คะแนนรวมมากที่สุด ซึ่งสำคัญต่อการพึงพอใจของลูกค้ามากเช่นเดียวกัน
3. ทำการแจกแจง ปัจจัยนำเข้าที่มีแนวโน้มจะเป็นสาเหตุ (Potential cause) ทั้งหมดที่เป็นไปได้ในช่องทางซ้ายมือของตารางซึ่งปัจจัยนำเข้าที่สำคัญของตารางเหล่านี้จะได้อาจมาจากการระดมความคิดของกลุ่มสมาชิก โดยใช้แผนภาพสาเหตุและผลช่วยในการพิจารณาปัจจัย
4. ให้คะแนนลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองต่างๆ ที่ได้แจกแจงไว้ในส่วนบนของตาราง โดยเกณฑ์การให้คะแนนของความสัมพันธ์มีดังต่อไปนี้
 - 0 = ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนอง
 - 1 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองน้อย
 - 4 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองปานกลาง
 - 9 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองมาก
 ซึ่งการให้คะแนนนี้ขึ้นกับความรู้ความชำนาญและประสบการณ์ของกลุ่มผู้ทำการวิเคราะห์
5. รวบรวมคะแนนและจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง โดยใช้แผนภูมิพารโตช่วยในการวิเคราะห์ผลให้อัตราเป็นตัวเลข (ความสัมพันธ์ร่วม) แสดงอิทธิพลของปัจจัยนำเข้าแต่ละตัวที่มีต่อตัวแปรตอบสนองแต่ละตัวภายใต้กรอบในตารางที่พิจารณา โดยการกำหนดเกณฑ์นี้จะขึ้นกับประสบการณ์ของคณะทำงาน

แผนภูมิพารโต (Pareto Chart)

แผนภูมิพารโตเป็นแผนภูมิที่ใช้สำหรับตรวจสอบปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในสถานที่ทำงานหรือโรงงาน เพื่อสังเกตดูว่าปัญหาใดเป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดและรองๆ ลงมาตามลำดับ โดยนำปัญหา หรือสาเหตุเหล่านั้นมาจัดเป็นหมวดหมู่ และแบ่งแยกประเภท จากนั้นทำการเรียงลำดับตามความสำคัญจากมากไปหาน้อย โดยการแสดงขนาดความสำคัญมากน้อยด้วยกราฟแท่งและค่าสะสมด้วยกราฟเส้น ได้รับการคิดค้นขึ้นในปี ค.ศ. 1897 โดยนักเศรษฐศาสตร์ชาวอิตาลีคนหนึ่งที่มีชื่อว่า วิ.พารโต (V.Pareto) ที่ได้ทำการแสดงผลการวิจัยชิ้นหนึ่งของเขา โดยการแสดงให้เห็นว่าการกระจายรายได้ของประชากรแตกต่างกัน ซึ่งต่อมา ดร.จูราน ชาวอเมริกันก็ได้นำเอาหลักการ

ของพารโตมาใช้ในวิชาการควบคุมคุณภาพ เพื่อแสดงให้เห็นว่าสาเหตุความบกพร่องเพียงไม่กี่สาเหตุกลับก่อให้เกิดความสูญเสียมากมาย ขณะที่ความสูญเสียเล็กๆ น้อยๆ ที่เหลือกลับมาจากสาเหตุจำนวนมาก และเรียกวิธีการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุของความบกพร่องกับความสูญเสียที่เกิดขึ้นนี้ว่า การวิเคราะห์แบบพารโต (Pareto Analysis) และเรียกรูปวาดหรือแผนภูมิที่แสดงความสัมพันธ์นี้ว่า แผนภูมิพารโต (Pareto Diagram)

การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ เป็นวิธีการในการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบของระบบการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตหรือบริการ โดยเป็นแนวทางในการป้องกัน (Preventive Approach) ที่ใช้สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต โดยพิจารณาความเป็นได้ในการเกิดข้อบกพร่อง และทำการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องที่เป็นไปได้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิต เพื่อค้นหาสาเหตุและผลกระทบจากข้อบกพร่องนั้นๆ หลังจากนั้นก็ทำการกำหนดวิธีการตรวจสอบและบ่งชี้ข้อบกพร่อง ประเมินโอกาสการตรวจพบลักษณะข้อบกพร่อง และทำการกำหนดวิธีการเกิดขึ้นอีกของข้อบกพร่องนั้นๆ ในการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบของข้อบกพร่องของการออกแบบและกระบวนการนั้นๆ จัดทำเป็นตารางที่มีคะแนนความเสี่ยงสูงเพื่อนำมาจัดลำดับว่าควรปรับปรุงการออกแบบหรือกระบวนการใดก่อน โดยมีจุดมุ่งหมายในการปรับปรุง คือลดคะแนนความเสี่ยงของข้อบกพร่องแต่ละข้อลง

การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) มีจุดประสงค์ คือ การป้องกันข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้น โดยทำการแยกแยะและบ่งชี้ลักษณะความเสี่ยงของการออกแบบ และกระบวนการผลิต มีความพยายามลดโอกาสในการเกิดข้อบกพร่อง ลดความรุนแรงของผลอันเกิดจากลักษณะข้อบกพร่อง และนำผลจากการวิเคราะห์ที่ได้นำไปใช้ในการปรับปรุงการออกแบบและกระบวนการผลิต ผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้จากการวิเคราะห์ คือ แผนปฏิบัติการเพื่อกำจัดหรือลดข้อบกพร่องทางกายภาพของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิต โดยการคำนึงถึงลำดับก่อนหลังของ ความสำคัญของปัญหา การทำวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบมีลักษณะเป็นกระบวนการแบบเป็นระบบหรือ Systematic Technique มีการทำงานเป็นทีมและใช้ความรู้จากบุคลากรที่มีประสบการณ์จากทุกฝ่ายขององค์กรช่วยทำการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น

การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis, MSA)

การวิเคราะห์ระบบการวัด มีวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์ถึงแหล่งที่มา ของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด เพื่อยืนยันความถูกต้องและความแม่นยำของข้อมูลที่ได้จากการวัดก่อนทำการทดลอง ความแม่นยำ (Precision) หมายถึง ความสามารถในการวัดให้ผลค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ค่า ไม่กระจัดกระจาย และจะให้ความแม่นยำไม่เปลี่ยนแปลงค่ามากไม่มีการปรับวิธีการหรือปรับเครื่องมือวัด แต่ความเที่ยงตรง (Accuracy) หมายถึง ความสามารถในการวัดที่ให้ค่าใกล้เคียงความจริงมาก ผลต่างของค่าจริงและค่าวัดโดยเฉลี่ยน้อยมาก (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2542) โดยทั่วไปจะทดสอบความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดโดยวิธีการ Gage Repeatability and Reproducibility หรือ GR&R โดยค่าความผันแปรของระบบการวัดในรูปความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของระบบการวัด สามารถแบ่งเป็น 2 องค์ประกอบ คือ

ความผันแปรภายในเงื่อนไขของระบบการวัด (Repeatability) หมายถึง ความผันแปรของค่าวัดรอบค่าที่ควรจะเป็น (Expect Value) ของระบบการวัดที่ทำการวัดโดยใช้พนักงานวัดคนเดียว อุปกรณ์วัดเดียวกันในการ วัดงานชิ้นเดียวกันซ้ำๆ โดยทั่วไปจะหมายถึงความผันแปรของอุปกรณ์ แต่ในบางครั้งอาจเกิดมาจากสาเหตุหลักอื่นๆ เช่น ทักษะของพนักงาน หรือปัจจัยแวดล้อม โดยปกติค่ารีพีทอะบิลิตีจะใช้ประมาณค่าความผันแปร ของระบบการวัดในระยะสั้น (Short-Term Measurement)

ความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของระบบการวัด (Reproducibility) หมายถึง ความผันแปรที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากการใช้อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปมักหมายถึงความแตกต่างระหว่างพนักงานวัด จึงอาจเรียกว่าความผันแปรระหว่างพนักงานวัด (Appraiser Variation; AV) แต่ในบางครั้งความผันแปรนี้อาจมีสาเหตุมาจากปัจจัยอื่นที่ไม่ใช่พนักงานวัด เช่น ความผันแปรระหว่างวิธีการวัด ความผันแปรระหว่างสิ่งแวดล้อม โดยปกติจะใช้ค่าโปรคิวซีบิลิตีประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดในระยะยาว (Long-Term Measurement)

การวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลนับ (MSA for Attribute)

การประเมินผลและวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบเมื่อเป็นข้อมูลนับซึ่งเป็นการประเมินผลเมื่อคุณลักษณะที่ศึกษาเป็นคุณลักษณะเชิงคุณภาพ (Attribute Characteristics) เช่น รสชาติ ความ

สวยงาม ความเรียบร้อย หรือบางครั้งพารามิเตอร์อาจเป็นลักษณะเชิงผันแปร (Variable Characteristics) แต่ทำการนับเมื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะ หรือ GO/No GO Gauge

การศึกษาความสามารถของกระบวนการวัดแบบอาศัยข้อมูลนับจะเป็นการประเมินโดยการเปรียบเทียบชิ้นงานที่ทำการตรวจสอบกับพิคค์ของข้อจำกัดเฉพาะ ทำให้สามารถประเมินผลของข้อมูลออกเป็น ขอมรับหรือปฏิเสธ และผ่านหรือไม่ผ่าน จึงไม่สามารถประเมินผลได้ว่าคุณภาพงานที่ตรวจสอบได้นั้นดีหรือไม่ใช้อย่างไร

การศึกษาความสามารถของกระบวนการวัดสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีการประเมินผลในระยะสั้น (Short Method) และวิธีการประเมินผลในระยะยาว (Long Method) การประเมินผลระยะยาวนั้นจะอาศัยกราฟแสดงสมรรถนะของระบบการวัด (Gauge Performance Curve; GPC) ที่แสดงถึงโอกาสในการตรวจสอบแล้วยอมรับคุณภาพของสิ่งตัวอย่างที่แต่ละค่าของสิ่งตัวอย่างมีการกำหนดในรูปค่าอ้างอิงเพื่อพิจารณาค่าไบอัสและค่ารีพิทเทบิลิตี โดยทำการตัดสินใจว่าค่าไบอัสมีความแตกต่างจากค่าศูนย์อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยอาศัยตัวสถิติทดสอบ t โดยที่

$$t = \frac{31.3 \times \text{ค่าไบอัส}}{\text{ค่ารีพิทเทบิลิตี}}$$

ค่ารีพิทเทบิลิตีพิจารณาได้จากค่าความแตกต่างของค่าวัดค่าอ้างอิงที่สอดคล้องกับความน่าจะเป็นในการตรวจสอบแล้วยอมรับ (P_a) 0.995 กับค่าวัดค่าอ้างอิงที่สอดคล้องกับความน่าจะเป็นในการตรวจสอบแล้วยอมรับ (P_a) 0.005 หากด้วยตัวประกอบเพื่อการปรับค่า (Adjustment Factor) (AIAG, 2002) การประเมินผลระบบการวัดในระยะสั้นมีวิธีการประเมินผล ดังนี้

1. เลือกผู้ชำนาญการซึ่งเป็นบุคคลที่มีความสามารถเป็นพิเศษในการแยกแยะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีหรือเสีย และถูกค่าให้การยอมรับผลการตรวจสอบดังกล่าว
2. กำหนดล็อตมาตรฐาน (Standard Lot) สำหรับใช้ในการตรวจสอบ เพื่อประเมินความสามารถของระบบการวัด โดยล็อตดังกล่าวควรประกอบด้วยสิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพดี สิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพไม่ดี และสิ่งตัวอย่างคุณภาพก้ำกึ่งอย่างละ 1 ใน 3 ของสิ่งตัวอย่างทั้งหมด โดยงานก้ำกึ่งควรประกอบด้วยงานดีแบบก้ำกึ่ง และงานไม่ดีแบบก้ำกึ่งอย่างละครึ่ง (Fasser and Brettner, 1992)

3. เลือกพนักงานวัดหรือพนักงานตรวจสอบ ในกรณีที่ระบบการวัดมีพนักงานวัดหรือพนักงานตรวจสอบจำนวนหลายคนให้ทำการสุ่มพนักงานมาทำการศึกษาย่างน้อย 2 คน โดยพนักงานทุกคนที่เลือกมาต้องเป็นพนักงานที่มีหน้าที่ประจำในการตรวจสอบคุณภาพและได้ผ่านการฝึกอบรมมาอย่างดีและผ่านการทดสอบประเมินแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจสอบที่อาศัยความรู้สึก

4. กำหนดจำนวนชิ้นตัวอย่าง และจำนวนครั้งในการทดสอบซ้ำโดยจำนวนดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับจำนวนพนักงานตรวจสอบโดยปกติ แนะนำไว้ที่ 10 สิ่งตัวอย่าง ซึ่งถ้าหากไม่สามารถดำเนินการได้จะต้องพยายามให้ (จำนวนของสิ่งตัวอย่าง) \times (จำนวนของพนักงานตรวจสอบ) มากกว่า 15 และถ้าหากไม่สามารถดำเนินการได้ให้เพิ่มจำนวนซ้ำของการวัดในแต่ละสิ่งตัวอย่าง และสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการวัดนี้ต้องเป็นสิ่งตัวอย่างที่มีความแตกต่างมีนัยสำคัญ และในกรณีที่จะทำให้ระบบการวัดมีคุณภาพด้านความผันแปรเพียงพอต่อการตรวจจับความผันแปรของชิ้นงานในกระบวนการแล้ว จะต้องทำให้ข้อมูลแบ่งแยกได้ไม่ต่ำกว่า 5 กลุ่ม (จีน)

5. สุ่มพนักงานตรวจสอบขึ้นมาคนหนึ่งแล้วตรวจสอบตัวอย่างงานแบบสุ่มเพื่อประเมินผลคุณภาพของสิ่งตัวอย่างว่าผ่าน (Good-G) หรือ ไม่ผ่าน (No Good-NG) และทำเช่นนี้จนครบจำนวนพนักงานที่จะทำการทดสอบ

6. ประเมินผลด้วยดัชนีต่างๆ ดังนี้

$$\% \text{ รัฟิทธิะบิลิติ์ของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งทีผลการตรวจสอบเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \quad 3.1$$

$$\% \text{ ความไม่ไบ้อิสของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งทีการตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \quad 3.2$$

$$\% \text{ ประสิทธิผลด้านรัฟิทธิะบิลิติ์ของการตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งทีผลการตรวจสอบเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \quad 3.3$$

$$\% \text{ ประสิทธิผลด้านไบ้อิสของการตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งทีพนักงานทุกคนตรวจสอบได้ถูกต้องเหมือน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \quad 3.4$$

7. หากค่า % รัฟิทธิะบิลิติ์ของพนักงานตรวจสอบที่ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดแล้วให้ทำการอบรมพนักงานใหม่รวมทั้งประเมินผลของพนักงานใหม่เพื่อปรับปรุงค่ารัฟิทธิะบิลิติ์ให้ดีขึ้น แต่

หาก % ความไวของพนักงานตรวจสอบ (% Attribute Score) ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดแล้วจะต้องปรับปรุงวิธีการตรวจสอบใหม่หรือต้องกำหนดให้ชิ้นงานได้รับการตรวจสอบโดยผู้ชำนาญการ เฉพาะเท่านั้น สำหรับ % ประสิทธิภาพด้านริฟทิทของบิลิตีของการตรวจสอบ (% Screen Effective Score) และ % ประสิทธิภาพด้าน ไบอัสของการตรวจสอบ (% Attribute Effective Score) ถ้าไม่ผ่านเกณฑ์กำหนดมีความจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุจากดัชนีข้างต้น แล้วปรับปรุงให้ได้ค่าที่ดี

3.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

ระยะนี้เป็นการวิเคราะห์ (Analyze) โดยมุ่งวิเคราะห์จำแนกสาเหตุหลักของปัญหาต่างที่เกิดขึ้น โดยใช้ข้อมูลที่ได้รับจากขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) เพื่อใช้ระบุปัจจัยที่เป็นสาเหตุหลักของความผันแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางสถิติซึ่งงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) ในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ดังนั้นจึงนำเสนอทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง ดังนี้

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments)

เป็นการออกแบบการทดลองเพื่อตรวจสอบว่าปัจจัย (Factor) ใดหรือตัวแปร (Input Variable) ใดมีผลต่อสิ่งที่ให้ค่าสำคัญหรือความสนใจในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา (Output Response) โดยปัจจัย (Factor) ในการผลิตสามารถแบ่งได้เป็น 2 ปัจจัย ดังนี้

1. ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการผลิต
2. ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการผลิตอันเนื่องมาจากเทคโนโลยีไม่ทันสมัยพอ ต้นทุนในการควบคุมสูงมาก หรือ ไม่มีความสามารถควบคุมเพราะเกิดจากสภาพแวดล้อมในการผลิต ฯลฯ

การออกแบบการทดลองเพื่อทำการวิเคราะห์ได้ว่าปัจจัยใดมีผลต่อผลิตภัณฑ์ หรือไม่มีผลนั้นต้องทำการเปลี่ยนแปลงอย่างน้อย 2 ระดับ จากนั้นทำการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง

1. เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือ การพิสูจน์ถึงข้อเท็จจริง หรือความเชื่อจากประสบการณ์ หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต
2. เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ

คำจำกัดความ (Definition)

1. อิทธิพลหรือผล (Effect) หมายถึง ผลของตัวแปรต้น (ปัจจัยที่ทราบค่า สามารถกำหนดและเปลี่ยนแปลงได้) ที่มีต่อตัวแปรตาม (คุณลักษณะที่สามารถทราบได้หลังจากการทดลองในแต่ละครั้งหรือค่าที่ต้องการวัด)
2. ปัจจัย (Factor) หมายถึง คุณสมบัติใดๆ ที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อผลการทดลองของคุณลักษณะในตัวผลิตภัณฑ์
3. ระดับของปัจจัย (Level of Factor) หมายถึง สถานะต่างๆ ของปัจจัยหนึ่งๆ ที่ทำการกำหนดในการทดลอง
4. ปัจจัยรบกวน (Noise Factor) หมายถึง ปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบเล็กๆ น้อยๆ ในการทดลองที่ไม่ทราบลักษณะและไม่สามารถควบคุมได้

หลักในการออกแบบการทดลอง

1. การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ การทำให้โอกาสในการเก็บข้อมูลของข้อมูลในแต่ละการทดลองเท่าๆ กัน เพื่อกระจายผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ให้กับข้อมูลทุกระดับที่ศึกษาให้เท่ากัน โดยการทำการทดลองแบบสุ่มนี้ยังสามารถแบ่งออกได้อีก 3 วิธีคือ
 - 1.1 การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete randomization)
 - 1.2 การทำแบบสุ่มอย่างง่าย (Sample randomization)
 - 1.3 การทำแบบสุ่มแบบสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete randomization in blocks)
2. การทำซ้ำ (Replication) คือ การทำการทดลองซ้ำในแต่ละข้อมูล เพื่อกำจัดเอาผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ออก
3. การบล็อก (Blocking) คือ การจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วงๆ เพื่อลดผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ แต่ไม่จำเป็นที่จะต้องมีการทำเสมอไป

ลำดับขั้นตอนในการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ลำดับที่ 1 การนิยามปัญหา เป็นการระบุว่าความต้องการในการผลิตคืออะไร ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตคืออะไร ซึ่งการนิยามปัญหาในที่นี้ จะเกี่ยวข้องไปถึงวัตถุประสงค์ในการทดลอง

ลำดับที่ 2 การเลือกปัจจัยที่มีผลและกำหนดระดับของปัจจัย เป็นการให้หลักการทางทฤษฎีและประสบการณ์ที่เคยปฏิบัติมาในการผลิต เพื่อระบุว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลองและในแต่ละปัจจัยนั้น ควรจะมีช่วงในการทดลองอย่างไร เพื่อระบุระดับของปัจจัยในการทดลอง

สุดท้าย คือ ระบุว่าระดับที่ใช้ควรเป็นแบบใด แบบกำหนด (Fixed levels) แบบสุ่ม (Random levels) หรือ แบบผสม (Mixed levels)

แบบกำหนด (Fixed levels)	หมายถึง	ระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุม หรือ กำหนดค่าได้แน่นอน
แบบสุ่ม (Random levels)	หมายถึง	ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุม หรือกำหนดค่าได้แน่นอน
แบบผสม (Mixed levels)	หมายถึง	การผสมผสานระดับของปัจจัยที่เป็น ทั้งแบบกำหนดได้ และแบบสุ่ม

ลำดับที่ 3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response variables) ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทำการทดลองจะต้องเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษา และการวัดค่านั้น จะต้องแม่นยำ รวมทั้งความถูกต้องของเครื่องวัดด้วย

ลำดับที่ 4 การเลือกแบบการทดลอง จะต้องพิจารณาถึงจำนวนข้อมูล ที่ทำซ้ำในการทดลอง ความ ข้อจำกัดในการสุ่ม (Randomization) และการบล็อก (Blocking) ที่เกี่ยวข้องทั้งนี้ต้องนำมา เกี่ยวโยงกันในด้านความเสี่ยง รวมไปถึงต้นทุนที่ใช้ในการทดลองสำหรับการเลือกปัจจัย ต่างๆ

ลำดับที่ 5 การทำการทดลอง ในขณะที่ทำการทดลอง จะต้องปฏิบัติตามหลักการที่ได้ ออกแบบไว้นั้นคือ ต้องมีการสุ่ม การทำซ้ำ และข้อควรระวังในขณะที่ทำการทดลองคือ ความถูกต้องของเครื่องมือวัดและความสม่ำเสมอในการทดลอง เพื่อให้ความผิดพลาด (Error) ที่ออกมา มีน้อยที่สุด

ลำดับที่ 6 การวิเคราะห์ข้อมูล ในการวิเคราะห์ข้อมูล จะใช้ความรู้ทางด้านสถิติเข้ามา วิเคราะห์และสรุปผล รวมทั้งตัดสินใจความถูกต้องของข้อมูลที่เกิดขึ้น ก่อนที่จะตีความข้อมูลพึงระลึก เสมอว่า วิธีทางสถิติไม่สามารถบอกได้ว่าปัจจัยใดมีผล (Effect) เท่าใดได้แน่นอน แต่เป็นเพียง เครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ภายใต้ความเชื่อมั่นเป็นเปอร์เซ็นต์ในการสรุปผล

ลำดับที่ 7 สรุปผลและเสนอแนะ เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลแล้วต้องสรุปผลของการ วิเคราะห์ ซึ่งอาจแสดงในรูปของกราฟ ตาราง แผนภูมิ ฯลฯ และข้อเสนอแนะ เพื่อปรับปรุง กระบวนการผลิตให้ดีขึ้น

การเลือกแบบการทดลอง แบ่งได้เป็น 3 กรณี ได้แก่

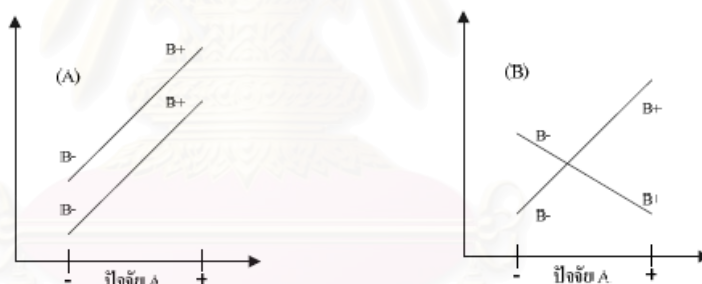
1. แผนการทดลองแบบสมบูรณ์ (Complete Randomized Design) ใช้กับการทดลองปัจจัย เดียว (Single factor experiment) หรือปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ที่มีขนาดไม่มากนัก และไม่มีปัจจัย

รบกวน ซึ่งการทดลองจะทำโดยยึดหลักการทดลองแบบสุ่ม (Randomization) และการดำเนินการซ้ำ (Replication)

2. แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม (Randomized Complete Block Design) ใช้กับการทดลองที่มีปัจจัยเดียว และทราบว่ามีปัจจัยรบกวน (Nuisance factor) อยู่ในการทดลองมีหลักการคือ

- 2.1 ทำการสุ่มทดลองทุกครั้ง (Random)
- 2.2 ทำการทดลองซ้ำตามจำนวนซ้ำที่กำหนด (Replicate)
- 2.3 ทำการบล็อก (Blocking) เพื่อลดปัจจัยรบกวน ซึ่งอาจจะทำการบล็อกมากกว่าหนึ่งบล็อกก็ได้ขึ้นกับรูปแบบของการทดลอง

3. แผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Design) ใช้กับการทดลองที่มีปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัย ซึ่งเป็นการทดลองที่มีหลายปัจจัย (Multiple factor experiment) ดังนั้นนอกจากจะเกิดอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main effect) ยังอาจเกิดอิทธิพล (effect) ของอีกปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงด้วย ตัวอย่างการเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วมหรือ ปฏิสัมพันธ์ดังรูปที่ 3.1



1. ไม่มีผลของอิทธิพลของปัจจัยร่วม

2. มีผลของอิทธิพลของปัจจัยร่วม

รูปที่ 3.1 ผลของอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่เกิดขึ้นต่อผลการทดสอบ

แผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลทั่วไป (Factorial Design) มีรูปแบบต่างๆ ไป คือ $A \times B \times C \dots$ แฟกทอเรียล เช่น $3 \times 2 \times 2$ แฟกทอเรียล รูปแบบของแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่สำคัญได้แก่

1. 2^k แฟกทอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยเพียงแค่ 2 ระดับในปัจจัยทั้งหมด 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

เหตุที่ใช้เนื่องจากการทดลองแบบ 2^k แฟกทอเรียล นั้นเหมาะสมกับรูปแบบ (Model) ที่มีความเป็นเส้นตรง (Linearity) จึงมีความถูกต้องในการตีความข้อมูลได้อย่างถูกต้อง

หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-square) เป็นการวิเคราะห์ว่าการออกแบบที่ได้ออกแบบขึ้นมาใช้ในการทดลองนั้น มีความเหมาะสมเพียงไร ซึ่งในการทดลองทุกครั้งจะต้องมีความผันแปรที่อธิบายไม่ได้ (Unexplained variable) หรือความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ การออกแบบการทดลองที่ดีจะต้องทำให้เกิดความผันแปรที่อธิบายไม่ได้ให้น้อยที่สุด

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

ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-square) ต่ำ สามารถแก้ไขโดย

- 1.1 เพิ่มจำนวนซ้ำในการทดลอง
- 1.2 ตรวจสอบหาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง แล้วออกแบบการทดลองใหม่
- 1.3 ถ้าทำการเพิ่มปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) ยังต่ำอยู่แสดงว่าผลจากปัจจัยรบกวน (Noise factor) มีมาก จึงควรทำการบล็อก (Blocking) เพื่อลดผลจากปัจจัยรบกวนให้น้อยที่สุด

2. การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking) จากสมการ

$$Y_{\mu} = \mu + \tau_{\mu} + \epsilon_{\mu}$$

เมื่อ	μ	คือ	ค่าเฉลี่ย
	τ	คือ	อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย
	ϵ	คือ	ความคลาดเคลื่อน

ในการออกแบบการทดลองส่วนใหญ่ มักจะต้องสมมุติฐานในการวิเคราะห์จากค่าที่ y (ตัวแปรตอบสนอง) ให้มีการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal distribution) และในการที่ y จะมี

การกระจายแบบนี้ \mathcal{E} (ค่าความคาดเคลื่อน) มีการกระจายแบบปกติ และต้องเป็นการกระจายที่เป็นอิสระด้วย คือมี \mathcal{E}_μ - NID $(0, \sigma^2)$ การตรวจสอบ \mathcal{E}_μ มี 3 ขั้นตอนคือ

1. การตรวจสอบการกระจายว่าเป็นการแจกแจงปกติ (Normal distribution) หรือไม่โดย
 - ทดสอบแบบไคร้สแควร์ (χ^2 – Goodness of Fit test)
 - ทดสอบแบบโค โก โมรอฟ- สเมอร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov test)
 - ทดสอบ โดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงปกติ (Normal Probability Plot: NOPP)
2. การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independence) สามารถตรวจสอบได้โดยการพิจารณาจากแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับ ลำดับของการเก็บข้อมูล (Observation Order) โดยการกระจายตัวของส่วนตกค้างควรมีรูปแบบที่เป็นอิสระต่อกัน ไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือมีรูปแบบแน่นอน
3. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยใช้การพิจารณาแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือมีการกระจายตัวที่รูปแบบกรวยปากเปิด

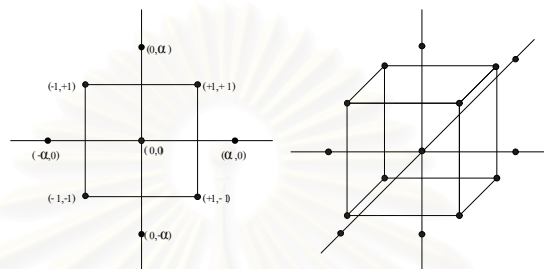
3.2.4 ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

Response Surface Methodology (RSM) คือ เทคนิคที่เกิดจากการรวมเทคนิคทางคณิตศาสตร์ และสถิติที่ใช้สร้างตัวแบบ และวิเคราะห์ปัญหาซึ่งตัวแปรตอบสนองได้รับอิทธิพลจากตัวแปรหลายๆตัวแปร และมีวัตถุประสงค์ในการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมของตัวแปรเหล่านั้น ซึ่งจะใช้การทดลองที่มีการออกแบบจำลองอันดับที่สอง แต่เนื่องจากการออกแบบจำลองอันดับที่สองไม่สามารถใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลได้ ดังนั้นในการออกแบบการทดลองจึงเพิ่มการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลให้มีจุดเพียงพอที่จะหาแบบจำลองอันดับที่สองได้ ซึ่งการออกแบบลักษณะนี้มีหลายประเภทดังต่อไปนี้

การออกแบบส่วนผสมกลาง (Central Composite Design: CCD)

โดยทั่วไป CCD จะประกอบไปด้วย 2^k แฟคทอเรียลที่มี n_f รัน, 2^k รันในแนวแกนหรือในแนวรูปดาว (Star) และ n_c รันที่จุดศูนย์กลาง การพัฒนา CCD ในทางปฏิบัติส่วนมากจะเกิดจากการทดลองแบบเป็นอันดับ นั่นคือ การออกแบบ 2^k ถูกนำมาใช้เพื่อฟิตแบบจำลองอันดับหนึ่ง แล้วพบว่า

แบบจำลองนี้ไม่เหมาะสมกับข้อมูลนี้ ดังนั้น จึงได้มีการรันเพิ่มขึ้นในแนวแกน เพื่อให้สามารถใส่พจน์ควอดราติกลงในแบบจำลองได้ CCD เป็นการออกแบบที่มีประสิทธิภาพมากในการฟิตแบบจำลองอันดับที่สอง มีพารามิเตอร์อยู่สองตัวในการออกแบบที่จะต้องถูกกำหนด นั่นคือระยะทาง α ของการรันในแนวแกนของจุดศูนย์กลางในการออกแบบ และจำนวนของจุดศูนย์กลาง n_c



รูปที่ 3.2 การออกแบบ CCD เมื่อ $k = 2$ และ $k = 3$

CCD รูปทรงกลม

ความสามารถในการหมุนเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของรูปทรงกลม (Sphere) นั่นคือ จะเป็นการดีมากถ้าจะใช้เกณฑ์ในการออกแบบเช่นนี้เมื่อบริเวณที่เราสนใจอยู่เป็นรูปทรงกลม อย่างไรก็ตามการออกแบบที่ดีไม่จำเป็นว่าจะต้องทำให้เกิดความสามารถในการหมุนได้อย่างถูกต้องร้อยเปอร์เซ็นต์ ในความเป็นจริงแล้ว สำหรับบริเวณของทรงกลมที่เรากำลังสนใจนั้น ทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับ α หาได้จากการพยากรณ์ความแปรปรวนสำหรับ CCD ซึ่งกำหนดให้ $\alpha = \sqrt{k}$ การออกแบบเช่นนี้เรียกว่า CCD รูปทรงกลม (Spherical CCD) ซึ่งจะกำหนดให้ทุกจุดที่อยู่ในการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล และการออกแบบในแนวแกนให้อยู่บนพื้นผิวของรูปทรงกลมที่มีรัศมี \sqrt{k}

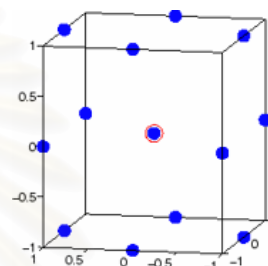
จุดศูนย์กลางของการรันใน CCD

การเลือก α ใน CCD จะถูกกำหนดโดยบริเวณที่เราสนใจ เมื่อบริเวณนี้เป็นรูปทรงกลม การออกแบบจะต้องรวมเอาจุดศูนย์กลางการรันเข้าไว้ด้วย ทั้งนี้เพื่อที่จะทำให้ค่าความแปรปรวนของผลตอบที่พยากรณ์ได้มีเสถียรภาพอย่างเต็มที่ยอมรับได้ ตามปกติแล้ว ขอแนะนำให้ใช้ 3-5 รัน

การออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคน (Box – Behnken Design)

การออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคน (Box - Behnken Design) เป็นการออกแบบสามระดับ สำหรับพื้นผิวผลตอบ การออกแบบถูกสร้างขึ้นจากการรวมเอาการออกแบบแฟกทอเรียล 2^k กับการออกแบบบล็อกไม่บริบูรณ์ ผลของการออกแบบมีประสิทธิภาพมากในด้านจำนวนของการรันที่ต้องการ และการออกแบบนี้ยังมีความสามารถในการหมุนหรือเกือบหมุนได้อีกด้วย

Run	x1	x2	x3
1	-1	-1	0
2	-1	1	0
3	1	-1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	-1	0	1
7	1	0	-1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	-1	1
11	0	1	-1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0



รูปที่ 3.3 การออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคน สำหรับสามตัวแปร

จากรูปแสดงให้เห็นถึงการออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคน ที่มีตัวแปร 3 ตัวแปร รูปทางเรขาคณิตของการออกแบบ จะสังเกตเห็นว่า การออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคน เป็นการออกแบบรูปทรงกลม ที่ทุกจุดวางอยู่บนรูปทรงกลมรัศมี $\sqrt{2}$ นอกจากนี้ การออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคน ไม่ได้รวมเอาจุดใดๆ ที่เป็นจุดยอดของรูปลูกบาศก์ที่สร้างขึ้นจากขีดจัดบนและล่างของแต่ละตัวแปรเอาไว้ การกระทำเช่นนี้เป็นประโยชน์อย่างมากเมื่อจุดที่อยู่บนมุมของลูกบาศก์ คือ การรวมของปัจจัยระดับ (Factor Level Combination) ที่แพงมากหรือเป็นไปได้ที่จะทำการทดลอง เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านกายภาพของกระบวนการ

3.2.5 ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต (Control Phase)

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

Control) ตามความหมายของมาตรฐาน MIL-STD-109 กล่าวว่า การควบคุมคุณภาพ คือ การบริหารงานในด้านการควบคุมวัตถุดิบและควบคุมการผลิต เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จออกมามีข้อบกพร่องและเสียหายได้

เนื่องจากระบบการผลิตได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ วัตถุดิบ กระบวนการผลิต และผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป การควบคุมคุณภาพในระบบการผลิตจึงจำแนกออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. การควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ
2. การควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิต
3. การควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

วัตถุประสงค์ในการควบคุมคุณภาพ คือ การผลิตสินค้าที่มีคุณภาพหรือมีคุณสมบัติตรงตามที่ลูกค้าต้องการอย่างสม่ำเสมอ โดยอยู่ภายใต้ต้นทุนและเวลาที่เหมาะสมตามแนวทางการบริหารงานสมัยใหม่ที่สร้างความพึงพอใจให้แก่ลูกค้า นั่นก็คือการมอบคุณภาพของสินค้า ดังนั้นไม่ว่าธุรกิจหรืออุตสาหกรรมใดจึงให้ความสำคัญต่อกิจกรรมการจัดการระบบควบคุมคุณภาพ

การควบคุมคุณภาพเพื่อการยอมรับ

การควบคุมคุณภาพเพื่อการยอมรับจำแนกได้ 4 ประเภท (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2543) ดังนี้

1. การตรวจสอบแบบ 100% คือ การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ละหน่วย ทุกๆหน่วย
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) และอาศัยคุณลักษณะของสิ่งตัวอย่างที่ตรวจสอบได้ในการอธิบายคุณลักษณะของชิ้นงานทั้งหมดที่ต้องการตัดสินใจ

การตรวจสอบคุณภาพ (Inspection)

Juran และ Gryna กล่าวสรุปไว้ว่า การตรวจสอบเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นจะต้องมีในระบบควบคุมคุณภาพ โดยทั่วไปการตรวจสอบมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการตัดสินใจยอมรับ วัสดุ ชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในวัตถุประสงค์อื่นๆ ได้แก่ เพื่อวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบ การวัดผลกระบวนการผลิตหรือการตัดสินใจคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์

การตรวจสอบเป็นกระบวนการ เพื่อค้นหาปัญหาหรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น ซึ่งถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการแก้ไขปัญหาและหาแนวทางในการป้องกันปัญหาเหล่านั้น การตรวจสอบมาจากการเฝ้าดู วัด และทำการทดสอบต่างๆ ทั้งนี้เพื่อควบคุมให้ได้ผลิตภัณฑ์ตรงตามมาตรฐานและคุณภาพที่ตั้งไว้ เป้าหมายของการตรวจสอบคือ พยายามรักษาระดับคุณภาพให้อยู่ในระดับมาตรฐานที่กำหนดไว้ และหากไม่สามารถจะทำการตรวจสอบได้ครบถ้วนสมบูรณ์ ก็พยายามควบคุมคุณภาพให้ความผันแปรอยู่ในขอบเขตอันหนึ่งที่พอจะยอมรับได้ โดยทั่วไปจะสามารถพิจารณาจุดตรวจสอบต่างๆ ได้ดังนี้

1. การตรวจรับวัตถุดิบจากผู้ผลิตหรือผู้ขาย (Vendor Inspection)
 2. การเริ่มต้นการปฏิบัติการ หรือระหว่างการจัดเครื่อง (Setup Inspection)
 3. การเคลื่อนย้ายสินค้าจากหน่วยงานหนึ่งไปอีกหน่วยงานหนึ่ง (Inspection in Process)
 4. กระบวนการที่ต้องคำนึงถึงเรื่องคุณภาพมาก หรือกระบวนการที่มีค่าใช้จ่ายสูง
 5. เมื่อดำเนินการผลิตเรียบร้อยแล้วทุกขั้นตอนการผลิต (Finish goods Inspection)
- ลักษณะการตรวจสอบ

ลักษณะของการตรวจสอบสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ ดังนี้

1. การตรวจสอบแบบตามตัวแปรเป็นการตรวจสอบเพื่อควบคุมลักษณะที่สามารถวัดได้ของชิ้นส่วนซึ่งแปรผันอยู่ในขอบเขตอันหนึ่ง เช่น การวัดขนาด ความแข็งแรง ความเร็ว เป็นต้น
2. การตรวจสอบแบบดี-เสียเป็นการตรวจสอบเพื่อควบคุมลักษณะของชิ้นส่วนที่ไม่สามารถวัดได้ในเชิง ปริมาณ เช่น การตรวจสอบการใช้งานของหลอดไฟว่าติด หรือดับ เป็นต้น
3. การตรวจสอบแบบตามจำนวนตำหนิเป็นการตรวจสอบเพื่อการควบคุมตำหนิบนชิ้นส่วนให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด เช่น จำนวนตำหนิบนตัวถังรถยนต์ ตำหนิบนเนื้อผ้า จำนวนฟองอากาศในแก้ว เป็นต้น

ขั้นตอนการดำเนินการควบคุม มี 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. กำหนดมาตรฐานคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำการควบคุม
2. การเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ กับมาตรฐานคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดไว้ว่า ได้ผลตามมาตรฐานคุณภาพที่ต้องการหรือไม่
3. การเก็บข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาและสาเหตุต่างๆที่เกิดขึ้น จากฝ่ายต่างๆเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์และทำการแก้ไขปรับปรุงการผลิตต่อไป
4. การวางแผนการปรับปรุง เป็นขั้นตอนในการพัฒนาปรับปรุงมาตรฐานต่างๆ ทั้ง ส่วนของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต เป็นต้น เพื่อเพิ่มระดับคุณภาพให้สูงขึ้นกว่าเดิม

QC Tools (แบบเก่า)

เครื่องมือทางการควบคุมคุณภาพ (QC) ใช้เป็นกลวิธีในการวิเคราะห์และแก้ปัญหา ภายใต้หลักการ 2 ประการ คือ ทำง่าย และสามารถประยุกต์ใช้ได้หลายแบบเพราะฉะนั้นจึงได้รวบรวมมาเป็นเครื่องมือ 7 อย่างและสามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่มประยุกต์ คือ

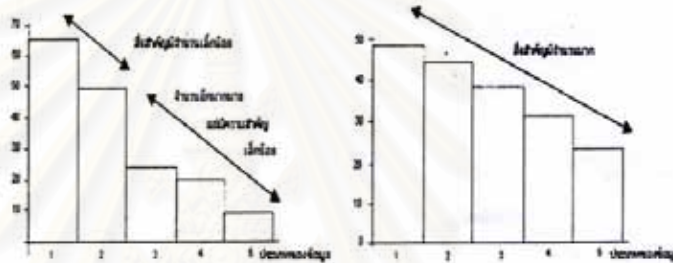
1. เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ความเสถียรของข้อมูล เพื่อเป็นการศึกษาหรือยกตัวอย่างเพื่อดูว่าประชากรหรือตัวอย่างที่กำลังศึกษาได้รับการทำให้เป็นมาตรฐานหรือไม่
2. เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ความผันแปร เพื่อเป็นการวิเคราะห์ความผันแปรของข้อมูล และแยกสาเหตุที่เป็นปกติและไม่ปกติออกจากกัน
3. เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์เหตุและผล เป็นลักษณะเชิงพรรณนา เช่น การกำหนดสมมติฐานของสาเหตุ การพิสูจน์เหตุและผล

ใบตรวจสอบ (Check Sheet) คือ เอกสารที่อยู่ในรูปของตาราง แบบฟอร์มหรือแผนภาพ ใดๆที่ออกแบบได้ง่ายต่อการจดบันทึกข้อมูล การจำแนกข้อมูลและการวิเคราะห์ผล หรืออาจจะมีลักษณะเป็นตารางแสดงรายละเอียดต่างๆที่ต้องการตรวจสอบไว้พร้อมแล้วสามารถนำไปใช้งาน โดยไม่ต้องกรอกรายละเอียดใหม่ เพียงแต่กาเครื่องหมายลงในช่องที่ตรงกับรายละเอียดที่จัดไว้เท่านั้นเราสามารถแบ่งชนิดของใบตรวจสอบได้เป็น 3 ลักษณะดังนี้

1. ใบตรวจสอบแสดงลักษณะการกระจายของข้อมูลจากกระบวนการผลิต
2. ใบตรวจสอบแสดงจำนวนข้อบกพร่องหรือรอยตำหนิ
3. ใบตรวจสอบตำแหน่งข้อบกพร่องหรือรอยตำหนิ

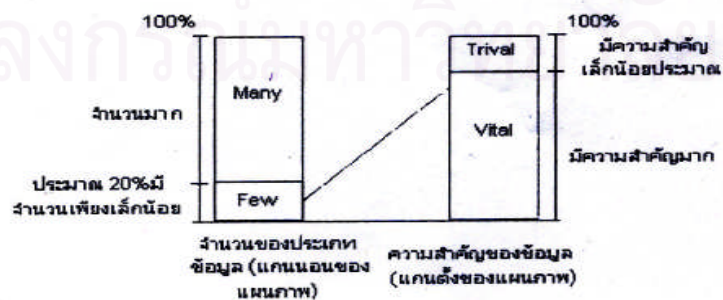
แผนภูมิพาร์โต (Pareto Diagram) คือ กราฟแท่งที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นหรืออาการบกพร่องกับจำนวนที่เกิดขึ้น โดยพิจารณาสาเหตุที่สำคัญสูงสุดไปย้งน้อยสุด

โจเซฟ จูราน พบว่า ถ้าข้อมูลอยู่ในสถานะเสถียรแล้วข้อมูลที่มีความสำคัญมากจะมีจำนวนเพียงเล็กน้อย (Vital Few) ในขณะที่ข้อมูลที่เหลืออีกจำนวนมากมายจะมีความสำคัญเพียงเล็กน้อย (Trivial Many) และเขาเรียกหลักการที่ศึกษาพบนี้ว่า หลักการพาร์โต (Pareto Principles) โดยแยกความผันแปรในข้อมูลเพื่อวิเคราะห์หาค่าความมีเสถียรสำหรับการเลือกประเภทของข้อมูลนี้ ดร. จูรานเรียกชื่อว่า แผนภาพพาร์โต (Pareto Diagram)



รูปที่ 3.4 แผนภาพพาร์โตแสดงถึงความเป็นปกติหรือมีเสถียรภาพของข้อมูล

ดร. โจเซฟ จูราน พบว่า ตัวแบบของความมีเสถียรภาพของข้อมูลนั้น จะมีลักษณะที่ข้อมูลที่มีความสำคัญมาก (โดยประมาณ 80% ที่ได้จากทั้งหมด) จะมาจากประเภทของข้อมูลจำนวนเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 20% ของประเภทข้อมูลทั้งหมด) จะมีความสำคัญเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 20% ของตัววัดความสำคัญทั้งหมด) บางตำราจะเรียกกฎสำหรับหลักการพาร์โตนี้ว่า “กฎ 80-20” ซึ่งเป็นเพียงแค่ต้องการให้เข้าใจได้ง่าย โดยให้รวมกันได้เท่ากับ 100 โดยแท้จริงแล้วอาจแสดงเป็น 80-25 หรือ 75-30 ก็ได้ซึ่งสามารถอธิบายตัวอย่างง่ายๆ โดยกราฟ



รูปที่ 3.5 แสดงแผนภาพพาร์โตที่เป็นไปตามหลักการพาร์โต

เพื่อวิเคราะห์ความหมายตามหลักการของพาเรโตด้วยแผนภาพพาเรโตนั้น จะมีความง่าย ขึ้นถ้าหากมีการใช้เส้นกราฟแสดงค่าสะสมของข้อมูลทุกประเภทแล้วประยุกต์ใช้กฎ 80-20 โดย แผนภูมิพาเรโตที่จะใช้วิเคราะห์แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. แผนภูมิพาเรโตจากปรากฏการณ์ (หรือผลของปัญหา) เขียนขึ้นจากการตรวจสอบหา ประเภทต่างๆของปรากฏการณ์ ความบกพร่องต่างๆที่เป็นสิ่งที่ไม่ปรารถนาในการผลิต
2. แผนภูมิพาเรโตจากสาเหตุของปัญหา ผังชนิดนี้จะพบมากในการผลิต ใช้บอกที่มา หรือจุดที่เป็นต้นตอของความบกพร่องใดๆที่เกิดขึ้นและตรวจพบ

แผนภูมิควบคุม (Control Chart) คือ เครื่องมือที่ใช้เพื่อตรวจจับหาข้อบกพร่องที่เป็น แบบเรื้อรังและแบบเฉียบพลัน เป็นการตรวจจับจุดค่าที่ผิดปกติขึ้นทันทีทันใด ณ เวลาใดๆ ที่ผิดไปจาก ค่าขอบเขตควบคุม และเป็นการจับแนวโน้ม (Trend) หรือ วัฏจักรการเกิดความผิดปกติต่างๆจึงทำให้สามารถติดตามผลที่ เกิดขึ้นในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งของกระบวนการได้ตลอดเวลาและ สามารถวิเคราะห์สาเหตุเพื่อแก้ไขได้ทันที

แผนภูมิควบคุมเป็นแผนภูมิที่มีโครงสร้างประกอบด้วยเส้นควบคุม 3 เส้น ได้แก่ เส้นค่า กลาง (Center Line : CL) คือเส้นที่แสดงจำนวนหรือขนาดของข้อกำหนดหรือเป้าหมายการผลิต และเส้นควบคุมอีก 2 เส้น ได้แก่ ขีดจำกัดควบคุมบน (Upper Control Limit : UCL) และขีดจำกัด ควบคุมล่าง (Lower Control Limit : LCL) คือเส้นขอบเขตของการควบคุมค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดที่ ยอมรับให้เกิดขึ้น ถ้าผลผลิตที่ได้มีค่าที่กำหนดอยู่ภายในขอบเขตการควบคุมระหว่าง 2 เส้นนี้ แสดงว่า เป็นค่าที่ยอมรับได้ 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 เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมตรวจสอบและบอกถึงการเปลี่ยนแปลง ของค่าเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ว่าอยู่ในสภาพปกติหรือไม่
2. แผนภูมิ R chart เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมตรวจสอบและบอกถึงการเปลี่ยนแปลง ค่าพิสัย (Range) ของผลิตภัณฑ์ว่าอยู่ในสภาพปกติหรือไม่
3. แผนภูมิ X chart เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมคุณสมบัติที่วัดได้จากผลิตภัณฑ์
4. แผนภูมิ MR chart เป็นแผนภูมิที่ใช้เพื่อควบคุมค่าการกระจายของคุณสมบัติที่วัด ด้วยค่าพิสัย

แผนภูมิควบคุมเชิงคุณลักษณะ หรือเป็นข้อมูลที่ได้จากการตรวจนับ เรียกว่า Attribute Chart โดยแบ่งออกได้เป็น 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)

สิ่งที่สำคัญที่สุดของการควบคุมคุณภาพโดยใช้แผนภูมิ คือ การอ่านหรือตีความหมายจากภาพที่ปรากฏบนแผนภูมิ เพื่อโยงเหตุผลไปที่สภาวะของกระบวนการผลิต ซึ่งได้ผลิตข้อมูลที่เราได้นำมาเขียนเป็นแผนภูมิควบคุมเพราะอาการผิดปกติต่างๆในกระบวนการผลิตที่จะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะแสดงออกให้เป็นรูปธรรมที่แผนภูมิควบคุมนี้เอง และเมื่อเราตรวจพบความผิดปกติของกระบวนการผลิตโดยอ่านจากแผนภูมิควบคุมนี้แล้ว เราได้ไปทำการแก้ไขที่สาเหตุของความผันแปรใด ๆ ในกระบวนการผลิตนั้น เพื่อปรับสภาวะการผลิตให้กลับสู่สภาวะที่อยู่ในควบคุม (In Controlled) ได้ต่อไป เมื่อการอ่านแผนภูมิควบคุมอยู่นอกการควบคุมจะพบได้อย่างชัดเจน คือ มีจุดในแผนภูมิปรากฏอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุม เรียกว่า จุดอยู่นอกควบคุม (Out of Control) อาจอยู่นอกค่าสูงหรือค่าต่ำก็ได้ ถ้าข้อมูลอยู่ภายใต้ความผันแปรตามธรรมชาติ ข้อมูลจะมีพฤติกรรมแบบสุ่มรอบๆเส้นกลางและมีขนาดของความผันแปรอยู่ภายใต้พิกัดด้านบนและพิกัดด้านล่าง

กราฟต่างๆ (Graphs) คือ เครื่องมือสำหรับใช้แสดงข้อมูลที่เป็นตัวเลขออกมาให้เห็นเป็นภาพเพื่อสะดวกในการวิเคราะห์ข้อมูลที่เป็นตัวเลขทุกประเภทโดยนำเสนอในรูปแบบ กราฟได้ กราฟที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย เช่น กราฟเส้น กราฟแท่ง เป็นต้น

ฮิสโตแกรม (Histogram) เป็นแผนภูมิที่แสดงความถี่ของสิ่งที่เกิดขึ้นโดยแสดงเป็นกราฟแท่งสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างเท่ากันและมีด้านข้างติดกัน ประโยชน์ของฮิสโตแกรม มีดังนี้

1. เพื่อศึกษาว่าข้อมูลชุดหนึ่งมีการกระจายตัวมากน้อยเพียงไร อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้มากน้อยเพียงไร
2. ใช้ในการคำนวณค่าทางสถิติของข้อมูลชุดนั้น อาทิ ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
3. จากค่าของขอบเขตที่ยอมรับได้ และค่าทางสถิติที่ยอมรับได้ทำให้สามารถระบุค่าดัชนีวัดค่าความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Index: Cp) ได้ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการเทียบเคียง (Benchmarking) และการปรับปรุงกระบวนการอย่างไร
4. ใช้ตรวจสอบประสิทธิผลของการปรับปรุง

ผังก้างปลาหรือผังเหตุและผล (Fishbone Diagram) ผังก้างปลาเป็นแผนภูมิที่ใช้ต่อจากแผนภูมิพาเรโต กล่าวคือ หลังจากตัดสินใจที่จะเลือกแก้ไขปัญหามาจากการทำแผนภูมิพาเรโตแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการระดมความคิดเพื่อแก้ปัญหาที่เลือกมา โดยแสดงผลของสาเหตุของปัญหาไว้ที่ปลายของแผนภูมิและระหว่างที่จะถึงปลาย ของแผนภูมิจะแสดงสาเหตุต่างๆของปัญหาที่เกิดขึ้น โดยมีหลักการเขียนคือ กำหนดปัญหาที่ต้องแก้ไขและเขียนต้นเหตุของปัญหาที่เป็นสาเหตุของ ปัญหาเล็กๆแตกแยกแขนงออกจากเส้นตามแนวแกนนอน โดยเริ่มจากต้นเหตุใหญ่ของปัญหา ซึ่งโดยทั่วไปจะประกอบด้วย คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัสดุ (Material) วิธีการทำงาน (Method) และสภาพแวดล้อม (Environment)

แผนผังการกระจาย คือ ผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของ 2 ตัวแปร ที่นำเสนอในรูปกราฟ 2 แกน (แกนนอน และ แกนตั้ง) ทั้งนี้เมื่อทำการลงจุดของค่าวัดในกราฟที่เป็นตัวแทนของความสัมพันธ์กันแล้ว สามารถทำให้บอกได้ว่าตัวแปรที่กำลังศึกษาทั้งสองสิ่งนั้นมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ หากมีความสัมพันธ์กันจะเป็นความสัมพันธ์รูปแบบใด

บทที่ 4

การนิยามปัญหา

4.1 บทนำ

ขั้นตอนการการนิยามปัญหา (Define Phase) ที่จะกล่าวถึงในบทนี้ เป็นขั้นตอนแรกที่จะนำไปสู่การกำหนดจุดเริ่มต้นและทิศทางของงานวิจัยฉบับนี้ตามวิธีการของซิกซ์ ซิกมา โดยนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉีดพลาสติก (Injection Molding Process) ที่จะทำการศึกษานี้ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.2 การกำหนดทีมงานดำเนินงาน

ผู้วิจัยคัดเลือกทีมงานวิจัยจากผู้ที่มีประสบการณ์ และมีความรู้ความชำนาญในกระบวนการฉีดพลาสติก (Injection Process) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ได้เลือกทำการปรับปรุง เพื่อช่วยในการสนับสนุนการทดลองและระดมความคิดด้วยเครื่องมือและเทคนิคต่างๆที่จะใช้ในการวิจัย เพื่อให้บรรลุเป้าหมายโดยทีมงานวิจัยประกอบด้วยบุคคลที่มาจากส่วนงานต่างๆ ดังต่อไปนี้

ทีมงานในการดำเนินงานวิจัย

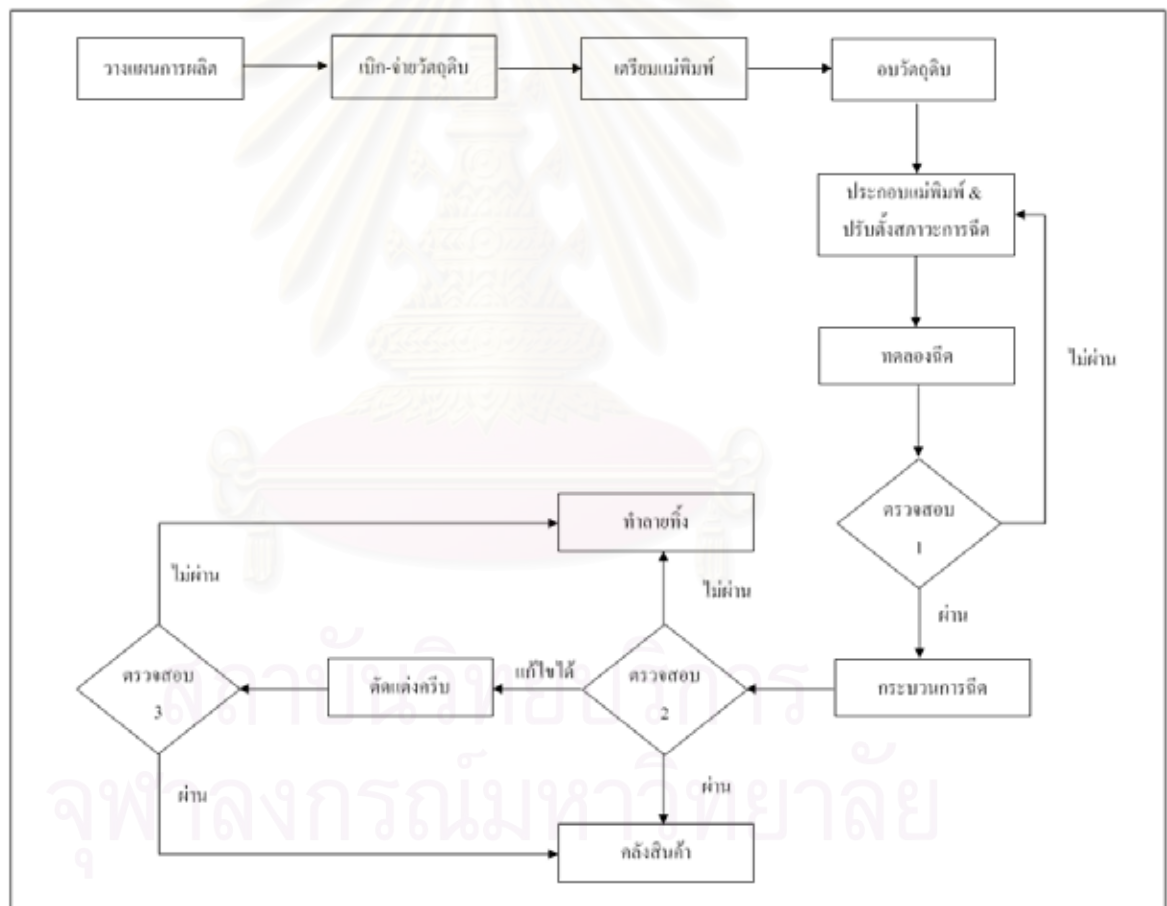
- ผู้จัดการฝ่ายผลิต (Production Manager)
- ผู้จัดการฝ่ายซ่อมบำรุง (Maintenance Manager)
- ผู้จัดการฝ่ายควบคุมการผลิต (Process Engineer Manager)
- หัวหน้างานฝ่ายผลิต (Production Supervisor)
- วิศวกรควบคุมการผลิต 1 (Process Engineer 1)
- วิศวกรควบคุมการผลิต 2 (Process Engineer 2)
- วิศวกรควบคุมการผลิต 3 (Process Engineer 3)
- วิศวกรฝ่ายประกันคุณภาพ (QA Engineer)

นอกจากทีมงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น ยังมีพนักงานระดับปฏิบัติการสำหรับการทดลองในงานวิจัยฉบับนี้ ได้แก่ พนักงานเตรียมวัตถุดิบ (Material Control) พนักงานควบคุมเครื่องฉีด

(Machine Control) ช่างเทคนิค (Machine Technician) และพนักงานตรวจสอบ (Inspector) ที่ต้องเป็นพนักงานที่มึนเดียวกันตลอดการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้ด้วย

4.3 การศึกษากระบวนการผลิต

งานวิจัยฉบับนี้เลือกศึกษากระบวนการฉีดพลาสติก (Injection Molding Process) ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกที่เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์คอนเนคเตอร์ โดยกระบวนการฉีดพลาสติกที่ศึกษานี้มีเส้นทางการไหล (Flow Chart) ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนภาพกระบวนการฉีดพลาสติก (Injection Molding Process)

แผนภาพกระบวนการฉีดพลาสติก (Injection Molding Process) ที่แสดงในรูปที่ 4.1 มีรายละเอียดของแต่ละกระบวนการ ดังนี้

1. กระบวนการวางแผนการผลิต

ฝ่ายวางแผนการผลิตแจ้งแผนการผลิตผ่านโปรแกรม MRP ทุกสัปดาห์ จากนั้นหัวหน้างานฝ่ายผลิตตรวจสอบแผนผลิตและนำแผนการผลิตติดที่บอร์ด โดยจะต้องระบุผลิตภัณฑ์ เครื่องฉีด กำลังการผลิต และระยะเวลาการผลิต เพื่อแจ้งให้ผู้ที่เกี่ยวข้องทราบ

2. กระบวนการเบิก - จ่ายวัตถุดิบ (เม็ดพลาสติก)

พนักงานเตรียมวัตถุดิบ (Material Control) ต้องเบิกวัตถุดิบ (เม็ดพลาสติก) ตามแผนการผลิตที่ระบุในบอร์ดจากฝ่ายคลังสินค้ามาเตรียมไว้เพื่อผลิตในพื้นที่ของแต่ละเครื่องฉีด

3. กระบวนการเตรียมแม่พิมพ์

ช่างเทคนิค (Machine Technician) เบิกแม่พิมพ์จากฝ่ายแม่พิมพ์ตามแผนการผลิตที่ระบุในบอร์ดมาเตรียมไว้ที่พื้นที่ประกอบแม่พิมพ์ของแต่ละ SPU

4. กระบวนการอบวัตถุดิบ

พนักงานเตรียมวัตถุดิบ (Material Control) นำวัตถุดิบ (เม็ดพลาสติก) ที่เบิกเตรียมไว้ใส่ตู้อบเพื่ออบไล่ความชื้น โดยจะปรับพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องตามที่กำหนดไว้ในคู่มือมาตรฐานการปรับพารามิเตอร์ (Molding Standard Condition; MOC-xx-xx) ของแต่ละผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในแผนการผลิต

5. กระบวนการประกอบแม่พิมพ์ และ ปรับสภาวะเครื่องฉีด

ช่างเทคนิค (Machine Technician) ประกอบแม่พิมพ์และติดตั้งแม่พิมพ์เข้าในเครื่องฉีด จากนั้นปรับสภาวะการฉีด (Condition) ตามที่กำหนด และทดลองการฉีด โดยขั้นตอนนี้จะมีการตรวจสอบจากหัวหน้างานฝ่ายผลิต

6. กระบวนการตรวจสอบ 1

ช่างเทคนิค (Machine Technician) นำชิ้นงานจำนวน 30 Shot ส่งให้พนักงานตรวจสอบเพื่อวัดขนาด และตรวจสอบข้อบกพร่องต่างๆ เช่น ครีป (Flash) ฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) เป็นต้น เพื่อเก็บข้อมูลในการเริ่มกระบวนการฉีดของแต่ละล็อต (First Shot)

7. กระบวนการฉีดพลาสติก

เมื่อผลการตรวจสอบจากขั้นตอนการตรวจสอบ 1 ผ่าน และบันทึกข้อมูลเรียบร้อยแล้ว เริ่มต้นกระบวนการฉีด ระหว่างกระบวนการฉีดจะมีพนักงานควบคุมเครื่องฉีด (Machine Control) คอยตรวจสอบการทำงานของเครื่องฉีด และบันทึกข้อมูลต่างๆตลอดเวลา

8. กระบวนการตรวจสอบ 2

เป็นการตรวจสอบด้วยสายตา 100% โดยพนักงานตรวจสอบจะตรวจสอบชิ้นงานด้วยสายตาผ่านกล้อง Microscope ที่มีกำลังขยาย 20X และตัดสินใจโดยการเปรียบเทียบข้อบกพร่องต่างๆกับ Limit Sample ของแต่ละข้อบกพร่อง หากตรวจสอบพบข้อบกพร่องที่ไม่สามารถแก้ไขได้ เช่น นิดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ไหม้ (Burn) พอง (Swell) เป็นต้น จะต้องแยกออกเพื่อทำลายทิ้ง (Scrap) แต่ถ้าตรวจสอบพบข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) จะส่งแก้ไขด้วยกระบวนการตัดแต่งครีป (Finishing Process)

9. กระบวนการตัดแต่งครีป

ชิ้นงานที่เป็นครีป (Flash) ต้องแก้ไขด้วยกระบวนการตัดแต่งครีป (Finishing Process) ออกเสียก่อนจึงสามารถนำไปใช้งานได้

10. กระบวนการตรวจสอบ 3

ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการตัดแต่งครีป (Finishing Process) แล้ว จะต้องนำมาสุ่มตรวจสอบอีกครั้ง โดยจะตรวจสอบข้อบกพร่องจากการตัดแต่งเสีย (Finishing NG)

4.4 สภาพปัญหาในปัจจุบัน

ชิ้นส่วนพลาสติก (Block) เป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์คอนเนคเตอร์ หากชิ้นส่วนพลาสติกเกิดข้อบกพร่องที่ทำให้ไม่สามารถประกบติดกับชิ้นส่วนโลหะ (Contact) ได้ เช่น ครีป (Flash) ที่ทำให้ชิ้นส่วนโลหะ (Contact) เกยหรือติดตัวขึ้นมาจากชิ้นส่วนพลาสติก หรือนิดได้ไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ที่ทำให้ชิ้นส่วนโลหะ (Contact) ไม่สามารถยึดเกาะติดกับชิ้นส่วนพลาสติกได้ สาเหตุเหล่านี้จะทำให้คอนเนคเตอร์ไม่สามารถเชื่อมต่อกระแสไฟฟ้าได้และมีผลกับการใช้งานของลูกค้า

4.4.1 การคัดเลือกพื้นที่สำหรับศึกษาวิจัย

ภายในพื้นที่การผลิตชิ้นส่วนพลาสติกของผลิตภัณฑ์คอนเนคเตอร์ (Molding Department) จะแบ่งพื้นที่การผลิตออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ SPU1 SPU2 และ SPU3 ซึ่งแต่ละส่วนดำเนินการฉีดชิ้นงานพลาสติกเช่นกัน จากข้อมูลของเสียที่ตรวจพบระหว่างเดือนธันวาคม ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2551 ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ได้ทำการคำนวณสัดส่วนของเสียจากปริมาณของเสียต่อชิ้นงานที่ฉีดทั้งหมดในแต่ละส่วนการผลิตของแต่ละเดือน เพื่อหาปริมาณของเสียในหน่วย PPM จากนั้นจัดลำดับความสำคัญของกระบวนการ โดยใช้แผนภูมิพารโตเพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่ใดมีปริมาณของเสียเป็นจำนวนมากที่สุด ดังรูปที่ 4.2

$$\text{จำนวนของเสียต่อหน่วยการผลิต (เงินต่อหน่วยการผลิต: PU)} = \frac{\text{จำนวนของเสียที่เกิดขึ้น}}{\text{จำนวนที่ผลิตทั้งหมด}}$$

$$\text{จำนวนของเสียต่อหน่วยการผลิตล้านหน่วย (PPM)} = \text{จำนวนของเสียต่อหน่วยการผลิต} \times 10^6$$

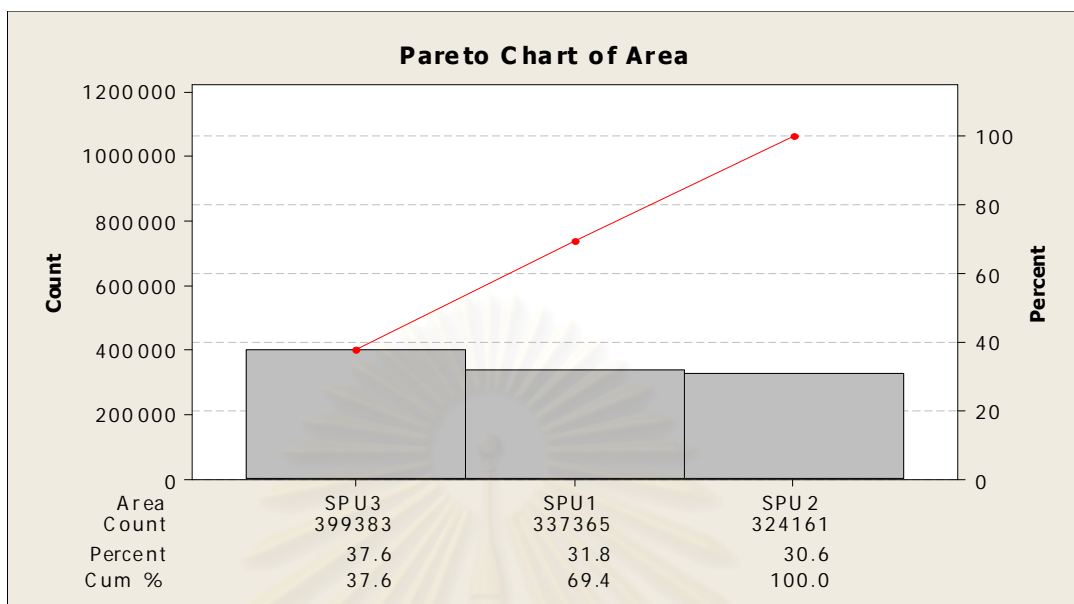
ตัวอย่างการคำนวณ

ในพื้นที่การผลิต SPU3 ของเดือน กุมภาพันธ์ 2551 พบว่า

จำนวนชิ้นงานที่ฉีดเท่ากับ	2,800,000	ชิ้น		
จำนวนของเสียเท่ากับ	1,260,548	ชิ้น		
ดังนั้น จำนวนของเสียต่อหน่วยการผลิต	=	0.4502	PU	
จำนวนของเสียต่อหน่วยการผลิตล้านหน่วย	=	450,196	PPM	

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลของเสียแต่ละส่วนผลิตของแผนกฉีดพลาสติก (Molding Department)

หัวข้อ	Area	Dec' 2007	Jan' 2008	Feb' 2008	Total
จำนวนผลิต	SPU1	2,650,000	2,530,000	2,700,000	7,880,000
	SPU2	2,600,000	2,400,000	2,700,000	7,700,000
	SPU3	2,700,000	2,600,000	2,800,000	8,100,000
ของเสีย	SPU1	888,772	863,522	906,146	2,658,440
	SPU2	798,513	851,514	846,013	2,496,040
	SPU3	988,118	986,334	1,260,548	3,235,000
PU	SPU1	0.3354	0.3413	0.3356	0.3374
	SPU2	0.3071	0.3548	0.3133	0.3242
	SPU3	0.3660	0.3794	0.4502	0.3994
PPM	SPU1	335,386	341,313	335,610	337,365
	SPU2	307,120	354,798	313,338	324,161
	SPU3	365,970	379,359	450,196	399,383



รูปที่ 4.2 แผนภาพพารโตแสดงปริมาณของเสียในพื้นที่ของฝ่ายฉีดพลาสติกในหน่วย PPM

จากการพิจารณาปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่การผลิตในช่วงเดือนธันวาคม ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2551 โดยแผนภาพพารโตในรูปที่ 4.2 พบว่า พื้นที่ที่พบปริมาณของเสียมากที่สุดคือ พื้นที่ในส่วนของ SPU3 ซึ่งมีปริมาณของเสีย 399,383 PPM คิดเป็น 37.6% ของปริมาณของเสียทั้งหมดในฝ่ายฉีดพลาสติก (Molding Department) ดังนั้นจึงเลือกศึกษาเพื่อลดจำนวนของเสียในพื้นที่ SPU3 เป็นอันดับแรก

4.4.2 การคัดเลือกผลิตภัณฑ์เพื่อศึกษาวิจัย

การคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่จะใช้ศึกษา จะพิจารณาเปรียบเทียบจากความต้องการของตลาด สัดส่วนปริมาณการผลิต และต้นทุนต่อหน่วย โดยแสดงข้อมูลในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลของผลิตภัณฑ์ต่างๆที่ผลิตในพื้นที่ SPU3

รุ่นผลิตภัณฑ์	ความต้องการของตลาด	สัดส่วนปริมาณการผลิต (%)	ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย (Baht)
HD6-PE22A-200	Maturity	55	1.20
HD6-SD22A-300	Maturity	25	1.18
HD6-SB18-300	Introduce	10	1.55
HD6-P18-200	Introduce	7	1.15
HD6-PD22A-200-T1	Decline	2.2	0.85
Other	-	0.8	-

จากข้อมูลในตารางที่ 4.2 พบว่าผลิตภัณฑ์รุ่น HD6-PE22A-200 อยู่ในช่วงที่ตลาดยังมีความต้องการรวมทั้งมีสัดส่วนปริมาณการผลิตสูงถึง 55% ของปริมาณการผลิตทั้งหมดใน SPU3 รวมถึงต้นทุนการผลิตที่สูงเป็นอันดับที่สองเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆ ดังนั้นจึงเลือกศึกษาเพื่อลดจำนวนของเสียกับผลิตภัณฑ์รุ่น HD6-PE22A-200 ซึ่งมีรายละเอียดทั่วไปดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 เป็นอันดับแรก โดยปริมาณการผลิตที่สูงถึง 55% ของปริมาณการผลิตทั้งหมดใน SPU3 มาจากจำนวนแม่พิมพ์ที่ใช้ฉีดผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ที่มีทั้งหมด 5 เฟรม โดยที่ทีมงานวิจัยพิจารณาเลือกให้ใช้แม่พิมพ์หมายเลข MOD-HD6-008 ซึ่งเป็นเฟรมที่ 1 ของแม่พิมพ์ HD6-PE22A-200 ทั้งหมดในการศึกษาวิจัย เนื่องจากเป็นข้อจำกัดของบริษัททฤษฎีศึกษาที่จะต้องใช้แม่พิมพ์ที่อยู่ในการควบคุมของวิศวกร (Test Run) เท่านั้นในการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตต่างๆ

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลทั่วไปของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200

หัวข้อ		รายละเอียด
Total Weight	1 Shot	1.453 gm.
	Per 1 Pcs.	0.727 gm.
Part Weight	1 Shot	0.572 gm.
	Per 1 Pcs.	0.286 gm.
Runner Weight	1 Shot	0.881 gm.
	Per 1 Pcs.	0.441 gm.



รูปที่ 4.3 ผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200

4.4.3 การคัดเลือกข้อบกพร่องเพื่อศึกษาวิจัย

ข้อบกพร่องสำหรับกระบวนการฉีดพลาสติกจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. ข้อบกพร่องที่สามารถแก้ไขได้ (Rework) เป็นข้อบกพร่องที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์แต่สามารถแก้ไขได้ ได้แก่ ข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) ที่ต้องแก้ไขโดยกระบวนการตัดแต่งครีบ (Finishing Process) ออกก่อนจึงจะนำไปใช้งานได้ โดยในระหว่างเดือนธันวาคม ถึง

กุมภาพันธ์ 2551 พบว่าผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ที่ฉีดจากเฟรมที่ 1 มีของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) ดังแสดงในตารางที่ 4.4

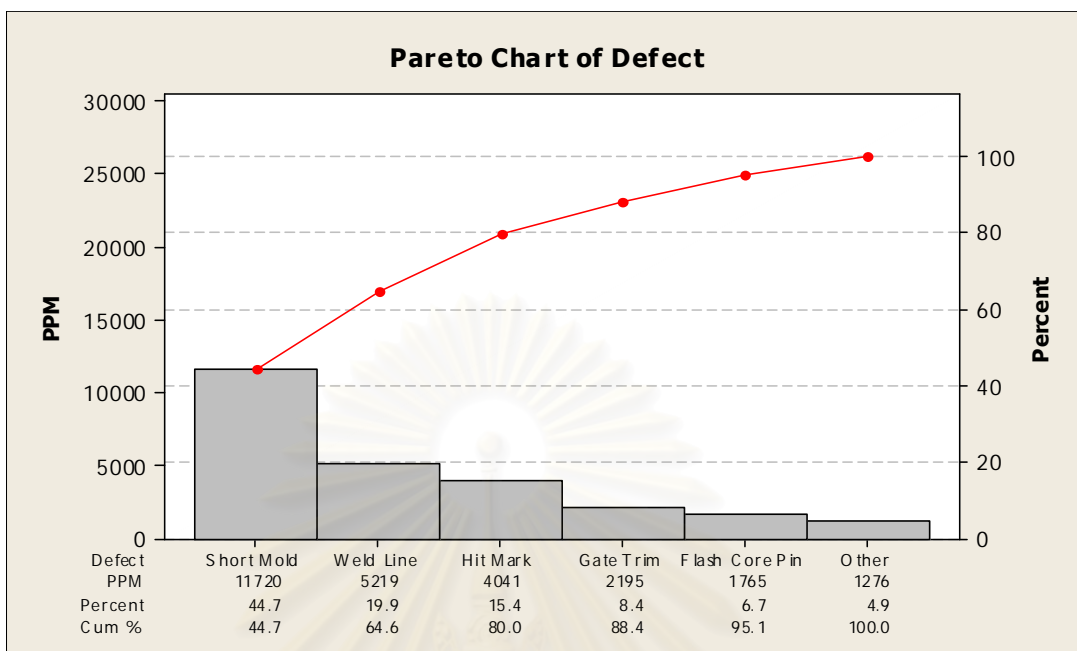
ตารางที่ 4.4 จำนวนของเสียจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ระหว่างเดือนธันวาคม 2550 – เดือนกุมภาพันธ์ 2551

หัวข้อ	Dec'07	Jan'08	Feb'08	Total
จำนวนผลิต	255,600	286,400	300,000	842,000
จำนวนครีป	143,955	162,492	169,619	476,066
PU	0.5632	0.5674	0.5654	0.5654
PPM	563,204	567,360	565,397	565,399

2. ข้อบกพร่องที่ไม่สามารถแก้ไขได้เป็นข้อบกพร่องที่ต้องทำลายทิ้ง (Scrap) เพราะไม่มีวิธีการแก้ไข ได้แก่ ข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold), กระทบ (Hit Mark), สกปรก (Contaminate) เป็นต้น ซึ่งข้อมูลข้อบกพร่องที่ต้องทำลายทิ้งของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ที่ฉีดจากเฟรมที่ 1 ระหว่างเดือนธันวาคม - กุมภาพันธ์ 2551 แสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.5 จำนวนของเสียจากข้อบกพร่องที่ต้องทำลายทิ้งของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ระหว่างเดือนธันวาคม 2550 – เดือนกุมภาพันธ์ 2551

Defect	Dec'07	Jan'08	Feb'08	Total	PPM
Short Mold	3,527	3,038	3,304	9,869	11,720
Weld Line	1,227	1,489	1,663	4,379	5,219
Hit Mark	997	1,146	1,247	3,390	4,041
Gate Trim	409	601	831	1,841	2,195
Flash Core Pin	435	601	445	1,481	1,765
Contaminate	102	602	178	882	1,051
Other	86	65	37	188	225



รูปที่ 4.4 แผนภูมิพาร์โต แสดงจำนวนข้อบกพร่องที่ต้องทำลายทิ้งของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ระหว่างเดือนธันวาคม – กุมภาพันธ์ 2551

จากข้อมูลในตารางที่ 4.4 - 4.5 พบว่า ข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ที่ฉีดจากเฟรมที่ 1 แม่พิมพ์หมายเลข MOD-HD6-008 โดยเครื่องฉีดหมายเลข IS-65 ในระหว่างเดือนธันวาคม - กุมภาพันธ์ 2551 มีข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นทั้งหมดแสดงผลลัพธ์ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ข้อบกพร่องทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ที่ฉีดจากแม่พิมพ์หมายเลข MOD-HD6-008 เครื่องฉีดที่ IS-65 ระหว่างเดือนธันวาคม 2550 – กุมภาพันธ์ 2551

หัวข้อ	Dec'07	Jan'08	Feb'08	Total	%	PPM
จำนวนผลิต	255,600	286,400	300,000	842,000	-	-
Flash	143,955	162,492	169,619	476,066	56.54	565,399
Short Mold	3,527	3,038	3,304	9,869	1.17	11,720
Weld Line	1,227	1,489	1,663	4,379	0.52	5,201
Hit Mark	997	1,146	1,247	3,390	0.40	4,026
Gate Trim	409	601	831	1,841	0.22	2,186
Flash Core Pin	435	601	445	1,481	0.18	1,759
Contaminate	102	602	178	882	0.10	1,048
Other	86	65	37	188	0.02	223
Total Defect	150,738	170,034	177,324	498,096	59.16	591,563

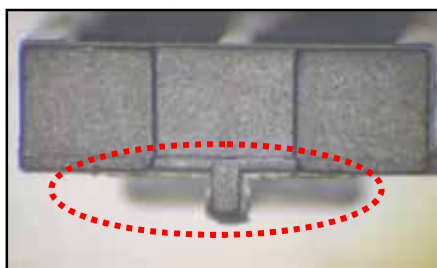
จากตารางที่ 4.6 พบว่า ผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ที่ฉีดจากแม่พิมพ์หมายเลข MOD-HD6-008 โดยเครื่องฉีดหมายเลข IS-65 ระหว่างเดือนธันวาคม - กุมภาพันธ์ 2551 มีสัดส่วนของเสียรวมทั้งหมด 591,563 PPM คิดเป็น 59.16 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิตทั้งหมด โดยเกิดจากสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) 565,399 PPM คิดเป็น 56.54 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิตทั้งหมด และเกิดจากสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องชนิดงานฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) 11,720 PPM คิดเป็น 1.17 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิตทั้งหมด โดยข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) จะแก้ไขโดยกระบวนการตัดแต่งครีปซึ่งมีค่าจ้าง 0.54 บาท/ชิ้น แต่ข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ไม่สามารถแก้ไขได้ต้องทำลายทิ้งทำให้มีต้นทุนของเสีย 1.20 บาท/ชิ้น ดังนั้นจึงทำให้ปัจจุบันมีต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) เนื่องจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) มีค่า 0.3194 บาท/ชิ้น

4.5 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อลดต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) จากต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ในปัจจุบัน 0.3194 บาท/ชิ้น ลง 50 เปอร์เซ็นต์

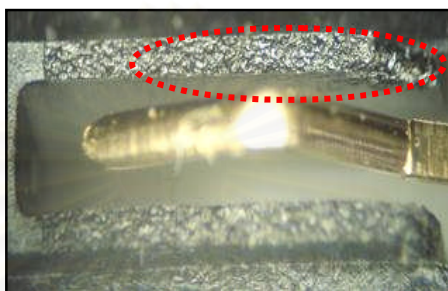
4.5.1 ลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดกับชิ้นงานพลาสติก (Block) สำหรับงานวิจัยฉบับนี้

ครีป (Flash) คือ ลักษณะของชิ้นส่วนพลาสติก (Block) ที่มีครีปซึ่งเป็นแผ่นพลาสติกเกิดขึ้นบริเวณขอบชิ้นงานมีผลทำให้ชิ้นส่วนโลหะ (Contact) คัดตัวหรือเกยขึ้นมาจากชิ้นส่วนพลาสติก (Block) ทำให้คอนเนคเตอร์ไม่สามารถนำไฟฟ้าได้และจะมีผลกับการใช้งานของลูกค้า แสดงลักษณะของข้อบกพร่องชนิดงานเป็นครีป (Flash) ในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ลักษณะข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash)

ฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) คือ ลักษณะของชิ้นงานพลาสติกที่ขาด แหว่งหายไปไม่เต็มรูปทรงมีผลทำให้ชิ้นส่วนโลหะ (Contact) ไม่สามารถยึดหรือประกอบเข้ากับชิ้นส่วนพลาสติก (Block) ได้ทำให้คอนเนคเตอร์ไม่สามารถนำไฟฟ้าได้และจะมีผลกับการใช้งานของลูกค้า แสดงลักษณะของข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ลักษณะข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)

4.6 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้มุ่งศึกษาเฉพาะข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ที่ฉีดโดยแม่พิมพ์เฟรมที่ 1 หมายเลข MOD-HD6-008 โดยเครื่องหมายเลข IS-65 ของพื้นที่ SPU3 เท่านั้น

4.7 สรุปผลขั้นตอนการนิยามปัญหา

ในขั้นตอนนิยามปัญหานี้หลังจากศึกษากระบวนการผลิตและสภาพปัญหาในปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษาแล้วจึงได้กำหนดปัญหา เป้าหมาย และขอบเขตที่จะทำการปรับปรุง คือ ปัจจุบันมีสัดส่วนของเสียเนื่องจากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) 565,399 PPM คิดเป็น 56.54 % ของปริมาณการผลิตทั้งหมด และสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) 11,720 PPM คิดเป็น 1.17 % ของปริมาณการผลิตทั้งหมด ทำให้มีต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) เนื่องจากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) 0.3194 บาท/ชิ้น ซึ่งเป้าหมายงานวิจัยฉบับนี้ คือ ลดต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ลง 50% จากต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ในปัจจุบัน โดยมีขอบเขตการวิจัยที่ผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ที่ฉีดในพื้นที่ SPU 3 จากแม่พิมพ์หมายเลข MOD-HD6-008 โดยเครื่องฉีดหมายเลข IS-65 เท่านั้น

บทที่ 5

การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

5.1 บทนำ

หลังจากได้ทำการนิยามปัญหาที่เกิดขึ้นแล้ว ในบทนี้จะเป็นการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา โดยอาศัยเครื่องมือทางคุณภาพและสถิติมาช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุที่เป็นไปได้ เริ่มจากการวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R&R) ในการตรวจสอบด้วยสายตา และทำการเก็บรวบรวมข้อมูล พิจารณาความสามารถของกระบวนการผลิตในปัจจุบันเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์หาสาเหตุ จากนั้นทำการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผล (Key Process Input Variable หรือ KPIV) โดยใช้เครื่องมือต่างๆเข้ามาช่วยการวิเคราะห์ เช่น ฟังก้างปลา (Cause & Effect Diagram) ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)

5.2 การวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis)

การวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัดมีความสำคัญมาก เนื่องจากการแก้ไขปัญหาด้านคุณภาพหรือการป้องกันปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพนั้น ต้องความมั่นใจในเรื่องของเสถียรภาพของระบบการวัด ด้วยการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดในกระบวนการผลิตว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่

ระบบการวัดหรือการตรวจสอบชิ้นงานพลาสติกของโรงงานกรณีศึกษามีลักษณะเป็นการประเมินผลแบบข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Data) คือทำการตรวจสอบและประเมินผลโดยทำการเปรียบเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะแล้วได้ผลของข้อมูลออกมาเป็น ขอมรับ/ปฏิเสธ หรือ ผ่าน/ไม่ผ่าน จึงทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis) ซึ่งทำการวิเคราะห์ทั้งความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด

- ความถูกต้อง (Accuracy) ตรวจสอบโดยเปรียบเทียบผลการตรวจสอบของพนักงานกับค่าอ้างอิง

- ความแม่นยำ (Precision) ตรวจสอบ โดยเปรียบเทียบผลการตรวจสอบซ้ำของพนักงานคนนั้นๆ

5.2.1 การวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) การวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis) โดยการตรวจสอบด้วยสายตาของโรงงานกรณีศึกษามีขั้นตอน ดังนี้

1. จัดทำมาตรฐานการตรวจสอบลักษณะภายนอกของผลิตภัณฑ์ (Limit Sample) สำหรับข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200
2. คัดเลือกพนักงานตรวจสอบที่มีความชำนาญการจำนวน 4 คน โดยจะต้องเป็นพนักงานที่มีหน้าที่ประจำในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200
3. ฝึกอบรมวิธีการตรวจสอบด้วยเกณฑ์การตัดสินใจสำหรับข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200
4. ขั้นตอนปฏิบัติงาน (Work Instruction: WI) ของโรงงานกรณีศึกษากำหนดให้คัดเลือกตัวอย่างชิ้นงานจากกระบวนการฉีด 20 ชิ้นงาน ซึ่งแบ่งคัดเลือกตัวอย่างชิ้นงานที่มีคุณภาพดี 50% คุณภาพไม่ดี 25% และคุณภาพกำกวม 25% ในแต่ละข้อบกพร่อง ซึ่งตัวอย่างชิ้นงานดังกล่าวจะต้องผ่านการตรวจสอบและได้ผลลัพธ์จากพนักงานตรวจสอบที่สามารถอ้างอิงได้ แล้ว
5. ประเมินพนักงานตรวจสอบ โดยให้ตรวจสอบตัวอย่างชิ้นงานแบบสุ่ม ซึ่งประเมินผลคุณภาพว่า "งานดี" หรือ "งานเสีย" และทำการบันทึกผลโดยที่พนักงานแต่ละคนต้องทำการตรวจสอบซ้ำ 2 ครั้ง
6. วิเคราะห์การตรวจสอบและประเมินผลพนักงานตรวจสอบ โดยต้องผ่านการประเมินตามเกณฑ์ดังข้อมูลในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 เกณฑ์การยอมรับของระบบการวัด

ดัชนี	เกณฑ์การยอมรับ
% ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงาน	90%
% ความไม่ไปอัสของพนักงาน	90%
% ประสิทธิภาพความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ	90%
% ประสิทธิภาพความไม่ไปอัสของการตรวจสอบ	90%

ผลการตรวจสอบการตรวจสอบของพนักงานทั้ง 4 คน กรณีตรวจสอบข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) แสดงดังตารางที่ 5.2 และ 5.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.2 ผลของการตรวจสอบกรณีข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash)

สิ่งตัวอย่าง	คุณภาพงาน แท้จริง	พนักงาน ตรวจสอบคนที่ 1		พนักงาน ตรวจสอบคนที่ 2		พนักงาน ตรวจสอบคนที่ 3		พนักงาน ตรวจสอบคนที่ 4		ตรวจสอบได้ เหมือนกันทุก ครั้งและทุกคน	ตรวจสอบได้ เหมือนกันอย่าง ถูกต้องทุกคน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
1	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
2	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
3	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
4	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
5	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
6	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
7	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
8	G	G	G	G	G	G	G	G	NG	N	N
9	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
10	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
11	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
12	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
13	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y

ตารางที่ 5.2 (ต่อ) ผลของการตรวจสอบกรณีข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash)

สิ่งตัวอย่าง	คุณภาพงาน แท้จริง	พนักงาน ตรวจสอบคนที่ 1		พนักงาน ตรวจสอบคนที่ 2		พนักงาน ตรวจสอบคนที่ 3		พนักงาน ตรวจสอบคนที่ 4		ตรวจสอบได้ เหมือนกันทุก ครั้งและทุกคน	ตรวจสอบได้ เหมือนกันอย่าง ถูกต้องทุกคน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
14	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
15	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
16	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
17	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
18	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
19	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
20	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y

จากตารางที่ 5.2 การตรวจสอบคุณภาพสามารถสรุปผลดัชนีความสามารถในการทำซ้ำ (% Appraiser Score) ของพนักงานตรวจสอบทั้ง 4 คนได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำซ้ำของพนักงานคนที่ 1} = \frac{20}{20} \times 100\% = 100\%$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำซ้ำของพนักงานคนที่ 2} = \frac{20}{20} \times 100\% = 100\%$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำซ้ำของพนักงานคนที่ 3} = \frac{20}{20} \times 100\% = 100\%$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำซ้ำของพนักงานคนที่ 4} = \frac{19}{20} \times 100\% = 95\%$$

จากตารางที่ 5.2 การตรวจสอบคุณภาพสามารถสรุปผลดัชนีความไม่ลำเอียง (% Attribute Score) ของพนักงานตรวจสอบทั้ง 4 คนได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานคนที่ 1} = \frac{20}{20} \times 100\% = 100\%$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานคนที่ 2} = \frac{20}{20} \times 100\% = 100\%$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานคนที่ 3} = \frac{20}{20} \times 100\% = 100\%$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานคนที่ 4} = \frac{19}{20} \times 100\% = 95\%$$

จากตารางที่ 5.2 การตรวจสอบคุณภาพสามารถสรุปผลดัชนีความสามารถในการทำซ้ำของการตรวจสอบและความลำเอียงของการตรวจสอบ ได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านความสามารถในการทำซ้ำของการตรวจสอบ} = \frac{19}{20} \times 100\% = 95\%$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ} = \frac{19}{20} \times 100\% = 95\%$$

การวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R) สรุปว่าพนักงานตรวจสอบทั้ง 4 คน มีความสามารถในการตรวจสอบข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ตารางที่ 5.3 ผลของการตรวจสอบกรณีข้อบกพร่องชนิดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)

สิ่ง ตัวอย่าง	คุณภาพงาน แท้จริง	พนักงาน ตรวจสอบคนที่ 1		พนักงาน ตรวจสอบคนที่ 2		พนักงาน ตรวจสอบคนที่ 3		พนักงาน ตรวจสอบคนที่ 4		ตรวจสอบได้ เหมือนกันทุก ครั้งและทุกคน	ตรวจสอบได้ เหมือนกันอย่าง ถูกต้องทุกคน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
1	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
2	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
3	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
4	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
5	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
6	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
7	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
8	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
9	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
10	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
11	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
12	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
13	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y

ตารางที่ 5.3 (ต่อ) ผลของการตรวจสอบกรณีข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)

สิ่ง ตัวอย่าง	คุณภาพงาน แท้จริง	พนักงาน ตรวจสอบคนที่ 1		พนักงาน ตรวจสอบคนที่ 2		พนักงาน ตรวจสอบคนที่ 3		พนักงาน ตรวจสอบคนที่ 4		ตรวจสอบได้ เหมือนกันทุก ครั้งและทุกคน	ตรวจสอบได้ เหมือนกันอย่าง ถูกต้องทุกคน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
14	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
15	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
16	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
17	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
18	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
19	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
20	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y

จากตารางที่ 5.3 การตรวจสอบคุณภาพสามารถสรุปผลดัชนีความสามารถในการทำซ้ำ (% Appraiser Score) ของพนักงานตรวจสอบทั้ง 4 คน ได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำซ้ำของพนักงานคนที่ 1} = \frac{20}{20} \times 100\% = 100\%$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำซ้ำของพนักงานคนที่ 2} = \frac{20}{20} \times 100\% = 100\%$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำซ้ำของพนักงานคนที่ 3} = \frac{20}{20} \times 100\% = 100\%$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำซ้ำของพนักงานคนที่ 4} = \frac{20}{20} \times 100\% = 100\%$$

จากตารางที่ 5.3 การตรวจสอบคุณภาพสามารถสรุปผลดัชนีความไม่ลำเอียง (% Attribute Score) ของพนักงานตรวจสอบทั้ง 4 คน ได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานคนที่ 1} = \frac{20}{20} \times 100\% = 100\%$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานคนที่ 2} = \frac{20}{20} \times 100\% = 100\%$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานคนที่ 3} = \frac{20}{20} \times 100\% = 100\%$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานคนที่ 4} = \frac{20}{20} \times 100\% = 100\%$$

จากตารางที่ 5.3 การตรวจสอบคุณภาพสามารถสรุปผลดัชนีความสามารถในการทำซ้ำของการตรวจสอบและความลำเอียงของการตรวจสอบ ได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านความสามารถในการทำซ้ำของการตรวจสอบ} = \frac{20}{20} \times 100\% = 100\%$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ} = \frac{20}{20} \times 100\% = 100\%$$

การวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R) สรุปว่าพนักงานตรวจสอบทั้ง 4 คน มีความสามารถในการตรวจสอบข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) และอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

สรุปพนักงานตรวจสอบทั้ง 4 คน มีความสามารถในการตรวจสอบข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) และอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้นทีมงานวิจัยจึงพิจารณาให้ปัจจัยที่เกิดจากการวัด (Measurement) ไม่มีอิทธิพลต่อการเกิดข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 และกำหนดให้ปัจจัยควบคุม โดยใช้พนักงานตรวจสอบคนเดิมตลอดการทดลองในงานวิจัยฉบับนี้

5.3 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

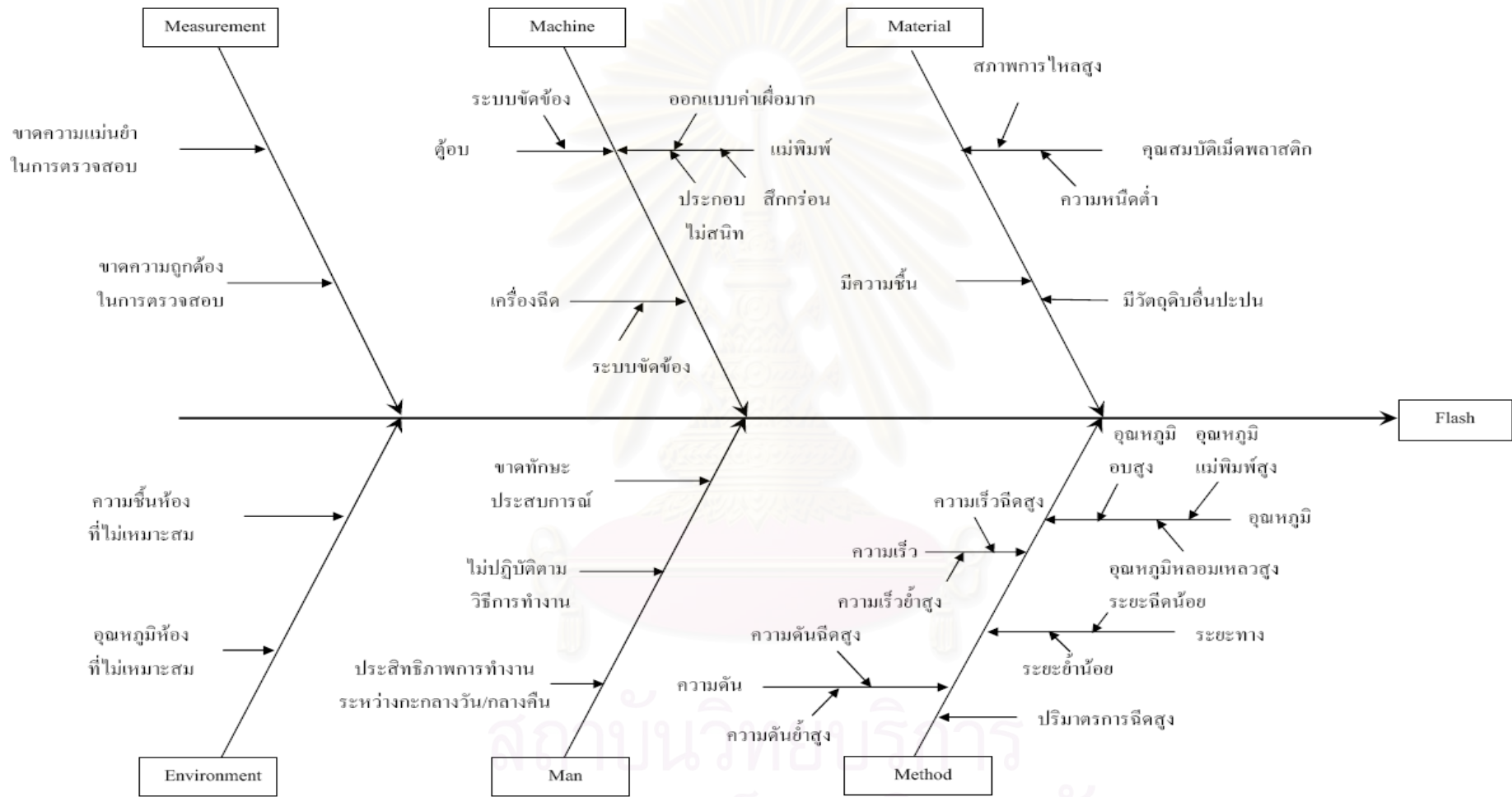
เนื่องจากการวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis) ของการตรวจสอบข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้นการศึกษาความสามารถของกระบวนการฉีดพลาสติกของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 สามารถศึกษาได้จากข้อมูลก่อนการวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis) จากจำนวนของเสียต่อล้านชิ้นของจำนวนการผลิต ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตด้วยข้อมูลระหว่างเดือน ธันวาคม - กุมภาพันธ์ 2551 จะทำการเก็บข้อมูลเป็นรายเดือนโดยทำการตรวจสอบชิ้นงานที่ฉีดออกมา 100% ดังนั้นขนาดตัวอย่างในแต่ละเดือนจะเป็นจำนวนการผลิตในเดือนนั้นๆนั่นเอง ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์ของเสียในแต่ละเดือนมีความแปรผันค่อนข้างสูง (Variation) ค่อนข้างสูง โดยมีสัดส่วนของเสียจากชิ้นงานเป็นครีบ 565,399 ตัวในหนึ่งล้านตัว (Part per Million หรือ PPM) คิดเป็น 56.54% และมีสัดส่วนชิ้นงานที่ฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) 11,720 ตัวในหนึ่งล้านตัว (Part per Million หรือ PPM) คิดเป็น 1.17%

5.4 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variable หรือKPIV)

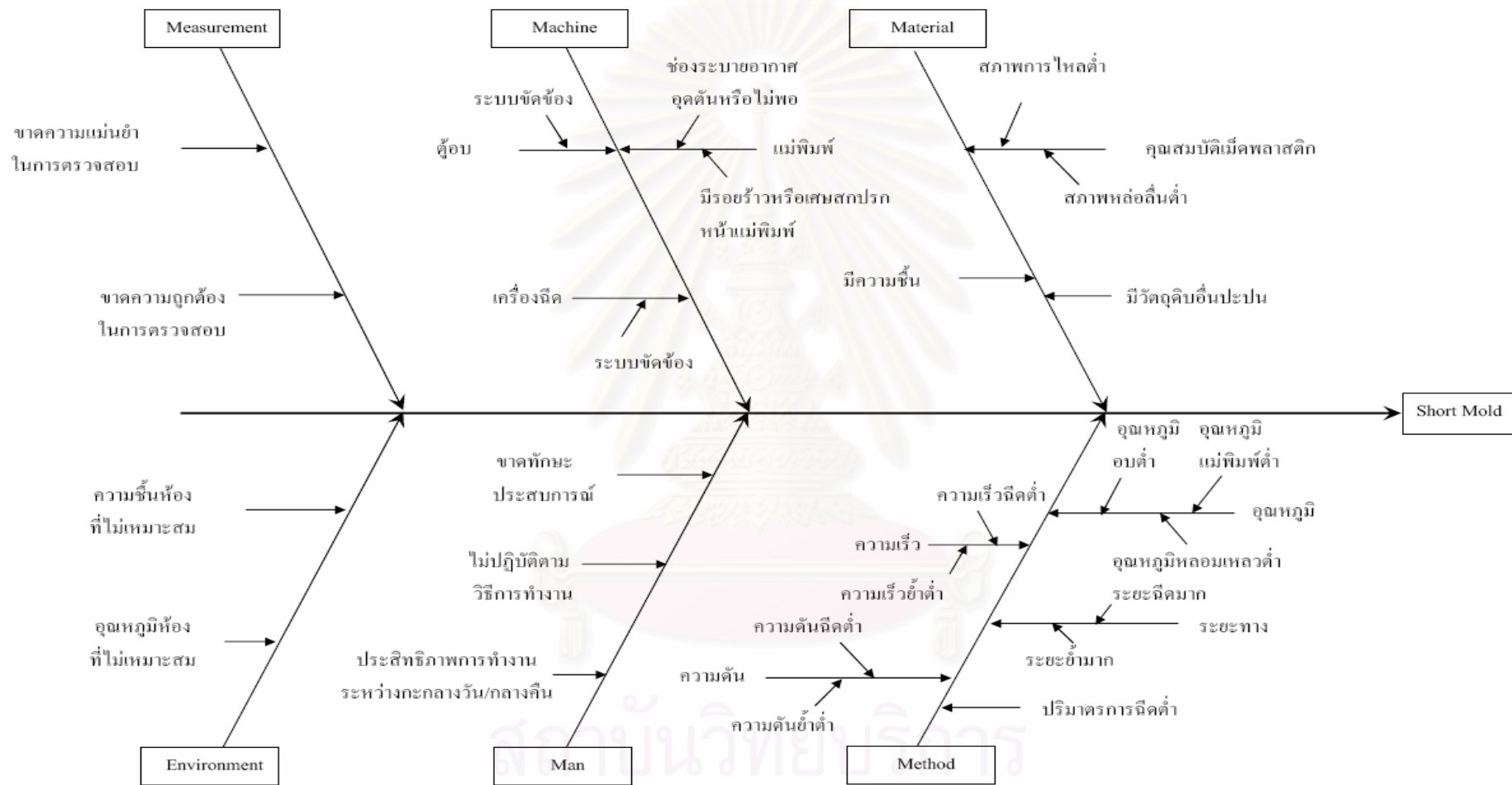
จากการระดมสมองของทีมงานวิจัย และอ้างอิงด้วยหลักการทางวิศวกรรมพบว่าสาเหตุของข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) มีปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลโดยจำแนกออกเป็นกลุ่มได้ 6 กลุ่ม ดังนี้

1. ปัจจัยที่เกิดจากวัตถุดิบ (Material)
2. ปัจจัยที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine)
3. ปัจจัยที่เกิดจากวิธีการ (Method)
4. ปัจจัยที่เกิดจากคน (Man)
5. ปัจจัยที่เกิดจากการวัด (Measurement)
6. ปัจจัยที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม (Environment)

โดยแสดงรายละเอียดในแผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ของข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ในรูปที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ



รูปที่ 5.1 แผนผังแสดงเหตุและผลของปัจจัยที่เป็นไปได้ที่มีผลกระทบต่อของเสียจากข้อบกพร่องชนิดคريب (Flash)



รูปที่ 5.2 แผนผังแสดงเหตุและผลของปัจจัยที่เป็นไปได้ที่มีผลกระทบต่อของเสียจากข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)

จากผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ในรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2 พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) มีทั้งหมด 6 หมวดหมู่ของปัจจัย ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1. ปัจจัยที่เกิดจากวัตถุดิบ (Material) วัตถุดิบในกระบวนการฉีดพลาสติก ได้แก่ เม็ดพลาสติก ที่ต้องนำมาผ่านกระบวนการอบ (Oven Process) ไล่ความชื้นก่อนหลอมเป็นพลาสติก เหลวเข้าสู่กระบวนการฉีด (Injection Process) ฉีดเป็นชิ้นงานพลาสติก จากวิธีการระดมสมองของทีมงานวิจัยและจากการพิจารณางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า ปัจจัยจากวัตถุดิบที่อาจจะเป็นสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) แสดงดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ปัจจัยจากวัตถุดิบที่มีอิทธิพลต่อข้อบกพร่อง Flash และ Short Mold

ครีป (Flash)	ฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)
1. สภาพการไหลของพลาสติกเหลวสูงเกินไป	1. สภาพการไหลของพลาสติกเหลวต่ำเกินไป
2. พลาสติกเหลวมีความหนืดต่ำเกินไป	2. พลาสติกเหลวมีความหนืดสูงเกินไป
3. เม็ดพลาสติกมีความชื้นสูงเกินไป	3. เม็ดพลาสติกมีความชื้นสูงเกินไป
4. มีวัตถุดิบชนิดอื่นปะปนผสมกับเม็ดพลาสติกที่ใช้ในการผลิต	4. มีวัตถุดิบชนิดอื่นปะปนผสมกับเม็ดพลาสติกที่ใช้ในการผลิต

2. ปัจจัยที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine) เครื่องจักรในกระบวนการฉีดพลาสติก ประกอบด้วย แม่พิมพ์ (Mold) และเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Machine) โดยสาเหตุของปัจจัยจากเครื่องจักรที่อาจจะเป็นสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) จะแบ่งเป็นสาเหตุที่มาจากแม่พิมพ์ และเครื่องฉีด ดังแสดงในตารางที่ 5.5 และตารางที่ 5.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.5 ปัจจัยจากแม่พิมพ์ที่มีอิทธิพลต่อข้อบกพร่อง Flash และ Short Mold

ครีป (Flash)	ฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)
<ol style="list-style-type: none"> แม่พิมพ์ออกแบบไม่เหมาะสม เช่น ออกแบบค่าเผื่อมากไปทำให้มีช่องว่างมากเกินไป ประกอบแม่พิมพ์ไม่สนิททำให้เนื้อพลาสติกเหลวไหลแทรกบริเวณเส้นแบ่งแม่พิมพ์ (Parting Line) แม่พิมพ์สึกหรอหรือชำรุดเสียหายทำให้เนื้อพลาสติกเหลวไหลสามารถไหลแทรกบริเวณที่สึกหรอหรือชำรุด วัสดุที่ใช้สำหรับทำแม่พิมพ์ไม่แข็งแรงจึงทำให้แม่พิมพ์สึกหรอง่าย 	<ol style="list-style-type: none"> ออกแบบช่องระบายอากาศ (Air Vent) ของแม่พิมพ์น้อยเกินไป มีรอยร้าวที่หน้าแม่พิมพ์หรือมีเศษสิ่งสกปรก เช่น คราบคาร์บอนติดบริเวณหน้าแม่พิมพ์เนื่องจากจำนวนการฉีด (Shot Count) สูง ช่องระบายอากาศ (Air Vent) ของแม่พิมพ์อุดตันทำให้ระบายอากาศไม่ดี

ตารางที่ 5.6 ปัจจัยจากเครื่องฉีดที่มีอิทธิพลต่อข้อบกพร่อง Flash และ Short Mold

ครีป (Flash)	ฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)
<ol style="list-style-type: none"> เส้นลวดให้ค วามร้อนของตู้อบขาดหรือหมดอายุทำให้ไล่ค วามชื้นไม่หมด ระบบป้อนเม็ดพลาสติกทำงานผิดปกติ ระบบน้ำหล่อเย็น ไม่สม่ำเสมอเพราะเป็นสนิมหรือตะกอน ขั้วไฟฟ้าหลวมหรือลัดวงจร 	<ol style="list-style-type: none"> ระบบการขนย้ายวัตถุดิบจากตู้อบมาที่ Hopper ของเครื่องฉีดขัดข้อง ขนาดช่องทางไหลเข้าของพลาสติกเหลวแคบเกินไป ช่องหัวฉีดมีขนาดเล็กเกินไป มีสิ่งสกปรกอุดตันที่หัวฉีด (Nozzle)

3. ปัจจัยที่เกิดจากวิธีการ (Method) หากแม่พิมพ์ถูกออกแบบมาอย่างเหมาะสมดีแล้วข้อบกพร่องในชิ้นงานพลาสติกจะเกิดจากวิธีการกำหนดสภาวะการฉีด (Condition) ที่ไม่ถูกต้องหรือไม่เหมาะสม จากประสบการณ์ของทีมงานวิจัยและจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) มีสาเหตุจากการกำหนดสภาวะการฉีด (Condition) ที่ไม่ถูกต้องหรือไม่เหมาะสมในทิศทางที่ตรงข้ามกัน ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ตัวอย่างวิธีการกำหนดสภาวะการฉีดที่มีอิทธิพลต่อข้อบกพร่อง Flash และ Short Mold

ครีป (Flash)	ฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)
1. ความดันฉีด (Injection Pressure) สูงเกินไป	1. ความดันฉีด (Injection Pressure) ต่ำเกินไป
2. อุณหภูมิอบ (Oven Temperature) สูงเกินไป	2. อุณหภูมิอบ (Oven Temperature) ต่ำเกินไป
3. ความเร็วฉีด (Injection Velocity) สูงเกินไป	3. ความเร็วฉีด (Injection Velocity) ต่ำเกินไป
4. อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Die Temperature) สูงเกินไป	4. อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Die Temperature) ต่ำเกินไป
5. อุณหภูมิหลอมเหลว (Melt Temperature) สูงเกินไป	5. อุณหภูมิหลอมเหลว (Melt Temperature) ต่ำเกินไป
6. ความดันฉีดย้ำ (Holding Pressure) สูงเกินไป	6. ความดันฉีดย้ำ (Holding Pressure) ต่ำเกินไป
7. ปรับตั้งปริมาณการฉีดพลาสติกมากกว่าปริมาณชิ้นงาน	7. ปรับตั้งปริมาณการฉีดพลาสติกน้อยกว่าปริมาณชิ้นงาน
8. แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamp Force) ไม่เพียงพอ	8. ความดันด้านกลับ (Back Pressure) ต่ำเกินไป
	9. ความเร็วรอบสกรู (Screw Speed) สูงเกินไป

4. ปัจจัยที่เกิดจากพนักงาน (Man) กระบวนการฉีดพลาสติกจะต้องใช้พนักงานที่มีทักษะเฉพาะทางสำหรับการประกอบแม่พิมพ์ การติดตั้งแม่พิมพ์ การปรับสภาวะการฉีด (Condition) และการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน ซึ่งข้อบกพร่องในชิ้นงานพลาสติกที่อาจจะมีสาเหตุมาจากพนักงาน มีดังต่อไปนี้

4.1 พนักงานไม่ปฏิบัติตามวิธีการในคู่มือปฏิบัติงาน (Work Instruction: WI)

4.2 พนักงานยังขาดทักษะความรู้ ความชำนาญและประสบการณ์ในการปฏิบัติ

หน้าที่ เนื่องจากอัตราการผลิต (Turn Over) ของพนักงานค่อนข้างสูง

4.3 ความแตกต่างระหว่างกะกลางวันและกะกลางคืนมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของพนักงาน เช่น พนักงานกะกลางคืนปรับตัวไม่ทันในสัปดาห์แรกที่เปลี่ยนกะทำให้รู้สึกง่วงนอนในระหว่างปฏิบัติงาน

4.4 พนักงานปฏิบัติงานด้วยความเร่งรีบ เช่น ขั้นตอนการตรวจสอบที่มีเป้าหมายการปฏิบัติงานในแต่ละชั่วโมงทำให้ตรวจสอบไม่รอบคอบ หรือไม่ละเอียด

5. ปัจจัยที่เกิดจากการวัด (Measurement) การวัดมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิต เพราะการวัดเปรียบเสมือนเป็นกลไกอย่างหนึ่งที่ใช้ควบคุมผลิตภัณฑ์และควบคุมกระบวนการผลิต เพื่อเป็นการประกันคุณภาพให้แก่ลูกค้า โดยค่าที่ได้จากการวัดจะมีความผันแปรจากสาเหตุต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของระบบการวัด ได้แก่ เครื่องมือวัด พนักงานวัด วิธีการวัด สิ่งที่ได้รับการวัด และสิ่งแวดล้อมในการวัด โดยทั่วไปจะแบ่งการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกิดการวัดออกเป็น 2 ประเภท คือ

5.1 ความถูกต้องของระบบการวัด

ค่าวัดจากระบบวัดจะมีค่าเอนเอียงจากค่าจริงของงาน (μ) เสมอเนื่องจากคุณสมบัติด้านความถูกต้องหรือไบอัส จึงต้องทำการวิเคราะห์ระบบการวัดด้านความถูกต้อง (Accuracy) ซึ่งมี 3 ประการ คือ

5.1.1 คุณสมบัติด้านไบอัส หมายถึง ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากการวัดจากค่าอ้างอิงหรือมาตรฐาน (มาตรฐาน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดซ้ำด้วยเครื่องมือวัดที่มีความแม่นยำสูงกว่าภายใต้สภาวะควบคุมหรือห้องปฏิบัติการที่สามารถสอบกลับได้) ค่าไบอัสนี้จะเป็นค่าประเมินคุณสมบัติด้านความถูกต้องของระบบการวัด

5.1.2 คุณสมบัติด้านการมีเสถียรภาพ หมายถึง คุณสมบัติด้านอายุการใช้งานของอุปกรณ์การวัด โดยพิจารณาจากความผันแปร โดยรวมในระบบการวัดที่ได้จากงานวัดมาตรฐานหรือมาตรฐานหนึ่ง ตลอดช่วงเวลา เช่น วัน สัปดาห์ เป็นต้น

5.1.3 คุณสมบัติเชิงเส้นตรง (Linearity) ของระบบการวัด หมายถึง การที่ค่าไบอัสของระบบการวัดจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงไปตลอดย่านการวัด (Working Range)

5.2 ความแม่นยำของระบบการวัด

การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดจะมุ่งพิจารณา 2 ประเด็นหลัก คือ คุณสมบัติเชิงสถิติของค่าวัดมีความไวต่อเทคนิคของพนักงานหรืออุปกรณ์หรือไม่ และระบบการวัดที่พิจารณามี

ความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของผลิตภัณฑ์ที่แสดงถึงความผันแปรของกระบวนการผลิตหรือไม่หากมีการจำแนกช่วงเวลาที่เกิดขึ้นแล้วจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

5.2.1 รีพีทอะบิลิตี (Repeatability) ของระบบการวัด หมายถึง ความแตกต่างในการวัดอย่างต่อเนื่องกับชิ้นงานเดียวกัน พนักงานวัดคนเดียวกัน และเครื่องมือวัดเดียวกัน โดยปกติจะใช้ค่ารีพีทอะบิลิตีในการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดในระยะสั้น (Short Term Measurement)

5.2.2 รีโพรดูซิบิลิตี (Reproducibility) ของระบบการวัด หมายถึง ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของการวัดกับงานชิ้นเดียวกันด้วยเครื่องมือวัดเดียวกัน แต่ต่างพนักงาน โดยปกติจะใช้ค่ารีโพรดูซิบิลิตีประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดในระยะยาว (Long Term Measurement)

6. ปัจจัยที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม (Environment) ข้อบกพร่องในชิ้นงานพลาสติกที่อาจจะมีสาเหตุมาจากสิ่งแวดล้อมภายนอก คือ ความชื้นในบรรยากาศที่สูงมากเกินไป อุณหภูมิห้องที่ต่ำเกินไป อาจจะทำให้กระบวนการอบ (Oven Process) ทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ เป็นต้น

แต่จากข้อมูลของที่ผ่านมาของฝ่ายฉีดพลาสติก (Molding Department) ร่วมกับการระดมสมองของทีมงานวิจัย เกี่ยวกับสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 พบว่า ปัจจัยสำคัญมาจากวิธีการกำหนดสภาวะการฉีด (Condition) โดยการปรับพารามิเตอร์มีค่าที่ไม่ถูกต้องและไม่เหมาะสม โดยรายละเอียดของปัจจัยที่เหลืออีก 5 ปัจจัยที่ทีมงานวิจัยพิจารณาว่ามีอิทธิพลน้อยต่อข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 และสามารถกำหนดให้เป็นปัจจัยควบคุมในงานวิจัยฉบับนี้ได้ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ปัจจัยที่เกิดจากวัตถุดิบ (Material) วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 คือ เม็ดพลาสติกที่นำมาอบด้วยกระบวนการอบไล่ความชื้น (Oven Process) ก่อนเข้าสู่กระบวนการฉีด (Injection Process) โดยบริษัทกรณีสึกษาจะสั่งซื้อจากบริษัทที่ขายวัตถุดิบซึ่งได้รับการประเมินตามเกณฑ์ที่กำหนดของบริษัทกรณีสึกษาเป็นประจำทุก 6 เดือน โดยมีรายละเอียดข้อมูลต่างๆของวัตถุดิบดังแสดงในตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 รายละเอียดวัตถุดิบที่ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200

หัวข้อ	รายละเอียด
Material Name	LCP, UENO 6040GM BK015RL BLACK
Maker Name	UENO FINE CHEMICAL
Material Code	11030011
Flammability	UL94 V-0
Color	Black
Glass Fiber (%)	40
Virgin (%)	100

LCP หรือ Liquid Crystal Polymer เป็นพลาสติกชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเฉพาะ ทำให้แน่นติดกันได้ดี มีความแข็งแรงสูงเนื่องจากวัสดุในขณะหลอมนั้นมี Degree of Crystalline สูง LCP จะประกอบด้วยโมเลกุลที่ยาว และสมส่วน ควบคุมทิศทางการไหลง่าย เข้ากันได้กับวัสดุที่แข็งซึ่งเป็นผลมาจากโครงสร้างทางเคมีและสถานะภายใต้กระบวนการขึ้นรูปของโพลีเมอร์

LCP มีคุณสมบัติ คือ มีความแข็งแรง เป็นเทอร์โมพลาสติกที่ต้านทานอุณหภูมิได้สูง ติดไฟยาก สมบัติทางไฟฟ้าดีเยี่ยม และต้านทานสารเคมีสูง ซึ่ง LCP จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างไปจากวัสดุธรรมดาทั่วไป ในส่วนพื้นผิวจะมีการจัดเรียงโมเลกุลเป็นเส้น ตามแนวทางการไหลของวัสดุ ส่วน โมเลกุลตรงกลางจะมีทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลมีความเป็นผลึกสูงมาก ในการจัดเรียงระหว่างที่พื้นผิวกับบริเวณตรงกลางจะมีการเรียงตัวเปลี่ยนไปทีละเล็กทีละน้อยจนกระทั่งได้มุม 90 องศา ในส่วนผิวการปรับตัวของเส้นการไหลที่ผิวจะมีความแตกต่างกันส่วนการปรับตัวของการไหลในส่วนตรงกลางจะมีการเชื่อมโยงกัน ทำให้ LCP มีความแข็งแรงสูงมาก ไม่ว่าจะป็นรูปร่างโมเลกุล โครงสร้างความเป็นผลึกของโพลีเมอร์ ก็ล้วนแล้วแต่มีผลกับสมบัติทางกล สมบัติทางไฟฟ้าซึ่งรวมไปถึงทิศทางการไหลด้วย โดยทั่วไปแล้วสมบัติของโพลีเมอร์ชนิดนี้ จะมีความสามารถสูงมาก ทำให้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ต้องคำนึงถึงการนำไปใช้งานให้ดีกว่าก่อน ส่วนในการออกแบบแม่พิมพ์ควรต้องคำนวณการหดตัวของชิ้นงานในแม่พิมพ์ให้ดี ส่วนการใส่สารเติมแต่งอย่างฟิลเลอร์ควรพิจารณาถึงผลให้ดีเสียก่อน ซึ่งการใส่ส่วนใหญ่จะมีการผสม LCP เกรดต่างๆ กับแร่หรือแก้ว

จากข้อมูลที่ผ่านมาของฝ่ายฉีดพลาสติก (Molding Department) ย้อนหลังตั้งแต่เดือนมิถุนายน – ธันวาคม พ.ศ.2550 เป็นระยะเวลา 6 เดือน ไม่พบว่าสาเหตุการเกิดข้อบกพร่องชนิดริบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ที่มีสาเหตุจาก

วัตถุดิบ ดังนั้นทีมงานวิจัยจึงพิจารณาว่าวัตถุดิบที่ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 มีอิทธิพลน้อยต่อการเกิดข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) และสามารถกำหนดให้ปัจจัยควบคุมสำหรับงานวิจัยฉบับนี้โดยจะใช้วัตถุดิบล็อตเดียวกันตลอดการทดลอง

2. ปัจจัยที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine) เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการฉีดพลาสติกของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ซึ่งประกอบด้วย แม่พิมพ์ (Mold) และเครื่องฉีด (Injection Machine) ซึ่งมีรายละเอียดข้อมูลต่างๆ ของเครื่องจักร ดังแสดงในตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 รายละเอียดเครื่องจักรที่ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200

แม่พิมพ์ (Mold/Die)	เครื่องฉีด (Injection Molding Machine)
Mold Die Code : MOD-HD6-008	Machine Name : Sumitomo
Mold Die Name : HD6-PE22A-200	Die Clamp Force : 50 Ton
Frame No. : 1	Screw Diameter : 18 mm.
P/N Code : 21011164	Nozzle Type : Standard
Drawing No. : M20496	Machine No. : IS-65
Cavity : 2	

แม่พิมพ์ (Mold) และเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Machine) ทุกประเภทของฝ่ายฉีดพลาสติก (Molding Department) มีระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance: PM) ตามระยะเวลาที่กำหนด ดังนั้น ทีมงานวิจัยจึงพิจารณาว่าเครื่องจักรที่ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 มีอิทธิพลน้อยต่อการเกิดข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) และสามารถกำหนดให้เป็นปัจจัยควบคุมสำหรับงานวิจัยฉบับนี้โดยใช้แม่พิมพ์หมายเลข MOD-HD6-008 และเครื่องฉีดหมายเลข IS-65 ซึ่งแสดงในรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 ตามลำดับ ตลอดการทดลอง



รูปที่ 5.3 แม่พิมพ์หมายเลข MOD-HD6-008



รูปที่ 5.4 เครื่องฉีดพลาสติกรุ่น Sumitomo หมายเลข IS-65

3. **ปัจจัยที่เกิดจากการวัด (Measurement)** จากการวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis) พบว่า พนักงานตรวจสอบทั้ง 4 คน มีความสามารถในการตรวจสอบข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) และอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้น ทีมงานวิจัยจึงพิจารณาให้ปัจจัยที่เกิดจากการวัด (Measurement) มีอิทธิพลน้อยต่อการเกิดข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 และกำหนดให้เป็นปัจจัยควบคุมโดยใช้พนักงานตรวจสอบคนเดิมตลอดการทดลองในงานวิจัยฉบับนี้

4. **ปัจจัยที่เกิดจากพนักงาน (Man)** พนักงานทุกคนของบริษัทกรณีศึกษาจะต้องได้รับการฝึกอบรมหลักสูตรการปฏิบัติงาน ในแต่ละหน้าที่ที่รับผิดชอบ และมีการประเมินผลงานทุกๆ 6 เดือน ดังนั้น ทีมงานวิจัยจึงพิจารณาว่าปัจจัยที่เกิดจากพนักงานมีอิทธิพลน้อยต่อการเกิดข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 และเพื่อกำหนดให้ปัจจัยที่เกิดจากพนักงานเป็นปัจจัยควบคุม จึงกำหนดพนักงานทีมเดียวกันสำหรับทุกขั้นตอนของกระบวนการฉีดพลาสติก ได้แก่ การประกอบแม่พิมพ์ การติดตั้งแม่พิมพ์ และการปรับสภาวะการฉีด (Condition) โดยในทุกขั้นตอนจะต้องอบรมและมีหัวหน้างานตรวจสอบผลการปฏิบัติงานด้วย

5. **ปัจจัยที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม (Environment)** ฝ่ายฉีดพลาสติก (Molding Department) กำหนดให้ควบคุมอุณหภูมิที่ 22-30 °C และควบคุมความชื้นที่ 40-75 %RH โดยจะมี

ผู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นดังแสดงในรูปที่ 5.5 และมีพนักงานฝ่ายซ่อมบำรุงรับผิดชอบบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิและความชื้นตามระยะเวลาที่กำหนดหากตรวจพบว่าอุณหภูมิ หรือความชื้นไม่เป็นไปตามที่กำหนดฝ่ายซ่อมบำรุงต้องดำเนินการแก้ไขทันที นอกจากนี้ยังจัดทำระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) กับเครื่องจักร อุปกรณ์ทุกประเภทในฝ่ายฉีดพลาสติกด้วย ดังแสดงตัวอย่างตำแหน่งตรวจสอบเครื่องฉีดประจำวันในภาคผนวก ข.2 ดังนั้นทีมงานวิจัยจึงพิจารณาว่าปัจจัยที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมมีอิทธิพลน้อยต่อการเกิดข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 และกำหนดให้เป็นปัจจัยควบคุมสำหรับงานวิจัยฉบับนี้



รูปที่ 5.5 ผู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของฝ่ายฉีดพลาสติก

สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลน้อยต่อข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mod) และกำหนดให้เป็นปัจจัยควบคุมของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ได้แก่ ปัจจัยที่เกิดจากวัตถุดิบ (Material) ปัจจัยที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine) ปัจจัยที่เกิดจากการวัด (Measurement) ปัจจัยที่เกิดจากพนักงาน (Man) และปัจจัยที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม (Environment) แต่ปัจจัยที่เกิดจากวิธีการ (Method) จะกำหนดให้เป็นปัจจัยนำเข้าที่ใช้ในการทดลองสำหรับงานวิจัยฉบับนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.5 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ในกระบวนการฉีดพลาสติก

งานวิจัยฉบับนี้สนใจศึกษาเพื่อใช้เป็นแนวทางการกำหนดสภาวะการฉีด (Condition) โดยการปรับพารามิเตอร์ในกระบวนการฉีดพลาสติกที่มีผลกระทบต่อข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ให้มีค่าที่ถูกต้องและเหมาะสมที่สุด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ที่เกิดจากข้อบกพร่องดังกล่าว ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้มีการระดมสมองจากสมาชิกในทีมเพื่อค้นหาพารามิเตอร์ทั้งหมดที่เป็นสาเหตุของข้อบกพร่องดังกล่าว และนำเทคนิคการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) มาใช้เพื่อคัดกรองพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบมาก ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นปัจจัยในการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าปรับตั้งที่เหมาะสมในบทที่ 6 โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลและรายละเอียดเกี่ยวกับพารามิเตอร์ต่างๆของกระบวนการฉีดพลาสติก (Injection Molding Process) อย่างละเอียด จากนั้นระดมความคิดเพื่อค้นหาพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อการเกิดข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ร่วมกับข้อมูลสนับสนุนจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอื่นๆดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 5.10 ซึ่งการระดมความคิดนี้จะกระทำโดยสมาชิกในทีมทำการระดมความคิดโดยอิสระ และไม่ปรึกษากัน จากนั้นคัดเลือกพารามิเตอร์ที่จะใช้วิเคราะห์ผลกระทบต่อการเกิดข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short mold) สำหรับผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ในงานวิจัยฉบับนี้ซึ่งแสดงข้อมูลในตารางที่ 5.11
2. ผู้วิจัยแบ่งพารามิเตอร์เป็น 2 ประเภท ได้แก่ พารามิเตอร์ที่ไม่สามารถปรับค่าได้ และสามารถปรับค่าได้
 - 2.1 พารามิเตอร์ที่ไม่สามารถปรับค่าได้ หมายถึง พารามิเตอร์ที่มีข้อมูลอ้างอิงไว้ในคู่มือการปรับพารามิเตอร์ (MOC-xxx-xxx) ของผลิตภัณฑ์นั้นๆว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับพารามิเตอร์เหล่านี้เป็นค่าคงที่ ซึ่งเคยมีการทดลองและเก็บข้อมูลไว้ตั้งแต่ระยะทำตัวอย่างชิ้นงานให้ลูกค้า โดยวิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการฉีด (Molding Process Engineer) พบว่า หากปรับหรือเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์จะมีผลกระทบค่อนข้างมากที่จะเกิดข้อบกพร่องอื่นๆสำหรับ

ผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ซึ่งทีมงานวิจัยพิจารณาไม่ทดลองปรับค่าของ พารามิเตอร์เหล่านี้เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short mold) ซึ่งแสดงข้อมูลในตารางที่ 5.12

- 2.2 พารามิเตอร์ที่สามารถปรับค่าได้ หมายถึง พารามิเตอร์ที่มีข้อมูลอ้างอิงไว้ใน คู่มือการปรับพารามิเตอร์ (MOC-xxx-xxx) ของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับพารามิเตอร์เหล่านี้เป็นช่วง (Period) ซึ่งเคยมีการทดลองและ เก็บข้อมูลตั้งแต่ระยะทำตัวอย่างชิ้นงานให้ลูกค้า โดยวิศวกรฝ่ายควบคุมการ จีดพลาสติก (Molding Process Engineer) หากปรับหรือเปลี่ยนค่าแล้วมี ผลกระทบค่อนข้างน้อยที่จะเกิดข้อบกพร่องอื่นๆ สำหรับผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ซึ่งทีมงานวิจัยพิจารณาใช้พารามิเตอร์ประเภทนี้วิเคราะห์เพื่อ แก้ไขข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short mold)
3. นำข้อมูลพารามิเตอร์ที่สามารถปรับค่าได้ทั้งหมดใส่ในตาราง Cause and Effect Matrix ซึ่งแสดงในตารางที่ 5.13 ในที่นี้กำหนดให้อัศรค่าความสำคัญที่มีผลกระทบเท่ากับ 10 เนื่องจากเป็นผลลัพธ์ที่ต้องการเพียงข้อเดียว โดยให้สมาชิกทำการลงคะแนน ความสำคัญให้กับทุกพารามิเตอร์ ซึ่งการให้คะแนนนี้จะขึ้นกับความรู้ความชำนาญ และประสบการณ์ของกลุ่มผู้ทำการวิเคราะห์แต่ละคน โดยวิธีการให้คะแนนจะให้ สมาชิกในทีมแยกพื้นที่ให้คะแนนกันอย่างเป็นอิสระต่อกัน และจะให้คะแนนของตัวเองจนครบทุกพารามิเตอร์ โดยที่ไม่มีการปรึกษากัน คะแนนที่ให้จะอยู่ในช่วง 1 ถึง 10 คะแนน ซึ่งเกณฑ์ของคะแนนมีความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้
 - 0 = ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนอง
 - 1 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองน้อยมาก
 - 5 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองปานกลาง
 - 10 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองมากที่สุด
4. ผู้วิจัยรวบรวมคะแนน และคุณค่าคะแนนของแต่ละพารามิเตอร์ของสมาชิกแต่ละคน ด้วยอัตรค่าความสำคัญที่มีผลกระทบเท่ากับ 10 จากนั้นทำการรวมคะแนนที่ได้ทั้งหมด ในแต่ละพารามิเตอร์ และสรุปผลคะแนนที่ได้จากตาราง Cause and Effect Matrix ใน ตารางที่ 5.14 ซึ่งพบว่าผลลัพธ์การให้คะแนนของสมาชิกในทีมมีแนวโน้มที่สอดคล้อง

กัน คือ ถ้าให้คะแนนมากก็จะมากทั้งหมดในทีม หรือถ้าให้คะแนนน้อยก็จะน้อยทั้งหมดในทีม จากนั้นนำคะแนนที่ได้มาจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์โดยเรียงลำดับคะแนนจากมากไปน้อย ซึ่งแสดงเป็นแผนภูมิแท่งในรูปที่ 5.6

ตารางที่ 5.10 แหล่งที่มาของพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)

ลำดับ	พารามิเตอร์	แหล่งที่มา		วิเคราะห์
		งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	ระดมสมองจากทีมงาน	
1	อุณหภูมิอบ (Oven Temperature)	-	✓	✓
2	เวลาอบ (Oven Time)	-	✓	✓
3	ความดันฉีด (Injection Pressure)	✓	✓	✓
4	ความดันย่ำ (Holding Pressure)	✓	✓	✓
5	อุณหภูมิหลอมเหลว (Melt Temperature)	✓	✓	✓
6	อุณหภูมิหัวฉีด (Nozzle Temperature)	✓	-	-
7	อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Die Temperature)	✓	✓	✓
8	ความเร็วฉีด (Injection Velocity)	✓	✓	✓
9	ความเร็วย่ำ (Holding Velocity)	-	✓	✓
10	ระยะฉีด (Transfer Position)	-	✓	✓
11	ระยะย่ำ (Holding Position)	-	✓	✓
12	เวลาฉีด (Filling Time)	-	✓	✓
13	เวลาฉีดย่ำ (Holding Time)	✓	✓	✓
14	ระยะสำรอง (Cushion)	-	✓	✓
15	ความดันดันกลับ (Back Pressure)	✓	✓	✓
16	ความเร็วรอบสกรู (Screw Speed)	-	✓	✓
17	ระยะชักสกรู (Metering Stroke)	-	✓	✓
18	ระยะบรรจุกลาสติกเหลว (Shot Size)	✓	✓	✓
19	แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamp Force)	✓	✓	✓

จากตารางที่ 5.10 พบว่า งานวิจัยฉบับนี้ไม่นำอุณหภูมิหัวฉีด (Nozzle Temperature) มาวิเคราะห์ เนื่องจากทีมงานวิจัยพิจารณาให้อุณหภูมิหลอมเหลว (Melt Temperature) และอุณหภูมิหัวฉีด (Nozzle Temperature) เป็นอุณหภูมิภายในกระบอกลัดเหมือนกัน ดังนั้น งานวิจัยฉบับนี้จึงมีพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อข้อบกพร่องชนิดกริบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) มีทั้งหมด 18 พารามิเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อข้อบกพร่อง Flash และ Short Mold

ลำดับ	พารามิเตอร์	ค่า	หน่วย	ข้อบกพร่อง	
				กริบ	ฉีดไม่เต็ม
1	อุณหภูมิอบ (Oven Temperature)	120	°C	✓	✓
2	เวลาอบ (Oven Time)	4-6	Hr.	✓	✓
3	ความดันฉีด (Injection Pressure)	45-65	Mpa	✓	✓
4	ความดันขี้ (Holding Pressure)	15-35	Mpa	✓	✓
5	อุณหภูมิหลอมเหลว (Melt Temperature)	300-315	°C	✓	✓
6	อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Die Temperature)	80-100	°C	✓	✓
7	ความเร็วฉีด (Injection Velocity)	40-80	mm/s	✓	✓
8	ความเร็วขี้ (Holding Velocity)	30-70	mm/s	✓	✓
9	ระยะฉีด (Transfer Position)	8-10	mm.	✓	✓
10	ระยะขี้ (Holding Position)	4.5-5.5	mm.	✓	✓
11	เวลาฉีด (Filling Time)	0.5	Sec.	✓	✓
12	เวลาฉีดขี้ (Holding Time)	1	Sec.	✓	✓
13	ระยะสำรอง (Cushion)	3.5-5.5	mm.	✓	✓
14	ความดันด้านกลับ (Back Pressure)	3-5	Mpa	✗	✓
15	ความเร็วรอบสกรู (Screw Speed)	120-130	mm/s	✗	✓
16	ระยะชักสกรู (Metering Stroke)	3-5	mm.	✗	✓
17	ระยะบรรจุพลาสติกเหลว (Shot Size)	12	mm.	✓	✓
18	แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamp Force)	45	Ton	✓	✗

จากพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อข้อบกพร่องชนิดกริบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) สำหรับผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ทั้งหมด 18 พารามิเตอร์ที่แสดงผลลัพธ์ในตาราง

ที่ 5.11 ทีมงานวิจัยพิจารณาคัดเลือกพารามิเตอร์ที่ไม่สามารถปรับค่าได้ 5 พารามิเตอร์ ได้แก่ อุณหภูมิอบ (Oven Temperature) เวลาฉีด (Filling Time) เวลาคาย (Holding Time) ระยะบรรจุพลาสติกเหลว (Shot Size) และแรงปิดแม่พิมพ์ (Clamp Force) ซึ่งแสดงผลกระทบจากการปรับค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวในตารางที่ 5.12

จากนั้นทีมงานวิจัยคัดเลือกพารามิเตอร์ที่สามารถปรับค่าได้ที่เหลือ 13 พารามิเตอร์ใส่ในตาราง วิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบ (Cause and Effect Matrix) เพื่อกำหนดลำดับคะแนนความสำคัญของพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ซึ่งแสดงข้อมูลในตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 พารามิเตอร์ที่ไม่สามารถปรับค่าได้

ลำดับ	พารามิเตอร์	ค่า	หน่วย	ผลกระทบจากการปรับค่าพารามิเตอร์
1	อุณหภูมิอบ (Oven Temperature)	120	°C	Discolor
2	เวลาฉีด (Filling Time)	0.5	Sec.	Dimension / Burn
3	เวลาคาย (Holding Time)	1	Sec.	Curve
4	ระยะบรรจุพลาสติกเหลว (Shot Size)	12	mm.	Discolor / Blister
5	แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamp Force)	45	Ton	Mold's Lift Time

ตารางที่ 5.13 ผลการให้คะแนนเพื่อวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้ตารางสาเหตุและผลกระทบ (Cause and Effect Matrix)

Rating of Importance of Impact												10
Item	Process	Parameter	PM	MM	PEM	SV	PE1	PE2	PE3	QE	Total	Total * 10
1	อบ (Oven Process)	เวลาอบ (Oven Time)	1	1	1	1	1	2	2	2	11	110
2	ฉีด (Injection Process)	ความดันฉีด (Injection Pressure)	10	10	9	10	9	10	10	10	78	780
3		ความดันย้ำ (Holding Pressure)	8	8	10	8	9	9	8	9	69	690
4		อุณหภูมิหลอมเหลว (Melt Temperature)	2	2	2	2	2	2	3	1	16	160
5		อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Die Temperature)	2	1	1	2	1	2	1	2	12	120
6		ความเร็วฉีด (Injection Velocity)	9	9	10	8	8	10	8	9	71	710
7		ความเร็วย้ำ (Holding Velocity)	10	9	9	8	7	8	8	9	68	680
8		ระยะฉีด (Transfer Position)	2	2	3	1	3	3	3	2	19	190
9		ระยะย้ำ (Holding Position)	9	9	8	8	8	10	9	9	70	700
10		ระยะสำรอง (Cushion)	1	1	1	1	1	2	1	1	9	90
11		ความดันดันกลับ (Back Pressure)	2	2	3	1	2	2	3	1	16	160
12		ความเร็วรอบสกรู (Screw Speed)	2	1	2	2	3	1	1	2	14	140
13		ระยะชักสกรู (Metering Stroke)	1	1	2	2	2	1	1	2	12	120

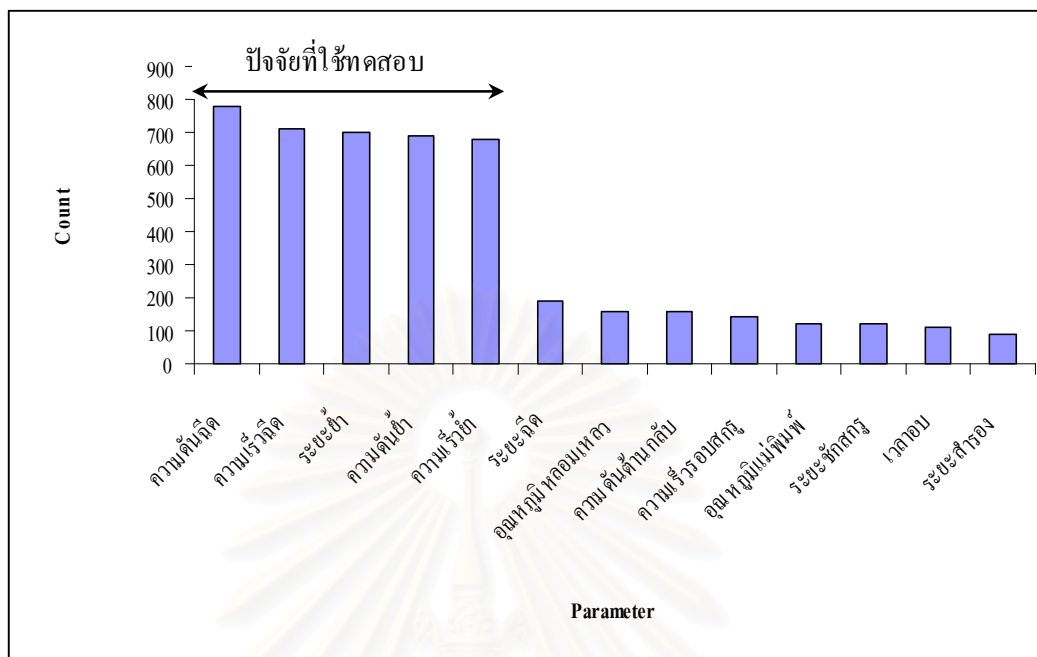
ตารางที่ 5.14 ผลลัพธ์การให้คะแนนจากตาราง Cause and Effect Matrix ของพารามิเตอร์ที่มี

ผลกระทบต่อข้อบกพร่องชนิด Flash และ Short Mold

Rating of Importance to Impact				10
ลำดับ	พารามิเตอร์	ค่า	หน่วย	ผลรวม
1	เวลาอบ (Oven Time)	4-6	Hr.	110
2	ความดันฉีด (Injection Pressure)	45-65	Mpa	780
3	ความดันย่ำ (Holding Pressure)	15-35	Mpa	690
4	อุณหภูมิหลอมเหลว (Melt Temperature)	300-315	°C	160
5	อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Die Temperature)	80-100	°C	120
6	ความเร็วฉีด (Injection Velocity)	40-80	mm/s	710
7	ความเร็วย่ำ (Holding Velocity)	30-70	mm/s	680
8	ระยะฉีด (Transfer Position)	8-10	mm.	190
9	ระยะย่ำ (Holding Position)	4.5-5.5	mm.	700
10	ระยะสำรอง (Cushion)	3.5-5.5	mm.	90
11	ความดันต้านกลับ (Back Pressure)	3-5	Mpa	160
12	ความเร็วรอบสกรู (Screw Speed)	120-130	mm/s	140
13	ระยะชักสกรู (Metering Stroke)	3-5	mm.	120

เพื่อความชัดเจนของข้อมูลจึงนำข้อมูลจากตารางที่ 5.14 มาเรียงลำดับความสำคัญโดยแสดงในรูปของกราฟแท่ง ดังแสดงในรูปที่ 5.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.6 แผนภูมิแท่งเรียงลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อข้อบกพร่อง Flash และข้อบกพร่อง Short Mold ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200

จากผลการให้คะแนนความสำคัญของพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) โดยสมาชิกในทีมพบว่าคะแนนรวมทั้งหมดจากทุกพารามิเตอร์มีค่าเท่ากับ 4,650 คะแนน และทำการเลือกพารามิเตอร์ตามลำดับคะแนนความสำคัญที่ได้จัดเรียงไว้ในแผนภูมิแท่งในรูปที่ 5.6 เพื่อใช้เป็นปัจจัยในการวิเคราะห์โดยเทคนิคการออกแบบการทดลองรวมทั้งสิ้น 5 ปัจจัย ได้แก่

- | | | | |
|-------------------------------------|----------|-----|-------|
| 1. ความดันฉีด (Injection Pressure) | คะแนนรวม | 780 | คะแนน |
| 2. ความเร็วฉีด (Injection Velocity) | คะแนนรวม | 710 | คะแนน |
| 3. ระยะย่ำ (Holding Position) | คะแนนรวม | 700 | คะแนน |
| 4. ความดันย่ำ (Holding Position) | คะแนนรวม | 690 | คะแนน |
| 5. ความเร็วย่ำ (Holding Velocity) | คะแนนรวม | 680 | คะแนน |

ซึ่งผลรวมคะแนนความสำคัญของปัจจัยทั้งหมดที่เลือกไว้มีค่าเท่ากับ 3,560 คะแนน คิดเป็นสัดส่วนประมาณ 77% ของคะแนนทั้งหมด

5.6 สรุปผลขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

ผลลัพธ์ของขั้นตอนนี้ คือ ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ ผลการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า ผลการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) โดยนำผลลัพธ์ที่ได้เหล่านี้ไปใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา โดยสรุปได้ดังนี้

5.4.1 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis)

พบว่าระบบการตรวจวัดมีความสามารถในการตรวจวัดทั้งข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 โดยอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังแสดงข้อมูลสรุปในตารางที่ 5.15

ตารางที่ 5.15 สรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัด

เกณฑ์การประเมิน	พนักงาน ตรวจสอบ	Flash	Short Mold
เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำซ้ำของ พนักงานตรวจสอบ (% Appraiser Score)	คนที่ 1	100%	100%
	คนที่ 2	100%	100%
	คนที่ 3	100%	100%
	คนที่ 4	95%	100%
เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงาน ตรวจสอบ (% Attribute Score)	คนที่ 1	100%	100%
	คนที่ 2	100%	100%
	คนที่ 3	100%	100%
	คนที่ 4	95%	100%
เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านความสามารถในการทำซ้ำ ของการตรวจสอบ (% Screen Effective Score)		95%	100%
เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของการ ตรวจสอบ (% Attribute Screen Effective Score)		95%	100%

5.4.2 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

จากผลลัพธ์การวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ

(Attribute Agreement Analysis) ของพนักงานตรวจสอบผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ดังนั้นการศึกษาความสามารถของกระบวนการฉีดพลาสติกของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 จึงศึกษาจากจำนวนของเสียต่อล้านชิ้นของจำนวนการผลิต พบว่ามีปริมาณสัดส่วนของเสียจากชิ้นงานเป็นครีบบัวในตัวในหนึ่งล้านตัว (Part per Million หรือ PPM) คิดเป็น 56.54% และมีสัดส่วนชิ้นงานที่ฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) 11,720 ตัวในหนึ่งล้านตัว (Part per Million หรือ PPM) คิดเป็น 1.17%

5.4.3 ผลลัพธ์จากการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variable)

จากการระดมสมองของทีมงานวิจัย และจากข้อมูลอ้างอิงในอดีตของฝ่ายฉีดพลาสติก (Molding Department) พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อข้อบกพร่องชนิดครีบบัว (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) มีทั้งหมด 6 ปัจจัย ดังนี้

1. ปัจจัยที่เกิดจากวัตถุดิบ (Material)
2. ปัจจัยที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine)
3. ปัจจัยที่เกิดจากวิธีการ (Method)
4. ปัจจัยที่เกิดจากคน (Man)
5. ปัจจัยที่เกิดจากการวัด (Measurement)
6. ปัจจัยที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม (Environment)

พบว่าปัจจัยที่เกิดจากวิธีการ (Method) ในการกำหนดสภาวะการฉีด (Condition) ด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการฉีด (Injection Process) ให้มีค่าที่ถูกต้องและเหมาะสม เป็นปัจจัยนำเข้าที่มีอิทธิพลต่อข้อบกพร่องชนิดครีบบัว (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 และปัจจัยที่เหลืออีก 5 ปัจจัยที่ทีมงานวิจัยพิจารณาแล้วว่าไม่มีอิทธิพลต่อข้อบกพร่องชนิดครีบบัว (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 และสามารถกำหนดให้เป็นปัจจัยควบคุมในงานวิจัยฉบับนี้

5.4.4 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ปัจจัยจากตารางวิเคราะห์สาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

จากการระดมความคิดของทีมงานวิจัย พบว่า มีปัจจัยที่จะนำเข้ามาพิจารณาทั้งหมด 13 ปัจจัย เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างผลของกระบวนการ (KPOV) และปัจจัยนำเข้า (KPIV) ด้วยตารางสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) และคัดเลือกปัจจัยที่มีความสำคัญโดยพิจารณาจากผลรวมของคะแนนของแต่ละปัจจัย พบว่ามีปัจจัย 5 ปัจจัย ได้แก่ ความดันฉีด (Injection Pressure) ความดันย้า (Holding Pressure) ความเร็วฉีด (Injection Velocity) ความเร็วย้า (Holding Velocity) และระยะย้า (Holding Position) ที่จะนำไปใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา เนื่องจากมีคะแนนรวมเท่ากับ 3,560 คะแนน คิดเป็นสัดส่วนประมาณ 77% ของคะแนนทั้งหมด

บทที่ 6

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

6.1 บทนำ

การวิเคราะห์ปัญหาโดยการตัดสินใจซึ่งปราศจากข้อมูลทางสถิติอ้างอิงจะทำให้เกิดความผิดพลาดในกระบวนการแก้ไขปัญหาต่างๆ ดังนั้นในขั้นตอนการวิเคราะห์นี้จึงมีความสำคัญอย่างมากที่ต้องอาศัยวิธีการทางสถิติ การวิเคราะห์เพื่อค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา การวิเคราะห์จากผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) เพื่อใช้คัดกรองปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปัญหา โดยการเรียงลำดับจากมากไปน้อยอาจไม่สามารถค้นหาสาเหตุที่แท้จริงได้ เนื่องจากปัจจัยที่คาดว่าจะมีความเป็นไปได้มากที่สุดอาจจะไม่จำเป็นต้องเป็นสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาก็ได้ โดยทั่วไปการวิเคราะห์โดยอาศัยสารสนเทศที่ได้จากการทดลองจะช่วยลดโอกาสความผิดพลาดได้ การตัดสินใจที่อาศัยหลักการทางสถิติวิศวกรรม หรือ หลักการอนุมานทางสถิติโดยดำเนินการทดลองเพื่อหาข้อมูลสนับสนุนสมมติฐานที่ตั้งไว้เป็นการยืนยันว่าสาเหตุที่สงสัยนั้นคือสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา หรือข้อบกพร่องด้านคุณภาพ นอกจากนี้เมื่อมีการยืนยันว่าสาเหตุเหล่านั้นมีผลกระทบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์แล้วยังสามารถสรุปได้ต่อไปว่าสาเหตุดังกล่าวมีผลกระทบมากน้อยเพียงใดด้วย

การออกแบบการทดลองเป็นวิธีการที่ใช้ในการออกแบบแผนการทดสอบกระบวนการ โดยการกำหนดค่าตัวแปรตอบสนองของกระบวนการ ซึ่งทำให้เราทราบผลลัพธ์ของกระบวนการที่เปลี่ยนไป เทคนิคการออกแบบการทดลองนี้สามารถทำให้เกิดการปรับปรุงและพัฒนารูปแบบของวิธีการผลิต โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยที่สนใจและหาเงื่อนไขในการผลิตใหม่ที่เหมาะสมกับเป้าหมายที่ตั้งไว้ งานวิจัยฉบับนี้ได้คัดเลือกปัจจัย 5 ปัจจัยที่วิเคราะห์ได้จากบทที่ 5 นำมาใช้ทำการออกแบบการทดลอง จากนั้นนำข้อมูลจากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติและตีความหมายข้อมูลที่ได้จากการทดลองว่าปัจจัยใดที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้ คือ ข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)

ในการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานทั้ง 5 ปัจจัยนี้จะทำการทดสอบสมมติฐานระดับของ

แต่ละปัจจัยใน 2 ระดับที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดลองและสามารถทำการทดลองได้ง่าย ซึ่งมีรายละเอียดของขั้นตอนดังนี้

6.2 การกำหนดตัวแปรตอบสนอง (ตัวแปรตาม)

งานวิจัยฉบับนี้มุ่งศึกษาเพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ดังนั้นตัวแปรตอบสนองเบื้องต้นสำหรับงานวิจัยฉบับนี้ คือ สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200

6.3 การเลือกปัจจัยที่ทำการศึกษา

จากการวิเคราะห์ปัจจัยในบทที่ 5 ด้วยวิธีการระดมสมองจากทีมงานวิจัยด้วยแผนภูมิแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) สามารถเลือกพารามิเตอร์ที่คาดว่าจะมีอิทธิพลกับข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) เพื่อใช้เป็นปัจจัยสำหรับการออกแบบการทดลองได้ 5 ปัจจัย ได้แก่

1. ความดันฉีด (Injection Pressure: P1)
2. ความดันย่ำ (Holding Pressure: P2)
3. ความเร็วฉีด (Injection Velocity: V1)
4. ความเร็วย่ำ (Holding Velocity: V2)
5. ระยะย่ำ (Holding Position: S1)

การกำหนดระดับของปัจจัย (Brefogle, 1999) ในการทดลองนี้จะทำการกำหนดระดับของปัจจัย (Level) ใช้ระดับเป็นแบบกำหนดตายตัว (Fixed Level) เนื่องจากเป็นปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าได้แน่นอน โดยอาศัยข้อมูลจากคู่มือการปรับพารามิเตอร์ (MOC-xxx-xxx) ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 โดยพิจารณาจากค่าสูงสุดและต่ำสุดที่อยู่ในช่วงการทำงานซึ่งกำหนดโดยวิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการฉีด (Molding Process Engineer) ดังนั้นจึงกำหนดระดับของปัจจัยที่ใช้สำหรับการทดลองเบื้องต้นออกเป็น 2 ระดับ ดังนี้

ตารางที่ 6.1 สรุประดับของปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลองเบื้องต้น

ปัจจัย	สัญลักษณ์	หน่วย	ระดับของปัจจัย	
			-1 (ต่ำ)	+1 (สูง)
ความดันฉีด (Injection Pressure; P1)	A	MPa	45	65
ความดันย่ำ (Holding Pressure; P2)	B	MPa	15	35
ความเร็วฉีด (Injection Velocity; V1)	C	mm./s	40	80
ความเร็วย่ำ (Holding Velocity; V2)	D	mm./s	30	70
ระยะย่ำ (Holding Position; S1)	F	mm.	4.5	6.5

6.4 การออกแบบการทดลองเบื้องต้น

วัตถุประสงค์ของการทดลองเบื้องต้น คือ วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีนัยสำคัญกับการเกิดข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) โดยจะออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย ที่มีตัวแปรตาม คือ สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) โดยมีรายละเอียดดังนี้

จำนวนการทดลองซ้ำ (Replication) การทดลองนี้จะทดลองโดยการทำซ้ำในแต่ละ Treatment Combination เท่ากับ 1 ครั้ง (1 Replication) เนื่องจากประหยัดเวลาในการทดลอง และประหยัดวัสดุที่ใช้ในการทดลอง เนื่องจากออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial Design ที่มีปัจจัยนำเข้า 5 ปัจจัย ดังนั้นจึงมีการทดลองทั้งหมด 32 การทดลอง (32 Runs)

ขนาดตัวอย่าง (Sample Size) งานวิจัยของ Bisgaard และ Fuller (1995) ได้เสนอสูตรการคำนวณหาขนาดตัวอย่างเมื่อการทดลองเป็นเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย และชนิดของตัวแปรตาม (Response) มีลักษณะเป็นสัดส่วนของเสีย (Defective Proportion) จะหาขนาดตัวอย่างโดยพิจารณาจากระดับคุณภาพในปัจจุบัน ระดับของการเปลี่ยนแปลงที่ต้องการตรวจจับได้ และปัจจัยอื่นๆ ซึ่งมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$n = (z_{1-\alpha/2} + z_{1-\beta})^2 / (N\delta^2)$$

โดยที่

n	คือ	ขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้
N	คือ	จำนวนการทดลองเชิงแฟกทอเรียล ซึ่งการทดลองนี้มีค่า 32 การทดลอง
Z	คือ	ค่าที่เปิดจากตาราง Z โดยที่ $\alpha = 5\%$ และ $\beta = 10\%$
δ	คือ	ระดับของการเปลี่ยนแปลงที่ต้องการตรวจจับได้ที่แปลงค่าแล้ว

เนื่องจากการทดลองเบื้องต้นมี Process Condition อยู่ที่ตำแหน่ง Vertex ของ Design Space ดังนั้นระดับของการเปลี่ยนแปลงที่ต้องการตรวจจับได้ที่แปลงค่าแล้ว (δ) จะคำนวณจากสูตร

$$\text{สูตร} \quad \delta = \arcsin \sqrt{P_0} - \arcsin \sqrt{P_0 - \Delta}$$

โดยที่

P_0	คือ	สัดส่วนของเสียในปัจจุบัน
Δ	คือ	ค่าความเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของเสียที่ต้องการตรวจจับได้

การคำนวณหาขนาดตัวอย่างของข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash)

จากสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) มีค่าเท่ากับ 565,399 PPM ในการทดลองต้องการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของเสียที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถคำนวณค่า $\Delta = (0.56)(0.5) = 0.28$ ดังนั้นสามารถคำนวณหาขนาดตัวอย่าง ดังนี้

$$n = \frac{(1.96 + 1.282)^2}{32(\arcsin \sqrt{0.56} - \arcsin \sqrt{0.56 - 0.28})^2}$$

= 4 ชิ้นงาน

การคำนวณหาขนาดตัวอย่างของข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)

จากสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) มีค่าเท่ากับ 11,720 PPM ในการทดลองต้องการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของเสียที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถคำนวณค่า $\Delta = (0.01)(0.5) = 0.005$ ดังนั้นสามารถคำนวณหาขนาดตัวอย่าง ดังนี้

$$n = \frac{(1.96 + 1.282)^2}{32(\arcsin \sqrt{0.01} - \arcsin \sqrt{0.01 - 0.005})^2}$$

$$= 381 \quad \text{ชิ้นงาน}$$

จากการคำนวณหาขนาดตัวอย่าง (Sample Size) ของข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) จากสูตรการคำนวณของ Bisgaard และ Fuller (1995) สามารถสรุปข้อมูลได้ดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ข้อมูลการหาขนาดตัวอย่าง (Sample Size) ของการทดลองเบื้องต้น

ข้อบกพร่อง (Defect)	จำนวนการทดลอง (Run)	สัดส่วนของเสียในปัจจุบัน (P_0)	ความเปลี่ยนแปลงที่ต้องการวัดได้	ขนาดตัวอย่าง (n)
ครีป (Flash)	32	0.56	50%	4
ฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)	32	0.01	50%	381

จากตารางที่ 6.2 พบว่าขนาดตัวอย่างของข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) มีขนาด 381 ชิ้นงาน ซึ่งมากกว่าขนาดตัวอย่างของข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) ที่มีขนาด 4 ชิ้นงาน ดังนั้น ขนาดตัวอย่าง (Sample Size) น้อยที่สุดสำหรับการทดลองเบื้องต้นนี้ คือ 381 ชิ้นงาน

การแปลงข้อมูล (Transformation of Response) เนื่องจากตัวแปรตอบสนอง (Response) ของงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลประเภทสัดส่วนของเสีย ดังนั้นในขั้นตอนก่อนการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองของการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล จะต้องมี การแปลงค่าของตัวแปรตอบสนองก่อน เนื่องจากตัวแปรตอบสนองที่มีลักษณะเป็นสัดส่วนของเสีย นั้น หากนำไปใช้วิเคราะห์ทันทีจะทำให้ข้อมูลไม่เป็นไปตามสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) ของตัวแปรตอบสนอง และอาจทำให้ผลการวิเคราะห์คลาดเคลื่อน (Bisgaard and Fuller, 1994)

โดยการแปลงข้อมูลที่ Bisgaard และ Fuller (1994) ได้เสนอมี 2 วิธี คือ การแปลงข้อมูลแบบมาตรฐาน (Standard Transformations หรือ Arcsine Square Root Transformations) และการแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Freeman และ Tukey (Freeman and Tukey's (F&T) Modifications) ซึ่งมีสมการของการแปลงข้อมูลทั้ง 2 วิธีดังกล่าวแสดงในตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 สมการการแปลงข้อมูลของ Bisgaard และ Fuller

ชนิดของข้อมูล	การกระจายของข้อมูล	สมการการแปลงข้อมูล	
		วิธีมาตรฐาน	วิธี Freeman & Tukey (F&T)
<i>proportion</i> (\hat{p})	<i>Binomial</i>	$\arcsin \sqrt{\hat{p}}$	$\frac{\arcsin \sqrt{\frac{n\hat{p}}{n+1}} + \arcsin \sqrt{\frac{n\hat{p}+1}{n+1}}}{2}$

6.5 ผลการทดลองเบื้องต้น

6.5.1 การทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash)

ผลการทดลองในขั้นตอนของการทดลองเบื้องต้นได้จากการทดลองตามสภาวะ และเก็บข้อมูลตามลำดับที่เป็นแบบสุ่ม (Random Order) มีจำนวนการทดลอง (Runs) ทั้งหมด 32 สภาวะที่แตกต่างกัน มีจำนวนการทดลองซ้ำ (Replicates) 1 ครั้ง ซึ่งผลลัพธ์ของการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญกับข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) แสดงในตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) โดยใช้วิธีแปลงค่าตัวแปรตอบสนองของ Freeman และ Tukey (F&T)

Std Order	Run Order	Center Pt	Blocks	P1	P2	V1	V2	S1	Proportion of Flash	F&T
11	1	1	1	45	35	40	70	4.5	0.000	0.0255
29	2	1	1	45	15	80	70	6.5	0.000	0.0255
15	3	1	1	45	35	80	70	4.5	0.515	0.8004
27	4	1	1	45	35	40	70	6.5	0.000	0.0255
6	5	1	1	65	15	80	30	4.5	0.818	1.1290
32	6	1	1	65	35	80	70	6.5	0.567	0.8524
1	7	1	1	45	15	40	30	4.5	0.000	0.0255

ตารางที่ 6.4 (ต่อ) ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) โดยใช้วิธีแปลงค่าตัวแปรตอบสนองของ Freeman และ Tukey (F&T)

Std Order	Run Order	Center Pt	Blocks	P1	P2	V1	V2	S1	Proportion of Flash	F&T
26	8	1	1	65	15	40	70	6.5	0.000	0.0255
21	9	1	1	45	15	80	30	6.5	0.000	0.0255
18	10	1	1	65	15	40	30	6.5	0.000	0.0255
24	11	1	1	65	35	80	30	6.5	0.727	1.0203
4	12	1	1	65	35	40	30	4.5	0.758	1.0557
25	13	1	1	45	15	40	70	6.5	0.000	0.0255
16	14	1	1	65	35	80	70	4.5	1.000	1.5453
17	15	1	1	45	15	40	30	6.5	0.000	0.0255
10	16	1	1	65	15	40	70	4.5	0.636	0.9228
31	17	1	1	45	35	80	70	6.5	0.000	0.0255
19	18	1	1	45	35	40	30	6.5	0.000	0.0255
2	19	1	1	65	15	40	30	4.5	0.636	0.9228
7	20	1	1	45	35	80	30	4.5	0.515	0.8004
28	21	1	1	65	35	40	70	6.5	0.000	0.0255
5	22	1	1	45	15	80	30	4.5	0.697	0.9873
8	23	1	1	65	35	80	30	4.5	1.000	1.5453
23	24	1	1	45	35	80	30	6.5	0.000	0.0255
30	25	1	1	65	15	80	70	6.5	0.636	0.9228
9	26	1	1	45	15	40	70	4.5	0.000	0.0255
12	27	1	1	65	35	40	70	4.5	0.758	1.0557
14	28	1	1	65	15	80	70	4.5	0.848	1.1691
3	29	1	1	45	35	40	30	4.5	0.000	0.0255
22	30	1	1	65	15	80	30	6.5	0.864	1.1917
13	31	1	1	45	15	80	70	4.5	0.546	0.8314
20	32	1	1	65	35	40	30	6.5	0.000	0.0255

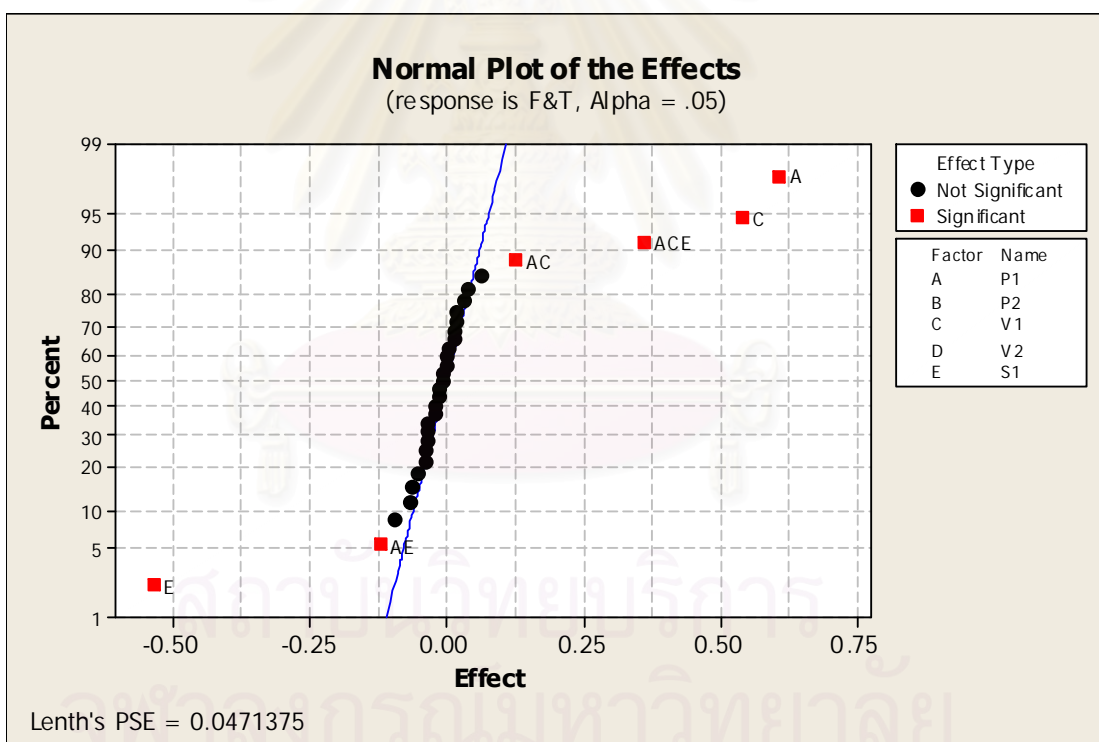
จากนั้นนำข้อมูลผลการทดลองเบื้องต้นที่แปลงค่าตัวแปรตอบสนองโดยวิธีของ Freeman และ Tukey (F&T) จากตารางที่ 6.3 มาวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) ด้วยโปรแกรม MINITAB แสดงผลการวิเคราะห์ในรูปแบบที่ 6.1

Factorial Fit: F&T versus P1, P2, V1, V2, S1						
Estimated Effects and Coefficients for F&T (coded units)						
Term	Effect	Coef				
Constant		0.5363				
P1	0.6068	0.3034				
P2	0.0374	0.0187				
V1	0.5396	0.2698				
V2	-0.0345	-0.0173				
S1	-0.5359	-0.2679				
P1*P2	0.0647	0.0323				
P1*V1	0.1250	0.0625				
P1*V2	-0.0151	-0.0075				
P1*S1	-0.1212	-0.0606				
P2*V1	0.0042	0.0021				
P2*V2	0.0136	0.0068				
P2*S1	-0.0676	-0.0338				
V1*V2	-0.0345	-0.0173				
V1*S1	-0.0540	-0.0270				
V2*S1	-0.0201	-0.0100				
P1*P2*V1	0.0314	0.0157				
P1*P2*V2	-0.0059	-0.0030				
P1*P2*S1	-0.0949	-0.0474				
P1*V1*V2	-0.0151	-0.0075				
P1*V1*S1	0.3607	0.1803				
P1*V2*S1	-0.0396	-0.0198				
P2*V1*V2	0.0135	0.0068				
P2*V1*S1	-0.0344	-0.0172				
P2*V2*S1	-0.0009	-0.0005				
V1*V2*S1	-0.0201	-0.0100				
P1*P2*V1*V2	-0.0059	-0.0030				
P1*P2*V1*S1	-0.0617	-0.0308				
P1*P2*V2*S1	0.0186	0.0093				
P1*V1*V2*S1	-0.0396	-0.0198				
P2*V1*V2*S1	-0.0009	-0.0005				
P1*P2*V1*V2*S1	0.0186	0.0093				
S = * PRESS = *						
Analysis of Variance for F&T (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	5	7.59383	7.59383	1.51877	*	*
2-Way Interactions	10	0.35196	0.35196	0.03520	*	*
3-Way Interactions	10	1.14945	1.14945	0.11495	*	*
4-Way Interactions	5	0.04596	0.04596	0.00919	*	*
5-Way Interactions	1	0.00276	0.00276	0.00276	*	*
Residual Error	0	*	*	*		
Total	31	9.14396				
* NOTE * Could not graph the specified residual type because MSE = 0 or the degrees of freedom for error = 0.						

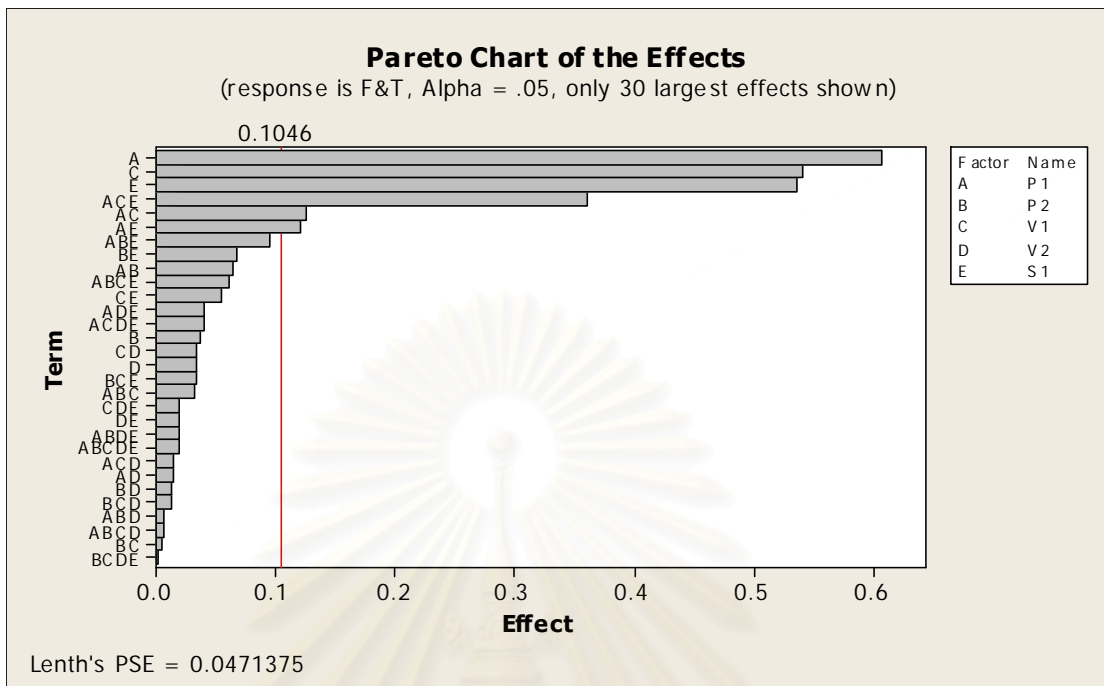
รูปที่ 6.1 ผลของการวิเคราะห์การทดลองเบื้องต้นเพื่อค้นหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash)

การวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash)

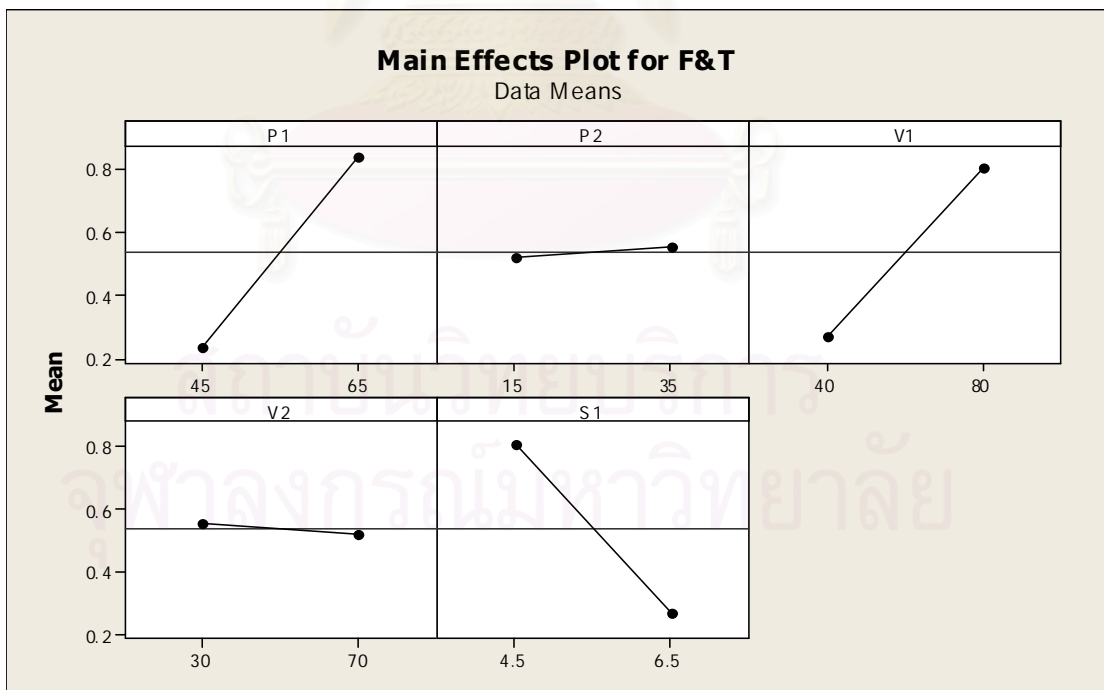
เนื่องจากการทดลองไม่มีการทำซ้ำ (No Replicate) จึงทำให้จำนวนการทดลอง (Runs) ไม่เพียงพอต่อการประมาณค่าความผิดพลาด (Degree of freedom for error = 0) ซึ่งทำให้การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม MINITAB ไม่แสดงค่า P-Value ดังแสดงในรูปที่ 6.1 ดังนั้นจึงต้องใช้ Normal Plot of the Effects และแผนภูมิพารโต ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.2 และรูปที่ 6.3 สำหรับพิจารณาว่าปัจจัยใดมีนัยสำคัญต่อข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) นอกจากนี้ได้แสดงผลของปัจจัยหลักที่มีต่อข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) ดังรูปที่ 6.4 และรูปที่ 6.5 ตามลำดับ



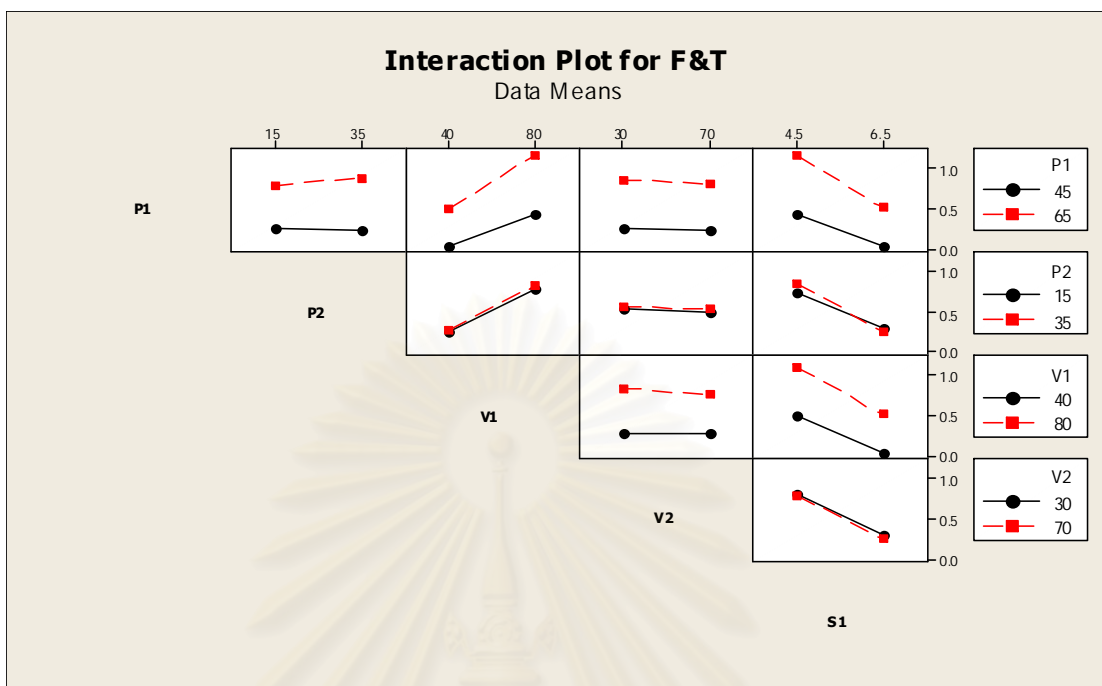
รูปที่ 6.2 Normal Plot of the Effects แสดงปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash)



รูปที่ 6.3 แผนภูมิพารโต แสดงปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วน
ข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash)



รูปที่ 6.4 ผลของปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash)



รูปที่ 6.5 อันตรกิริยาของปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash)

ผลจากการออกแบบการทดลอง 2^5 Full Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 1 ครั้ง สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. เมื่อพิจารณาอันตรกิริยา (Interaction Effect) พบว่า อันตรกิริยาของความดันฉีด กับ ความเร็วฉีด ($P1*V1$) ความดันฉีด กับ ระยะเวลา ($P1*S1$) และความดันฉีด กับ ความเร็วฉีด กับ ระยะเวลา ($P1*V1*S1$) เป็นจุดที่อยู่ห่างจากเส้นตรงในรูปที่ 6.2 อย่างชัดเจน จึงสรุปว่าอันตรกิริยา (Interaction Effect) ของทั้ง 3 ปัจจัย มีผลต่อข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) อย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าแม้ปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยจะมีอันตรกิริยา (Interaction Effect) ต่อกันแต่กราฟก็ไม่ตัดกัน แต่จะไปในทิศทางเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 6.5

2. เมื่อพิจารณาปัจจัยหลัก (Main Effect) พบว่า ความดันฉีด ($P1$) ความเร็วฉีด ($V1$) และ ระยะเวลา ($S1$) เป็นจุดที่อยู่ห่างจากเส้นตรงในรูปที่ 6.2 อย่างชัดเจน จึงสรุปว่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยดังกล่าวมีผลกับข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) อย่างมีนัยสำคัญ ดังข้อมูลสรุปในตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 ผลของปัจจัยหลักต่อปริมาณ สักส่วนข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash)

ปัจจัย	ทิศทางการปรับ	สักส่วนครีบ
ความดันฉีด (Injection Pressure: P1)	ลด	ลดลง
ความเร็วฉีด (Injection Velocity: V1)	ลด	ลดลง
ระยะย่ำ (Holding Position: S1)	เพิ่ม	ลดลง

6.5.2 การทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญกับสักส่วนข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)

ผลการทดลองในขั้นตอนของการทดลองเบื้องต้นได้จากการทดลองตามสภาวะ และเก็บข้อมูลตามลำดับที่เป็นแบบสุ่ม (Random Order) มีจำนวนการทดลอง (Runs) ทั้งหมด 32 สภาวะที่แตกต่างกัน มีจำนวนการทดลองซ้ำ (Replicates) 1 ครั้ง ซึ่งผลลัพธ์ของการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญกับข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) แสดงในตารางที่ 6.6 และรูปที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสักส่วนข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) โดยใช้วิธีแปลงค่าตัวแปรตอบสนองของ Freeman และ Tukey (F&T)

Std Order	Run Order	Center Pt	Blocks	P1	P2	V1	V2	S1	Proportion of Short Mold	F&T
14	1	1	1	65	15	80	70	4.5	0.000	0.0255
21	2	1	1	45	15	80	30	6.5	0.727	1.0203
10	3	1	1	65	15	40	70	4.5	0.000	0.0255
19	4	1	1	45	35	40	30	6.5	0.848	1.1691
1	5	1	1	45	15	40	30	4.5	0.455	0.7404
13	6	1	1	45	15	80	70	4.5	0.000	0.0255
8	7	1	1	65	35	80	30	4.5	0.000	0.0255
16	8	1	1	65	35	80	70	4.5	0.000	0.0255
9	9	1	1	45	15	40	70	4.5	0.666	0.9542
27	10	1	1	45	35	40	70	6.5	0.848	1.1691
4	11	1	1	65	35	40	30	4.5	0.000	0.0255
24	12	1	1	65	35	80	30	6.5	0.000	0.0255

ตารางที่ 6.6 (ต่อ) ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดฉีด
ไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) โดยใช้วิธีแปลงค่าตัวแปรตอบสนองของ Freeman และ Tukey (F&T)

Std Order	Run Order	Center Pt	Blocks	P1	P2	V1	V2	S1	Proportion of Short Mold	F&T
29	13	1	1	45	15	80	70	6.5	0.667	0.9552
28	14	1	1	65	35	40	70	6.5	0.424	0.7093
11	15	1	1	45	35	40	70	4.5	0.696	0.9863
31	16	1	1	45	35	80	70	6.5	0.697	0.9873
6	17	1	1	65	15	80	30	4.5	0.000	0.0255
30	18	1	1	65	15	80	70	6.5	0.000	0.0255
23	19	1	1	45	35	80	30	6.5	0.696	0.9863
2	20	1	1	65	15	40	30	4.5	0.000	0.0255
15	21	1	1	45	35	80	70	4.5	0.000	0.0255
17	22	1	1	45	15	40	30	6.5	1.000	1.5453
5	23	1	1	45	15	80	30	4.5	0.000	0.0255
25	24	1	1	45	15	40	70	6.5	0.939	1.3189
3	25	1	1	45	35	40	30	4.5	0.696	0.9863
18	26	1	1	65	15	40	30	6.5	0.677	0.9658
22	27	1	1	65	15	80	30	6.5	0.000	0.0255
12	28	1	1	65	35	40	70	4.5	0.000	0.0255
32	29	1	1	65	35	80	70	6.5	0.000	0.0255
26	30	1	1	65	15	40	70	6.5	0.424	0.7093
20	31	1	1	65	35	40	30	6.5	0.666	0.9542
7	32	1	1	45	35	80	30	4.5	0.000	0.0255

จากนั้นนำข้อมูลผลการทดลองเบื้องต้นที่แปลงค่าตัวแปรตอบสนองโดยวิธีของ Freeman และ Tukey (F&T) จากตารางที่ 6.5 มาวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ด้วยโปรแกรม MINITAB แสดงผลการวิเคราะห์ในรูปที่ 6.6

Factorial Fit: F&T versus P1, P2, V1, V2, S1

Estimated Effects and Coefficients for F&T (coded units)

Term	Effect	Coef
Constant		0.5177
P1	-0.5798	-0.2899
P2	-0.0163	-0.0082
V1	-0.5034	-0.2517
V2	-0.0361	-0.0181
S1	0.5387	0.2693
P1*P2	0.0149	0.0074
P1*V1	0.0989	0.0494
P1*V2	-0.0265	-0.0133
P1*S1	-0.1341	-0.0671
P2*V1	0.0161	0.0081
P2*V2	0.0056	0.0028
P2*S1	-0.0511	-0.0255
V1*V2	0.0281	0.0141
V1*S1	-0.0578	-0.0289
V2*S1	-0.0629	-0.0314
P1*P2*V1	-0.0147	-0.0073
P1*P2*V2	-0.0042	-0.0021
P1*P2*S1	0.0496	0.0248
P1*V1*V2	0.0346	0.0173
P1*V1*S1	-0.3468	-0.1734
P1*V2*S1	0.0002	0.0001
P2*V1*V2	0.0026	0.0013
P2*V1*S1	0.0509	0.0254
P2*V2*S1	0.0324	0.0162
V1*V2*S1	0.0548	0.0274
P1*P2*V1*V2	-0.0041	-0.0020
P1*P2*V1*S1	-0.0494	-0.0247
P1*P2*V2*S1	-0.0309	-0.0155
P1*V1*V2*S1	0.0078	0.0039
P2*V1*V2*S1	-0.0241	-0.0121
P1*P2*V1*V2*S1	0.0227	0.0113

S = * PRESS = *

Analysis of Variance for F&T (coded units)

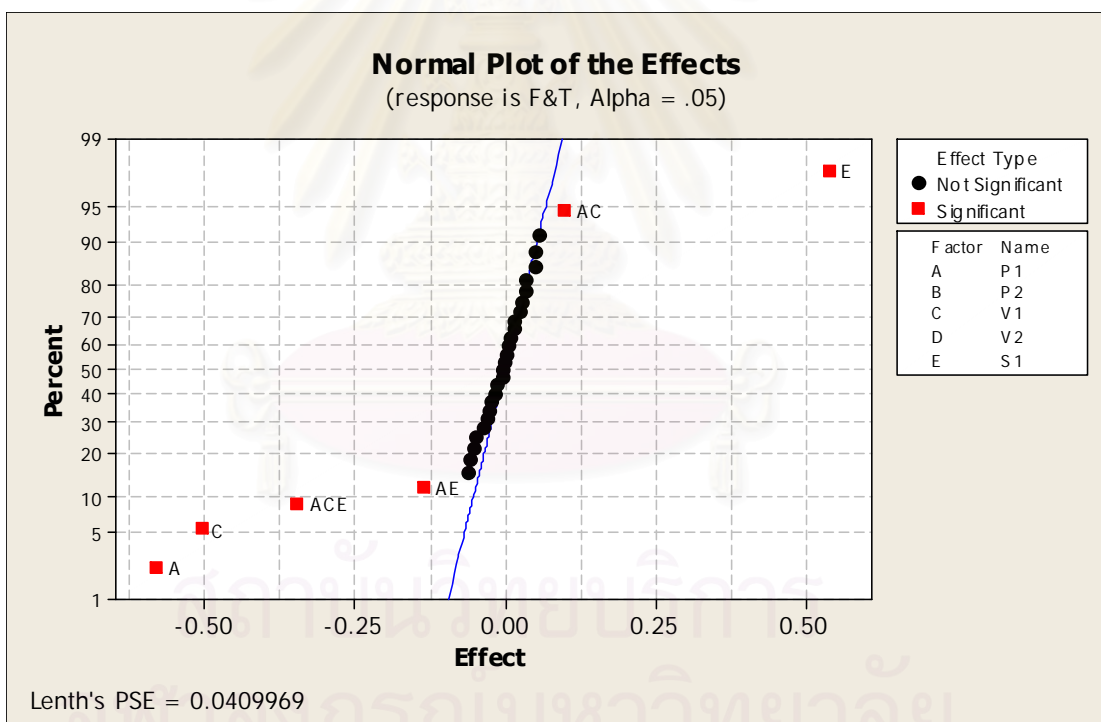
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	5	7.05058	7.05058	1.41012	*	*
2-Way Interactions	10	0.31736	0.31736	0.03174	*	*
3-Way Interactions	10	1.04638	1.04638	0.10464	*	*
4-Way Interactions	5	0.03245	0.03245	0.00649	*	*
5-Way Interactions	1	0.00411	0.00411	0.00411	*	*
Residual Error	0	*	*	*	*	*
Total	31	8.45087				

* NOTE * Could not graph the specified residual type because MSE = 0 or the degrees of freedom for error = 0.

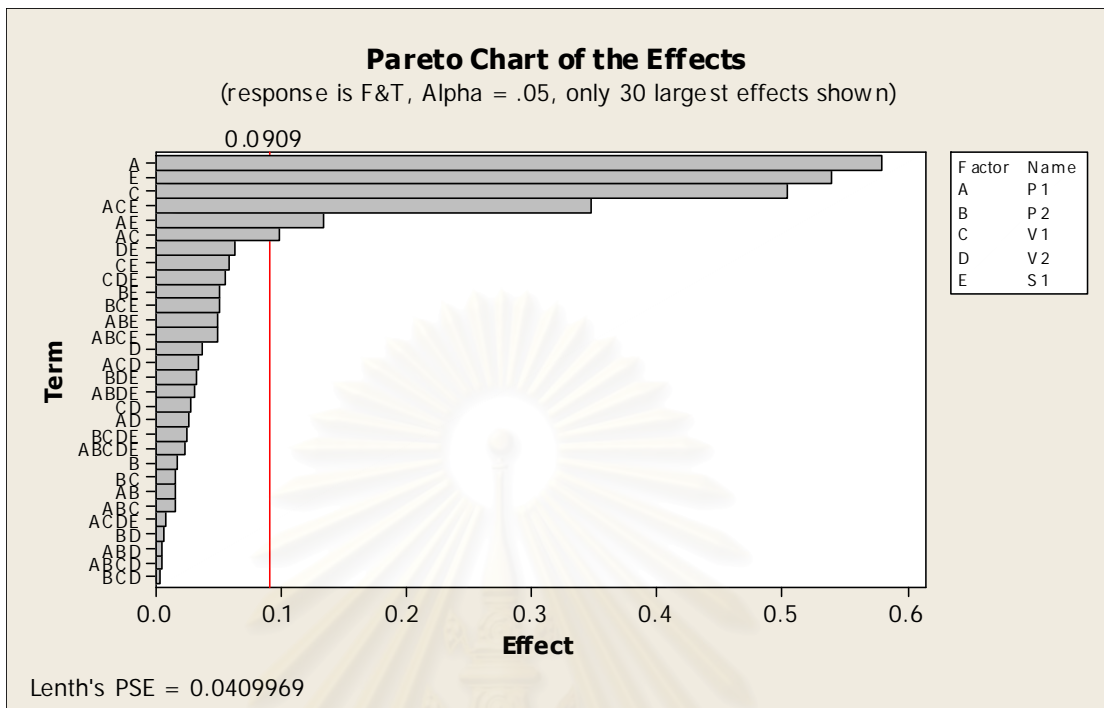
รูปที่ 6.6 ผลของการวิเคราะห์การทดลองเบื้องต้นเพื่อค้นหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วน
ข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)

การวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิด ฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)

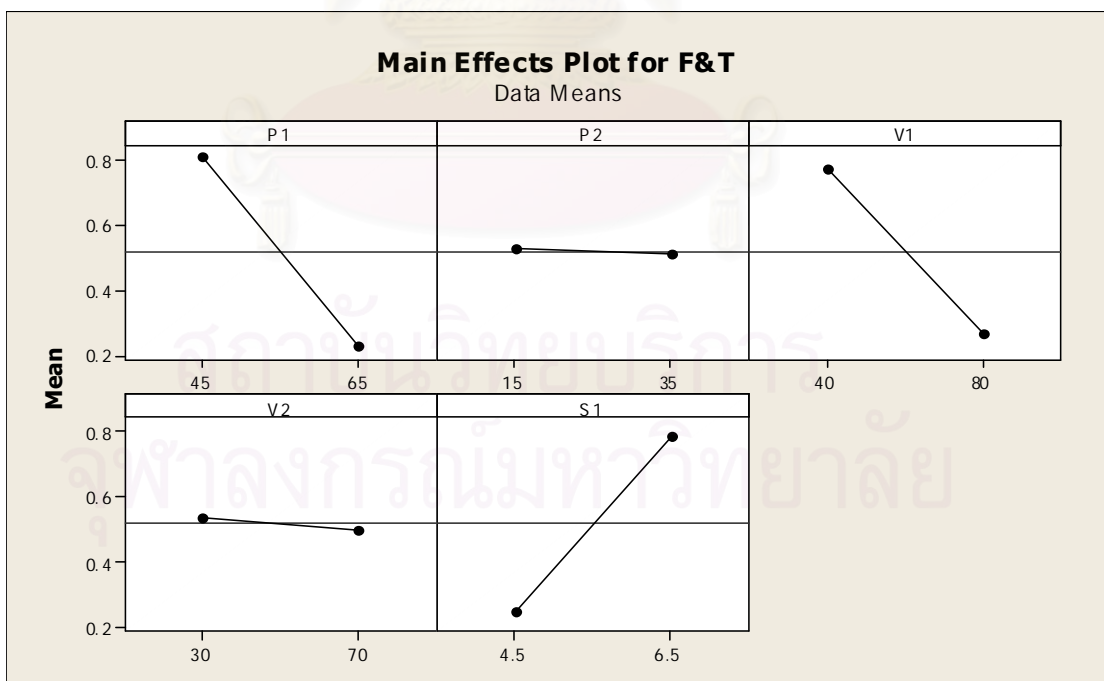
เนื่องจากการทดลองไม่มีการทำซ้ำ (No Replicate) จึงทำให้จำนวนการทดลอง (Runs) ไม่เพียงพอต่อการประมาณค่าความผิดพลาด (Degree of freedom for error = 0) ซึ่งทำให้การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม MINITAB ไม่แสดงค่า P-Value ดังแสดงในรูปที่ 6.6 ดังนั้น จึงต้องใช้ Normal Plot of the Effects และแผนภูมิพารेटโต ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.7 และรูปที่ 6.8 สำหรับพิจารณาว่าปัจจัยใดมีนัยสำคัญต่อข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) นอกจากนี้ได้แสดงผลของปัจจัยหลักที่มีต่อข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) และผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ดังรูปที่ 6.9 และรูปที่ 6.10 ตามลำดับ



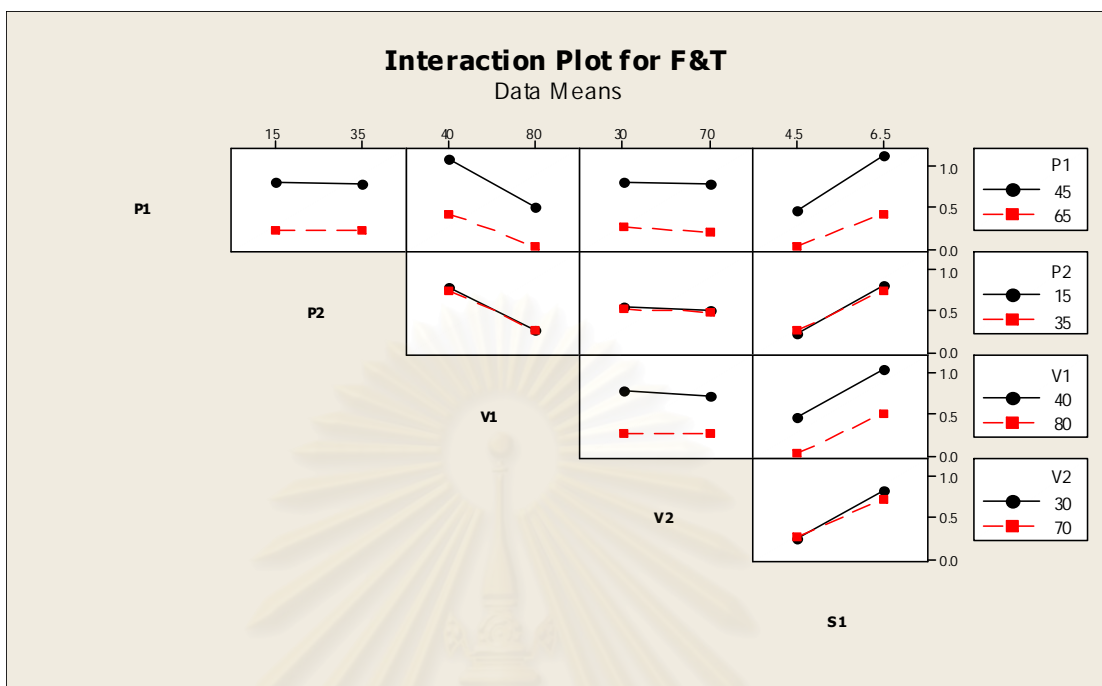
รูปที่ 6.7 Normal Plot of the Effects แสดงปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)



รูปที่ 6.8 แผนภูมิพารโตแสดงปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิด
 จืด ไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)



รูปที่ 6.9 ผลของปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดจืด
 แม่พิมพ์ (Short Mold)



รูปที่ 6.10 อันตรกิริยา (Interaction Plot) ของปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่อง ชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)

ผลจากการออกแบบการทดลอง 2^5 Full Factorial ที่มีการทำซ้ำ 1 ครั้ง สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. เมื่อพิจารณาอันตรกิริยา (Interaction Effect) พบว่า อันตรกิริยาของความดันฉีด กับ ความเร็วฉีด ($P1*V1$) ความดันฉีด กับ ระยะเวลา ($P1*S1$) และความดันฉีด กับ ความเร็วฉีด กับ ระยะเวลา ($P1*V1*S1$) เป็นจุดที่อยู่ห่างจากเส้นตรงในรูปที่ 6.7 อย่างชัดเจน จึงสรุปว่าอันตรกิริยา (Interaction Effect) ทั้ง 3 ปัจจัย มีผลต่อข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) อย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าแม้ปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยจะมีอันตรกิริยา (Interaction Effect) ต่อกันแต่กราฟก็ไม่ตัดกัน แต่จะไปในทิศทางเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 6.10

2. เมื่อพิจารณาปัจจัยหลัก (Main Effect) พบว่า ความดันฉีด (P1) ความเร็วฉีด (V1) และ ระยะเวลา (S1) เป็นจุดที่อยู่ห่างจากเส้นตรงในรูปที่ 6.7 อย่างชัดเจน จึงสรุปว่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยดังกล่าว มีผลต่อข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) อย่างมีนัยสำคัญ ดังข้อมูลสรุปในตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 ผลของปัจจัยหลัก (Main Effect) ต่อปริมาณสัดส่วนฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์

ปัจจัย	ทิศทางการปรับ	สัดส่วนฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์
ความดันฉีด (Injection Pressure: P1)	เพิ่ม	ลดลง
ความเร็วฉีด (Injection Velocity: V1)	เพิ่ม	ลดลง
ระยะย่ำ (Holding Position: S1)	ลด	ลดลง

6.6 สรุปผลขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากการนำปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 5 ปัจจัย ได้แก่ ความดันฉีด (Injection Pressure) ความดันย่ำ (Holding Pressure) ความเร็วฉีด (Injection Velocity) ความเร็วย่ำ (Holding Velocity) และระยะย่ำ (Holding Position) มาทดลองเบื้องต้นเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อข้อบกพร่องครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) โดยการออกแบบการทดลองแบบ 2^5 Full Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 1 ครั้ง จากนั้นวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้นด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถสรุปผลของปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ดังแสดงข้อมูลสรุปในตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8 สรุปผลของปัจจัยนำเข้าต่อสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)

ปัจจัย	ครีป		ฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์	
	นัยสำคัญที่ระดับ 0.05	ทิศทางการปรับเพื่อลดสัดส่วนของเสีย	นัยสำคัญที่ระดับ 0.05	ทิศทางการปรับเพื่อลดสัดส่วนของเสีย
	ความดันฉีด (Injection Pressure: P1)	มี	ลด	มี
ความดันย่ำ (Holding Pressure: P2)	ไม่มี	N/A	ไม่มี	N/A
ความเร็วฉีด (Injection Velocity: V1)	มี	ลด	มี	เพิ่ม
ความเร็วย่ำ (Holding Velocity: V2)	ไม่มี	N/A	ไม่มี	N/A
ระยะย่ำ (Holding Position: S1)	มี	เพิ่ม	มี	ลด

บทที่ 7

การปรับปรุง

7.1 บทนำ

จากการทดสอบสมมติฐานในบทที่ 6 โดยการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 5 ปัจจัย โดยที่แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนข้อบกพร่องเนื่องจากงานเป็นครีบ (Flash) และงานฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) เมื่อได้ปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อข้อบกพร่องดังกล่าวแล้ว นำปัจจัยเหล่านี้มาทำการทดลองเพื่อหาค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่จะทำให้สัดส่วนข้อบกพร่องเนื่องจากครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ต่ำลง ทั้งนี้เพื่อให้ต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ที่เกิดจากข้อบกพร่องดังกล่าวให้มีมูลค่าต่ำลง

7.2 การกำหนดปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

ปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญที่นำมาศึกษาเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการลดสัดส่วนของเสียเนื่องจากครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) มี 3 ปัจจัย คือ ความดันฉีด (Injection Pressure) ความเร็วฉีด (Injection Velocity) และความดันยึด (Holding Position)

7.3 การกำหนดตัวแปรตอบสนอง

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยฉบับนี้ คือ การลดต้นทุนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ดังนั้นตัวแปรตอบสนองเบื้องต้นจึงประกอบด้วย สัดส่วนของเสียเนื่องจากครีบ (Flash) และสัดส่วนของเสียเนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) แต่เนื่องจากปัจจัยนำเข้ามีผลต่อข้อบกพร่องดังกล่าวในทิศทางตรงข้ามกันดังข้อมูลสรุปในบทที่ 6 ดังนั้นจึงกำหนดตัวแปรตอบสนองใหม่ซึ่งจะเป็นตัวแปรที่รวมผลลัพธ์ของตัวแปรเบื้องต้นทั้ง 2 ตัวแปรไว้ด้วยกัน ได้แก่ ต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ดังนั้นตัวแปรตอบสนองจึงมี 3 ตัวแปร ดังนี้

1. สัดส่วนของเสียเนื่องจากครีป (Flash)
2. สัดส่วนของเสียเนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)
3. ต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost)

ต้นทุนของเสียเนื่องจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) คือ ค่าจ้างแก้ไข โดยกระบวนการตัดแต่งครีป (Finishing Process) แต่ต้นทุนของเสียเนื่องจากข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) คือ ต้นทุนในการผลิตชิ้นงานเพราะไม่สามารถแก้ไขได้จะต้องทำลายชิ้นงานทิ้งเท่านั้น ซึ่งสรุปข้อมูลต้นทุนของเสียไว้ในตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ต้นทุนของเสียแต่ละข้อบกพร่อง

ข้อบกพร่อง	การแก้ไข	ต้นทุน	สัญลักษณ์	ราคา/หน่วย (บาท)
ครีป (Flash)	ตัดแต่งครีป	ค่าจ้างตัดแต่งครีป	C_{R_i}	0.54
ฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)	ทำลาย	ต้นทุนในการผลิต	C_s	1.20

ดังนั้นต้นทุนของเสียรวมต่อหน่วยเวลา (Total Defective Cost) ที่มีสาเหตุมาจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) จะมีค่าเท่ากับ (จำนวนของเสียจากข้อบกพร่องชนิดครีปต่อหน่วยเวลา \times ค่าจ้างแก้ไขตัดแต่งครีป) + (จำนวนของเสียจากข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ต่อหน่วยเวลา \times ต้นทุนการผลิต) แต่ในกรณีทั่วไปกระบวนการผลิตจริงนั้นจะมีข้อบกพร่องประเภทอื่นๆนอกจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ที่พิจารณาเฉพาะในงานวิจัยฉบับนี้ ดังนั้นต้นทุนของเสียรวมต่อหน่วยเวลา (Total Defective Cost) จะคำนวณได้จากสมการ

$$Total\ Defective\ Cost = \sum_{i=1}^m P_{R_i} C_{R_i} + P_s C_s \quad (7.1)$$

เมื่อ p_s คือ สัดส่วนชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องที่ไม่สามารถแก้ไขได้ต้องทำลายทิ้ง
 C_s คือ ต้นทุนการผลิตชิ้นงานต่อหน่วย
 p_{R_i} คือ สัดส่วนชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องที่สามารถแก้ไขได้ประเภทที่ i

C_{R_i}	คือ	ค่าจ้างแก้ไขชิ้นงานต่อหน่วยสำหรับข้อบกพร่องประเภทที่ i ซึ่งคำนวณมาจากเวลาการแก้ไขแต่ละชนิดของข้อบกพร่องคูณกับอัตราค่าจ้าง
m	คือ	ประเภทของข้อบกพร่องที่สามารถแก้ไขได้ทั้งหมด

หากพบว่าชิ้นงานเป็นของเสียเนื่องจากข้อบกพร่องชนิดที่ไม่สามารถแก้ไขได้หลายชนิดกับชิ้นงานนั้นๆ สมการที่ 7.1 จะพิจารณาให้เท่ากับ 1 ชิ้นงานที่ต้องทำลายทิ้งเท่านั้น ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้สนใจศึกษาข้อบกพร่อง 2 ชนิด ได้แก่ ข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ดังนั้น ต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) สำหรับงานวิจัยฉบับนี้จะคิดจากสมการ

$$Total\ Defective\ Cost = p_{R_1}C_{R_1} + p_S C_S \quad (7.2)$$

เมื่อ	p_S	คือ	สัดส่วนชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ซึ่งได้จากการทดลอง
	C_S	คือ	ต้นทุนการผลิตชิ้นงานต่อหน่วยซึ่งมีค่า 1.20 บาท / ชิ้น
	p_{R_1}	คือ	สัดส่วนชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) ซึ่งได้จากการทดลอง
	C_{R_1}	คือ	ค่าจ้างตัดแต่งครีปชิ้นงานต่อหน่วยซึ่งมีค่า 0.54 บาท / ชิ้น

7.4 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญ จะใช้การออกแบบการทดลองแบบมีส่วนประสมกลางที่เพิ่มจุดศูนย์กลาง (Central Composite Design: CCD) เนื่องจากผู้วิจัยประเมินว่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญ กับต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ของข้อบกพร่องทั้ง 2 ชนิดมีลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) จึงทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการแบบมีส่วนประสมกลางที่เพิ่มลักษณะกำลังสอง (Second Order) ได้ นอกจากนี้การออกแบบการทดลองแบบมีส่วนประสมกลางที่เพิ่มจุดศูนย์กลาง (Central Composite Design หรือ CCD จะทำให้ประหยัดต้นทุนในการทดลอง เนื่องจากการทดลองแบบมีส่วนประสมกลางที่เพิ่มจุดศูนย์กลาง Central Composite Design หรือ CCD จะไม่ทำการทดลองทุกจำนวนการทดลองที่จุด Corner Point เหมือนการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

จำนวนการทดลอง (Run) เนื่องจากมีปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญ 3 ปัจจัย และมีวิธีออกแบบการทดลองแบบมีส่วนประสมกลางที่เพิ่มจุดศูนย์กลาง (Central Composite Design: CCD) ดังนั้นจึงมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 20 การทดลอง ซึ่งประกอบด้วย

Cube point	8	การทดลอง
Center points in cube	6	การทดลอง
Axial points	6	การทดลอง
Corner points in axial	0	การทดลอง

จำนวนการทดลองซ้ำ (Replication) การทดลองนี้มีการทดลองซ้ำ 6 ครั้ง (6 Replications) ที่จุดศูนย์กลาง (Center point in cube) และทดลองซ้ำ 1 ครั้ง (1 Replication) ที่จุดมุม (Corner points in axial)

ขนาดตัวอย่าง (Sample Size) จะประยุกต์ใช้สมการคำนวณหาขนาดตัวอย่างจากงานวิจัยของ Bisgaard และ Fuller (1995) ซึ่งเป็นสมการในการหาขนาดตัวอย่างสำหรับการทดลองเชิงแฟกทอเรียล ในกรณีที่มีตัวแปรตอบสนองเป็นข้อมูลประเภทสัดส่วนของเสีย และการทดลองมีเงื่อนไขการผลิต (Process Condition) ในปัจจุบันอยู่ที่จุดสูงสุด (Vertex) ของช่วงการออกแบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

กรณีที่ 1 ขอบกพร่องชนิดครีป (Flash)

$$p_0 = 0.56$$

$$\Delta = 0.28 \text{ (จากเป้าหมายที่ต้องการลดสัดส่วนของเสียจาก 0.56 เป็น 0.28)}$$

$$N = 8 \text{ การทดลอง}$$

$$\alpha = 5\% \text{ จะได้ } z = 1.96 \text{ และ } \beta = 10\% \text{ จะได้ } z = 1.282$$

เนื่องจากการทดลองเพื่อปรับปรุงมี Process Condition อยู่ที่ตำแหน่ง Vertex ของ Design Space ดังนั้นระดับการเปลี่ยนแปลงที่ต้องการตรวจจับได้ที่แปลงค่าแล้ว (δ) จะคำนวณจากสูตร

$$\delta = \arcsin \sqrt{P_0} - \arcsin \sqrt{P_0 - \Delta}$$

ดังนั้นขนาดตัวอย่างกรณีข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) คือ

$$\begin{aligned} n &= \frac{(1.96 + 1.282)^2}{8(\arcsin \sqrt{0.56} - \arcsin \sqrt{0.56 - 0.28})^2} \\ &= 16 \quad \text{ชิ้นงาน} \end{aligned}$$

กรณีที่ 2 ข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)

$$p_0 = 0.01$$

$$\Delta = 0.05 \text{ (จากเป้าหมายที่ต้องการลดสัดส่วนของเสียจาก 0.01 เป็น 0.005)}$$

$$N = 8 \text{ การทดลอง}$$

$$\alpha = 5\% \text{ จะได้ } z = 1.96 \text{ และ } \beta = 10\% \text{ จะได้ } z = 1.282$$

เนื่องจากการทดลองเพื่อปรับปรุงมี Process Condition อยู่ที่ตำแหน่ง Vertex ของ Design Space ดังนั้นระดับการเปลี่ยนแปลงที่ต้องการตรวจจับได้ที่แปลงค่าแล้ว (δ) จะคำนวณจากสูตร

$$\delta = \arcsin \sqrt{P_0} - \arcsin \sqrt{P_0 - \Delta}$$

ดังนั้นขนาดตัวอย่างกรณีข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) คือ

$$\begin{aligned} n &= \frac{(1.96 + 1.282)^2}{8(\arcsin \sqrt{0.01} - \arcsin \sqrt{0.01 - 0.005})^2} \\ &= 1,521 \quad \text{ชิ้นงาน} \end{aligned}$$

จากการคำนวณขนาดตัวอย่างที่ได้จากวิธีการประยุกต์สูตรสำหรับการหาขนาดตัวอย่างของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย ของแต่ละข้อบกพร่องสรุปได้ดังตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.2 ขนาดตัวอย่างของแต่ละข้อบกพร่องสำหรับการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการ

ลำดับ	ข้อบกพร่อง	ขนาดตัวอย่าง
1	ครีป (Flash)	16
2	ฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)	1,521

จากตารางที่ 7.2 พบว่า ขนาดตัวอย่างที่มากที่สุด คือ ขนาดตัวอย่างสำหรับข้อบกพร่องชนิดงานฉีด ไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) คือ 1,521 ชิ้นงาน ดังนั้นจึงเลือกขนาดตัวอย่างอย่างน้อย 1,521 ชิ้นงาน สำหรับ ใช้ทำการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการในงานวิจัยฉบับนี้

สรุปการทดลองนี้มีจำนวนการทดลองทั้งสิ้น 20 การทดลอง (20 Runs) และแต่ละการทดลองจะใช้จำนวนชิ้นงานอย่างน้อย 1,521 ชิ้นงาน โดยผลการสร้างตาราง Design Matrix ด้วยโปรแกรม MINITAB แสดงดังตารางที่ 7.4

7.5 ขั้นตอนการทดลอง

1. ตรวจสอบความพร้อมของวัตถุดิบ แม่พิมพ์ เครื่องฉีด และอุปกรณ์ต่างๆที่จะใช้ในการทดลองให้พร้อม
2. ควบคุมตัวแปรควบคุมได้ ได้แก่
 - ใช้เครื่องฉีดหมายเลข IS-65 และแม่พิมพ์หมายเลข MOD-HD6-008 ตลอดการทดลอง
 - ใช้พนักงานทีมเดียวกันในการปฏิบัติงานตลอดการทดลอง
 - ใช้วัตถุดิบล็อตเดียวกันตลอดการทดลอง
3. ปรับระดับของปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ปัจจัย ตามระดับปัจจัยที่แบ่งไว้ 5 ระดับ ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 7.3
4. ฉีดชิ้นงานจนครบจำนวนที่ต้องการ คือ 1,521 ชิ้นงาน ต่อ ลำดับการทดลอง
5. เปลี่ยนสถานะการฉีดใหม่ตามลำดับการทดลองที่กำหนดไว้ในช่อง Run Order จนครบ 20 การทดลอง
6. เก็บชิ้นงานทดลองที่ได้ไปตรวจสอบอัตราส่วนของเสียเนื่องจากครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)

ตารางที่ 7.3 ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการ

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย				
		-1.68179	-1	0	1	1.68179
ความดันฉีด (Injection Pressure)	P1	46.6	50.0	55.0	60.0	63.4
ความเร็วฉีด (Injection Velocity)	V1	43.2	50.0	60.0	70.0	76.8
ระยะข้าย (Holing Position)	S1	4.7	5.0	5.5	6.0	6.3

7.6 ผลการทดลอง

ผลลัพธ์การทดลองในขั้นตอนการปรับปรุงที่ได้จากการทดลองตามสภาวะ และเก็บข้อมูลตามลำดับที่เป็นแบบสุ่ม (Random Order) มีจำนวนการทดลอง (Runs) ทั้งหมด 20 สภาวะที่แตกต่างกัน ได้ผลลัพธ์ของการทดลองดังตารางที่ 7.4 และแสดง Design Matrix ในภาคผนวก ข.1

ตารางที่ 7.4 ผลลัพธ์ของการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต

Std Order	Run Order	Pt Type	Blocks	P1	V1	S1	Proportion of Flash	Proportion of Short Mold	Total Defective Cost (Baht/Unit)
6	1	1	1	60.0	50.0	6.0	0.000	0.254	0.3048
5	2	1	1	50.0	50.0	6.0	0.000	0.294	0.3528
19	3	0	1	55.0	60.0	5.5	0.025	0.000	0.0135
8	4	1	1	60.0	70.0	6.0	0.354	0.000	0.1912
16	5	0	1	55.0	60.0	5.5	0.051	0.000	0.0275
17	6	0	1	55.0	60.0	5.5	0.038	0.000	0.0205
9	7	-1	1	46.6	60.0	5.5	0.000	0.251	0.3012
3	8	1	1	50.0	70.0	5.0	0.000	0.137	0.1648
20	9	0	1	55.0	60.0	5.5	0.051	0.000	0.0275
1	10	1	1	50.0	50.0	5.0	0.000	0.132	0.1583
11	11	-1	1	55.0	43.2	5.5	0.000	0.378	0.4536
15	12	0	1	55.0	60.0	5.5	0.051	0.000	0.0275
10	13	-1	1	63.4	60.0	5.5	0.329	0.000	0.1777
18	14	0	1	55.0	60.0	5.5	0.063	0.000	0.0340
2	15	1	1	60.0	50.0	5.0	0.316	0.000	0.1706
13	16	-1	1	55.0	60.0	4.7	0.165	0.000	0.0891
7	17	1	1	50.0	70.0	6.0	0.000	0.243	0.2916

ตารางที่ 7.4 (ต่อ) ผลลัพธ์ของการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต

Std Order	Run Order	Pt Type	Blocks	P1	V1	S1	Proportion of Flash	Proportion of Short Mold	Total Defective Cost
									(Baht/Unit)
14	18	-1	1	55.0	60.0	6.3	0.000	0.393	0.4710
12	19	-1	1	55.0	76.8	5.5	0.228	0.000	0.1231
4	20	1	1	60.0	70.0	5.0	0.506	0.000	0.2732

7.7 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การออกแบบการทดลองนั้นจะมีเงื่อนไขที่สำคัญ คือ NID ($0, \sigma^2$) จึงต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ว่าเป็นไปตามเงื่อนไข NID ($0, \sigma^2$) หรือไม่ โดยการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองประกอบไปด้วยการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองในเงื่อนไข 3 ประการ คือ

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption)

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบได้ด้วยการทดสอบการกระจายของค่าส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้ควรเป็นเส้นตรงและมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independence)

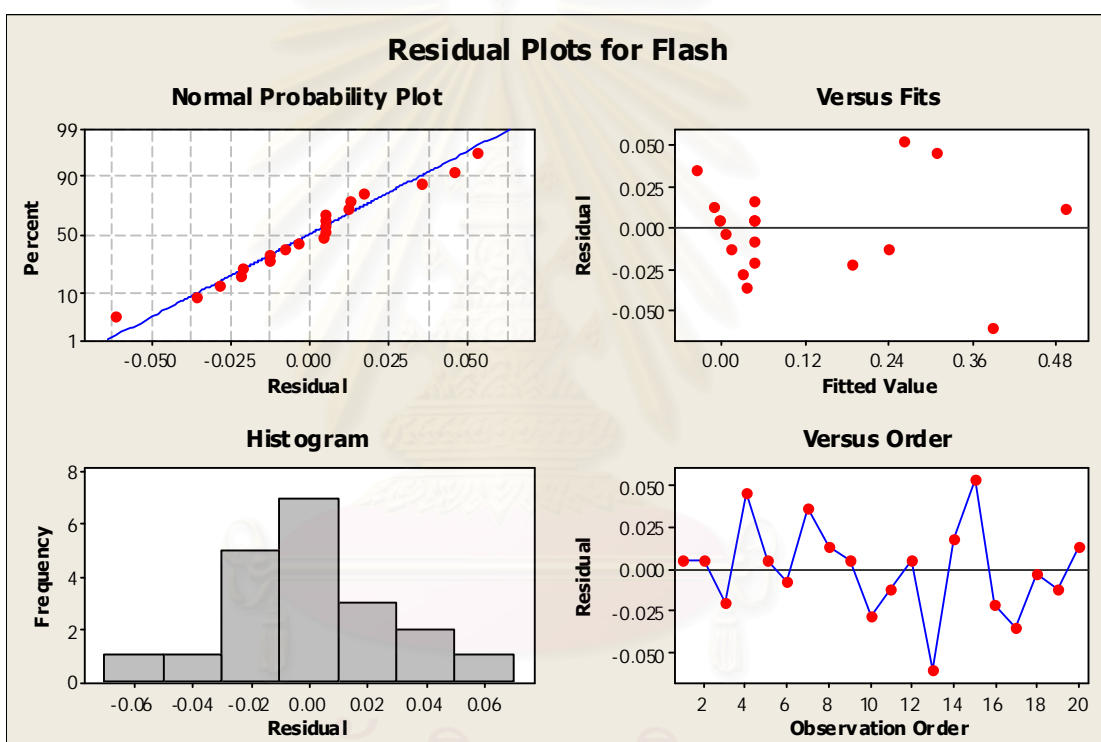
การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูล โดยแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบใดๆ ควรที่จะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบแน่นอน

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

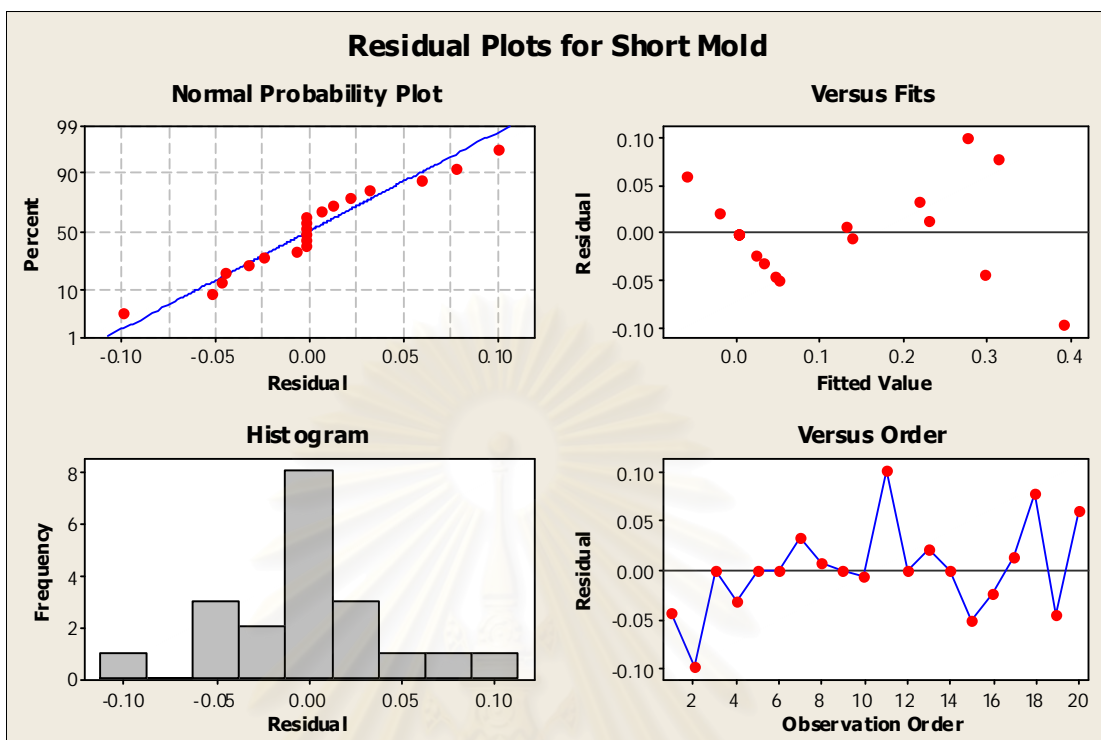
ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนอง

ที่ได้จากตัวแบบถดถอย ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือ ควรมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบแน่นอน

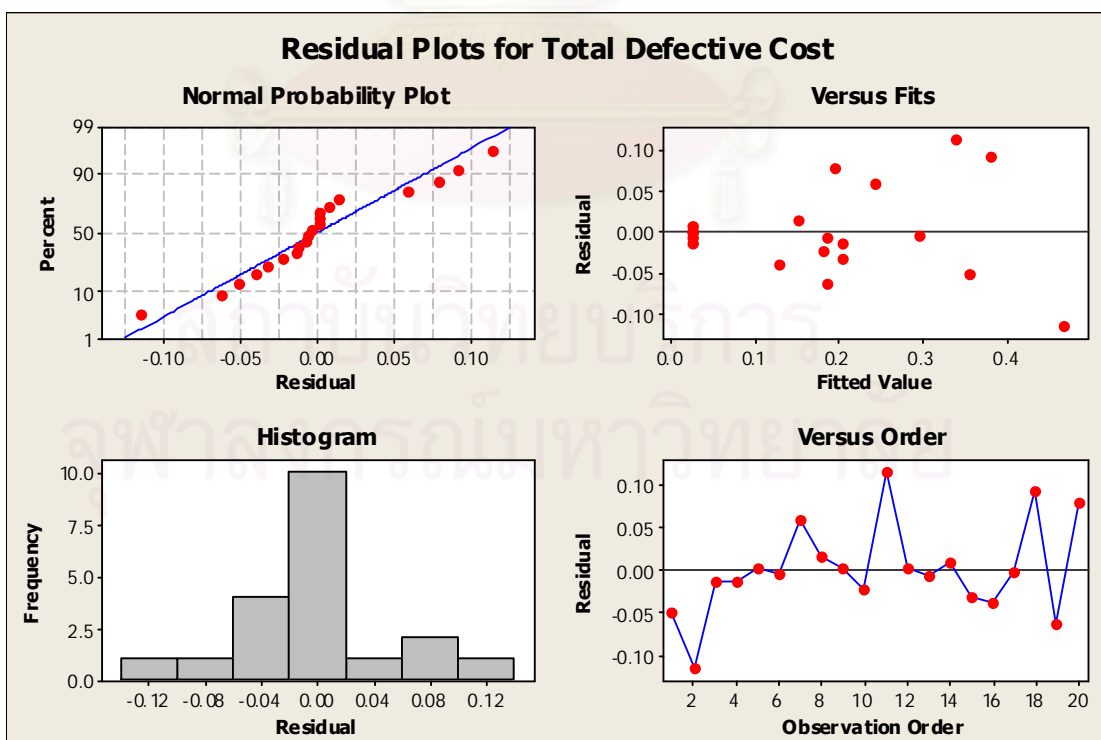
ผลลัพธ์ของการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองในแต่ละตัวแปรตอบสนอง ได้แก่ สัดส่วนของเสียเนื่องจากกรีป (Flash) สัดส่วนของเสียเนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) และต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่องทั้ง 2 ชนิด แสดงในรูปที่ 7.1 ถึง 7.3 ตามลำดับ



รูปที่ 7.1 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองกรณีตัวแปรตอบสนอง คือ สัดส่วนของเสียเนื่องจากกรีป (Flash)



รูปที่ 7.2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองกรณีตัวแปรตอบสนอง คือ สัดส่วนของเสีย เนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)



รูปที่ 7.3 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองกรณีตัวแปรตอบสนอง คือ ต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)

จากกราฟ Normal Probability Plot พบว่า การกระจายของค่าส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนองทั้ง 3 ตัวแปรตอบสนอง ได้แก่ สัดส่วนของเสียเนื่องจากครีป (Flash) สัดส่วนของเสียเนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) และต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง แสดงว่า ข้อมูลของทั้ง 3 ตัวแปรตอบสนองเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง กับ ลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูลของค่าตัวแปรตอบสนองทั้ง 3 ตัวแปร ได้แก่ สัดส่วนของเสียเนื่องจากครีป (Flash) สัดส่วนของเสียเนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) และต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) มีลักษณะที่ไม่เป็นแนวโน้ม และไม่มีรูปแบบใดๆ แสดงว่าข้อมูลของทั้ง 3 ตัวแปรตอบสนองมีความเป็นอิสระ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง กับ ค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอยของตัวแปรตอบสนองทั้ง 3 ตัวแปร ได้แก่ สัดส่วนของเสียเนื่องจากครีป (Flash) สัดส่วนของเสียเนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) และต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) มีลักษณะของข้อมูลที่ไม่เป็นแนวโน้ม และมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบแน่นอน แสดงว่าข้อมูลของทั้ง 3 ตัวแปรตอบสนองมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สรุปผลการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบของตัวแปรตอบสนองทั้ง 3 ตัวแปรที่นำมาทดลองนี้ ได้แก่ สัดส่วนของเสียเนื่องจากครีป (Flash) สัดส่วนของเสียเนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short mold) และต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) พบว่า ข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ มีการกระจายแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลองที่ว่า $NID(0, \sigma^2)$

7.8 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

7.8.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองกรณีตัวแปรตอบสนอง คือ สัดส่วนของเสียเนื่องจากครีป (Flash) แสดงผลการวิเคราะห์โดย โปรแกรม MINITAB ในรูปที่ 7.4

Response Surface Regression: Flash versus P1, V1, S1

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Flash

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	6.35730	2.74842	2.313	0.043
P1	-0.13174	0.05485	-2.402	0.037
V1	-0.12482	0.02385	-5.232	0.000
S1	0.16578	0.54848	0.302	0.769
P1*P1	0.00186	0.00040	4.689	0.001
V1*V1	0.00029	0.00010	2.885	0.016
S1*S1	0.06964	0.03959	1.759	0.109
P1*V1	0.00136	0.00027	5.119	0.000
P1*S1	-0.02340	0.00531	-4.404	0.001
V1*S1	0.00410	0.00266	1.543	0.154

S = 0.0375697 PRESS = 0.107096

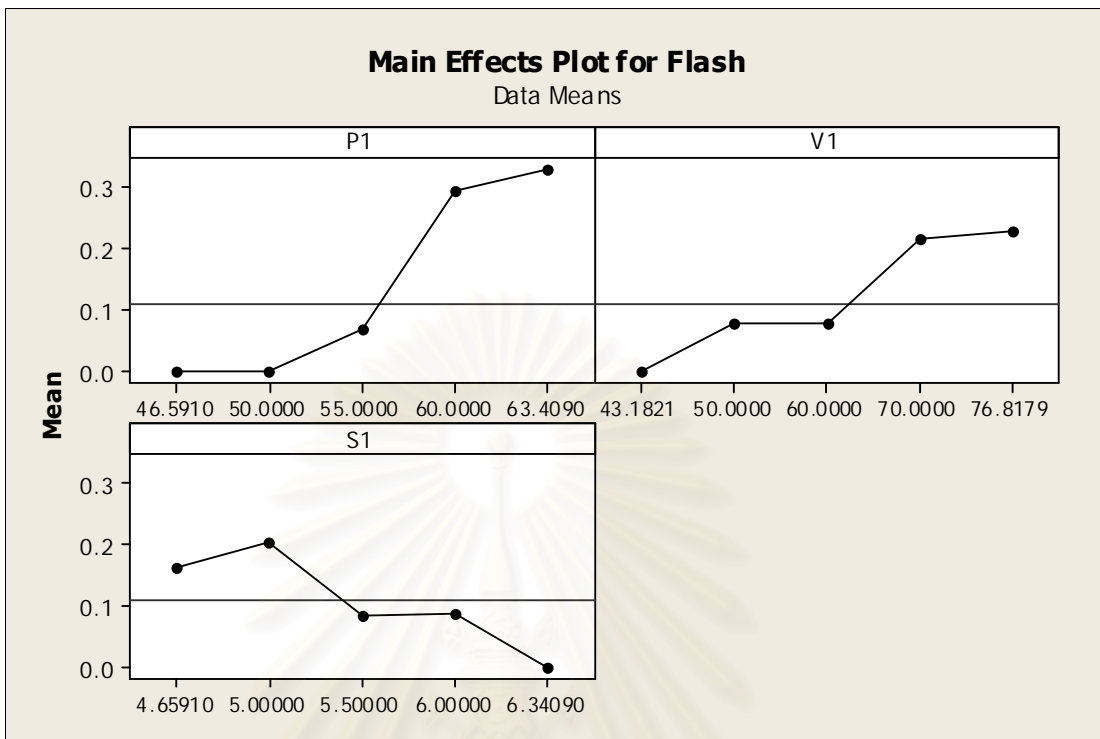
R-Sq = 96.83% R-Sq(pred) = 75.96% R-Sq(adj) = 93.98%

Analysis of Variance for Flash

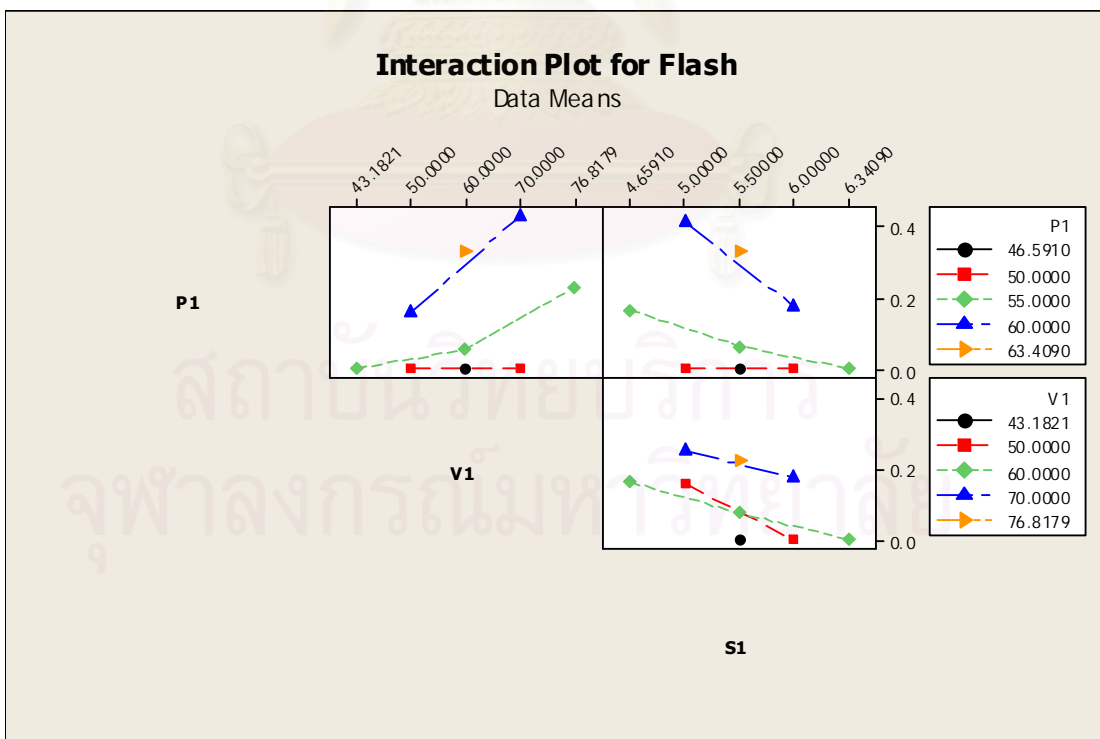
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	0.431418	0.431418	0.047935	33.96	0.000
Linear	3	0.322654	0.046556	0.015519	10.99	0.002
Square	3	0.041032	0.041032	0.013677	9.69	0.003
Interaction	3	0.067732	0.067732	0.022577	16.00	0.000
Residual Error	10	0.014115	0.014115	0.001411		
Lack-of-Fit	5	0.013247	0.013247	0.002649	15.27	0.005
Pure Error	5	0.000868	0.000868	0.000174		
Total	19	0.445533				

รูปที่ 7.4 ผลการวิเคราะห์การทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตกรณีตัวแปรตอบสนอง คือ สักส่วนของเสี้ยนเนื่องจากครีป (Flash)

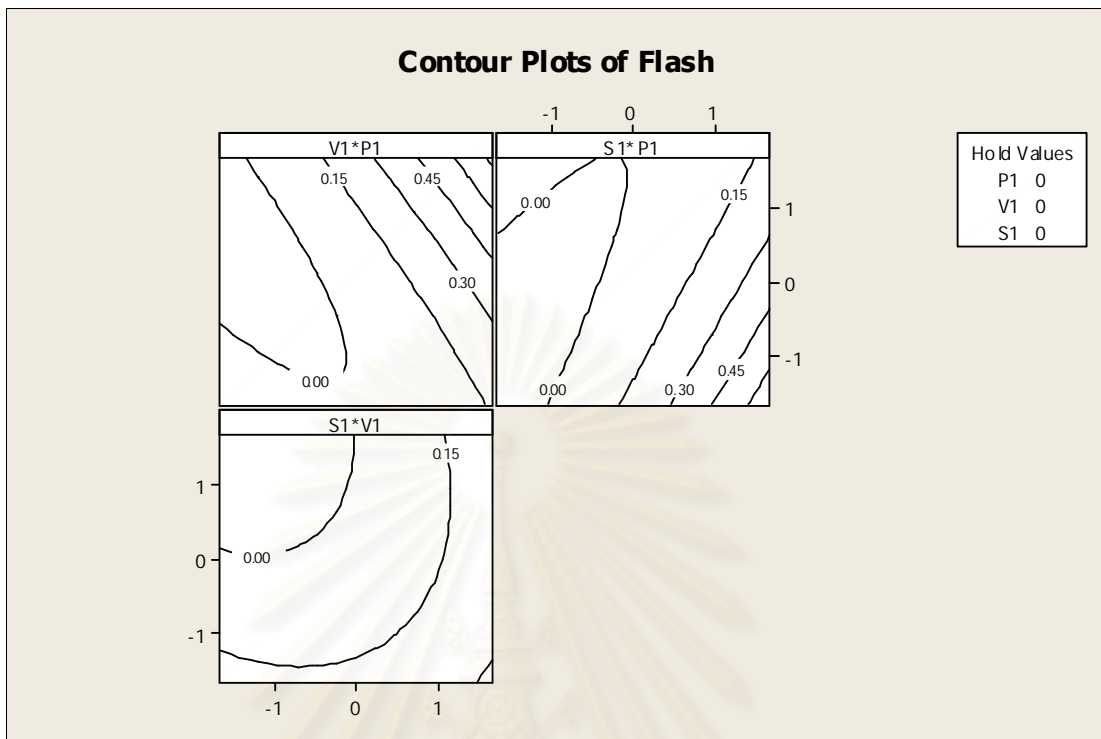
จากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ หรือ R-Sq (adj) มีค่า 93.98 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าความผันแปรจำนวน 93.98 เปอร์เซ็นต์ สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอยที่ได้จากการวิเคราะห์ นั่นคือ ตัวแบบถดถอยนี้มีความน่าเชื่อถือเพียงพอที่จะนำไปใช้ในการพยากรณ์ต่างๆได้ ซึ่งการวิเคราะห์ Main Effect Plot, Interaction Effect Plot, Contour Plot และ Surface Plot ของ สักส่วนของเสี้ยนเนื่องจากครีป (Flash) ดังแสดงในรูปที่ 7.5 ถึงรูปที่ 7.8 ตามลำดับ



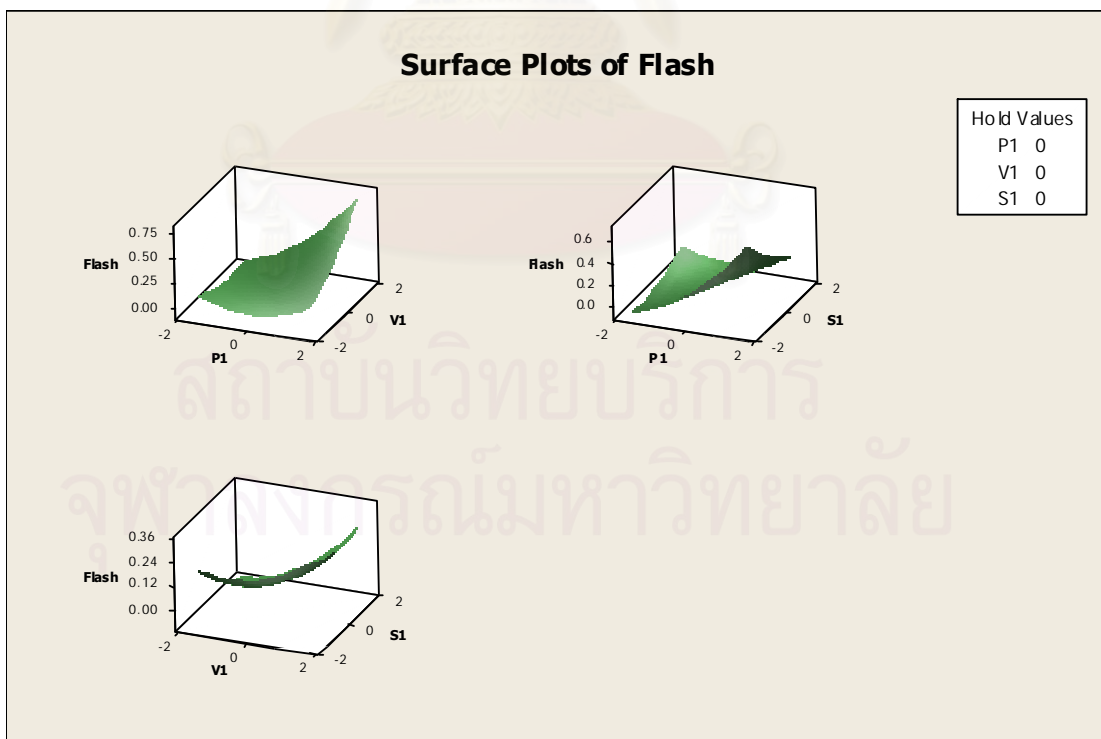
รูปที่ 7.5 Main Effect Plot ที่มีผลต่อสัดส่วนของเสียเนื่องจากครีป (Flash)



รูปที่ 7.6 Interaction Effect Plot ที่มีผลต่อสัดส่วนของเสียเนื่องจากครีป (Flash)



รูปที่ 7.7 Contour Plot ที่มีผลต่อสัดส่วนของเสียเนื่องจากครีป (Flash)



รูปที่ 7.8 Surface Plot ที่มีผลต่อสัดส่วนของเสียเนื่องจากครีป (Flash)

จากรูปที่ 7.4 พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย กับ สัดส่วนของเสียเนื่องจากครีป (Flash) มีพจน์ First Order พจน์ของอันตรกิริยา และพจน์ของ Second Order ที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนของเสียเนื่องจากครีป (Flash) ทั้งสิ้น เนื่องจากมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05

ซึ่งมีปัจจัยหลัก 2 ปัจจัย ได้แก่ ความดันฉีด (P1) กับ ความเร็วฉีด (V1) มีผลต่อสัดส่วนของเสียเนื่องจากครีป (Flash) อย่างมีนัยสำคัญ เพราะมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 เช่นเดียวกับอันตรกิริยาระหว่าง ความดันฉีด กับ ความเร็วฉีด ($P1*V1$) และ ความดันฉีด กับ ระยะเวลา ($P1*S1$) รวมทั้งพจน์ของ Second Order ของความดันฉีด ($P1*P1$) กับ ความเร็วฉีด ($V1*V1$) ที่มีผลต่อสัดส่วนของเสียเนื่องจากครีป (Flash) เพราะมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 เช่นกัน

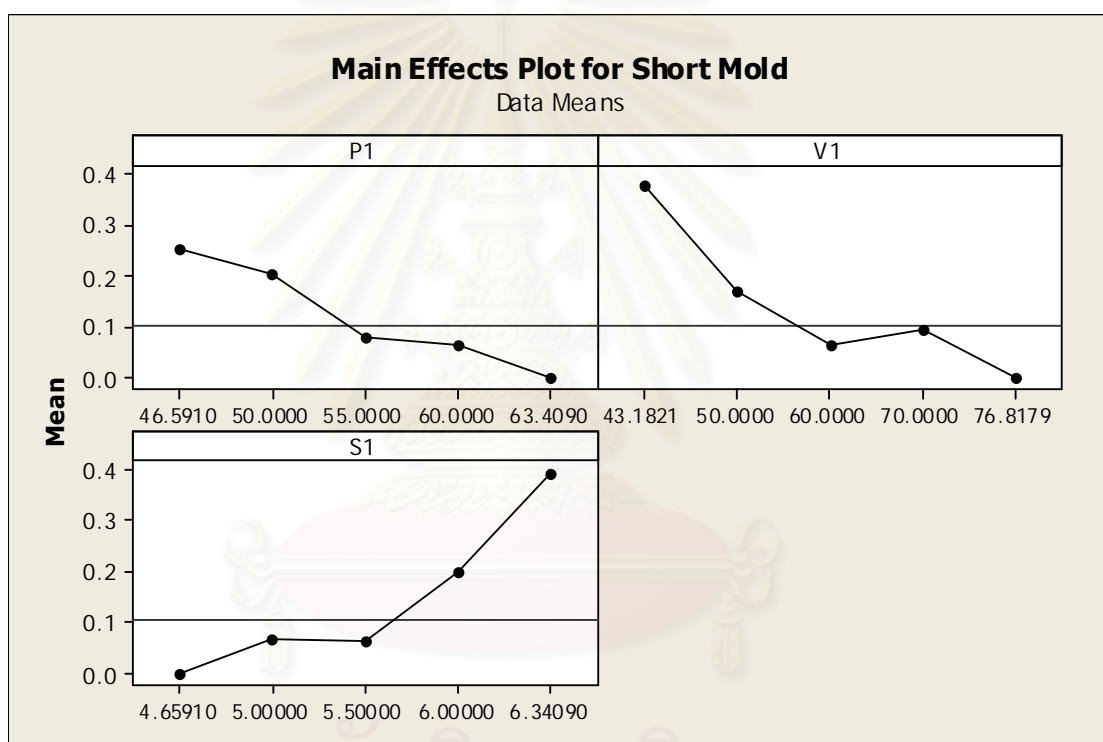
7.8.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองกรณีตัวแปรตอบสนอง คือ สัดส่วนของเสียเนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) แสดงผลการวิเคราะห์โดยโปรแกรม MINITAB ในรูปที่ 7.9

Response Surface Regression: Short Mold versus P1, V1, S1						
The analysis was done using uncoded units.						
Estimated Regression Coefficients for Short Mold						
Term	Coef	SE Coef	T	P		
Constant	9.10751	4.61174	1.975	0.077		
P1	-0.12983	0.09203	-1.411	0.189		
V1	-0.00353	0.04003	-0.088	0.931		
S1	-1.93013	0.92033	-2.097	0.062		
P1*P1	0.00137	0.00066	2.061	0.066		
V1*V1	0.00057	0.00017	3.413	0.007		
S1*S1	0.23698	0.06642	3.568	0.005		
P1*V1	-0.00052	0.00045	-1.169	0.270		
P1*S1	-0.00069	0.00892	-0.077	0.940		
V1*S1	-0.00776	0.00446	-1.741	0.112		
S = 0.0630405 PRESS = 0.309215						
R-Sq = 89.80% R-Sq(pred) = 20.62% R-Sq(adj) = 80.62%						
Analysis of Variance for Short Mold						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	0.349776	0.349776	0.038864	9.78	0.001
Linear	3	0.235855	0.020568	0.006856	1.73	0.225
Square	3	0.096425	0.096425	0.032142	8.09	0.005
Interaction	3	0.017496	0.017496	0.005832	1.47	0.282
Residual Error	10	0.039741	0.039741	0.003974		
Lack-of-Fit	5	0.039741	0.039741	0.007948	*	*
Pure Error	5	0.000000	0.000000	0.000000		
Total	19	0.389517				

รูปที่ 7.9 ผลการวิเคราะห์การทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตกรณีตัวแปรตอบสนอง คือ สัดส่วนของเสียเนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)

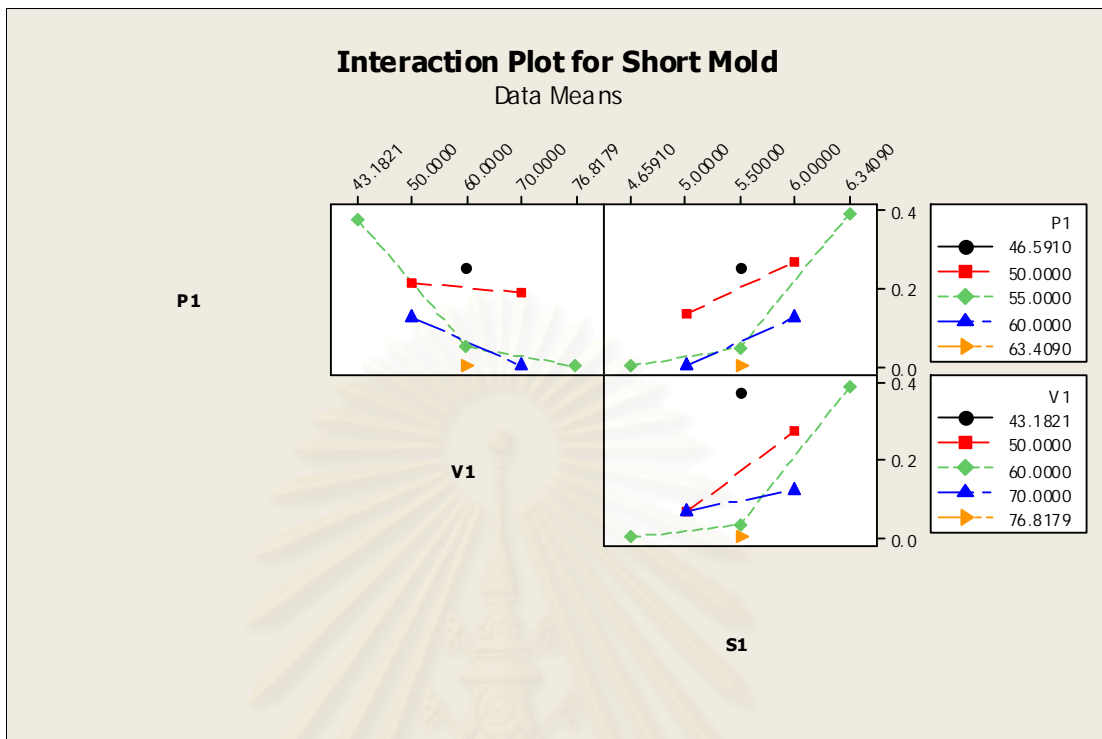
จากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสนใจ หรือ R-Sq (adj) มีค่า 80.62 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าความผันแปรจำนวน 80.62 เปอร์เซ็นต์ สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอยที่ได้จากการวิเคราะห์ นั่นคือ ตัวแบบถดถอยนี้มีความน่าเชื่อถือเพียงพอที่จะนำไปใช้ในการพยากรณ์ต่างๆได้

การวิเคราะห์ Main Effect Plot, Interaction Plot, Contour Plot และ Surface Plot ของ สัดส่วนของเสียเนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) แสดงในรูปที่ 7.10 ถึงรูปที่ 7.13 ตามลำดับ

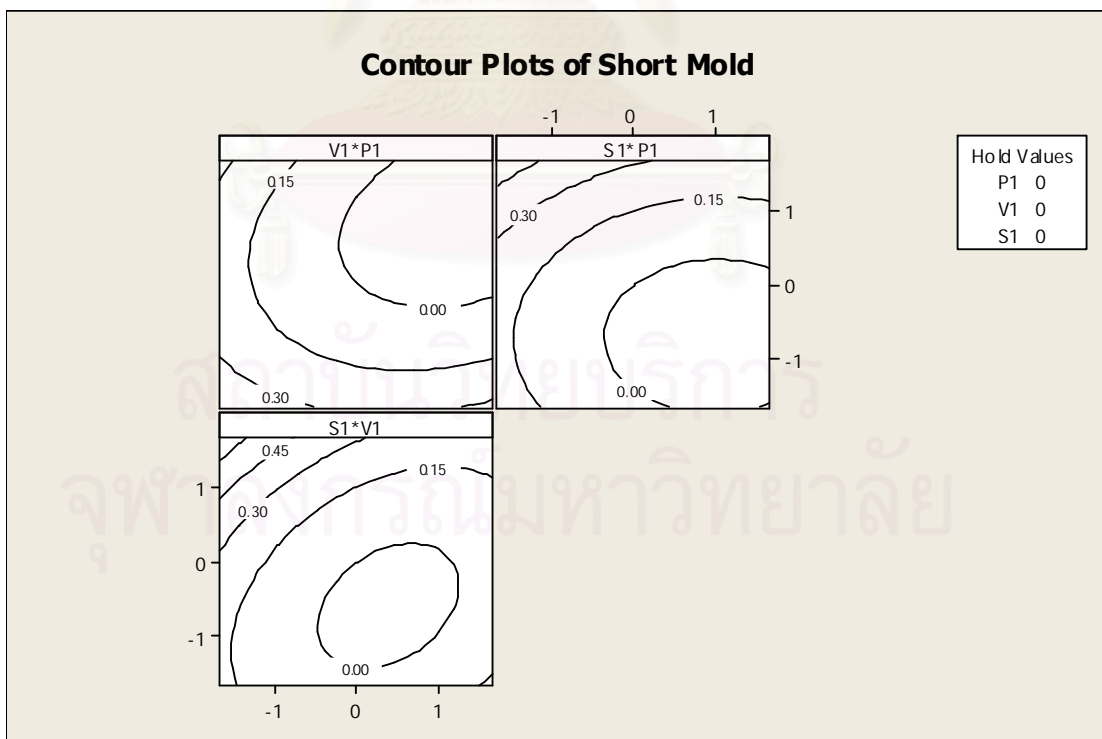


รูปที่ 7.10 Main Effect Plot ที่มีผลต่อสัดส่วนของเสียเนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)

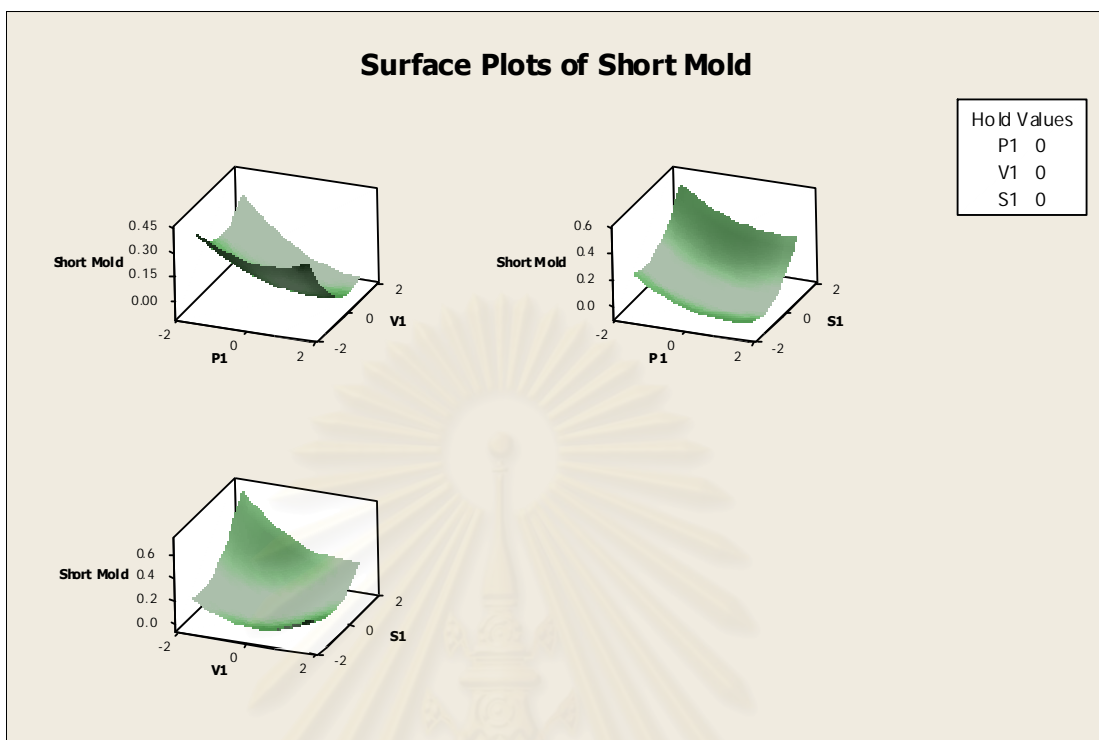
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.11 Interaction Plot ที่มีผลต่อสัดส่วนของเสียเนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)



รูปที่ 7.12 Contour Plot ที่มีผลต่อสัดส่วนของเสียเนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)



รูปที่ 7.13 Surface Plot ที่มีผลต่อสัดส่วนของเสียเนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)

จากรูปที่ 7.9 พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย กับ สัดส่วนของเสียเนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) มีพจน์ของ Second Order ที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนของเสียเนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) เนื่องจากมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 แต่พจน์ของ First Order และพจน์ของอันตรกิริยา ไม่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนของเสียเนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่า 0.05

ซึ่งจะมีพจน์ของ Second Order ของความเร็วฉีด ($V1*V1$) กับ ระยะเวลา ($S1*S1$) ที่มีผลต่อสัดส่วนของเสียเนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) เนื่องจากมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 แต่ปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ ความดันฉีด (P1) ความเร็วฉีด (V1) และ ระยะเวลา (S1) รวมทั้งอันตรกิริยาระหว่าง ความดันฉีด กับ ความเร็วฉีด ($P1*V1$) ความดันฉีด กับ ระยะเวลา ($P1*S1$) และ ความเร็วฉีด กับ ระยะเวลา ($V1*S1$) ไม่มีผลต่อสัดส่วนของเสียเนื่องจากฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) เพราะมีค่า P-Value มากกว่า 0.05

7.8.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองกรณีตัวแปรตอบสนอง คือ ต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) แสดงผลการวิเคราะห์โดยโปรแกรม MINITAB ในรูปที่ 7.14

Response Surface Regression: Total Defective Cost versus P1, V1, S1

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Total Defective Cost

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	14.3619	5.42629	2.647	0.024
P1	-0.2269	0.10829	-2.096	0.063
V1	-0.0716	0.04710	-1.521	0.159
S1	-2.2266	1.08289	-2.056	0.067
P1*P1	0.0026	0.00078	3.385	0.007
V1*V1	0.0008	0.00020	4.270	0.002
S1*S1	0.3220	0.07816	4.120	0.002
P1*V1	0.0001	0.00052	0.208	0.839
P1*S1	-0.0135	0.01049	-1.284	0.228
V1*S1	-0.0071	0.00524	-1.353	0.206

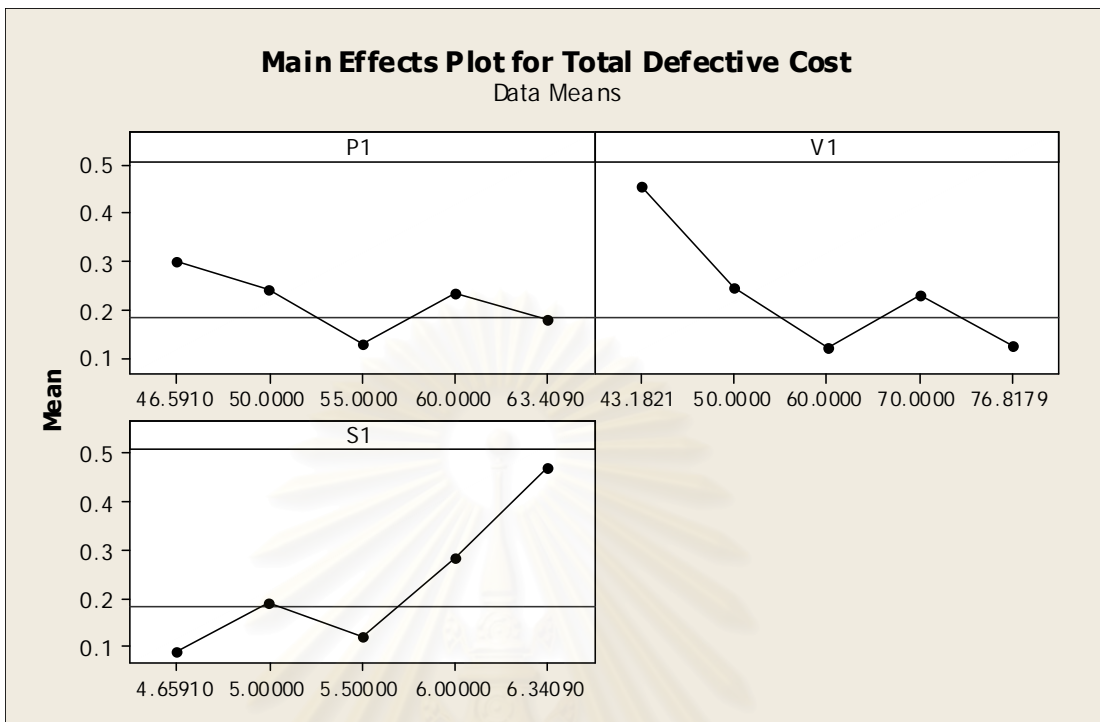
S = 0.0741751 PRESS = 0.420423
R-Sq = 86.15% R-Sq(pred) = 0.00% R-Sq(adj) = 73.68%

Analysis of Variance for Total Defective Cost

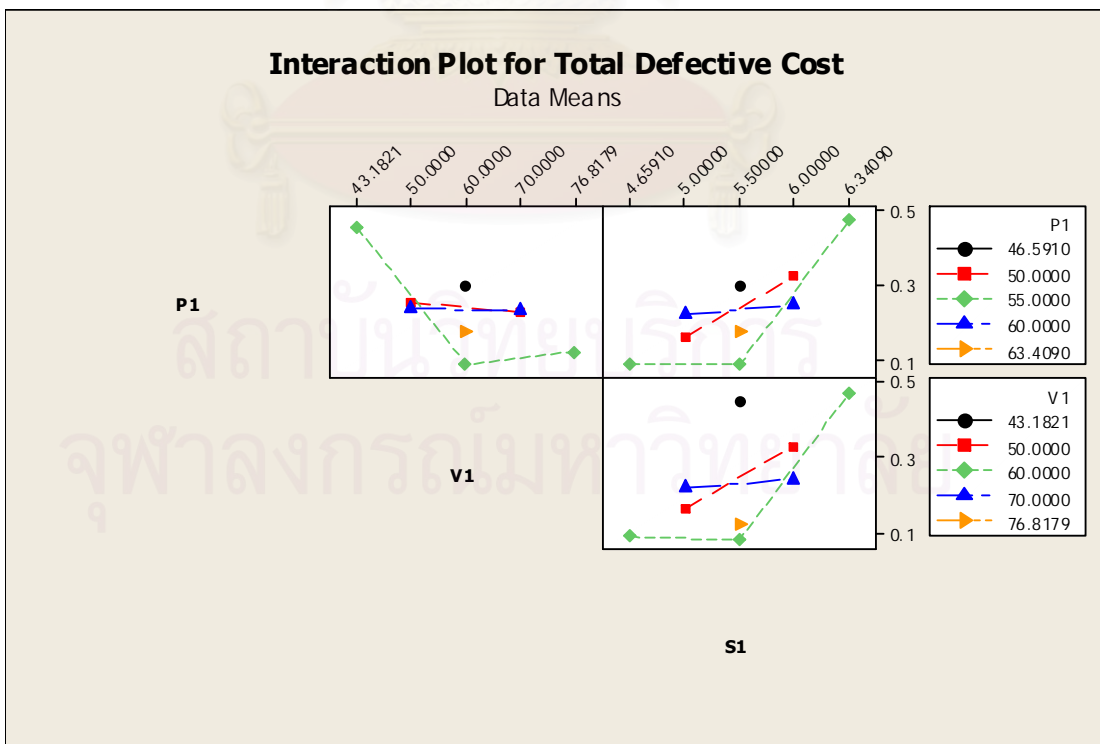
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	0.342138	0.342138	0.038015	6.91	0.003
Linear	3	0.107888	0.039513	0.013171	2.39	0.129
Square	3	0.214871	0.214871	0.071624	13.02	0.001
Interaction	3	0.019379	0.019379	0.006460	1.17	0.368
Residual Error	10	0.055019	0.055019	0.005502		
Lack-of-Fit	5	0.054766	0.054766	0.010953	216.50	0.000
Pure Error	5	0.000253	0.000253	0.000051		
Total	19	0.397158				

รูปที่ 7.14 ผลการวิเคราะห์การทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตกรณีตัวแปรตอบสนอง คือ ต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost)

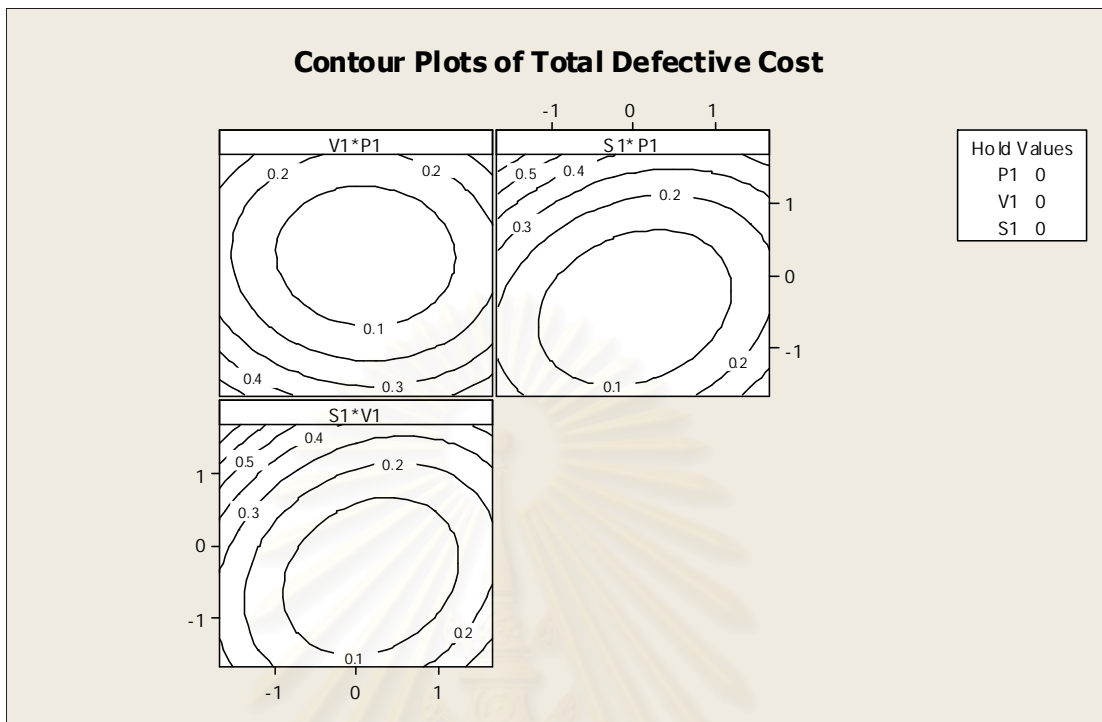
เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ หรือ R-Sq (adj) มีค่า 73.68 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าความผันแปรจำนวน 73.68 เปอร์เซ็นต์ สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอยที่ได้จากการวิเคราะห์ นั่นคือ ตัวแบบถดถอยนี้มีความน่าเชื่อถือเพียงพอที่จะนำไปใช้ในการพยากรณ์ต่างๆ ได้ การวิเคราะห์ Main Effect Plot, Interaction Plot, Contour Plot และ Surface Plot ของต้นทุนของเสียรวม (Total Cost) เนื่องจากครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) แสดงในรูปที่ 7.15 ถึงรูปที่ 7.18 ตามลำดับ



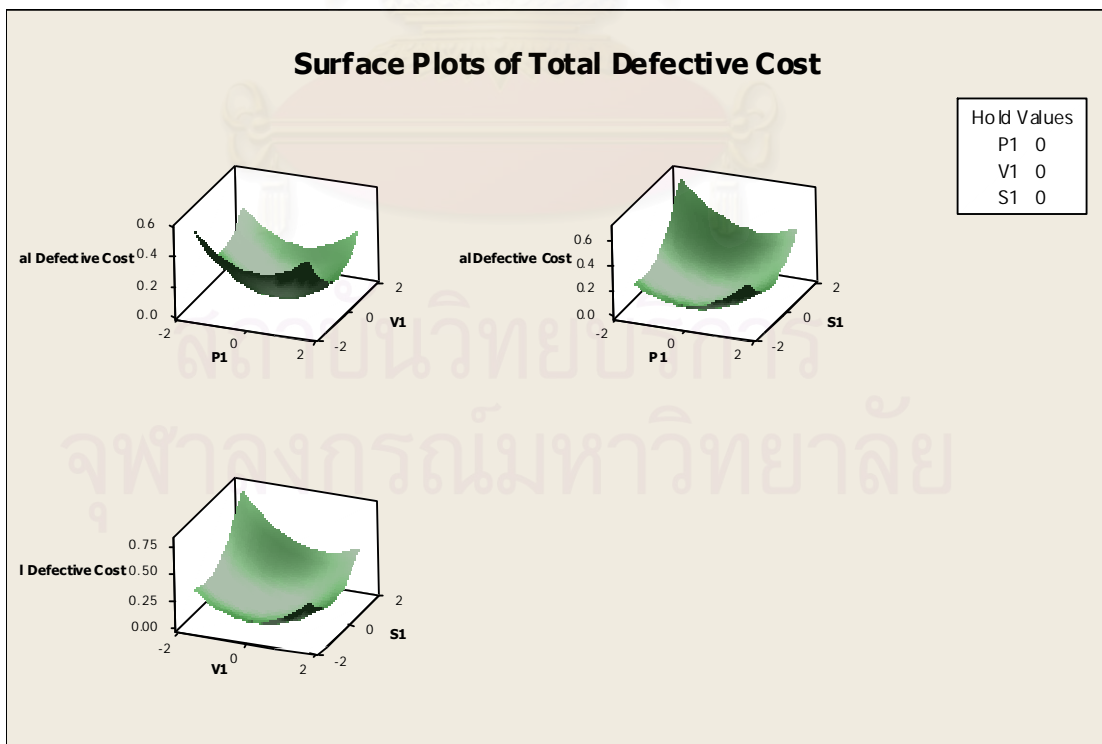
รูปที่ 7.15 Main Effect Plot ที่มีผลต่อต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่องชนิดกริบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)



รูปที่ 7.16 Interaction Plot ที่มีผลต่อต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่องชนิดกริบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)



รูปที่ 7.17 Contour Plot ที่มีผลต่อต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่องชนิด ครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)



รูปที่ 7.18 Surface Plot ที่มีผลต่อต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่องชนิด ครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)

จากรูปที่ 7.14 พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย กับ ต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) เนื่องจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) พบว่ามีพจน์ของ Second Order ที่มีนัยสำคัญต่อต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) เนื่องจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) เพราะมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 แต่พจน์ First Order และพจน์ของอันตรกิริยา ไม่มีนัยสำคัญต่อต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) เนื่องจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) เพราะมีค่า P-Value มากกว่า 0.05

ซึ่งมีพจน์ของ Second Order ของความดันฉีด ($P1*P1$) ความเร็วฉีด ($V1*V1$) และระยะย่ำ ($S1*S1$) ที่มีผลต่อต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) เพราะมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 แต่ปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ ความดันฉีด (P1) ความเร็วฉีด (V1) และ ระยะย่ำ (S1) กับอันตรกิริยาระหว่าง ความดันฉีด กับ ความเร็วฉีด ($P1*V1$) ความดันฉีด กับ ระยะย่ำ ($P1*S1$) และความเร็วฉีด กับ ระยะย่ำ ($V1*S1$) ที่ไม่มีผลต่อต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) เพราะมีค่า P-Value มากกว่า 0.05

7.9 การหาค่าเงื่อนไขที่เหมาะสม

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนของเสียที่เกิดจากกระบวนการแก้ไขตัดแต่ง ครีป (Finishing Process) ของข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และต้นทุนจากการทำลายชิ้นงานทั้ง จากข้อบกพร่องชนิดงานฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ดังนั้น การวิเคราะห์เพื่อหาค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้ง 3 ปัจจัย จึงพิจารณาที่ตัวแปรตอบสนองที่เป็นต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ของข้อบกพร่องดังกล่าว โดยมีรายละเอียดดังนี้

7.9.1 ตัวแบบถดถอย

จากข้อมูลที่ได้และผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในรูปที่ 7.14 นำทอมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความดันฉีด (Injection Pressure) ความเร็วฉีด (Injection Velocity) และระยะย่ำ (Holding Position) มาหาความสัมพันธ์เพื่อหาตัวแบบถดถอยของเทอมของปัจจัยที่มีนัยสำคัญดังกล่าว ผลลัพธ์ของการใช้โปรแกรม MINITAB วิเคราะห์ตัวแบบถดถอยโดยวิธีของ Stepwise ได้ผลลัพธ์ ดังนี้

Stepwise Regression: Total Defective Cost versus P1, V1, ...								
Alpha-to-Enter: 0.15 Alpha-to-Remove: 0.15								
Response is Total Defective Cost on 9 predictors, with N = 20								
Step	1	2	3	4	5	6	7	8
Constant	0.37326	-0.05525	7.61463	15.20358	15.20358	14.41399	18.07	20.42
P1	-0.0034	-0.0034	-0.0034	-0.2580	-0.2580	-0.2850	-0.294	-0.294
T-Value	-0.43	-0.47	-0.51	-1.92	-2.01	-3.11	-3.47	-3.35
P-Value	0.672	0.644	0.619	0.074	0.064	0.008	0.005	0.005
S1*S1		0.0141	0.2679	0.2888	0.2888	0.3134	0.322	0.322
T-Value		2.12	2.05	2.37	2.48	3.77	4.17	4.04
P-Value		0.049	0.058	0.032	0.026	0.002	0.001	0.001
S1			-2.80	-3.03	-2.98	-2.44	-2.97	-3.39
T-Value			-1.94	-2.25	-2.32	-2.64	-3.28	-3.87
P-Value			0.070	0.040	0.036	0.020	0.007	0.002
P1*P1				0.00231	0.00231	0.00256	0.00265	0.00265
T-Value				1.90	1.99	3.07	3.43	3.32
P-Value				0.077	0.067	0.009	0.005	0.006
V1*S1					-0.00086	-0.01426	-0.0071	
T-Value					-1.57	-4.03	-1.37	
P-Value					0.138	0.001	0.195	
V1*V1						0.00062	0.00083	0.00083
T-Value						3.81	4.33	4.19
P-Value						0.002	0.001	0.001
V1							-0.066	-0.105
T-Value							-1.79	-4.36
P-Value							0.099	0.001
S	0.148	0.135	0.125	0.116	0.111	0.0791	0.0732	0.0757
R-Sq	1.02	21.71	36.62	48.89	56.57	79.50	83.80	81.27
R-Sq(adj)	0.00	12.50	24.74	35.26	41.07	70.04	74.36	72.62
Mallows Cp	55.4	42.5	33.7	26.9	23.3	8.8	7.7	7.5

รูปที่ 7.19 ผลลัพธ์การหาตัวแบบถดถอยจากวิธีของ Stepwise โดยใช้โปรแกรม MINITAB

จากผลลัพธ์ที่แสดงโดยใช้โปรแกรม MINITAB โดยวิธีของ Stepwise ที่แสดงในรูปที่ 7.19 สามารถแสดงเป็นตัวแบบถดถอยได้ดังนี้

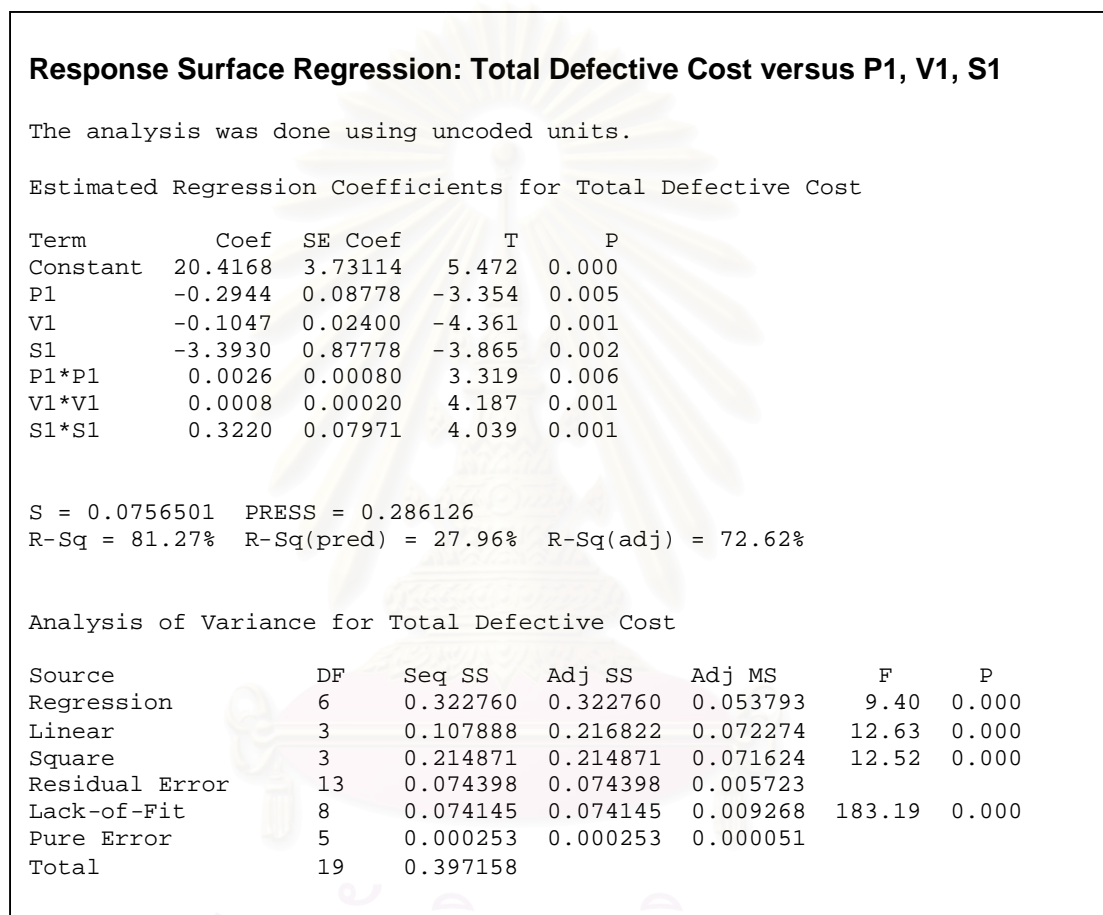
$$\text{Total Defective Cost} = 20.42 - 0.294 (P1) - 0.105 (V1) - 3.39 (S1) + 0.00265 (P1)^2 + 0.00083 (V1)^2 + 0.322 (S1)^2$$

เมื่อ

Total Defective Cost	คือ	ต้นทุนของเสียรวมต่อหน่วยเวลาที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)
P1	คือ	ความดันฉีด (Injection Pressure)
V1	คือ	ความเร็วฉีด (Injection Velocity)
S1	คือ	ระยะย่ำ (Holding Position)

7.9.2 การทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย

การทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอยจะใช้หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 7.20



รูปที่ 7.20 ผลการวิเคราะห์การทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแบบถดถอย พบว่า ค่า P-Value ของตัวแบบถดถอยมีค่าน้อยกว่า 0.05 สรุปได้ว่าเทอมของตัวแปรอิสระภายในตัวแบบถดถอยมีความสามารถในการอธิบายความผันแปรที่เกิดขึ้นในตัวแปรตอบสนองได้ และจากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ หรือ R-Sq (adj) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 72.62% นั่นคือ ความผันแปรจำนวน 72.62 เปอร์เซ็นต์ สามารถอธิบายด้วยตัวแปรแบบถดถอยที่ได้จากการวิเคราะห์ซึ่งเพียงพอที่จะนำไปใช้ในการพยากรณ์ต่างๆตามที่ต้องการ

7.9.3 ค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลอง

จากตัวแบบถดถอยข้างต้นสามารถพยากรณ์หาระดับที่เหมาะสมสำหรับการปรับค่าปัจจัยที่มีนัยสำคัญเพื่อให้ต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) มีค่าต่ำที่สุด โดยผู้วิจัยจะกำหนดให้เป้าหมายของต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ลดลง 50 เปอร์เซ็นต์จากต้นทุนของเสียในปัจจุบัน ดังนั้นต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) สำหรับทดสอบโดยใช้โปรแกรม MINITAB จะมีค่าดังแสดงในตารางที่ 7.5

ตารางที่ 7.5 ข้อมูลต้นทุนของเสียที่ใช้ทดสอบโดยโปรแกรม MINITAB

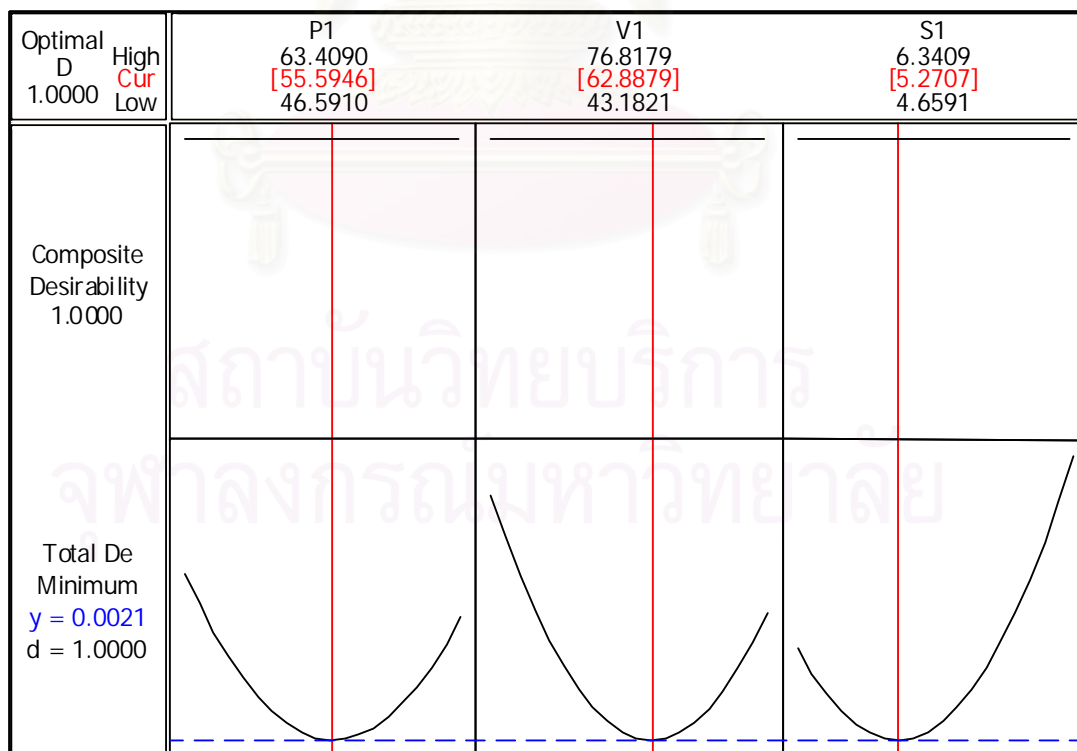
เป้าหมายต้นทุนรวม	ต้นทุนของเสีย (บาท)		ต้นทุนของเสีย รวม (บาท)
	ครีบ	ฉีดไม่เต็ม	
Upper	0.54	1.20	1.74
Lower	0.27	0.60	0.87

จากนั้นนำค่าของต้นทุนของเสียในตารางที่ 7.5 มาใช้เพื่อวิเคราะห์หาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ ความดันฉีด (Injection Pressure: P1) ความเร็วฉีด (Injection Velocity: V1) และระยะย่ำ (Holding Position: S1) โดยใช้โปรแกรม MINITAB ได้ผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้ง 3 ปัจจัย แสดงในรูปที่ 7.21 และแสดงในรูปของกราฟแสดงจุดต่ำสุดของต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ในรูปที่ 7.22

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Response Optimization						
Parameters						
	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Total Defect	Minimum	0.87	0.87	1.74	1	1
Global Solution						
P1	=	55.5946				
V1	=	62.8879				
S1	=	5.27066				
Predicted Responses						
Total Defect	=	0.0021067	,	desirability =	1.000000	
Composite Desirability = 1.000000						

รูปที่ 7.21 ผลลัพธ์แสดงค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมโดยใช้โปรแกรม MINITAB



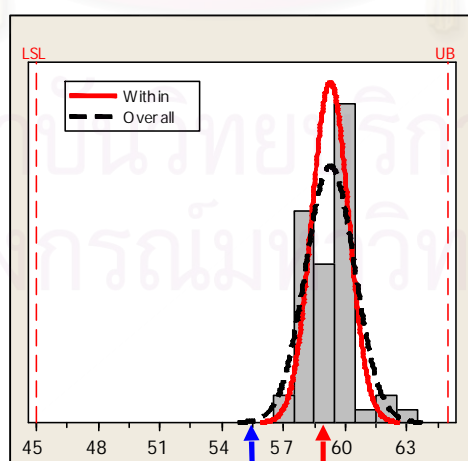
รูปที่ 7.22 กราฟแสดงจุดต่ำสุดของต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost)

จากรูปที่ 7.21 และรูปที่ 7.22 สรุประดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญได้
 ดังแสดงในตารางที่ 7.6 แต่เครื่องฉีดที่ใช้ทดลองสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ได้ละเอียดที่สุดที่
 ทศนิยม 1 ตำแหน่ง ดังนั้นค่าที่ปรับได้จริงจึงมีค่าสรุปดังแสดงในตารางที่ 7.6

ตารางที่ 7.6 ค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่าที่เหมาะสม	ค่าที่ปรับจริง	หน่วย
ความดันฉีด (Injection Pressure)	P1	55.5946	55.6	Mpa
ความเร็วฉีด (Injection Velocity)	V1	62.8879	62.9	mm./sec.
ระยะย่ำ (Holding Position)	S1	5.2707	5.3	mm.

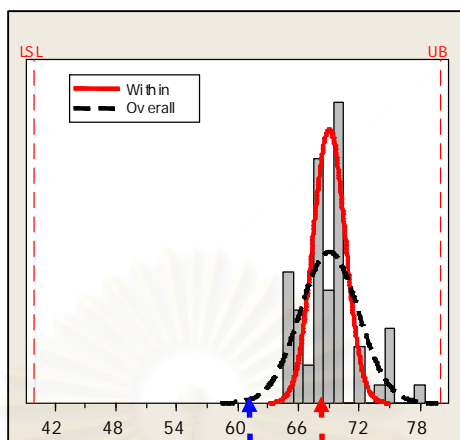
เมื่อพิจารณาทั้ง 3 ปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญพร้อมกันในการดำเนินการ พบว่า ต้นทุนของ
 เสียรวม (Total Defective Cost) ที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์
 (Short Mold) มีค่าต่ำที่สุดที่เหมาะสม คือ 0.0021 บาท/หน่วยการผลิต เมื่อกำหนดให้ความดันฉีด
 (Injection Pressure) มีค่า 55.6 Mpa ความเร็วฉีด (Injection Velocity) มีค่า 62.9 mm./sec. และระยะ
 ย่ำ (Holding Position) มีค่า 5.3 mm. ทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่าตอบสนองที่ต้องการ คือ ต้นทุนของเสียรวม
 (Total Defective Cost) ที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)
 มีค่าต่ำที่สุด โดยแสดงการเปรียบเทียบระดับของพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญ คือ ความดันฉีด ความเร็ว
 ฉีด และระยะย่ำ ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการดังรูปที่ 7.23 - รูปที่ 7.25 ตามลำดับ



หลังปรับปรุงกระบวนการ = 55.6 Mpa

ก่อนปรับปรุงกระบวนการ = 59.3 Mpa

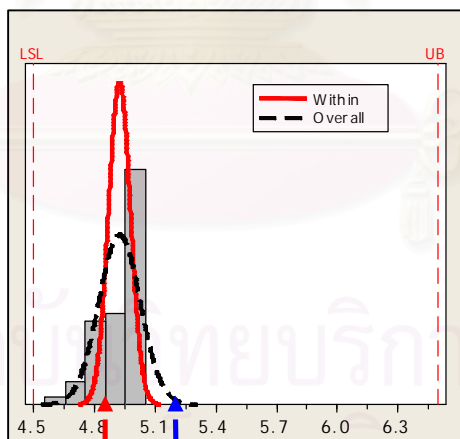
รูปที่ 7.23 แสดงค่าความดันฉีด (Injection Pressure) ก่อนและหลังปรับปรุง



หลังปรับปรุงกระบวนการ = 62.9 mm./sec.

ก่อนปรับปรุงกระบวนการ = 69.1 mm./sec

รูปที่ 7.24 แสดงค่าความเร็วฉีด (Injection Velocity) ก่อนและหลังปรับปรุง



ก่อนปรับปรุงกระบวนการ = 4.9 mm.

หลังปรับปรุงกระบวนการ = 5.3 mm.

รูปที่ 7.25 แสดงค่าระยะย่ำ (Holding Position) ก่อนและหลังปรับปรุง

จากผลลัพธ์ของสภาวะการฉีดที่เหมาะสมสำหรับปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้ง 3 ปัจจัยดังกล่าว ทำให้ทราบว่าข้อกำหนดสภาวะการฉีดที่จะทำให้ต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) มีค่าต่ำสุด คือ การกำหนดสภาวะการฉีดให้มีแนวโน้มไปในทิศทางที่จะเกิดข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) โดยที่จะไม่เกิดข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) เลย เนื่องมาจากต้นทุนค่าจ้างแก้ไขข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) โดยกระบวนการตัดแต่งครีบ (Finishing Process) มีค่าต่ำกว่าต้นทุนจากการทำลายชิ้นงานทิ้งจากข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)

เมื่อทดลองฉีด โดยการกำหนดสภาวะการฉีดตามระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้ง 3 ปัจจัยดังกล่าว พบว่า ชิ้นงานที่ฉีดได้เป็นชิ้นงานที่มีครีบ (Flash) แต่ขนาดความสูงของครีบ (Flash) อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้เมื่อเปรียบเทียบกับ Limit Sample จึงถือว่าชิ้นงานดังกล่าวเป็นชิ้นงานดี และไม่จำเป็นต้องแก้ไข โดยการตัดแต่งครีบ (Finishing Process) เนื่องจากเมื่อนำไปประกอบกับชิ้นส่วนโลหะ (Contact) แล้วไม่ทำให้ชิ้นส่วนโลหะ (Contact) เกยหรือติดตัวขึ้นมา และคอนเนคเตอร์ยังสามารถเชื่อมต่อกระแสไฟฟ้าได้อย่างปกติโดยไม่มีผลต่อการใช้งานของลูกค้ำ

แต่ถึงอย่างไรระดับของปัจจัยที่เหมาะสมดังกล่าวมีโอกาสเปลี่ยนแปลง เนื่องจากเครื่องฉีดหยุดทำงานและระดับที่เหมาะสมที่ได้กำหนดไว้ของพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญทั้ง 3 ปัจจัยเปลี่ยนไป โดยลดระดับต่ำลงจนถึงระดับของสภาวะการฉีดที่ไม่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้เกิดข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ได้ ดังนั้น ทีมงานวิจัยจึงเสนอให้เพิ่มวิธีการพ่นลม (Air Jet) ใสบริเวณหน้าแม่พิมพ์ระหว่างกระบวนการฉีดพลาสติก เพื่อช่วยลดจำนวนครั้งการหยุดการทำงาน of เครื่องฉีด เพราะการพ่นลม (Air Jet) ใสน้ำแม่พิมพ์จะช่วยลดการติดค้างของชิ้นงานที่บริเวณหน้าแม่พิมพ์ หรือช่วยลดการสะสมของเศษพลาสติกที่บริเวณหน้าแม่พิมพ์ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เครื่องฉีดหยุดการทำงาน

7.10 สรุปผลขั้นตอนการปรับปรุง

ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการนี้เป็นการนำปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญจากขั้นตอนการวิเคราะห์ทั้ง 3 ปัจจัย มาทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับของแต่ละปัจจัยที่เหมาะสม โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบมีส่วนประสมกลางที่เพิ่มจุดศูนย์กลาง (Central Composite

Design; CCD) เนื่องจากผู้วิจัยประเมินว่ารูปแบบของการทดลองมีลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) จึงทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการแบบมีส่วนประสมกลางที่เพิ่มลักษณะกำลังสอง (Second Order) จากผลการทดลอง พบว่า ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความดันฉีด (Injection Pressure) มีค่า 55.5946 Mpa ความเร็วฉีด (Injection Velocity) มีค่า 62.8879 mm./sec. และระยะย่ำ (Holding Position) มีค่า 5.2707 mm. และทำให้ค่าตัวแปรตอบสนอง คือ ต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) มีค่าต่ำที่สุดที่เหมาะสม คือ 0.0021 บาท/หน่วยการผลิต

สถานการณ์ฉีดตามค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้ง 3 ปัจจัย พบว่า จะทำชิ้นงานเป็นครีบ (Flash) อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ ดังนั้น ชิ้นงานดังกล่าวจึงเป็นงานดี และไม่ต้องแก้ไขด้วยกระบวนการตัดแต่งครีบ (Finishing Process) โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชิ้นงาน จากนั้นทีมงานวิจัยเสนอให้เพิ่มวิธีการพ่นลม (Air Jet) ไล่บริเวณหน้าแม่พิมพ์ระหว่างกระบวนการฉีดพลาสติกเพื่อป้องกันการหยุดทำงานของเครื่องฉีดเพราะมีชิ้นงานค้าง หรือมีเศษพลาสติกติดสะสมที่หน้าแม่พิมพ์ ซึ่งการหยุดทำงานของเครื่องฉีดจะทำให้ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญดังกล่าวเปลี่ยนไปอยู่ในสถานการณ์ฉีดที่ไม่เหมาะสม และเป็นสาเหตุการเกิดข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short mold) ได้

บทที่ 8

การทดสอบเพื่อยืนยันผล

8.1 บทนำ

บทนี้เป็นการทดสอบเพื่อยืนยันผลสรุปจากบทที่ 7 ของค่าปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้ง 3 ปัจจัย โดยจะแบ่งการทดสอบเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่เพิ่มวิธีการพ่นลมใส่แม่พิมพ์ระหว่างกระบวนการฉีด (Air Jet) และกรณีที่ไม่มีเพิ่มวิธีการพ่นลมใส่แม่พิมพ์ระหว่างกระบวนการฉีด (Air Jet) แต่ยังคงปรับค่าปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้ง 3 ปัจจัยตามค่าที่กำหนดไว้ ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบว่าต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ลดลงหรือไม่

8.2 ขั้นตอนการทดสอบเพื่อยืนยันผล

8.2.1 จุดประสงค์ของการทดสอบ

เพื่อศึกษาค่าของต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) หลังจากปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 กรณี ได้แก่

กรณีที่ 1 ทดสอบโดยควบคุมค่าของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความดันฉีด (Injection Pressure) ความเร็วฉีด (Injection Velocity) และระยะย่ำ (Holding Position) ตามข้อสรุปในบทที่ 7 และเพิ่มวิธีการพ่นลม (Air Jet) ใส่หน้าแม่พิมพ์ระหว่างกระบวนการฉีด

กรณีที่ 2 ทดสอบโดยควบคุมค่าของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความดันฉีด (Injection Pressure) ความเร็วฉีด (Injection Velocity) และระยะย่ำ (Holding Position) ตามข้อสรุปในบทที่ 7 แต่ยกเลิกวิธีการพ่นลม (Air Jet) ใส่หน้าแม่พิมพ์ระหว่างกระบวนการฉีด

8.2.2 การเตรียมการทดลอง

กรณีที่ 1 ทำการทดลองที่สภาพการปฏิบัติงานจริงของกระบวนการผลิต ซึ่งทำการปรับค่าปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 3 ปัจจัย ตามค่าที่ได้กำหนดไว้ตามข้อมูลในตารางที่ 7.6 และเพิ่มวิธีการเป่าลมใส่หน้าแม่พิมพ์ (Air Jet) จากการเก็บข้อมูลของขนาดตัวอย่างทั้งหมด 11 ลีต ที่ผลิตในระหว่างวันที่ 3 – 14 มีนาคม พ.ศ. 2551 ซึ่งการทดสอบเพื่อยืนยันผลนี้ใช้พนักงานทีมเดียวกันกับพนักงานที่ใช้ในขั้นตอนการปรับปรุง

กรณีที่ 2 ทำการทดลองที่สภาพการปฏิบัติงานจริงของกระบวนการผลิต ซึ่งทำการปรับค่าปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 3 ปัจจัย ตามค่าที่ได้กำหนดไว้ตามข้อมูลในตารางที่ 7.6 แต่ยกเลิกวิธีการเป่าลมใส่หน้าแม่พิมพ์ (Air Jet) จากการเก็บข้อมูลของขนาดตัวอย่างทั้งหมด 10 ลีต ที่ผลิตในระหว่างวันที่ 2 – 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2551 ซึ่งการทดสอบเพื่อยืนยันผลนี้จะใช้พนักงานทีมเดียวกันกับพนักงานที่ใช้ในขั้นตอนการปรับปรุง

8.2.3 ขั้นตอนในการทดลอง

เก็บข้อมูลสัดส่วนของเสีย (PPM) จากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) จากกระบวนการฉีดพลาสติกในแต่ละกรณีที่กำหนด และบันทึกผล จากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)

8.2.4 ผลการทดลอง

กรณีที่ 1 ปรับค่าปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ ความดันฉีด ความเร็วฉีด และระยะย้าย ตามค่าที่ได้สรุปไว้ในตารางที่ 7.6 และเพิ่มวิธีการเป่าลมใส่หน้าแม่พิมพ์ (Air Jet) ผลลัพธ์การทดลองเปรียบเทียบระหว่าง 2 ช่วงเวลา ได้แก่

1. ก่อนการปรับปรุง เป็นข้อมูลระหว่างเดือนธันวาคม - กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 ซึ่งแสดงข้อมูลไว้ในภาคผนวกก.1 - ภาคผนวกก.3 โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ ความดันฉีด มีค่า 59.3 Mpa ความเร็วฉีด มีค่า 69.1 mm./sec. และระยะย้าย มีค่า 4.9 mm. โดยไม่มีวิธีการเป่าลม (Air Jet) ใส่แม่พิมพ์

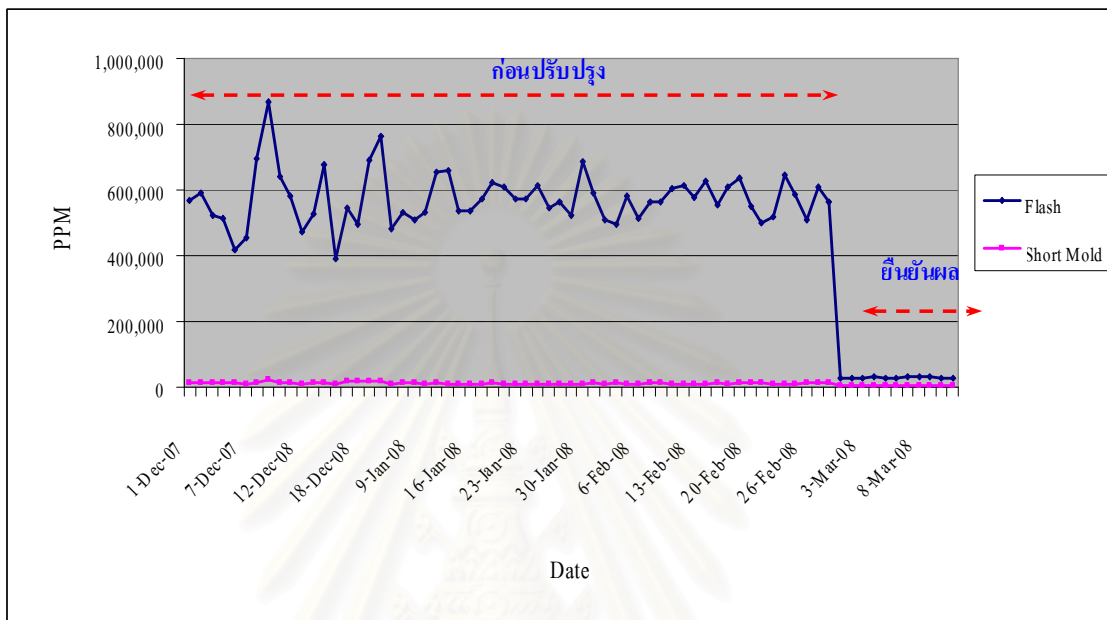
2. หลังการปรับปรุง เป็นข้อมูลระหว่างวันที่ 3 – 14 มีนาคม พ.ศ. 2551 เป็นจำนวน 11 ล็อต ซึ่งกำหนดค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ ความดันฉีด มีค่า 55.6 Mpa ความเร็วฉีด มีค่า 62.9 mm./sec. และระยะย่ำ มีค่า 5.3 mm. และเพิ่มวิธีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet) แสดงข้อมูลในตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 สัดส่วนของเสีย และ ต้นทุนของเสียรวมหลังการปรับปรุงกระบวนการ
กรณีเพิ่มวิธีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet)

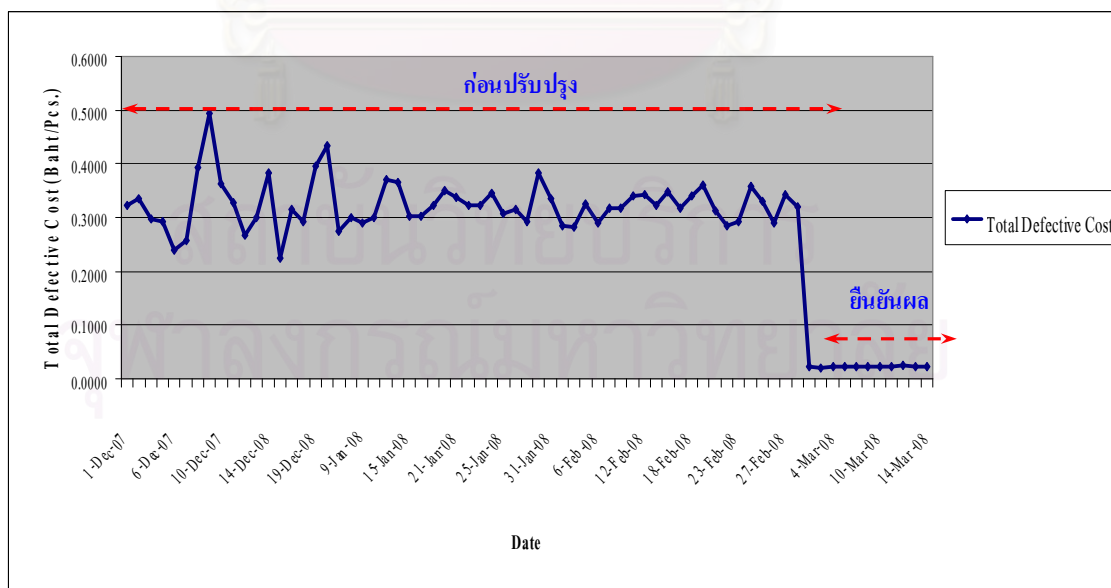
วันที่	หลังปรับปรุงกระบวนการ					
	จำนวน ผลิต	จำนวน ชิ้นงานที่ เป็นครีบ	สัดส่วน ของเสีย (PPM)	จำนวน ชิ้นงานที่ ฉีดไม่เต็ม แม่พิมพ์	สัดส่วน ของเสีย (PPM)	ต้นทุนของเสียรวม (บาท/ชิ้น)
3-Mar-08	18,500	539	29,135	90	4,865	0.0216
4-Mar-08	15,780	446	28,264	81	5,133	0.0214
5-Mar-08	17,800	506	28,427	99	5,562	0.0220
6-Mar-08	16,420	494	30,085	101	6,151	0.0236
7-Mar-08	18,470	539	29,182	90	4,873	0.0216
8-Mar-08	15,771	455	28,850	84	5,326	0.0220
10-Mar-08	16,370	502	30,666	78	4,765	0.0223
11-Mar-08	18,430	549	29,788	119	6,457	0.0238
12-Mar-08	17,490	545	31,161	107	6,118	0.0242
13-Mar-08	18,352	527	28,716	104	5,667	0.0223
14-Mar-08	18,570	523	28,164	103	5,547	0.0219
เฉลี่ย	191,953	5,625	29,304	1,056	5,501	0.0224

เพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนยิ่งขึ้นจึงนำข้อมูลจากภาคผนวกก.1-ภาคผนวกก.3 และตารางที่ 8.1 มาแสดงในรูปของกราฟ โดยเปรียบเทียบสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ ดังแสดงในรูปที่ 8.1 และเปรียบเทียบต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิด

ครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ก่อนและหลังปรับปรุงการกระบวนการ ดังแสดงในรูปที่ 8.2



รูปที่ 8.1 เปรียบเทียบสัดส่วนของเสียระหว่างช่วงก่อนปรับปรุงกระบวนการ และช่วงยืนยันผล กรณีเพิ่มวิธีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet)



รูปที่ 8.2 เปรียบเทียบต้นทุนของเสีย ระหว่างช่วงก่อนปรับปรุงกระบวนการ และช่วงยืนยันผล กรณีเพิ่มวิธีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet)

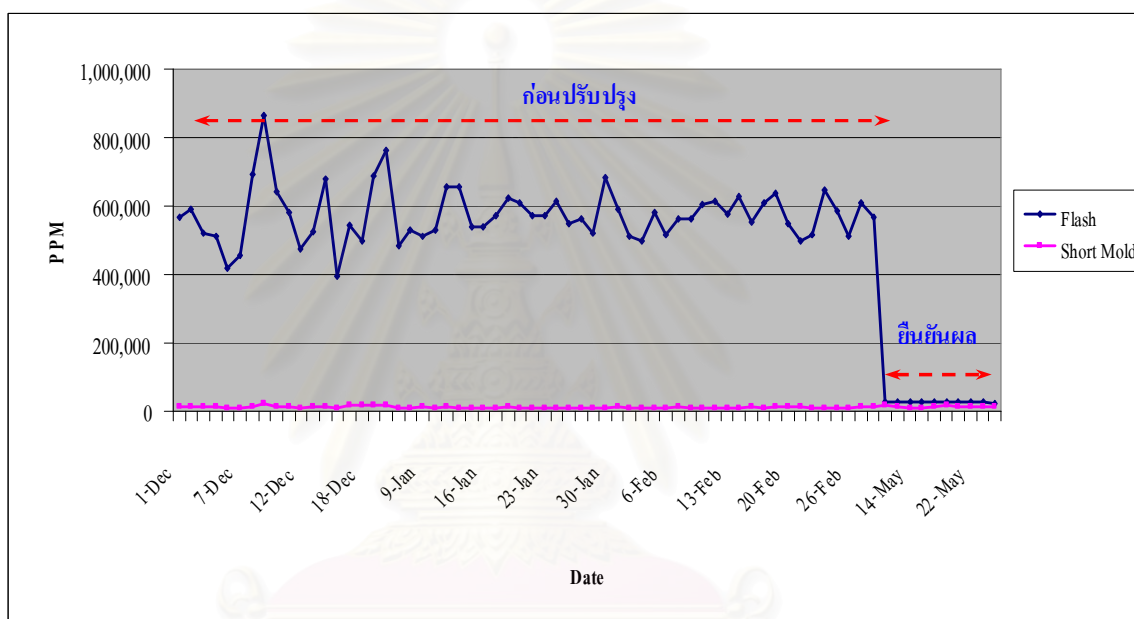
กรณีที่ 2 ปรับค่าปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ ความดันฉีด ความเร็วฉีด และระยะยำ ตามค่าที่ได้สรุปไว้ในตารางที่ 7.6 แต่ยกเลิกรูปการเป่าลมใส่หน้าแม่พิมพ์ (Air Jet) ผลลัพธ์การทดลองเปรียบเทียบระหว่าง 2 ช่วงเวลา ได้แก่

1. ก่อนการปรับปรุง เป็นข้อมูลระหว่างเดือนธันวาคม - กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 ซึ่งแสดงข้อมูลในภาคผนวกก.1 - ภาคผนวกก.3 โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ ความดันฉีด 59.3 Mpa ความเร็วฉีด 69.1 mm./sec. และระยะยำ 4.9 mm. โดยไม่มีวิธีการพ่นลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet)
2. หลังการปรับปรุง เป็นข้อมูลระหว่างวันที่ 12 – 24 พฤษภาคม พ.ศ. 2551 เป็นจำนวน 10 ล็อต โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ ความดันฉีด 55.6 Mpa ความเร็วฉีด 62.9 mm./sec. ระยะยำ 5.3 mm. โดยไม่มีวิธีการพ่นลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet) ซึ่งแสดงข้อมูลในตารางที่ 8.2.

ตารางที่ 8.2 สัดส่วนของเสีย และ ต้นทุนของเสียรวมหลังการปรับปรุงกระบวนการ กรณีไม่มีวิธีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet)

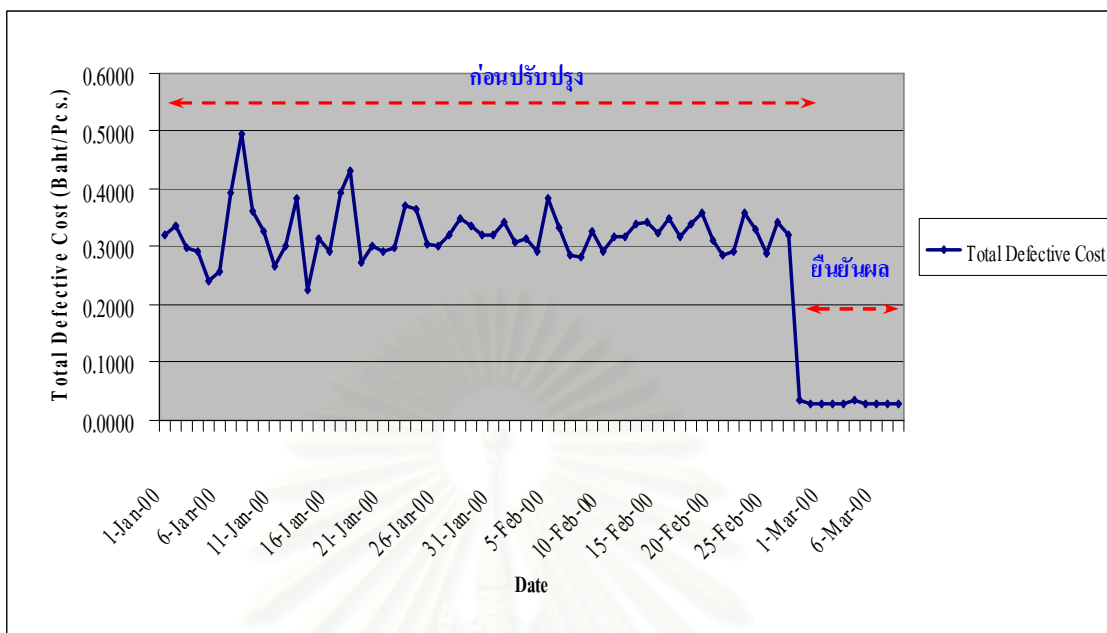
วันที่	หลังปรับปรุงกระบวนการ					
	จำนวนผลิต	จำนวนชิ้นงานที่เป็นครีป	สัดส่วนของเสีย (PPM)	จำนวนชิ้นงานที่ฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์	สัดส่วนของเสีย (PPM)	ต้นทุนของเสียรวม (บาท/ชิ้น)
12-May-08	10,000	282	28,200	176	17,600	0.0363
13-May-08	15,500	398	25677	199	12,839	0.0293
14-May-08	14,500	401	27655	154	10,621	0.0277
15-May-08	14,000	385	27500	161	11,500	0.0287
16-May-08	15,500	420	27097	192	12,387	0.0295
20-May-08	11,000	304	27636	187	17,000	0.0355
21-May-08	14,500	416	28690	174	12,000	0.0299
22-May-08	14,500	386	26621	188	12,966	0.0299
23-May-08	13,500	362	26815	158	11,704	0.0285
24-May-08	13,500	341	25,259	167	12,370	0.0285
เฉลี่ย	136,500	3,695	27,069	1,756	12,864	0.0301

เพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนยิ่งขึ้นจึงนำข้อมูลจากภาคผนวกก.1-ภาคผนวกก.3 และตารางที่ 8.2 มาแสดงในรูปของกราฟ โดยเปรียบเทียบสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และสัดส่วนข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ ดังแสดงในรูปที่ 8.3 และเปรียบเทียบต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ ดังแสดงในรูปที่ 8.4



รูปที่ 8.3 เปรียบเทียบสัดส่วนของเสียระหว่างช่วงก่อนปรับปรุงกระบวนการและช่วงสิ้นสุดผลการฉีดไม่มีวิธีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 8.4 เปรียบเทียบต้นทุนของเสียรวมระหว่างช่วงก่อนปรับปรุงกระบวนการ และช่วงยืนยันผล กรณีไม่มีวิธีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet)

8.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบเพื่อยืนยันผล แบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่

กรณีที่ 1 ปรับค่าของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 3 ปัจจัย ตามค่าที่ได้กำหนด และเพิ่มวิธีการพ่นลมใส่บริเวณหน้าแม่พิมพ์ (Air Jet)

จากข้อมูลในภาคผนวกก.1 - ภาคผนวกก.3 และตารางที่ 4.4 ซึ่งเป็นระยะก่อนปรับปรุงกระบวนการมีส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) เท่ากับ 565,399 PPM และ 11,720 PPM ตามลำดับ เมื่อพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 8.1 ซึ่งเป็นข้อมูลหลังจากปรับปรุงกระบวนการโดยกำหนดค่าปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความดันฉีด (Injection Pressure) ความเร็วฉีด (Injection Velocity) และระยะขั้ว (Holding Position) ให้เหมาะสม และเพิ่มวิธีการพ่นลม (Air Jet) ใส่แม่พิมพ์ พบว่า ส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) เท่ากับ 29,304 PPM และ 5,501 PPM ตามลำดับ แสดงว่าการปรับปรุงกระบวนการฉีดพลาสติกดังกล่าวสามารถลดปริมาณของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ได้จริง

เมื่อพิจารณาต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ก่อนการปรับปรุงกระบวนการ มีค่า 0.3194 บาท/ชิ้น เมื่อพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 8.1 ซึ่งเป็นข้อมูลหลังปรับปรุงกระบวนการโดยการกำหนดค่าปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความดันฉีด (Injection Pressure) ความเร็วฉีด (Injection Velocity) และระยะย่ำ (Holding Position) ให้เหมาะสม และเพิ่มวิธีการพ่นลม (Air Jet) ใต้มแม่พิมพ์ พบว่า ต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) มีค่าเท่ากับ 0.0224 บาท/ชิ้น แสดงว่าการปรับปรุงกระบวนการฉีดพลาสติกดังกล่าวสามารถลดต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ได้จริง

กรณีที่ 2 ปรับค่าของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 3 ปัจจัย ตามค่าที่ได้กำหนด แต่ยกเลิกวิธีการพ่นลมใต้มแม่พิมพ์ (Air Jet)

จากข้อมูลในภาคผนวกก.1 – ภาคผนวกก.3 และตารางที่ 4.4 ซึ่งเป็นระยะก่อนปรับปรุงกระบวนการ มีสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) เท่ากับ 565,399 PPM และ 11,720 PPM ตามลำดับ เมื่อพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 8.2 ซึ่งเป็นข้อมูลหลังจากปรับปรุงกระบวนการโดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความดันฉีด (Injection Pressure) ความเร็วฉีด (Injection Velocity) และระยะย่ำ (Holding Position) ให้เหมาะสม แต่ยกเลิกวิธีการพ่นลม (Air Jet) ใต้มแม่พิมพ์ พบว่า สัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) เท่ากับ 27,070 PPM และ 12,864 PPM ตามลำดับ แสดงว่าการปรับปรุงกระบวนการฉีดพลาสติกดังกล่าวสามารถลดปริมาณของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) ได้ แต่ไม่สามารถลดปริมาณของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ได้

เมื่อพิจารณาต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ก่อนการปรับปรุงกระบวนการ มีค่า 0.3194 บาท/ชิ้น เมื่อพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 8.2 ซึ่งเป็นข้อมูลหลังจากปรับปรุงกระบวนการการกำหนดค่าปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความดันฉีด (Injection Pressure) ความเร็วฉีด (Injection Velocity) และระยะย่ำ (Holding Position) ให้เหมาะสม แต่ยกเลิกวิธีการพ่นลม (Air Jet) ใต้มแม่พิมพ์ พบว่า ต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash)

และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) มีค่าเท่ากับ 0.0301 บาท/ชิ้น แสดงว่าการปรับปรุงกระบวนการฉีดพลาสติกดังกล่าวสามารถลดต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ได้จริงเช่นกัน

8.4 สรุปผลขั้นตอนการทดสอบเพื่อยืนยันผล

ขั้นตอนการทดสอบเพื่อยืนยันผล พบว่า การกำหนดสถานะของปัจจัยที่มีนัยสำคัญทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ ความดันฉีด (Injection Pressure) ที่ระดับ 55.6 Mpa ความเร็วฉีด (Injection Velocity) ที่ระดับ 62.9 mm./sec. และระยะย่ำ (Holding Position) ที่ระดับ 5.3 mm. และการเพิ่มวิธีการพ่นลม (Air Jet) ใส่แม่พิมพ์ สามารถลดปริมาณของเสียจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) ได้ 94.82 เปอร์เซ็นต์ และลดปริมาณของเสียจากข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ได้ 53.06 เปอร์เซ็นต์ โดยทำให้ต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ลดลงจาก 0.3194 บาท/ชิ้น เป็น 0.0224 บาท/ชิ้น แสดงว่าการกำหนดสถานะดังกล่าวมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริง

เมื่อพิจารณาเพียงการกำหนดสถานะของปัจจัยที่มีนัยสำคัญทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ ความดันฉีด (Injection Pressure) ที่ระดับ 55.6 Mpa ความเร็วฉีด (Injection Velocity) ที่ระดับ 62.9 mm./sec. และระยะย่ำ (Holding Position) ที่ระดับ 5.3 mm. แต่ยกเลิกวิธีการพ่นลม (Air Jet) ใส่แม่พิมพ์ พบว่า สามารถลดปริมาณของเสียจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) ได้ 95.21 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่สามารถลดปริมาณของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ได้ แต่เมื่อพิจารณาเกี่ยวกับต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) พบว่า ลดลงจากก่อนปรับปรุงกระบวนการที่มีค่า 0.3194 บาท/ชิ้น เป็น 0.0301 บาท/ชิ้น แสดงว่าการกำหนดสถานะดังกล่าวยังมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงเช่นกัน

บทที่ 9

การควบคุมกระบวนการผลิต

9.1 บทนำ

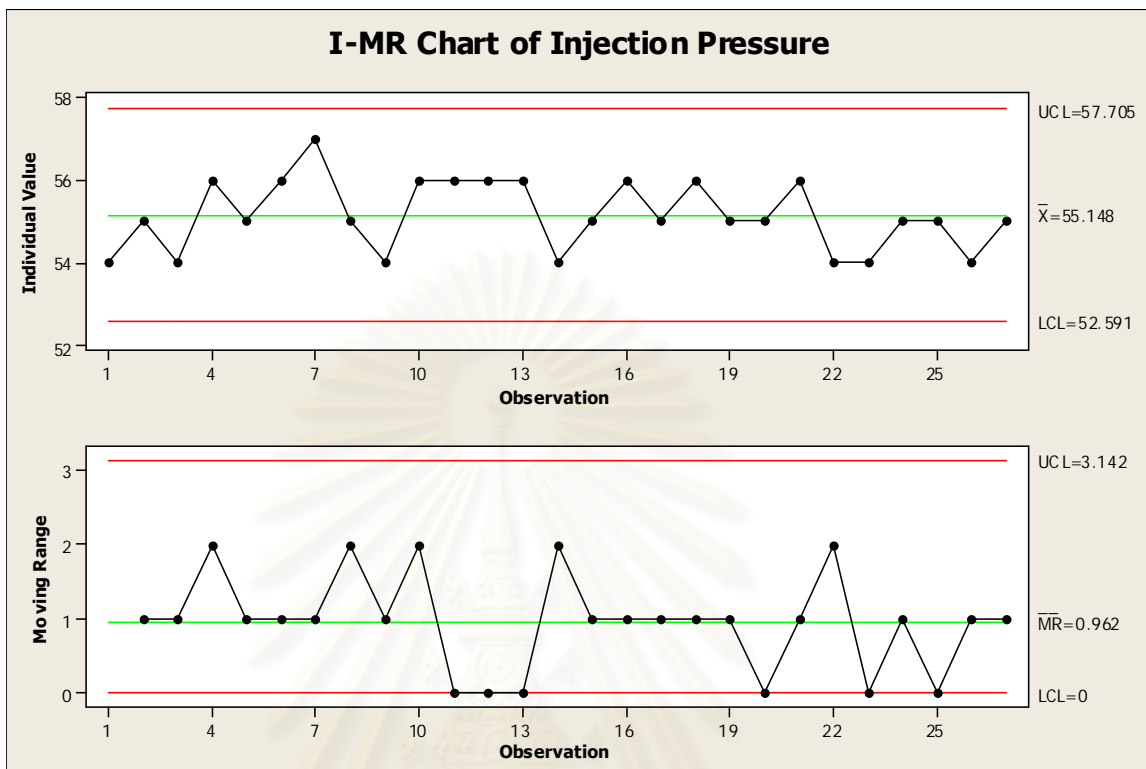
การควบคุมกระบวนการผลิตที่จะกล่าวในบทนี้ เป็นขั้นตอนสุดท้ายในวิธีการ ซิกซ์ ซิกมา เพื่อจุดประสงค์ในการตรวจสอบและควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่ได้จากการวิเคราะห์ผล และได้ทดสอบเพื่อยืนยันผลการสรุปเรียบร้อยแล้ว ได้แก่ ความดันฉีด (Injection Pressure) ความเร็วฉีด (Injection Velocity) และระยะย่ำ (Holding Position) โดยนำความรู้และเครื่องมือเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพมาประยุกต์ใช้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

9.2 แผนการควบคุม

ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่พิจารณาในการกำหนดแผนภูมิควบคุม ได้แก่ ความดันฉีด (Injection Pressure) ความเร็วฉีด (Injection Velocity) และระยะย่ำ (Holding Position) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

9.2.1 ความดันฉีด (Injection Pressure)

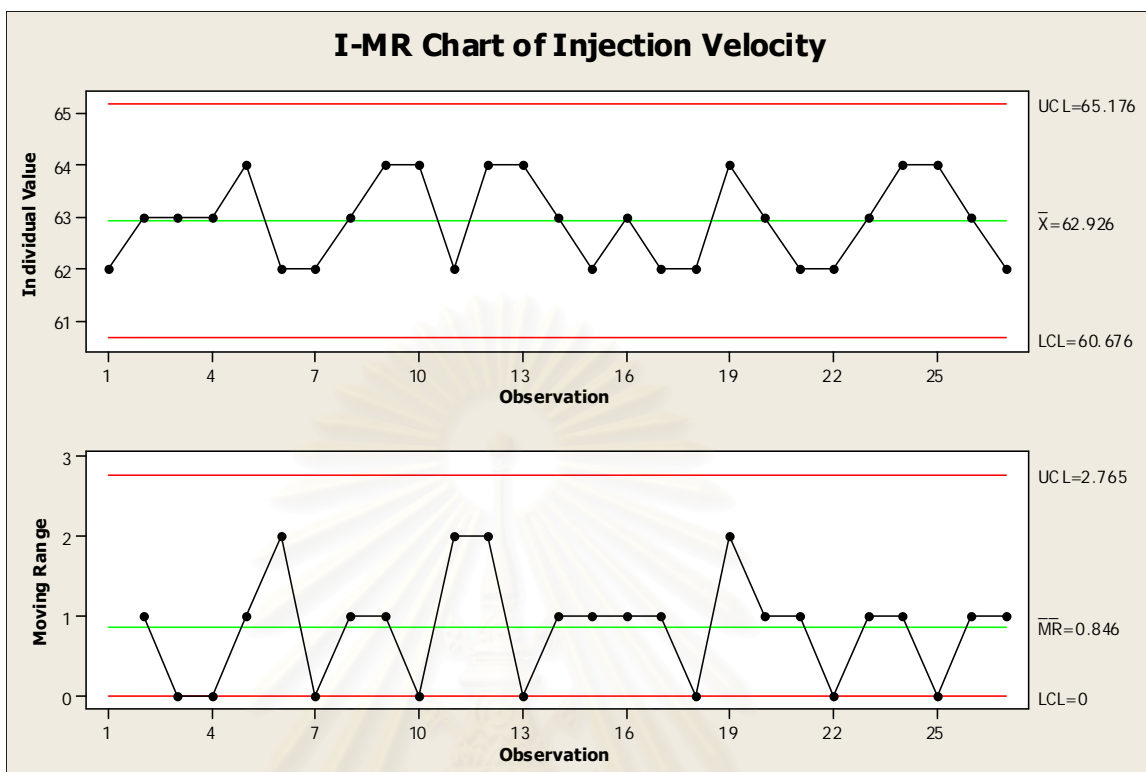
จากขั้นตอนการปรับปรุงพบว่าค่าความดันฉีด (Injection Pressure) ที่เหมาะสมที่จะทำให้ต้นทุนของเสียเนื่องจากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) มีค่าต่ำที่สุด คือ 55.6 Mpa โดยค่าความดันฉีดสามารถปรับตั้งได้ที่ตัวเครื่องฉีด และแสดงผลตัวเลขของความดันฉีดทางหน้าจอแสดงผล ดังนั้นแผนการตรวจสอบของค่าความดันฉีดจะทำโดยให้พนักงานควบคุมเครื่องฉีด (Machine Control) ที่ดูแลทำการตรวจสอบค่าระดับของความดันฉีดที่แสดงผลทางหน้าจอและทำการบันทึกค่าลงในแผ่นรายการตรวจสอบ (แสดงในภาคผนวก ข) เป็นประจำทุก 4 ชั่วโมง โดยขอบเขตในการควบคุมระดับของความดันฉีดได้ประยุกต์ใช้แผนภูมิ I-MR เพื่อหาขอบเขตในการควบคุม ซึ่งทำการเก็บข้อมูลในการสร้างแผนภูมิเพื่อกำหนดขอบเขตควบคุมเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ดังแสดงในรูปที่ 9.1



รูปที่ 9.1 แผนภูมิ I-MR ช่วงการสร้างแผนภูมิกวควบคุมของปัจจัยความดันฉีด (Injection Pressure)

9.2.2 ความเร็วฉีด (Injection Velocity)

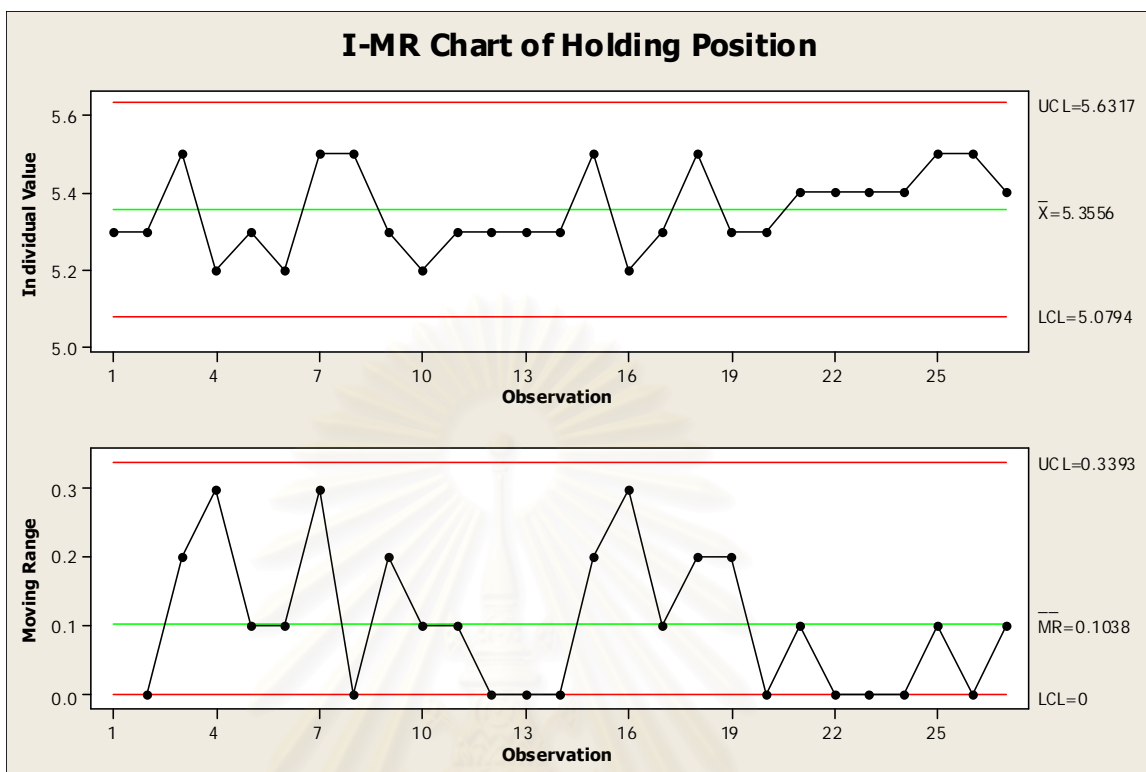
จากขั้นตอนการปรับปรุงพบว่าค่าความเร็วฉีด (Injection Velocity) ที่เหมาะสมที่จะทำให้ต้นทุนของเสียเนื่องจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) มีค่าต่ำที่สุด คือ 62.9 mm./sec. โดยค่าความเร็วฉีดสามารถปรับตั้งได้ที่ตัวเครื่องฉีด และแสดงผลตัวเลขของความดันฉีดทางหน้าจอแสดงผล ดังนั้นแผนการตรวจสอบของค่าความเร็วฉีดจะทำโดยให้พนักงานควบคุมเครื่องฉีด (Machine Control) ที่ดูแลทำการตรวจสอบค่าระดับของความเร็วฉีดที่แสดงผลทางหน้าจอและทำการบันทึกค่าลงในแผ่นรายการตรวจสอบ (แสดงในภาคผนวก ข) เป็นประจำทุก 4 ชั่วโมง โดยขอบเขตในการควบคุมระดับของความเร็วฉีดได้ประยุกต์ใช้แผนภูมิ I-MR เพื่อหาขอบเขตในการควบคุม ซึ่งทำการเก็บข้อมูลในการสร้างแผนภูมิเพื่อกำหนดขอบเขตควบคุมเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ดังแสดงในรูปที่ 9.2



รูปที่ 9.2 แผนภูมิ I-MR ช่วงการสร้างแผนภูมิกควบคุมของปัจจัยความเร็วฉีด (Injection Velocity)

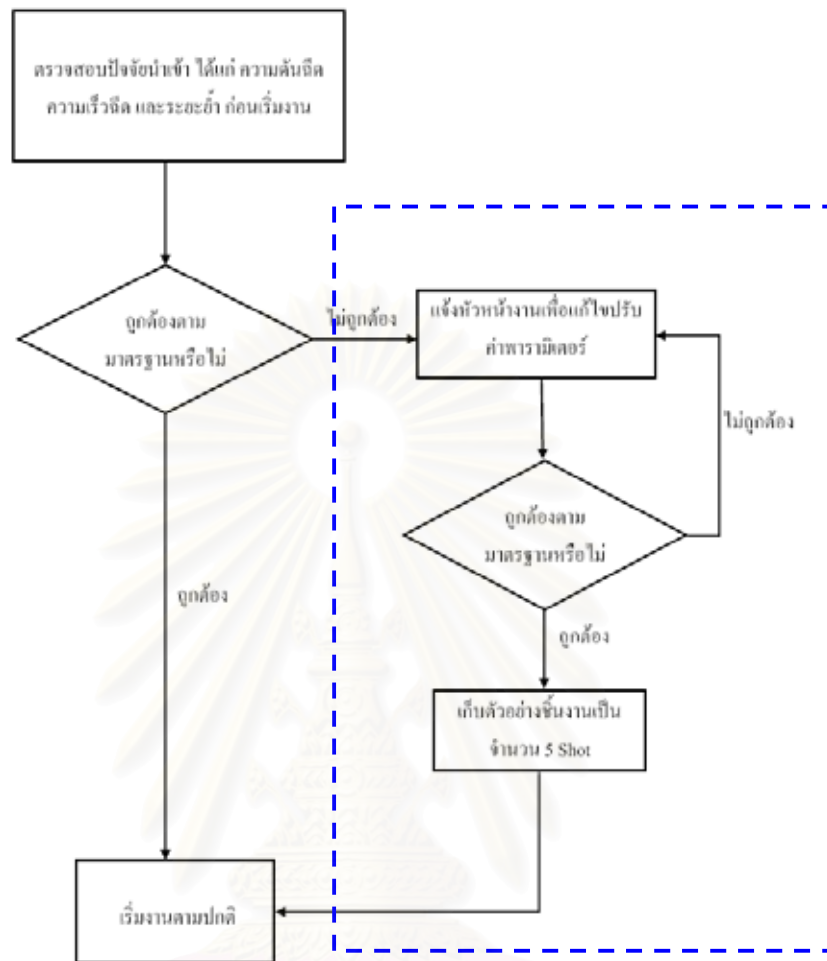
9.2.3 ระยะเวลา (Holding Position)

จากขั้นตอนการปรับปรุงพบว่าค่าระยะเวลา (Holding Position) ที่เหมาะสมที่จะทำให้ต้นทุนของเสียเนื่องจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) มีค่าต่ำที่สุดคือ 5.3 mm. โดยค่าระยะเวลาสามารถปรับตั้งได้ที่ตัวเครื่องฉีด และแสดงผลตัวเลขของความดันฉีดทางหน้าจอแสดงผล ดังนั้นแผนการตรวจสอบของค่าระยะเวลายังจะทำโดยให้พนักงานควบคุมเครื่องฉีด (Machine Technician) ที่ดูแลทำการตรวจสอบค่าระดับของระยะเวลายังที่แสดงผลทางหน้าจอและทำการบันทึกค่าลงในแผ่นรายการตรวจสอบ (แสดงในภาคผนวก ข) เป็นประจำทุก 4 ชั่วโมง โดยขอบเขตในการควบคุมระดับของระยะเวลายังได้ประยุกต์ใช้แผนภูมิ I-MR เพื่อหาขอบเขตในการควบคุม ซึ่งทำการเก็บข้อมูลในการสร้างแผนภูมิเพื่อกำหนดขอบเขตควบคุมเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ดังแสดงในรูปที่ 9.3



รูปที่ 9.3 แผนภูมิ I-MR ช่วงการสร้างแผนภูมิควบคุมของปัจจัยระยะย่ำ (Holding Position)

หลังจากพิจารณาแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แผนภูมิควบคุม พบว่า ความดันฉีด (Injection Pressure) มีขอบเขตควบคุมล่างและบนเป็น 52.591 และ 57.705 Mpa ตามลำดับ ส่วนความเร็วฉีด (Injection Velocity) มีขอบเขตควบคุมล่างและบนเป็น 60.676 และ 65.176 mm./sec. ตามลำดับ และระยะย่ำ (Holding Position) มีขอบเขตควบคุมล่างและบนเป็น 5.0794 และ 5.6317 mm. ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้จัดทำขั้นตอนในการปฏิบัติการแก้ไขเมื่อมีความผิดพลาดเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ (Out of Control Action Plan; OCAP) แสดงดังรูปที่ 9.4



รูปที่ 9.4 ขั้นตอนการแก้ไขเมื่อปัจจัยนำเข้าไม่เป็นไปตามค่าที่กำหนด

จากรายละเอียดการควบคุมข้างต้นสามารถสรุปแผนควบคุมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 3 ปัจจัย ได้ดังตารางที่ 9.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 9.1 แผนการควบคุมปัจจัยนำเข้า (เฉพาะปัจจัยที่มีนัยสำคัญ)

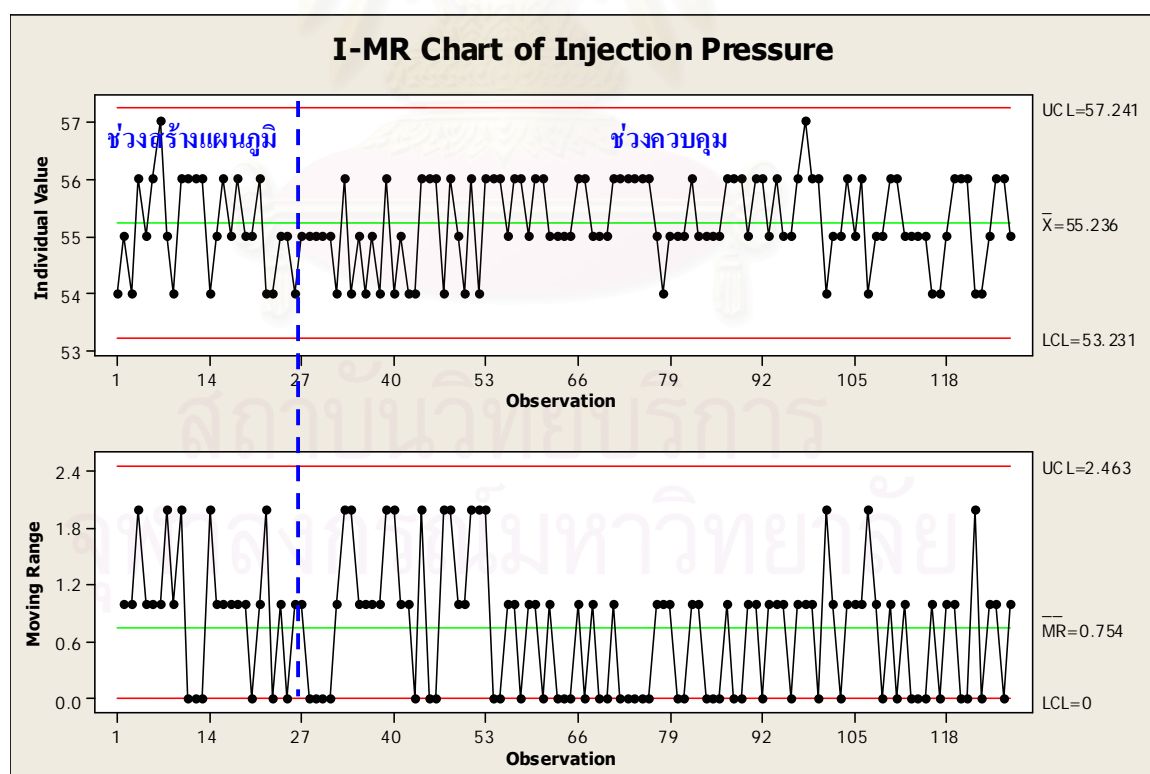
ลำดับ	กระบวนการ	จุดควบคุม	มาตรฐาน	หน่วย	การควบคุม			ผู้รับผิดชอบ	บันทึกคุณภาพ	แผนการแก้ไข
					อ้างอิง	เครื่องมือ	ความถี่			
1	ฉีดพลาสติก	ความดันฉีด (Injection Pressure)	55.6	Mpa	MOC-HD6-008	แผนภูมิควบคุม I-MR	ทุก 4 ชั่วโมง	พนักงานควบคุม เครื่องฉีด	ใบตรวจสอบ พารามิเตอร์	แจ้งหัวหน้างาน
2		ความเร็วฉีด (Injection Velocity)	62.9	mm./sec.	MOC-HD6-008	แผนภูมิควบคุม I-MR	ทุก 4 ชั่วโมง	พนักงานควบคุม เครื่องฉีด	ใบตรวจสอบ พารามิเตอร์	แจ้งหัวหน้างาน
3		ระยะขยับ (Holding Position)	5.3	mm.	MOC-HD6-008	แผนภูมิควบคุม I-MR	ทุก 4 ชั่วโมง	พนักงานควบคุม เครื่องฉีด	ใบตรวจสอบ พารามิเตอร์	แจ้งหัวหน้างาน

9.3 ข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

หลังจากทำการกำหนดแผนการควบคุมปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ปัจจัย จากนั้น นำระดับที่กำหนดของปัจจัยเหล่านั้น ไปทำการผลิตและควบคุมกระบวนการฉีดพลาสติกผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ในเดือน เมษายน พ.ศ. 2551 โดยทำการพิจารณาผลทั้งปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองรายละเอียดดังนี้

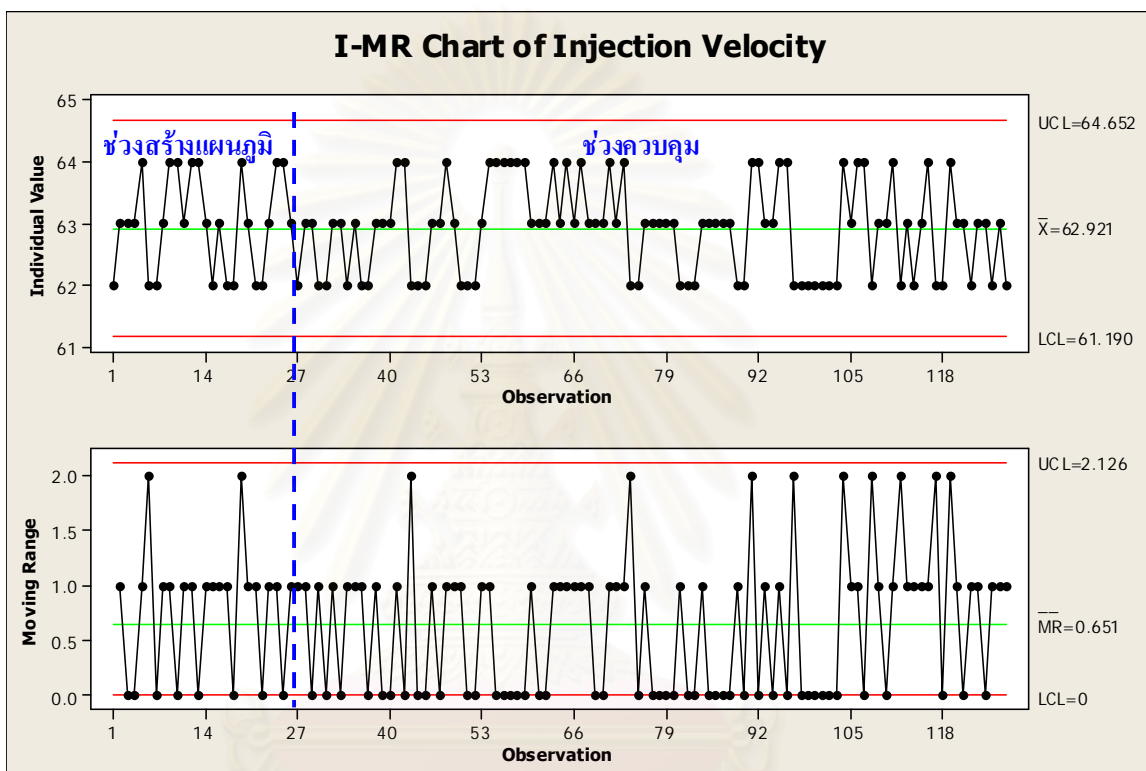
9.3.1 ผลการควบคุมปัจจัยนำเข้า

ผลของความดันฉีด (Injection Pressure) ที่ทำการตรวจสอบโดยพนักงานควบคุมเครื่องจักร (Machine Control) และบันทึกลงในแบบฟอร์ม จากแผนภูมิ I-MR รูปที่ 9.5 พบว่ากระบวนการนี้อยู่ภายใต้การควบคุม และมีค่าเฉลี่ยของความดันฉีด (Injection Pressure) เท่ากับ 55.236 Mpa ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดไว้ที่ 55.6 Mpa



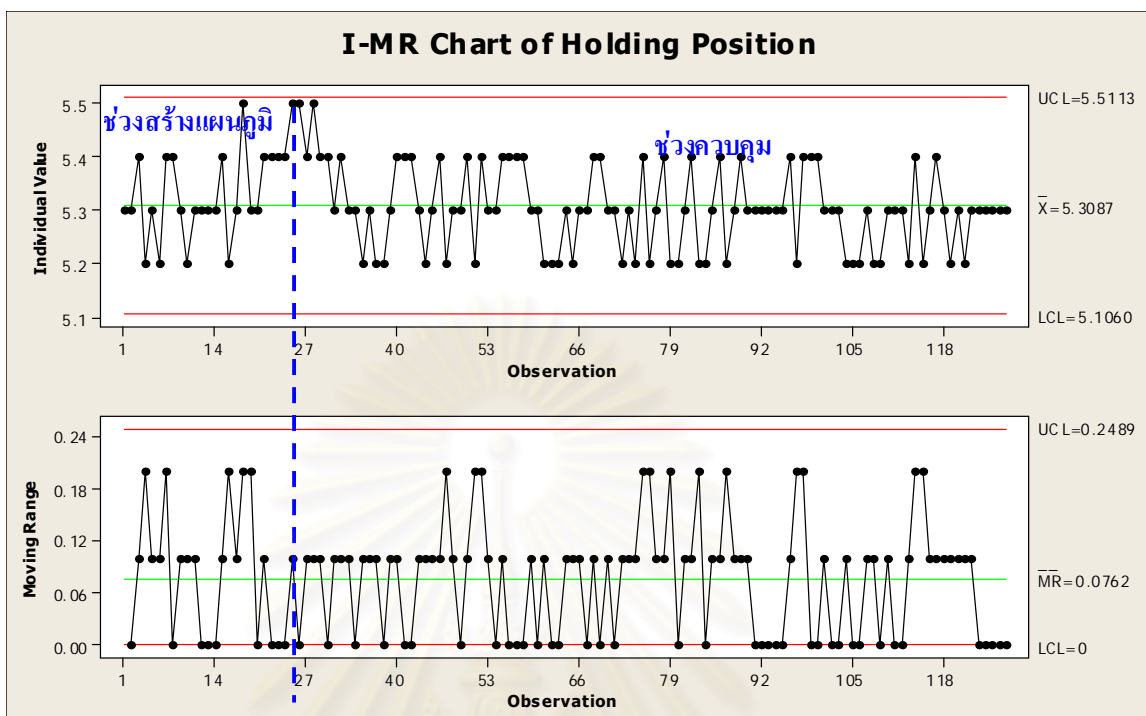
รูปที่ 9.5 แผนภูมิ I-MR แสดงผลของการตรวจสอบความดันฉีด (Injection Pressure)

ผลของความเร็วฉีด (Injection Velocity) ที่ทำการตรวจสอบโดยพนักงานควบคุมเครื่องจักร (Machine Control) และบันทึกลงในแบบฟอร์ม จากแผนภูมิ I-MR รูปที่ 9.6 พบว่ากระบวนการนี้ก็อยู่ภายใต้การควบคุมเช่นเดียวกัน และมีค่าเฉลี่ยของความเร็วฉีด (Injection Velocity) เท่ากับ 62.921 mm./sec. ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ทำการกำหนดไว้ที่ 62.9 mm./sec.



รูปที่ 9.6 แผนภูมิ I-MR แสดงผลของการตรวจสอบความเร็วฉีด (Injection Velocity)

ผลของระยะย้า (Holding Position) ที่ทำการตรวจสอบ โดยพนักงานควบคุมเครื่องจักร (Machine Control) และบันทึกลงในแบบฟอร์ม จากแผนภูมิ I-MR รูปที่ 9.7 พบว่ากระบวนการนี้ก็อยู่ภายใต้การควบคุมเช่นเดียวกัน และมีค่าเฉลี่ยของระยะย้า (Holding Position) เท่ากับ 5.3087 mm. ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ทำการกำหนดไว้ที่ 5.3 mm.



รูปที่ 9.7 แผนภูมิ I-MR แสดงผลของการตรวจสอบระยะย่ำ (Holding Position)

9.3.2 สัดส่วนของเสียหลังการปรับปรุง แบ่งออกเป็น 2 กรณี

9.3.2.1 กรณีเพิ่มวิธีการพ่นลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet)

จากการนำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาแบบ ชิکش ชิγμα สามารถแสดงข้อมูลสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) เปรียบเทียบก่อนการปรับปรุงกระบวนการซึ่งเป็นข้อมูลระหว่างเดือนธันวาคม - กุมภาพันธ์ 2551 แสดงข้อมูลในตารางที่ 4.4 ช่วงทดสอบยืนยันผลซึ่งเป็นข้อมูลตั้งแต่วันที่ 3-14 มีนาคม 2551 แสดงข้อมูลในตารางที่ 8.1 และหลังการปรับปรุงกระบวนการซึ่งเป็นข้อมูลของเดือนเมษายน 2551 แสดงข้อมูลในภาคผนวก 4 ได้แสดงผลลัพธ์แบ่งเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และกรณีข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 9.2 และ 9.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 9.2 วิเคราะห์การปรับปรุงกระบวนการ โดยเพิ่มวิธีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet)

กรณีข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash)

ระยะ	สัดส่วนของ ครีบ	ครีบในหนึ่ง ล้านตัว (PPM)	Long term σ level	Short term σ level	Ppk	Cpk
ก่อนปรับปรุง (Baseline)	0.5654	565,399	0.16	1.66	0.05	0.55
ทดสอบยืนยันผล	0.0293	29,304	1.89	3.39	0.63	1.13
ควบคุม กระบวนการผลิต	0.0275	27,532	1.92	3.42	0.64	1.14

ตารางที่ 9.3 วิเคราะห์การปรับปรุงกระบวนการ โดยเพิ่มวิธีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet)

กรณีข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)

ระยะ	สัดส่วนของ ฉีดไม่เต็ม แม่พิมพ์	ฉีดไม่เต็ม แม่พิมพ์ใน หนึ่งล้านตัว (PPM)	Long term σ level	Short term σ level	Ppk	Cpk
ก่อนปรับปรุง (Baseline)	0.0117	11,720	2.27	3.77	0.76	1.26
ทดสอบยืนยันผล	0.0055	5,501	2.54	4.04	0.85	1.35
ควบคุม กระบวนการผลิต	0.0050	5,003	2.58	4.08	0.86	1.36

จากตารางที่ 9.2 แสดงปริมาณของเสียจากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) ก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต พบว่า ปริมาณของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) ลดลงจาก (Baseline) คือ ในระหว่างเดือนธันวาคม - กุมภาพันธ์ 2551 ที่มีค่า 565,399 PPM เหลือ 27,532 PPM ในเดือนเมษายน 2551 แสดงว่าปริมาณของเสียลดลงจากเดิม 537,867 PPM คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่สามารถลดปริมาณของเสียจากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) ลงได้ 95.13 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 9.3 แสดงปริมาณของเสียจากข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต พบว่า ปริมาณของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่

เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ลดลงจาก (Baseline) คือ ในระหว่างเดือนธันวาคม - กุมภาพันธ์ 2551 ที่มีค่า 11,720 PPM เหลือ 5,003 PPM ในเดือนเมษายน 2551 แสดงว่าปริมาณของเสียลดลงจากเดิมประมาณ 6,717 PPM คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่สามารถลดปริมาณของเสียจากข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ลงได้ 57.31 เปอร์เซ็นต์

9.3.2 กรณีไม่เพิ่มวิธีการพ่นลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet)

เนื่องจากการเพิ่มวิธีเป่าลม (Air Jet) ในบริเวณหน้าแม่พิมพ์ทำให้เกิดข้อบกพร่องชนิดงานกระแทก (Hit Mark) ซึ่งเป็นข้อบกพร่องที่ไม่สามารถแก้ไขได้ และบริษัทกรณีศึกษาถูกลูกค้าร้องเรียนเนื่องจากข้อบกพร่องชนิดงานกระแทก (Hit Mark) ด้วย ทีมงานวิจัยจึงพิจารณาให้วิธีการเป่าลมใส่หน้าแม่พิมพ์ (Air Jet) ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานได้จริง ดังนั้น บริษัทกรณีศึกษาจึงยกเลิกวิธีเป่าลม (Air Jet) ในบริเวณหน้าแม่พิมพ์ตั้งแต่วันที่ 12 พฤษภาคม 2551 ดังแสดงข้อมูลในภาคผนวก 5 แต่ยังคงกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้ง 3 ปัจจัยเหมือนเดิม พบว่า หลังการนำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาแบบ ชิکش ชิครมา สามารถแสดงข้อมูลสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) เปรียบเทียบก่อนการปรับปรุงกระบวนการซึ่งเป็นข้อมูลระหว่างเดือนธันวาคม - กุมภาพันธ์ 2551 ที่แสดงข้อมูลในตารางที่ 4.4 ช่วงทดสอบยืนยันผลเป็นข้อมูลระหว่างวันที่ 12-24 พฤษภาคม 2551 ที่แสดงข้อมูลในภาคผนวก 5 และหลังการปรับปรุงกระบวนการเป็นข้อมูลของเดือนมิถุนายน 2551 ที่แสดงข้อมูลในภาคผนวก 6 ได้ผลลัพธ์แบ่งเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และกรณีข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 9.4 และ 9.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 9.4 วิเคราะห์การปรับปรุงกระบวนการ โดยไม่เพิ่มวิธีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet)
กรณีข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash)

ระยะ	สัดส่วนของครีป	ครีปในหนึ่งล้านตัว (PPM)	Long term σ level	Short term σ level	Ppk	Cpk
ก่อนปรับปรุง (Baseline)	0.5654	565,399	0.16	1.66	0.05	0.55
ทดสอบยืนยันผล	0.0271	27,069	1.93	3.43	0.64	1.14
ควบคุมกระบวนการผลิต	0.0272	27,173	1.92	3.42	0.64	1.14

ตารางที่ 9.5 วิเคราะห์การปรับปรุงกระบวนการ โดยไม่เพิ่มวิธีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet)
กรณีข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)

ระยะ	สัดส่วนของ ฉีดไม่เต็ม แม่พิมพ์	ฉีดไม่เต็ม แม่พิมพ์ใน หนึ่งล้านตัว (PPM)	Long term σ level	Short term σ level	Ppk	Cpk
ก่อนปรับปรุง (Baseline)	0.0117	11,720	2.27	3.77	0.76	1.26
ทดสอบยืนยันผล	0.0129	12,864	2.23	3.73	0.74	1.24
ควบคุม กระบวนการผลิต	0.0122	12,168	2.25	3.75	0.75	1.25

จากตารางที่ 9.4 แสดงปริมาณของเสียจากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) ก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต พบว่า ปริมาณของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) ลดลงจาก (Baseline) คือ ในระหว่างเดือนธันวาคม 2550 - กุมภาพันธ์ 2551 ที่มีค่า 565,399 PPM เหลือ 27,172 PPM ในเดือนมิถุนายน 2551 แสดงว่าปริมาณของเสียลดลงจากเดิม 538,227 PPM คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่สามารถลดปริมาณของเสียจากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) ลงได้ 95.19 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 9.5 แสดงปริมาณของเสียจากข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ พบว่า ปริมาณของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) เพิ่มขึ้นจาก (Baseline) คือ ในระหว่างเดือนธันวาคม 2550 - กุมภาพันธ์ 2551 ที่มีค่า 11,720 PPM เป็น 12,168 PPM ในเดือนมิถุนายน 2551 แสดงว่าการกำหนดสถานะการฉีดตามข้อสรุปในตารางที่ 7.6 และไม่เพิ่มวิธีการเป่าลมใส่หน้าแม่พิมพ์ (Air Jet) ไม่สามารถลดปริมาณของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ได้

9.3.2 ต้นทุนของเสียที่สามารถลดได้

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยฉบับนี้สนใจศึกษาผลลัพธ์การปรับปรุงในรูปของต้นทุนของเสียที่สามารถลดลงได้โดยจะพิจารณาในรูปของต้นทุนของเสียต่อหน่วยของ 3 กรณี ได้แก่ ข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) ข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) และผลรวมของทั้ง 2

ข้อบกพร่อง โดยวิธีการคำนวณต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) อ้างอิงมาจากสมการที่ 7.2 ได้ข้อมูลสรุปดังแสดงในตารางที่ 9.6

ตารางที่ 9.6 ต้นทุนของเสียต่อหน่วยหลังการดำเนินการทางคุณภาพด้วยวิธี ซิกซ์ ซิกมา

หัวข้อ	ครีป	ฉีดไม่เต็ม แม่พิมพ์	รวม 2 ข้อบกพร่อง
ต้นทุนของเสียก่อนการปรับปรุง (บาท/ชิ้น) กรณีไม่มีลมเป่าหน้าแม่พิมพ์ (Air Jet)	0.3053	0.0141	0.3194
ต้นทุนของเสียหลังการปรับปรุง (บาท/ชิ้น) กรณีมีลมเป่าหน้าแม่พิมพ์ (Air Jet)	0.0149	0.0060	0.0209
ต้นทุนของเสียหลังการปรับปรุง (บาท/ชิ้น) กรณีไม่มีลมเป่าหน้าแม่พิมพ์ (Air Jet)	0.0147	0.0146	0.0293

จากตารางที่ 9.6 พบว่า ก่อนทำการปรับปรุงกระบวนการต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) มีค่า 0.3194 บาท/ชิ้น หลังจากปรับปรุงกระบวนการ โดยการกำหนดสถานะของปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ ความดันฉีด (Injection Pressure) ความเร็วฉีด (Injection Velocity) และระยะย่ำ (Holding Position) ให้เหมาะสม และเพิ่มวิธีการเป่าลมใส่หน้าแม่พิมพ์ (Air Jet) ทำให้ต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) มีค่า 0.0209 บาท/ชิ้น แต่พบว่าวิธีการเป่าลมใส่หน้าแม่พิมพ์ (Air Jet) ทำให้เกิดข้อบกพร่องชนิดกระแทก (Hit Mark) และถูกลูกค้าร้องเรียน ดังนั้นทีมงานวิจัยจึงพิจารณาว่าวิธีการนี้ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานจริงได้จึงยกเลิกการเป่าลมใส่หน้าแม่พิมพ์ (Air Jet) แต่ยังคงกำหนดสถานะของปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ปัจจัยเช่นเดิม พบว่า ต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) มีค่า 0.0293 บาท/ชิ้น

9.4 สรุปผลขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต

จากการควบคุมกระบวนการผลิตโดยการกำหนดระดับของปัจจัยที่ได้จากการหาค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสม และทำการควบคุมปัจจัยโดยการประยุกต์ใช้แผนภูมิ I-MR เพื่อหาขอบเขตในการควบคุมสรุปขอบเขตของปัจจัย ดังนี้ ความเร็วฉีด (Injection Pressure) มีขอบเขตควบคุมล่าง

และบนเป็น 52.591 และ 57.705 Mpa ตามลำดับ ความเร็วฉีด (Injection Velocity) มีขอบเขตควบคุมล่างและบนเป็น 60.676 และ 65.176 mm./sec. ตามลำดับ และระยะย้ำ (Holing Position) มีขอบเขตควบคุมล่างและบนเป็น 5.0794 และ 5.6317 mm. ตามลำดับ พบว่า กระบวนการผลิตสามารถควบคุมปัจจัยที่มีนัยสำคัญทั้ง 3 ปัจจัยให้อยู่ภายใต้ขอบเขตการควบคุมได้

เมื่อพิจารณาเฉพาะวิธีการที่เหมาะสมที่นำไปใช้ในกระบวนการผลิตจริง คือ การกำหนดสถานะของปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ปัจจัย ตามขอบเขตการควบคุมที่กำหนดไว้ โดยไม่มีวิธีการเป่าลมใส่หน้าแม่พิมพ์ (Air Jet) พบว่า สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นก่อนการปรับปรุงกระบวนการในระหว่างเดือนธันวาคม - กุมภาพันธ์ 2551 (Baseline) มีปริมาณของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) เท่ากับ 565,399 PPM และปริมาณของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) เท่ากับ 11,720 PPM หลังจากปรับปรุงกระบวนการผลิต พบว่า มีปริมาณของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) เท่ากับ 27,173 PPM และปริมาณของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) เท่ากับ 12,168 PPM แสดงว่า การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญตามขอบเขตการควบคุมที่กำหนดไว้สามารถลดปริมาณของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) ได้จริง แต่ไม่สามารถลดปริมาณของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ได้

เมื่อพิจารณาผลลัพธ์ทางการเงินที่สามารถลดได้หลังจากปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยพิจารณาเฉพาะวิธีการที่เหมาะสมที่นำไปใช้ในกระบวนการผลิตจริง คือ การกำหนดสถานะของปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ปัจจัย ตามขอบเขตการควบคุมที่กำหนดไว้ โดยไม่มีวิธีการเป่าลมใส่หน้าแม่พิมพ์ (Air Jet) พบว่า ก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิตมีต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) เท่ากับ 0.3194 บาท/ชิ้น แต่หลังจากปรับปรุงกระบวนการผลิตมีต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) เท่ากับ 0.0293 บาท/ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ก่อนปรับปรุงกระบวนการเท่ากับ 90.82 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญตามขอบเขตการควบคุมที่กำหนดไว้ และไม่ต้องมีวิธีการเป่าลมใส่หน้าแม่พิมพ์ (Air Jet) สามารถลดต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ได้จริง

บทที่ 10

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

10.1 บทนำ

งานวิจัยฉบับนี้ได้เสนอแนวทางการประยุกต์ใช้วิธีการ ซีกซ์ ซิกมา ทั้ง 5 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define Phase) ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measurement Phase) ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา (Analysis Phase) ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไข (Improvement Phase) และขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต (Control Phase) ในการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตเพื่อลดปริมาณของเสียอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ต้นทุนการผลิตจริงมีมูลค่าสูงกว่าต้นทุนการผลิตตามแผนที่วางไว้ โดยบทสรุปจากขั้นตอนทั้งห้าแสดงในหัวข้อที่ 10.2 - 10.6 ข้อจำกัดในงานวิจัยแสดงในหัวข้อที่ 10.7 และข้อเสนอแนะแสดงในหัวข้อที่ 10.8 โดยบทสรุปทั้งหมดมีดังนี้

10.2 บทสรุปจากขั้นตอนการนิยามปัญหา

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตและสภาพปัญหาในปัจจุบันของบริษัท เพื่อทำการกำหนดปัญหา เป้าหมาย และขอบเขตที่จะทำการปรับปรุง คือ พบว่าสัดส่วนของเสียเนื่องจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ที่ฉีดโดยแม่พิมพ์หมายเลข MOD-HD6-008 จากเครื่องฉีดหมายเลข IS-65 ในพื้นที่ SPU3 มีปริมาณสัดส่วนของเสียสูงเป็นสองอันดับแรกสำหรับผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 โดยมีสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) คือ 565,399 PPM คิดเป็น 56.54% ของปริมาณการผลิตทั้งหมด และสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) คือ 11,720 PPM คิดเป็น 1.17% ของปริมาณการผลิตทั้งหมด จึงทำให้ปัจจุบันมีต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) เท่ากับ 0.3194 บาท/ชิ้น งานวิจัยนี้จึงกำหนดเป้าหมาย คือ ลดต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ลง 50% จากต้นทุนของเสียรวมในปัจจุบัน

10.3 บทสรุปจากขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

หลังจากทราบถึงปัญหาที่จะทำการปรับปรุงแล้ว ในขั้นตอนแรกของระยะวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา ได้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis) โดยวิธีการวัดสำหรับการตรวจสอบข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) จะใช้การตรวจสอบด้วยสายตาเปล่าที่มองผ่านกล้อง Microscope ที่มีกำลังขยาย 20X และตัดสินใจเทียบกับ Limit Sample ของแต่ละข้อบกพร่อง จากนั้นทำการทดสอบพนักงานตรวจสอบทั้งหมด 4 คน ผลจากการวิเคราะห์พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำซ้ำของพนักงานตรวจสอบ เปอร์เซ็นต์ความไว้อิสของพนักงานตรวจสอบ เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านความไว้อิสของการตรวจสอบ ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (เกณฑ์การยอมรับของระบบการวัดทั้ง 4 ค่า คือ 90%) ทั้งข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)

จากนั้นได้ศึกษาความสามารถของกระบวนการในปัจจุบัน พบว่ามีปริมาณสัดส่วนของเสียจากชิ้นงานเป็นครีบ 565,399 ตัวในหนึ่งล้านตัว (Part per Million หรือ PPM) คิดเป็น 56.54% และมีสัดส่วนชิ้นงานที่ฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) 11,720 ตัวในหนึ่งล้านตัว (Part per Million หรือ PPM) คิดเป็น 1.17%

จากนั้นระดมสมองหาสาเหตุและปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ซึ่งใช้แผนผังก้างปลาหรือผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) วิเคราะห์หาสาเหตุ พบว่ามี 6 ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ดังนี้

1. ปัจจัยที่เกิดจากวัตถุดิบ (Material)
2. ปัจจัยที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine)
3. ปัจจัยที่เกิดจากวิธีการ (Method)
4. ปัจจัยที่เกิดจากคน (Man)
5. ปัจจัยที่เกิดจากการวัด (Measurement)
6. ปัจจัยที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม (Environment)

และระดมสมองเพื่อวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เลือกทำวิจัยพบว่า ปัจจัยที่เกิดจากวิธีการ (Method) กำหนดสภาวะการฉีด (Condition) ด้วยวิธีการปรับค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการฉีด (Injection Process) ให้มีค่าที่ถูกต้องและเหมาะสมเป็นปัจจัย

นำเข้าที่มีอิทธิพลต่อข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 ที่สุด และปัจจัยที่เหลืออีก 5 ปัจจัย ทีมงานวิจัยพิจารณาแล้วว่า มีอิทธิพลน้อยต่อข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ของผลิตภัณฑ์ HD6-PE22A-200 และสามารถกำหนดให้เป็นปัจจัยควบคุมในงานวิจัยฉบับนี้

จากการระดมความคิดของทีมงานวิจัย พบว่า มีปัจจัยในสถานะการคิดที่จะนำเข้ามาพิจารณาทั้งหมด 13 ปัจจัย นำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างผลของกระบวนการ (KPOV) และปัจจัยนำเข้า (KPIV) ด้วยตารางสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) จากนั้นคัดเลือกปัจจัยที่มีความสำคัญโดยพิจารณาจากผลรวมของคะแนนของแต่ละปัจจัยจากทุกคนในทีม พบว่ามี 5 ปัจจัย ได้แก่ ความดันฉีด (Injection Pressure) ความดันย้ำ (Holding Pressure) ความเร็วฉีด (Injection Velocity) ความเร็วย้ำ (Holding Velocity) และระยะย้ำ (Holding Position) ที่จะนำไปใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา เนื่องจากมีคะแนนรวมเท่ากับ 3,560 คะแนน จากคะแนนทั้งหมด 4,650 คะแนน ซึ่งคิดเป็น 77% ของคะแนนทั้งหมด

10.4 บทสรุปจากขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจะวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ 5 ปัจจัย ที่ได้มาจากการคัดเลือกในขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา โดยจะใช้หลักการทางสถิติเพื่อทำการตัดสินใจว่าปัจจัยเหล่านี้เป็นสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาหรือไม่ โดยการทดลองที่มีการออกแบบด้วยวิธี 2^5 Full Factorial Design จากผลการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 5 ปัจจัย โดยใช้โปรแกรม MINITAB พบว่ามี 3 ปัจจัยที่มีนัยสำคัญได้แก่

1. ความดันฉีด (Injection Pressure)
2. ความเร็วฉีด (Injection Velocity)
3. ระยะย้ำ (Holding Position)

ส่วนปัจจัยอีก 2 ปัจจัย ได้แก่ ความดันย้ำ (Holding Pressure) และความเร็วย้ำ (Holding Velocity) ไม่มีผลกระทบต่อข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ดังนั้น ในขั้นตอนการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการจึงนำปัจจัยที่มีนัยสำคัญทั้ง 3 ปัจจัย ไปทำการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมเพื่อให้ต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) มีค่าต่ำที่สุด

10.5 บทสรุปจากขั้นตอนการปรับปรุง

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมของสัดส่วนของเสียเนื่องจากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) สัดส่วนของเสียเนื่องจากข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) และต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากการแก้ไขข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) ด้วยกระบวนการตัดแต่งครีบ (Finishing Process) และการทำलयชิ้นงานทิ้งสำหรับข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) โดยมีสมการของการคำนวณต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ที่เกิดจากข้อบกพร่องต่างๆ ในกระบวนการฉีดพลาสติก ดังนี้

$$\text{Total Defective Cost} = \sum_{i=1}^m P_{R_i} C_{R_i} + P_S C_S$$

เมื่อ	P_S	คือ	สัดส่วนชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องที่ไม่สามารถแก้ไขได้ต้องทำลายทิ้ง
	C_S	คือ	ต้นทุนการผลิตชิ้นงานต่อหน่วย
	P_{R_i}	คือ	สัดส่วนชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องที่สามารถแก้ไขได้ประเภทที่ i
	C_{R_i}	คือ	ค่าจ้างแก้ไขชิ้นงานต่อหน่วยสำหรับข้อบกพร่องประเภทที่ i ซึ่งคำนวณมาจากเวลาการแก้ไขแต่ละชนิดของข้อบกพร่องคูณกับอัตราค่าจ้าง
	m	คือ	ประเภทของข้อบกพร่องที่สามารถแก้ไขได้ทั้งหมด

จากนั้นทำการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความดันฉีด (Injection Pressure) ความเร็วฉีด (Injection Velocity) และระยะย่ำ (Holding Position) โดยใช้วิธีออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Central Composite Design with Center หรือ CCD) ผลจากการทดลองเพื่อปรับปรุงแก้ไขกระบวนการพบว่า ระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อกำหนดใช้งานจริง ดังนี้ ความดันฉีด (Injection Pressure) 55.5946 Mpa ปรับได้จริง 55.6 Mpa ความเร็วฉีด (Injection Velocity) 62.8879 mm./sec. ปรับได้จริง 62.9 mm./sec. และระยะย่ำ (Holding Position) 5.2707 mm. ปรับได้จริง 5.3 mm.

จากผลลัพธ์การกำหนดสภาวะการฉีด (Condition) ที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้ง 3 ปัจจัย พบว่า ชิ้นงานที่ฉีดได้จะเป็นมีทิศทางเป็นครีบ (Flash) แต่เป็นครีบที่มีขนาดความสูงต่ำกว่าขนาดความสูงก่อนปรับปรุงกระบวนการ และอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้จึงถือว่าชิ้นงานดังกล่าวเป็นงานดี และไม่ต้องแก้ไขด้วยกระบวนการตัดแต่งครีบ (Finishing Process) เพราะไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพชิ้นงาน

นอกจากนี้ทีมงานวิจัยเสนอให้เพิ่มวิธีการพ่นลม (Air Jet) ใสน้ำแม่พิมพ์ระหว่างกระบวนการฉีดพลาสติกเพื่อลดจำนวนครั้งของการหยุดทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก เนื่องจากมีชิ้นงานหรือมีเศษพลาสติกติดสะสมที่หน้าแม่พิมพ์ ซึ่งจะทำให้ระดับของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญลดลงจนเกิดสถานการณ์ฉีดไม่เหมาะสมและทำให้เกิดข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ได้

10.6 บทสรุปจากขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต

จากการควบคุมกระบวนการผลิตโดยการกำหนดระดับของปัจจัยที่ได้จากการหาค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสม และทำการควบคุมปัจจัย โดยการประยุกต์ใช้แผนภูมิ I-MR เพื่อหาขอบเขตในการควบคุม สรุปขอบเขตของปัจจัย ดังนี้ ความเร็วฉีด (Injection Pressure) มีขอบเขตควบคุมล่างและบนเป็น 52.591 และ 57.705 Mpa ตามลำดับ ความเร็วฉีด (Injection Velocity) มีขอบเขตควบคุมล่างและบนเป็น 60.676 และ 65.176 mm./sec. ตามลำดับ และระยะย้า (Holing Position) มีขอบเขตควบคุมล่างและบนเป็น 5.0794 และ 5.6317 mm. ตามลำดับ พบว่า การควบคุมกระบวนการผลิตสามารถควบคุมกระบวนการให้อยู่ภายใต้ขอบเขตการควบคุมในทุกๆปัจจัยที่มีนัยสำคัญ ซึ่งภายหลังได้ยกเลิกวิธีการพ่นลมใสน้ำแม่พิมพ์ (Air Jet) เนื่องจากเมื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตจริงเกิดข้อบกพร่องชนิดกระแทก (Hit Mark) ตามมา จึงต้องยกเลิกวิธีการพ่นลมใสน้ำแม่พิมพ์ (Air Jet) แต่ยังคงควบคุมปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้ง 3 ปัจจัย เหมือนเดิม

ผลจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต พบว่า ปัญหาของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) มีสัดส่วนของเสียลดลงจาก 565,399 PPM ลงเหลือ 27,173 PPM และเมื่อพิจารณาตัววัดทางซิกซ์ ซิกมา Z Long-Term (Z_{LT}), Z Short-Term (Z_{ST}), Ppk และ Cpk ก่อนการปรับปรุงมีค่า 0.16, 1.66, 0.05 และ 0.55 โดยหลังจากทำการปรับปรุงกระบวนการ Z Long-Term (Z_{LT}), Z Short-Term (Z_{ST}), Ppk และ Cpk ถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นเป็น 1.92, 3.42, 0.64 และ 1.14 ตามลำดับ

ผลจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต พบว่า ปัญหาของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) มีสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นจาก 11,720 PPM เป็น 12,186 PPM และเมื่อพิจารณาตัววัดทางซิกซ์ ซิกมา Z Long-Term (Z_{LT}), Z Short-Term (Z_{ST}), Ppk และ Cpk ก่อนการปรับปรุงมีค่า 2.27, 3.77, 0.76 และ 1.26 โดยหลังจากทำการปรับปรุงกระบวนการ Z Long-Term (Z_{LT}), Z Short-Term (Z_{ST}), Ppk และ Cpk ไม่สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ซึ่งมีค่า 2.25, 3.75, 0.75 และ 1.25 ตามลำดับ

แต่เมื่อพิจารณาด้านต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ก่อนการปรับปรุงกระบวนการมีค่า 0.3194 บาท/ชิ้น

ลดลงเหลือ 0.0293 บาท/ชิ้น แสดงว่าสามารถลดต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold) ลงได้ 90.83 เปอร์เซ็นต์ โดยลดลงจากค่าจ้างแก้ไขชิ้นงานเนื่องจากข้อบกพร่องชนิดครีป (Flash) เท่านั้น

10.7 ข้อจำกัดในงานวิจัย

1. นโยบายของบริษัทกรณีศึกษา คือ แม่พิมพ์ที่จะใช้ในการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตจะต้องเป็นแม่พิมพ์ที่อยู่ในการควบคุมของวิศวกร (Test Run) เท่านั้น เพราะหากใช้แม่พิมพ์ที่ควบคุมโดยฝ่ายผลิต (Production) เพื่อการทดลองจะกระทบต่อการล้างการผลิต
2. วัสดุที่ใช้ในการทดลองเป็นวัสดุชนิดเดียวกับวัสดุที่ใช้ในการผลิตจริง ดังนั้นจำเป็นต้องควบคุมจำนวนชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง เพื่อควบคุมค่าใช้จ่ายในการทดลองให้มีค่าต่ำที่สุด
3. การทดลองจะต้องอาศัยความร่วมมือจากฝ่ายวางแผนการผลิตที่จะต้องออกเอกสาร Work Order เพื่อแยกห้องงานทดลองกับงานที่ผลิตจริง พบว่า มีปัญหาที่ไม่ได้รับความร่วมมือเท่าที่ควรเนื่องมาจากงานในการผลิตจริงมีความสำคัญมากกว่า

10.8 ข้อเสนอแนะ

1. การดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดปริมาณของเสีย โดยการประยุกต์วิธีการ ชิกซ์ ซิกมา นั้นสามารถที่จะปรับปรุงกระบวนการให้ดีขึ้นได้อีก โดยสามารถพิจารณาเพื่อปรับปรุง และวิเคราะห์กับตัวแปรตอบสนอง หรือผลลัพธ์ของกระบวนการอื่นๆได้
2. การประยุกต์ใช้วิธีการชิกซ์ ซิกมา นั้นทุกคนในองค์กรจำเป็นต้องมีการพัฒนาทักษะความรู้ความสามารถไปพร้อมๆกัน ตั้งแต่พนักงานระดับปฏิบัติการไปจนถึงผู้บริหารระดับสูง เพื่อให้การดำเนินการแก้ไขปรับปรุงปัญหาต่างๆของกระบวนการมีความสอดคล้องกันไปทั้งองค์กร โดยผู้บริหารขององค์กรจำเป็นต้องเป็นผู้นำและให้การสนับสนุนให้บุคลากรในองค์กรมีความเข้าใจและมีความรู้เกี่ยวกับวิธีการของชิกซ์ ซิกมา จึงจะช่วยให้การพัฒนาเป็นไปตามเป้าหมายที่ต้องการ

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) : ประมวลผลด้วย MINITAB. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2549.
- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2542.
- ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ. วัสดุวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2549.
- ณรงค์ฤทธิ์ และ ชาคริต สิริสิงห์. พฤติกรรมกำไลของพอลิเมอร์หลอมเหลวและการนำไปใช้. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2549.
- ปารเมศ ชูติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. พลาสติกวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: พานิชพระนคร (2535), 2538.
- ธีรพร เสนพรหม. การลดแม่แบบแก้วเสียในกระบวนการผลิตเลนส์พลาสติกโดยใช้แนวคิดซิกซ์ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- พรเทพ ลาภธุวะศิริ. การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อลดของเสีย: กรณีศึกษากระบวนการผลิตเพลากลาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- สุเทพ บุตรดี. การศึกษาการปรับตั้งพารามิเตอร์ที่สำคัญของเครื่องฉีด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546.
- วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม. ลักษณะของความดันในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่เหมาะสมที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์พลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2543.
- ศรันย์ ฉัฐพูลวัฒน์. การลดของเสียประเภทรีเวทในกระบวนการผลิตแผ่นหลังคาโปร่งใส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

- ศิริวดี เอื้ออรัญโชติ. การลดการปนเปื้อนจากกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียนสำหรับคอมพิวเตอร์ โดยประยุกต์ใช้วิธีการ ซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว. การลดการสูญเสียจากกระบวนการผลิตกระป๋องโดยประยุกต์ใช้วิธีการ ซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ภาษาอังกฤษ

- Bisgaard, S. and Fuller, H. T. Analysis of factorial experiments with defects or defectives as the response. *Journal of Quality Engineering* 7, 2 (1994): 429-443.
- Bisgaard, S. and Fuller, H. T. Sample size estimates for two-level factorial designs with binary response. *Journal of Quality Technology* 27, 4 (1995): 344-354.
- Bisgaard, S. and Gertsbakh, I. 2^{k-q} Experiments with binary responses: Inverse binomial sampling. *Journal of Quality Technology* 32, 2 (2000): 148-156.
- Breyfogle, F. W. III. *Implementing six sigma: Smarter solutions using statistical methods*. New York: John Wiley & Sons, 2001.
- Montgomery, D. C. *Design and analysis of experiments*. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons, 2005.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก
ข้อมูลอ้างอิงในการทำวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 ปริมาณของเสียในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2550 ก่อนการปรับปรุงกระบวนการสำหรับ
 ปัญหาชิ้นงานเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดกริบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)
 กรณีไม่มีวิธีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet)

วันที่	จำนวน ผลิต	จำนวน ชิ้นงานที่ เป็นกริบ	สัดส่วน ของเสีย (PPM)	จำนวน ชิ้นงานที่ฉีด ไม่เต็ม แม่พิมพ์	สัดส่วน ของเสีย (PPM)	ต้นทุนของเสียรวม (บาท/ชิ้น)
1-Dec-07	15,000	8,542	569,467	175	11,667	0.3215
3-Dec-07	15,000	8,879	591,933	207	13,800	0.3362
4-Dec-07	15,000	7,842	522,800	184	12,267	0.2970
5-Dec-07	15,500	7,945	512,581	209	13,484	0.2930
6-Dec-07	18,500	7,762	419,568	214	11,568	0.2404
7-Dec-07	14,500	6,589	454,414	156	10,759	0.2583
8-Dec-07	10,000	6,945	694,500	148	14,800	0.3928
9-Dec-07	10,000	8,664	866,400	216	21,600	0.4938
10-Dec-07	15,000	9,630	642,000	203	13,533	0.3629
11-Dec-08	15,500	8,996	580,387	187	12,065	0.3279
12-Dec-08	18,500	8,742	472,541	174	9,405	0.2665
13-Dec-08	18,000	9,454	525,222	263	14,611	0.3012
14-Dec-08	14,500	9,832	678,069	198	13,655	0.3825
15-Dec-08	15,000	5,896	393,067	167	11,133	0.2256
17-Dec-08	12,000	6,543	545,250	199	16,583	0.3143
18-Dec-08	12,000	5,958	496,500	236	19,667	0.2917
19-Dec-08	10,000	6,895	689,500	187	18,700	0.3948
20-Dec-08	11,600	8,841	762,155	204	17,586	0.4327
รวม	255,600	143,955	563,204	3,527	13,799	0.3207

ตารางที่ ก.2 ปริมาณของเสียในเดือน มกราคม พ.ศ. 2551 ก่อนการปรับปรุงกระบวนการสำหรับการ
 ปัญหาชิ้นงานเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดกริบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)
 กรณีไม่มีวิธีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet)

วันที่	จำนวน ผลิต	จำนวน ชิ้นงานที่ เป็นกริบ	สัดส่วน ของเสีย (PPM)	จำนวน ชิ้นงานที่ฉีด ไม่เต็ม แม่พิมพ์	สัดส่วน ของเสีย (PPM)	ต้นทุนของเสียรวม (บาท/ชิ้น)
7-Jan-08	18,500	8,950	483,784	202	10,919	0.2743
8-Jan-08	18,500	9,842	532,000	213	11,514	0.3011
9-Jan-08	17,500	8,932	510,400	218	12,457	0.2906
10-Jan-08	17,500	9,301	531,486	182	10,400	0.2995
11-Jan-08	10,500	6,887	655,905	154	14,667	0.3718
14-Jan-08	13,000	8,541	657,000	121	9,308	0.3659
15-Jan-08	17,500	9,421	538,343	187	10,686	0.3035
16-Jan-08	17,500	9,418	538,171	168	9,600	0.3021
17-Jan-08	16,500	9,420	570,909	184	11,152	0.3217
18-Jan-08	11,000	6,845	622,273	128	11,636	0.3500
21-Jan-08	13,500	8,214	608,444	107	7,926	0.3381
22-Jan-08	14,500	8,318	573,655	148	10,207	0.3220
23-Jan-08	15,500	8,901	574,258	154	9,935	0.3220
24-Jan-08	15,500	9,503	613,097	172	11,097	0.3444
25-Jan-08	15,500	8,478	546,968	146	9,419	0.3067
28-Jan-08	15,500	8,745	564,194	127	8,194	0.3145
29-Jan-08	15,500	8,081	521,355	151	9,742	0.2932
30-Jan-08	12,500	8,571	685,680	134	10,720	0.3831
31-Jan-08	10,400	6,124	588,846	142	13,654	0.3344
รวม	286,400	162,492	567,360	3,038	10,608	0.3191

ตารางที่ ก.3 ปริมาณของเสียในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 ก่อนการปรับปรุงกระบวนการสำหรับ
ปัญหาชิ้นงานเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดกริบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)
กรณีไม่มีวิธีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet)

วันที่	จำนวน ผลิต	จำนวน ชิ้นงานที่ เป็นกริบ	สัดส่วน ของเสีย (PPM)	จำนวน ชิ้นงานที่ฉีด ไม่เต็ม แม่พิมพ์	สัดส่วน ของเสีย (PPM)	ต้นทุนของเสียรวม (บาท/ชิ้น)
1-Feb-08	18,500	9,438	510,162	164	8,865	0.2861
4-Feb-08	18,500	9,201	497,351	212	11,459	0.2823
5-Feb-08	18,500	10,771	582,216	176	9,514	0.3258
6-Feb-08	13,500	6,943	514,296	146	10,815	0.2907
7-Feb-08	14,500	8,149	562,000	174	12,000	0.3179
8-Feb-08	14,500	8,172	563,586	168	11,586	0.3182
11-Feb-08	12,500	7,554	604,320	138	11,040	0.3396
12-Feb-08	12,500	7,650	612,000	129	10,320	0.3429
13-Feb-08	12,500	7,216	577,280	124	9,920	0.3236
14-Feb-08	15,500	9,700	625,806	133	8,581	0.3482
15-Feb-08	10,500	5,821	554,381	156	14,857	0.3172
18-Feb-08	15,500	9,410	607,097	146	9,419	0.3391
19-Feb-08	14,500	9,228	636,414	198	13,655	0.3600
20-Feb-08	13,500	7,406	548,593	173	12,815	0.3116
22-Feb-08	14,500	7,230	498,621	184	12,690	0.2845
23-Feb-08	15,500	8,026	517,806	174	11,226	0.2931
24-Feb-08	14,500	9,358	645,379	121	8,345	0.3585
25-Feb-08	13,500	7,927	587,185	142	10,519	0.3297
26-Feb-08	17,000	8,676	510,353	196	11,529	0.2894
27-Feb-08	10,000	6,085	608,500	118	11,800	0.3428
28-Feb-08	10,000	5,658	565,800	132	13,200	0.3214
รวม	300,000	169,619	565,397	3,304	11,013	0.3185

ตารางที่ ก.4 ปริมาณของเสียในเดือนเมษายน พ.ศ. 2551 หลังการปรับปรุงกระบวนการสำหรับ
ปัญหาชิ้นงานเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)

กรณีมีวิธีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet)

Date	Injection	Flash	Short Mold
1-Apr-08	18,500	504	89
2-Apr-08	18,500	501	92
3-Apr-08	18,500	503	96
4-Apr-08	18,000	484	86
5-Apr-08	17,500	478	85
7-Apr-08	15,000	423	73
8-Apr-08	15,000	415	79
9-Apr-08	15,000	419	75
10-Apr-08	15,000	424	76
11-Apr-08	10,000	281	57
17-Apr-08	14,500	398	78
18-Apr-08	15,000	419	76
19-Apr-08	10,000	279	48
21-Apr-08	12,000	324	68
22-Apr-08	14,500	401	74
23-Apr-08	15,000	412	79
24-Apr-08	14,500	399	68
25-Apr-08	15,000	415	72
28-Apr-08	15,000	419	69
29-Apr-08	10,000	268	48
30-Apr-08	15,000	411	77
31-Apr-08	15,500	426	71

ตารางที่ ก.5 ปริมาณของเสียในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2551 หลังการปรับปรุงกระบวนการสำหรับ
 ปัญหาชิ้นงานเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)
 กรณีมีวิธีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet) และไม่มีวิธีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet)

Date	Injection	Flash	Short Mold
2-May-08	10,000	270	58
3-May-08	14,500	386	71
6-May-08	15,500	411	64
7-May-08	15,500	408	82
8-May-08	14,500	396	67
9-May-08	13,500	354	74
รวม	83,500	2,225	416
12-May-08	10,000	282	176
13-May-08	15,500	398	199
14-May-08	14,500	401	154
15-May-08	14,000	385	161
16-May-08	15,500	420	192
20-May-08	11,000	304	187
21-May-08	14,500	416	174
22-May-08	14,500	386	188
23-May-08	13,500	362	158
24-May-08	13,500	341	167
รวม	136,500	3,695	1,756

มี Air Jet

ไม่มี Air Jet

ตารางที่ ก.6 ปริมาณของเสียในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2551 หลังการปรับปรุงกระบวนการสำหรับ
 ปัญหาชิ้นงานเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีบ (Flash) และฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Mold)
 กรณีไม่มีวิธีการเป่าลมใส่แม่พิมพ์ (Air Jet)

Date	Injection	Flash	Short Mold
2-Jun-08	15,000	412	151
3-Jun-08	15,000	403	134
4-Jun-08	13,500	384	138
5-Jun-08	13,500	371	128
6-Jun-08	12,500	332	142
7-Jun-08	12,500	341	145
9-Jun-08	10,000	275	142
10-Jun-08	10,000	275	148
11-Jun-08	11,500	315	142
12-Jun-08	10,500	287	136
13-Jun-08	10,500	264	149
16-Jun-08	10,500	282	132
17-Jun-08	10,000	268	143
18-Jun-08	10,000	271	148
19-Jun-08	10,000	278	132
20-Jun-08	10,000	269	141
รวม	185,000	5,027	2,251

ตารางที่ ก.7 พารามิเตอร์ก่อนปรับปรุงกระบวนการระหว่างเดือนธันวาคม – กุมภาพันธ์ 2551

Date	P1 (Mpa)	V1 (mm./sec.)	S1 (mm.)	Date	P1 (Mpa)	V1 (mm./sec.)	S1 (mm.)
1-Dec-07	60	68	4.9	23-Jan-08	58	70	5.0
3-Dec-07	59	68	5.0	24-Jan-08	58	70	4.8
4-Dec-07	58	70	4.9	25-Jan-08	58	68	4.9
5-Dec-07	60	70	4.8	28-Jan-08	59	68	5.0
6-Dec-07	59	68	4.8	29-Jan-08	58	66	5.0
7-Dec-07	59	68	4.8	30-Jan-08	60	67	4.8
8-Dec-07	60	75	4.8	31-Jan-08	58	68	4.9
9-Dec-07	60	78	4.7	1-Feb-08	60	75	4.6
10-Dec-07	60	75	4.8	4-Feb-08	60	74	4.7
11-Dec-07	59	72	5.0	5-Feb-08	60	70	4.7
12-Dec-07	58	70	5.0	6-Feb-08	60	70	4.8
13-Dec-07	59	68	5.0	7-Feb-08	58	68	4.8
14-Dec-07	60	72	5.0	8-Feb-08	58	68	4.9
15-Dec-07	58	65	5.0	11-Feb-08	57	70	5.0
17-Dec-07	60	65	5.0	12-Feb-08	58	70	5.0
18-Dec-07	60	65	5.0	13-Feb-08	57	69	5.0
19-Dec-07	62	72	5.0	14-Feb-08	58	66	5.0
20-Dec-07	63	75	4.8	15-Feb-08	60	66	4.9
7-Jan-08	58	69	4.9	18-Feb-08	61	69	5.0
8-Jan-08	59	70	4.9	19-Feb-08	60	67	5.0
9-Jan-08	58	70	5.0	20-Feb-08	60	69	4.9
10-Jan-08	58	70	5.0	22-Feb-08	62	69	5.0
11-Jan-08	60	68	5.0	23-Feb-08	60	70	4.9
14-Jan-08	60	68	5.0	24-Feb-08	59	70	4.8
15-Jan-08	59	65	4.9	25-Feb-08	60	68	5.0
16-Jan-08	59	65	4.9	26-Feb-08	58	70	5.0
17-Jan-08	60	65	5.0	27-Feb-08	60	69	5.0
18-Jan-08	60	65	5.0	28-Feb-08	60	70	5.0
21-Jan-08	59	66	5.0	เฉลี่ย	59.3	69.1	4.9
22-Jan-08	59	66	5.0	STD.	1.19	2.87	0.10



ภาคผนวก ข

Design Matrix ขั้นตอนการปรับปรุง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 ผลการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง
สำหรับขั้นตอนปรับปรุงกระบวนการ

Std Order	Run Order	Pt Type	Blocks	Coded Variable			Natural Variable		
				P1	V1	S1	P1	V1	S1
6	1	1	1	1	-1	1	60	50	6
5	2	1	1	-1	-1	1	50	50	6
19	3	0	1	0	0	0	55	60	5.5
8	4	1	1	1	1	1	60	70	6
16	5	0	1	0	0	0	55	60	5.5
17	6	0	1	0	0	0	55	60	5.5
9	7	-1	1	-1.68179	0	0	46.6	60	5.5
3	8	1	1	-1	1	-1	50	70	5
20	9	0	1	0	0	0	55	60	5.5
1	10	1	1	-1	-1	-1	50	50	5
11	11	-1	1	0	-1.68179	0	55	43.2	5.5
15	12	0	1	0	0	0	55	60	5.5
10	13	-1	1	1.68179	0	0	63.4	60	5.5
18	14	0	1	0	0	0	55	60	5.5
2	15	1	1	1	-1	-1	60	50	5
13	16	-1	1	0	0	-1.68179	55	60	4.7
7	17	1	1	-1	1	1	50	70	6
14	18	-1	1	0	0	1.68179	55	60	6.3
12	19	-1	1	0	1.68179	0	55	76.8	5.5
4	20	1	1	1	1	-1	60	70	5



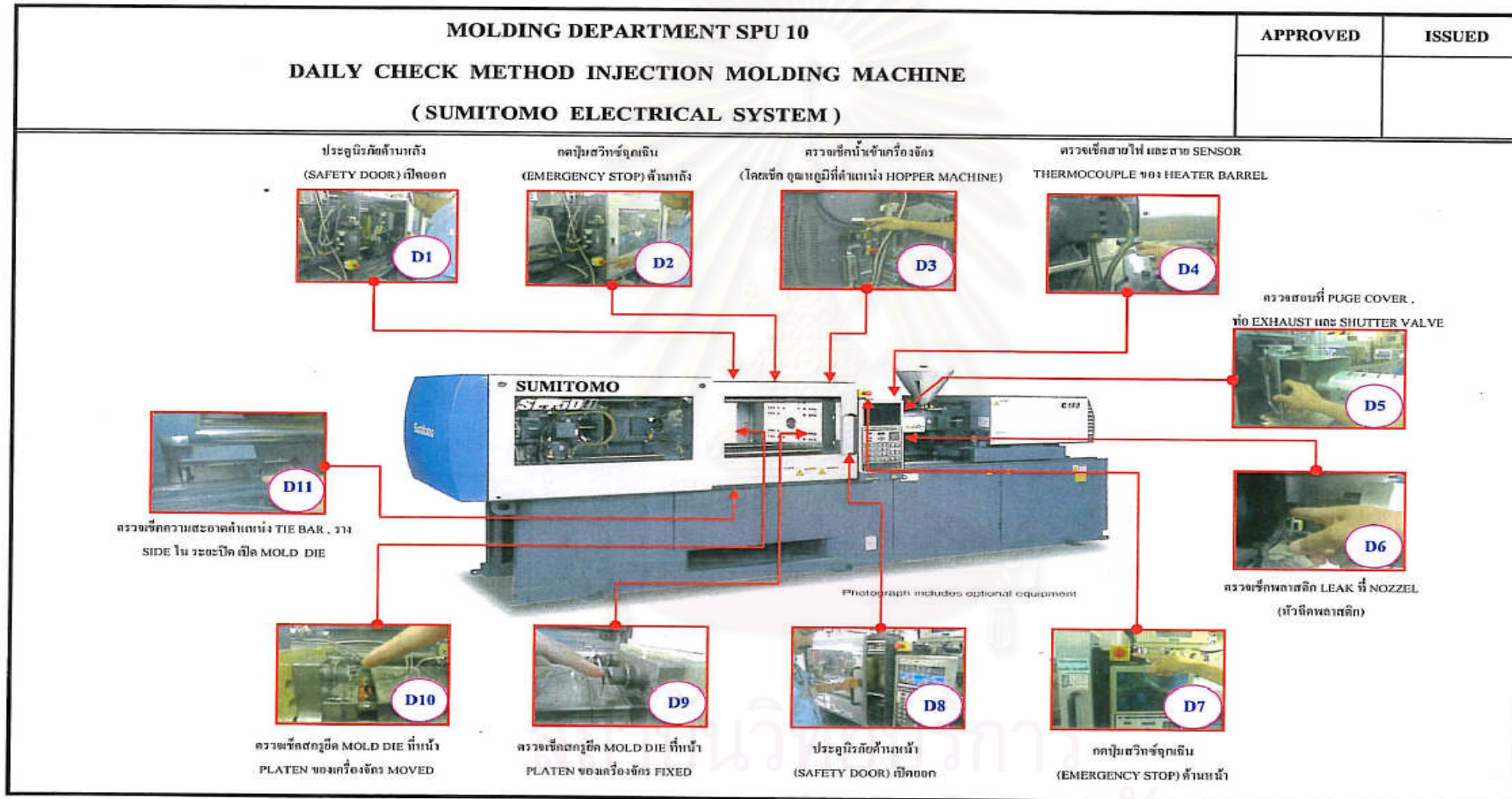
ภาคผนวก ค
แบบฟอร์มและบันทึกการทำวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Parameter Daily Check Sheet

Year.....			Month.....				Product.....								Area.....																		
Machine No.....			Mold No.....				Item.....								SV.....																		
Process	Parameter	Spec.	Week.....																														
			Mon				Tue				Wed				Thu				Fri				Sat				Sun						
			N1	N2	D1	D2	N1	N2	D1	D2	N1	N2	D1	D2	N1	N2	D1	D2	N1	N2	D1	D2	N1	N2	D1	D2	N1	N2	D1	D2	N1	N2	D1
Injection	Injection Pressure	55 ± 2 Mpa																															
	Injection Velocity	62 ± 2 mm./sec																															
	Holding Position	5.3 ± 0.2 mm.																															
Date	Shift	ID	Problem												Action				Response														

รูปที่ ค.1 ใบตรวจสอบพารามิเตอร์ (Parameter Daily Check Sheet)



รูปที่ ก.2 ตำแหน่งตรวจสอบเครื่องฉีดพลาสติกรุ่น Sumitomo ประจำวัน

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

น.ส. วราภรณ์ ขำสนิท เกิดวันที่ 19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2521 ที่จังหวัดสระบุรี สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี หลังจากนั้นเข้าทำงานในตำแหน่ง วิศวกร บริษัท โตว่า ไชชาคูโซ (ประเทศไทย) จำกัด จังหวัดปทุมธานี ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง วิศวกร บริษัท ดีดีเค (ประเทศไทย) จำกัด นิคมอุตสาหกรรมนวนคร จังหวัดปทุมธานี ผู้เขียนได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2548



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย