

การออกแบบการทดลองเพื่อการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสียรูป
ในการจำลองกระบวนการฉีดขึ้นส่วนพลาสติก เอบีเอส

DESIGN OF EXPERIMENT FOR ANALYZING FACTORS
AFFECTING TO VARIED DEFORMATION IN THE SIMULATION
OF ABS PLASTIC INJECTION MOLDING PROCESS

อดุลย์ จิตรอารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การออกแบบการทดลองเพื่อการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสีรูป
ในการจำลองกระบวนการฉีดขึ้นส่วนพลาสติก เอบีเอส

อดุลย์ จิตรอารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี


ปีการศึกษา 2555

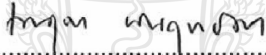
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบการทดลองเพื่อการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสียรูป
ในการจำลองกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก เอบีเอส
Design of Experiment for Analyzing Factors Affecting to Varied
Deformation in the Simulation of ABS Plastic Injection Molding Process


ชื่อ - นามสกุล นายอดุลย์ จิตรอารี
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ระพี กาญจนะ, D.Eng.
ปีการศึกษา 2555

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ธรรมา กุปตั้มเชษฐ์, Ph.D.)


..... กรรมการ
(อาจารย์เพ็ญสุดา พันธุ์คำ, D.Eng.)


..... กรรมการ
(อาจารย์สมศักดิ์ อธิโสภณกุล, Ph.D.)


..... กรรมการ
(อาจารย์ระพี กาญจนะ, D.Eng.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมหมาย ผิวสะอาด, Ph.D.)

วันที่ 19 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2556

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบการทดลองเพื่อการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสีรูปร่างในการจำลองกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก เอบีเอส
ชื่อ-นามสกุล	นายอดุลย์ จิตรอารี
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ระพี กาญจนะ, D.Eng.
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสีรูปร่างในกระบวนการฉีดขึ้นรูปขึ้นรูปพลาสติก เอบีเอส โดยนำเทคนิคการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Moldex3D โดยทำการศึกษาปัจจัยเบื้องต้นทั้งหมด 8 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการฉีด แรงดันฉีด ระยะเปลี่ยนการฉีดเป็นฉีดย้ำ เวลาฉีดย้ำ แรงดันฉีดย้ำ อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก อุณหภูมิแม่พิมพ์และเวลาในการหล่อเย็น

จากการจำลองกระบวนการฉีด ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกทดลองตามแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน (2^{8-4}) พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลคือ อัตราการฉีด เวลาฉีดย้ำ อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก และเวลาหล่อเย็น จากนั้นจึงนำปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยมาวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมด้วยแผนการทดลองแบบส่วนผสมกลาง พบว่า ได้ค่าระดับของปัจจัยที่ทำให้ค่าการเสีรูปร่างของชิ้นส่วนต่ำที่สุดเท่ากับ 3.97 มิลลิเมตร เมื่อกำหนดให้ อัตราการฉีดที่ 58 เปอร์เซ็นต์ เวลาฉีดย้ำที่ 6 วินาที อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติกที่ 221 องศาเซลเซียส และเวลาหล่อเย็นที่ 55 วินาที เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาจำลองกระบวนการฉีดโดยโปรแกรม Moldex3D พบว่า ได้ค่าการเสีรูปร่างของชิ้นส่วนเท่ากับ 3.93 มิลลิเมตร และเมื่อนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมาทำการทดลองฉีดจริง พบว่า ได้ค่าการเสีรูปร่างสูงสุดของชิ้นส่วนเฉลี่ยเท่ากับ 4 มิลลิเมตร ซึ่งจากการทดสอบทางสถิติผลลัพธ์ที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์

เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากผลการทดลองมาปรับใช้กับกระบวนการผลิต พบว่า สัดส่วนของเสียที่เกิดจากการเสีรูปร่างของชิ้นส่วนเกินมาตรฐานกำหนดเท่ากับ 3.3 เปอร์เซ็นต์ จากข้อมูลดังกล่าวเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์สัดส่วนของเสียที่โรงงานกรณีศึกษายอมรับได้ที่ 5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงบรรลุวัตถุประสงค์ เนื่องจากสามารถใช้เป็นแนวทางวิเคราะห์ปัญหาการเสีรูปร่างของชิ้นส่วนและนำผลที่ได้ไปปรับใช้กับกระบวนการผลิตจริงได้

คำสำคัญ: การออกแบบการทดลอง การจำลอง กระบวนการฉีด ชิ้นส่วนยานยนต์

Thesis Title	Design of Experiment for Analyzing Factors Affecting to Varied Deformation in the Simulation of ABS Plastic Injection Molding Process
Name - Surname	Mr. Adun Chitarree
Program	Industrial Engineering
Thesis Advisor	Mrs. Rapee Kanchana, D.Eng.
Academic Year	2012

ABSTRACT

The objectives of this research are to the study and analyze significant factors affecting varied deformation in the ABS plastic injection molding process by using design of experiments and injection molding process simulation with the Moldex3D programming. In this study, eight factors were initially screened namely injection flow rate, injection pressure, switching over position, packing time, packing pressure, melt temperature, mold temperature and cooling time.

As a result of using injection process simulation as of the fractional factorial experiment design (2^{8-4}), the significant factors affecting to deformation were injection flow rate, packing time, melt temperature and cooling time. Then the response surface methodology (RSM) with the central composite design (CCD) the results showed that the maximum of deformation was 3.97 mm appears condition of each parameter to be the injection flow rate of 58%, packing time of 6 sec, melt temperature of 221°C and cooling time of 55 sec wear applied to analyze the optimum condition of each parameter before simulating the injection process by Moldex3D programming results showed that the maximum of deformation was 3.93 mm and applied to the actual injection process also resulted the maximum deformation of 4 mm Hence there was no statistical difference between simulation results and experimental results at 95% confidential interval level.

After implementation, the result showed a defective rate of 3.3% which meets the specification limit of 5%. The contribution of this research provided a guideline on solving deformation problem in ABS plastic injection process which is able to implement in the real circumstance of production.

Keywords: design of experiment, simulation, injection molding process, automotive parts

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ดร.ระพี กาญจนะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ณฐา คุปต์ยงชัย ดร.สมศักดิ์ อธิธิโสภณกุล กรรมการสอบและ ดร.เพ็ญสุดา พันธุธิดา ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษา ตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศรีโร จารุกัญญา และคณาจารย์ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี รวมถึงเพื่อนร่วมงาน หัวหน้างาน ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรมผลิตภัณฑ์ ผู้จัดการฝ่ายการผลิต และผู้จัดการโรงงาน บริษัท วิเชียรไดนามิคอินดัสตรี จำกัด ที่ได้ให้คำปรึกษาและให้การสนับสนุนอำนวยความสะดวกด้านสถานที่ เครื่องมืออุปกรณ์ และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยประมวลผลที่ใช้ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อบุชาพระคุณบิดา มารดา ครูอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

อศุสย์ จิตรอารี



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	6
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	6
1.4 สมมุติฐานการวิจัย.....	7
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	7
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลาสติก.....	9
2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกระบวนการฉีดพลาสติก.....	16
2.3 เครื่องมือวิเคราะห์ทางสถิติ.....	48
2.4 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง.....	63
2.5 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกระบวนการไฟไนต์เอลิเมนต์และการจำลองกระบวนการฉีด พลาสติก.....	81
2.6 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	83
3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	89
3.1 การศึกษาและการวิเคราะห์ปัญหา.....	91
3.2 การออกแบบแผนการทดลองเบื้องต้น (Screening Experiment Design).....	109
3.3 การสร้างแบบจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกโดยโปรแกรม Moldex3D.....	117
3.4 การทดลองเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกรูปแบบ (Screening Experiment).....	118

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.5	การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์หัตถิพผลของปัจจัย..... 118
3.6	การยืนยันผลและการเปรียบเทียบผลการทดลอง 119
3.7	การทดสอบสมมุติฐานทางสถิติ..... 120
3.8	การติดตามผลและสรุปผลการทดลอง 120
4	ผลการทดลอง 121
4.1	ผลการวิเคราะห์ค่าการโก่งงอเสีรูปร่างของชิ้นส่วนตัวอย่างด้วยโปรแกรม Moldex3D ตามแผนการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน 2^{8-4} 121
4.2	ผลการวิเคราะห์หัตถิพผลของปัจจัยในการออกแบบการทดลองเบื้องต้นตามแผนการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน 2^{8-4} ด้วยโปรแกรม Minitab..... 123
4.3	ผลการวิเคราะห์หัตถิพผลของปัจจัยโดยแผนการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (CCD)..... 127
4.4	ผลการวิเคราะห์โดยวิธีการพื้นผิวผลตอบ (RSM) และการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization)..... 132
4.5	ผลการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันและเปรียบเทียบผลการทดลอง 135
4.6	ผลการทดสอบระดับความเชื่อมั่นและสมมุติฐานทางสถิติ 139
4.7	การติดตามผลการนำผลการทดลองไปปรับใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วน 142
5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 144
5.1	ผลการทดลอง 144
5.2	ข้อเสนอแนะ 146
รายการอ้างอิง.....	147
ภาคผนวก.....	151
ภาคผนวก ก ข้อมูลทั่วไป.....	152
ภาคผนวก ข ข้อมูลการประมาณผลการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกด้วยโปรแกรม Moldex3D 157	
ภาคผนวก ค ข้อมูลการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab..... 167	
ภาคผนวก ง ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่..... 172	
ประวัติผู้เขียน.....	184

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ชนิดและปริมาณของพลาสติกที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนสำหรับรถยนต์ (นั่ง) 1 คัน โดยประมาณ	1
2.1 คุณสมบัติต่างๆ ของพลาสติก เอบีเอส (ABS) เกรดต่างๆ	14
2.2 ข้อดีและข้อเสียของพลาสติก เอบีเอส (ABS) เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกชนิดอื่น	14
2.3 สมบัติเชิงกลต่างๆ ของพลาสติก เอบีเอส (ABS) เกรดต่างๆ	15
2.4 แนวทางแก้ไขข้อบกพร่องในกระบวนการฉีดพลาสติก	43
2.5 ผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนอง	48
2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Table).....	51
2.7 ลักษณะโครงสร้างห้าชั้นและความหมายของรายละเอียดแผนการทดลอง.....	68
2.8 ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	87
3.1 ข้อมูลความถี่ของปัญหาที่พบในกระบวนการฉีดชิ้นส่วนพลาสติก เอบีเอส (ABS) ในโรงงานกรณีศึกษา ตั้งแต่ปี 2552 ถึงปี 2553.....	94
3.2 ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่พบในกระบวนการฉีดชิ้นส่วนพลาสติก เอบีเอส (ABS) ในโรงงานกรณีศึกษา ตั้งแต่ปี 2552 ถึงปี 2553.....	95
3.3 มาตรฐานการทดสอบชิ้นส่วนตัวอย่าง Rear Lamp Chrome Cover 326A	99
3.4 ข้อมูลรายละเอียดของทีมตามเทคนิควิธีการระดมความคิด (Brainstorming).....	105
3.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผลของปัจจัยที่มีผลต่อการเสียรูป	108
3.6 การคัดเลือกปัจจัยนำเข้า (KPIV) ที่จะใช้ในการทดลองในขั้นตอนการออกแบบแผนการทดลองเบื้องต้น (Screening Experiment Design).....	111
3.7 คุณสมบัติต่างๆ ของพลาสติก เอบีเอส (ABS) ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลอง	113
3.8 การสรุปค่าพารามิเตอร์ของปัจจัยที่มีความเป็นไปได้ที่จะส่งผลการโก่งงอเสียรูปของชิ้นส่วนตัวอย่างจากการวิเคราะห์โดยเทคนิคการระดมความคิด (Brainstorming) ...	114
3.9 ปัจจัยและระดับของปัจจัยต่างๆ ที่นำมาทดลองตามแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน 2^{8-4} (2^{8-4} Fractional Factorial Experiment)	114
3.10 แผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน 2^{8-4} (2^{8-4} Fractional Factorial Experiment).....	116
4.1 ผลการวิเคราะห์การโก่งงอเสียรูปของชิ้นส่วนด้วยโปรแกรม Moldex3D ตามแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน 2^{8-4} (2^{8-4} Fractional Factorial Experiment)	122

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.2	ค่าพารามิเตอร์ของปัจจัยที่มีนัยสำคัญและปัจจัยไม่มีนัยสำคัญที่มีผลต่อค่า Y (ค่าการโก่งงอสูงสุด) ตามแผนการทดลองเบื้องต้น 127
4.3	การกำหนดระดับของปัจจัยในการทดลองตามแผนการทดลองแบบส่วนผสมกลาง 128
4.4	รูปแบบของแผนการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง 31 Run Order 129
4.5	แผนการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง 31 Run Order 130
4.6	ผลการทดลองการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนตัวอย่างโดยโปรแกรม Moldex3D ตามแผนการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (CCD) 131
4.7	ค่าการโก่งงอของชิ้นส่วนข้างขวา (RH Side) ที่วัดได้จากกระบวนการฉีดจริงภายใต้เงื่อนไขปัจจัยที่เหมาะสม จำนวน 10 ชิ้น 138
4.8	ค่าการโก่งงอของชิ้นส่วนข้างซ้าย (LH Side) ที่วัดได้จากกระบวนการฉีดจริงภายใต้เงื่อนไขปัจจัยที่เหมาะสม จำนวน 10 ชิ้น 138
4.9	ค่าการโก่งงอเสียรูปของชิ้นส่วนตัวอย่างที่นำไปใช้ในการทดสอบระดับความเชื่อมั่นและสมมุติฐานทางสถิติ 139
4.10	จำนวนของเสียที่ตรวจพบในการบวนการผลิตชิ้นส่วนจริงโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลอง 143

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	สัดส่วนของกระบวนการผลิตที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกสำหรับยานยนต์.....	2
1.2	ชนิดพลาสติกที่นำมาผลิตชิ้นส่วนยานยนต์	2
1.3	ความถี่ของปัญหาที่พบในกระบวนการฉีดชิ้นส่วนพลาสติก เอบีเอส (ABS) ในโรงงาน กรณีศึกษา ตั้งแต่ปี 2552 ถึงปี 2553	4
1.4	ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่พบในกระบวนการฉีดชิ้นส่วนพลาสติก เอบีเอส (ABS) ในโรงงานกรณีศึกษา ตั้งแต่ปี 2552 ถึงปี 2553.....	4
1.5	ลักษณะชิ้นส่วน Rear Lamp Chrome Cover 326A (ชิ้นส่วนกรณีศึกษา)	6
2.1	โครงสร้างทางเคมีโดยทั่วไปของพลาสติก เอบีเอส (ABS).....	11
2.2	โครงสร้างทางเคมีโดยทั่วไปของอะคริโลไนไตรล์ บิวตะไดอินและสไตรีน	11
2.3	โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องฉีดพลาสติก.....	17
2.4	ส่วนประกอบของชุดฉีด	18
2.5	ส่วนประกอบของชุดเปิด-ปิดแม่พิมพ์.....	18
2.6	ชิ้นส่วนประกอบหลักๆ ของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่สามารถถอดเปลี่ยนได้.....	20
2.7	ชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ที่ประกอบด้วยปลอกกรูฉีด แหวนบังคับศูนย์ ปลอกนำและ เพลานำ	20
2.8	ชิ้นส่วนพื้นฐานของแม่พิมพ์ประกอบด้วยแผ่นเบ้าและแผ่นคอร์.....	21
2.9	ตัวอย่างแม่พิมพ์แบบขึ้นเดียว.....	22
2.10	อินเลอร์ของเบ้าและคอร์แบบต่างๆ	23
2.11	แผ่นยึดอินเลอร์แบบเป็นแผ่นตัน	24
2.12	แผ่นยึดอินเลอร์แบบต่างๆ	24
2.13	การออกแบบเพลานำและปลอกนำ.....	25
2.14	ระบบป้อนของแม่พิมพ์แบบอิมเพรสชันเดียว.....	25
2.15	ลักษณะปลอกกรูฉีด	26
2.16	การกำหนดตำแหน่งของแม่พิมพ์บนหน้าแปลนยึดของเครื่องฉีดด้วยแหวนบังคับศูนย์ .	27
2.17	ระบบป้อนของแม่พิมพ์แบบหลายอิมเพรสชัน	27
2.18	การฉีดจังหวะที่ 1 การเคลื่อนที่เพื่อปิดแม่พิมพ์.....	29
2.19	การฉีดจังหวะที่ 2 ชุดฉีดเลื่อนเข้าหาแม่พิมพ์.....	29

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.20	การฉีดจังหวะที่ 3 และจังหวะที่ 4 การฉีดและฉีดบำรุงรักษาความดัน 30
2.21	การฉีดจังหวะที่ 5 และจังหวะที่ 6 การหล่อเย็นชิ้นงานที่ฉีดเสร็จและการป้อนพลาสติก เข้าเกลียวหนอนก่อนทำการหลอมใหม่ 30
2.22	การฉีดจังหวะที่ 7 ชุดฉีดดอยกลับ 31
2.23	การฉีดจังหวะที่ 8 และจังหวะที่ 9 แม่พิมพ์เปิดและปิดชิ้นงาน 31
2.24	รูปแบบของอุณหภูมิกระบอกฉีดแบบอุณหภูมิต่ำแล้วค่อยๆ สูงขึ้น 32
2.25	รูปแบบของอุณหภูมิกระบอกฉีดแบบอุณหภูมิกคงที่ 32
2.26	รูปแบบของอุณหภูมิกระบอกฉีดแบบอุณหภูมิลดลง 32
2.27	ตำแหน่งของสกรูในแต่ละจังหวะการฉีด 35
2.28	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการฉีดและความหนาชิ้นงาน 38
2.29	ตัวอย่างกราฟ I Chart of Residual 54
2.30	ตัวอย่างลักษณะกราฟทดสอบการแจกแจงแบบปกติ 54
2.31	ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Residual และ Fit 55
2.32	ตัวอย่างแผนภูมิแก๊งปลา (Fish Bone Diagram) 57
2.33	ตัวอย่างแผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) 59
2.34	ตัวอย่างฮิสโตแกรม (Histogram) 59
2.35	รูปแบบของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย 66
2.36	ตัวอย่างพื้นผิวผลตอบแบบสามมิติ 72
2.37	ตัวอย่างรูปแบบและองค์ประกอบวินโดวส์ของโปรแกรม Minitab 73
2.38	ตัวอย่างรูปแบบ Session Window ของโปรแกรม Minitab 74
2.39	ตัวอย่างรูปแบบ Data Windows ของโปรแกรม Minitab 74
2.40	ตัวอย่างรูปแบบ Graph Windows ของโปรแกรม Minitab 74
2.41	ตัวอย่างรูปแบบ Project Manager ของโปรแกรม Minitab 75
2.42	ตัวอย่างแถบเครื่องมือ (Toolbar) ของโปรแกรม Minitab 75
2.43	ตัวอย่าง Open Worksheet ของโปรแกรม Minitab 76
2.44	ตัวอย่างการแสดงผลบน Session ของโปรแกรม Minitab 78
2.45	ตัวอย่างกราฟ Normality Probability ของโปรแกรม Minitab 79

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.46 ตัวอย่างกราฟพาเรโต ของโปรแกรม Minitab.....	79
2.47 ตัวอย่างกราฟวิเคราะห์อิทธิพลปัจจัยหลัก (Main Effect Plot)	80
2.48 ตัวอย่างกราฟวิเคราะห์อิทธิพลปัจจัยร่วม (Interaction Effect Plot)	81
2.49 ชนิดของเอลิเมนต์.....	82
3.1 ลำดับขั้นตอนในการดำเนินงานการวิจัย	90
3.2 ตัวอย่างสินค้ากลุ่มชิ้นส่วนอะไหล่ทดแทน (Replacement Parts)	91
3.3 ตัวอย่างสินค้ากลุ่มชิ้นส่วนประดับยนต์ (Accessories Parts)	92
3.4 ตัวอย่างสินค้ากลุ่มดวงไฟ แอลอีดี (LED Lamps).....	92
3.5 ตัวอย่างสินค้ากลุ่มดวงไฟสัญญาณ (Signal Lamps)	92
3.6 โครงสร้างองค์กรของบริษัทโรงงานกรณีศึกษา.....	93
3.7 ผลการวิเคราะห์ค่าการโก่งงอเสียรูปของชิ้นส่วน Rear Lamp Chrome Cover 326A โดยโปรแกรม Moldex3D ก่อนทำการทดลองเพื่อปรับปรุงค่าพารามิเตอร์.....	96
3.8 ลักษณะรูปทรงของชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษา	97
3.9 เม็ดพลาสติก เอบีเอส (ABS) ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการฉีดขึ้นรูปตัวอย่าง.....	97
3.10 เครื่องฉีดพลาสติกที่ใช้ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปตัวอย่างกรณีศึกษา	98
3.11 ชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษาที่ผ่านกระบวนการชุบเคลือบผิวด้วยโครเมียม.....	98
3.12 ลักษณะบรรจุภัณฑ์ของชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษา.....	98
3.13 ลักษณะของเครื่องอบเม็ดพลาสติกที่ใช้ในกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ.....	100
3.14 การปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติกก่อนทำการฉีดขึ้นรูปตัวอย่างกรณีศึกษา.....	101
3.15 ลักษณะชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษาที่ได้จากกระบวนการฉีดพลาสติก	101
3.16 พื้นที่แผนกฉีดพลาสติกสำหรับผลิตชิ้นส่วนพลาสติกในโรงงานกรณีศึกษา.....	101
3.17 ลักษณะการวัดค่าการโก่งงอเสียรูปบนเกจวัดการโก่งงอเสียรูปของชิ้นส่วน	102
3.18 ลักษณะการชุบเคลือบผิวด้วยโครเมียมบนชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษา.....	103
3.19 ลักษณะชิ้นส่วนที่ผ่านกระบวนการฉีดเทปกาว 2 หน้า.....	104
3.20 แผนภูมิแก๊งปลาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการโก่งงอเสียรูปของชิ้นส่วนตัวอย่างใน กระบวนการฉีดพลาสติก.....	107

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.21 แผนภูมิพารโตวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วน	108
3.22 แผนภูมิแก้งปลาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วนที่จะนำไปเป็นปัจจัยนำเข้าในการทดลองตามแผนการทดลองเบื้องต้น	112
3.23 รูปแบบการสร้างแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน 2^{8-4} โดยโปรแกรม Minitab	116
3.24 แบบจำลองระบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก โดยโปรแกรม Moldex3D	117
4.1 Half Normal Plot วิเคราะห์ผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Y (ค่าการโค้งงอสูงสุด) โดยโปรแกรม Minitab ตามแผนการทดลองเบื้องต้น	123
4.2 Pareto Chart วิเคราะห์ผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Y (ค่าการโค้งงอสูงสุด) โดยโปรแกรม Minitab ตามแผนการทดลองเบื้องต้น	123
4.3 รูปแบบโครงสร้างซ้ำซ้อนของ Main Effects และ Interaction Effects	125
4.4 Main Effects Plot วิเคราะห์ผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Y (ค่าการโค้งงอสูงสุด) โดยโปรแกรม Minitab ตามแผนการทดลองเบื้องต้น	126
4.5 Interaction Plot เพื่อใช้วิเคราะห์ผลของปัจจัยร่วมที่มีอิทธิพลต่อค่า Y (ค่าการโค้งงอสูงสุด) โดยโปรแกรม Minitab ตามแผนการทดลองเบื้องต้น	126
4.6 Residual Plots ของค่าผลตอบ (ค่า Y) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม	133
4.7 ข้อมูลการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization)	134
4.8 ผลตอบที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้ค่า Y (ค่าการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วน) ต่ำที่สุด ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($\alpha = 0.05$)	134
4.9 ผลการวิเคราะห์การโค้งงอเสียรูปด้วยโปรแกรม Moldex3D ภายใต้อาพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม	136
4.10 ลักษณะชิ้นส่วนและการวัดค่าการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วนบนเกจวัดค่าการโค้งงอ	137
4.11 ตำแหน่งการวัดค่าการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วนบนเกจวัดค่าการโค้งงอ	137
4.12 การทดลองฉีดพลาสติกชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษา	137
4.13 Residual Plots ของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน	140
4.14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษา	141

บทที่ 1

บทนำ

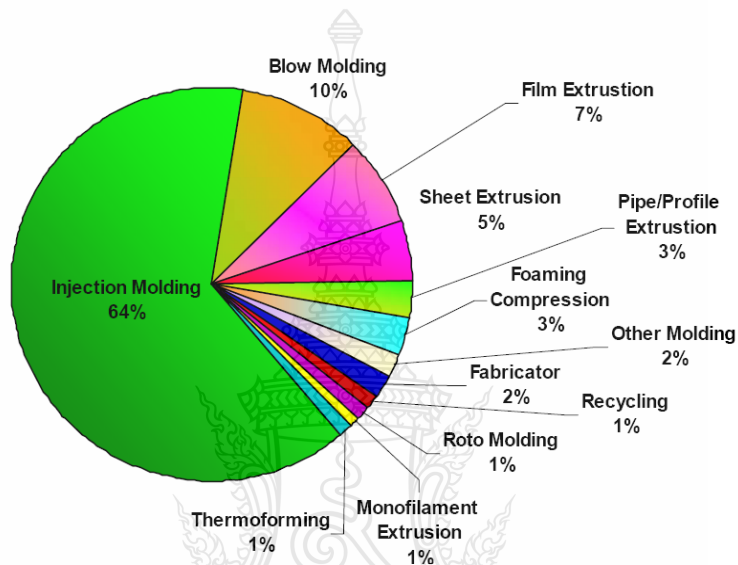
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์มีการเติบโตอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดการแข่งขันกันในกลุ่มผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ด้วยกัน ดังนั้นกระบวนการผลิตชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพภายใต้ต้นทุนการผลิตที่ต่ำสุดและบริการที่รวดเร็ว จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะสร้างความสามารถในการแข่งขันได้ การสร้างความสามารถต่างๆ เหล่านี้ จำเป็นต้องพึ่งพาเทคโนโลยีที่ทันสมัย ร่วมกับกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ วัตถุดิบที่มีคุณภาพ ความรู้ความชำนาญของพนักงานและองค์ประกอบอื่นๆ อีกหลายส่วน ในภาคอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ พบว่า ชิ้นส่วนที่มีความสำคัญอย่างมากและบ่งบอกถึงคุณภาพของอุตสาหกรรมดังกล่าวได้ดี คือ ชิ้นส่วนพลาสติก ซึ่งถือได้ว่าเป็นชิ้นส่วนที่มีอัตราการเติบโตของการผลิตในกลุ่มอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก สังเกตได้จากปริมาณชิ้นส่วนที่ผลิตจากวัสดุพลาสติกต่อรถยนต์หนึ่งคัน ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ชนิดและปริมาณของพลาสติกที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนสำหรับรถยนต์ (นั่ง) 1 คัน โดยประมาณ [1]

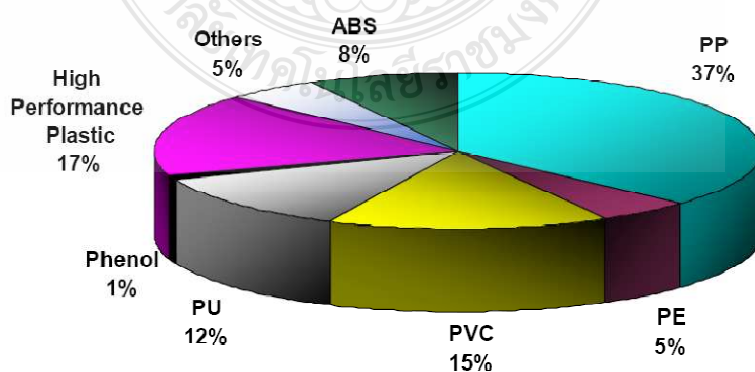
ชิ้นส่วน	ชนิดของพลาสติก	น้ำหนักโดยประมาณ (กก.)
Bumpers	PP, ABS, PC	10
Seats	PUR, PP, PVC, ABS, PA	13
Dashboard	PP, ABS, PA, PC, PE	15
Fuel Systems	PE, POM, PA, PP	7
Body (Including Body Panels)	PP, PPE, UP	6
Under the Bonnet Components	PA, PP, PBT	9
Interior Trim	PP, ABS, PET, POM, PVC	20
Electrical Components	PP, PE, PBT, PA, PVC	7
Exterior trim	ABS, PA, PBT, ASA, PP	4
Lighting	PP, PC, ABS, PMMA, UP	5
Upholstery	PVC, PUR, PP, PE	8
Other Reservoirs	PP, PE, PA	1
Total		105

จากข้อมูลด้านสัดส่วนของกระบวนการผลิตที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกสำหรับยานยนต์ในภาพที่ 1.1 พบว่า กรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกส่วนใหญ่จะใช้กระบวนการผลิตแบบการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) มากที่สุด โดยมีสัดส่วนมากถึง 64 เปอร์เซ็นต์ของกรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกทั้งหมดในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ ดังนั้นการเพิ่มศักยภาพของกรรมวิธีการผลิตแบบการฉีดขึ้นรูปพลาสติก (Injection Molding) จึงมีความสำคัญต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์



ภาพที่ 1.1 สัดส่วนของกระบวนการผลิตที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกสำหรับยานยนต์ [1]

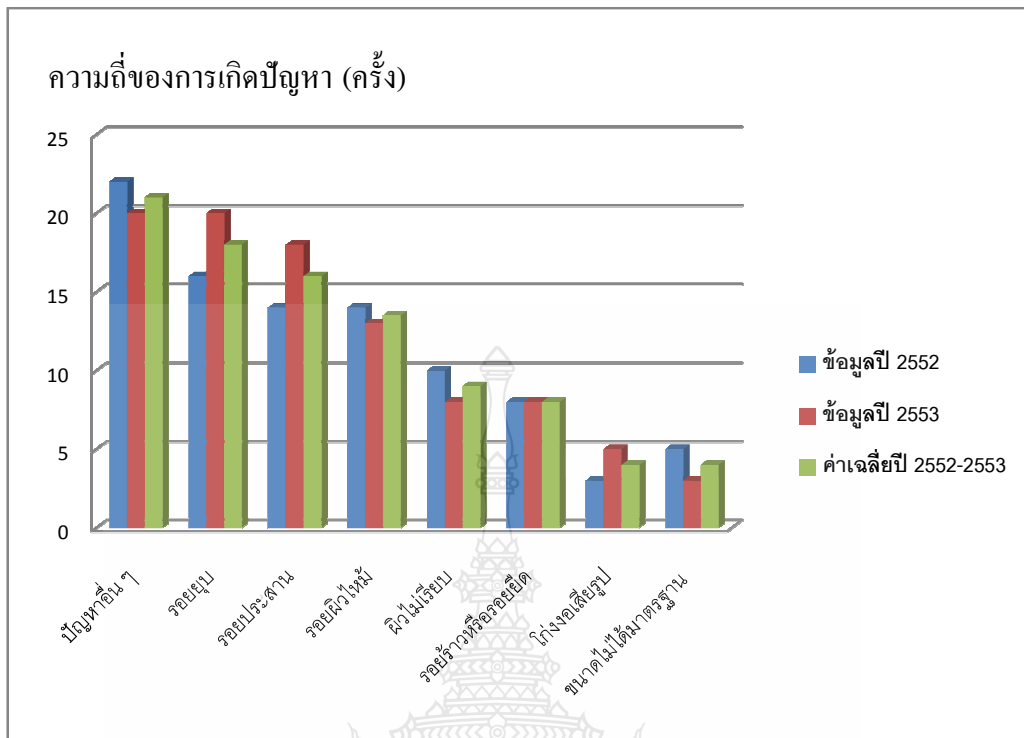
จากข้อมูลสัดส่วนของพลาสติกชนิดต่างๆ ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ จากภาพที่ 1.2 พบว่า พลาสติกที่มีปริมาณการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสูงสุด 5 อันดับแรก ได้แก่ PP, High Performance Plastic, PVC, PU และ ABS ตามลำดับ



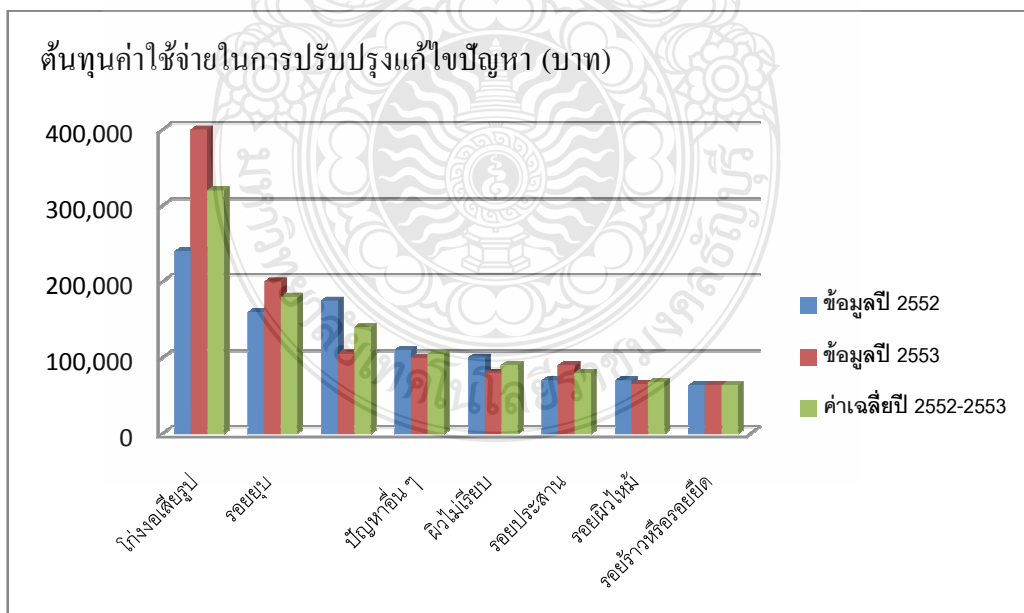
ภาพที่ 1.2 ชนิดพลาสติกที่นำมาผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ [1]

พลาสติก เอบีเอส (ABS) เป็นวัสดุหนึ่งที่ถูกผลิตขึ้นส่วนพลาสติกสำหรับยานยนต์นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษและข้อดีหลายประการ โดยกรรมวิธีผลิตขึ้นส่วนพลาสติก เอบีเอส (ABS) สำหรับยานยนต์ส่วนใหญ่นิยมใช้กระบวนการผลิตแบบฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) เนื่องจากเป็นกรรมวิธีที่สามารถผลิตขึ้นส่วนที่รวดเร็วและผลิตได้ในปริมาณมาก ทำให้สามารถตอบสนองความต้องการขึ้นส่วนได้สูงและมีต้นทุนการผลิตต่อชิ้นที่ต่ำกว่ากรรมวิธีการผลิตแบบอื่นๆ แต่กระบวนการผลิตแบบฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) ต้องอาศัยทักษะและเทคนิควิธีอย่างมากเพื่อให้ได้กระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ เพราะหากมีการควบคุมกระบวนการผลิตหรือค่าพารามิเตอร์ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ อย่างไม่เหมาะสมแล้ว จะส่งผลให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก เป็นสาเหตุของปัญหาคุณภาพของชิ้นงานที่ไม่ได้มาตรฐาน ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตขึ้นส่วนพลาสติกเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นในการปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิตขึ้นส่วนพลาสติก เอบีเอส (ABS) ในงานวิจัยนี้

โรงงานผู้ผลิตขึ้นส่วนพลาสติก เอบีเอส (ABS) สำหรับยานยนต์ ที่ผู้วิจัยเลือกเป็นโรงงานกรณีศึกษา เป็นโรงงานผู้ผลิตหรือรับจ้างผลิตขึ้นส่วนสำหรับยานยนต์ โดยสินค้าหรือชิ้นส่วนที่ผลิตนั้นสามารถแยกเป็นกลุ่มใหญ่ ได้แก่ กลุ่มชิ้นส่วน OEM กลุ่มชิ้นส่วนอะไหล่ทดแทน (Replacement Parts) กลุ่มชิ้นส่วนประดับยนต์ (Accessories Parts) กลุ่มดวงไฟ แอลอีดี (LED Lamps) และกลุ่มดวงไฟสัญญาณ (Signal Lamps) เป็นต้น การผลิตขึ้นส่วนต่างๆ ของโรงงานกรณีศึกษา มีทั้งการผลิตขึ้นส่วนที่จ้างผลิตภายนอกโดย Supplier เช่น กลุ่มงานปั๊มขึ้นรูปโลหะ กลุ่มงานชุบเคลือบผิว กลุ่มงานขึ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ส่วนกระบวนการผลิตขึ้นส่วนที่ผลิตภายในโรงงานได้แก่ กลุ่มงานฉีดขึ้นรูปพลาสติก (Injection Molding) กลุ่มงานขึ้นรูปแผ่นพลาสติก (Thermoforming Plastic Sheet) กลุ่มงานเคลือบผิวสูญญากาศ กลุ่มงานพ่นสี กลุ่มงานประกอบชิ้นส่วนและบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น เมื่อผู้วิจัยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิตขึ้นส่วนพลาสติก เอบีเอส (ABS) ในโรงงานกรณีศึกษา พบว่า กระบวนการผลิตดังกล่าวพบปัญหาด้านคุณภาพหลายประการ ผู้วิจัยจึงได้รวบรวมข้อมูลปัญหาด้านคุณภาพและต้นทุนในการปรับปรุงแก้ไขปัญหานั้นในโรงงานกรณีศึกษาตั้งแต่ปี 2552 ถึงปี 2553 ดังภาพที่ 1.3 และภาพที่ 1.4 ตามลำดับ



ภาพที่ 1.3 ความถี่ของปัญหาที่พบในกระบวนการฉีดชิ้นส่วนพลาสติก เอบีเอส (ABS) ในโรงงาน
 ฝึกศึกษา ตั้งแต่ปี 2552 ถึงปี 2553



ภาพที่ 1.4 ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่พบในกระบวนการฉีดชิ้นส่วนพลาสติก เอ
 บีเอส (ABS) ในโรงงานฝึกศึกษา ตั้งแต่ปี 2552 ถึงปี 2553

จากข้อมูลข้างต้นเมื่อพิจารณาด้านต้นทุนค่าใช้จ่าย จะเห็นได้ว่าปัญหาที่มีต้นทุนในการปรับปรุงแก้ไขปัญหาสูงที่สุดคือ ปัญหาการโค้งงอเสีรูปร่างของชิ้นส่วน ซึ่งถึงแม้จะมีความถี่ของการเกิดปัญหาน้อยกว่าปัญหาด้านอื่นๆ แต่เนื่องจากต้นทุนในการปรับปรุงแก้ไขปัญหาดังกล่าวนี้มีต้นทุนต่อครั้งที่สูงกว่าปัญหาด้านอื่นๆ และยังต้องใช้เวลาในการปรับปรุงแก้ไขที่นานกว่าอีกด้วย ทั้งนี้สาเหตุของปัญหาอาจเนื่องมาจากหลายสาเหตุด้วยกัน เช่น การออกแบบชิ้นส่วนที่เอื้อต่อการเกิดปัญหา การออกแบบโครงสร้างและระบบแม่พิมพ์ฉีดที่ไม่ถูกต้อง หรือการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ในกระบวนการผลิตที่ไม่เหมาะสม เป็นต้น ซึ่งหากมีกระบวนการวิเคราะห์การเกิดปัญหาเหล่านี้ได้ตั้งแต่เริ่มต้นการออกแบบชิ้นส่วนหรือแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก รวมไปถึงวิธีการกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นในการทดลองฉีดชิ้นส่วนพลาสติกเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนพลาสติก ก็จะสามารถลดโอกาสที่จะเกิดปัญหาและลดค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนในการปรับปรุงแก้ไขปัญหาได้

การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม (Design of Experiment; DOE) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยประมวลผลการทดลองและการจำลอง (Simulation) กระบวนการฉีดพลาสติกโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จึงเป็นอีกเทคนิควิธีหนึ่งที่ยอมรับและมีความสำคัญอย่างมากเนื่องจากช่วยให้ผู้ผลิตชิ้นส่วนพลาสติก เอบีเอส (ABS) ด้วยกรรมวิธีการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) สามารถวิเคราะห์ผลและป้องกันปัญหาการการโค้งงอเสีรูปร่างของชิ้นส่วนได้ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก จึงสามารถลดโอกาสที่จะเกิดปัญหาการโค้งงอเสีรูปร่างของชิ้นส่วนพลาสติก เอบีเอส (ABS) ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกได้

ชิ้นส่วน Rear Lamp Chrome Cover 326A ผลิตจากพลาสติก เอบีเอส (ABS) โดยกรรมวิธีการผลิตแบบฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) แล้วชุบเคลือบผิวด้วยโครเมียม ใช้สำหรับครอบบนดวงไฟท้ายรถยนต์ ซึ่งเป็นชิ้นส่วนกลุ่มสินค้า OEM ที่โรงงานกรณีศึกษารับจ้างผลิตให้กับโรงงานประกอบรถยนต์ยี่ห้อหนึ่งในประเทศไทย จากภาพที่ 1.6 จะเห็นได้ว่าชิ้นส่วนดังกล่าวมีลักษณะโค้งงอและยาว ซึ่งเอื้อต่อการเกิดปัญหาการโค้งงอเสีรูปร่างของชิ้นส่วนในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก และเนื่องจากในช่วงที่ผู้วิจัยทำการเก็บรวบรวมข้อมูล ชิ้นส่วนดังกล่าวนี้กำลังอยู่ในช่วงระหว่างการออกแบบแม่พิมพ์ฉีด ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกชิ้นส่วนดังกล่าวเป็นชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษาที่จะใช้ทดลองในงานวิจัยนี้



ภาพที่ 1.5 ลักษณะชิ้นส่วน Rear Lamp Chrome Cover 326A (ชิ้นส่วนกรณีศึกษา)

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษาโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองร่วมกับวิธีการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกกับกระบวนการทดลองฉีดชิ้นส่วนตัวอย่างจริงโดยค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลอง

1.2.3 เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปชิ้นส่วนพลาสติกที่สามารถลดค่าการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษาให้ต่ำที่สุด แล้วนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปปรับใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนจริง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 งานวิจัยนี้ ทำการทดลองกับแบบจำลองแม่พิมพ์ฉีดชิ้นส่วน Rear Lamp Chrome Cover 326A เท่านั้น

1.3.2 งานวิจัยนี้ ทำการทดลองโดยใช้เครื่องฉีดพลาสติกแบบแนวนอนขนาด 380 ตัน ยี่ห้อ Hai Tian รุ่น HTF380W1 ทั้งในแบบจำลองและในการทดลองฉีดชิ้นส่วนตัวอย่างจริง

1.3.3 งานวิจัยนี้ ทำการทดลองโดยใช้วัสดุบิเทอร์โมพลาสติกชนิด พลาสติก เอบีเอส (ABS) เท่านั้น

1.3.4 งานวิจัยนี้ ใช้โปรแกรม Moldex3D ในการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ผลการจำลอง กระบวนการฉีดขึ้นส่วนพลาสติกตัวอย่างกรณีศึกษา

1.3.5 งานวิจัยนี้ ใช้โปรแกรม Minitab 15 ในการสร้างแผนการทดลองและการวิเคราะห์ผลการ ออกแบบการทดลอง

1.3.6 การกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง จะทำการทดลองเฉพาะปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ และมีความเป็นไปได้ที่จะมีอิทธิพลต่อการ โกงงอเสียวรูปของชิ้นส่วนในกระบวนการฉีดขึ้นส่วน พลาสติกตัวอย่างกรณีศึกษาเท่านั้น

1.4 สมมุติฐานการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ค่าการโก่งงอเสียวรูปของชิ้นส่วนพลาสติก เอบีเอส (ABS) ชิ้นส่วนตัวอย่าง กรณีศึกษาโดยใช้วิธีการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกด้วยโปรแกรม Moldex3D เมื่อนำมา เปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากกระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนตัวอย่างจริง ภายใต้เงื่อนไขและ ค่าพารามิเตอร์เดียวกันที่ได้จากเทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมโดยวิธีการออกแบบการทดลอง ได้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 การศึกษาและการวิเคราะห์ปัญหา

1.5.2 การออกแบบแผนการทดลองเบื้องต้น

1. การคัดเลือกแผนการทดลอง
2. การคัดเลือกปัจจัยและระดับของปัจจัย
3. การกำหนดค่าผลตอบสนองในการทดลอง (ค่า Y)
4. การสร้างแผนการทดลองเบื้องต้น

1.5.3 สร้างแบบจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกโดยโปรแกรม Moldex3D

1.5.4 การทดลองเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกปัจจัย

1. การจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกโดย Moldex3D ตามแผนการทดลองเบื้องต้น
2. การวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้น โดย Minitab

1.5.5 การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัย

1. การออกแบบการทดลองส่วนผสมกลาง (CCD)
2. การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (RSM) และการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม

1.5.6 การยืนยันผลและการเปรียบเทียบผลการทดลอง

1. การยืนยันผลการทดลองโดยวิธีการจำลองด้วยโปรแกรม Moldex3D
2. การยืนยันผลการทดลองโดยการทดลองฉีดขึ้นส่วนจริง
3. การเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างวิธีการจำลองและการทดลองฉีดขึ้นส่วน

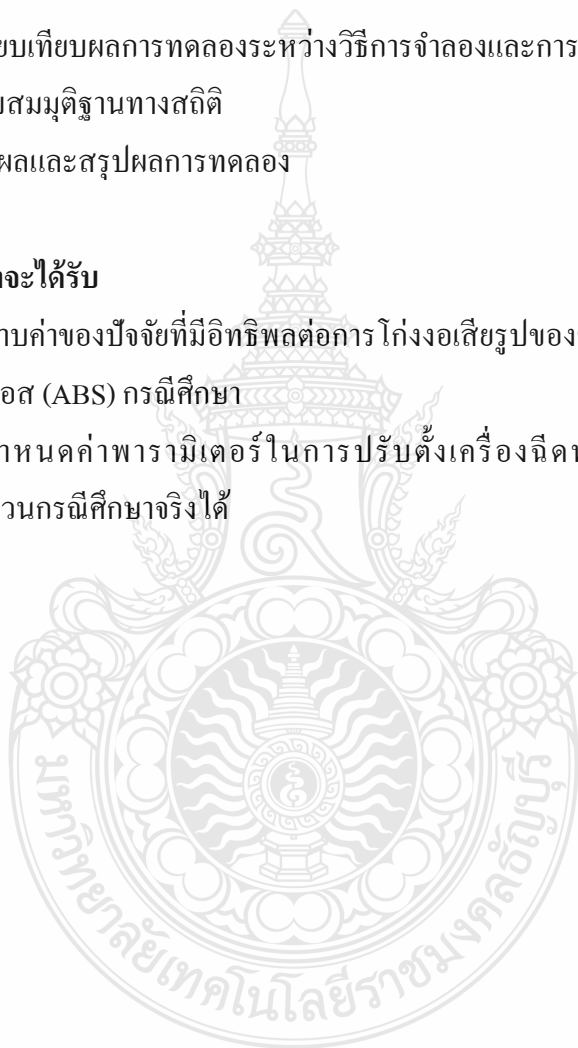
1.5.7 การทดสอบสมมุติฐานทางสถิติ

1.5.8 การติดตามผลและสรุปผลการทดลอง

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถทราบค่าของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการโค้งงอเสีรูปร่างของชิ้นส่วนในกระบวนการฉีดขึ้นส่วนพลาสติก เอบีเอส (ABS) กรณีศึกษา

1.6.2 สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติกเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนกรณีศึกษาจริงได้



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ผู้วิจัยได้กล่าวถึงองค์ความรู้ ทฤษฎี เทคนิควิธีต่างๆ ที่ผู้วิจัยนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ โดยสามารถแบ่งได้ดังนี้คือ

1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลาสติก
2. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกระบวนการฉีดพลาสติก
3. เครื่องมือวิเคราะห์ทางสถิติ
4. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง
5. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกระบวนการไฟไนต์เอลิเมนต์และการจำลองการฉีดพลาสติก
6. วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โดยรายละเอียดต่างๆ มีดังนี้

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลาสติก

พลาสติกหรือพอลิเมอร์เป็นสารสังเคราะห์ที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีของสารอินทรีย์ ซึ่งประกอบไปด้วยธาตุที่สำคัญคือ คาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) เป็นหลัก นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ สมาคมวิศวกรรมพลาสติก (TPE) และสมาคมอุตสาหกรรมพลาสติก (SPT) แห่งสหรัฐอเมริกา ได้ให้คำจำกัดความของพลาสติกไว้ว่า พลาสติก คือ วัสดุที่ประกอบด้วยสารหลายอย่าง มีน้ำหนักโมเลกุลสูง คงรูปเมื่อผ่านการผลิต มีลักษณะอ่อนตัวขณะทำการผลิต ซึ่งโดยมากจะใช้กรรมวิธีการผลิตด้วยความร้อนหรือแรงอัด หรือทั้งสองอย่าง พลาสติกมีชื่อเรียกทางเคมีว่า โพลีเมอร์ (Polymer) โพลีเมอร์เป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเกิดขึ้นในธรรมชาติหรือสังเคราะห์ขึ้นมา โพลีเมอร์ในธรรมชาติที่เราคุ้นเคยดี คือ ไม้ฝ้ายเส้นใยธรรมชาติ ยาง หนังกบสัตว์ โพลีเมอร์สังเคราะห์หรือพลาสติกเป็นส่วนหนึ่งของเคมีอินทรีย์ที่เกิดจากการรวมตัว (Union) ของ โมเลกุลง่าย ๆ หรือโมลิกูลอิสระ (Monomer) โดยผ่านขบวนการสังเคราะห์ทางเคมีที่เรียกว่า Polymerization [2]

2.1.1 การแบ่งประเภทของพลาสติก [2]

วัตถุดิบสำหรับงานฉีดพลาสติก โดยทั่วไปจะนิยมแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือเทอร์โมพลาสติก เทอร์โมเซต และอีลาสโตเมอร์หรือยางสังเคราะห์ ซึ่งมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้

1. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

เทอร์โมพลาสติก คือ พลาสติกที่นำไปหลอมเหลวแล้วปล่อยให้เย็นจนแข็งตัว ก็ยังสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่อีก พลาสติกประเภทนี้ยังแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ พลาสติกประเภทอสัณฐาน (Amorphous Thermoplastic) เป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างที่ไม่เป็นผลึกเช่น พอลิสไตรีน (Polystyrene) พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate) พอลิอะครีลิก (Polyacrylic) เป็นต้น ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งคือ พลาสติกแบบกึ่งผลึก (Partial Crystalline Thermoplastic) เป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างบางส่วนเป็นผลึก เช่น พอลิเอทิลีน (Polyethylene) พอลิเอไมด์ (Polyamide) และพอลิอะซิเตล (Polyacetal) เป็นต้น

2. เทอร์โมเซต (Thermoset)

พลาสติกเทอร์โมเซต คือ พลาสติกที่เมื่อนำไปหลอมเหลวแล้วปล่อยให้เย็นจนแข็งตัวจะเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นร่างแห (Molecule Cross Linking) ภายใต้อิทธิพลความร้อนที่เพิ่มขึ้นและทำให้ไม่สามารถนำกลับมาใหม่ได้อีก เช่น อีพอกซี (Epoxy) ฟีนอลิก (Phenolic) ซิลิโคน (Silicone) และยูรีเทน (Urethane) เป็นต้น

3. อีลาสโตเมอร์ (Elastomer)

อีลาสโตเมอร์พลาสติกหรือยางสังเคราะห์ คือ พลาสติกที่เมื่อนำไปหลอมเหลวแล้วปล่อยให้เย็นจนแข็งตัวด้วยกรรมวิธีวัลคาไนเซชัน (Vulcanization) จะทำให้เกิดโครงสร้างแบบร่างแห (Molecule Cross Linking) ภายใต้อิทธิพลของความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ไม่สามารถนำกลับมาหลอมเหลวได้อีก เช่น ยาง Nitrile Rubber (NBR) ยาง Styrene Butadiene Rubber (SBR) ยาง Natural Rubber (NR) ยาง Chloroprene Rubber (CR) ยาง Silicone Rubber (SI) เป็นต้น

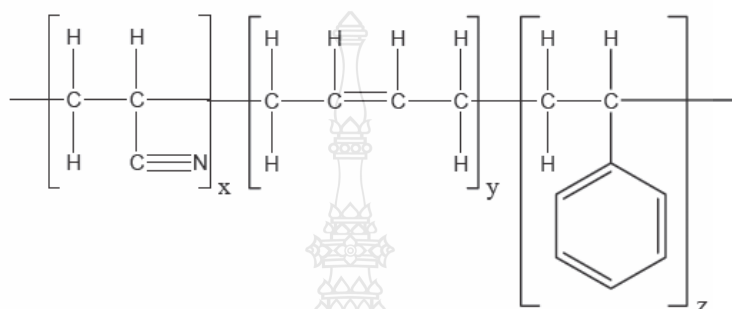
2.1.2 คุณสมบัติของพลาสติก [2]

พลาสติกเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษที่เด่นกว่าวัสดุอื่นที่ได้จากธรรมชาติหรือสังเคราะห์ขึ้นมา เช่น ไม้ แก้ว กระดาษ เป็นต้น และที่นิยมใช้กันอย่างมากมาย ทั้งนี้เพราะพลาสติกมีคุณสมบัติหลายๆ อย่างรวมกันในตัวของมันเอง และยังมีคุณสมบัติสามารถใช้แทนวัสดุอื่นได้ดีเท่าเทียมหรือดีกว่าวัสดุเดิม เช่น ทนการสึกกร่อน ทนสารเคมี แข็ง เหนียว ทนต่อความร้อน และเป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี เป็นต้น พลาสติกมีคุณสมบัติทางโครงสร้างพิเศษที่เรียกว่า High Molecule Weight คือ มีโมเลกุลที่เชื่อมต่อกันยาวกว่าสารชนิดอื่นมาก ด้วยเหตุดังกล่าว จึงทำให้พลาสติกมีคุณสมบัติพิเศษหลายๆ อย่างพร้อมกันไป คือ คุณสมบัติทางกายภาพ (Mechanical) มีความแข็งแรงเหนียว คุณสมบัติทางไฟฟ้า (Electrical) เป็นฉนวนไฟฟ้า คุณสมบัติทางเคมี (Chemical) ทนกรด ด่าง และสารเคมีอื่นๆ

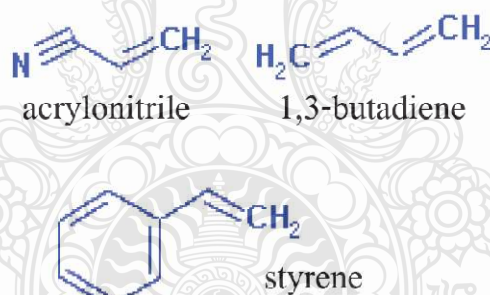
2.1.3 พลาสติก เอบีเอส (Acrylonitrile Butadiene Styrene; ABS)

พลาสติก เอบีเอส ย่อมาจาก อะคริโลไนไตรล์ บิวตะไดอินและสไตรีน ซึ่งรู้จักกันในชื่อทั่วไปว่า ABS โดยพลาสติก เอบีเอส ถูกสังเคราะห์ขึ้นครั้งแรกในช่วงปี ค.ศ. 1940 พลาสติก เอบีเอส

มีความเหนียวที่ดีขึ้นจากการเพิ่มกลุ่ม Styrene เข้าไป แต่ยังคงมีข้อจำกัดของการใช้งานจึงมีการเติม
 ยางคือ กลุ่มของ Butadiene เป็นมอนอเมอร์ ชนิดที่ 3 ที่เป็นส่วนประกอบใน Copolymer จึงมีผลทำให้
 พลาสติก เอบีเอส กลายเป็นพอลิเมอร์ที่ได้รับความนิยมอย่างมากมาตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 1950 เป็นต้นมา
 โครงสร้างทางเคมีโดยทั่วไปของพลาสติก เอบีเอส แสดงดังภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีโดยทั่วไป
 ของอะคริโลไนไตรล์ บิวตะไดอิน และสไตรีน แสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีโดยทั่วไปของพลาสติก เอบีเอส [3]



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีโดยทั่วไปของอะคริโลไนไตรล์ บิวตะไดอินและสไตรีน [3]

โครงสร้างอะคริโลไนไตรล์ จะทำให้สามารถทนความร้อน มีความแข็งแรง ทนทานต่อ
 สารเคมี ทนต่อแรงดึง ทนต่อการครูด่อนและด่างอ่อนได้ดี ละลายในสารประกอบพวกแอลดีไฮด์ คีโตน
 เอสเทอร์ ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ โครงสร้างบิวตะไดอินจะทำให้มีความทนทานต่อแรงกระแทก มี
 ความเหนียวขณะอุณหภูมิต่ำ มีสมบัติที่ดีและมีความยืดหยุ่น โครงสร้างสไตรีนจะทำให้มีความแข็ง
 พื้นผิวชิ้นงานมีความเงามันและช่วยให้ชิ้นรูปชิ้นงานได้ง่ายขึ้น โดยทั่วไปแล้ว พลาสติก เอบีเอส จะมี
 สัดส่วนของอะคริโลไนไตรล์ 20 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ บิวตะไดอิน 20 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ และสไตรีน 40
 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ การผันแปรส่วนประกอบในพลาสติก เอบีเอส จะเป็นการควบคุมสมบัติของชิ้นงาน
 ให้เป็นไปตามที่กำหนด [3]

พลาสติก เอบีเอส จะประกอบด้วยส่วนที่เป็นอนุภาคยางซึ่งโดยทั่วไปคือ พอลิบิวตะไดอิน หรือ บิวตะไดอินโคพอลิเมอร์ กระจายบนเทอร์โมพลาสติก ระหว่างสไตรีนและอะไครโลไนไตรล์ โคพอลิเมอร์ เมทริกซ์ [4]

การผลิตพลาสติก เอบีเอส ที่นิยมใช้ในทางอุตสาหกรรมมี 2 แบบ คือ แบบ Blending โดยนำเอาสไตรีน อะไครโลไนไตรล์ โคพอลิเมอร์ กับยางอะไครโลไนไตรล์ บิวตะไดอิน มาผสมกัน โดยใช้อัตราส่วนดังนี้

70 ส่วน (70:30) สไตรีน อะไครโลไนไตรล์ โคพอลิเมอร์)

40 ส่วน (40:60) ยางอะไครโลไนไตรล์ บิวตะไดอิน)

อีกวิธีหนึ่งคือแบบ Grafting ซึ่งเป็นวิธีที่ดีกว่าวิธีแรก ทำโดยนำเอายางอะไครโลไนไตรล์ และสไตรีน มาพอลิเมอร์ในโพลิบิวตะไดอินลาเทกซ์ ส่วนประกอบที่ใช้โดยทั่วๆ ไปคือ

พอลิบิวตะไดอินลาเทกซ์ 34 ส่วน (โดยน้ำหนัก)

อะไครโลไนไตรล์ 24 ส่วน (โดยน้ำหนัก)

สไตรีน 42 ส่วน (โดยน้ำหนัก)

น้ำ 200 ส่วน (โดยน้ำหนัก)

สารลดแรงตึงผิว 2 ส่วน (โดยน้ำหนัก)

Transfer Agent (Mercaptan) 1 ส่วน (โดยน้ำหนัก)

ตัวเริ่ม ($K_2S_2O_8$) 0.2 ส่วน (โดยน้ำหนัก)

โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 50 °C ผลิตภัณฑ์จะให้เป็นของแข็งเม็ดเล็กๆ แยกออกมาได้ง่าย โครงสร้างจะเป็นแบบกราฟท์ สามารถชุบเคลือบผิวโลหะได้ [5]

การผันแปรสมบัติของพลาสติก เอบีเอส เป็นผลมาจากคอมอนอเมอร์ สารเติมแต่งหรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ดังนี้ ปริมาณยาง ปริมาณของยางที่เชื่อมขวาง (Extent of Rubber Cross Linking) ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคยาง ปริมาณและตำแหน่งของสไตรีน และอะไครโลไนไตรล์ โคพอลิเมอร์ ที่นำไปกราฟท์และตำแหน่งและน้ำหนักโมเลกุลของเมทริกซ์ พลาสติก เอบีเอส สามารถนำไปขึ้นรูปได้หลายวิธี ได้แก่ การอัดรีด (Extrusion) การขึ้นรูปโดยการเป่า (Blow Molding) การฉีดเข้าแม่พิมพ์ (Injection Molding) การขึ้นรูปร้อน (Thermoforming) และการขึ้นรูปพลาสติกด้วยการอัด (Compression Molding) เป็นต้น การตัดแปลง ABS และการผสม ABS กับเทอร์โมพลาสติก ชนิดอื่นเพื่อประโยชน์ต่างๆ เช่น การตัดแปลง ABS ส่งผลให้ความทนทานต่อแรงกระแทก ความเหนียวและความทนทานต่อความร้อนเพิ่มขึ้น ABS ชนิดทนความร้อนสูง สามารถทนความร้อนได้เท่ากับอะซิเตล (Acetal) พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate) และพอลิซัลโฟน (Polysulfone) การผสมของอะไครโลไนไตรล์ บิวตะไดอิน สไตรีนกับพอลิคาร์บอเนต จะทำให้ขึ้นรูปง่ายกว่าการใช้พอลิ

คาร์บอนเตตเพียงชนิดเดียว และส่งผลให้มีความทนทานต่อความร้อนและแรงกระแทกได้สูงและลดต้นทุน [4]

2.1.4 คุณสมบัติโดยทั่วไปของพลาสติก เอบีเอส (ABS)

1. สมบัติด้านความร้อน [6]

การผลิตพลาสติก เอบีเอส (ABS) ที่ทนทานต่อความร้อนได้สูงขึ้นสามารถทำได้โดยการทำปฏิกิริยาโคโพลิเมอไรเซชัน ระหว่างมอนอเมอร์ (ยกตัวอย่างเช่น อัลฟาเมทิลสไตรีน (Alpha Methyl Styrene) หรือ N-Phenyl Maleimide) และเฟสเมทริกซ์ หรือการใช้ ABS เป็นพอลิเมอร์พื้นฐานผสมกับวัสดุชนิดอื่นที่สามารถทนความร้อนได้สูง ซึ่งโดยส่วนมากจะใช้อะคริโลไนไตรล์ บิวตะไดอินสไตรีน-พอลิคาร์บอเนต ซึ่งมีความทนทานต่อแรงกระแทกและทนทานต่อความร้อนได้สูง อุณหภูมิที่ใช้งานได้เป็นระยะเวลานานๆ มากที่สุดอยู่ในช่วงระหว่าง 60 ถึง 80 °C สีของ ABS (สีธรรมชาติออกเหลืองน้ำตาล) จะมีทั้งในรูปผงที่มีการเติมสี เม็ดที่ไม่มีการเติมสี เม็ดที่มีการเติมสี เม็ด ABS และเม็ดสีผสมกัน ความโปร่งใสของ ABS เกรดพื้นฐานจะทึบแสง เนื่องจากค่าการหักเหของแสงระหว่างเฟสยางที่กระจายตัวอยู่บนเฟสสไตรีนอะคริโลไนไตรล์ (SAN) ที่ต่อเนื่องไม่เหมาะสมกัน อย่างไรก็ตามก็มี ABS เกรดที่โปร่งใสสำหรับการนำไปใช้งานในด้านที่ต้องการความใส ซึ่งความโปร่งใสจะไดมาจากการใช้เฟสยางและเฟสเมทริกซ์ที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงที่เหมาะสมกัน ยกตัวอย่างเช่นการทำปฏิกิริยาโคโพลิเมอไรเซชันระหว่างเมทิลเมทาคริเลต (Methylmethacrylate) และยางสไตรีน บิวตะไดอิน

2. คุณสมบัติด้านเคมี

ความทนทานต่อสารเคมี โดยทั่วไปแล้ว ความทนทานต่อสารเคมีจะใช้ในการกล่าวถึงการทนทานต่อตัวทำละลายซึ่งเป็นสาเหตุให้พลาสติกเกิดการบวมตัวหรือเกิดการรอยแตกจากแรงเค้น การทดสอบการเกิดรอยแตกจากแรงเค้นทำได้โดยการให้ชิ้นตัวอย่างที่มีการให้แรงเค้นเริ่มต้นสัมผัสกับสารเคมี แล้วจึงตรวจสอบความทนทานต่อการเกิดรอยแตกจากแรงเค้นภายในช่วงเวลาที่กำหนด การที่มีอะคริโลไนไตรล์จะช่วยเพิ่มความทนทานต่อการเกิดรอยแตกจากแรงเค้นได้ พลาสติก เอบีเอส เป็นพลาสติกที่มีขี้เนื่องจากหมู่ไนไตรล์ ซึ่งจะทำให้มีความทนทานต่อตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ ขี้ผึ้ง เป็นต้น ดังนั้นจึงมีการนำ ABS ไปผลิตเป็นวัสดุทางการค้า อุปกรณ์ และเครื่องใช้ภายในบ้านหลายชนิด นอกจากนี้อะคริโลไนไตรล์ยังมีความสามารถในการดูดซึมน้ำที่ต่ำและทนต่อสารเคมีได้ดี จึงส่งผลให้มีความทนทานต่อคราบสกปรกต่างๆ ได้ [6]

สมบัติต่างๆ ของ ABS เกรดทั่วไป และ ABS กับพอลิคาร์บอเนตแสดงดังตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของพลาสติก เอบีเอส ที่เหนือกว่าพลาสติกชนิดอื่นแสดงดังตารางที่ 2.2 และสมบัติเชิงกลต่างๆ ของพลาสติก เอบีเอส แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของพลาสติก เอบีเอส (ABS) เกรดต่างๆ [4]

Property	ABS General	ABS/PC	ABS Heat Resistant
Specific Gravity	1.16-1.21	1.17-1.23	1.05-1.08
Tensile Strength (psi)	3300-8000	5800-9300	4800-7500
Flexible Strength (psi)	6200-14000	12000-14500	9000-13000
Elongation (%)	1.5-80	20-70	3-45
Izod Impact (ft lb/in)	1.4-12	4.1-14	2.0-6.5
Dielectric Strength (Volt/Mil)	350-500	450-760	350-500

ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อเสียของพลาสติก เอบีเอส (ABS) เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกชนิดอื่น[4]

ข้อดีของพลาสติก เอบีเอส (ABS)	ข้อเสียของพลาสติก เอบีเอส (ABS)
1. Hardness	1. Opacity
2. Rigidity Without Brittleness	2. Weather
3. Physical Properties not Affect by Moisture (This Leads to Dimension Stability)	3. Flame Resistance (Can be Improved with Flame Retardant)
4. Balance of Tensile Strength, Impact Resistance, Surface Hardness, Rigidity, Heat Resistance, Low Temperature Properties and Electrical Characteristics	
5. Stability Under Limited Load	
6. Retention of Impact Resistance as Temperature Decrease	
7. Moderate Cost	

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติเชิงกลต่างๆ ของพลาสติก เอบีเอส (ABS) เกรดต่างๆ [4]

Properties	ASTM Method	Medium Impact	High Impact	Heat Resistant	Flame Retardant	High Modulus ^a
Notched Izod Impact at T _{room} (J/m ^b)	D256	160-270	270-530	75-300	140-320	50-150
Tensile Yield Strength (MPa ^c)	D638	35-50	30-45	56-60	35-45	65-95
Elongation at Break (%)	D638	20-40	25-80	10-60	10-30	2-5
Flexural Yield Strength (MPa ^c)	D790	55-75	50-75	55-90	55-75	95-160
Flexural Modulus (GPa ^d)	D790	2-3	4.5-2.5	2-3	2-2.5	4-9
Heat Deflection (°C at 1825 kPa ^e)	D648	75-90	75-85	90-110	70-80	95-105
Vicat Softening pt (°C)	D1525	100-110	95-105	110-125	85-100	100-110
Rockwell Hardness	D785	100-115	80-110	105-110	95-105	110-115

2.1.5 กรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมพลาสติก [2]

การขึ้นรูปพลาสติก แยกออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ดังนี้

1. ประเภทหล่อพลาสติกเม็ดและผง โดยใช้ความร้อน และแรงอัดในแม่พิมพ์แบบปิด (Molding) ได้แก่

- 1) การหล่อพลาสติกแบบอัด (Compression Molding)
 - 2) การหล่อพลาสติกแบบอัดส่ง (Transfer Molding)
 - 3) การหล่อพลาสติกแบบฉีด (Injection Molding)
 - 4) การหล่อพลาสติกแบบอัดรีด (Extrusion Molding)
 - 5) การหล่อพลาสติกแบบเป่า (Blow Molding)
 - 6) การหล่อพลาสติกแบบลูกกรีด (Calendering Molding)
 - 7) การหล่อพลาสติกแบบอัดแผ่น (Laminating Molding)
 - 8) การหล่อพลาสติกแบบอัดเย็น (Cold Molding)
2. ประเภทหล่อพลาสติกเหลว (Casting)
- 1) การหล่อพลาสติกแบบหล่อเย็น (Simple)
 - 2) การหล่อพลาสติกแบบหล่อร้อน (Plastisol)
3. ประเภทอัดขึ้นรูปพลาสติกแผ่น (Thermoforming)
- 1) การอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบอัดด้วยแม่แบบ (Mechanical)
 - 2) การอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบสุญญากาศ (Vacuum)
 - 3) การอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบลมอัด (Blow)

4. ประเภทหล่อพลาสติกเหลวกับวัสดุเสริมกำลัง Reinforcing
 - 1) การหล่อพลาสติกแบบใช้มือทา (Hand Lay - Up)
 - 2) การหล่อพลาสติกแบบใช้แม่แบบอัด (Matched Molding)
 - 3) การหล่อพลาสติกแบบถุงอากาศ (Pressure - Bag Molding)
 - 4) การหล่อพลาสติกแบบถุงสุญญากาศ (Vacuum - Bag Molding)
 - 5) การหล่อพลาสติกแบบใช้เครื่องพ่น (Spray Up)
 - 6) การหล่อพลาสติกแบบอัดเหลว (Premix Molding)
5. ประเภทหล่อโฟม (Foaming)
 - 1) แบบหล่อพลาสติกเม็ด (Molding Expandable Polystyrene)
 - 2) แบบหล่อพลาสติกเหลว (Casting Rigid and Flexible Polyurethane Foam)

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกระบวนการฉีดพลาสติก

งานขึ้นรูปพลาสติกโดยการฉีดนั้นจะใช้พลาสติกที่เป็นเม็ดหรือเป็นผง ซึ่งอาจจะเป็น Thermoplastic Thermosetting หรือ Elastomer ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การออกแบบเครื่องฉีดที่จะดัดแปลงให้เหมาะสมกับพลาสติกชนิดต่างๆ สำหรับเทอร์โมพลาสติกนั้นเมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัวและเหลว สามารถนำไปแปรรูปได้หลายครั้ง คุณภาพของชิ้นงานที่ได้จะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับ การออกแบบแม่พิมพ์ที่เหมาะสมและการปรับตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดพลาสติก ได้แก่ อุณหภูมิ พลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ อุณหภูมิขณะปลดชิ้นงาน อุณหภูมิกระบอกฉีด ระยะชักสกรู ความเร็วรอบสกรู ความดันฉีด ความดันฉีดย้ำ เวลาฉีดย้ำ ระยะสำรอง เวลาที่พลาสติกเหลวแช่อยู่ในกระบอกฉีด ความเร็วฉีด ความดันด้านการถอยกลับของสกรู ระยะเปลี่ยนความดันฉีดเป็นฉีดย้ำ แรงปิดแม่พิมพ์ และเวลาในการหล่อเย็น เป็นต้น

การฉีดพลาสติก ถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกโดยเฉพาะ แต่ก็สามารถใช้ฉีดประเภทเทอร์โมเซตได้เช่นกัน การฉีดพลาสติกจะเป็นวิธีที่สามารถผลิตได้ทีละปริมาณมากๆ และรวดเร็ว โดยการฉีดพลาสติกสามารถแบ่งออกเป็น 5 กรรมวิธี คือ

1. การฉีดแบบ Injection Molding เป็นการฉีดพลาสติกแบบธรรมดาที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยจะใช้สกรูเป็นตัวขับเคลื่อนเพื่อดันพลาสติกเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์
2. การฉีดแบบ Injection Blow Molding เป็นการฉีดพลาสติกที่ดัดแปลงมาจากการผลิตแบบเป่าโดยกรรมวิธีนี้จะใช้สำหรับผลิตขวดที่มีขนาดเล็กเท่านั้น และความหนาของงานจะต้องมีลักษณะใกล้เคียงกันทั่วทั้งชิ้น

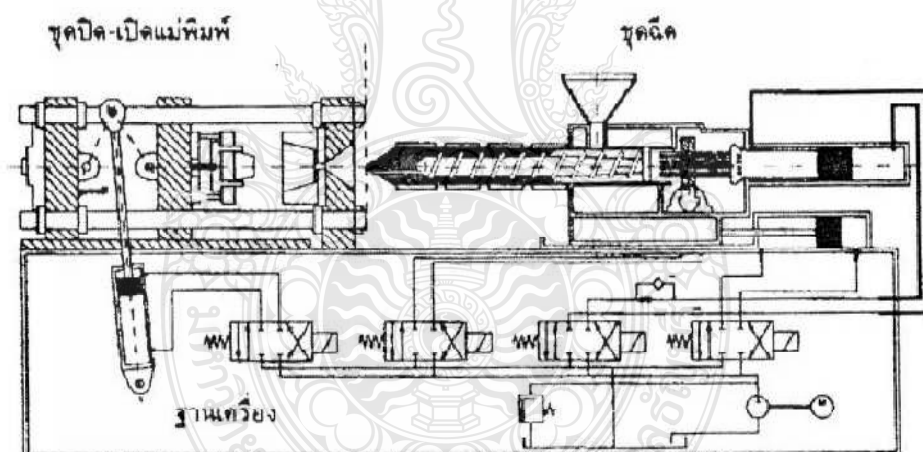
3. การฉีดแบบ Inject Stretch Blow Molding เป็นการฉีดพลาสติกที่คล้ายกับการเป่าทั่วไป แต่แตกต่างกันตรงที่จะต้องทำการยืดพลาสติกก่อนที่จะทำการเป่า

4. การฉีดแบบ Reactive Injection Molding (RIM) เป็นกรรมวิธีที่ใช้ฉีดพลาสติกโมโนเมอร์เข้าไปในแม่พิมพ์ แทนการฉีดพลาสติกเหลวที่ร้อน แต่เป็นกรรมวิธีที่ยังไม่สามารถใช้ได้กับพลาสติกทั่วไปได้ ที่ใช้ได้ผลก็คือ โพลียูรีเทน (Polyurethane) เรซิน (Resin) และไนลอน (Nylon) เป็นต้น

5. การฉีดแบบ Injection Stamping เป็นกรรมวิธีการผลิตแบบพิเศษสำหรับงานที่ต้องการความละเอียดสูง คือแม่พิมพ์สามารถปรับขนาดได้ เพื่อป้องกันการหดตัวหรือการบิดงอของชิ้นงาน ซึ่งยังไม่เป็นที่นิยมใช้กัน ส่วนมากนิยมใช้ผลิตเกี่ยวกับเลนส์ (Lenses) [6]

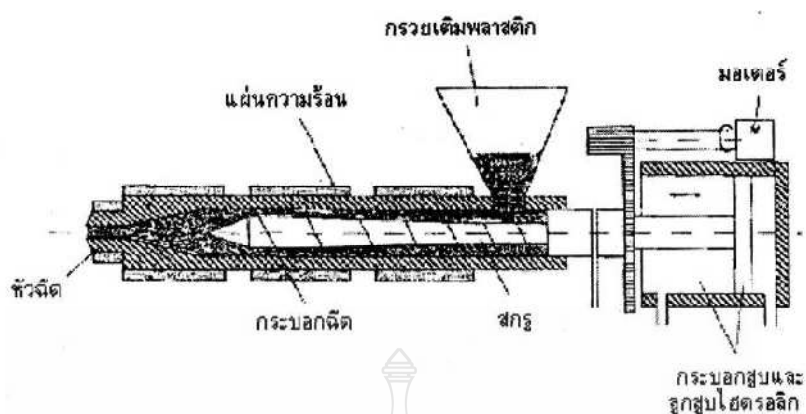
2.2.1 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องฉีดพลาสติก

โดยทั่วไปแล้วเครื่องฉีดพลาสติกจะมีโครงสร้างส่วนประกอบสำคัญ ซึ่งสามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนชุดฉีด (Injection Unit) ส่วนชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit) และส่วนฐานของเครื่องฉีด (Base) แสดงดังภาพที่ 2.3



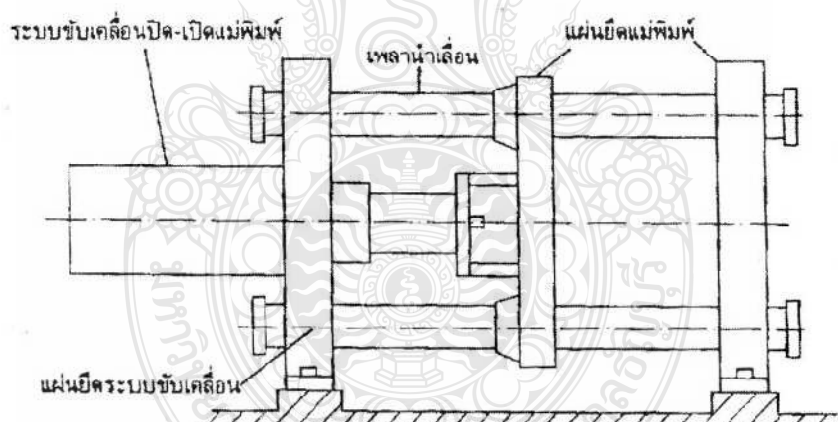
ภาพที่ 2.3 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องฉีดพลาสติก

1. ส่วนชุดฉีด จะทำหน้าที่ดึงพลาสติกเข้าสู่กระบอกฉีด หลอมเหลวและส่งพลาสติกเหลวไปที่หัวฉีด และทำหน้าที่ในการฉีดและรักษาความดันย้ำ ซึ่งจะมีส่วนประกอบพื้นฐานดังต่อไปนี้ คือ หัวฉีด (Nozzle) สกรู (Screw) กระบอกฉีด (Barrel) แผ่นความร้อน (Heater) กรวยเติมพลาสติก (Hopper) กระบอกสูบและลูกสูบไฮดรอลิก (Hydraulic Cylinder and Pistol) และมอเตอร์ขับเคลื่อนสกรู (Drive Motor) แสดงดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ส่วนประกอบของชุดฉีด

2. ส่วนชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ ทำหน้าที่ในการยึดแม่พิมพ์ทั้งสองส่วน เลื่อนปิดเปิดแม่พิมพ์ ให้แรงในการปิดล็อกแม่พิมพ์ หล่อเย็นชิ้นงานฉีดพลาสติก และปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ประกอบไปด้วยแผ่นยึดแม่พิมพ์ซึ่งมีส่วนที่เคลื่อนที่และอยู่กับที่ เพลาหน้าเลื่อน ระบบขับเคลื่อนปิด-เปิดแม่พิมพ์ และแผ่นยึดระบบขับเคลื่อน แสดงดังภาพที่ 2.5



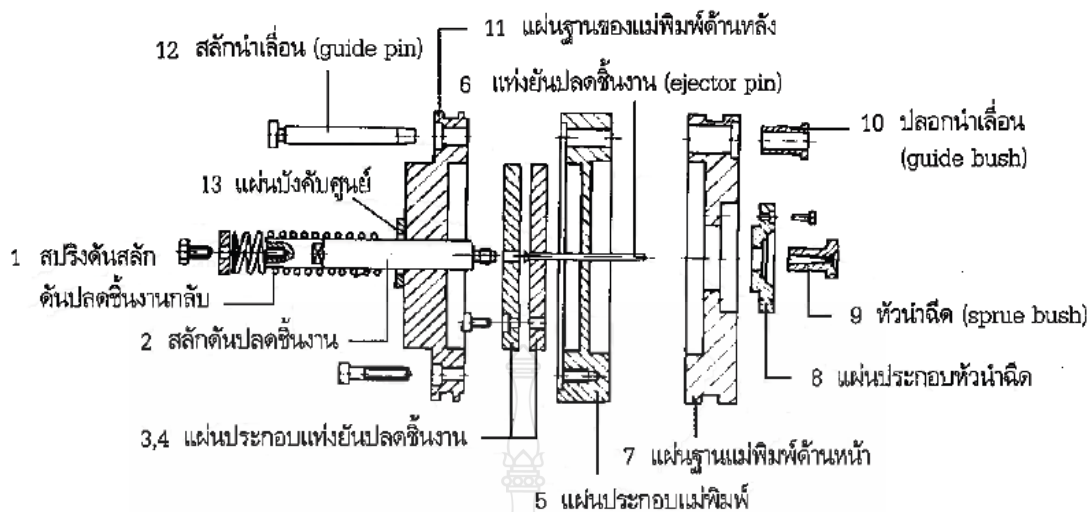
ภาพที่ 2.5 ส่วนประกอบของชุดเปิด-ปิดแม่พิมพ์

3. ส่วนฐานของเครื่องฉีด ทำหน้าที่รับน้ำหนักชุดฉีดและชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์นอกจากนี้ยัง ทำหน้าที่ยึดติดอุปกรณ์ไฮดรอลิกทั้งหมดในเครื่องและทำหน้าที่เป็นถังน้ำมันไฮดรอลิก โดยส่วนใหญ่ แล้วตัวฐานเครื่องจะมีทำด้วยเหล็กเหนียวที่เชื่อมประกอบเข้าเป็นฐานเครื่อง เพื่อความแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักมากๆ ได้

2.2.2 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก (Injection Mold) [7-8]

เนื่องจากคุณสมบัติพิเศษของพลาสติกที่สามารถขึ้นรูปเป็นรูปทรงได้ทุกแบบตามต้องการ โดยในการขึ้นรูปนี้จะต้องมีแม่พิมพ์เป็นตัวทำให้เกิดรูปทรงของชิ้นงาน จากภาพที่ 2.6 เป็นส่วนประกอบหลักๆ ของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ซึ่งบางแบบอาจจะมีลักษณะแตกต่างจากนี้ในลักษณะของรูปทรงของชิ้นงาน การปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์และหัวนำฉีด (Sprue Bush) ดังนั้นการแบ่งประเภทของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกอย่างหยาบจะแบ่งตามความแตกต่างของการปลดชิ้นงานและหัวนำฉีด หัวนำฉีดเป็นชิ้นส่วนที่ส่งผ่านพลาสติกเหลวจากหัวฉีดเข้าไปยังหลุมแบบที่เป็นรูปร่างของชิ้นงานภายในแม่พิมพ์ ซึ่งจะต้องมีความแข็งแรง ทนต่อการกระแทกได้เป็นอย่างดี

แม่พิมพ์จะประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่กับที่ (Fixed Half) และส่วนที่เคลื่อนที่ (Moving Half) นอกจากส่วนประกอบหลักใหญ่ๆ นี้แล้วยังแบ่งเป็นส่วนประกอบย่อยได้ จากภาพที่ 2.6 แสดงชิ้นส่วนประกอบหลักๆ ของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่สามารถถอดเปลี่ยนได้ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการผลิตชิ้นส่วนประกอบต่างๆ ของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเหล่านี้ไว้เป็นมาตรฐานสามารถซื้อหามาเปลี่ยนได้เมื่อเกิดชำรุดหรือเสื่อมสภาพ ถ้าเริ่มต้นจากแม่พิมพ์ด้านเคลื่อนที่ ก็จะเริ่มด้วยสลักสำหรับดันชุดปลดชิ้นงานหมายเลข (1) ซึ่งสอดผ่านแผ่นฐานของแม่พิมพ์ (11) ไปชนเกลียวติดกับแผ่นประกบแท่งยันปลดชิ้นงาน (3) และ (4) แผ่นฐาน (Base Plate) หมายเลข (11) ใช้ติดกับแผ่นติดแม่พิมพ์ด้านเคลื่อนที่ (Moving Plate) ของเครื่องฉีดพลาสติกโดยมีแผ่นบังคับศูนย์ หมายเลข (13) เป็นตัวบังคับให้อยู่ในตำแหน่งศูนย์กลางพอดี แผ่นหมายเลข (5) ใช้สำหรับประกอบแม่พิมพ์ที่เป็นช่องว่างรูปทรงของชิ้นงาน แท่งยันปลดชิ้นงาน (Ejector Pin) (6) ใช้สำหรับยันปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ แผ่นฐาน (Base Plate) หมายเลข (7) ใช้สำหรับประกอบแม่พิมพ์ส่วนที่เป็นหลุมแบบที่ทำให้เกิดรูปร่างของชิ้นงานและใช้ประกอบแผ่นติดแม่พิมพ์ด้านอยู่กับที่ (Stationary Plate) ของเครื่อง โดยจะมีหัวนำฉีดและแผ่นประกอบหัวนำฉีดติดอยู่ด้านหน้า ในแผ่นฐาน (7) และ(11) จะมีรูสำหรับสอดแท่งนำเลื่อน (Guide Pin) (12) เพื่อให้แม่พิมพ์ประกบกันพอดี โดยจะมีปลอกนำเลื่อน (Guide Bush) (10) ที่ติดอยู่กับแผ่นฐาน (7) ทำหน้าที่นำเลื่อน ถ้ามีชิ้นส่วนหลักๆ ลักษณะนี้จะทำให้การผลิตแม่พิมพ์ง่ายและรวดเร็วขึ้นมาก คือ เพียงแต่ทำส่วนแม่พิมพ์ที่เป็นหลุมแบบรูปทรงของชิ้นงานมาประกอบเข้าก็จะเสร็จซึ่งเป็นการประหยัดงานและเวลาในการสร้างแม่พิมพ์ไปได้มาก



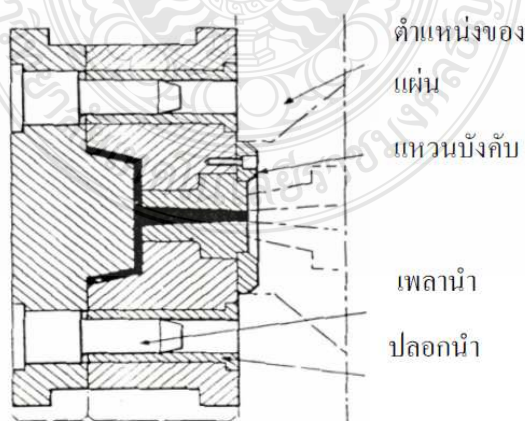
ภาพที่ 2.6 ชิ้นส่วนประกอบหลักๆ ของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่สามารถถอดเปลี่ยนได้

1. ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก [7]

แม่พิมพ์ฉีดที่ใช้เป็นแม่พิมพ์ที่มีส่วนประกอบย่อยๆ มากมายเพื่อให้แม่พิมพ์สามารถทำงานผลิตชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และแม่พิมพ์แต่ละชนิดก็จะมีส่วนประกอบย่อยๆ ที่แตกต่างกันเพื่อช่วยให้สามารถผลิตชิ้นงานได้ตามความต้องการ

1) ส่วนที่อยู่กับที่และส่วนเคลื่อนที่ (Fixed Half and Moving Half)

แม่พิมพ์ฉีดจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนที่ยึดอยู่กับแผ่นยึดที่อยู่กับที่ของเครื่องฉีดพลาสติก เรียกว่าส่วนที่อยู่กับที่ อีกส่วนหนึ่งจะยึดอยู่กับแผ่นยึดที่เคลื่อนที่ของเครื่องฉีดพลาสติก เรียกว่าส่วนเคลื่อนที่



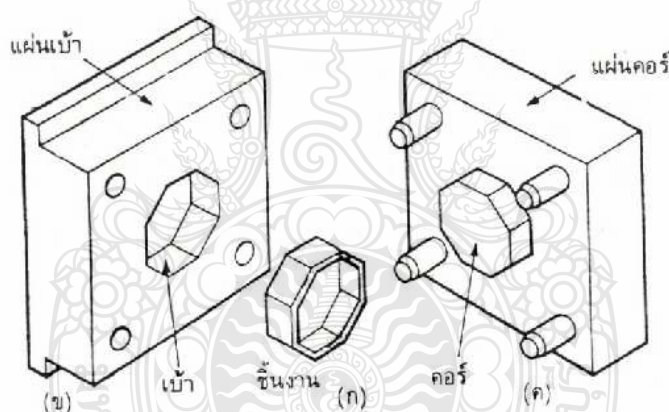
ภาพที่ 2.7 ชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนปลอกฉีด แหวนบังคับศูนย์ ปลอกนำ และเพลาน้ำ [7]

2) อิมเพรสชัน (Impression)

แม่พิมพ์ที่ติดประกอบขึ้นจากชิ้นส่วนต่างๆ หลายชิ้นเกิดเป็นโพรงข้างในที่เรียกว่า อิมเพรสชัน ซึ่งเนื้อพลาสติกจะถูกฉีดเข้าไปและเย็นตัวลงจนได้ชิ้นงานพลาสติกที่มีรูปร่างเหมือนกับอิมเพรสชัน อิมเพรสชันเกิดจากการประกอบชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ 2 ชิ้น คือ เบ้า (Cavity) ซึ่งเป็นแม่พิมพ์ตัวเมียทำให้เกิดรูปร่างภายนอกของชิ้นงาน และคอร์ (Core) เป็นส่วนของแม่พิมพ์ตัวผู้ทำให้เกิดรูปร่างภายในของชิ้นงาน

3) แผ่นเบ้าและแผ่นคอร์ (Cavity and Core Plates)

แม่พิมพ์แบบง่ายๆ ของภาชนะบรรจุสิ่งของทรงแปดเหลี่ยม แม่พิมพ์แบบง่ายๆ ประกอบด้วยแผ่นแม่พิมพ์ 2 แผ่น แผ่นหนึ่งขุดลึกเป็นโพรงเข้าไปซึ่งเป็นส่วนขึ้นรูปภายนอกของชิ้นงานและเรียกว่า แผ่นเบ้า และอีกแผ่นหนึ่งจะทำเป็นแกนยื่นออกมาและเป็นส่วนขึ้นรูปภายในของชิ้นงานเรียกว่า แผ่นคอร์ เมื่อแม่พิมพ์ปิดแผ่นเบ้าและคอร์จะเลื่อนเข้าประกบกันทำให้เกิดเป็นช่องว่างขึ้นระหว่างแผ่นเบ้าและแผ่นคอร์ เรียกว่า อิมเพรสชัน

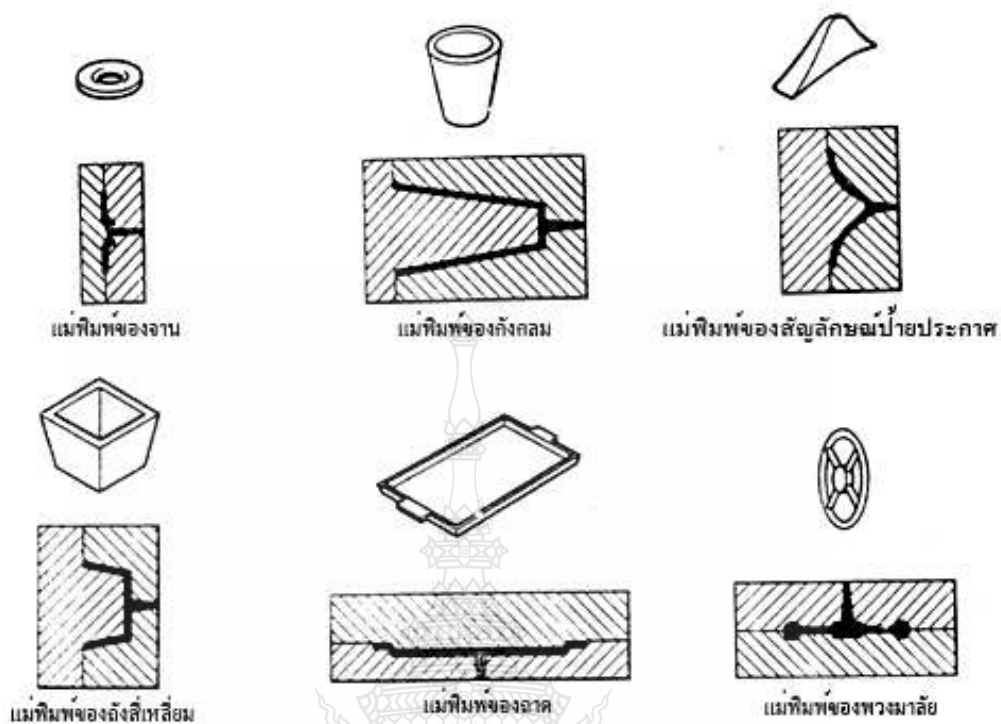


ภาพที่ 2.8 ชิ้นส่วนพื้นฐานของแม่พิมพ์ประกอบด้วยแผ่นเบ้าและแผ่นคอร์ [7]

4) เบ้าแม่พิมพ์และคอร์แม่พิมพ์ (Mold Cavities and Core)

ก. แผ่นเบ้าและแผ่นคอร์แบบชิ้นเดียว

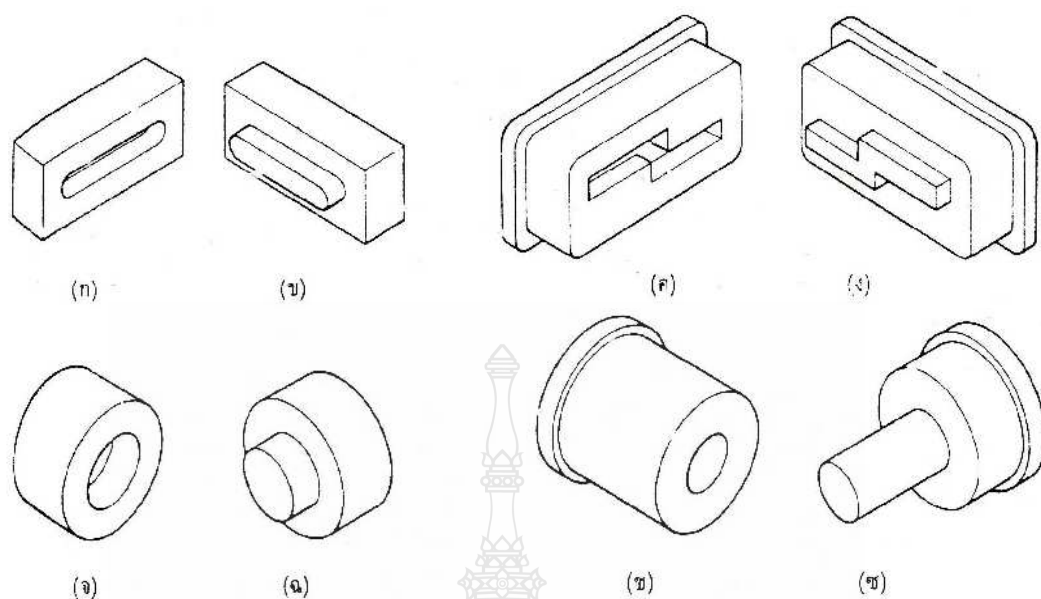
เบ้าและคอร์ขึ้นรูปด้วยการตัดเฉือนจากแผ่นเหล็กหรือก้อนเหล็กขนาดใหญ่หรือหล่อขึ้นรูปเป็นชิ้นเดียวกันและใช้โดยปราศจากแผ่นยึดอินเสิร์ต เป็นแม่พิมพ์แผ่นหนึ่งเรียกว่า แผ่นเบ้าแบบชิ้นเดียว หรือแผ่นคอร์แบบชิ้นเดียว ส่วนมากมักนิยมใช้กับแม่พิมพ์แบบอิมเพรสชันเดียว เนื่องจากคุณสมบัติเกี่ยวกับความแข็งแรง มีขนาดเล็กแต่ในแม่พิมพ์แบบหลายอิมเพรสชันมีการใช้งานไม่มากนักเนื่องจากค่าแพ็คเกจจิ้งอื่นๆ ที่ต้องนำมาพิจารณา เช่น การปรับตั้งตำแหน่ง



ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างแม่พิมพ์แบบชั้นเดียว [7]

ข. อินเสิร์ตของเบ้าและคอร์ (Inserts Cavity and Core)

สำหรับแม่พิมพ์ที่มีอิมเพรสชันที่ค่อนข้างซับซ้อน การทำแผ่นเบ้าและแผ่นคอร์ขึ้นจากแผ่นเหล็กชั้นเดียวตลอดเหมือนแม่พิมพ์แบบชั้นเดียว มีความยากลำบากและมีราคาแพง วิธีทำแม่พิมพ์ที่ได้จากการประกอบของแผ่นยึดอินเสิร์ตจึงถูกนำมาใช้แทน วิธีการขึ้นรูปอิมเพรสชันจากแผ่นเหล็กเล็กๆ หลังจากตัดเดือนขึ้นรูปแล้วเราเรียกแผ่นเหล็กเล็กๆ ว่า อินเสิร์ต และส่วนขึ้นรูปภายในของชิ้นงานหรือเป็นตัวผู้ เรียกว่า อินเสิร์ตของคอร์ และในทางกลับกันส่วนที่ขึ้นรูปภายนอกของชิ้นงานหรือตัวเมีย เรียกว่า อินเสิร์ตเบ้า จึงนำอินเสิร์ตสวมและขันยึดเข้ากับรูในแผ่นเหล็กที่เรียกว่า แผ่นยึดอินเสิร์ต รูจะเป็นรูตันหรือเจาะทะลุตลอดแผ่นยึดแม่พิมพ์ สำหรับกรณีหลังจะมีแผ่นประกบยึดด้านหลังของแผ่นยึดอินเสิร์ต เพื่อให้อินเสิร์ตอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ จากภาพที่ 2.10 (ก)และ(ข) คืออินเสิร์ตแบบสี่เหลี่ยมใช้สกรูยึด (ค)และ(ง) คืออินเสิร์ตแบบสี่เหลี่ยมใช้หน้าแปลนยึด (จ)และ(ฉ) คืออินเสิร์ตแบบทรงกระบอกใช้สกรูยึด (ช)และ(ซ) คืออินเสิร์ตแบบทรงกระบอกใช้หน้าแปลนยึด



ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างอินเสิร์ตของเบ้าและคอร์แบบต่างๆ [7]

5) แผ่นยึดอินเสิร์ต (Bolsters)

เบ้าและคอร์ของแม่พิมพ์ในลักษณะของอินเสิร์ต ซึ่งต้องประกอบเข้ากับชุดแม่พิมพ์อย่างมั่นคง ลักษณะทำได้โดยยึดอินเสิร์ตเข้ากับแผ่นยึดอินเสิร์ตหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า แผ่นยึดแม่พิมพ์ จึงจัดการบังคับด้วยตัวนำเลื่อนที่เหมาะสมเพื่อให้มั่นใจได้ว่าเบ้าและคอร์จะคงอยู่ในตำแหน่งได้ศูนย์กันตลอดไป วัตถุประสงค์เบื้องต้นของการใช้แผ่นยึดอินเสิร์ต คือ

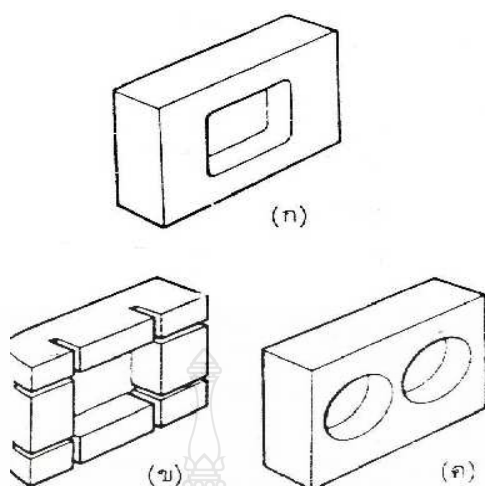
ก. ต้องจัดเตรียมช่องหรือเบ้าที่เหมาะสมที่สามารถประกอบอินเสิร์ตเข้าไปได้

ข. ต้องจัดเตรียมอุปกรณ์บางอย่างสำหรับยึดอินเสิร์ตหลังจากประกอบเข้าในตำแหน่ง

ค. ต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะทนทานต่อแรงที่ใช้ในการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์

ชนิดของแผ่นยึดอินเสิร์ต นักร้องแบบได้คิดประดิษฐ์แผ่นยึดอินเสิร์ตขึ้นมากมายหลายชนิด เพื่อพยายามทำให้การประกอบอินเสิร์ตหรือการตัดเนื้อขึ้นรูปอินเสิร์ตกระทำได้ง่าย ที่ใช้กันมากมีอยู่ด้วยกัน 5 ชนิด

ชนิดที่ 1 แผ่นยึดอินเสิร์ตแบบเป็นแผ่นตัน แบบนี้เหมาะที่จะใช้กับอินเสิร์ตแบบสี่เหลี่ยมและทรงกระบอก ดังภาพที่ 2.11



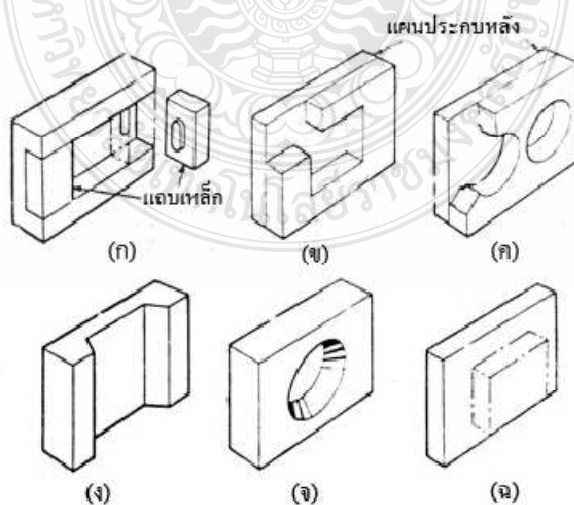
ภาพที่ 2.11 แผ่นยึดอินเลิร์ตแบบเป็นแผ่นตัน [7]

ชนิดที่ 2 แผ่นยึดอินเลิร์ตแบบเป็นแถบ ใช้เฉพาะกับอินเลิร์ตแบบสี่เหลี่ยม ดังภาพที่ 2.12 (ก)

ชนิดที่ 3 แผ่นยึดอินเลิร์ตแบบเป็นกรอบ สามารถใช้ได้กับอินเลิร์ตทั้งสองแบบแต่เหมาะที่จะใช้อินเลิร์ตทรงกระบอกมากกว่า ดังภาพที่ 2.12 (ข) และ (ค)

ชนิดที่ 4 แผ่นยึดอินเลิร์ตแบบกรอบเรียว ใ้ร่วมกับอินเลิร์ตแบบแยก ดังภาพที่ 2.12 (ง) และ (จ)

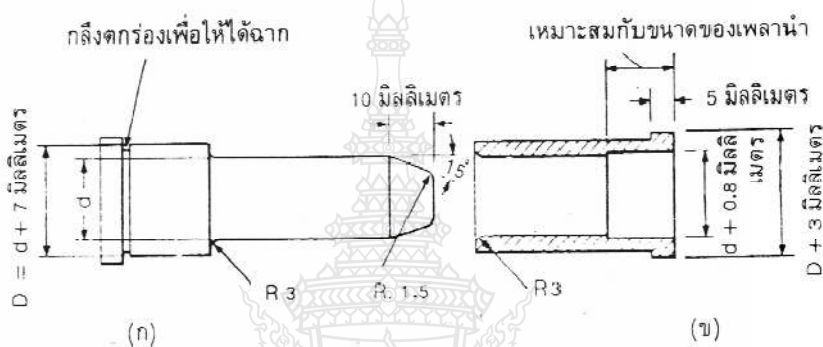
ชนิดที่ 5 แผ่นยึดอินเลิร์ตแบบนี้จะใช้ในกรณีพิเศษสำหรับอินเลิร์ตแบบสี่เหลี่ยมและแบบวงกลมบางกรณีเท่านั้น ดังภาพที่ 2.12 (ฉ)



ภาพที่ 2.12 แผ่นยึดอินเลิร์ตแบบต่างๆ [7]

6) เพลาน้ำและปลอกนำ (Guide Pillars and Bushes)

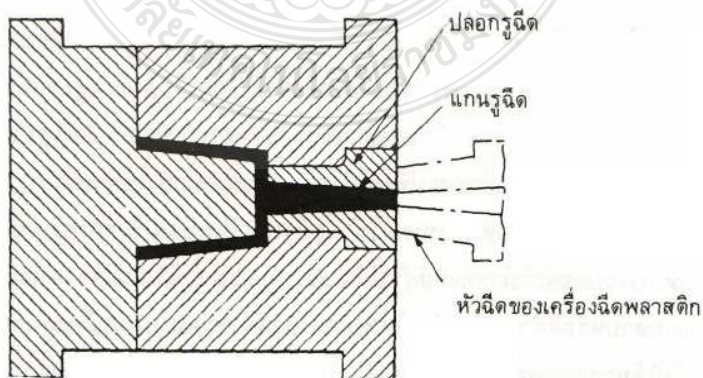
เพื่อให้งานฉีดพลาสติกได้ชิ้นงานที่มีความหนาของเปลือกชิ้นงานที่สม่ำเสมอ จำเป็นต้องทำให้เบ้าและคอร์ได้ศูนย์กลาง ทำได้โดยใช้เพลาน้ำประกอบเข้ากับแม่พิมพ์ด้านหนึ่งจากนั้นจะสวมประกอบเข้ากับปลอกนำที่อยู่บนแม่พิมพ์อีกแผ่นหนึ่งเมื่อแม่พิมพ์ปิด ตัวอย่างที่มีเพลาน้ำประกอบอยู่บนแผ่นคอร์ของแม่พิมพ์ที่อยู่ตรงกันกับปลอกนำในแผ่นเบ้า แสดงดังภาพที่ 2.14 ขนาดของเพลาน้ำจะต้องมีขนาดโตพอที่จะสามารถรักษาดำแหน่งศูนย์กลางไว้ได้ไม่ว่าจะใช้แรงฉีดมากหรือน้อย ซึ่งโดยปกติสามารถกระทำได้ชิ้นส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์เบื้องต้น



ภาพที่ 2.13 การออกแบบเพลาน้ำและปลอกนำ [7]

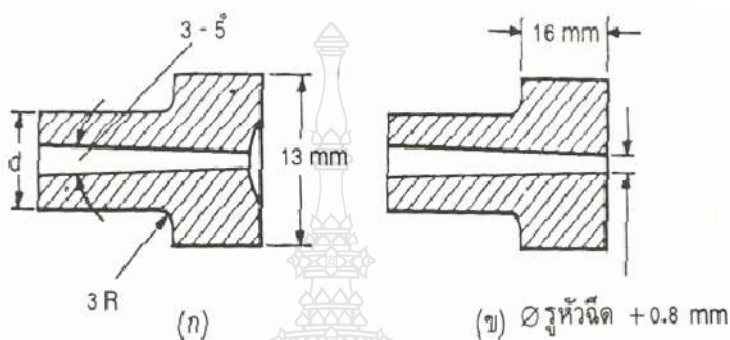
7) ปลอกรูฉีด (Sprue Bush)

ในระหว่างกระบวนการฉีดพลาสติก เนื้อพลาสติกจะต้องถูกส่งออกจากหัวฉีดของเครื่องฉีดพลาสติกในสถานะของเหลว เข้าแม่พิมพ์ทางรูฉีดผ่านเข้าไปในอิมเพรสชัน รูฉีดแบบง่ายๆ จะเป็นรูเรียวที่อยู่ภายในปลอกรูฉีด แสดงดังภาพที่ 2.14 เนื้อพลาสติกที่อยู่ในรูฉีดเช่นนี้เรียกว่า แกนรูฉีด



ภาพที่ 2.14 ระบบป้อนของแม่พิมพ์แบบอิมเพรสชันเดียว [7]

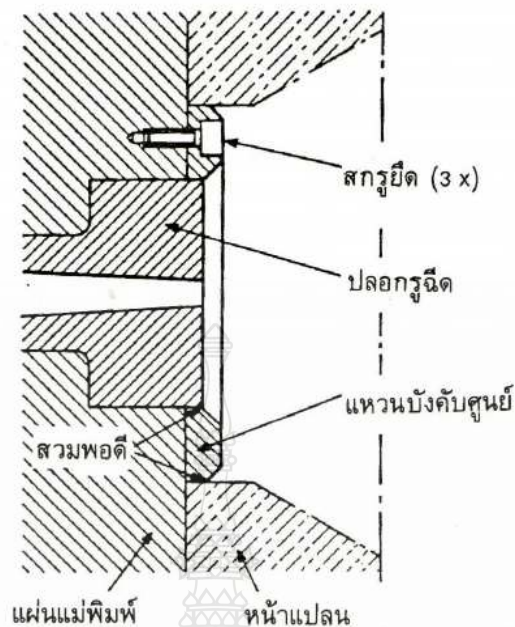
เมื่อสิ้นสุดการฉีดพลาสติกปลอกฤณีจะเป็นส่วนที่ทำให้เกิดแกนรูฉีด ในทางปฏิบัตินั้น ปลอกฤณีจะทำหน้าที่เป็นข้อต่อระหว่างหัวฉีดของเครื่องฉีดพลาสติกกับผิวด้านหน้าของแม่พิมพ์ และจัดเตรียมรูทะลุที่เหมาะสม ซึ่งเนื้อพลาสติกสามารถไหลไปตามรูนี้จนถึงอิมเพรสชันหรือไปยังจุดเริ่มต้นของระบบรูวิ่งในแม่พิมพ์แบบหลายอิมเพรสชัน จากภาพที่ 2.15 (ก) คือปลอกฤณีแบบบารับโค้งเป็นรัศมี และ (ข) คือปลอกฤณีแบบบารับแบบเรียบ



ภาพที่ 2.15 ลักษณะปลอกฤณี [7]

8) แหวนบังคับศูนย์ (Register Ring)

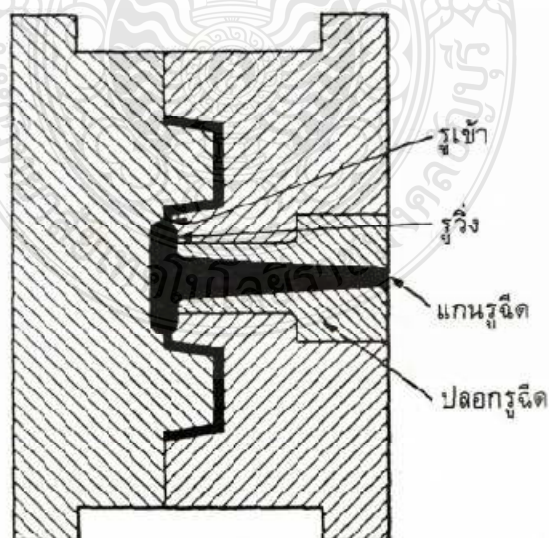
แหวนบังคับศูนย์เป็นชิ้นส่วนกลมแบนใช้ประกอกับผิวด้านหน้าของแม่พิมพ์ เพื่อใช้กำหนดตำแหน่งของแม่พิมพ์ให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องบนหน้าแปลนของเครื่องฉีดพลาสติกเมื่อนำแม่พิมพ์ขึ้นยึดกับเครื่องพลาสติก แหวนบังคับศูนย์ที่ยึดกับแม่พิมพ์ส่วนหน้าจะสวมเข้ากับรูทรงกระบอกซึ่งคว้านได้ขนาดที่ถูกต้องบนหน้าแปลนยึดของเครื่องฉีดพลาสติกและอยู่ในแนวเส้นศูนย์กลางเดียวกันกับกระบอกสูบและหัวฉีด วิธีนี้ทำให้มั่นใจได้ว่ารูของหัวฉีดจะอยู่ในเส้นศูนย์กลางเดียวกันกับรูของปลอกฤณี โดยเหตุที่ปลอกฤณีเป็นตัวเชื่อมระหว่างหัวฉีดกับผิวหน้าแม่พิมพ์ รูของหัวฉีดกับรูของปลอกฤณีที่อยู่ในแนวศูนย์กลางทำให้ไม่เกิดการกีดขวางทางไหลของเนื้อพลาสติกจากกระบอกสูบผ่านรูหัวฉีดและรูของปลอกฤณีเข้าไปในระบบรูวิ่งของแม่พิมพ์และอาจกล่าวได้ว่าแหวนบังคับศูนย์ก่อให้เกิดการเชื่อมกันโดยตรงระหว่างปลอกฤณีกับรูในแผ่นหน้าแปลนยึดของเครื่องฉีด



ภาพที่ 2.16 การกำหนดตำแหน่งของแม่พิมพ์บนหน้าแปลนยึดของเครื่องฉีดด้วยแหวนบังคับศูนย์ [7]

9) ระบบรูวิ่งและรูเข้า (Runner and Gate Systems)

เนื้อพลาสติกจะถูกเข้าไปในอิมเพรสชัน ผ่านปลอกกรูฉีดโดยตรง เนื้อพลาสติกจะถูกฉีดเข้าสู่รูของปลอกกรูฉีดและวิ่งไปตามระบบรูวิ่งและรูเข้า ดังภาพที่ 2.17 ก่อนที่จะเข้าไปในอิมเพรสชัน



ภาพที่ 2.17 ระบบป้อนของแม่พิมพ์แบบหลายอิมเพรสชัน [7]

2. การแบ่งประเภทของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

เนื่องจากคุณสมบัติพิเศษของพลาสติกที่สามารถแปรรูปเป็นรูปร่างอย่างไรก็ได้ตามต้องการ โดยในการแปรรูปนี้จะต้องมีแม่แบบเป็นตัวทำให้เกิดรูปทรงของชิ้นงานขึ้น แม่แบบหรือแม่พิมพ์ที่ใช้ผลิตชิ้นงานด้วยกรรมวิธีฉีด จะเรียกแม่พิมพ์ฉีด และแม่พิมพ์ที่ใช้กันในโรงงานอุตสาหกรรมมีอยู่ด้วยกันมากมายหลายชนิด ซึ่งมักจะเรียกชื่อตามกรรมวิธีในการผลิตซึ่งสามารถแบ่งชนิดของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกออกได้ ดังนี้

1) แม่พิมพ์ฉีดแบบสองแผ่น (Two-Plate Injection Molds)

เป็นแม่พิมพ์แบบง่าย ๆ ที่ใช้ผลิตชิ้นงานที่ปราศจากร่องหรือปาด้านนอก ส่วนของเบ้าจะแยกเป็นชิ้นส่วนหลายชิ้นที่สามารถเลื่อนใช้และควบคุมให้อยู่ในตำแหน่งด้วยกรอบบังคับชิ้นส่วนที่ประกอบกันเป็นเบ้าของแม่พิมพ์เคลื่อนที่ได้โดยอาศัยอุปกรณ์หรือกลไกต่างๆ เช่น สลักเฉียงขาตะสปริงลูกสูบ และกระบอกสูบ เป็นต้น

2) แม่พิมพ์ฉีดแบบแยกด้านข้าง (Split Molds)

เป็นแม่พิมพ์ฉีดที่ออกแบบสำหรับชิ้นงานที่มีร่องหรือปาด้านนอก ส่วนของเบ้าจะแยกเป็นชิ้นส่วนหลายชิ้นที่สามารถเลื่อนใช้และควบคุมให้อยู่ในตำแหน่งด้วยกรอบบังคับชิ้นส่วนที่ประกอบกันเป็นเบ้าของแม่พิมพ์เคลื่อนที่ได้โดยอาศัยอุปกรณ์หรือกลไกต่างๆ เช่น สลักเฉียงขาตะสปริงลูกสูบ และกระบอกสูบ เป็นต้น

3) แม่พิมพ์ฉีดแบบคลายเกลียว (Unscrewing Molds)

เป็นแม่พิมพ์ที่ออกแบบสำหรับผลิตชิ้นงานที่มีร่องหรือปาด้านใน เช่น ชิ้นงานที่มีเกลียวในการขึ้นรูปเกลียวจะอาศัยส่วนคอร์ที่เป็นเกลียว และออกแบบให้มีระบบปลดหรือคลายเกลียวโดยอัตโนมัติ การปลดชิ้นงานลักษณะนี้มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น ในกรณีเป็นการผลิตชิ้นงานจำนวนน้อยชิ้นส่วนคอที่เป็นเกลียวอาจนำใส่แม่พิมพ์ด้วยมือ

4) แม่พิมพ์ฉีดแบบสามแผ่น (Three-Plate Molds)

แม่พิมพ์ฉีดแบบสามแผ่นเป็นแม่พิมพ์ที่ออกแบบให้มีเส้นแบ่งส่วนแม่พิมพ์ 2 เส้น หรือมีช่องเปิดของแม่พิมพ์ 2 ช่อง ส่วนใหญ่จะใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดที่ต้องการให้มีระบบปลดแกนรูวิ่งและรูเข้าออกจากชิ้นงานโดยอัตโนมัติ กล่าวคือ เมื่อสิ้นสุดขบวนการฉีดแม่พิมพ์จะแยกเปิดออกตามแนวเส้นแบ่งส่วนแม่พิมพ์ที่ 1 ซึ่งในส่วนนี้จะประกอบด้วย แกนรูฉีดและรูวิ่งในขณะเดียวกันก็จะแยกแกนรูเข้าออกจากชิ้นงานด้วยหลังจากนั้นเมื่อแม่พิมพ์เลื่อนเปิดต่อไป ก็จะแยกเปิดออกตามแนวเส้นแบ่งส่วนแม่พิมพ์เส้นที่ 2 อีกชั้นหนึ่งเพื่อปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

5) แม่พิมพ์ฉีดรูวิ่งร้อน (Hot-Runner Injection Molds)

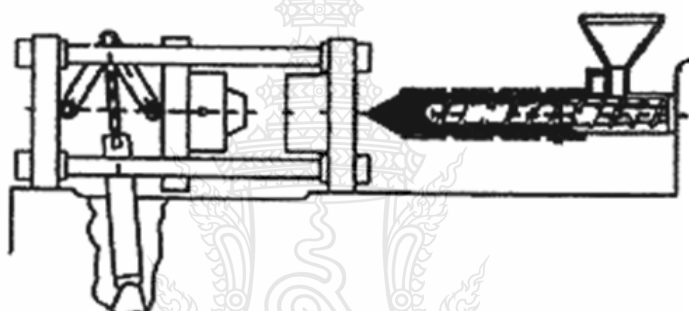
บางครั้งเรียกว่าแม่พิมพ์ฉีดแบบปราศจากรูวิ่งหรือรูฉีด เป็นแม่พิมพ์ที่ออกแบบมาเพื่อลดการสูญเสียวัตถุดิบ (เม็ดพลาสติก) ที่ใช้ในการฉีดชิ้นงานพลาสติกมีหลักการง่ายๆ คือ ทำให้ทางวิ่ง

ของน้ำพลาสติกในแม่พิมพ์มีอุณหภูมิสูงตลอดทางวิ่ง เป็นการช่วยเพิ่มปริมาณการผลิต เนื่องจากจะต้องมีการออกแบบระบบป้อนเป็นพิเศษ ทำให้แม่พิมพ์ชนิดนี้มีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงเหมาะสมสำหรับการผลิตชิ้นงานจำนวนมากขึ้น จึงจะคุ้มทุน

2.2.3 ขั้นตอนในการฉีดพลาสติก [9-10]

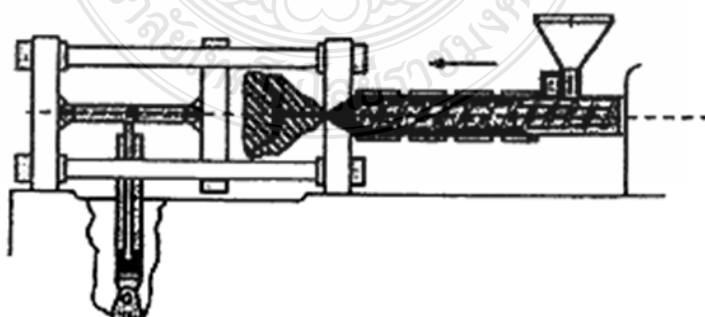
การฉีดพลาสติกแบบ Injection Molding นั้นเครื่องฉีดจะประกอบด้วยสกรูที่เคลื่อนที่ไปตามแนวแกนเหมาะสมกับชิ้นงานที่มีขนาดเล็กไปจนถึงชิ้นงานขนาดใหญ่ และสามารถผลิตชิ้นงานได้หลายลักษณะจึงทำให้เป็นที่นิยมอย่างมากซึ่งมีขั้นตอนของการฉีดพลาสติก 9 จังหวะ ต่อไปนี้

จังหวะที่ 1 แม่พิมพ์เคลื่อนที่เข้าปิดและล็อกแน่นเพื่อป้องกันการแยกด้วยแรงดันภายในแม่พิมพ์ การเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์เพื่อปิดแม่พิมพ์ แสดงดังภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 การฉีดจังหวะที่ 1 การเคลื่อนที่เพื่อปิดแม่พิมพ์ [9]

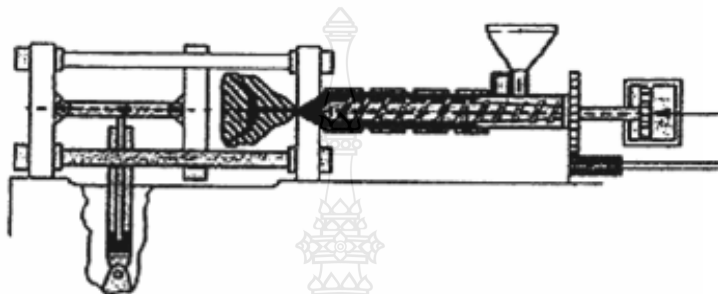
จังหวะที่ 2 ชุดฉีดจะเลื่อนเข้าหาแม่พิมพ์จนกระทั่งชนกับแม่พิมพ์และค้างไว้ด้วยแรงที่พอเหมาะเพื่อป้องกันชุดฉีดถอยหลังในขณะที่ทำการฉีด ดังภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.19 การฉีดจังหวะที่ 2 ชุดฉีดเลื่อนเข้าหาแม่พิมพ์ [9]

จังหวะที่ 3 เป็นช่วงการฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ ในช่วงจังหวะนี้สกรูจะเคลื่อนที่ตามแนวแกนเพื่อดันฉีดน้ำพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์จนเต็มแบบ แสดงดังภาพที่ 2.20

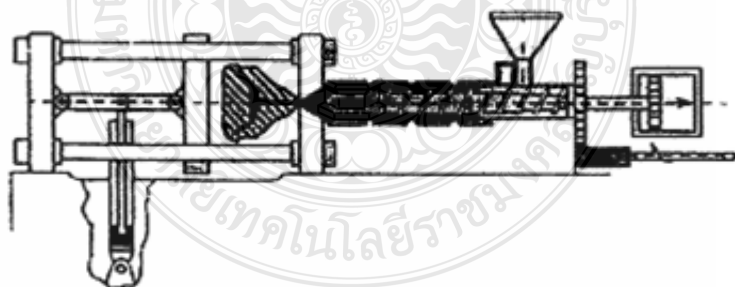
จังหวะที่ 4 เป็นช่วงการฉีดย่ำรักษาความดันให้กับพลาสติกเหลวภายในแม่พิมพ์ เพื่อให้ได้ชิ้นงานเนื้อแน่นและไม่เกิดรอยยุบตัวที่ผิวของชิ้นงาน จังหวะการฉีดย่ำเพื่อรักษาความดันให้กับพลาสติกในแม่พิมพ์ แสดงดังภาพที่ 2.20



ภาพที่ 2.20 การฉีดจังหวะที่ 3 และจังหวะที่ 4 การฉีดและฉีดย่ำรักษาความดัน [9]

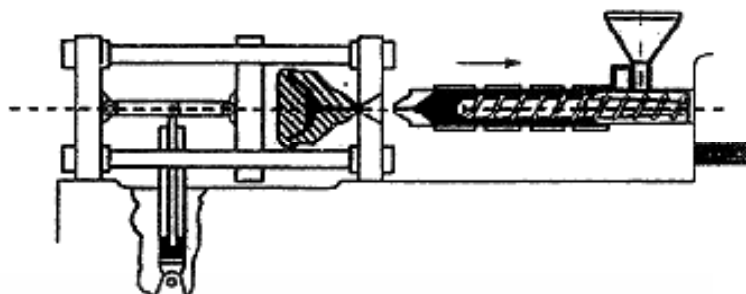
จังหวะที่ 5 เป็นช่วงการหล่อเย็นชิ้นงานฉีดในแม่พิมพ์ โดยจังหวะนี้มีอิทธิพลมากต่อเวลาการทำงานทั้งวงจร ตำแหน่งของชุดฉีดขณะหล่อเย็น แสดงดังภาพที่ 2.21

จังหวะที่ 6 เป็นช่วงการหลอมและป้อนพลาสติกไปส่วนปลายสกรู โดยหลังจากได้ปริมาณพลาสติกเหลวตามที่ต้องการแล้วเกลียวหนอนจะหยุดหมุน แสดงดังภาพที่ 2.21



ภาพที่ 2.21 การฉีดจังหวะที่ 5 และจังหวะที่ 6 การหล่อเย็นชิ้นงานที่ฉีดเสร็จและการป้อนพลาสติกเข้าเกลียวหนอนก่อนทำการหลอมใหม่ [9]

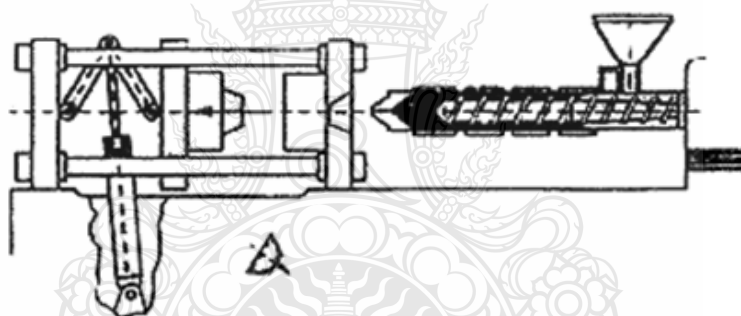
จังหวะที่ 7 ชุดฉีดจะถอยหลังกลับเพื่อป้องกันอุณหภูมิของหัวฉีดลดต่ำลงเกินไป เพราะจะทำให้พลาสติกหนืดเกินไปและไหลไม่ได้ ช่วงการถอยหลังกลับของชุดฉีด แสดงดังภาพที่ 2.22



ภาพที่ 2.22 การฉีดจังหวะที่ 7 ชุดฉีดถอยกลับ [9]

จังหวะที่ 8 แม่พิมพ์จะเปิดออกหลังจากสิ้นสุดเวลาในการหล่อเย็น ช่วงการเปิดออกของแม่พิมพ์ แสดงดังภาพที่ 2.23

จังหวะที่ 9 เป็นการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์เมื่อแม่พิมพ์เปิดออกจนสุด ดังภาพที่ 2.23



ภาพที่ 2.23 การฉีดจังหวะที่ 8 และจังหวะที่ 9 แม่พิมพ์เปิดและปลดชิ้นงาน [9]

2.2.4 พารามิเตอร์ที่สำคัญในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก [2]

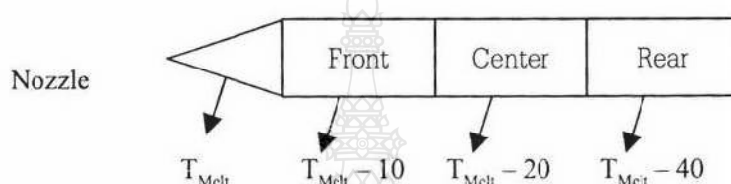
1. อุณหภูมิพลาสติกหลอมเหลว (Melting Temperature)

อุณหภูมิพลาสติกหลอมเหลว คือ อุณหภูมิที่ปลายหัวฉีด การเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับชิ้นงานแต่ละชิ้นงานนั้น มีตัวแปรที่สำคัญคือ ชนิดของพลาสติก เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิพลาสติกหลอมเหลวเกิดการเปลี่ยนแปลง ก็จะทำให้คุณสมบัติต่างๆ ของพลาสติกเปลี่ยนแปลงไปด้วย เช่น ค่าความหนืด (Viscosity) เอนทาลปี (Enthalpy) ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume) เป็นต้น โดยค่าอุณหภูมิจะถูกกำหนดสมบัติของวัสดุชนิดนั้นๆ ซึ่งจะกำหนดให้เป็นช่วงกว้างๆ ดังนั้นการฉีดพลาสติกที่มีรูปร่างแตกต่างกันจะมีวิธีการเลือกอุณหภูมิพลาสติกหลอมเหลวอย่างไร โดยทั่วไปมักจะนิยมใช้ค่าเฉลี่ยของช่วงค่าอุณหภูมิที่บริษัทผู้ผลิตเป็นผู้กำหนดได้

2. อุณหภูมิกระบอบกีด (Barrel Temperature)

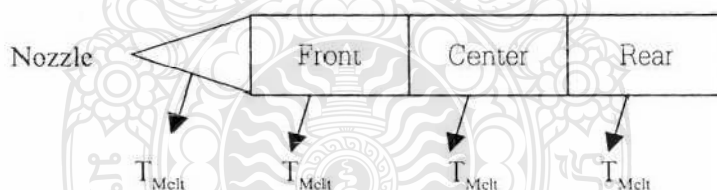
โดยทั่วไปแล้วอุณหภูมิกระบอบกีดจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนหน้า (Front) ส่วนกลาง (Center) และส่วนหลัง (Rear) ซึ่งจะเป็นแผ่นความร้อน (Heater) ที่ติดอยู่กับกระบอบกีด การตั้งอุณหภูมิกระบอบกีดจำเป็นจะต้องปรับให้เหมาะสมกับการทำงาน ซึ่งทั่วไปจะมีการตั้งอุณหภูมิกระบอบกีดอยู่ 3 แบบ คือ

1) แบบอุณหภูมิลดลง (จากหัวฉีดไปยังกรวยเติมพลาสติก) การตั้งอุณหภูมิแบบนี้จะใช้เมื่อระยะชักสกรูมีค่าระหว่าง 1 ถึง 1.5 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู



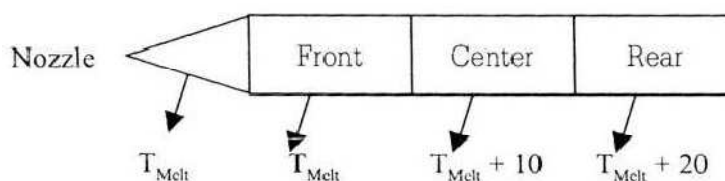
ภาพที่ 2.24 รูปแบบของอุณหภูมิกระบอบกีดแบบอุณหภูมิต่ำแล้วค่อยๆ สูงขึ้น

2) แบบอุณหภูมิกึ่งที่ การตั้งอุณหภูมิกระบอบกีดแบบนี้ จะใช้เมื่อระยะชักของสกรูอยู่ระหว่าง 1.5 ถึง 2 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู



ภาพที่ 2.25 รูปแบบของอุณหภูมิกระบอบกีดแบบอุณหภูมิกึ่งที่

3) แบบอุณหภูมิเพิ่มขึ้น (จากหัวฉีดไปยังกรวยเติมพลาสติก) การตั้งอุณหภูมิแบบนี้จะใช้เมื่อระยะชักสกรูมีค่าระหว่าง 2 ถึง 3 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู



ภาพที่ 2.26 รูปแบบของอุณหภูมิกระบอบกีดแบบอุณหภูมิลดลง

3. อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature)

อุณหภูมิแม่พิมพ์เป็นตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน การเปลี่ยนแปลงค่าของอุณหภูมิแม่พิมพ์มีอิทธิพลต่อความดันในแม่พิมพ์เช่นเดียวกับอุณหภูมิพลาสติกหลอมเหลว คือระหว่างจังหวะการฉีด ความหนืดของพลาสติกเหลวจะเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิแม่พิมพ์จะมีอิทธิพลไม่มากต่อชิ้นงานที่มีความหนามาก แต่จะมีอิทธิพลอย่างมากต่อชิ้นงานบางและมีระยะทางการไหลที่ยาว ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้อุณหภูมิแม่พิมพ์ให้เหมาะสม โดยที่ทางบริษัทผู้ผลิตเม็ดพลาสติกจะเป็นผู้กำหนดค่าของอุณหภูมิแม่พิมพ์ให้เหมาะสมกับพลาสติกแต่ละชนิด โดยจะกำหนดเป็นช่วงกว้างๆ มาให้หลักการการเลือกก็จะเหมือนกับการเลือกอุณหภูมิพลาสติกหลอมเหลว คือ เลือกอุณหภูมิเฉลี่ยของแม่พิมพ์ตามที่บริษัทผู้ผลิตเม็ดพลาสติกกำหนดให้

4. อุณหภูมิขณะปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ (Demolding Temperature)

อุณหภูมิปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์สามารถตรวจสอบได้จากตัวควบคุมอุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature Control) หรือจากการวัดอุณหภูมิชิ้นงานหลังจากปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ โดยค่านี้มีผลต่อชิ้นงานคือหากการปลดชิ้นงานเกิดขึ้นเมื่อชิ้นงานมีอุณหภูมิสูงมากจะทำให้ชิ้นงานที่เย็นตัวนอกแม่พิมพ์เกิดการหดตัว ไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการ และยังทำให้ชิ้นงานมีรอยการกระทุ้งที่ผิวของชิ้นงานอีกด้วย แต่หากปลดชิ้นงานที่อุณหภูมิชิ้นงานต่ำมากเกินไปจะทำให้เสียเวลามาก ซึ่งทำให้อัตราการผลิตลดลงโดยไม่จำเป็น ดังนั้นค่าอุณหภูมิปลดชิ้นงานซึ่งถูกกำหนดจากโรงงานผู้ผลิตเม็ดพลาสติก โดยจะเลือกใช้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่พลาสติกไม่เกิดการบิดเบี้ยวหลังและเกิดการหดตัวเมื่อทำการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ (Heat Distribution Temperature; HDT)

5. ระยะชักสกรู (Metering Stroke)

ระยะชักสกรู คือ ระยะพลาสติกเหลวหน้าสกรู โดยจะแสดงถึงปริมาตรพลาสติกเหลวที่ต้องการฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 1-3 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู หากค่านี้ไม่ถูกคำนวณให้ถูกต้องก็จะทำให้พลาสติกเหลวที่เข้าสู่ชิ้นงานไม่พอดีกับปริมาตรที่ต้องการ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสูตรต่อไปนี้

$$L = \frac{V \times 1000 \times 4}{\pi \times D^2} + \text{Cushion} \quad (2.1)$$

เมื่อ L = ระยะชักสกรู (mm)

V = ปริมาตรพลาสติกเหลว (mm)

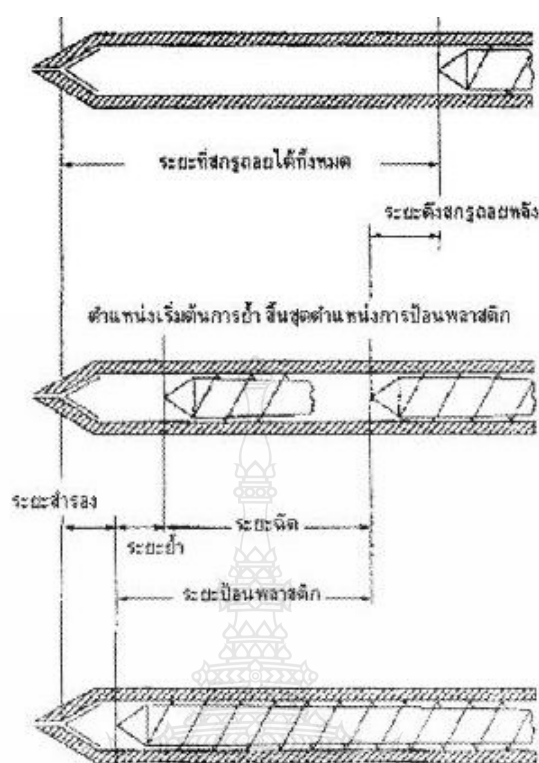
D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู (mm)

6. เวลาที่พลาสติกเหลวแช่อยู่ในกระบอกลีด (Resident Time)

เวลาที่พลาสติกเหลวแช่ในกระบอกลีดนั้นเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากเป็นระยะเวลาที่พลาสติกหลอมเหลว ซึ่งตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อเวลานี้คือ ความเร็วรอบสกรู ขนาดของชิ้นงาน และขนาดสกรูซึ่งสามารถประมาณเวลาได้จากปริมาณของพลาสติกที่ฉีดผ่านหัวฉีด ถ้าหากพลาสติกเหลวแช่อยู่ในกระบอกลีดเป็นเวลานานเกินไป จะส่งผลให้พลาสติกเสื่อมสภาพได้ แต่หากเวลาที่พลาสติกเหลวแช่ในกระบอกลีดน้อยเกินไปก็จะทำให้พลาสติกไม่หลอมเหลวเป็นเนื้อเดียวกัน หากใช้เครื่องฉีดพลาสติกมีขนาดใหญ่ฉีดชิ้นงานขนาดเล็ก จะทำให้ระยะเวลาที่พลาสติกแช่ในกระบอกลีดจะนานมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกขนาดสกรูให้เหมาะสมกับชิ้นงาน

7. ระยะเวลาสำรอง (Cushion)

ระยะเวลาสำรอง คือ ระยะเวลาที่ช่วยป้องกันการเกิดการกระแทกของหัวฉีดกับแม่พิมพ์ โดยจะต้องตั้งค่านีไว้ภายในกระบอกลีด และยังป้องกันไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและการไหลย้อนกลับเนื่องจากปริมาณพลาสติกเหลวที่อยู่ในระยะเวลาสำรองที่เหมาะสมจะสามารถชดเชยการหดตัวของพลาสติกที่ถูกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ในจังหวะของการฉีดด้วย เมื่อเวลาฉีดเข้าสู่สิ้นสุดลงแล้วจำเป็นต้องมีพลาสติกเหลวอยู่ในระยะเวลาสำรองเหลืออยู่ การตั้งค่าระยะนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของสกรู คือ หากเครื่องฉีดที่ใช้สกรูขนาดใหญ่ก็จะเลือกใช้ระยะเวลาสำรองที่มากกว่าเครื่องฉีดที่ใช้สกรูขนาดเล็ก ซึ่งค่าที่แนะนำให้ใช้คือขนาดสกรู 18-100 มิลลิเมตร จะแนะนำให้ใช้ระยะเวลาสำรอง 1-5 มิลลิเมตร โดยที่ตำแหน่งของสกรูของระยะเวลาสำรองและขั้นตอนการฉีดอื่นๆ แสดงดังภาพที่ 2.27



ภาพที่ 2.27 ตำแหน่งของสกรูในแต่ละจังหวะการฉีด

8. ความเร็วรอบสกรู (Screw Speed)

ความเร็วรอบสกรู มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิพลาสติกเหลวและระยะเวลาในการหลอมเหลวและป้อนพลาสติก หากความเร็วรอบสกรูสูง ก็จะทำให้อุณหภูมิพลาสติกเหลวสูงขึ้น แต่จะทำให้ระยะเวลาในการหลอมเหลวและป้อนพลาสติกเหลวก็จะสั้นลง โดยทั่วไปจะแนะนำให้ใช้ความเร็วรอบสกรูสูงเนื่องจากจะทำให้เกิดแรงเสียดทานสูง ส่งผลให้เนื้อพลาสติกหลอมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ดียิ่งขึ้นสำหรับคำนวณความเร็วรอบสกรูสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{กรณีที่ 1} \quad \text{พลาสติกทั่วไป } n = \frac{0.2 \times 1000 \times 60}{\pi \times D} \quad (2.2)$$

$$\text{กรณีที่ 2} \quad \text{พลาสติกที่ไวต่อความร้อน } n = \frac{0.05 \times 1000 \times 60}{\pi \times D} \quad (2.3)$$

เมื่อ n = ความเร็วรอบสกรู (rpm)
 D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู (mm)

9. ความดันด้านการถอยกลับสกรู (Back Pressure)

ความดันด้านการถอยกลับสกรู เป็นความดันที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งด้านท้ายของสกรู โดยทั่วไปแล้วพลาสติกที่เข้าสู่กระบอกลัดได้สม่ำเสมอหรือไม่นั้น จำเป็นต้องอาศัยความดันด้านการถอยกลับของสกรู เพื่อควบคุมระยะเวลาในการหมุนตัวถอยกลับของสกรู เพื่อควบคุมระยะเวลาในการหมุนตัวถอยหลังของสกรูเพื่อทำการป้อนพลาสติกเข้าสู่กระบอกลัด ซึ่งหากเพิ่มความดันด้านการถอยกลับของสกรูให้มากขึ้น จะทำให้ระยะเวลาของการป้อนพลาสติกเข้าสู่กระบอกลัดนานขึ้นด้วย โดยค่าความดันนี้จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาการป้อนพลาสติกเหลวเข้าสู่กระบอกลัดที่ต้องการ ตัวพลาสติกเหลวก็เป็นสิ่งสำคัญที่มีผลต่อความดันด้านการถอยกลับของสกรู โดยที่พลาสติกที่ใหม่ไม่ผ่านการใช้มาก่อน และไม่มีการผสมสี จะแนะนำให้ใช้ความต่ำกว่า คือ ประมาณ 5 บาร์ (ความดันไฮดรอลิก) ส่วนพลาสติกที่ผ่านการใช้มาแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ กับพลาสติกที่มีการผสมสี แนะนำให้ใช้ความดันประมาณ 10 บาร์ (ความดันไฮดรอลิก) เพื่อช่วยให้เกิดการคลุกเคล้าของสีกับเม็ดพลาสติกหรือพลาสติกที่ถูกลำเอียงใหม่ ให้เนื้อพลาสติกมีความสม่ำเสมอ

10. ระยะเวลาเปลี่ยนจากจังหวะฉีดเติมเป็นฉีดย้ำ (Switching Over)

การเปลี่ยนจากจังหวะการฉีดเติมเป็นการฉีดย้ำนั้น หากต้องการที่จะปรับเปลี่ยนความดันไฮดรอลิกขณะที่ออกคำสั่งให้เปลี่ยนจากจังหวะการฉีดเติมเป็นการฉีดย้ำนั้น จะพบว่าเกิดขึ้นช้ากว่าเวลาที่กำหนดเนื่องจากเกิดการหน่วงของการทำงานของชุดควบคุมไฮดรอลิก การกำหนดตำแหน่งนี้จำเป็นต้องกำหนดระยะเวลาที่เกิดขึ้นก่อนตำแหน่งที่ต้องการจริง แต่เป็นสิ่งที่ยากเนื่องจากมีตัวแปรหลายตัวที่มีผลต่อเวลาที่ตอบสนองการทำงานของไฮดรอลิก เช่น ปริมาณน้ำมันไฮดรอลิก ความดัน อุณหภูมิ น้ำมันไฮดรอลิกในระบบ เป็นต้น ดังนั้นการหาตำแหน่งที่แท้จริงของการเปลี่ยนจังหวะการฉีดเติมเป็นการฉีดย้ำ ได้มาจากการสังเกตการเคลื่อนที่ของสกรู การสังเกตจะสามารถช่วยให้หาระยะที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องได้ ผลของการปรับค่าระยะเวลาเปลี่ยนจังหวะการฉีดเติมเป็นฉีดย้ำช้าเกินไป จะทำให้เวลาที่ใช้นานขึ้น ความดันไฮดรอลิกก็ต้องสูงขึ้น ความดันในแม่พิมพ์สูงขึ้น จะทำให้ชิ้นงานเกิดครีบ น้ำหนักของชิ้นงานมากขึ้น และเกิดความเค้นตกค้างในชิ้นงานทำให้ชิ้นงานเปราะแตกหักได้ง่าย หากเปลี่ยนเร็วเกินไปจะทำให้ความดันในแม่พิมพ์ต่ำเกินไปจนพลาสติกถูกฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ ชิ้นงานมีน้ำหนักเบาเกินไป เกิดรอยยุบ ผิวชิ้นงานเป็นรอย และเกิดความเครียดในชิ้นงานทำให้ชิ้นงานเปราะแตกง่าย

11. ความเร็วฉีด (Injection Speed)

ความเร็วในการฉีด คือ ความเร็วของสกรูที่เคลื่อนที่เพื่อทำหน้าที่ดันพลาสติกเหลวให้ไปอยู่ที่หัวฉีดและเข้าสู่แม่พิมพ์ โดยมีไฮดรอลิกเป็นตัวขับ ความเร็วฉีดและความดันฉีดจะเป็นสิ่งที่เกิดคู่กัน โดยถ้าใช้ความเร็วฉีดสูงก็จะทำให้ความดันฉีดสูงขึ้นด้วย และถ้าหากใช้ความเร็วฉีดต่ำแล้วความดัน

ฉีดก็จะต่ำลงด้วย ซึ่งความเร็วในการฉีดนี้จะมีผลต่อการไหลของพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์คือ เมื่อพลาสติกเหลวไหลเข้าสู่แม่พิมพ์แล้ว ความร้อนจะถูกถ่ายเทให้กับผนังแม่พิมพ์ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า ทำให้พลาสติกเกิดการแข็งตัวและเกาะอยู่ที่ผนังแม่พิมพ์ ซึ่งเป็นผลให้ทางไหลของพลาสติกในแม่พิมพ์แคบลง เคลื่อนที่ไปได้ช้า และต้องใช้ความดันฉีดสูง โดยทั่วไปแนะนำให้ใช้ความเร็วฉีดสูงสุดเท่าที่จะทำได้ เนื่องจากแรงเฉือน (Shear Stress) จะทำให้พลาสติกเหลวเกิดความร้อนและคงสภาพความเป็นของเหลว และยังเป็นประกันความเชื่อมั่นว่าสกรูจะมีการเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอ

12. ความดันฉีด (Injection Pressure)

ความดันฉีด คือ ความดันที่ทำให้พลาสติกเหลวที่อยู่หน้าสกรูถูกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ ซึ่งสามารถปรับได้จากความดันไฮดรอลิก พลาสติกเหลวจะสามารถไหลเข้าสู่แม่พิมพ์เต็มหรือไม่ก็ขึ้นอยู่กับความดันฉีดเช่นกัน ความดันฉีดขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงาน ความสามารถในการไหลของพลาสติกเหลว และระยะทางการไหลที่ยาวที่สุด เนื่องจากมีสูตรคำนวณที่ต้องอาศัยข้อมูลที่ยุ่งยาก โดยต้องอาศัยค่าความสามารถในการไหลของพลาสติก ความหนาของชิ้นงานและระยะทางการไหลที่ยาวที่สุด และยังคงต้องมีการเผื่อความดันที่ตกคร่อมหัวฉีดอีก 200 บาร์ สามารถสรุปได้ดังสมการต่อไปนี้

$$IP = (KF \times KS \times fW) + 200 \quad (2.4)$$

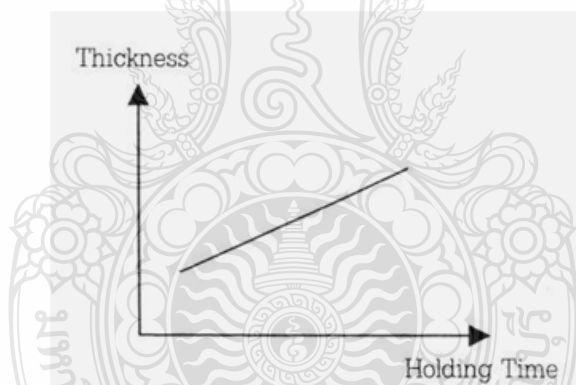
เมื่อ	IP	=	ความดันฉีด (bar)
	KF	=	Flowability (bar/mm)
	KS	=	Thickness Factor
	FW	=	ระยะทางการไหลที่ยาวที่สุด (mm)

13. ความดันฉีดขั้ว (Holding Pressure)

การฉีดขั้วเป็นขั้นตอนในการฉีดเมื่อพลาสติกถูกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ไปแล้วประมาณ 90-95 เปอร์เซ็นต์ ความสำคัญของการฉีดขั้วคือเพื่อป้องกันไม่ให้พลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ไหลย้อนกลับเนื่องจากในโพรงแม่พิมพ์มีความดันสูงกว่า ซึ่งเป็นสาเหตุของการยุบตัวของชิ้นงานเนื่องจากการหดตัวของพลาสติกเหลวที่เย็นตัว และความไม่เที่ยงตรงของชิ้นงาน กระบวนการฉีดขั้วจะทำจนกระทั่งพลาสติกเหลวทางเข้าพลาสติกเกิดการแข็งตัวจนปิดสนิท การฉีดขั้วจะใช้ความดันประมาณ 40-60 เปอร์เซ็นต์ของความดันระบบ โดยทำการอัดพลาสติกเหลวที่เหลืออีกประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ เข้าสู่แม่พิมพ์จนเต็ม สำหรับค่าความดันฉีดขั้วที่ทำการปรับตั้งนั้น แนะนำให้ใช้ค่า 50 เปอร์เซ็นต์ของความดันฉีด

14. เวลาในการฉีดขี้ (Holding Time)

เวลาในการฉีดขี้มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน โดยเฉพาะความเที่ยงตรงของชิ้นงาน ถ้าหากเวลาในการฉีดขี้สั้นเกินไป จะทำให้ความดันในแม่พิมพ์ไม่เพียงพอที่จะทำให้พลาสติกเหลวแน่นเต็มแม่พิมพ์ได้ ความดันในโพรงแม่พิมพ์จะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากการไหลย้อนกลับของพลาสติกเหลว ทำให้ชิ้นงานไม่ได้ขนาดและน้ำหนักตามต้องการ แต่หากใช้เวลาในการฉีดขี้ยาวนานเกินไปแล้ว จะทำให้ความดันในแม่พิมพ์คงสภาพนานเกินไป ทำให้พลาสติกถูกอัดแน่นเป็นเวลานาน จนอาจทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหายได้ เวลาในการฉีดขี้ที่เหมาะสมนั้น โดยทั่วไปจะมีวิธีการทดสอบโดยการทดลองฉีดด้วยเวลาฉีดขี้ที่แตกต่างกัน และชั่งน้ำหนักของชิ้นงาน ซึ่งปัญหาที่คือการควบคุมพารามิเตอร์อื่นๆ ให้คงที่ตลอดเวลา โดยแนะนำให้ใช้เวลาในการฉีดขี้ประมาณ 1-3 วินาที หากใช้เวลานานกว่านี้จะทำให้ชิ้นงานเกิดความเครียดตกค้างขึ้นในชิ้นงานได้ ซึ่งเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชิ้นงานกับเวลาในการฉีดขี้ และความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของชิ้นงานกับเวลาในการฉีดขี้ พบว่าเวลาที่ใช้ในการฉีดขี้มีความสัมพันธ์กับเชิงเส้นตรงกับความหนาของชิ้นงาน คือเมื่อชิ้นงานหนามากเวลาฉีดขี้ก็ต้องมากขึ้น แสดงดังภาพที่ 2.28



ภาพที่ 2.28 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการฉีดขี้และความหนาชิ้นงาน

15. แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamping Force)

การปิดแม่พิมพ์เพื่อป้องกันไม่ให้แม่พิมพ์แยกออกขณะทำการฉีด ดังนั้นแรงที่ใช้ทำการปิดแม่พิมพ์จำเป็นจะต้องเพียงพอไม่ให้พลาสติกเหลวล้นออกมาซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดครีบในชิ้นงาน ตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อแรงปิดแม่พิมพ์ ได้แก่ ความหนืดของพลาสติกเหลว อัตราส่วนระหว่างระยะทางการไหลกับความหนาของชิ้นงาน อุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ พื้นที่ภาพฉายของชิ้นงาน ความแข็งแรงของแม่พิมพ์ และช่องระบายอากาศของแม่พิมพ์ตัวแปรเหล่านี้มีผลต่อความดันที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์ ดังนั้นการคำนวณค่าแรงปิดแม่พิมพ์จะคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$F = \frac{P_{\text{cavity}} \times A}{1000} \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } F &= \text{แรงปิดแม่พิมพ์ (ton)} \\ P_{\text{Cavity}} &= \text{ความดันเฉลี่ยในแม่พิมพ์ (kg/cm}^2\text{)} \\ A &= \text{พื้นที่ภาพฉายของแม่พิมพ์ (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

สำหรับการคำนวณหาความดันที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์ สามารถทำได้โดยการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ที่ติดไว้กับผนังด้านในของแม่พิมพ์ที่สัมผัสกับพลาสติกเหลว ถ้าหากไม่มีเครื่องมือสำหรับวัดความดันในแม่พิมพ์ก็สามารถประมาณค่าความดันที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์ คือ ประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์ของของความดันฉีดที่เกิดขึ้นจริง

16. เวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time)

การหล่อเย็นเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งในการฉีดพลาสติกโดยเฉพาะอย่างยิ่งประเภทเทอร์โมพลาสติกเพื่อให้พลาสติกเย็นตัวก่อนที่จะทำการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ การควบคุมแม่พิมพ์ให้มีอุณหภูมิคงที่นั้นสามารถทำได้โดยการผ่านน้ำหรือน้ำมัน ไปที่แม่พิมพ์สามารถปรับตั้งได้จากเครื่องฉีดโดยตรงซึ่งก็คือการควบคุมอุณหภูมิน้ำหรือน้ำมันให้คงที่ และนอกจากนี้แล้วการไหลของน้ำหรือน้ำมันจะต้องมีการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) เพื่อให้การระบายความร้อนมีประสิทธิภาพสูงสุดหากน้ำมีการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) ซึ่งจะไปขวางการถ่ายเทความร้อนทำให้การหล่อเย็นที่เกิดขึ้นก็จะไม่เกิดประสิทธิภาพ ดังนั้นการไหลของน้ำจะต้องมีอัตราการไหลไม่น้อยกว่า 10-15 ลิตรต่อนาที การดูง่าย ๆ ก็คือ ควรเปิดน้ำให้น้ำที่ออกจากท่อนั้นเต็มท่ออยู่เสมอ นอกจากอัตราการไหลของน้ำแล้ว เวลาในการหล่อเย็นควรจะเพียงพอสำหรับการทำให้แม่พิมพ์มีอุณหภูมิที่ต้องการ นอกจากนี้ เวลาในการหล่อเย็นยังมีผลต่อเวลาในการฉีด หากเวลาในการหล่อเย็นนานเกินไปก็จะทำให้อัตราการผลิตต่ำ หากเวลาในการหล่อเย็นเร็วเกินไปก็อาจจะทำให้ชิ้นงานเกิดการหดตัวและบิดเบี้ยวหลังจากที่ปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ โดยส่วนใหญ่แล้วผู้ทำการปรับตั้งเครื่องมักจะใช้วิธีการเปิดน้ำ และทดลองฉีดจนกว่าจะได้เวลาในการหล่อเย็นที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้เสียเวลาและวัตถุดิบในการทดลองเป็นอย่างมาก การนำเอาสูตรเข้ามาช่วยคำนวณเวลาในการหล่อเย็นจะสามารถช่วยลดเวลาในการทดลองได้ โดยสูตรคำนวณแสดงดังต่อไปนี้

$$CT = \frac{d^2}{\pi^2 \times \alpha_{\text{eff}}} \left[\frac{4}{\pi} \left(\frac{T_{\text{Melt}} - T_{\text{Mold}}}{T_{\text{Demold}} - T_{\text{Mold}}} \right) \right] \quad (2.6)$$

เมื่อ	CT	=	เวลาหล่อเย็น (s)
	d	=	ความหนาของชิ้นงาน (mm)
	α_{eff}	=	Effective Thermal Conductivity (mm^2/s)
	T_{Melt}	=	อุณหภูมิพลาสติกหลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$)
	T_{Mold}	=	อุณหภูมิแม่พิมพ์ ($^{\circ}\text{C}$)
	T_{Demold}	=	อุณหภูมิปลดชิ้นงาน ($^{\circ}\text{C}$)

2.2.5 อิทธิพลต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานฉีดพลาสติก

คุณภาพของชิ้นงานฉีดพลาสติกนั้นขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัวด้วยกัน สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ อิทธิพลของพลาสติก อิทธิพลของการออกแบบ และอิทธิพลของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก ตัวแปรแต่ละประเภทก็จะมีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงานที่แตกต่างกันออกไป ไม่ว่าจะเป็นอิทธิพลโดยตรงหรือโดยทางอ้อม

1. อิทธิพลของชนิดพลาสติกในงานฉีดพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก

เมื่อมวลโมเลกุลที่แตกต่างกันของพลาสติกแม้ว่าจะเป็นพอลิเมอร์ชนิดเดียวกัน พอลิเมอร์ที่มีมวลต่ำกว่าจะมีอุณหภูมิอ่อนตัวต่ำ และความหนืดในสารละลายก็จะน้อย แสดงว่ามีการไหลได้ดีเมื่อมีการหลอมละลาย นั่นหมายความว่าพลาสติกที่มีโมเลกุลต่ำก็จะมีค่าดัชนีการละลายสูงนั่นเอง นอกจากนี้ความหนืดของพลาสติกเหลวยังขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเนียนอีกด้วย โดยที่อัตราการไหลขณะที่พลาสติกไหลจะมีค่าสูงเมื่อความเร็วของพลาสติกสูง

2. อิทธิพลของการออกแบบชิ้นงาน

เนื่องจากการออกแบบชิ้นงานจำเป็นจะต้องพิจารณาถึง คุณสมบัติโดยรวมของชิ้นงานที่ต้องการ ซึ่งได้แก่ คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติการแปรรูปค่าการไหลของพลาสติก รวมไปถึงข้อจำกัดในการออกแบบแม่พิมพ์ การออกแบบระบบทางเข้า ระบบการไหลของพลาสติก หรือแม้กระทั่งระบบหล่อเย็น ล้วนแล้วแต่มีความสำคัญกับคุณภาพของชิ้นงานทั้งสิ้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบ ได้แก่ การหดตัว ความหนาของชิ้นงาน ความเร็วของชิ้นงาน

3. อิทธิพลของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก

มีบทบาทเป็นอย่างมากต่อคุณภาพชิ้นงานหากแม่พิมพ์ถูกออกแบบได้ถูกต้องและเหมาะสมแล้ว ตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานก็มีเพียงการปรับตั้งพารามิเตอร์เท่านั้น ซึ่งพารามิเตอร์ก็มีหลายค่าด้วยกัน แต่ค่าที่สำคัญ ได้แก่ ความเร็วในการฉีด ระยะเปลี่ยนความดันฉีดป้อนฉีดย้ำ เวลาในการรักษาความดันฉีดย้ำ เวลาในการหล่อเย็น เวลาในการหลอมเหลวและป้อนพลาสติกเหลวอุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์และความดันไฮดรอลิกส์ เป็นต้น การปรับตั้งค่าเหล่านี้ส่วนใหญ่จะ

เกิดจากการทดลองฉีดไปเรื่อยๆจนกว่าจะได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพตามที่ต้องการ ซึ่งทำให้การสูญเสียเวลาและต้นทุนการฉีดขึ้นอย่างมาก ดังนั้นอิทธิพลที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานอาจจะมาจากพารามิเตอร์เดียวกันหรือหลายตัวก็ได้

4. อิทธิพลของความเร็วในการฉีด

ความเร็วในการฉีดจะมีอิทธิพลมากต่อความดันในแม่พิมพ์ที่เกิดขึ้น ถ้าความเร็วในการฉีดสูงขึ้น ความดันของน้ำมันไฮดรอลิกส์ที่เกิดขึ้นและความดันในแม่พิมพ์ก็จะสูงขึ้นตามและเวลาในการสร้างความดันเร็วกว่าด้วย เนื่องมาจากพลาสติกเหลวถูกเติมในแม่พิมพ์ในระยะเวลาที่สั้นกว่า

5. อิทธิพลของการสับเปลี่ยนจากจังหวะฉีดเข้าสู่จังหวะย่ำรักษาความดัน

การสับเปลี่ยนนี้เราอาจยึดถือเวลาในการฉีด ระยะทางในการฉีด และความดันไฮดรอลิกส์หรือความดันในแม่พิมพ์ในการฉีดเป็นตัวกำหนดว่าจะเริ่มทำการย่ำรักษาความดันได้หรือไม่ แต่ความเป็นจริงแล้วทั้งเวลา ระยะทาง และความดันไฮดรอลิกส์ที่ใช้ในการฉีดเราใช้ร่วมกันเพียงแต่เรายึดตัวใดเป็นหลักในการทำงานวิ่งเครื่องสมัยเก่าจะใช้ระยะทางเป็นหลัก (ปริมาณเนื้อพลาสติกที่ใช้ในจังหวะฉีด) หรือจะเหลือปริมาณเนื้อพลาสติกเอาไว้เท่าไรสำหรับการย่ำรักษาความดัน โดยสามารถตั้งเวลาและความดันในการฉีดได้ ตัวอย่างเช่น ถ้าตั้งเวลาในการฉีดน้อย สกรูอาจจะเคลื่อนที่ตามแนวแกนไม่ได้ระยะทางตามที่กำหนดเครื่องจะหยุดทำงาน ดังนั้น จึงต้องเพิ่มเวลาในการฉีดอีกแต่ถ้าเวลาในการฉีดมาก สกรูก็จะหยุดแช่ ตรงที่ระยะทางที่กำหนดนานขึ้น ด้วยเหตุนี้เครื่องฉีดสมัยใหม่จึงใช้ทั้งระยะทางและเวลาในการฉีดเป็นตัวกำหนดแทน นั่นก็คือความเร็วในการฉีด (ระยะทาง/เวลา) ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับความดันไฮดรอลิกส์ด้วย ถ้าใช้ความเร็วในการฉีดสูง ความดันไฮดรอลิกส์ก็จะสูงตามไปด้วย

กรณีที่ 1 การสับเปลี่ยนช้า เนื่องจากระยะทางในการฉีดมาก เวลาที่ใช้จึงต้องนานขึ้น ความดันไฮดรอลิกส์ที่ใช้ต้องสูงขึ้น และความดันในแม่พิมพ์ก็มีโอกาสเกิดขึ้นสูงตามไปด้วย จึงควรระวังการฉีดเกินซึ่งจะทำให้ชิ้นงานเกิดครีบได้

กรณีที่ 2 การสับเปลี่ยนค่อนข้างเร็ว คือการสับเปลี่ยนจะเข้าสู่จังหวะย่ำรักษาความดันทันทีที่พลาสติกเติมในแม่พิมพ์ ความดันในแม่พิมพ์จึงไม่สูงจนเกินไป

กรณีที่ 3 การสับเปลี่ยนเร็วเกินไป ทำให้ความดันในแม่พิมพ์ต่ำเกินไปจนพลาสติกไม่เต็มแม่พิมพ์ในจังหวะฉีด

6. อิทธิพลของเวลาในการย่ำรักษาความดัน

การเป็นไปของความดันในแม่พิมพ์ที่เกิดขึ้นในช่วงความดันย่ำรักษาความดันมีอิทธิพลมากต่อคุณภาพของชิ้นงานฉีด โดยเฉพาะความเที่ยงตรงของขนาดของชิ้นงาน ส่วนเวลานี้ถ้าสั้นเกินไป ความดันในแม่พิมพ์ที่เกิดขึ้นก็จะคงสภาพอยู่ไม่นานพอที่จะทำให้เนื้อพลาสติกแน่นเต็มในแม่พิมพ์

แต่ถ้านานเกินไป ความดันในแม่พิมพ์ก็จะคงอยู่นานเกินไปด้วย ทำให้พลาสติกในแม่พิมพ์ถูกอัดอยู่เป็นเวลานานจนอาจเกิดความเค้นตกร้างสร้างความเสียหายให้กับชิ้นงานได้

7. อิทธิพลของเวลาในการหล่อเย็น

เวลาในการหล่อเย็นไม่มีอิทธิพลโดยตรงต่อความดันในแม่พิมพ์ แต่จะมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิของชิ้นงานที่อยู่ในแม่พิมพ์ เพราะถ้าใช้เวลาในการหล่อเย็นน้อยเกินไป อุณหภูมิของชิ้นงานในแม่พิมพ์จะยังไม่ต่ำพอที่จะถูกปลดออกจากแม่พิมพ์ก็จะทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหายได้และถ้าใช้เวลานานเกินไป เวลาทำงานที่แท้จริงก็จะมากขึ้นไป ทำให้สิ้นเปลืองต้นทุนในการผลิต

8. อิทธิพลของการออกแบบระบบทางเข้าของน้ำพลาสติกที่จะเข้าไปในแบบ

เนื่องจากการออกแบบชิ้นงานจำเป็นต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติโดยรวมของชิ้นงานที่ต้องการ ซึ่งได้แก่ คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติการแปรรูปค่าการไหลของพลาสติก (Flowability) รวมไปถึงข้อจำกัดในการออกแบบแม่พิมพ์และการฉีด ดังนั้นไม่ว่าจะเป็นการออกแบบแม่พิมพ์ การออกแบบระบบทางเข้า (Gate) ระบบทางไหลของพลาสติก (Runner) หรือแม้แต่กระทั่งระบบหล่อเย็น (Cooling) ล้วนแล้วแต่มีความสำคัญกับคุณภาพของชิ้นงานทั้งสิ้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบ ได้แก่ 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

2.2.6 ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉีดชิ้นงานและวิธีการแก้ไข [11]

สาเหตุของปัญหาการเกิดข้อบกพร่องบนชิ้นงาน สามารถจำแนกออกเป็นสาเหตุใหญ่ด้วยกัน คือ ปัญหาเนื่องจากคุณสมบัติของพลาสติก ปัญหาเนื่องจากแม่พิมพ์ ปัญหาจากการปรับพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดพลาสติก และปัญหาจากประสิทธิภาพของเครื่องฉีดพลาสติก ส่วนแนวทางการแก้ปัญหการเกิดข้อบกพร่องในชิ้นงานมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน คือ ปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องฉีดพลาสติก แก้ไขแม่พิมพ์ และปรับพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดให้เหมาะสม กรณีที่รูปแบบของชิ้นงานยากต่อการฉีดควรออกแบบชิ้นงานใหม่ให้สามารถฉีดได้ง่ายขึ้น และจัดการกับระบบการฉีดพลาสติกให้เป็นอุปกรณ์เสริมสำหรับช่วยในการฉีดพลาสติกด้วย ซึ่งสามารถสรุปแนวทางวิธีการแก้ไขโดยแยกเป็นข้อบกพร่องแต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แนวทางแก้ไขข้อบกพร่องในกระบวนการฉีดพลาสติก [11]

ข้อบกพร่อง	แนวทางการแก้ไข
1. ชิ้นงานเปราะแตกง่าย (Brittle Part)	<ol style="list-style-type: none"> 1. เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว 2. ลดความดันในการฉีด 3. ลดเวลาในการฉีด 4. เพิ่มความเร็วรอบสกรู 5. ลดความเร็วในการฉีด 6. เพิ่มความดันด้านการถอยกลับของสกรู 7. เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ 8. เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว 9. อบพลาสติกให้แห้งสนิท 10. เพิ่มขนาดของสลักเย็น
2. ชิ้นงานติดแม่พิมพ์ (Part Sticks in Mold)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว 2. ลดความดันและเวลาในการฉีด 3. ลดความเร็วในการฉีด 4. ลดอุณหภูมิของแม่พิมพ์ 5. ทำความสะอาดแม่พิมพ์ 6. แก้ไขแม่พิมพ์ใหม่
3. ชิ้นงานเป็นครีป (Flash)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ลดความดันฉีดให้ต่ำลง 2. ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว 3. ลดความดันและเวลาในการฉีด 4. เพิ่มแรงในการปิดแม่พิมพ์ 5. ลดความเร็วในการฉีด 6. ลดอุณหภูมิของแม่พิมพ์
4. รอยฟัน (Jetting)	<ol style="list-style-type: none"> 1. เพิ่มขนาดของทางเข้า (Gate) 2. ลดความเร็วฉีดให้ต่ำลง 3. เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลวให้สูงขึ้น 4. เพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์ให้สูงขึ้น 5. แก้ไขขนาดของชิ้นงานให้มีความหนาลดลง

ตารางที่ 2.4 แนวทางแก้ไขข้อบกพร่องในกระบวนการฉีดพลาสติก (ต่อ)

ข้อบกพร่อง	แนวทางการแก้ไข
5. ชิ้นงานเปลี่ยนสี (Discoloration of Sprue)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว 2. ฉีดด้วยสกรูที่กำลังหมุน 3. ลดความเร็วในการฉีด 4. เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ 5. เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว 6. เพิ่มขนาดของสลักเย็น
6. รอยหยักเป็นทางยาวบนผิวชิ้นงาน (Worms Track on Part)	<ol style="list-style-type: none"> 1. เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว 2. เพิ่มอุณหภูมิหัวฉีด 3. เพิ่มความเร็วรอบของสกรู 4. ลดความเร็วในการฉีด 5. เพิ่มความดันด้านการถอยกลับของสกรู 6. เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว 7. เพิ่มขนาดของสลักเย็น 8. อบพลาสติกให้แห้งสนิท
7. เนื้อพลาสติกแบ่งเป็นชั้น (Laminations)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว 2. เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลวที่หัวฉีด 3. เพิ่มความเร็วรอบสกรู 4. ลดความเร็วในการฉีด 5. เพิ่มความดันด้านการถอยกลับของสกรู 6. ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น 7. เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ 8. เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว 9. อบพลาสติกให้แห้งสนิท
8. พลาสติกไหม้ (Burning)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว 2. ลดความเร็วในการฉีด 3. ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น 4. เพิ่มช่องระบายอากาศให้กับแม่พิมพ์

ตารางที่ 2.4 แนวทางแก้ไขข้อบกพร่องในกระบวนการฉีดพลาสติก (ต่อ)

ข้อบกพร่อง	แนวทางการแก้ไข
<p>9. รอยประสานจากการไหลของพลาสติก (Weld Line)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. เพิ่มความดันฉีดให้สูงขึ้น 2. เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว 3. เพิ่มความเร็วในการฉีด 4. เพิ่มความดันด้านการถอยกลับของสกรู 5. ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น 6. เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ 7. เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว 8. เพิ่มช่องระบายอากาศให้กับแม่พิมพ์ 9. อบพลาสติกให้แห้งสนิท
<p>10. รอยยุบในชิ้นงาน (Sink Mark)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. เพิ่มความดันฉีดช้าและเวลาในการฉีดช้า 2. เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลวที่หัวฉีด 3. ลดความเร็วในการฉีด 4. ลดความดันด้านการถอยกลับของสกรู 5. ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น 6. ลดอุณหภูมิแม่พิมพ์ 7. เพิ่มอัตราการป้อนพลาสติกเหลว 8. เพิ่มขนาดทางเข้าพลาสติกเหลว 9. แก้ไขระบบทางเข้าของพลาสติกเหลว
<p>11. ผิวชิ้นงานด้าน (Dull Surface)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว 2. เพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์ 3. เพิ่มความเร็วรอบของสกรู 4. ลดความเร็วในการฉีด 5. เพิ่มความดันด้านการถอยกลับของสกรู 6. ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น 7. ทำความสะอาดแม่พิมพ์ 8. เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว 9. อบพลาสติกให้แห้งสนิท

ตารางที่ 2.4 แนวทางแก้ไขข้อบกพร่องในกระบวนการฉีดพลาสติก (ต่อ)

ข้อบกพร่อง	แนวทางการแก้ไข
12. มีจุดบนผิวชิ้นงาน (Surface Blemished)	<ol style="list-style-type: none"> 1. เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว 2. เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลวที่หัวฉีด 3. เพิ่มความเร็วรอบสกรู 4. ลดความเร็วในการฉีด 5. เพิ่มความดันด้านการถอยกลับของสกรู 6. เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ 7. ทำความสะอาดแม่พิมพ์ 8. ทำความสะอาดระบบทางไหลของพลาสติก 9. อบพลาสติกให้แห้งสนิท
13. ผิวชิ้นงานเป็นคลื่น (Wavy Surface)	<ol style="list-style-type: none"> 1. เพิ่มความดันฉีดให้สูงขึ้น 2. เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว 3. เพิ่มความดันและเวลาในการฉีด 4. เพิ่มความเร็วในการฉีด 5. ลดอุณหภูมิแม่พิมพ์ 6. เพิ่มอัตราการป้อนพลาสติกเหลว 7. เพิ่มเวลาหล่อเย็นและเวลาเปิดแม่พิมพ์
14. ฉีดไม่เต็มแบบ (Short Mold)	<ol style="list-style-type: none"> 1. เพิ่มความดันฉีดให้สูงขึ้น 2. เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว 3. เพิ่มอุณหภูมิหัวฉีด 4. ทำความสะอาดหัวฉีด 5. เพิ่มความเร็วในการฉีด 6. เพิ่มความดันด้านการถอยกลับของสกรู 7. ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น 8. เพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์ 9. เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว 10. เพิ่มช่องระบายอากาศให้กับแม่พิมพ์ 11. เพิ่มอัตราการป้อนพลาสติก

ตารางที่ 2.4 แนวทางแก้ไขข้อบกพร่องในกระบวนการฉีดพลาสติก (ต่อ)

ข้อบกพร่อง	แนวทางการแก้ไข
15. รอยเป็นทางบนผิวชิ้นงาน (Streaks on Part)	<ol style="list-style-type: none"> 1. เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว 2. ลดความเร็วรอบของสกรู 3. ลดความเร็วในการฉีด 4. เพิ่มความดันด้านการถอยกลับของสกรู 5. อบพลาสติกให้แห้งสนิท
16. ชิ้นงานบิดเบี้ยวเสียรูป (Part Distort)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ลดความดันฉีดให้ต่ำลง 2. เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว 3. ลดความดันในการฉีดซ้ำ 4. ลดเวลาในการฉีดซ้ำ 5. ลดความเร็วในการฉีด 6. เพิ่มความดันด้านการถอยกลับของสกรู 7. เพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์ 8. เพิ่มเวลาในการหล่อเย็น 9. เพิ่มเวลาในการเปิดแม่พิมพ์ 10. อบพลาสติกให้แห้งสนิท
17. มีโพรงอากาศในชิ้นงาน (Voids in Part)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว 2. เพิ่มความดันและเวลาในการฉีดซ้ำ 3. เพิ่มอุณหภูมิหัวฉีด 4. ลดความเร็วในการฉีด 5. เพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์ 6. เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว

2.3 เครื่องมือวิเคราะห์ทางสถิติ

2.3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) [2]

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรที่มีจำนวนประชากรมากกว่า 2 ชุด แนวความคิดเกี่ยวกับการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ ให้หาค่าความแตกต่างของข้อมูลทั้งหมดในรูปค่าความแปรปรวนแล้วพิจารณาว่าผลเป็นอย่างไร ถ้าค่าความแปรปรวนเป็นศูนย์แสดงว่าปัจจัยที่ได้รับการควบคุมไม่มีผลต่อค่าปัจจัย ถ้าหากว่าความแปรปรวนไม่ได้เป็นศูนย์แล้ว เป็นไปได้ที่ผลมาจากปัจจัยที่ได้รับการควบคุมและสาเหตุที่ไม่ได้รับการควบคุม หลักการสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือเป็นการหาความแปรปรวนโดยรวมแล้วแยกออกเป็นความแปรปรวนเนื่องจากทรีตเมนต์ และความแปรปรวนเนื่องจากสาเหตุที่ไม่ได้รับการควบคุมซึ่ง หมายถึง รีพีทเทเบิลได้ แล้วพิจารณาความแปรปรวนเนื่องจากทรีตเมนต์ว่ามีปริมาณมากหรือไม่เมื่อเทียบกับผลจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ในระหว่างเงื่อนไขการทดลอง หรือรีโปรดิวซิเบิล การวิเคราะห์ความแปรปรวน เป็นการสนใจศึกษาปัจจัยเพียงปัจจัยเดียว ซึ่งจำนวนระดับที่สนใจศึกษาของปัจจัยนี้เท่ากับ a ระดับ เพื่อดูว่าระดับที่แตกต่างกันของปัจจัยนั้น จะมีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนอง (Y) อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่อย่างไร ซึ่งมีลักษณะข้อมูลดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนอง [2]

ลำดับที่	วิธีปฏิบัติ						
	1	2	3	4	...i...	a	
1	Y11	Y21	Y31	Y41	...Yi1...	Ya1	
2	Y12	Y22	Y32	Y42	...Yi2...	Ya2	
3	Y13	Y23	Y33	Y43	...Yi3...	Ya3	
-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	
j	Y1j	Y2j	Y3j	Y4j	...Yij...	Yaj	
-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	
n	Y1n	Y2n	Y3n	Y4n	...Yin...	Yan	
ผลรวม (T_i)	T1	T2	T3	T4	T_i	T_a	T_{ij}
ผลรวม (T_i^2)	$(T1)^2$	$(T2)^2$	$(T3)^2$	$(T4)^2$	$(T_i)^2$	$(T_a)^2$	

เมื่อ	T_i	คือ ผลรวมของข้อมูลจากวิธีปฏิบัติที่ i ; $i = 1, 2, \dots, a$
	$\sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}$; n_i	คือ จำนวนข้อมูลในวิธีปฏิบัติที่ i
	T_{ij}	คือ ผลรวมข้อมูลทั้งหมด $= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}$
	N	คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด $= \sum_{i=1}^a n_i$

คำจำกัดความต่างๆ ใน ANOVA

Sample Size : $n_1, n_2, n_3, \dots, n_k$

Sample Means : $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3, \dots, \bar{X}_k$

Sample Variation : $S_1^2, S_2^2, S_3^2, \dots, S_k^2$

Total Sample Size : $n = n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_k$

Grand Average : $\bar{\bar{X}} = \text{Average of All } n \text{ Responses}$

คำว่า Grand Average คือ ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยอีกที ซึ่งก็คือการให้ค่าน้ำหนักหรืออัตราส่วนของ Sample Size เทียบกับ Total Sample Size และค่าเฉลี่ยแต่ละค่าตามสมการนี้

$$\bar{\bar{X}} = \left(\frac{n_1}{n}\right)\bar{X}_1 + \left(\frac{n_2}{n}\right)\bar{X}_2 + \left(\frac{n_3}{n}\right)\bar{X}_3 + \dots + \left(\frac{n_k}{n}\right)\bar{X}_k \quad (2.7)$$

สามารถหาค่า Between-Samples Variation จากสมการ

$$SSTr = n_1(\bar{X}_1 - \bar{\bar{X}})^2 + n_2(\bar{X}_2 - \bar{\bar{X}})^2 + n_3(\bar{X}_3 - \bar{\bar{X}})^2 + \dots + n_k(\bar{X}_k - \bar{\bar{X}})^2 \quad (2.8)$$

เนื่องจากสมการเป็นการบวกกันของพจน์กำลังสอง จึงเรียกอีกอย่างว่า “Treatment Sum of Squares” และเราสามารถหาค่า Within-Samples Variation จากสมการ

$$SSE = \sum_{j=1}^{n_1} (x_{1j} - \bar{X}_1)^2 + \sum_{j=1}^{n_2} (x_{2j} - \bar{X}_2)^2 + \sum_{j=1}^{n_3} (x_{3j} - \bar{X}_3)^2 + \dots + \sum_{j=1}^{n_k} (x_{kj} - \bar{X}_k)^2 \quad (2.9)$$

ซึ่งสมการนี้สุดท้าย ก็จะมีค่าเท่ากับสมการต่อไปนี้

$$SSE = (n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2 + \dots + (n_k - 1)S_k^2 \quad (2.10)$$

เนื่องจากการใช้ ANOVA นั้นค่า Variation จะเป็นค่าที่แสดงถึงขนาดของความคลาดเคลื่อนออกจากค่าเฉลี่ย ของบรรดาข้อมูลใดๆ เราจึงเรียกว่า Error แทนคำว่า Variation และจากสมการข้างบนนั้นเป็นการหาค่าผลบวกของพจน์กำลังสองของ Variation (Error) เราจึงเรียกค่านี้ว่า Sum Square of Error และเมื่อนำ SSTr มารวมกันกับ SSE เราจึงเรียกว่า Sum Square Total

$$SST = SSTr + SSE \quad (2.11)$$

จากคำว่า Between-Samples หรือ Within-Sample นั้น Sample จะหมายถึง Level หรือ Treatment นั้นเอง ถ้า Between ก็จะหมายถึง ระหว่าง Level (Treatment) ส่วน Within ก็จะหมายถึง ระหว่างข้อมูล ในแต่ละ Level (Treatment) กรุณาดูในตัวอย่างที่จะกล่าวถึงเราสามารถหาค่า Degree of Freedom ได้ดังนี้

เมื่อ SST คือ ผลรวมทั้งหมด ดังนั้น $df = n-1$ โดยที่ n คือ ผลรวมของจำนวนตัวอย่าง (ข้อมูล) ทั้งหมดจาก ทุกๆ Level นั้นเอง

SSTr คือ ผลรวม ระหว่าง Level ดังนั้น $df = k-1$ โดยที่ k คือจำนวน Level นั้นเอง

SSE คือ ผลรวมที่เกิดจาก ทุกๆข้อมูลของทุก Level ดังนั้น $df = n-k$ จุดประสงค์ที่เราต้องการหาค่า Degree of Freedom ก็เพราะเราต้องการหาค่า เฉลี่ยของแต่ละพจน์ในสมการ

$$MSTr = \frac{SSTr}{k-1} \quad (2.12)$$

$$MSE = \frac{SSE}{n-k} \quad (2.13)$$

เมื่อ MSTr : Mean Square for Treatments (Between-Sample)

MSE : Mean Square Error (Within-Sample)

อัตราส่วนระหว่าง MSTr กับ MSE คือ ค่า สถิติที่ใช้ทดสอบ ANOVA (Test Statistic) ซึ่งเราเรียกย่อๆ ว่า F เพื่อให้มองเห็นภาพรวมของ ANOVA จึงได้มีการสรุปในรูปตาราง ซึ่งเรียกว่า ANOVA Table ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Table) [2]

Source of Variation	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F Test
Between Sample (Treatments)	k-1	SSTr	MSTr = SSTr/k-1	MSTr/MSE
Within Sample (Error)	n-k	SSE	MSE = SSE/n-k	
ผลรวม	n-1	SST		

2.3.2 การทดสอบสมมุติฐาน (Test of Hypothesis) [2, 12]

การทดสอบสมมุติฐาน (Test of Hypothesis) เป็นกระบวนการตัดสินใจเพื่อยืนยันความเชื่ออย่างใดอย่างหนึ่งเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่อธิบายสภาวะที่เกิดขึ้นจริง และเรียกข้อความที่แสดงถึงการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มที่หมายถึงสภาวะที่เกิดขึ้นจริงว่าสมมุติฐานเชิงสถิติ (Statistical Hypothesis) ได้แก่ สมมุติฐานหลัก (Null Hypothesis; H_0) และสมมุติฐานอื่น (Alternative Hypothesis; H_1) โดยสมมุติฐานหลัก คือ สมมุติฐานที่เชื่อว่าเป็นสภาวะที่เกิดขึ้นจริงและต้องทำการทดสอบเพื่อที่จะปฏิเสธสมมุติฐานนี้ ส่วนสมมุติฐานอื่น คือ สภาวะที่ต้องการยืนยันด้วยเหตุผลและการตัดสินใจแบบทดสอบสมมุติฐานนี้มีโอกาสในการผิดพลาดได้ 2 ชนิด คือ [12]

1. ความผิดพลาดแบบที่ 1 (Type I Error) การปฏิเสธสมมุติฐานหลักทั้งที่ในความเป็นจริงสมมุติฐานหลักถูกต้องอยู่แล้ว เรียกว่าระดับนัยสำคัญ (Significant Level) แทนด้วยสัญลักษณ์ α

2. ความผิดพลาดแบบที่ 2 (Type II Error) การไม่ปฏิเสธสมมุติฐานหลักทั้งที่ในความเป็นจริงสมมุติฐานหลักไม่ถูกต้องแทนด้วยสัญลักษณ์ β และ $1-\beta$ คืออำนาจในการทดสอบ (Power of Test) ในการทดสอบสมมุติฐานนั้นต้องออกแบบวิธีการตัดสินใจให้มีระดับนัยสำคัญคงที่และมีค่าต่ำๆ เช่น 0.05 หรือ 0.1 และให้อำนาจในการทดสอบมีค่าสูงที่สุด ทั้งนี้เพื่อให้การตัดสินใจเลือก H_1 ต้องกระทำอย่างมีเหตุผลรองรับที่ชัดเจนจริงๆ ซึ่งเรียกว่า การตัดสินใจแบบยืนยัน (Strong Conclusion) ซึ่งในการตัดสินใจโดยการทดสอบสมมุติฐานสามารถดำเนินการได้ตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

- 1) ตั้งสมมุติฐานตามสิ่งที่ต้องการทดสอบ
- 2) กำหนดวิธีการตัดสินใจ ด้วยการพิจารณาถึงตัวสถิติสำหรับการทดสอบพารามิเตอร์ รวมถึงการแจกแจงของตัวสถิติดังกล่าว ซึ่งอธิบายขนาดความผันแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ระหว่าง

เงื่อนไขของการทดลอง (Reproducibility) และกำหนดช่วงการปฏิเสธและการยอมรับภายใต้ค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด

3) ออกแบบการทดลอง ด้วยการกำหนดขนาดตัวอย่างโดยให้อำนาจในการทดสอบอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

4) ดำเนินการทดลองตามที่ออกแบบไว้

5) ตัดสินใจตามวิธีการตัดสินใจที่กำหนดไว้ โดยหากข้อมูลอยู่ในช่วงการยอมรับให้สรุปว่าไม่มีเหตุผลในการปฏิเสธสมมติฐาน เนื่องจากข้อมูลอยู่ในช่วงความผันแปรที่เกิดจากสาเหตุธรรมชาติ แต่หากข้อมูลอยู่ในช่วงการปฏิเสธให้ทำการปฏิเสธสมมติฐาน

สมมติฐานทางสถิติ คือการกำหนดพารามิเตอร์ของการแจกแจงความน่าจะเป็นของมัชฌิมสองมัชฌิมขึ้นไป เพื่อทดสอบความแตกต่างหรือเท่ากันของมัชฌิม ตัวอย่างเช่น ในการจำแนกทางเดียว โดยมีขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน ดังนี้ คือ [2]

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_a \quad (2.14)$$

(ปัจจัยที่ทำการศึกษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าตอบสนอง)

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j; 3_{ij} \quad (2.15)$$

(ปัจจัยที่ทำการศึกษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าตอบสนอง)

$$\text{แต่เนื่องจาก } Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad (2.16)$$

$$= \mu_j + \varepsilon_{ij}; \mu_i = \mu + \tau_i \quad (2.17)$$

จะเห็นได้ว่าถ้า $\tau_i = 0$ ดังนั้น ค่าเฉลี่ยของทุกวิธีปฏิบัติจะเท่ากันหมดจึงสามารถเขียนสมมติฐานได้อีกรูปแบบหนึ่ง คือ

$$H_0: \tau_i = 0 \quad \text{เมื่อ (ปัจจัยไม่มีผลต่อค่าตอบสนอง)}$$

$$H_1: \tau_i \neq 0 \quad \text{เมื่อ (ปัจจัยมีผลต่อค่าตอบสนอง)}$$

โดยที่ $\tau_i =$ ผลกระทบของปัจจัยที่ระดับที่ $i; i = 1, 2, \dots, a$

ดังนั้นการทดสอบสมมติฐานจึงมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 กำหนดระดับนัยสำคัญ (α)

ขั้นที่ 2 กำหนดตัวสถิติที่ใช้ทดสอบจากสมการดังนี้

$$F_0 = \frac{MSE}{MSA}; v = (a-1, N-a) \quad (2.18)$$

ขั้นที่ 3 การสรุปผล

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $P\text{-Value} = P(F > F_0) < \alpha$ หรือ จะปฏิเสธ H_1 เมื่อ $H_0 > F_{\alpha, (a-1, N-a)}$
ข้อสังเกต การทดสอบเป็นการทดสอบทางเดียวเท่านั้น

2.3.3 การวิเคราะห์ความถูกต้องของข้อมูล [13, 14]

การใช้ข้อมูลเพื่ออธิบายและการวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้น ข้อมูลจำเป็นต้องมีคุณสมบัติตามข้อกำหนด คือ ความปกติของข้อมูล (Normal) และความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent) และความเสถียรของความแปรปรวน ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงต้องทำการวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลอง

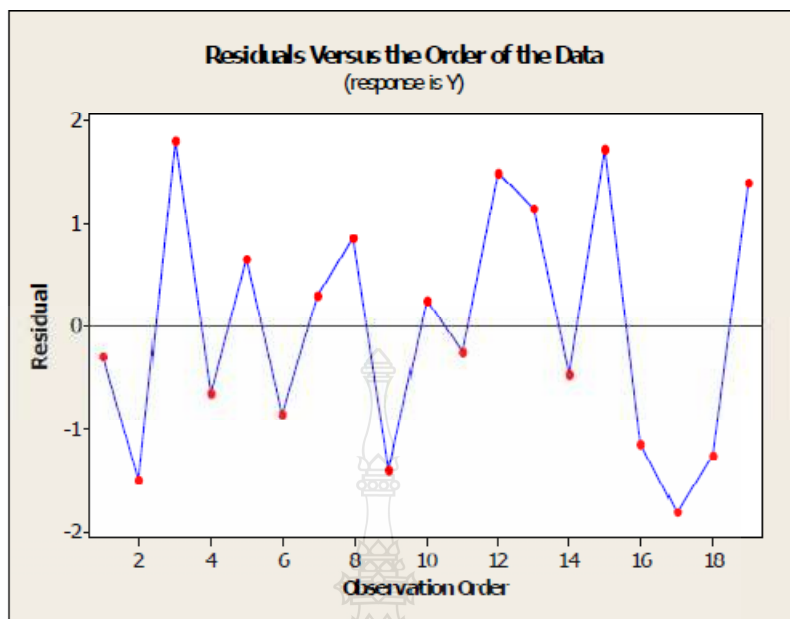
ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อสรุปการยอมรับหรือปฏิเสธสมมุติฐาน หากแบบจำลองไม่มีความถูกต้องแล้ว จะถือว่าข้อมูลไม่มีความเหมาะสมและไม่สามารถใช้ในการวิเคราะห์ผลได้ การวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลองจะดำเนินการผ่านการทดสอบเศษเหลือ (Residual) ของข้อมูลซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ e_{ij} หมายถึง Residual สำหรับข้อมูลที่ j ของระดับปัจจัยที่ i โดย

$$e_{ij} = y_{ij} - \hat{y}_{ij} \quad (2.19)$$

เมื่อ \hat{y}_{ij} คือ ค่าประมาณ (Fit) ของข้อมูล y_{ij} ซึ่งมีค่าเท่ากับ \bar{y}_i หมายความว่า ค่าประมาณข้อมูลในระดับปัจจัยที่ i คือค่าเฉลี่ยของข้อมูลในระดับปัจจัยนั้นๆ การทดสอบข้อมูลก่อนนำมาวิเคราะห์มีวิธีการดังนี้

1. การทดสอบความสุ่มของข้อมูล (Run Test)

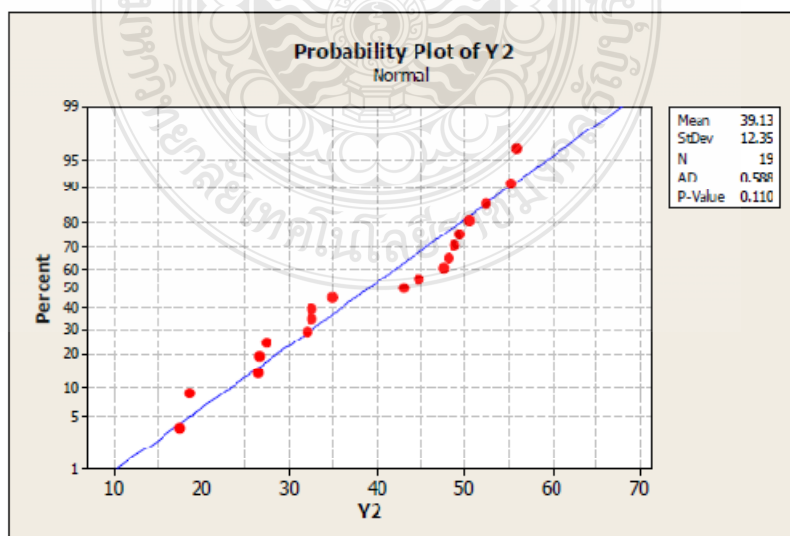
ใช้กราฟ I Chart of Residual ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษเหลือและเวลา หรือลำดับข้อมูลในการพิจารณา ดังตัวอย่างในภาพที่ 2.29 หากข้อมูลมีความสุ่มแล้วจะต้องไม่มีลักษณะเป็นจุดต่อเนื่อง (Run) แนวโน้ม (Trend) และวัฏจักร (Cycle)



ภาพที่ 2.29 ตัวอย่างกราฟ I Chart of Residual

2. กราฟทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability Paper; NOPP)

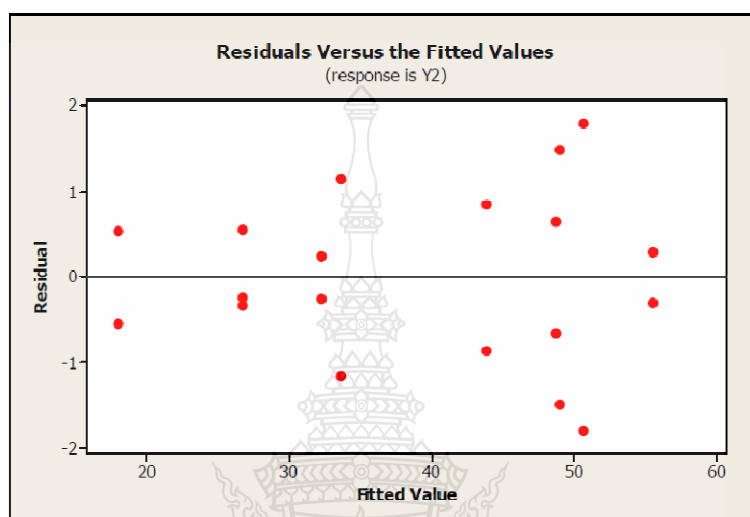
กราฟทดสอบการแจกแจงแบบปกติเป็นกราฟที่พล็อตระหว่างข้อมูลที่นำมาพิจารณากับความถี่สะสมในสเกลของการแจกแจงปกติและนำมาใช้ตรวจสอบความเป็นปกติ (Normal) ของข้อมูล โดยเฉพาะมีลักษณะดังภาพที่ 2.30 หากข้อมูลมีลักษณะการกระจายตัวแบบปกติแล้ว กราฟ NOPP จะให้ข้อมูลที่มีลักษณะการเรียงตัวใกล้เคียงเส้นตรง



ภาพที่ 2.30 ตัวอย่างลักษณะกราฟทดสอบการแจกแจงแบบปกติ

3. การทดสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Test for Equal Variance)

จะใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Residual และ Fit ในการพิจารณาความเสถียรของความแปรปรวนดังตัวอย่างในภาพที่ 2.31 หากความแปรปรวนมีความเสถียรแล้วการกระจายตัวของค่า Residual ที่เหนือและใต้เส้น 0 ควรมีความใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 2.31 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Residual และ Fit

2.3.4 เทคนิควิธีการระดมความคิด (Brainstorming) [15]

การระดมความคิดนั้นสมาชิกที่ถูกเลือกมานั้นควรจะมีมุมมองที่แตกต่างกันหรือมีหน้าที่ความรับผิดชอบที่ต่างกันในเรื่องที่จะทำการระดมความคิด โดยคำถามหรือปัญหาจะถูกเขียนให้ทุกคนสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจนภายในห้อง โดยปกติในการระดมความคิดจำเป็นจะต้องมีผู้นำในการระดมความคิด ซึ่งข้อควรปฏิบัติที่ผู้นำในการระดมสมองจะต้องคำนึงถึงก่อนเริ่ม คือ

1. ควรจะถามความคิดเห็นของสมาชิกคนละความคิดเห็น โดยการวนถาม โดยจะถามวนต่อเนื่องกันไป จนกระทั่งสมาชิกทุกคนไม่มีความคิดเห็นที่จะเสนอแล้ว
2. ก่อนที่จะทำการสรุปว่าความคิดเห็นใดตรงกับประเด็นปัญหาหรือไม่ ความคิดเห็นที่ถูกนำเสนอขึ้นมาจะต้องได้รับการประเมินหรือวิเคราะห์ในหลายๆความคิดเห็น
3. พยายามสนับสนุนความคิดเห็นที่ค่อนข้างแหวกแนว เพราะการที่จะแสดงความคิดเห็นที่แหวกแนวนั้นค่อนข้างที่จะยากที่จะนำเสนอออกมาได้ ดังนั้นไม่ควรที่จะจำกัดความคิดเห็นเหล่านี้ และความคิดเห็นที่แหวกแนวนี้เองจะเป็นตัวสนับสนุน ให้มีการแสดงความคิดเห็นที่แหวกแนวอื่นตามมา

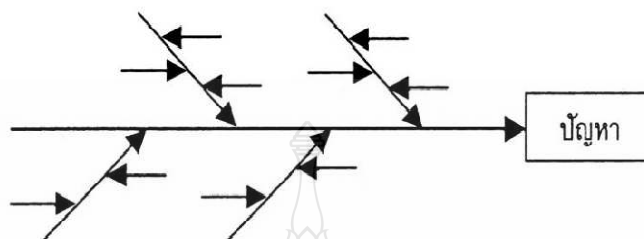
4. พยายามทำให้บรรยากาศในการระดมความคิดเป็นบรรยากาศที่สนุกสนานและไม่เป็นทางการมากนัก
5. จุดมุ่งหมายที่สำคัญคือต้องการจำนวนความคิดที่มากที่สุด ไม่ใช่คุณภาพ เพราะเมื่อยังมีความคิดเห็นมากเท่าใด โอกาสที่จะเป็นความคิดเห็นที่ดีก็จะมีมากขึ้นด้วย
6. พยายามค้นหาแนวทางการปรับปรุงและรวมกลุ่มความคิดเห็นให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน

2.3.5 แผนภูมิก้างปลา (Fish Bone Diagram) [15]

แผนภูมิก้างปลาเป็นแผนภาพที่มีประโยชน์สำหรับนำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลสำหรับประเด็นปัญหาที่พิจารณา โดยแผนภาพนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดยศาสตราจารย์คาโอริอิจิกาวา แห่งมหาวิทยาลัยโตเกียว ค.ศ.1943 โดยครั้งแรกนั้น ดร.อิจิกาวา ได้ใช้แผนภาพนี้ในการอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพในการผลิต วิศวกรจากบริษัท คาวาซากิ สตีลเวิร์ค จำกัด สำหรับมาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งญี่ปุ่น (JIS) ได้นิยามความหมายของแผนภูมิก้างปลาไว้ว่าเป็นแผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์อย่างมีระบบระหว่างผลที่แน่นอนประการหนึ่งกับสาเหตุต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการสร้างแผนภูมิก้างปลามีลำดับขั้นตอนคือ

1. ทำการนิยามปัญหาให้ชัดเจน หมายถึงการนิยามปัญหาให้อยู่ในรูปปริมาณไม่ใช่อยู่ในรูปเชิงคุณภาพ โดยควรมีการอภิปรายในกลุ่มให้เข้าใจก่อนการระดมความคิดจะเริ่มขึ้น
2. ให้ทำการระดมความคิดจากทีมโดยผ่านวิธีการใช้การ์ด ภายได้ข้อตกลงเบื้องต้นก่อนว่า สมาชิกแต่ละคนจะต้องออกความคิดเห็นที่ข้อ แล้วให้เขียนความคิดเห็นลงในการ์ดที่เตรียมไว้แผ่นละหนึ่งข้อ
3. เมื่อได้ระดมความคิดเห็นได้ครบถ้วนแล้ว จะต้องทำการกำหนดแนวความคิดของการจำแนกสาเหตุ เช่น อาจเป็นแนวความคิดตามแหล่งกำเนิดของสาเหตุ หรือ 4M (คน เครื่องจักร วัสดุคิบ และวิธีการ)
4. ให้นำกระดาษที่ผ่านการระดมความคิดมาแล้วมาจัดกลุ่มแนวความคิดตามสาเหตุที่ได้กำหนดไว้ทั้งนี้ในช่วงแรกอาจทำบนแผ่นกระดาษก็ได้ โดยการจัดกลุ่มความคิดในช่วงนี้ยังไม่ควรเขียนลงไป เพราะว่ายังไม่ทราบสาเหตุทั้งหมดว่ามีอะไรบ้าง
5. เมื่อนำแผ่นกระดาษที่ผ่านการระดมความคิดมาจัดทำแผนภูมิก้างปลาเรียบร้อยแล้ว จำเป็นต้องมีการตรวจสอบอีกครั้งว่าความเป็นสาเหตุและผลซึ่งกันและกันมีความถูกต้องหรือไม่ และการจัดกลุ่มสาเหตุถูกต้องหรือไม่ ทั้งนี้เพราะว่าการจัดกลุ่มต้องจัดตามสาเหตุรากเหง้า มิใช่จัดตามสาเหตุเบื้องต้น เช่น แม้ว่าจะระบุว่าสามารถเกิดจากพนักงานประกอบผิดพลาด ก็ไม่จำเป็นต้องอยู่ในกลุ่มสาเหตุของคน ถ้าหากปรากฏว่าสาเหตุรากเหง้า คือการขาดมาตรฐานของวิธีการทำงาน เป็นต้น

6. ดำเนินการทบทวนข้อความของสาเหตุรากเหง้าหรือสาเหตุเบื้องต้นที่ระบุในแผนภูมิ ก้างปลาด้วยการพิจารณาจำแนกสาเหตุต่างๆ ในแผนภูมิ ก้างปลาให้เห็นสาเหตุที่ควบคุมได้และสาเหตุ ที่ควบคุมไม่ได้



ภาพที่ 2.32 ตัวอย่างแผนภูมิ ก้างปลา (Fish Bone Diagram)

2.3.6 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) [15]

เป็นตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองที่ทำการศึกษา (KPOV) กับปัจจัย นำเข้าที่สำคัญต่างๆ ที่ได้จากการระดมความคิดโดยใช้แผนภาพสาเหตุและผลหรือแผนภูมิ ก้างปลา โดยจะวิเคราะห์ถึงระดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญนี้ที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง ต่างๆ ที่พิจารณาโดยใช้ความรู้ความชำนาญและประสบการณ์ในการปฏิบัติงานของผู้ร่วมระดม ความคิด ผลลัพธ์ที่สำคัญของการทำตารางความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผลนี้จะได้จากแผนภูมิพา- เรโตซึ่งเรียงปัจจัยตามลำดับผลกระทบที่มีต่อปัญหาที่ทำการพิจารณา ทำให้สามารถที่จะพิจารณา เลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญในระดับต้นๆ มาทำการแก้ไขก่อน หรือนำผลที่ได้มาใช้ในการประเมิน แผนการควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิตได้โดยมีวิธีการสร้างตารางความสัมพันธ์ระหว่างเหตุ และผล ดังนี้

1. แจกแจงตัวแปรตอบสนองที่สนใจในการศึกษา ซึ่งตัวแปรที่มีความสำคัญต่อความพึงพอใจของลูกค้าหรือกลุ่มผู้ทำการวิเคราะห์ให้ความสำคัญ โดยเขียนไว้ในส่วนบนของตาราง โดยรายการเหล่านี้ต้องเป็นสิ่งที่คณะทำงานหรือลูกค้าเชื่อว่ามีสำคัญ

2. ทำการจัดลำดับความสำคัญของตัวแปรตอบสนองที่ได้แจกแจงนี้ โดยในการให้คะแนน โดยทั่วไป มักจะใช้สเกล 1 ถึง 10 ซึ่งตัวเลขที่มีค่ามากจะแสดงถึงตัวแปรตอบสนองที่มีความสำคัญมากที่สุดจะได้คะแนนรวมมากที่สุด ซึ่งสำคัญต่อการพึงพอใจของลูกค้ามากเช่นเดียวกัน

3. ทำการแจกแจง ปัจจัยนำเข้าที่มีแนวโน้มจะเป็นสาเหตุ (Potential Cause) ทั้งหมดที่เป็นไปได้ในช่องทางซ้ายมือของตารางซึ่งปัจจัยนำเข้าที่สำคัญของตารางเหล่านี้จะได้มาจากการระดมความคิดของกลุ่มสมาชิก โดยใช้แผนภาพสาเหตุและผลช่วยในการพิจารณาปัจจัย

4. ให้คะแนนลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองต่างๆ ที่ได้แจกแจงไว้ในส่วนบนของตาราง โดยเกณฑ์การให้คะแนนของความสัมพันธ์มีดังต่อไปนี้

0 คะแนน คือ ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนอง

1 คะแนน คือ มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองน้อย

5 คะแนน คือ มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองปานกลาง

10 คะแนน คือ มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองมาก

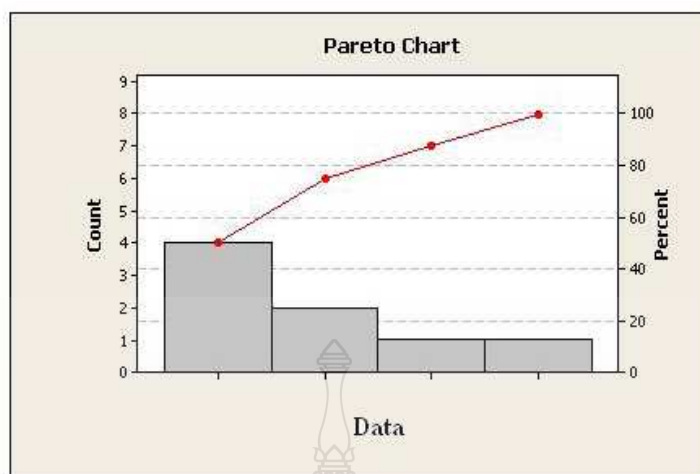
ซึ่งการให้คะแนนนี้ขึ้นกับความรู้ความชำนาญและประสบการณ์ของกลุ่มผู้ทำการวิเคราะห์

5. รวบรวมคะแนนและจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง โดยใช้แผนภูมิพารेटอช่วยในการวิเคราะห์ผลให้อัตราเป็นตัวเลข (ความสัมพันธ์ร่วม) แสดงอิทธิพลของปัจจัยนำเข้าแต่ละตัวที่มีต่อตัวแปรตอบสนองแต่ละตัวภายใต้กรอบในตารางที่พิจารณาโดยการกำหนดเกณฑ์นี้จะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของคณะทำงาน

2.3.7 แผนภูมิพารेटอ (Pareto Diagram)

แผนภูมิพารेटอเป็นเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของข้อมูลที่มีการจำแนกประเภท ดร.โจเซฟ จูราน ได้สังเกตพฤติกรรมของข้อมูล และได้ทำการวิจัยพบว่า ถ้าข้อมูลอยู่ในสถานะเสถียรภาพแล้ว ข้อมูลที่มีความสำคัญจะมีจำนวนเพียงเล็กน้อย (Vital Few) ในขณะที่ข้อมูลที่เหลืออยู่อีกมากมายจะมีความสำคัญเพียงเล็กน้อย (Trivial Many) โดย ดร.โจเซฟ จูราน ได้เรียกหลักการนี้ว่า หลักการพารेटอ (Pareto Principles)

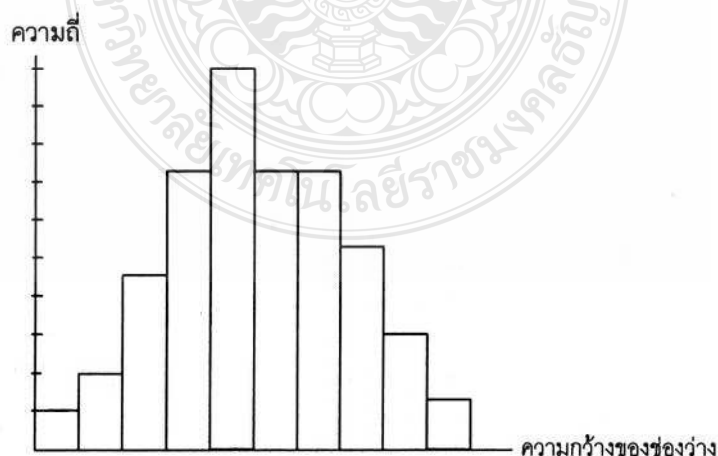
แผนภูมิพารेटอจะใช้ในการตีความหมายความมีเสถียรภาพหรือไม่มีของข้อมูลที่พิจารณา โดยมีข้อกำหนดคือ ถ้าตัวแบบของข้อมูลเป็นไปตามหลักการพารेटอแล้ว แสดงว่าข้อมูลนั้นอยู่ในสถานะเสถียรภาพและสามารถคาดการณ์ได้ แต่ถ้าตัวแบบของข้อมูลไม่ได้เป็นไปตามหลักการพารेटอแล้วแสดงว่าข้อมูลไร้เสถียรภาพอันเนื่องจากข้อมูลที่เก็บมาอยู่ในสถานะการปรับตัว (Transient State) เข้าสู่สถานะเสถียรภาพ จึงควรมีความจำเป็นต้องแก้ไขด้วยการทำให้กระบวนการมีมาตรฐาน



ภาพที่ 2.33 ตัวอย่างแผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram)

2.3.8 ฮิสโตแกรม (Histogram)

หลักการของฮิสโตแกรมเป็นการนำเสนอข้อมูลที่ต้องการสื่อความหมายให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น เนื่องจากในการทำงานมักมีการรวบรวมข้อมูลหลายประเภทจำนวนมาก และนำไปใช้งานแตกต่างกัน ฮิสโตแกรมเป็นเครื่องมือที่แสดงด้วยกราฟแท่ง โดยการแบ่งช่วงสเกลขนาดของข้อมูลให้มีช่วงที่เท่าๆกัน และมีจำนวนช่องชั้นที่เหมาะสม แล้วทำการเขียนกราฟแท่งลงในแต่ละช่วงข้อมูล โดยความสูงของแท่งกราฟจะเป็นจำนวนจุดข้อมูลที่มีอยู่ในแต่ละช่วงชั้นของข้อมูลชุดนั้นๆ ลักษณะและชนิดของฮิสโตแกรมจะมีอยู่หลายแบบด้วยกัน เช่น ชนิดรูปทรงปกติ หรือระฆังคว่ำ ชนิดรูปพื้นหัก ชนิดเบ้ขวาเบ้ซ้าย ชนิดที่ราบสูง ชนิดเขาสองยอด หรือหลายยอด เป็นต้น



ภาพที่ 2.34 ตัวอย่างฮิสโตแกรม (Histogram)

2.3.9 แผนภูมิควบคุม (Control Chart) [15]

แผนภูมิควบคุม คือ เครื่องมือที่ใช้เพื่อตรวจจับหาข้อบกพร่องที่เป็นแบบเรื้อรังและแบบเฉียบพลัน เป็นการตรวจจับจุดค่าที่ผิดปกติขึ้นทันทีทันใด ณ เวลาใดๆ ที่ผิดไปจากค่าขอบเขตควบคุมและเป็นการจับแนวโน้ม (Trend) หรือ วัฏจักรการเกิดความผิดปกติต่างๆจึงทำให้สามารถติดตามผลที่เกิดขึ้นในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งของกระบวนการได้ตลอดเวลาและสามารถวิเคราะห์หาสาเหตุเพื่อแก้ไขได้ทันที

แผนภูมิควบคุมเป็นแผนภูมิที่มีโครงสร้างประกอบด้วยเส้นควบคุม 3 เส้น ได้แก่ เส้นค่ากลาง (Center Line; CL) คือเส้นที่แสดงจำนวนหรือขนาดของข้อกำหนดหรือเป้าหมายการผลิตและเส้นควบคุมอีก 2 เส้น ได้แก่ ขีดจำกัดควบคุมบน (Upper Control Limit; UCL) และขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower Control Limit; LCL) คือเส้นขอบเขตของการควบคุมค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดที่ยอมให้เกิดขึ้น ถ้าผลผลิตที่ได้มีค่าที่กำหนดอยู่ในขอบเขตการควบคุมระหว่าง 2 เส้นนี้ แสดงว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ หากว่าค่าดังกล่าวอยู่นอกขอบเขตการควบคุม จะถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับไม่ได้และต้องมีการวิเคราะห์สาเหตุเพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าวต่อไป

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

1. แผนภูมิ X Bar เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมตรวจสอบและบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ว่าอยู่ในสภาพปกติหรือไม่
2. แผนภูมิ R Chart เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมตรวจสอบและบอกถึงการเปลี่ยนแปลงค่าพิสัย (Range) ของผลิตภัณฑ์ว่าอยู่ในสภาพปกติหรือไม่
3. แผนภูมิ X Chart เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมคุณสมบัติที่วัดได้จากผลิตภัณฑ์
4. แผนภูมิ MR Chart เป็นแผนภูมิที่ใช้เพื่อควบคุมค่าการกระจายของคุณสมบัติที่วัดด้วยค่าพิสัย

แผนภูมิควบคุมเชิงคุณลักษณะ หรือเป็นข้อมูลที่ได้จากการตรวจนับ เรียกว่า Attribute Chart โดยแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. แผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสีย P Chart และแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสีย NP Chart เป็นแผนภูมิที่ตรวจสอบโดยการสุ่มตัวอย่าง แล้วระบุจำนวนของดีหรือของเสียในกระบวนการผลิตว่าอยู่ในสภาพปกติหรือไม่
2. แผนภูมิควบคุมจำนวนตำหนิ C Chart เป็นแผนภูมิที่ใช้ตรวจสอบโดยการนับจำนวนข้อตำหนิที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์นั้นมีความซับซ้อนหรือมีข้อกำหนดมากมายการจะ

ระบุว่าเป็นของดีหรือของเสียทำได้ยากหรือมีค่าใช้จ่ายสูงสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูง แผนภูมิจำนวนตำหนิ ได้แก่ แผนภูมิ C Chart เมื่อจำนวนตัวอย่างกลุ่มย่อยที่มีค่าคงที่และเท่ากับ 1 หน่วย และ U Chart ใช้ในกรณีที่จำนวนหน่วยตัวอย่างของกลุ่มย่อยมีค่ามากกว่า 1 หน่วย

สรุปลักษณะที่สำคัญของแผนภูมิควบคุมมีลักษณะคล้ายกราฟเส้นตรง แต่เนื่องมาจากมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเฝ้าติดตามความผันแปรของค่าของข้อมูล จึงมีองค์ประกอบเพิ่มเติม ได้แก่

1. เส้นพิคัดด้านบน (Upper Control Limit; UCL)
2. เส้นพิคัดด้านล่าง (Lower Control Limit; LCL)
3. เส้นกลาง (Center Line; CL)

สิ่งที่สำคัญที่สุดของการควบคุมคุณภาพโดยใช้แผนภูมิ คือ การอ่านหรือตีความหมายจากภาพที่ปรากฏบนแผนภูมิ เพื่อโยงเหตุผลไปที่สภาวะของกระบวนการผลิต ซึ่งข้อมูลที่ได้จะนำมาเขียนเป็นแผนภูมิควบคุม เพราะอาการผิดปกติต่างๆ ในกระบวนการผลิตที่จะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะแสดงออกให้เป็นรูปธรรมที่แผนภูมิควบคุมนี้เอง และเมื่อตรวจพบความผิดปกติของกระบวนการผลิตโดยอ่านจากแผนภูมิควบคุมนี้แล้ว จึงทำการแก้ไขที่สาเหตุของความผันแปรใดๆ ในกระบวนการผลิตนั้น เพื่อปรับสภาวะการผลิตให้กลับสู่สภาวะที่อยู่ในการควบคุม (In Controlled) ได้ต่อไปเมื่อการอ่านแผนภูมิควบคุมอยู่นอกการควบคุมจะพบได้อย่างชัดเจน คือ มีจุดในแผนภูมิปรากฏอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุม เรียกว่า จุดอยู่นอกควบคุม (Out of Control) อาจอยู่นอกค่าสูงหรือค่าต่ำก็ได้ ถ้าข้อมูลอยู่ภายใต้ความผันแปรตามธรรมชาติ ข้อมูลจะมีพฤติกรรมแบบสุ่มรอบๆ เส้นกลางและมีขนาดของความผันแปรอยู่ภายใต้พิคัดด้านบนและพิคัดด้านล่าง

2.3.10 การวิเคราะห์ผลกระทบเนื่องจากข้อบกพร่อง (Failure Mode and Effects Analysis; FMEA) [16]

FMEA เป็นเครื่องมือที่ใช้ช่วยในการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากข้อบกพร่อง โดยการวิเคราะห์จะหาลักษณะของข้อบกพร่องที่คาดว่าจะเกิดและสาเหตุหรือกลไกที่ก่อให้เกิดข้อบกพร่องเพื่อทำการกำหนดแนวทางป้องกัน ซึ่งจะใช้หลักการในการให้คะแนนโดยให้ความสำคัญใน 3 เรื่อง คือ

1. ความรุนแรง (Severity; S)

ความรุนแรงของผลจากข้อบกพร่อง หมายถึงอัตราที่บ่งชี้ถึงความรุนแรงของผลจากแนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่องของกระบวนการที่มีต่อลูกค้า โดยความรุนแรงนี้จะใช้พิจารณาจากผลของข้อบกพร่องเท่านั้น ถ้าหากลูกค้าที่ได้รับผลจากลักษณะข้อบกพร่อง คือสายงานการประกอบหรือผู้ใช้ผลิตภัณฑ์แล้ว การประเมินความรุนแรงจะออกนอกขอบเขตแห่งประสบการณ์หรือความรู้ของวิศวกรประจำกระบวนการผลิตหรือคณะทำงาน ซึ่งในสถานการณ์เช่นนี้จำเป็นต้องทำการศึกษา

จาก FMEA ของการออกแบบ วิศวกรออกแบบหรือวิศวกรประจำกระบวนการผลิตในหน่วยงานผลิต ถัดไปหรือในสายการประกอบเป็นต้น

2. โอกาสในการเกิด (Occurrence; O)

โอกาสในการเกิด หมายถึง อัตราที่แสดงถึงจำนวนความถี่หรือจำนวนข้อบกพร่องสะสมที่ได้คาดการณ์ไว้สำหรับสาเหตุต่างๆ ภายใต้ระบบควบคุมที่มีอยู่ (โดยปกติ จะมีการกำหนดค่านี้ให้กับกระบวนการนับตั้งแต่การออกแบบผลิตภัณฑ์) ในการชี้บ่งถึงโอกาสในการเกิด สามารถใช้ได้หลายวิธีด้วยกันเช่น

1) วิศวกรรมความไว้วางใจ (Reliability Engineering)

2) SPC จากดัชนี Cp และ Cpk

3) ใช้ความถี่คาดการณ์

4) ใช้จำนวนสะสมของชิ้นส่วนประกอบที่บกพร่อง (Cumulative Number of Component Failure; CNF) ในการประมาณค่าโอกาสในการเกิดนี้ จะใช้คะแนน 1 ถึง 10 โดยที่ ประเมินนี้จะประเมินจากลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นเท่านั้น มิได้ประเมินจากโอกาสในการตรวจจับข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น

3. การตรวจจับ (Detection; D)

การตรวจจับ หมายถึง การประเมินถึงโอกาสที่มีการใช้ในการควบคุมกระบวนการในการประเมินนั้นให้สมมุติว่า เมื่อมีข้อบกพร่องเกิดขึ้นแล้วให้ประเมินถึงความสามารถของการควบคุมในปัจจุบันที่จะป้องกันการส่งมอบผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องหรือตำหนิ ทั้งนี้ห้ามประเมินว่าการตรวจจับอันดับที่ต่ำ (คือมีการตรวจจับเวลาที่มีความสามารถ) เนื่องจากการเกิดข้อบกพร่องมีค่าต่ำ แต่จะต้องประเมินถึงความสามารถในการควบคุมกระบวนการเพื่อตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องที่เมื่อนานๆ เกิด 1 ครั้งก็ตาม ในการประเมินการตรวจจับการควบคุมที่ถูกต้องควรอาศัยหลักการชั่งสิ่งตัวอย่างตัวเลขแสดงลำดับก่อนหลังของความเสียหาย (Risk Priority Number; RPN) ในการจัดลำดับก่อนหลังของความเสียหาย จะได้จากผลคูณของความรุนแรง โอกาสในการเกิด และการตรวจจับตามที่ได้ประเมินไว้ กล่าวคือ

$$RPN = S \times O \times D \quad (2.20)$$

ค่า RPN จะเป็นไปตามเกณฑ์ของหลักการพาเรโต โดยมีคะแนนระหว่าง 1 ถึง 1000 โดยค่า RPN ที่มีค่าสูงๆ มีความจำเป็นต้องดำเนินการปฏิบัติการแก้ไขเพื่อลดค่า RPN ลง และไม่ว่า RPN จะมีค่าเท่าใดก็ตามเราควรที่จะเอาใจใส่เป็นกรณีพิเศษถ้าหากคะแนนของความรุนแรงมีค่าสูงมาก

2.4 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง

2.4.1 หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง [17]

การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment) หมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ วิธีการออกแบบการทดลองในเชิงสถิติเป็นสิ่งที่จำเป็น ถ้าเราต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่เรามีอยู่ และถ้ายังปัญหาที่สนใจนั้นเกี่ยวข้องกับความผิดพลาดในการทดลอง (Experimental Error) วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่จะสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญ 2 ประการสำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลองก็คือ การออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ซึ่งศาสตร์ทั้งสองนี้มีความเกี่ยวข้องกันอย่างมาก ทั้งนี้เพราะว่าวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นกับการออกแบบการทดลองที่จะนำมาใช้

หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลองคือ

1. เรพลิเคชัน (Replication) หมายถึง การทำการทดลองซ้ำ ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ ประการแรกเรพลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ประการที่สอง ถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ดังนั้นเรพลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณค่าที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณค่าผลกระทบนี้

2. แรนดอมไมเซชัน (Randomization) หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลอง และลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูล (หรือความผิดพลาด) จะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ แรนดอมไมเซชันจะทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริง การที่เราแรนดอมไมเซชันการทดลอง ทำให้เราสามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

3. บล็อกกิง (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ให้แก่การทดลอง การบล็อกปัจจัยบางส่วนอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะต้องมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่างๆ ภายในแต่ละบล็อกจะเกิดขึ้นได้จากการทำบล็อกกิง

2.4.2 แนวทางการออกแบบการทดลอง [17]

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ทำการทดลองจะต้องมีความเข้าใจในการศึกษา การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล ขั้นตอนในการดำเนินการสามารถทำได้ดังต่อไปนี้

1. การทำความเข้าใจถึงปัญหา

ในขั้นตอนนี้ผู้ทดลองจะต้องพยายามพัฒนาแนวความคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง และบ่อยครั้งที่ผู้ทดลองจะต้องหาข้อมูลอินพุต (Input) จากบุคคลหรือหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนั้น ข้อสรุปของปัญหาที่มีความชัดเจนจะมีผลอย่างมากต่อความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์และคำตอบสุดท้ายของปัญหานั้นๆ

2. การเลือกปัจจัย ระดับและขอบเขต

ผู้ทดลองจะต้องเลือกปัจจัยที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลองกำหนดขอบเขตที่ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลง และกำหนดระดับ (Level) ที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง รวมถึงจะต้องพิจารณาถึงการควบคุมปัจจัยเหล่านี้ให้อยู่ในจุดที่กำหนดไว้ ดังนั้นผู้ทดลองจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการอย่างมาก และเมื่อวัตถุประสงค์ของการทดลองเป็นการกรองปัจจัย (Screening) ผู้ทดลองควรจะกำหนดให้ระดับต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อยๆ แต่ควรจะเลือกขอบเขตให้มีความกว้างมากๆ และเมื่อผลการทดลองเบื้องต้นพบว่าตัวแปรใดมีความสำคัญและระดับใดที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด แล้วจึงจะสามารถลดขอบเขตให้แคบลงได้

3. การเลือกตัวแปรผลตอบ

ในการเลือกตัวแปรผลตอบ ผู้ทดลองควรจะแน่ใจว่า ตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ บ่อยครั้งที่ค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการจะเป็นตัวแปรผลตอบ เป็นไปได้ว่าในการทดลองหนึ่งอาจจะมีผลตอบหลายตัวและมีความจำเป็นอย่างมากที่ผู้ทดลองจะต้องกำหนดให้ได้ว่า อะไรคือตัวแปรผลตอบและจะวัดตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไรก่อนจะเริ่มดำเนินการทดลองจริง

4. การเลือกการออกแบบการทดลอง

การเลือกแผนการทดลอง ผู้ทดลองต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองเสมอ ในการทดลองทางวิศวกรรมส่วนมากอาจจะทราบตั้งแต่เริ่มต้นแล้วว่าปัจจัยบางตัวจะมีผลต่อผลตอบที่เกิดขึ้น แต่ผลลัพธ์ที่ได้นั้นเพื่อให้ทราบว่าปัจจัยใดที่ทำให้เกิดความแตกต่างและเพื่อประมาณขนาดของความแตกต่างที่เกิดขึ้นนั้น

5. การทำการทดลอง

เมื่อทำการทดลอง ผู้ทดลองจะต้องติดตามดูกระบวนการทำงานอย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามแผนการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ หากเกิดข้อผิดพลาดเกี่ยวกับการทดลองในขั้นตอนนี้ จะทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนได้

6. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

ขั้นตอนนี้เป็น การนำเอาวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อให้ผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง ถ้าการทดลองได้ถูกออกแบบไว้เป็นอย่างดี และการทดลองเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ วิธีการทางสถิติที่นำมาใช้นั้นจะเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน ข้อได้เปรียบของวิธีการทางสถิติก็คือ ทำให้ผู้ทดลองมีเครื่องมือช่วยที่มีประสิทธิภาพและทำให้ข้อสรุปที่ได้มานั้นมีเหตุผลสนับสนุนและมีความน่าเชื่อถือ

7. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้วผู้ทดลองจะต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติและแนะนำแนวทางของกิจกรรมที่จะเกิดขึ้น นอกจากนี้แล้วการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing) ควรจะทำการขึ้นเพื่อที่จะตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นอีกด้วย

2.4.3 การทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Experiment)

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ตัวอย่างเช่น กรณี 2 ปัจจัย ปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ในการทดลอง 1 เรพลีเคต (Replicate) จะประกอบด้วย การทดลองทั้งหมด ab การทดลอง และเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล เราจะกล่าวว่าปัจจัยเหล่านี้มีการไขว้ (Crossed) ซึ่งกันและกัน

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลชนิดที่ง่ายที่สุดจะเกี่ยวข้องกับปัจจัย 2 ปัจจัย คือ A และ B ปัจจัย A จะประกอบไปด้วย a ระดับ และปัจจัย B จะประกอบด้วย b ระดับ ซึ่งทั้งหมดนี้ถูกจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล นั่นคือ ในแต่ละเรพลีเคตของการทดลองจะประกอบด้วย การทดลองร่วมปัจจัยทั้งหมด ab การทดลอง และโดยปกติจะมีจำนวนเรพลีเคตทั้งหมด n ครั้ง เมื่อกำหนดให้ y_{ijk} คือ ผลตอบที่สังเกตได้เมื่อปัจจัย A อยู่ที่ระดับ i ($i = 1, 2, \dots, a$) และปัจจัย B อยู่ที่ระดับ j ($j = 1, 2, \dots, b$) สำหรับเรพลีเคตที่ k ($k = 1, 2, \dots, n$) รูปแบบทั่วไปของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.35 เนื่องจากลำดับของการสังเกตทั้ง abn ครั้งถูกเลือกมาอย่างสุ่ม ดังนั้น การออกแบบชนิดนี้เรียกว่า การออกแบบสุ่มบริบูรณ์ (Completely Randomize Design) [17]

		Factor B			
		1	2	...	b
Factor A	1	$Y_{111}, Y_{112}, \dots, Y_{11n}$	$Y_{121}, Y_{122}, \dots, Y_{12n}$		$Y_{1b1}, Y_{1b2}, \dots, Y_{1bn}$
	2	$Y_{211}, Y_{212}, \dots, Y_{21n}$	$Y_{221}, Y_{222}, \dots, Y_{22n}$		$Y_{2b1}, Y_{2b2}, \dots, Y_{2bn}$
	...				
	a	$Y_{a11}, Y_{a12}, \dots, Y_{a1n}$	$Y_{a21}, Y_{a22}, \dots, Y_{a2n}$		$Y_{ab1}, Y_{ab2}, \dots, Y_{abn}$

ภาพที่ 2.35 รูปแบบของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย

1. การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial Experiment) [18]

การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ เป็นการทดลองที่ทำขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบระหว่างปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ($k \geq 2$) โดยมีวัตถุประสงค์ คือ ต้องการศึกษาผลกระทบร่วม ผู้ทดลองจะใช้จำนวนระดับของปัจจัยที่ระดับนั้นขึ้นกับความสำคัญของปัจจัย ดังนั้นปัจจัยที่วิกฤต (Critical Factor) หรือปัจจัยที่ต้องการศึกษาอย่างละเอียดจะใช้จำนวนระดับที่มีค่ามาก เมื่อพิจารณาแผนการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ 22 ซึ่งสามารถเขียนสมการตัวแบบได้ดังนี้คือ

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (2.21)$$

เมื่อ y_{ijk} คือ ค่าตอบสนอง (Response) ของการทดลองปัจจัย A ที่ระดับที่ i และปัจจัย B ที่ระดับที่ j ทำการทดลองซ้ำครั้งที่ k ; $i = 1, 2; j = 1, 2; k = 1, 2, \dots, n$

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวม (Grand mean)

α_i คือ ค่าผลกระทบของปัจจัย A ที่ระดับที่ i

β_j คือ ค่าผลกระทบของปัจจัย B ที่ระดับที่ j

$(\alpha\beta)_{ij}$ คือ ค่าอันตรกิริยา หรือผลกระทบร่วมของปัจจัย A ที่ระดับที่ i และปัจจัย B ที่ระดับที่ j

ϵ_{ijk} คือ ค่าผิดพลาดของการทดลองปัจจัย A ที่ระดับที่ i และปัจจัย B ที่ระดับที่ j โดยทำการทดลองซ้ำครั้งที่ k

2. การทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Experiment) [18]

การใช้งานโดยส่วนใหญ่ของการออกแบบการทดลองชนิดสัดส่วนเรียกว่า การทดลองเพื่อการวิเคราะห์เบื้องต้น (Screening Experiment) กล่าวคือ เป็นการทดลองซึ่งใช้ในการพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่มีอยู่ในระบบทั้งหมดว่าปัจจัยใดให้ผลกระทบต่อผลตอบสนองของระบบที่มากที่สุด ดังนั้นการทดลองนี้จึงเป็นการทดลองในขั้นตอนแรก การทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วน คือ การทดลองที่ทำโดยลดรูปลงจากการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบในสัดส่วนของจำนวนระดับปัจจัย กล่าวคือ การทดลอง $2^{k-p} = \frac{2^k}{2^p}$ เมื่อ $p=1$ จำนวนวิธีปฏิบัติที่เป็นไปได้ทั้งหมดจะเท่ากับ ครึ่งหนึ่งของการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ $\left(\frac{1}{2}(2^k)\right)$ ของ k ปัจจัย (One-Half Fraction Factorial) $p=2$ จำนวนวิธีปฏิบัติทั้งหมดจะเท่ากับ $\frac{2^k}{2^2} = \frac{1}{4}(2^k)$ หรือ One-Forth Fraction Factorial

3. โครงสร้างซ้ำซ้อนและรายละเอียดของแผนการทดลอง (Alias Structure and Design Resolution) [18]

การทดลองแฟคทอเรียลบางส่วนโดยทั่วไป ผู้ทดลองนิยมใช้ศึกษาปัจจัยที่ 2 ระดับเพื่อการคัดเลือกปัจจัย (Screening Experiment) และศึกษาปัจจัยที่ 3 ระดับ เมื่อต้องการศึกษาความสัมพันธ์กรณีกำลังสอง (2^{nd} Order Modeling) ซึ่งในการศึกษาแบบลดรูปนี้ จำเป็นต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย ผลกระทบต่างๆ ในการทดลอง เนื่องจากจะมีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหลัก (Main Factors) และปัจจัยร่วม (Interaction Factors) ซ้ำซ้อนกันได้ การศึกษาโครงสร้างซ้ำซ้อนนั้นสามารถพิจารณาจากค่ารายละเอียดของแผนการทดลอง (Design Resolution) เป็นตัวช่วยกำหนดและช่วยในการเลือก I หรือ Generator ได้ รายละเอียดของแผนการทดลอง สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ลักษณะโครงสร้างซ้ำซ้อนและความหมายของรายละเอียดแผนการทดลอง [18]

Resolution	P-Factor	(R-p) Factor	สรุปความหมาย
III	1 (Main Effects)	2 (2-Factor Interaction)	การใช้ Design Resolution III ผลกระทบหลัก (Main Effects) จะไม่ซ้ำซ้อนกันเอง แต่จะซ้ำซ้อนกับโครงสร้างของผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย (Two Factor Interaction) และผลกระทบร่วม 2 ปัจจัยจะซ้ำซ้อนกันและกัน เช่น 2^{3-1}_{III} เมื่อ I = ABC จะพบว่าผลกระทบของ C จะซ้ำซ้อนกับผลกระทบร่วมของ AB เป็นต้น
	(2) (2-Factor Interaction)	(1)	
IV	1	3	การใช้ Design Resolution IV ผลกระทบหลักจะไม่ซ้ำซ้อนกันเอง และไม่ซ้ำซ้อนกับผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย (2-Factor Interaction) แต่ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย จะมีโครงสร้างซ้ำซ้อนกับผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ด้วยกัน เช่น 2^{4-1}_{IV} เมื่อ I = ABCD จะพบว่าผลกระทบของ A จะซ้ำซ้อนกับผลกระทบร่วมของ BCD ผลกระทบของ B จะซ้ำซ้อนกับผลกระทบร่วมของ ACD เป็นต้น
	2	2	
	(3)	(1)	
V	1	4	การใช้ Design Resolution V ผลกระทบหลักจะไม่ซ้ำซ้อนกับผลกระทบหลัก และไม่ซ้ำซ้อนกับ 2-Factor Interaction แต่ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย (2-Factor Interaction) จะซ้ำซ้อนกับผลกระทบร่วมระหว่าง 3 ปัจจัย
	2	3	
	(3)	(2)	

2.4.4 การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (Central Composite Design; CCD) [18]

การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการศึกษาหรือสร้างตัวแบบในลักษณะของโพลีโนเมียลดีกรี (Second-Order or Quadratic Model) มีความยืดหยุ่นในการใช้งานและมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแผนการทดลองอื่นที่ใช้ในการศึกษาตัวแบบโพลีโนเมียลดีกรี 2 การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง สามารถเลือกใช้ได้ทั้งส่วนที่เป็นการทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูป 2 ระดับ (2^k Full Factorial) และการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน โครงสร้างซ้ำซ้อนสำหรับ Resolution III หรือ IV ซึ่งสามารถคำนวณได้เช่นเดียวกับการทดลอง Fraction Factorial 2^{k-p} และสามารถทดลองได้เป็นส่วนๆ ตามลำดับคือ ทำการทดลองส่วนของ Factorial (Factorial Portion) และจุดศูนย์กลาง (Center Point) ก่อน จากนั้นทำการสร้างสมการตัวแบบเชิงเส้นตรงสำหรับกรณีศึกษาปัจจัยที่ 2 ระดับ และพยากรณ์ส่วนของจุดศูนย์กลาง (Center Point) ถ้า

สมการในรูปเส้นตรงไม่เหมาะสมจึงทำการทดลองเพิ่มในส่วนของจุดแกน (Axial Portion) จะได้สมการโพลิโนเมียลดีกรี 2 หรือ Quadratic Model

โดยทั่วไป CCD จะประกอบไปด้วย 2^k แฟกทอเรียลที่มี n_f รัน (n_f Run) 2^k รัน (2^k Run) ในแนวแกนหรือในแนวรูปดาว (Star) และ n_c รัน (n_c Run) ที่จุดศูนย์กลางการพัฒนา CCD ในทางปฏิบัติส่วนมากจะเกิดจากการทดลองแบบเป็นอันดับ นั่นคือ การออกแบบ 2^k ถูกนำมาใช้เพื่อ-fit แบบจำลองอันดับหนึ่ง แล้วพบว่าแบบจำลองนี้ไม่เหมาะสมกับข้อมูลนี้ ดังนั้นจึงได้มีการรันเพิ่มขึ้นในแนวแกนเพื่อทำให้สามารถใส่พจน์ควอดราติกลงในรูปแบบจำลองได้ CCD เป็นการออกแบบที่มีประสิทธิภาพมากในการ-fit แบบจำลองอันดับที่สอง มีพารามิเตอร์อยู่สองตัวในการออกแบบที่จะต้องถูกกำหนด นั่นคือระยะทาง α ของการรันในแนวแกนของจุดศูนย์กลางในการออกแบบ และจำนวนของจุดศูนย์กลาง n_c

การออกแบบเซ็นทรัลคอมโพสิต คือ การออกแบบ 2^k แฟกทอเรียล โดยมีการทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อนำมาใช้ในการประมาณสัมประสิทธิ์ของรูปแบบของสมการลำดับที่ 2 โดยมีส่วนที่เพิ่มเติม ดังนี้

$$\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & \dots & x_k \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ -\alpha & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \alpha & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -\alpha & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \alpha & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & -\alpha & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \alpha & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -\alpha \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \alpha \end{bmatrix}$$

โดยที่ α คือค่าที่ผู้ออกแบบการทดลองเป็นผู้เลือก
 ดังนั้นกรณีจำนวนปัจจัย (k) = 3 เมทริกซ์การออกแบบการทดลอง คือ

$$D = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & +1 \\ -1 & +1 & -1 \\ -1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & +1 \\ +1 & +1 & -1 \\ +1 & +1 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -\alpha & 0 & 0 \\ \alpha & 0 & 0 \\ 0 & -\alpha & 0 \\ 0 & \alpha & 0 \\ 0 & 0 & -\alpha \\ 0 & 0 & \alpha \end{bmatrix}$$

ซึ่ง 8 จุดแรก คือ การออกแบบ 2^k แฟคทอเรียล จุดที่ 9 คือ จุดศูนย์กลางของการออกแบบ (0, 0, 0) หรือ (Center Point) จุดที่ 10 ถึง 15 คือ จุดในแนวแกน (Axial Point) โดยจำนวนจุดในแนวแกนจะเท่ากับ 2^k เมื่อ k คือจำนวนปัจจัย โดยทั่วไปจะทำการทดลองที่จุดศูนย์กลางของการออกแบบมากกว่า 1 ครั้ง

$$X = \begin{bmatrix} \beta_0 & \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 & \beta_{11} & \beta_{22} & \beta_{33} & \beta_{12} & \beta_{13} & \beta_{23} \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1-c & 1-c & 1-c & +1 & +1 & +1 \\ 1 & -1 & -1 & +1 & 1-c & 1-c & 1-c & +1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & +1 & -1 & 1-c & 1-c & 1-c & -1 & +1 & -1 \\ 1 & -1 & +1 & +1 & 1-c & 1-c & 1-c & -1 & -1 & +1 \\ 1 & +1 & -1 & -1 & 1-c & 1-c & 1-c & -1 & -1 & +1 \\ 1 & +1 & -1 & +1 & 1-c & 1-c & 1-c & -1 & +1 & -1 \\ 1 & +1 & +1 & -1 & 1-c & 1-c & 1-c & +1 & -1 & -1 \\ 1 & +1 & +1 & +1 & 1-c & 1-c & 1-c & +1 & +1 & +1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -c & -c & -c & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -\alpha & 0 & 0 & \alpha^2 - c & -c & -c & 0 & 0 & 0 \\ 1 & \alpha & 0 & 0 & \alpha^2 - c & -c & -c & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -\alpha & 0 & -c & \alpha^2 - c & -c & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & \alpha & 0 & -c & \alpha^2 - c & -c & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -\alpha & -c & -c & \alpha^2 - c & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \alpha & -c & -c & \alpha^2 - c & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$X/X = \begin{bmatrix} \beta_0 & \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 & \beta_{11} & \beta_{22} & \beta_{33} & \beta_{12} & \beta_{13} & \beta_{23} \\ N & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & F + 2\alpha^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & F + 2\alpha^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & F + 2\alpha^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p & q & q & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & q & q & q & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & q & p & p & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & F & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & F & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & F \end{bmatrix}$$

โดยที่ k = จำนวนปัจจัย

F = 2^k = จำนวนแบบของการออกแบบ 2^k แฟคทอเรียล

T = $2^k + n_c$

n_c = จำนวนการทดลองที่จุดศูนย์กลางของการออกแบบ

C = $(F + 2\alpha^2) / (F + T)$

N = จำนวนการทดลองทั้งหมด = $F + T$

p = $[(FT - 4F\alpha^2 - 4\alpha^2 + 2)(F + T)\alpha^4] / (F + T)$

q = $(FT - 4F\alpha^2 - 4\alpha^4) / (F + T)$

จะเห็นว่า X/X ไม่เป็นเมตริกซ์แยงมุมซึ่งทำให้ยากในการคำนวณดังนั้นจึงเกิดการออกแบบออร์ทอกอนัลเซ็นทรัลคอมโพสิต (Orthogonal Central Composite Design) โดยการเลือกค่า α ที่เหมาะสมโดยที่

$$\alpha = (qF/4)^{1/4} \quad (2.22)$$

$$q = [(F + T)^{1/2} - F^{1/2}]^2 \quad (2.23)$$

1. CCD รูปทรงกลม

ความสามารถในการหมุนเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของรูปทรงกลม (Sphere) นั่นคือ จะเป็นการดีมากถ้าจะใช้เกณฑ์ในการออกแบบเช่นนี้เมื่อบริเวณที่เราสนใจอยู่เป็นรูปทรงกลม อย่างไรก็ตามการออกแบบที่ดีไม่จำเป็นว่าจะต้องทำให้เกิดความสามารถในการหมุนได้อย่างถูกต้องร้อยเปอร์เซ็นต์ในความเป็นจริงแล้ว สำหรับบริเวณของทรงกลมที่เรากำลังสนใจนั้น ทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับ α หาได้จากพยากรณ์ความแปรปรวนสำหรับ CCD ซึ่งกำหนดให้ $\alpha = \sqrt{k}$ การออกแบบเช่นนี้เรียกว่า

CCD รูปทรงกลม (Spherical CCD) ซึ่งจะกำหนดให้ทุกจุดที่อยู่ในการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล และการออกแบบในแนวแกนให้อยู่บนพื้นผิวของรูปทรงกลมที่มีรัศมี \sqrt{k}

2. จุดศูนย์กลางของการรันใน CCD

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

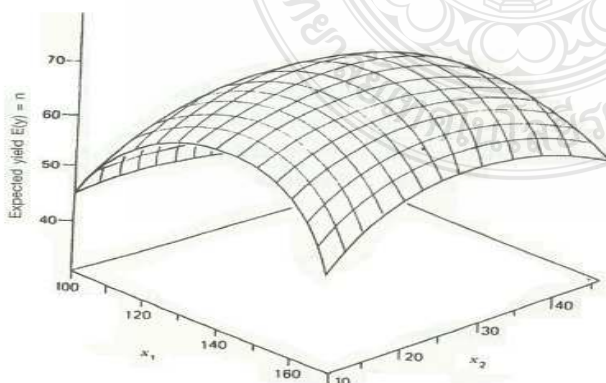
2.4.5 วิธีพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology; RSM) [17]

วิธีพื้นผิวผลตอบ (RSM) เป็นการรวมเอาเทคนิคทั้งทางคณิตศาสตร์และทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหาโดยที่ผลตอบที่เราสนใจขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร และเรามีวัตถุประสงค์ที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบนี้ ในปัญหาเกี่ยวกับพื้นผิวผลตอบส่วนมากเราจะไม่ทราบความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบและตัวแปรอิสระ ดังนั้น ขั้นตอนแรกก็คือ เราต้องหาค่าประมาณที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทนสำหรับแสดงความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่าง y และเซตของตัวแปรอิสระ ซึ่งตามปกติแล้วเราจะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังต่ำๆ ที่อยู่ภายใต้อาณาเขตบางส่วนของตัวแปรอิสระ ถ้าแบบจำลองของผลตอบมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นกับตัวแปรอิสระ ฟังก์ชันที่จะใช้ในการประมาณความสัมพันธ์ก็คือแบบจำลองกำลังหนึ่ง

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (2.24)$$

แต่ถ้ามีส่วนโค้งเข้ามาเกี่ยวข้องในระบบเราจะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังสูงขึ้น เช่นพหุนามกำลังสอง

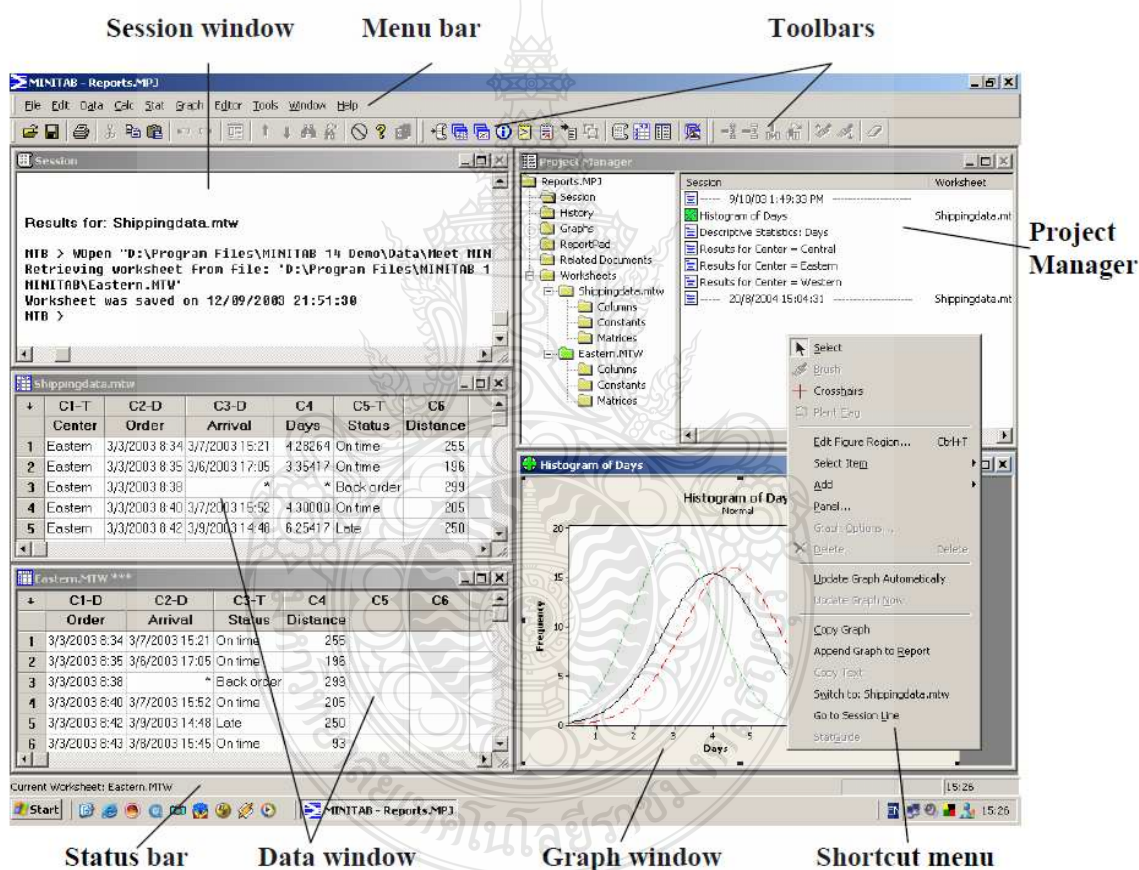
$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (2.25)$$



ภาพที่ 2.36 ตัวอย่างพื้นผิวผลตอบแบบสามมิติ [17]

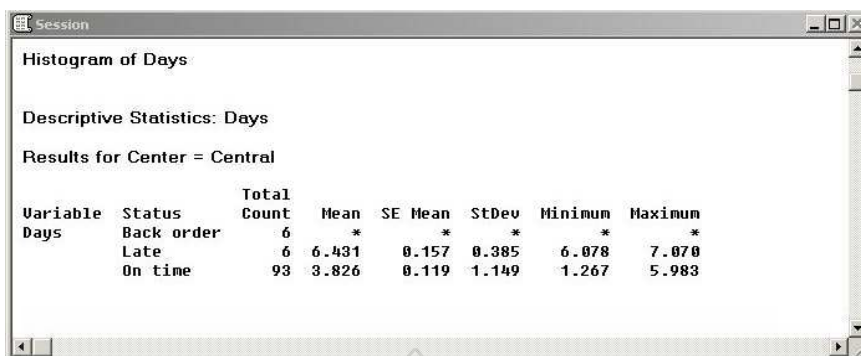
2.4.6 การวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Minitab [19]

ประวัติของโปรแกรม Minitab เริ่มต้นเมื่อปี 1970 สมาคมมาตรฐานและเทคโนโลยีแห่งชาติ (NIST) ของอเมริกา สร้างโปรแกรมนี้สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ (Mainframe) ชื่อว่า Omnitab ต่อมาเหล่าอาจารย์ของมหาวิทยาลัยเพนซิลวาเนีย สหรัฐอเมริกาได้ปรับปรุงและดัดแปลง Omnitab เพื่อใช้ในการเรียนการสอนในห้องเรียนโดยให้ชื่อว่าโปรแกรม Minitab เมื่อปี 1972 และพัฒนาเรื่อยมาจนตั้งเป็นบริษัทโดยไม่เกี่ยวข้องกับ NIST อีกต่อไป บริษัท Minitab มี ดร. บาร์บารา ไรอัล (Dr. Barbara Ryan) เป็นผู้จัดการใหญ่ และประธานกรรมการบริหาร(CEO) รูปแบบของโปรแกรมแสดงดังภาพที่ 2.37



ภาพที่ 2.37 ตัวอย่างรูปแบบและองค์ประกอบวินโดวส์ของโปรแกรม Minitab

1. Session Window เป็นส่วนที่ใช้แสดงผลลัพธ์ เช่นตารางสถิติ โดยสามารถเลือกเมนู Data และ Display Data เพื่อแสดงข้อมูลต่างๆ ที่ต้องการ ตัวอย่าง Session Window แสดงดังภาพที่ 2.38



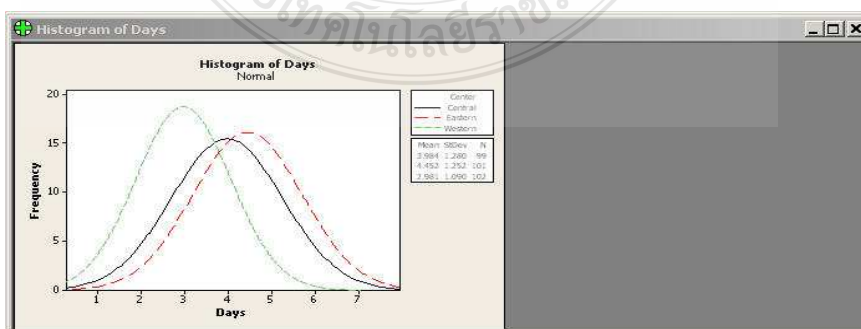
ภาพที่ 2.38 ตัวอย่างรูปแบบ Session Window ของโปรแกรม Minitab

2. Data Windows ใช้แสดงหลัก (Columns) และแถว (Rows) ของข้อมูล ซึ่งสามารถทำการแก้ไขข้อมูลได้ตามต้องการ ตัวอย่าง Data Windows แสดงดังภาพที่ 2.39

	C1-T	C2-D	C3-D	C4	C5-T	C6	C7	C8	C9
	Center	Order	Arrival	Days	Status	Distance			
1	Eastern	3/3/2003 8:34	3/7/2003 15:21	4.28264	On time	255			
2	Eastern	3/3/2003 8:35	3/6/2003 17:05	3.35417	On time	196			
3	Eastern	3/3/2003 8:38	*	*	Back order	299			
4	Eastern	3/3/2003 8:40	3/7/2003 15:52	4.30000	On time	205			
5	Eastern	3/3/2003 8:42	3/9/2003 14:48	6.25417	Late	250			
6	Eastern	3/3/2003 8:43	3/8/2003 15:45	5.29306	On time	93			
7	Eastern	3/3/2003 8:50	3/7/2003 10:02	4.05000	On time	189			
8	Eastern	3/3/2003 8:55	3/8/2003 16:30	5.31597	On time	335			

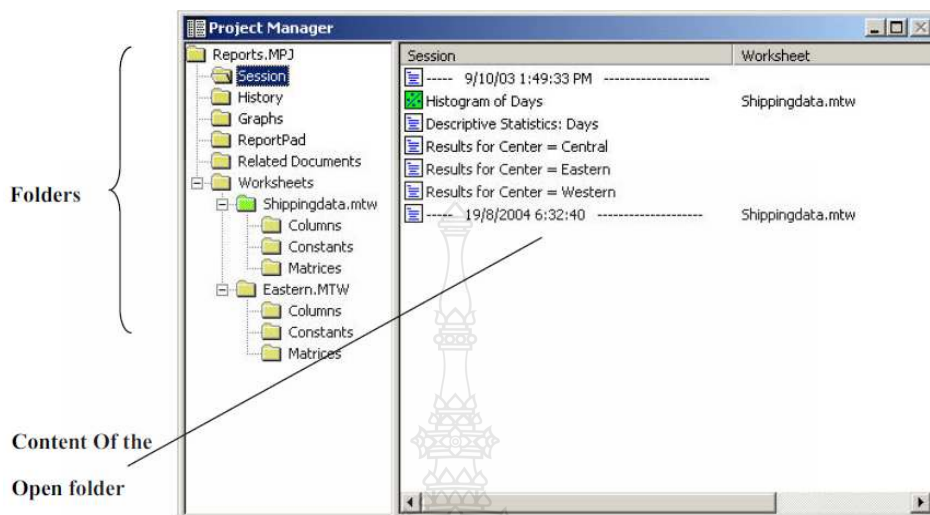
ภาพที่ 2.39 ตัวอย่างรูปแบบ Data Windows ของโปรแกรม Minitab

3. Graph Windows เป็นส่วนที่ใช้แสดงกราฟ ซึ่งสามารถเปิดได้ถึง 200 กราฟบน Minitab Windows ตัวอย่าง Graph Windows แสดงดังภาพที่ 2.40



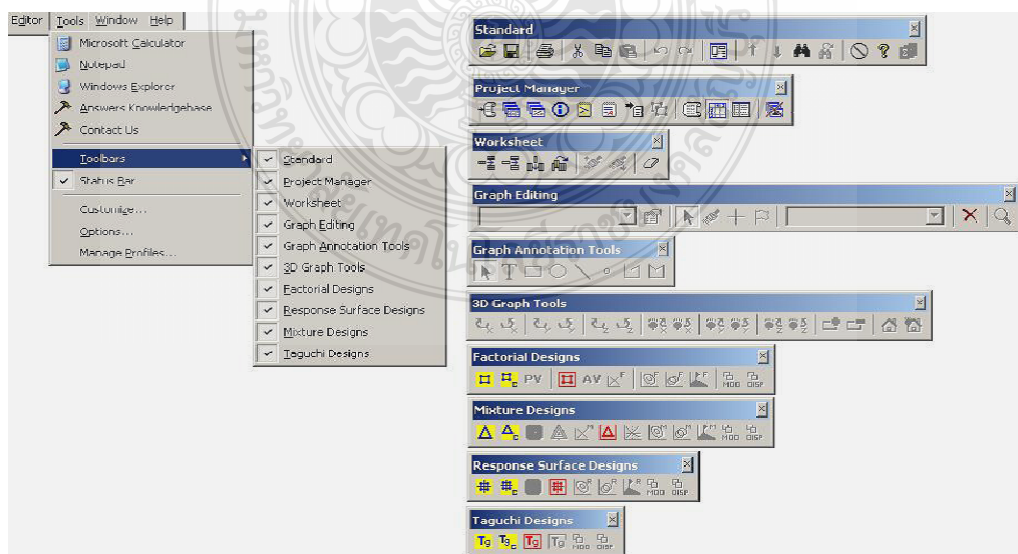
ภาพที่ 2.40 ตัวอย่างรูปแบบ Graph Windows ของโปรแกรม Minitab

4. Project Manager ใช้แสดง Folder ใน Project ผู้ใช้สามารถเลือก Folder เพื่อแสดงหน้าจอต่างๆ ได้ตามต้องการ ตัวอย่าง Project Manager แสดงดังภาพที่ 2.41



ภาพที่ 2.41 ตัวอย่างรูปแบบ Project Manager ของโปรแกรม Minitab

เครื่องมือ Toolbar ประกอบด้วย Standard Toolbar, Project Manager Toolbar, Worksheet Toolbar, Graph Editing Toolbars (Graph Editing, Graph Annotation Tools และ 3D Graph Tools) และ DOE Toolbars (Factorial, Response Surface, Mixture และ Taguchi Designs) ตัวอย่างแถบเครื่องมือ Toolbar แสดงดังภาพที่ 2.42



ภาพที่ 2.42 ตัวอย่างแถบเครื่องมือ (Toolbar) ของโปรแกรม Minitab

การเก็บข้อมูลในโปรแกรม Minitab ข้อมูลจะถูกเก็บใน Worksheet จำนวน Worksheets ของแต่ละ Project จะขึ้นอยู่กับหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์เครื่องนั้น หากมีหน่วยความจำมากก็สามารถใส่ข้อมูลได้มาก รูปแบบการเก็บข้อมูลใน Worksheet มี 3 รูปแบบ ดังนี้

รูปแบบที่ 1 คือ ข้อมูลตัวเลข (Numeric Data)

รูปแบบที่ 2 คือ ข้อมูลตัวอักษร (Text Data) เช่น ตัวอักษร ตัวเลขที่เขียนรวมกับตัวอักษร ช่องว่าง ตัวอักษรพิเศษ เช่น Test #4 หรือ North America

รูปแบบที่ 3 คือ ข้อมูลวัน/เวลา (Date/Time Data) เช่น ข้อมูลวัน (Jan-1-2004 or 3/17/04) ข้อมูลเวลา (08:25:22AM) หรือข้อมูลวัน/เวลา (3/17/04 08:25:22 AM)

ข้อมูลตัวอย่างที่โปรแกรม Minitab จัดเตรียมให้ตัวอย่างข้อมูลอยู่ใน Directory ของโปรแกรม Minitab ประกอบด้วย Data, Student1, Student8, Student9, Student12, Student14 และ Directory ย่อยของ Meet Minitab ตัวอย่างเหล่านี้มีประโยชน์สำหรับการเรียนรู้อย่างมาก ผู้ใช้สามารถเลือกใช้ได้อย่างสะดวก โดยการเลือกเมนู File และ Open Worksheet แสดงดังภาพที่ 2.43



ภาพที่ 2.43 ตัวอย่าง Open Worksheet ของโปรแกรม Minitab

1. การออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab

การออกแบบการทดลอง (DOE) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการค้นหาผลกระทบจากหลายๆ ปัจจัยที่ส่งผลพร้อมๆ กันต่อตัวแปรตอบสนอง (Response) ที่เราสนใจ แบบการทดลองจะประกอบด้วยชุดของการทดลองหรือรายการทดสอบที่มีเป้าหมายในการศึกษาการเปลี่ยนระดับปัจจัย

เพื่อบันทึกค่าตอบสนองที่แต่ละรายการทดสอบ (Run) ผู้เชี่ยวชาญด้านคุณภาพใช้การออกแบบการทดลองในการค้นหาเงื่อนไขของกระบวนการหรือส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ที่สำคัญที่มีผลต่อคุณภาพเพื่อกำหนดตั้งค่าระดับของแต่ละปัจจัยที่ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

Minitab สามารถออกแบบการทดลองได้ 4 ประเภท คือ Factorial, Response Surface, Mixture และ Taguchi โดยสามารถสร้างแบบการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง สร้างกราฟ ไม่ว่าจะใช้การทดลองแบบไหน ขั้นตอนเหล่านี้จะคล้ายๆ กัน เมื่อได้ทำการทดลองและป้อนผลการทดลองเข้าไปในโปรแกรมแล้ว Minitab ก็จะสามารถวิเคราะห์การทดลองตลอดจนสร้างกราฟในหลากหลายรูปแบบที่ช่วยให้คุณทำความเข้าใจและอธิบายผลได้ดียิ่งขึ้น โดยคำสั่ง DOE ใน Minitab ประกอบด้วย

- 1) การทดลองแบบต่างๆ ให้เลือกเพื่อช่วยให้การสร้างแบบการทดลองทำได้ง่ายและสะดวกยิ่งขึ้น
- 2) การสร้างและจัดเก็บการทดลองอย่างอัตโนมัติ หลังจากได้เลือกรูปแบบการทดลองพร้อมทั้งระบุข้อมูลที่จำเป็นแล้ว
- 3) สามารถแสดงและจัดเก็บ ค่าสถิติที่ใช้ในการบ่งชี้เพื่อช่วยในการแปลผลการทดลอง
- 4) กราฟที่ช่วยในการแปลผลและนำเสนอผลการทดลอง

2. การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab

เมื่อทำการสร้างและเก็บข้อมูลตามแบบการทดลองแล้ว โปรแกรม Minitab จะสามารถหาโมเดลและสร้างกราฟเพื่อใช้ในการประเมินอิทธิพลของปัจจัย โดยพิจารณาผลจากโมเดลและกราฟที่ได้เพื่อที่จะดูว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลบ้าง โดยสามารถใช้ผลบน Session และกราฟอิทธิพลจากปัจจัยทั้งสองกราฟในการค้นหาว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลมากต่อกระบวนการ โดยเริ่มต้นจากการดูผลบน Session ก่อน ตัวอย่างการแสดงผลบน Session แสดงดังภาพที่ 2.44

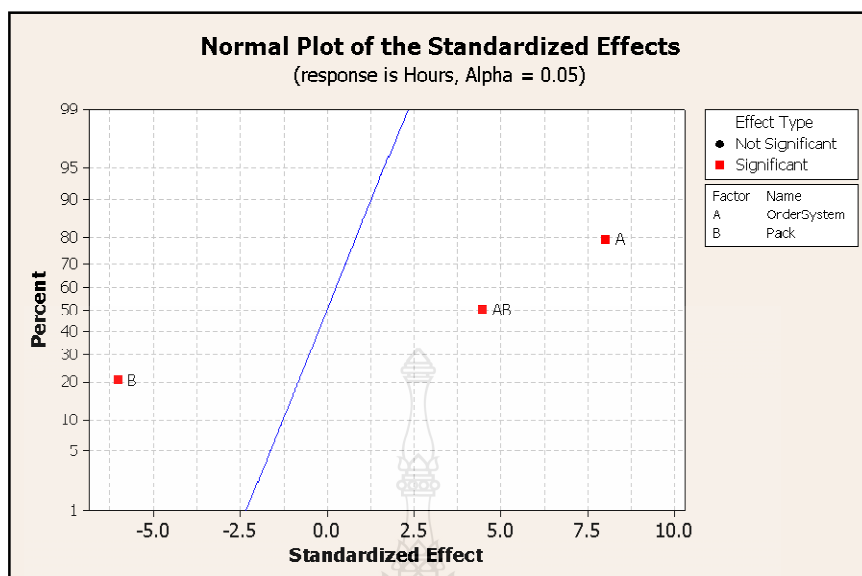
ผลบน						
Factorial Fit: Hours versus OrderSystem, Pack						
Session						
Estimated Effects and Coefficients for Hours (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		12.573	0.1929	65.20	0.000	
OrderSystem	3.097	1.548	0.1929	8.03	0.000	
Pack	-2.320	-1.160	0.1929	-6.01	0.000	
OrderSystem*Pack	1.730	0.865	0.1929	4.49	0.002	
S = 0.668069 PRESS = 8.0337						
R-Sq = 93.79% R-Sq(pred) = 86.02% R-Sq(adj) = 91.46%						
Analysis of Variance for Hours (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	44.9152	44.9152	22.4576	50.32	0.000
OrderSystem	1	28.7680	28.7680	28.7680	64.46	0.000
Pack	1	16.1472	16.1472	16.1472	36.18	0.000
2-Way Interactions	1	8.9787	8.9787	8.9787	20.12	0.002
OrderSystem*Pack	1	8.9787	8.9787	8.9787	20.12	0.002
Residual Error	8	3.5705	3.5705	0.4463		
Pure Error	8	3.5705	3.5705	0.4463		
Total	11	57.4645				
Estimated Coefficients for Hours using data in uncoded units						
Term	Coef					
Constant	12.5733					
OrderSystem	1.54833					
Pack	-1.16000					
OrderSystem*Pack	0.865000					

ภาพที่ 2.44 ตัวอย่างการแสดงผลบน Session ของโปรแกรม Minitab

โมเดลที่หาได้รวมทั้งอิทธิพลจากทั้งสองปัจจัยหลัก (Main effect) และปัจจัยร่วมระหว่างสองปัจจัย (Two-Way Interaction) จะใช้ค่า P-Value ที่ได้จากตาราง Estimated Effects และ Coefficients ในการเลือกว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลสำคัญอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากตัวอย่างข้างต้น เมื่อกำหนดให้ระดับนัยสำคัญ ($\alpha = 0.05$) พบว่า อิทธิพลจากปัจจัยหลักทั้งสองตลอดจนอิทธิพลร่วมระหว่างสองปัจจัยนั้นมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเพราะว่ามีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05

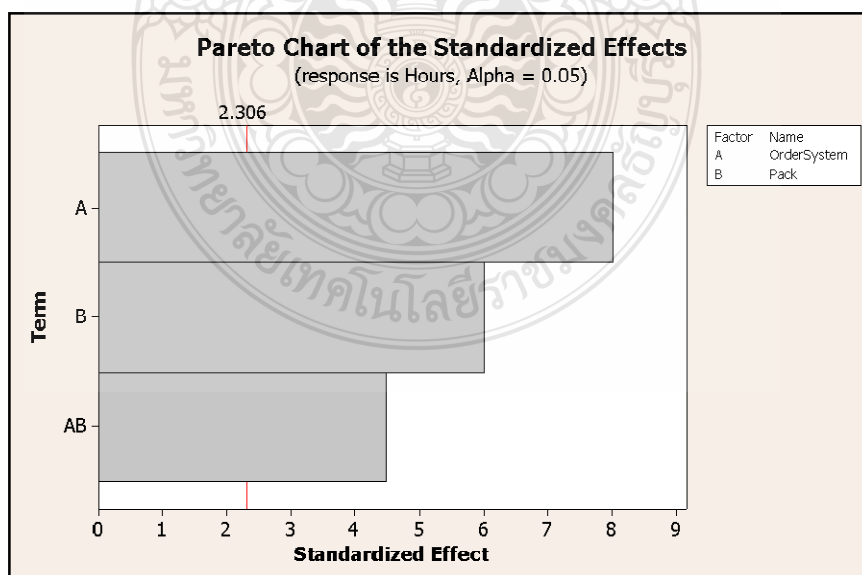
การแปลผลอิทธิพลของปัจจัยจากกราฟ โปรแกรม Minitab สามารถสร้างกราฟ Normality Probability และพาเรโต เพื่อแสดงผลของค่าอิทธิพลที่ได้ Standardized แล้วเพื่อดูว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลสำคัญต่อค่าตอบสนอง การแปลผลอิทธิพลของปัจจัยจากกราฟ สามารถพิจารณาได้ดังนี้

1) พิจารณาจากกราฟ Normality Probability ปัจจัยที่ทำการศึกษา (Term) ที่มีนัยสำคัญทางสถิติ จะถูกระบุด้วยสัญลักษณ์สีเหลี่ยม เช่นตัวอย่างภาพที่ 2.45 จะเห็นว่าปัจจัย A, B และอิทธิพลปัจจัยร่วม (A*B) มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $\alpha = 0.05$



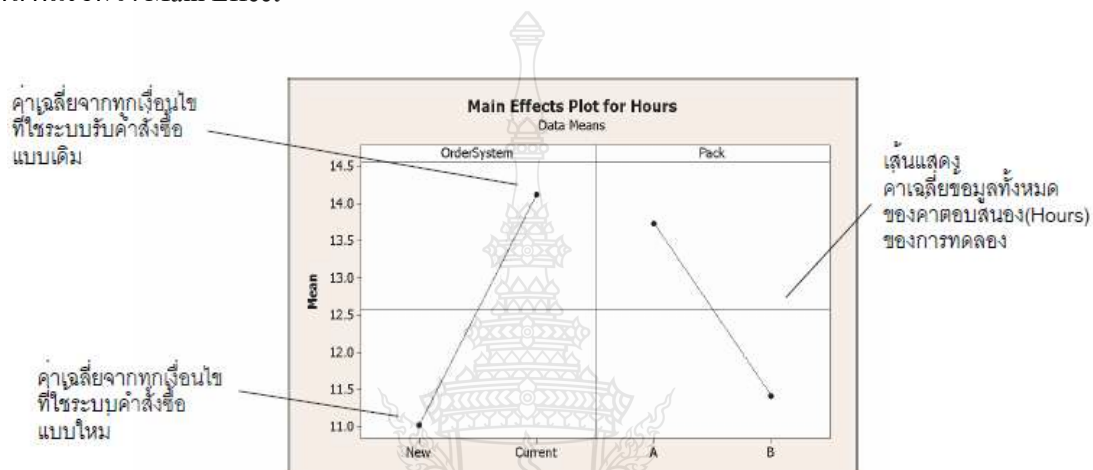
ภาพที่ 2.45 ตัวอย่างกราฟ Normality Probability ของโปรแกรม Minitab

2) พิจารณาจากพารेटโต้ ซึ่งจะแสดงค่าจริงของขนาดอิทธิพล จากปัจจัยบนกราฟพารेटโต้ขนาดปัจจัยที่ศึกษา (Term) โดยจะเทียบว่าเกินเส้นอ้างอิงหรือไม่ เช่นตัวอย่างดังภาพที่ 2.46 เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญที่ $\alpha = 0.05$ จะเห็นว่าปัจจัย A, B และอิทธิพลปัจจัยร่วม (A*B) มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 2.46 ตัวอย่างกราฟพารेटโต้ ของโปรแกรม Minitab

3) การสรุปผลโดยกราฟ Main Effect Plot และ Interaction Effect Plot โดยสามารถใช้กราฟที่ Minitab มีให้เพื่อช่วยในการแปลผลของอิทธิพลปัจจัย จากตัวอย่างต่อไปนี้เมื่อพิจารณาจากกราฟดังภาพที่ 2.47 แล้วทำให้เห็นถึงขนาดของอิทธิพลจากปัจจัยหลัก (Main Effect) และอิทธิพลจากปัจจัยร่วม (Interaction Effect) กราฟที่สร้างขึ้นโดยโปรแกรม Minitab แสดงให้เห็นว่าการใช้ระบบรับคำสั่งซื้อระบบใหม่เทียบกับระบบเดิม หรือวิธีบรรจุแบบ A เทียบกับแบบ B อิทธิพลจากปัจจัยหลักเหล่านี้เรียกว่า Main Effect



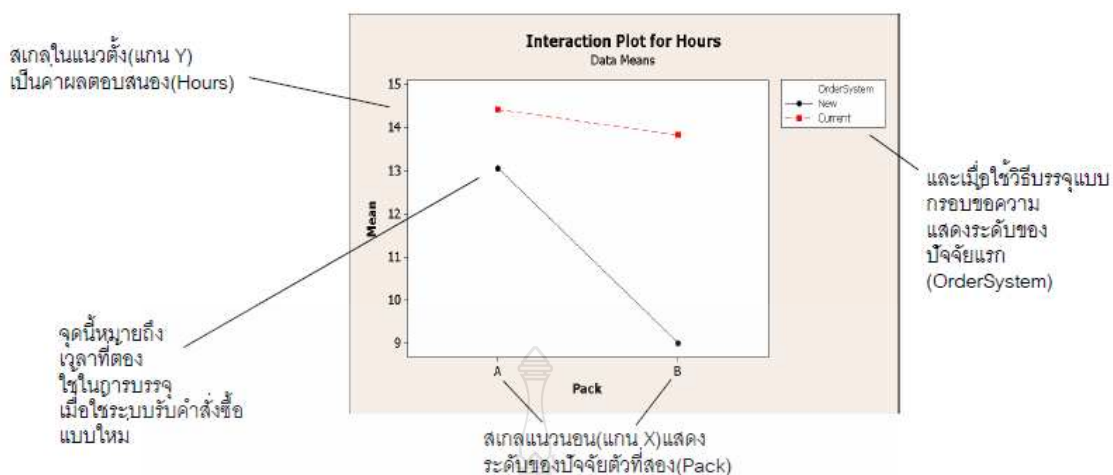
ภาพที่ 2.47 ตัวอย่างกราฟวิเคราะห์อิทธิพลปัจจัยหลัก (Main Effect Plot)

จากภาพที่ 2.47 จะเห็นว่าระบบรับคำสั่งซื้อและวิธีบรรจุมีอิทธิพลต่อเวลาในการจัดเตรียมสินค้าก่อนจัดส่งทั้งคู่ ที่เส้นเชื่อมระหว่างค่าเฉลี่ยของผลตอบสนอง (Hours) จากระบบรับคำสั่งซื้อระบบใหม่และระบบเดิมมีความชันพอๆ กันกับเส้นเชื่อมระหว่างค่าเฉลี่ยของผลตอบสนอง (Hours) จากวิธีบรรจุแบบ A และแบบ B นอกจากนี้กราฟยังแสดงให้เห็นว่าคำสั่งซื้อที่ใช้

ก. ระบบรับคำสั่งซื้อแบบใหม่ (New) ใช้เวลาน้อยกว่าการใช้ระบบเดิม (Current)

ข. วิธีบรรจุแบบ B ใช้เวลาน้อยกว่าการใช้วิธีบรรจุแบบ A

ถ้าอิทธิพลจากปัจจัยร่วม (Interaction Effect) ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกราฟอิทธิพลจากปัจจัยหลัก (Main Effect) ก็เพียงพอที่จะแสดงให้เห็นว่า ควรเลือกเปลี่ยนกระบวนการเป็นแบบใดให้เกิดผลที่ดีที่สุด แต่เนื่องจากอิทธิพลจากปัจจัยร่วม (Interaction Effect) มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงควรพิจารณารูป Interaction Effect Plot ด้วย ดังภาพที่ 2.48



ภาพที่ 2.48 ตัวอย่างกราฟวิเคราะห์อิทธิพลปัจจัยร่วม (Interaction Effect Plot)

จากกราฟแสดงผลกระทบจากการเปลี่ยนระดับของปัจจัยหนึ่งกับอีกปัจจัยหนึ่งเนื่องจากอิทธิพลจากปัจจัยร่วมอาจไปมีผลต่ออิทธิพลจากปัจจัยหลักให้มีความมากขึ้นหรือลดลงดังนั้นการพิจารณาอิทธิพลจากปัจจัยร่วม (Interaction Effect) มีความสำคัญอย่างมาก จากกราฟดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า กระบวนการเตรียมสินค้าโดยใช้ระบบรับคำสั่งแบบใหม่และวิธีบรรจุแบบ B ใช้เวลาน้อยที่สุด (ประมาณ 9 ชั่วโมง) ในขณะที่ระบบรับคำสั่งแบบเดิมและวิธีบรรจุแบบ A ใช้เวลานานที่สุด (ประมาณ 14.5 ชั่วโมง) เนื่องจากความชันของระบบรับคำสั่งแบบใหม่ชันกว่า สามารถสรุปได้ว่าวิธีบรรจุจะมีอิทธิพลมากกว่าเดิมเมื่อใช้ระบบรับคำสั่งแบบใหม่เทียบกับเมื่อใช้ระบบรับคำสั่งแบบเดิม จากผลสรุป จึงแนะนำให้ใช้ระบบรับคำสั่งแบบใหม่และวิธีบรรจุแบบ B เพื่อช่วยลดระยะเวลาในกระบวนการ เป็นต้น

2.5 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกระบวนการไฟไนต์เอลิเมนต์และการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติก

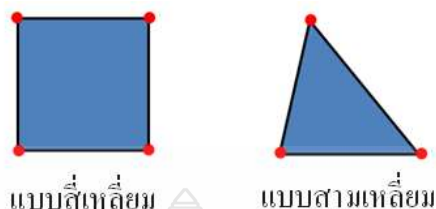
2.5.1 ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ [20]

กระบวนการวิเคราะห์ปัญหาใดๆทางไฟไนต์เอลิเมนต์จะประกอบไปด้วยขั้นตอนหลัก 5 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การแบ่งโดเมนของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ คือ การแบ่งโดเมนของสิ่งที่เราต้องการจะวิเคราะห์ออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย

ขั้นตอนที่ 2 การเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์ คือ ชนิดของเอลิเมนต์จะมีทั้งแบบสามเหลี่ยมหรือแบบสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่าก็ได้ ดังภาพที่ 2.49 จุดที่มุมต่างๆจะเรียกว่าจุด (Nodes) ซึ่งเป็นตัวที่เราไม่

รู้ค่า (Unknowns) การเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์จะสอดคล้องกับลักษณะการกระจายของตัวไม่ทราบค่าที่สมมติขึ้นบนเอลิเมนต์นั้นๆ



ภาพที่ 2.49 ชนิดของเอลิเมนต์

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ สมการเชิงอนุพันธ์ที่สอดคล้องกับปัญหาที่สนใจอยู่นั้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสมการทางพีชคณิตที่เรียกว่า สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยมันจะถูกสร้างขึ้นให้เหมาะสมสำหรับแต่ละเอลิเมนต์ เพราะว่าในแต่ละเอลิเมนต์นั้นจะมีขนาดที่ไม่เท่ากัน

ขั้นตอนที่ 4 การรวมระบบไฟไนต์เอลิเมนต์เข้าด้วยกันแล้วแก้ปัญหาสมการใหญ่ เป็นการรวมสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ถูกคิดขึ้นในขั้นตอนที่แล้วด้วยวิธีที่ถูกต้องตามหลักการ ซึ่งจะก่อให้เกิดระบบสมการขนาดใหญ่ จากนั้นจะทำการประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตก่อนแก้สมการเพื่อทำการหาผลลัพธ์ที่จุดต่อ ซึ่งผลลัพธ์นี้จะเป็นค่าที่เราต้องการเช่น ในการวิเคราะห์การเสถียรของวัสดุจากความเค้นผลลัพธ์ก็คือค่าการเคลื่อนตัวนั่นเอง

ขั้นตอนที่ 5 การคำนวณหาค่าอื่นๆ ที่เหลือ เป็นการนำค่าผลลัพธ์ที่ได้มาคำนวณต่อหาค่าที่ต้องการซึ่งเป็นค่าที่ทำให้การวิเคราะห์สมบูรณ์ เช่น เมื่อทราบค่าการเคลื่อนตัวแล้วก็สามารถหาค่าความเค้นได้ เป็นต้น

2.5.2 กระบวนการแก้ปัญหาด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ [21]

1. กระบวนการขั้นต้น (Pre-Processing) คือกระบวนการสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์จากรูปแบบที่แท้จริงของปัญหา จากนั้นนำไปประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตและนำไปวิเคราะห์แก้ปัญหา นั้น โดยเริ่มตั้งแต่การสร้างจุด เส้นตัด เส้น โค้งต่างๆ รวมทั้งพื้นผิว ซึ่งจะเก็บข้อมูลเหล่านี้ในรูปของสมการทางเรขาคณิต โดยรูปแบบของไฟไนต์เอลิเมนต์ต้องเหมือนกับรูปร่างต้นแบบของจริงมากที่สุด และหลังจากทำการสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เสร็จสิ้นแล้ว ต้องมีการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตอันประกอบไปด้วยการกำหนดค่าบางจุดต่อของไฟไนต์เอลิเมนต์นั้น ซึ่งเงื่อนไขขอบเขตนี้ต้องเหมือนหรือใกล้เคียงกับของจริงให้มากที่สุดเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำ

2. กระบวนการวิเคราะห์ (Solution) คือ การนำข้อมูลต่างๆ ที่สร้างไว้ในขั้นตอนแรก มาส่งเข้าสู่ส่วนที่ทำหน้าที่กระบวนการวิเคราะห์ในไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ โดยตัวซอฟต์แวร์จะสร้าง

สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สอดคล้องกับปัญหานั้นๆ ในทุกๆเอลิเมนต์ ก่อนที่จะนำมารวมกันให้เป็นระบบสมการขนาดใหญ่ แล้วจึงประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตที่กำหนด เสร็จแล้วจึงทำการแก้ระบบสมการต่อไป

3. กระบวนการขั้นท้าย (Post-Processing) การใช้ระบบคอมพิวเตอร์กราฟิกส์ทำการแปลงข้อมูลจากขั้นตอนที่แล้ว อันประกอบไปด้วยตัวเลขจำนวนมาก ให้อยู่ในรูปแบบที่อ่านค่าได้ง่าย ที่แสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เช่น แสดงโดยแถบชั้นสี เส้นชั้นสีหรือเวกเตอร์ โดยอาจแสดงในรูปทรงดั้งเดิมหรือรูปทรงที่เสียค่าไปแล้ว

2.6 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Li, C.S. และ Shen, Y.K., (1995) [22] ได้ศึกษาและออกแบบระบบ Runner แบบสมดุลที่เหมาะสมของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกโดยใช้ Finite Element ซึ่งในระบบ Runner ที่ไม่สมดุลกัน โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Runner ทั้ง 3 Cavity เท่ากัน ผลการทำลองพบว่า ชิ้นงานเต็มไม่เท่ากัน โดยใช้เวลาในการฉีด แรงดัน และอุณหภูมิเท่ากัน เมื่อได้ทำการทดลองทำ Runner แบบสมดุลเส้นผ่านศูนย์กลางของ Runner ที่แตกต่างกัน 3 Cavity คือ 0.25, 0.38, 0.82 มิลลิเมตร พบว่าชิ้นงานเต็มใกล้เคียงกัน โดยใช้เวลาในการฉีด แรงดัน และอุณหภูมิเท่ากัน

Seow, L.W. และ Lam, Y.C. (1996) [23] ได้ศึกษาการใช้ซอฟต์แวร์ CAE ทำการปรับค่าความหนาในแต่ละตำแหน่งของชิ้นงานที่ขึ้นรูปโดยกระบวนการฉีดที่ทำให้การไหลของพลาสติกเข้าเต็มในแม่พิมพ์ที่มีความสมดุลมากที่สุด ผลคือชิ้นงานที่ปรับความหนาโดยใช้โปรแกรม Moldflow เมื่อทำการจำลองการฉีดจะมีการไหลเข้าสมดุลกว่าชิ้นงานที่ไม่ได้ปรับความหนา

Reifschneider, L. (2000) [24] ได้กล่าวถึงประโยชน์ในการนำโปรแกรมการออกแบบเพื่อจำลองรูปแบบชิ้นงานฉีดพลาสติกในลักษณะต่างๆว่า ช่วยให้สามารถเห็นถึงปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นก่อนทำการผลิตจริง และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงแก้ไขชิ้นงาน และจากการศึกษาจำลองรูปแบบงานฉีดพลาสติกในรูปแบบปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นจากการฉีดพลาสติกพบว่า การเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานเกิดจากปัจจัยความดันในการฉีดพลาสติกและความเร็วในการฉีดพลาสติก และได้มีการเสนอแนะควรให้ความสำคัญในการออกแบบแม่พิมพ์ รวมไปถึงกระบวนการในการฉีดพลาสติก และวัตถุดิบในการผลิตด้วย

Sadeghi, B.H.M. (2000) [25] ได้สร้างแบบจำลองโดยอาศัยซอฟต์แวร์ทางวิศวกรรมช่วยในการวิเคราะห์(Computer Aided Engineering) เพื่อทำนายรูปแบบชิ้นงานฝาปิดเครื่องคำนวณคิดเลข Casio รุ่น Fx-570S โดยหาค่าเหมาะสมของปัจจัยในกระบวนการฉีดพลาสติกที่จะลดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานทำการศึกษาผลกระทบจาก 3 ปัจจัยคือ อุณหภูมิของแม่พิมพ์ อุณหภูมิในการหลอม

พลาสติก และความดันในการฉีดพลาสติก จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่ 40 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกที่ 260 องศาเซลเซียส และความดันในการฉีดพลาสติกที่ 21.70 เมกะปาสกาล (MPa) มี ความเหมาะสมต่อ กระบวนการฉีดขึ้นงานพลาสติกนี้เนื่องจากพบ ปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานน้อยที่สุด

พรนภา สอนบุญ (2543) [26] ได้ทำการศึกษาปรับตั้งพารามิเตอร์ที่สำคัญของเครื่องฉีดพลาสติก ซึ่งพบว่าตัวแปรที่สำคัญในการใช้ตัดสินคุณภาพชิ้นงานที่มีอิทธิพลต่อค่าพารามิเตอร์ในการปรับเครื่องฉีดพลาสติก คือ ชนิดของพลาสติก ความหนาของชิ้นงาน และระยะทางการไหลที่ยาวที่สุดในชิ้นงาน จากนั้นนำเอาอัลกอริทึมที่ได้มาพัฒนาเป็น โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อสะดวกในการคำนวณ เป็นการช่วยลดเวลาในการทดลองแบบลองผิดลองถูก

อภิชาติ ศรีณนิตย์ (2548) [27] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการลดปริมาณของของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตในงานฉีดพลาสติกแบบ Injection Molding โดยใช้หลักการทางสถิติมาช่วยวิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และใช้หลักการทางทฤษฎีด้านพอลิเมอร์เข้ามาอธิบายถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อทำการปรับปรุง สภาพปัญหา ก่อนดำเนินการแก้ไขมีของเสียประเภทขนาดไม่ได้มาตรฐาน โดยเริ่มจากการวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยแผนภาพสาเหตุและผลของงานที่มีปริมาณของเสียมากที่สุดแล้วจึงทำการคัดเลือกปัจจัยโดยใช้การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ (FMEA) เพื่อนำปัจจัยที่มีลำดับความสำคัญมาก 3 อันดับแรกมาทำการพิจารณา พบว่า ปัจจัยที่มีลำดับความสำคัญมากอยู่ในส่วนของวิธีการ ได้แก่ Holding Pressure, Mold Temperature และ Cycle Time จึงนำปัจจัยที่ได้มาทำการออกแบบการทดลองโดยใช้การออกแบบ 2^k Factorial Design พบว่า ปัจจัยทั้งสามมีผลกระทบต่อขนาดของชิ้นงานทั้งแบบ Main Effect และ Interaction จากนั้นจึงดำเนินการปรับปรุงแก้ไขปัญหาโดยการปรับค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวแล้วดำเนินการผลิต พบว่า สามารถลดปริมาณของเสียได้

ชยันต์ เลาสุทแสน (2548) [28] ได้ศึกษาปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน ในเบื้องต้นพบว่า ปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อปัญหา คือ ความดันในการฉีดพลาสติก ความดันด้านการถอยหลังของสกรู ความเร็ว ในการฉีดพลาสติก ความเร็วของสกรูความเร็วในการหลอมพลาสติก ระยะเวลาในการฉีดพลาสติก ระยะเพื่อ อุณหภูมิของหัวฉีด อุณหภูมิภายในกระบอบกสูบส่วนหน้า อุณหภูมิภายในกระบอบกสูบส่วนกลาง และอุณหภูมิภายในกระบอบกสูบส่วนหลัง จึงได้ทำการทดลองเพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการฉีดไม่เต็มชิ้นงานด้วยการวิเคราะห์จากแผนการทดลองการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล พบว่า ความดันในการฉีดพลาสติก ความเร็วในการฉีดพลาสติก ความเร็วของสกรู ความเร็วในการหลอมพลาสติก และอุณหภูมิภายในกระบอบกสูบส่วนกลาง มีผลอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ

สิทธิศักดิ์ ฐรกิจ (2549) [29] ได้ศึกษาการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกของเต้าเสียบปลั๊กไฟที่ทำจากวัสดุ ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) โดยนำเอาเทคโนโลยี CAD/CAE เข้ามาช่วยในการทำงาน ในการออกแบบใช้โปรแกรม CAD จากนั้นนำแบบโมเดลที่ได้ ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CAE เพื่อจำลองการฉีด และวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ความดันฉีด อัตราฉีด อุณหภูมิพลาสติก ความเค้นภายในชิ้นงานขณะฉีด อัตราเย็นที่เพิ่มขึ้นภายในเนื้อพลาสติก และการบิดงอของชิ้นงาน เป็นต้น เมื่อได้ปรับแต่งจนได้ค่าที่เหมาะสมแล้ว แล้วนำข้อมูลวิเคราะห์ที่ได้ปรับชิ้นงานใหม่และนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ ใช้ระบบ Selective Laser Sintering (SLS) ทำการตรวจสอบความถูกต้องของขนาดชิ้นงาน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน

อนุชิต กิจปรกรณ์สันติ (2549) [30] ได้ศึกษาการลดต้นทุนคุณภาพโดยรวมในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม ในการศึกษาเบื้องต้น พบว่า ต้นทุนคุณภาพโดยรวมสูงเกิดจากต้นทุนความล้มเหลวภายในสูง เนื่องจากสูญเสียเวลาการผลิต (Downtime) สูง จากการศึกษาในเชิงลึกพบว่า ความสูญเสียเกิดมากที่สุดมาจากการฉีดขึ้นรูปพลาสติก ชิ้นงาน BOBBIN 0230 คือ เกิดครีบบริเวณผิวแบ่งแม่พิมพ์ (Parting Line) โดยมีเหตุจาก แม่พิมพ์ปิดไม่สนิทขณะฉีดพลาสติก โดยได้ศึกษาองค์ประกอบของต้นทุนคุณภาพ และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดอาการแม่พิมพ์ปิดไม่สนิท ข้อมูลการผลิตและสภาพการผลิตจริงเพื่อรวบรวมปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และทำการคัดเลือกปัจจัยโดยใช้การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ (FMEA) แล้วนำปัจจัยที่ได้มาทำการออกแบบการทดลอง พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพล คือ แรงดันปิดแม่พิมพ์ (Clamp) แรงดันฉีด และระยะ Clamp จึงนำค่าพารามิเตอร์ใหม่ที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้ในสายการผลิตจริง มีผลทำให้ความสูงครีบบริเวณผิวแบ่งแม่พิมพ์ลดลง ส่งผลให้ต้นทุนความล้มเหลวภายในและต้นทุนคุณภาพโดยรวมลดลง

พิชญ์กร ชวนาทนุสรณ์ 2552 [31] ได้ศึกษาปัญหาการโค้งงอและรอบเวลาการฉีดขึ้นรูป โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิพลาสติกเหลว ความเร็วฉีด ความดันอัดฉีด เวลาในการอัดฉีด และเวลาในการเย็นตัว วิธีการหาค่าที่เหมาะสมโดยใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอันประกอบด้วย เทคนิคการวางแผนการทดลอง แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม วิธีเจเนติกอัลกอริทึม และซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์กระบวนการฉีด Moldflow เข้ามาช่วยจำลองการฉีดขึ้นรูปพลาสติกเพื่อช่วยในการลดเวลาและต้นทุนจากการลองผิดลองถูก การวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วน 2^{k-p} เพื่อหาปัจจัยการผลิตที่ส่งผลต่อการโค้งงอและรอบเวลาในการฉีดขึ้นรูปของชิ้นงาน แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมใช้เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการผลิตกับสองปัจจัยเป้าหมาย ส่วนเจเนติกอัลกอริทึมใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยการผลิตที่ทำให้ชิ้นงานที่ได้มีค่าการโค้ง

งน้อยที่สุด จากผลการทดลอง พบว่า ค่าการ โค้งงอของชิ้นงานมีค่าลดลงโดยไม่เพิ่มระยะเวลาในการ นิดชิ้นงาน

อัญญาช หนูเกื้อ (2550) [32] ได้ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยตัวแปรที่มีผลกระทบต่อขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลางภายในของชิ้นส่วน Hub-C2 ในกระบวนการนิตขึ้นรูปพลาสติกแบบหลายคาวิตี จำนวน 16 คาวิตีโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบทาคุชิ (Taguchi) และค่าหาสภาวะที่เหมาะสมของการ ผลิตโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์และเบ็นเค็น (Box-Behnken) และใช้ทฤษฎีพื้นผิว ตอบสนอง (Response Surface Methodology) ในการหาค่าที่ดีที่สุด โดยการพิจารณาผลการทดลอง ประเมินจากดัชนีความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Index) พบว่า ปัจจัยเวลาในการ หล่อเย็น แรงดันอัดย้า และเวลาในการการอัดย้า ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของ Hub-C2 เกือบทุกคาวิตี ในขณะที่ปัจจัยอุณหภูมิของกระบอกนิตส่งผลเฉพาะบางคาวิตีเท่านั้น จากการนำ สภาวะการทดลองที่เหมาะสมไปใช้ พบว่า ความสามารถของกระบวนการผลิตโดยเฉลี่ยทั้ง 16 คาวิตี เพิ่มขึ้น

นพรัตน์ พรหมจักร (2553) [33] ได้ศึกษาเกี่ยวกับ การแก้ปัญหารอยยุบในชิ้นส่วนถาด ลำเลียงชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต โดยใช้หลักการวิเคราะห์ แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม CAD Mould พบว่า สาเหตุของการยุบในชิ้นงานเกิด จากพลาสติกแข็งตัวบริเวณทางเข้า ก่อนที่พลาสติกเหลวจะไหลเข้าเต็ม โพรงแบบ ทำให้ไม่สามารถใช้ ความดันย้าเติมเนื้อพลาสติกให้เต็มได้ จึงได้ทำการปรับปรุงขนาดของทางเข้าจากการคำนวณหาขนาด ของทางวิ่งที่เหมาะสมและทำการออกแบบระบบทางเข้าใหม่จาก 2 ทางเป็น 4 ทาง พบว่า ชิ้นงานที่ได้ จากการประมวลผลไม่มีรอยยุบเกิดขึ้น จึงทำการปรับปรุงแม่พิมพ์ แล้วทดลองนิตชิ้นงานจริง พบว่า ให้ผลเหมือนกับที่ได้จากการจำลอง

พีระพงษ์ บัวโทน (2555) [34] ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการหดตัวและหาจุดเหมาะสมของ สภาวะปัจจัยที่ทำให้ชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D955 เกิดการหดตัวน้อยที่สุด ด้วยวิธีการออกแบบ การทดลอง แบบแฟคทอเรียลเต็มรูปสองระดับ การทดลองแบบส่วนผสมกลาง ร่วมกับหลักการ พื้นผิวผลตอบสนอง และยังได้นำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม คือ Moldex3D มาใช้ จำลองกระบวนการนิต ซึ่งปัจจัยที่ใช้ศึกษา คือ อุณหภูมิพลาสติก ความเร็วนิต ความดันนิต ความดัน นิตย้า เวลาในการนิตย้า และเวลาในการเย็นตัว พบว่า ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าการหดตัวของชิ้นงาน อย่างมีนัยสำคัญ คือ อุณหภูมิพลาสติก ความเร็วนิต ความดันนิต ความดันนิตย้า และเวลาในการนิตย้า

ตารางที่ 2.8 ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัย	ปัญหาที่ทำการศึกษา	เครื่องมือ / วิธีวิเคราะห์ผล	ปัจจัยที่ทำการศึกษา
C.S. Li และ Shen Y.K. (1995)	ปัญหาชิ้นงานในกระบวนการฉีดพลาสติกแบบหลาย Cavity เต็มแม่พิมพ์ไม่พร้อมกัน	หลักการวิเคราะห์แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์	1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Runner 2. เวลาในการฉีด 3. แรงดันในการฉีด 4. อุณหภูมิ
Seow และ Lam (1996)	ปัญหาการไหลของพลาสติกเข้าเติมในแม่พิมพ์ไม่สมดุล	หลักการวิเคราะห์แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรมจำลองกระบวนการฉีด Mold Flow	ค่าความหนาในแต่ละตำแหน่งของชิ้นงาน
อภิชาติ ศรีษะณินิตย์ (2548)	ปริมาณของของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตในงานฉีดพลาสติกแบบ Injection Molding	การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียล (2^k Factorial Design)	1. แรงดันอัดยี้ 2. อุณหภูมิของแม่พิมพ์ 3. Cycle Time
ชยันต์ เลาสุทแสน (2548)	การฉีดไม่เต็มชิ้นงานในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก	1. การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล (2^{kP} Fraction Factorial Design) 2. การออกแบบการทดลองแบบเซ็นทรัลคอมโพสิต (Central Composite Design)	1. ความดันในการฉีด 2. ความเร็วในการฉีด 3. ความเร็วของสกรู 4. ความเร็วในการหลอมพลาสติก 5. อุณหภูมิภายในกระบอบกึ่งกลาง
พิชญ์กร ขวาทานุสรณ์	ปัญหาการโค้งงอและรอบเวลาการฉีดขึ้นรูป	1. การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วน 2^{kP} 2. แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม 3. วิธีเจเนติกอัลกอริทึม 4. ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์การจำลองกระบวนการฉีดพลาสติก Moldflow	1. อุณหภูมิพลาสติกเหลว 2. ความเร็วฉีด 3. ความดันอัดยี้ 4. เวลาในการอัดยี้ 5. เวลาในการเย็นตัว
สิทธิศักดิ์ ชูรกิจ (2549)	ปัญหาชิ้นงานฉีดพลาสติกมีขนาดไม่ได้มาตรฐานและการบิดงอของชิ้นงาน	หลักการวิเคราะห์แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรมจำลองกระบวนการฉีด Moldex3D	1. ความดันฉีดยี้ 2. เวลาฉีดยี้ 3. อุณหภูมิปลดชิ้นงาน 4. ความเค้นภายในชิ้นงานขณะฉีด 5. อัตราเฉือนที่เกิดขึ้นภายในเนื้อพลาสติก

ตารางที่ 2.8 ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ผู้วิจัย	ปัญหาที่ทำการศึกษา	เครื่องมือ / วิธีวิเคราะห์ผล	ปัจจัยที่ทำการศึกษา
อนุชิต กิจปรกรณ์สันติ (2549)	ต้นทุนคุณภาพโดยรวม ในกระบวนการฉีดขึ้นรูป พลาสติก โดยการลดการ เกิดริบที่บริเวณผิวแบ่ง แม่พิมพ์	1. การออกแบบการทดลอง แฟคทอเรียล (2^k Factorial Design)	1. แรงดันปิดแม่พิมพ์ 2. แรงดันฉีด 3. ระยะ Clamp
พีระพงษ์ บัวโตน (2555)	การหดตัวของชิ้นงาน ฉีดพลาสติก	1. วิธีการออกแบบการทดลอง แฟคทอเรียลเต็มรูปสองระดับ 2. หลักการพื้นผิวผลตอบสนอง 3. หลักการวิเคราะห์แบบจำลองทาง ไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยใช้ โปรแกรมจำลองกระบวนการฉีด Moldex3D	1. อุณหภูมิพลาสติก 2. ความเร็วฉีด 3. ความดันฉีด 4. ความดันฉีดช้า 5. เวลาในการฉีดช้า



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการต่างๆ ที่ผู้วิจัยเลือกใช้เป็นแผนการดำเนินการวิจัย ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินการวิจัยได้เป็น 8 ขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาและการวิเคราะห์ปัญหา

ขั้นตอนที่ 2 การออกแบบแผนการทดลองเบื้องต้น

1. การคัดเลือกแผนการทดลอง
2. การคัดเลือกปัจจัยและระดับของปัจจัย
3. การกำหนดค่าผลตอบสนองในการทดลอง (ค่า Y)
4. การสร้างแผนการทดลองเบื้องต้น

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างแบบจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกโดยโปรแกรม Moldex3D

ขั้นตอนที่ 4 การทดลองเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกปัจจัย

1. การจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกโดย Moldex3D ตามแผนการทดลองเบื้องต้น
2. การวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้น โดย Minitab

ขั้นตอนที่ 5 การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัย

1. การออกแบบการทดลองส่วนผสมกลาง (CCD)
2. การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (RSM) และการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 6 การยืนยันผลและการเปรียบเทียบผลการทดลอง

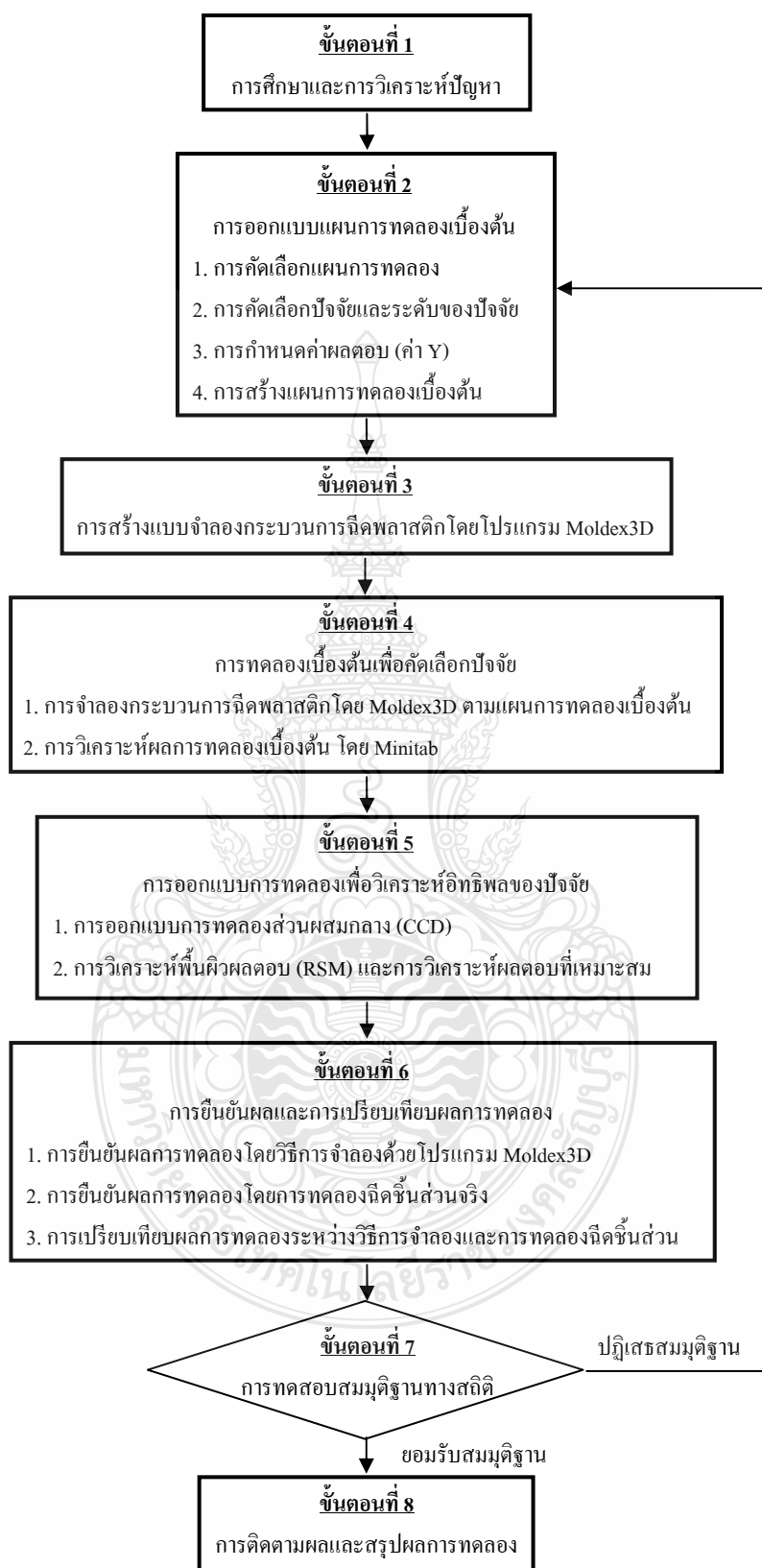
1. การยืนยันผลการทดลองโดยวิธีการจำลองด้วยโปรแกรม Moldex3D
2. การยืนยันผลการทดลองโดยการทดลองฉีดขึ้นส่วนจริง
3. การเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างวิธีการจำลองและการทดลองฉีดขึ้นส่วน

ขั้นตอนที่ 7 การทดสอบสมมุติฐานทางสถิติ

ขั้นตอนที่ 8 การติดตามผลและสรุปผลการทดลอง

จากขั้นตอนการดำเนินการวิจัยข้างต้น ผู้วิจัยสามารถลำดับขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยได้

ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนในการดำเนินงานการวิจัย

3.1 การศึกษาและการวิเคราะห์ปัญหา

3.1.1 ประวัติและรายละเอียดของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษา ก่อตั้งขึ้นเพื่อดำเนินธุรกิจผลิตและจำหน่ายสินค้าประเภทไฟส่องสว่างสำหรับยานยนต์ (Automotive Lights) และอุปกรณ์ตกแต่งระดับยนต์ (Accessories) ชิ้นส่วนอะไหล่ทดแทน (Replacement Parts) ดวงไฟ แอลอีดี (LED Lamps) ดวงไฟสัญญาณ (Signal Lamps) เป็นต้น โดยมีลูกค้าทั้งกลุ่มตลาดภายในประเทศ กลุ่มตลาดส่งออกต่างประเทศ และกลุ่มตลาดชิ้นส่วน OEM

ปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษามีบริษัทในเครือทั้งหมด 3 บริษัทได้แก่

1. โรงงานผลิต 1 ตั้งอยู่ที่ตำบลคูบัวหลวง อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี ดำเนินธุรกิจผลิตชิ้นส่วนและสินค้าเกี่ยวกับอุปกรณ์ยานยนต์ ประเภทไฟส่องสว่างสำหรับยานยนต์ (Automotive Lights) อะไหล่ทดแทน (Replacement Parts) ดวงไฟ แอลอีดี (LED Lamps) ดวงไฟสัญญาณ (Signal Lamps) เป็นต้น

2. โรงงานผลิต 2 ตั้งอยู่ที่ตำบลขุนศรี อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี ดำเนินธุรกิจผลิตชิ้นส่วนและสินค้าเกี่ยวกับอุปกรณ์ยานยนต์ ประเภทชิ้นส่วนอุปกรณ์ตกแต่งระดับยนต์ เป็นต้น

3. สำนักงานฝ่ายขายและการตลาด ตั้งอยู่ที่ตำบลท่าทราย อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี ดำเนินธุรกิจจำหน่ายสินค้าประเภทไฟส่องสว่างสำหรับยานยนต์ (Automotive Lights) อุปกรณ์ตกแต่งระดับยนต์ (Accessoris) และชิ้นส่วนอะไหล่ทดแทน (Replacement Parts) ดวงไฟ แอลอีดี (LED Lamps) ดวงไฟสัญญาณ (Signal Lamps) ทั้งตลาดภายในประเทศและต่างประเทศ



ภาพที่ 3.2 ตัวอย่างสินค้ากลุ่มชิ้นส่วนอะไหล่ทดแทน (Replacement Parts)



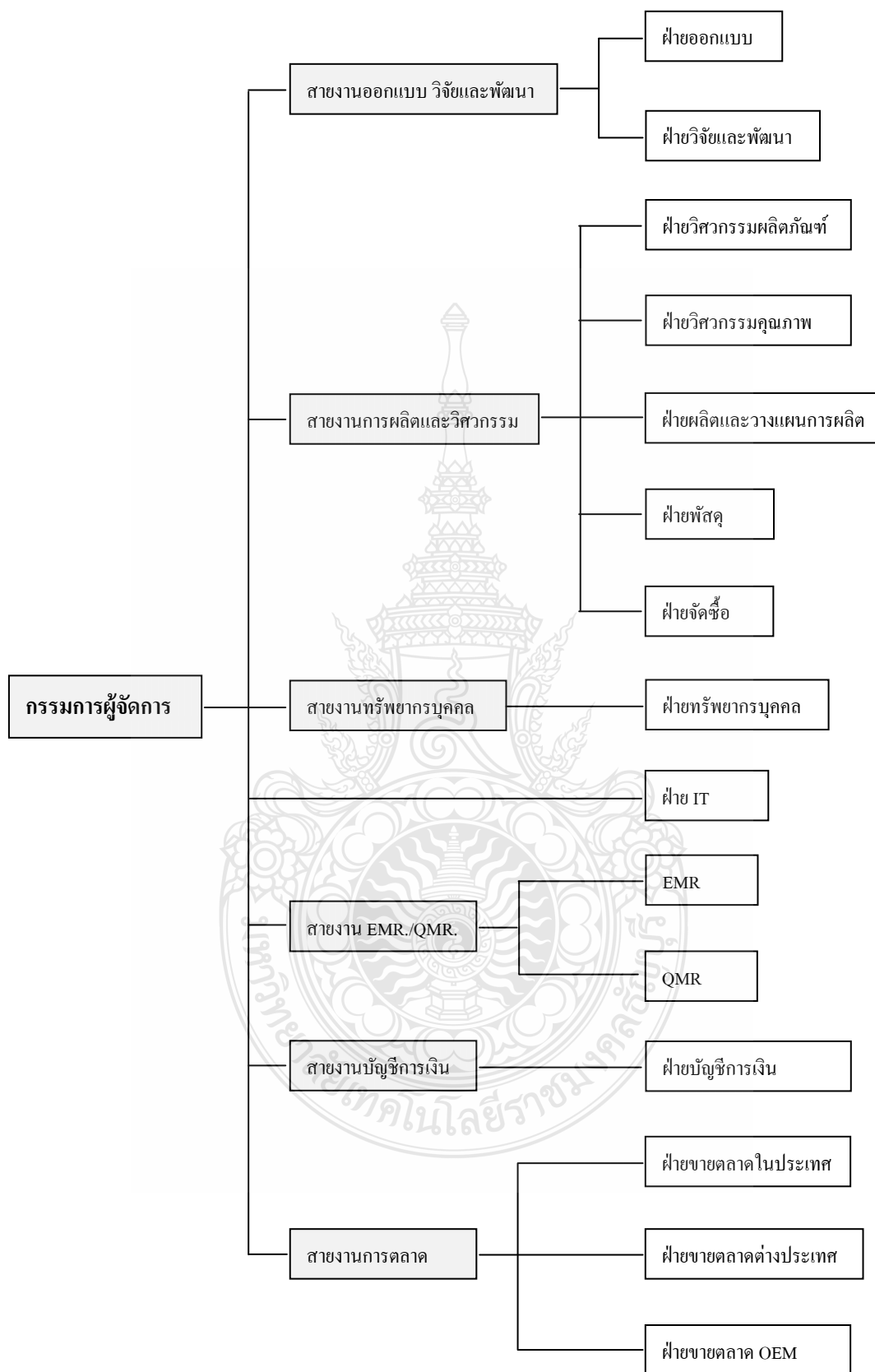
ภาพที่ 3.3 ตัวอย่างสินค้ากลุ่มชิ้นส่วนประดับยนต์ (Accessories Parts)



ภาพที่ 3.4 ตัวอย่างสินค้ากลุ่มดวงไฟ แอลอีดี (LED Lamps)



ภาพที่ 3.5 ตัวอย่างสินค้ากลุ่มดวงไฟสัญญาณ (Signal Lamps)



ภาพที่ 3.6 โครงสร้างองค์กรของบริษัทโรงงานกรณีศึกษา

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงและแก้ไขปัญหาคูณภาพในกระบวนการฉีดขึ้นส่วนพลาสติก เอบีเอส (ABS) ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลปัญหาต่างๆ รวมถึงข้อมูลความถี่ของการเกิดปัญหาคูณภาพต่างๆ ที่พบในกระบวนการฉีดขึ้นส่วนพลาสติก เอบีเอส (ABS) ในโรงงานกรณีศึกษาตั้งแต่ปี 2552 ถึงปี 2553 รายละเอียดข้อมูลความถี่ของการเกิดปัญหาแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลความถี่ของปัญหาที่พบในกระบวนการฉีดขึ้นส่วนพลาสติก เอบีเอส (ABS) ในโรงงานกรณีศึกษาตั้งแต่ปี 2552 ถึงปี 2553

รายละเอียดปัญหา	ข้อมูลปี 2552 (ครั้ง)	ข้อมูลปี 2553 (ครั้ง)	ค่าเฉลี่ย ปี 2552-2553 (ครั้ง)	ค่าใช้จ่ายในการ แก้ไขปัญหา (บาท / ครั้ง)
1. รอยยุบ	16	20	18	5,000 - 15,000
2. รอยประสาน	14	18	16	3,000 - 7,000
3. รอยผิวไหม้	14	13	14	3,000 - 7,000
4. ผิวไม่เรียบ	10	8	9	8,000 - 12,000
5. รอยร้าวหรือรอยขีด	8	8	8	6,000 - 10,000
6. การโก่งงอเสียรูป	3	5	4	50,000 - 110,000
7. ขนาดไม่ได้มาตรฐาน	5	3	4	20,000 - 50,000
8. ปัญหาอื่นๆ	22	20	21	1,000 - 10,000
รวมทั้งหมด	92	95	94	-

จากข้อมูลในตารางที่ 3.1 เมื่อผู้วิจัยทำการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของต้นทุนค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงแก้ไขปัญหาดังกล่าว เพื่อให้สามารถทำการผลิตขึ้นส่วนพลาสติก เอบีเอส ได้ตามแผนผลิตของโรงงานกรณีศึกษา ข้อมูลต้นทุนในการปรับปรุงแก้ไขปัญหาดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 3.2

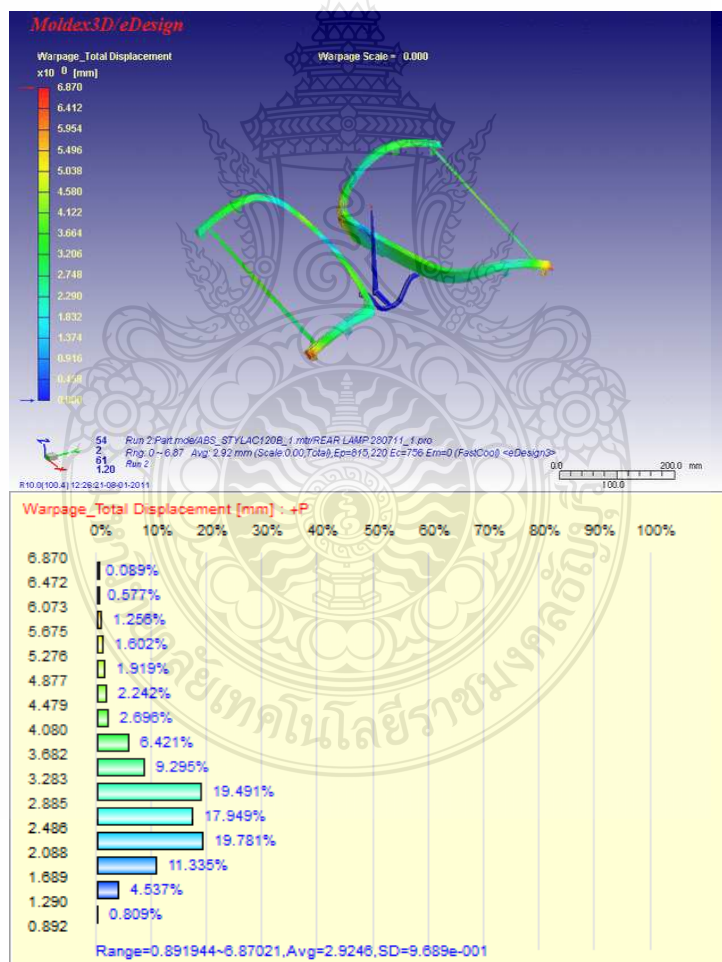
ตารางที่ 3.2 ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่พบในกระบวนการฉีดขึ้นส่วนพลาสติก เอบีเอส (ABS) ในโรงงานกรณีศึกษา ตั้งแต่ปี 2552 ถึงปี 2553

รายละเอียดปัญหา	ข้อมูลปี 2554 (บาท)	ข้อมูลปี 2555 (บาท)	ค่าเฉลี่ย (บาท)
1. การโค้งงอเสียรูป	240,000	400,000	320,000
2. รอยยุบ	160,000	200,000	180,000
3. ขนาดไม่ได้มาตรฐาน	175,000	105,000	140,000
4. ผิวไม่เรียบ	100,000	80,000	90,000
5. รอยประสาน	70,000	90,000	80,000
6. รอยผิวไหม้	70,000	65,000	67,500
7. รอยร้าวหรือรอยขีด	64,000	64,000	64,000
8. ปัญหาอื่นๆ	110,000	100,000	105,000
รวมทั้งหมด	989,000	1,104,000	1,046,500

จากข้อมูลในตารางที่ 3.2 เมื่อพิจารณาจากต้นทุนค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงแก้ไขปัญหา พบว่า ปัญหาการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วนพลาสติก เอบีเอส มีต้นทุนในการปรับปรุงแก้ไขปัญหาสูงที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการปรับปรุงแก้ไขปัญหาดังกล่าวต้องทำการทดลองฉีดขึ้นส่วนเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดหรืออาจต้องทำการปรับปรุงแก้ไขแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่บางส่วน หากพบว่า การทดลองฉีดขึ้นส่วนด้วยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดแล้วยังไม่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ตามที่ต้องการหรือตามเกณฑ์กำหนดด้านสัดส่วนของเสียที่ยอมรับได้ จากการวิเคราะห์ข้อมูลปัญหาในกระบวนการฉีดขึ้นส่วนพลาสติก เอบีเอส (ABS) ดังนั้นปัญหาการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วนในกระบวนการฉีดขึ้นส่วนพลาสติก เอบีเอส (ABS) จึงเป็นปัญหาคุณภาพที่ผู้วิจัยเลือกทำการศึกษาและทดลองในงานวิจัยนี้

เพื่อทำการคัดเลือกตัวอย่างกรณีศึกษาที่จะใช้ในการทดลอง ผู้วิจัยจึงทำการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลในกลุ่มสินค้าที่ผลิตจากพลาสติก เอบีเอส (ABS) โดยกรรมวิธีการฉีดขึ้นรูป เกณฑ์ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างกรณีศึกษานั้น กล่าวคือ กลุ่มตัวอย่างที่จะทำการทดลองต้องมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดปัญหาการโค้งงอเสียรูปในกระบวนการฉีดพลาสติก โดยจากการสำรวจข้อมูลในส่วนของสินค้าใหม่ที่กำลังอยู่ในช่วงการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก พบว่า ชิ้นส่วน Rear Lamp Chrome Cover 326A มีความเป็นไปได้ว่าจะเกิดปัญหาการโค้งงอเสียรูป โดยผู้วิจัยได้นำ CAD 3D แม่พิมพ์ฉีด

พลาสติกชิ้นส่วนตัวอย่างที่ได้ออกแบบไว้โดยแผนกออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก มาทำการทดลองจำลองกระบวนการฉีด (Simulation) เพื่อหาข้อมูลความเป็นไปได้ของการโค้งงอเสีรูปของชิ้นส่วนตัวอย่างด้วยใช้โปรแกรม Moldex3D โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ผู้วิจัยใช้ในการทดลองข้างต้นนั้น มาจากการประเมินค่าโดยหัวหน้างานและผู้ชำนาญงานในแผนกฉีดพลาสติกร่วมกับการวิเคราะห์จากคุณสมบัติของวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ในการฉีดพลาสติก (สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก) จากการวิเคราะห์ข้างต้นโดยโปรแกรม Moldex3D พบว่า ผลของการจำลองกระบวนการฉีดชิ้นส่วนตัวอย่างได้ค่าการโค้งงอเสีรูปสูงสุดเท่ากับ 6.87 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.7 จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่า ชิ้นส่วนดังกล่าวมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการโค้งงอเสีรูปในกระบวนการฉีดพลาสติก ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกชิ้นส่วน Rear Lamp Chrome Cover 326A เป็นชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษาเพื่อทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการโค้งงอเสีรูปในกระบวนการฉีดพลาสติกในงานวิจัยนี้



ภาพที่ 3.7 ผลการวิเคราะห์ค่าการโค้งงอเสีรูปของชิ้นส่วน Rear Lamp Chrome Cover 326A โดยโปรแกรม Moldex3D ก่อนทำการทดลองเพื่อปรับปรุงค่าพารามิเตอร์

3.1.2 การศึกษาลักษณะทั่วไปของชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษา

ชิ้นส่วน Rear Lamp Chrome Cover 326A เป็นชิ้นส่วนที่ใช้ติดตั้งครอบบนไฟท้ายรถยนต์ โดยโรงงานผู้ผลิตเป็นผู้ออกแบบและผลิตชิ้นส่วนส่งให้โรงงานประกอบรถยนต์ ศูนย์อะไหล่และตัวแทนจำหน่ายต่างๆ ลักษณะรูปทรงของชิ้นส่วนตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 3.8



ชิ้นส่วนข้างซ้าย (ภาพด้านหน้า) ชิ้นส่วนข้างซ้าย (ภาพด้านหลัง) ชิ้นส่วนข้างขวา (ภาพด้านหน้า) ชิ้นส่วนข้างขวา (ภาพด้านหลัง)

ภาพที่ 3.8 ลักษณะรูปทรงของชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษา

1. ข้อมูลด้านวัตถุดิบและลักษณะของชิ้นส่วน Rear Lamp Chrome Cover 326A
 - 1) ชิ้นส่วนผลิตจากพลาสติกเอบีเอส (ABS) โดยกรรมวิธีฉีดขึ้นรูป



ภาพที่ 3.9 เม็ดพลาสติก เอบีเอส (ABS) ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการฉีดขึ้นรูปชิ้นส่วนตัวอย่าง



ภาพที่ 3.10 เครื่องฉีดพลาสติกที่ใช้ในกระบวนการฉีดขึ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษา

2) ผิวขึ้นส่วนชุบเคลือบผิวด้วยโครเมียม



ภาพที่ 3.11 ชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษาที่ผ่านกระบวนการชุบเคลือบผิวด้วยโครเมียม

3) การติดตั้งชิ้นส่วน ติดด้วยเทปกาว 2 หน้า (Double Side Tape 3M RT 8008/8012)

4) การบรรจุภัณฑ์ (Packaging) บรรจุในกล่องหมุนเวียน (Returnable Box) สำหรับส่ง
โรงประกอบรถยนต์ และกล่องกระดาษหนา 3 ชั้น (Corrugate Box) สำหรับส่งศูนย์อะไหล่และ
ตัวแทนจำหน่าย (Dealer)



กล่องกระดาษหนา 3 ชั้น (Corrugate Box)



กล่องหมุนเวียน (Returnable Box)

ภาพที่ 3.12 ลักษณะบรรจุภัณฑ์ของชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษา

2. มาตรฐานและการทดสอบชิ้นส่วน มาตรฐานการทดสอบที่ชิ้นส่วนตัวอย่างต้องผ่านเกณฑ์คุณภาพและการทดสอบ สามารถแสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 มาตรฐานการทดสอบชิ้นส่วนตัวอย่าง Rear Lamp Chrome Cover 326A

Testing Standard			
Functional	No	Test Item	Applicable Standard
Chrome Quality Test	1	Coating Thickness Test	TSH6504A
	2	Coating Method Test	TSH6504A
	3	Thermal Cycle Resistanc Test	TSH6504A
	4	Adhesion Test	TSH6504A
	5	Corrodokote Test	JIS H8502 OF ASTM B380
	6	Cass Test	JIS H8502 OF ASTM B380
Performance Test	7	Heat Resistance Test	TSM0502G
	8	Thermal Cycle Test	TSM0502G
	9	Humidity Resistance Test	TSM0502G
	10	Heat Aging Test	TSM0502G
Other	11	Car Washing Test	TSM0502G
	12	Wind Noise Test	TAS3229G
	13	Whearther Resistance Test	TSM0502G
	14	Fluid Resistance Test	TSM0502G
	15	SoC Test	TSZ0001G, TSZ0003G

3.1.3 การศึกษากระบวนการผลิตชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษา

1. กระบวนการเตรียมวัตถุดิบเม็ดพลาสติก

กระบวนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับการฉีดพลาสติก เป็นกรรมวิธีการอบเม็ดพลาสติกเพื่อไล่ความชื้นที่มีอยู่ในเม็ดพลาสติก โดยเริ่มจากการนำเม็ดพลาสติก เอบีเอส (ABS) บรรจุลงในถังอบเม็ดพลาสติก (Hopper) ที่จัดเตรียมไว้ กระบวนการดังกล่าวนี้ใช้อุณหภูมิของระบบลมร้อน 80°C ถึง 85°C ให้ความร้อนกับเม็ดพลาสติกภายในถังอบเป็นเวลา 2 ถึง 4 ชั่วโมง เมื่อเม็ดพลาสติกผ่านกรรมวิธี

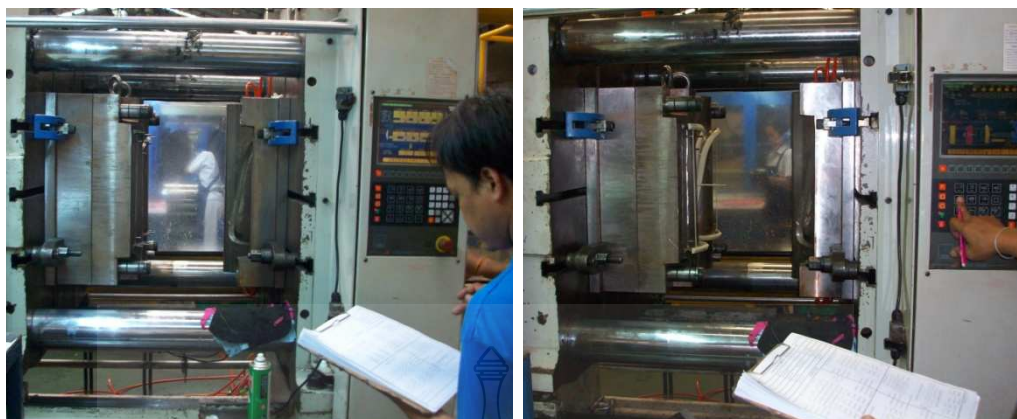
นี้แล้วจึงจะสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการฉีดพลาสติกขั้นตอนต่อไปได้ ลักษณะของเครื่องอบเม็ดพลาสติก แสดงดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 ลักษณะของเครื่องอบเม็ดพลาสติกที่ใช้ในกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ

2. กระบวนการปรับตั้งเครื่องฉีดและกระบวนการฉีดพลาสติก

กระบวนการนี้ จะเริ่มต้นจากการติดตั้งแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกบนเครื่องฉีดพลาสติก แล้วทำการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ รวมถึงทำการทดลองฉีดเพื่อไล่น้ำพลาสติกเหลวให้เต็มกระบอกลัด และขจัดฟองอากาศที่เกิดขึ้นในกระบอกลัด รวมถึงเพื่อให้อุณหภูมิของแม่พิมพ์ ระบบหล่อเย็นและน้ำพลาสติกเหลวลงที่ ซึ่งต้องควบคุมให้อยู่ในช่วงค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ จากนั้นจึงทำการฉีดขึ้นส่วนแล้วนำชิ้นส่วนที่ได้มาทำการตรวจสอบคุณภาพเช่น น้ำหนักของชิ้นส่วน ผิวชิ้นงาน รอยตำหนิ รอยเส้นประสาน การโค้งงอเสียรูป เป็นต้น ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะควบคุมดูแลโดยหัวหน้างานหรือผู้ชำนาญงานของแผนกฉีดพลาสติกและเจ้าหน้าที่ QC เท่านั้น จากนั้น เมื่อชิ้นงานที่ทดลองฉีดผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นแล้ว จึงจะทำการฉีดขึ้นส่วนจริงโดยพนักงานประจำเครื่องฉีดพลาสติก ซึ่งจะทำการฉีดขึ้นส่วนตามแผนการผลิต เมื่อได้ชิ้นส่วนออกจากเครื่องฉีดพลาสติกแล้ว พนักงานประจำเครื่องฉีดพลาสติกจะทำการตัดแต่งเศษขี้ผง (เศษที่เกิดจาก Gate และ Runner) และทำการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานเบื้องต้น แล้วจึงนำชิ้นส่วนบรรจุลงกล่องบรรจุชิ้นส่วน (แบบ Returnable Box) เพื่อส่งเข้ากระบวนการถัดไป



ภาพที่ 3.14 การปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติกก่อนทำการฉีดขึ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษา



ภาพที่ 3.15 ลักษณะชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษาที่ได้จากระบวนการฉีดพลาสติก



ภาพที่ 3.16 พื้นที่แผนกฉีดพลาสติกสำหรับผลิตชิ้นส่วนพลาสติกในโรงงานกรณีศึกษา

3. กระบวนการตัดแต่งเศษกรีบชิ้นส่วนและการตรวจสอบคุณภาพก่อนชุบโครเมียม

หลังจากได้ชิ้นส่วนจากกระบวนการฉีดโดยเครื่องฉีดพลาสติกแล้ว จะนำชิ้นส่วนดังกล่าวมาตัดแต่งเศษกรีบตามบริเวณขอบโดยรอบของชิ้นส่วนรวมถึงการขัดเก็บผิวชิ้นงานให้เรียบในบริเวณที่ทำการตัดแต่ง แล้วจึงนำชิ้นส่วนมาทำการตรวจสอบการโค้งงอเสียรูป โดยการวัดค่าการโค้งงอเสียรูปบนเกจวัดการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วน หากพบว่าชิ้นส่วนมีการเสียรูปเกินค่ามาตรฐานกำหนดจะทำการคัดแยกออก ส่วนชิ้นส่วนที่ผ่านมาตรฐานคุณภาพ จะบรรจุลงกล่องบรรจุชิ้นส่วน (แบบ Returnable Box) เพื่อนำส่งไปกระบวนการชุบโครเมียมในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 3.17 ลักษณะการวัดค่าการโค้งงอเสียรูปบนเกจวัดการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วน

4. กระบวนการชุบเคลือบผิวชิ้นส่วนด้วยโครเมียม

กระบวนการนี้จะเป็นการจ้าง Supplier (โรงงานชุบโครเมียม) โดยจะจัดส่งชิ้นส่วนที่บรรจุในกล่องบรรจุชิ้นส่วนส่งให้ Supplier ทำการชุบโครเมียม โดย Supplier จะทำการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นส่วนรวมถึงการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วนบนเกจวัดชิ้นส่วน (C-F Gauge) อีกครั้ง ก่อนเข้ากระบวนการชุบโครเมียม หลังจากผ่านกระบวนการชุบโครเมียมแล้ว Supplier จะทำการตรวจสอบคุณภาพอีกครั้ง เช่น รอยตำหนิบนผิวชิ้นงาน รอยชุบโครเมียมไม่ติด การโค้งงอเสียรูป เป็นต้น หากไม่ผ่านตามมาตรฐานคุณภาพกำหนดจะทำการคัดแยกออก ส่วนชิ้นส่วนที่ผ่านมาตรฐานแล้วจึงจะทำการบรรจุชิ้นส่วนลงกล่องบรรจุชิ้นส่วน (แบบ Returnable Box) และจัดส่งคืนโรงงานผู้ผลิตต่อไป



ภาพที่ 3.18 ลักษณะการหุบเคลือบผิวด้วยโครเมียมบนชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษา

5. กระบวนการตรวจรับและจัดเก็บชิ้นส่วน

กระบวนการดังกล่าวจะเริ่มจากการรับชิ้นส่วนที่ส่งมาจาก Supplier (โรงงานหุบโครเมียม) โดยจะทำการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นส่วนที่ผ่านกรรมวิธีหุบโครเมียม (ตรวจสอบทุกชิ้น 100%) ตั้งแต่ลักษณะทั่วไปของชิ้นส่วน คุณภาพของผิวหุบโครเมียม รอยขีดข่วนรอยตำหนิต่างๆ การโค้งงอ เสี่ยงรูปของชิ้นส่วน (ตรวจสอบบน Gauge วัดการเสี้ยวรูป) เมื่อพบชิ้นส่วนที่ไม่ผ่านมาตรฐานกำหนด จะทำการคัดแยกออก หากชิ้นส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนดจึงจะบรรจุลงกล่องและส่งไปจัดเก็บที่แผนกจัดเก็บชิ้นส่วน (CP Store) เพื่อรอจัดส่งเข้ากระบวนการประกอบติดเทปกาวตามแผนผลิตต่อไป

6. กระบวนการติดเทปกาว 2 หน้าและบรรจุชิ้นส่วน (Packing)

กระบวนการดังกล่าวจะเริ่มจากการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นส่วนหุบโครเมียม (ตรวจสอบทุกชิ้น 100) เมื่อชิ้นส่วนผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้ว จะนำชิ้นส่วนมาทำการติดขาจับหุบโครเมียม (ขาพลาสติกที่ด้านหลังของชิ้นส่วนทำหน้าที่เป็นขาจับยึดชิ้นงานในขั้นตอนหุบโครเมียม) จากนั้นจะเช็ดทำความสะอาดบริเวณด้านหลังของชิ้นส่วนให้สะอาดแล้วจึงติดเทปกาว 2 หน้า (3M Double Side Tape) และติดชิ้นส่วนแผ่น Tabbing Tape (แผ่นสติ๊กเกอร์สำหรับดึงลงแผ่นไลเนอร์ของเทปกาว 2 หน้าในขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วน) แล้วทำการ Stamping Lot No (หมายเลข วัน/เดือน/ปี และครั้งที่ผลิต) บริเวณด้านหลังของชิ้นส่วน แล้วจึงนำชิ้นงานบรรจุใส่ถุงโฟมและบรรจุลงกล่องพร้อมจัดส่งให้ลูกค้าต่อไป



ภาพที่ 3.19 ลักษณะชิ้นส่วนที่ผ่านกระบวนการตีเทปกาว 2 หน้า

3.1.4 การวิเคราะห์ปัญหา

ในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการโค้งงอเสียบรูปในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก ตัวอย่างกรณีศึกษา ผู้วิจัย ใช้เทคนิควิธีการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยหลักการระดมความคิดจากทีม (Brainstorming) ซึ่งจะนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการระบุนสาเหตุหลักๆ ของปัญหาด้วยแผนภูมิแก๊งปลา เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาจัดเรียงลำดับความเป็นไปได้ที่ปัจจัยเหล่านั้นจะเป็นสาเหตุของปัญหาที่ทำการศึกษาด้วยใช้ตารางความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) แล้วทำการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยด้วยแผนภูมิพารेटโต เพื่อทำการระบุนความเป็นไปได้ของสาเหตุที่แท้จริง ซึ่งเพื่อให้การออกแบบการทดลองมีจำนวนแผนการทำลอง (Run Order) น้อยที่สุดเท่าที่จำเป็นและเพื่อลดเวลา ต้นทุนในการทดลอง ผู้วิจัยจะเลือกเฉพาะปัจจัยหลักที่มีความเป็นไปได้มากที่สุดนำไปกำหนดเป็นปัจจัยนำเข้าในแผนการออกแบบการทดลองในงานวิจัยนี้ รายละเอียดของการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา มีดังนี้

1. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยใช้เทคนิคการระดมความคิด (Brainstorming)

จากเทคนิควิธีการวิเคราะห์สาเหตุที่ได้กล่าวมาข้างต้น ข้อมูลและรายละเอียดของทีมตามเทคนิควิธีการระดมความคิด แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลรายละเอียดของทีมตามเทคนิควิธีการระดมความคิด (Brainstorming)

ตำแหน่งงาน	อายุงาน/ประสบการณ์	สายงาน	จำนวน
1. วิศวกร (EN)	มากกว่า 3 ปี	การผลิต (MF)	2 คน
2. ผู้ชำนาญงาน/หัวหน้างาน (SV)	มากกว่า 10 ปี	ฉีดพลาสติก (IM)	1 คน
3. หัวหน้าแผนก (SC)	มากกว่า 10 ปี	ฉีดพลาสติก (IM)	1 คน
4. หัวหน้าแผนก (SC)	มากกว่า 4 ปี	พัฒนาผลิตภัณฑ์ (PD)	1 คน
5. หัวหน้าแผนก (SC)	มากกว่า 3 ปี	ออกแบบแม่พิมพ์ (MD)	1 คน
6. หัวหน้าส่วน (DC)	มากกว่า 10 ปี	วิศวกรรมแม่พิมพ์ (MI)	1 คน
7. หัวหน้าส่วน (DC)	มากกว่า 8 ปี	วิศวกรรมคุณภาพ (QE)	1 คน
8. หัวหน้าส่วน (DC)	มากกว่า 10 ปี	การผลิต (MF)	1 คน
9. ผู้จัดการฝ่าย (MG)	มากกว่า 10 ปี	ฝ่ายวิศวกรรม (EN)	1 คน
10. ผู้จัดการฝ่าย (MG)	มากกว่า 10 ปี	ฝ่ายผลิต (MF)	1 คน
รวมทั้งหมด			11 คน

จากการระดมความคิดของทีม พบว่า ปัจจัยที่อาจเป็นสาเหตุของปัญหาการโค้งงอเสียรูปในกระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนตัวอย่าง มีสาเหตุมาจากปัจจัยหลัก โดยจำแนกออกเป็นกลุ่มใหญ่ได้ทั้งหมด 7 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ปัจจัยที่เกิดจากแม่พิมพ์ (Mold)

- 1) การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก
- 2) ระบบของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก
- 3) สภาพผิวและความเรียบของผิวแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

กลุ่มที่ 2 ปัจจัยที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine)

- 1) ชนิดและขนาดกำลังของเครื่องจักร
- 2) ความแม่นยำและเที่ยงตรงของเครื่องจักร
- 3) อายุการใช้งานเครื่องจักร
- 4) การบำรุงรักษาเครื่องจักร

กลุ่มที่ 3 ปัจจัยที่เกิดจากวัตถุดิบ (Material)

- 1) ชนิดของวัตถุดิบ
- 2) คุณภาพและเกรดของวัตถุดิบ
- 3) แหล่งผลิตของวัตถุดิบ
- 4) ความชื้นและการเตรียมวัตถุดิบ

กลุ่มที่ 4 ปัจจัยที่เกิดจากวิธีการปรับตั้ง (Setup Method)

- 1) ค่าพารามิเตอร์ด้านกำลังและแรงดัน
- 2) ค่าพารามิเตอร์ด้านเวลา
- 3) ค่าพารามิเตอร์ด้านความเร็ว
- 4) ค่าพารามิเตอร์ด้านตำแหน่งและระยะทาง
- 5) ค่าพารามิเตอร์ด้านอุณหภูมิ

กลุ่มที่ 5 ปัจจัยที่เกิดจากสภาวะแวดล้อม (Environment)

- 1) อุณหภูมิภายนอก
- 2) ความชื้นภายนอก

กลุ่มที่ 6 ปัจจัยที่เกิดจากชิ้นงาน (Part)

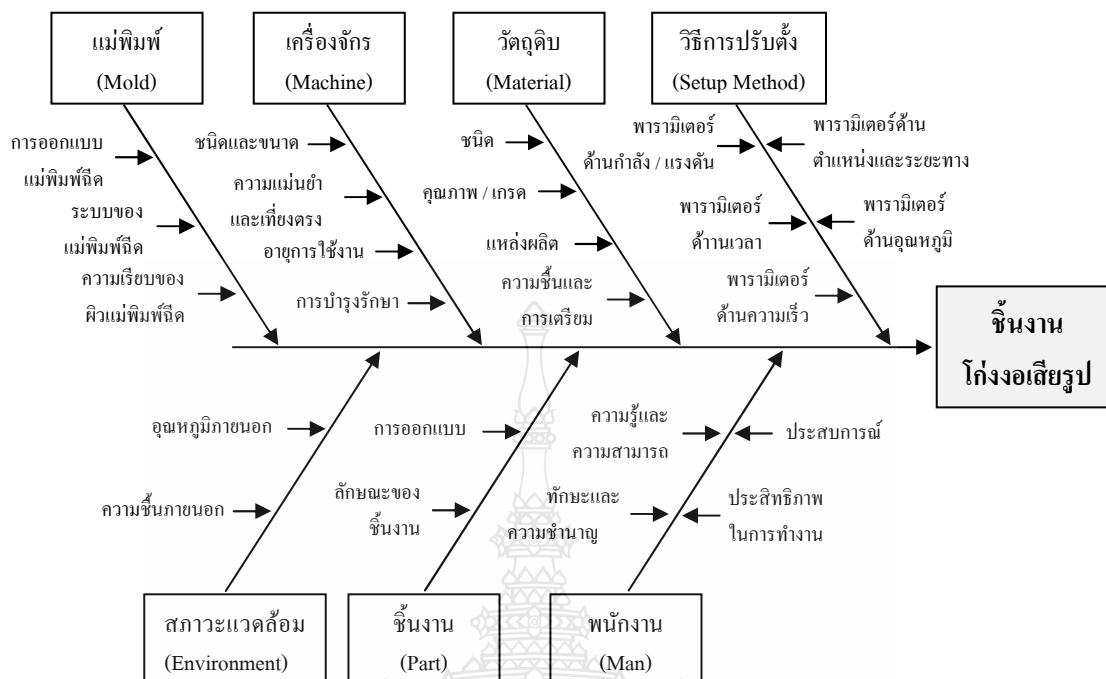
- 1) การออกแบบชิ้นงาน
- 2) ลักษณะของชิ้นงาน

กลุ่มที่ 7 ปัจจัยที่เกิดจากพนักงาน (Man)

- 1) ความรู้และความสามารถ
- 2) ทักษะและความชำนาญ
- 3) ประสิทธิภาพในการทำงาน
- 4) ประสิทธิภาพในการทำงาน

2. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการ โกงงอเสียรูปของชิ้นส่วน โดยใช้แผนภูมิแกงปลา

จากข้อมูลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการเสียรูปของชิ้นส่วน โดยหลักการการระดมความคิด ผู้วิจัย ได้นำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างแผนภูมิแกงปลา เพื่อใช้ในการระบุสาเหตุของปัญหาการ โกงงอเสียรูปของชิ้นส่วน โดยสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.20



ภาพที่ 3.20 แผนภูมิแก๊งปลาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการ โกงงอเสียรูปของชิ้นส่วนตัวอย่างในกระบวนการฉีดพลาสติก

3. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการ โกงงอเสียรูปของชิ้นส่วน โดยใช้ตารางความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

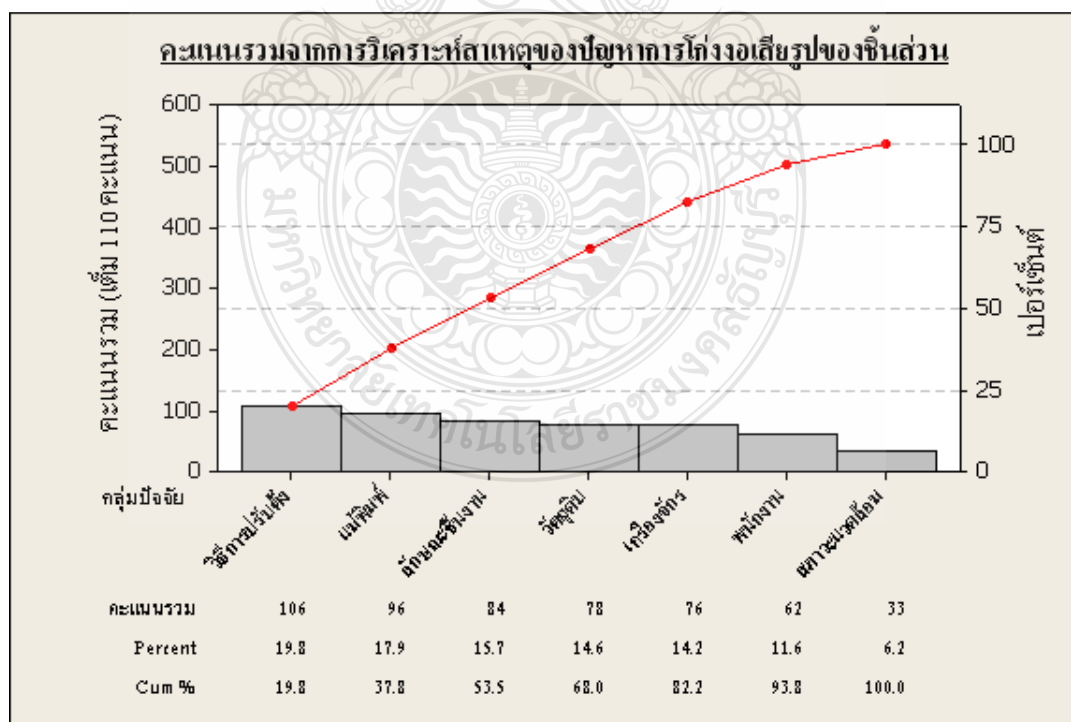
จากข้อมูลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการ โกงงอเสียรูปของชิ้นส่วนโดยแผนภูมิแก๊งปลา ผู้วิจัย จึงนำข้อมูลดังกล่าวจัดเรียงในตารางวิเคราะห์เหตุและผลกระทบ (Cause and Effect Matrix) เพื่อทำการกำหนดระดับความสำคัญของปัจจัยที่คาดว่าจะจำเป็นไปได้ที่จะมีผลกระทบต่อ การ โกงงอเสียรูปของชิ้นส่วนตัวอย่าง โดยใช้ค่าคะแนนในแต่ละปัจจัยหลักตามเทคนิคความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล ที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 การวิเคราะห์ผลโดยหลักการความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล แสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผลของปัจจัยที่มีผลต่อการเสียชีวิต

ลำดับ	กลุ่มปัจจัย	ทีม (ตามเทคนิคการระดมความคิด)											คะแนนรวม (เต็ม 110)
		EN 1	EN 2	SV 1	SC 1	SC 2	SC 3	DC 1	DC 2	DC 3	MG 1	MG 2	
1	วิธีการปรับตั้ง	10	9	10	10	10	10	9	9	9	10	10	106 (96.4 %)
2	แม่พิมพ์	9	8	9	9	8	10	8	10	9	8	8	96 (87.3 %)
3	ลักษณะชิ้นงาน	7	8	8	8	7	9	7	8	8	7	7	84 (76.4 %)
4	วัตถุดิบ	7	6	7	7	7	8	7	8	7	7	7	78 (70.9 %)
5	เครื่องจักร	6	6	7	8	7	7	7	6	8	8	6	76 (69.1 %)
6	พนักงาน	5	6	6	5	6	6	5	6	6	6	5	62 (56.4 %)
7	สภาวะแวดล้อม	4	2	2	4	4	3	4	3	2	2	3	33 (30.0 %)

4. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการโค้งงอเสีรูปของชิ้นส่วนโดยใช้แผนภูมิพารโต

จากตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) ของปัจจัยหลักที่มีผลต่อการโค้งงอเสีรูปของชิ้นส่วน ผู้วิจัย จึงนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างเป็นแผนภูมิพารโตเพื่อทำการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยให้เห็นภาพชัดเจนขึ้น แสดงดังภาพที่ 3.21



ภาพที่ 3.21 แผนภูมิพารโตวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการโค้งงอเสีรูปของชิ้นส่วน

จากข้อมูลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการเสีรูปร่างของชิ้นส่วนโดยใช้แผนภูมิพาเรโต จะเห็นว่าปัญหาหลักของการ โกงงอเสีรูปร่างของชิ้นส่วนคือ กลุ่มปัจจัยที่เกิดจากวิธีการปรับตั้งเครื่องจักรในกระบวนการฉีดพลาสติก ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกกลุ่มปัจจัยดังกล่าวเพื่อกำหนดเป็นปัจจัยนำเข้าไปในแผนการออกแบบทดลองเบื้องต้น (Screening Experiment Design) ในขั้นตอนต่อไป

3.2 การออกแบบแผนการทดลองเบื้องต้น (Screening Experiment Design)

การออกแบบการทดลองเบื้องต้นในงานวิจัยนี้ เนื่องจากจำนวนปัจจัยที่นำมาทำการทดลองมีจำนวนมากและเพื่อลดจำนวนแผนการทดลองให้เหลือน้อยลง แต่ยังเพียงพอต่อการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่นำมาทดลอง ผู้วิจัย จึงเลือกแผนการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Experiment) มาทำการทดลองเบื้องต้น เพื่อศึกษาอิทธิพลของแต่ละระดับปัจจัยต่างๆ และเนื่องจากแผนการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วนนั้นมีคุณสมบัติคือ เป็นส่วนที่ลดรูปมาจากแผนการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป ซึ่งหมายความว่า หากผลการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยมีผลน้อยมากจนไม่สามารถคัดกรองปัจจัยหรือแยกผลกระทบของปัจจัยร่วม (Interaction Effects) ออกได้ ผู้วิจัย ก็ยังสามารถเพิ่มแผนการทดลองและทำการทดลองเพิ่มเติมได้อีก จนกว่าจะสามารถคัดกรองปัจจัยหรือแยกผลกระทบของปัจจัยร่วมออกได้ แต่หากการทดลองเริ่มต้นสามารถคัดกรองปัจจัยได้ แผนการทดลองนี้จะมีจำนวนการทดลอง (Run Order) ไม่มากจนเกินความจำเป็น ใช้เวลาและต้นทุนในการทดลองต่ำกว่าแผนการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Experiment)

3.2.1 การคัดเลือกปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น

เนื่องจากการคัดเลือกปัจจัยที่จะนำมาศึกษาผลกระทบตามแผนการออกแบบการทดลองเบื้องต้นนั้น จำเป็นต้องประกอบไปด้วยปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ในกระบวนการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติก (Simulation) โดยโปรแกรมวิเคราะห์การฉีดพลาสติก Moldex3D และต้องสอดคล้องกับข้อมูลคุณสมบัติต่างๆ ของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง ผู้วิจัย จึงนำหลักการการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยใช้เทคนิคการระดมความคิด (Brainstorming) มาใช้เป็นเครื่องมือในการคัดเลือกปัจจัยและระดับของปัจจัยเพื่อใช้เป็นปัจจัยนำเข้าไป (Key Process Input Variable) ในแผนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น

จากข้อมูลผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผลของปัจจัยที่มีผลต่อการ โกงงอเสีรูปร่างของชิ้นส่วนพบว่าสาเหตุหลักที่ได้คะแนนสูงสุดจากเทคนิคการระดมความคิด (Brainstorming) ของทีม คือ กลุ่มปัจจัยที่เกิดจากวิธีการปรับตั้งเครื่องจักรในกระบวนการฉีดพลาสติก ซึ่งเมื่อศึกษาจากแผนภูมิแกงปลาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการ โกงงอเสีรูปร่างของชิ้นส่วนตัวอย่างในกระบวนการฉีดพลาสติกพร้อมกับข้อมูลค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก ซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่

2 พบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่มีความเป็นไปได้ที่จะมีผลต่อการ โกงงอเสียวรูปของชิ้นส่วนตัวอย่าง มีทั้งหมด 4 กลุ่มใหญ่ คือ

กลุ่มที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับเวลา (Time) ได้แก่

1. เวลาที่พลาสติกเหลวแช่ในกระบอกลีด (Resident Time)
2. เวลาในการฉีดเข้า (Packing Time)
3. เวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time)

กลุ่มที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับความดัน (Pressure) ได้แก่

1. ความดันต้านการถอยสกรู (Back Pressure)
2. ความดันฉีด (Injection Pressure)
3. ความดันฉีดเข้า (Packing Pressure)
4. แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamping Force)

กลุ่มที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับความเร็วและระยะทาง ได้แก่

1. ระยะชักสกรู (Metering Stroke)
2. ระยะสำรอง (Cushion)
3. ระยะเปลี่ยนจังหวะฉีดเป็นฉีดเข้า (Switching Over)
4. ความเร็วรอบสกรู (Screw Speed)
5. อัตราความเร็วฉีด (Injection Flow Rate)

กลุ่มที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ (Temperature) ได้แก่

1. อุณหภูมิพลาสติกหลอมเหลว (Melting Temperature)
2. อุณหภูมิกระบอกลีด (Barrel Temperature)
3. อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature)
4. อุณหภูมิขณะปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ (Demolding Temperature)

จากข้อมูลข้างต้น ผู้วิจัยได้นำข้อมูลดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกปัจจัยนำเข้า (KPIV) ที่จะใช้ในการทดลองเบื้องต้น โดยใช้ข้อมูล 3 ส่วนด้วยกันคือ

1. ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก (ศึกษาเพิ่มเติมในบทที่ 2)
2. ข้อมูลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจากเทคนิคการระดมความคิด
3. ความสามารถในการควบคุมค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองบนโปรแกรมวิเคราะห์การฉีด

พลาสติก Moldex3D

โดยเกณฑ์ในการคัดเลือกปัจจัยนำเข้า (KPIV) ของการออกแบบแผนการทดลองเบื้องต้น ผู้วิจัยจะเลือกเฉพาะปัจจัยที่มีความเป็นไปได้จากข้อมูลใน 3 ส่วนข้างต้นนี้ รายละเอียดต่างๆ แสดงดัง ตารางที่ 3.6

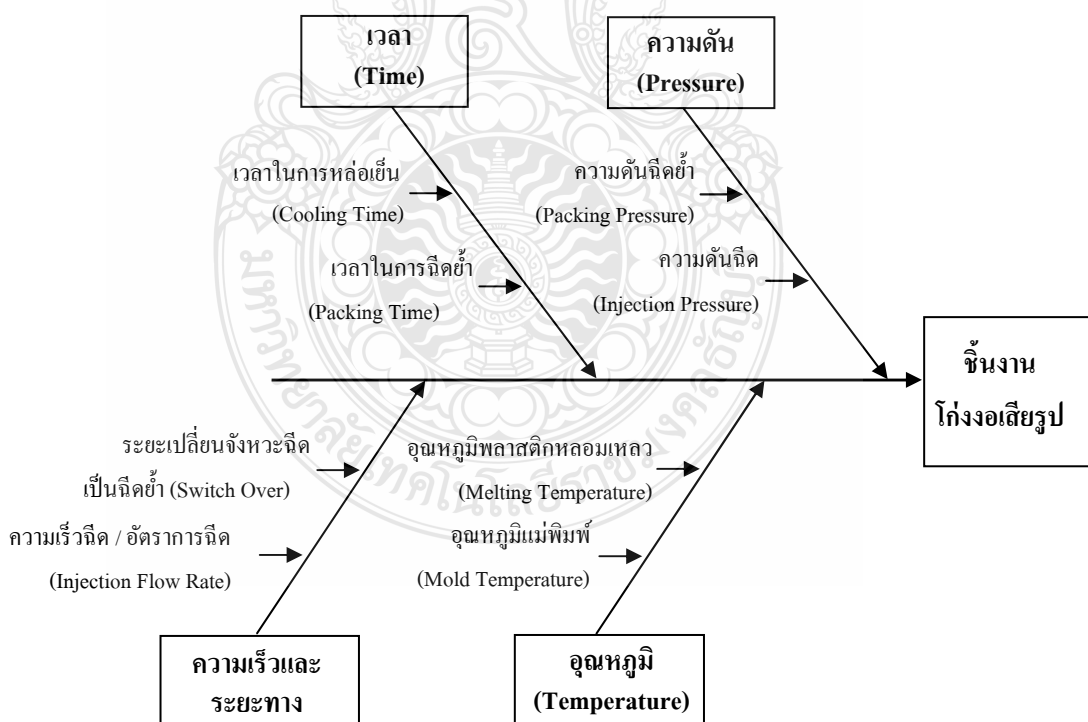
ตารางที่ 3.6 การคัดเลือกปัจจัยนำเข้า (KPIV) ที่จะใช้ในการทดลองในขั้นตอนการออกแบบแผนการทดลองเบื้องต้น (Screening Experiment Design)

ลำดับ	ปัจจัย / ค่าพารามิเตอร์	ความเป็นไปได้จากแหล่งที่มาของปัจจัย			การนำไปวิเคราะห์ภาพทดลองเบื้องต้น
		จากพารามิเตอร์ที่สำคัญในการปรับตั้งเครื่องฉีด (ข้อมูลในบทที่ 2)	จากเทคนิคการระดมความคิด	ความสามารถในการควบคุมค่าพารามิเตอร์โดยแบบจำลอง	
1	อุณหภูมิพลาสติกหลอมเหลว (Melting Temp)	มี	มี	มี	เลือก
2	อุณหภูมิกระบอบกีด (Barrel Temp)	มี	ไม่มี	มี	ไม่เลือก
3	อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temp)	มี	มี	มี	เลือก
4	อุณหภูมิขณะปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ (Demolding Temp)	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่เลือก
5	ระยะชักสกรู (Metering Stroke)	มี	ไม่มี	มี	ไม่เลือก
6	เวลาที่พลาสติกเหลวแช่ในกระบอบกีด (Resident Time)	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่เลือก
7	ระยะสำรอง (Cushion)	มี	ไม่มี	มี	ไม่เลือก
8	ความเร็วรอบสกรู (Screw Speed)	มี	ไม่มี	มี	ไม่เลือก
9	ความดันต้านการถอยสกรู (Back Pressure)	มี	ไม่มี	มี	ไม่เลือก
10	ระยะเปลี่ยนจังหวะฉีดเป็นฉีดซ้ำ (Switching Over)	มี	มี	มี	เลือก
11	อัตราความเร็วฉีด (Injection Flow Rate)	มี	มี	มี	เลือก
12	ความดันฉีด (Injection Pressure)	มี	มี	มี	เลือก
13	ความดันฉีดซ้ำ (Packing Pressure)	มี	มี	มี	เลือก
14	เวลาในการฉีดซ้ำ (Packing Time)	มี	มี	มี	เลือก
15	แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamping Force)	มี	ไม่มี	มี	ไม่เลือก
16	เวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time)	มี	มี	มี	เลือก

จากตาราง ผู้วิจัยสามารถคัดเลือกปัจจัยนำเข้า (KPIV) ที่จะนำไปทดลองในแผนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น (Screening Experiment Design) เพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีผลกระทบได้ทั้งหมด 8 ปัจจัย ดังนี้

1. อุณหภูมิพลาสติกหลอมเหลว (Melting Temperature)
2. อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature)
3. ระยะเวลาเปลี่ยนจังหวะฉีดเป็นฉีดย้ำ (Switching Over)
4. อัตราความเร็วฉีด (Injection Flow Rate)
5. ความดันฉีด (Injection Pressure)
6. ความดันฉีดย้ำ (Packing Pressure)
7. เวลาในการฉีดย้ำ (Packing Time)
8. เวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time)

จากข้อมูลดังกล่าว สามารถสร้างแผนภูมิแกงปลาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการ โกงงอเสีรูปของชิ้นส่วนตัวอย่างในการออกแบบการทดลองเบื้องต้นได้ดังภาพที่ 3.22



ภาพที่ 3.22 แผนภูมิแกงปลาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการ โกงงอเสีรูปของชิ้นส่วนที่จะนำไปเป็นปัจจัยนำเข้าในการทดลองตามแผนการทดลองเบื้องต้น

3.2.2 การคัดเลือกระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น

การคัดเลือกระดับของปัจจัยที่จะใช้ในการทดลองตามแผนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น จำเป็นต้องสอดคล้องกับข้อมูลคุณสมบัติต่างๆ ของวัตถุดิบที่ใช้ ลักษณะต่างๆ ของชิ้นงาน รวมถึงไปถึงเครื่องจักรที่ใช้ในการทดลอง ผู้วิจัย จึงนำหลักการการวิเคราะห์โดยเทคนิคการระดมความคิด (Brainstorming) ของทีม โดยพิจารณาร่วมกับ ข้อมูลคุณสมบัติต่างๆ ของวัตถุดิบที่ใช้ ลักษณะต่างๆ ของชิ้นงาน รวมถึงไปถึงเครื่องจักรที่ใช้ในการทดลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3.7 คุณสมบัติต่างๆ ของพลาสติก เอบีเอส (ASB) ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลอง

Physical Properties			
Properties	Method	Unit	Value
Melt Flow Index (10 kg/220°C)	ASTM D1238	g/10 min	21
Izod Notched Impact (1/4", 23°C)	ASTM D256	Kg-cm/cm	25
Tensile Strength at Yield (23°C)	ASTM D638	kg/cm ²	435
Flexural Strength at Yield (23°C)	ASTM D790	kg/cm ²	620
Flexural Modulus (23 °C)	ASTM D790	×10 ⁴ kg/cm ²	2.35
Rockwell Hardness (1/4", 23°C)	ASTM D785	R-Scale	112
Heat Distortion Temperature (1/4", 18.6 kg/cm ²)	ASTM D648	°C	88
Heat Distortion Temperature (1/4", 4.6 kg/cm ²)	ASTM D648	°C	96
Flammability	UL-94	-	HB (1.5)
Chemical Properties			
Chemical Name	CAS Number	EC Number	Percent Weight
Acrylonitrile Butadiene Styrene Copolymer	9003-56-9	Polymer	97-99
Processing Technique			
Drying Temperature	80-85 °C, 2-4 hrs		
Processing Temperature	190-240 °C		
Mold Temperature	50-80 °C		
Softening Point	> 100 °C		

จากข้อมูลในตาราง ผู้วิจัย ใช้เทคนิคการระดมความคิด (Brainstorming) โดยทีมวิจัยในการวิเคราะห์เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อใช้ในการทดลองเบื้องต้น โดยแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน 2^{8-4} (2^{8-4} Fractional Factorial Experiment) ในขั้นตอนต่อไป รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 การสรุปค่าพารามิเตอร์ของปัจจัยที่มีความเป็นไปได้ที่จะส่งผลกระทบต่อภารกิจของชิ้นส่วนตัวอย่างจากการวิเคราะห์โดยเทคนิคการระดมความคิด (Brainstorming)

ปัจจัย	ค่าพารามิเตอร์	หน่วย
1. อัตราความเร็วฉีด (Injection Flow Rate)	50-80	%
2. ความดันฉีด (Injection Pressure)	60-80	%
3. ระยะเปลี่ยนจังหวะฉีดเป็นฉีดซ้ำ (Switching Over)	90-98	%
4. เวลาในการฉีดซ้ำ (Packing Time)	4-8	Sec
5. ความดันฉีดซ้ำ (Packing Pressure)	60-80	%
6. อุณหภูมิพลาสติกหลอมเหลว (Melting Temp)	220-240	°C
7. อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temp)	60-80	°C
8. เวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time)	30-60	Sec

จากข้อมูลข้างต้น ผู้วิจัยสามารถกำหนดระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองในขั้นตอนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น (Screening Experiment Design) ด้วยแผนการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Experiment) แสดงดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 ปัจจัยและระดับของปัจจัยต่างๆ ที่นำมาทำการทดลองตามแผนการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน 2^{8-4} (2^{8-4} Fractional Factorial Experiment)

ปัจจัยในการทดลองเบื้องต้น (Screening Experiment)	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย		หน่วย
		Low	High	
1. ความเร็วฉีด (Injection Flow Rate)	A	50	80	%
2. ความดันฉีด (Injection Pressure)	B	60	80	%
3. ระยะเปลี่ยนจังหวะฉีดเป็นฉีดซ้ำ (Switching Over)	C	90	98	%
4. เวลาในการฉีดซ้ำ (Packing Time)	D	4	8	Sec
5. ความดันฉีดซ้ำ (Packing Pressure)	E	60	80	%
6. อุณหภูมิพลาสติกหลอมเหลว (Melting Temp)	F	220	240	°C
7. อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temp)	G	60	80	°C
8. เวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time)	H	30	60	Sec

3.2.3 การกำหนดค่าผลตอบแทนในการทดลอง (ค่า Y)

ในการจำลอง (Simulation) กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก โปรแกรม Moldex3D สามารถแสดงค่าผลลัพธ์ที่เกี่ยวข้องกับค่าของการโก่งงอเสียรูปของชิ้นส่วนพลาสติก สามารถแยกเป็น 3 ค่าหลักๆ ดังนี้

1. ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการโก่งงอของชิ้นส่วน (Standard Deviation of Warpages)

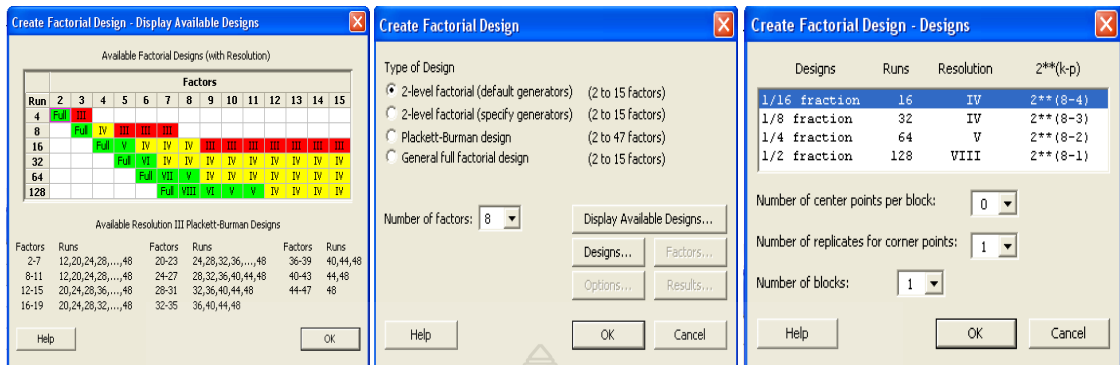
2. ค่าเฉลี่ยของการโก่งงอของชิ้นส่วน (Means of Warpages)

3. ค่าการโก่งงอสูงสุดของชิ้นส่วน (Maximum of Warpages)

ในการทดลองเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกรูปแบบ (Screening) ผู้วิจัย ได้กำหนดค่าของผลตอบแทน ที่ใช้เป็นตัวชี้วัดถึงค่าของการโก่งงอเสียรูปของชิ้นส่วนพลาสติก คือ ค่าการโก่งงอเสียรูปสูงสุดของชิ้นส่วน เนื่องจากค่าดังกล่าว สามารถวัดได้จากการทดลองฉีดขึ้นรูปจริงบนเครื่องจักรโก่งงอเสียรูปของชิ้นส่วนได้ และสามารถใช้เป็นค่าผลลัพธ์ในการเปรียบเทียบผลการทดลอง รวมไปถึงสามารถใช้เป็นค่าควบคุมคุณภาพของชิ้นส่วนกรณีศึกษาในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนจริงเพื่อทำการติดตามผลการทดลองได้

3.2.4 แผนการออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Design)

จากแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน ผู้วิจัย ได้เลือกแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน 2^{8-4} (2^{8-4} Fractional Factorial Design) ในการออกแบบแผนการทดลองเบื้องต้น เนื่องจากผลลัพธ์ของแผนการทดลองดังกล่าวนี้ มีข้อมูลเพียงพอที่จะสามารถวิเคราะห์ผลกระทบหลัก (Main Effects) และผลกระทบของปัจจัยร่วม (Interaction Effects) ได้ เนื่องจากแผนการทดลองดังกล่าวได้ค่า Resolution 4 (IV) (สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากบทที่ 2) โดยแผนการทดลองนี้จะต้องทำการทดลองและเก็บข้อมูลทั้งหมด 16 การทดลอง รายละเอียดของแผนการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.10 และลักษณะรูปแบบการสร้างแผนการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab แสดงดังภาพที่ 3.23



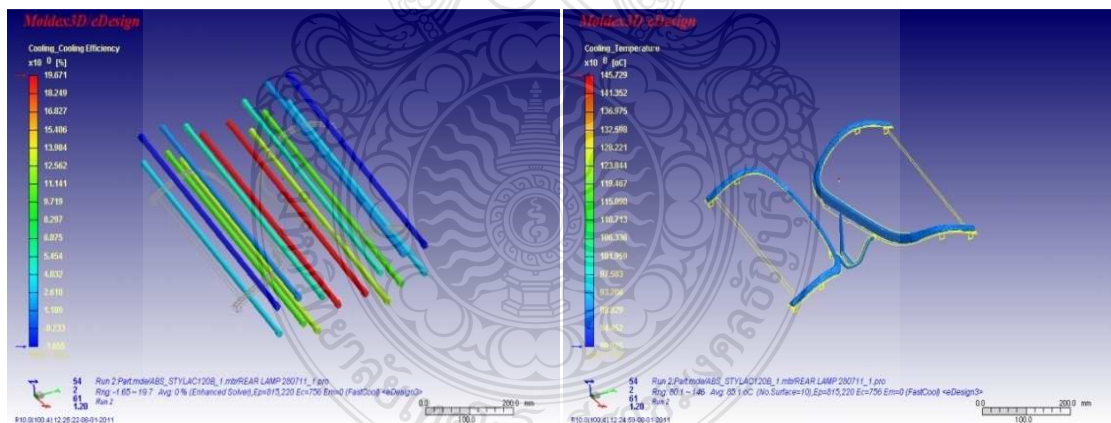
ภาพที่ 3.23 รูปแบบการสร้างแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน 2^{8-4} โดยโปรแกรม Minitab

ตารางที่ 3.10 แผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน 2^{8-4} (2^{8-4} Fractional Factorial Design)

Run Order	Factors								ค่า Y (mm)
	Inj Flow (A)	Inj Pres (B)	SW Over (C)	Packing Time (D)	Packing Pres (E)	Melt Temp (F)	Mold Temp (G)	Cooling Time (H)	
1	50	60	90	4	60	220	60	30	
2	80	60	90	4	60	240	80	60	
3	50	80	90	4	80	220	80	60	
4	80	80	90	4	80	240	60	30	
5	50	60	98	4	80	240	80	30	
6	80	60	98	4	80	220	60	60	
7	50	80	98	4	60	240	60	60	
8	80	80	98	4	60	220	80	30	
9	50	60	90	8	80	240	60	60	
10	80	60	90	8	80	220	80	30	
11	50	80	90	8	60	240	80	30	
12	80	80	90	8	60	220	60	60	
13	50	60	98	8	60	220	80	60	
14	80	60	98	8	60	240	60	30	
15	50	80	98	8	80	220	60	30	
16	80	80	98	8	80	240	80	60	

3.3 การสร้างแบบจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกโดยโปรแกรม Moldex3D

การสร้างรูปแบบและการจำลองระบบ เป็นกระบวนการในการสร้างเงื่อนไขและลักษณะต่างๆของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกชิ้นส่วนตัวอย่างโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองระบบ Moldex3D R11 Designer เช่น ระบบทางวิ่งพลาสติก (Runner System) ระบบหล่อเย็น (Cooling System) ขนาดและระบบการทำงานของแม่พิมพ์ การกำหนดและการแบ่งเอลิเมนต์ของแบบจำลอง เป็นต้น เมื่อได้รูปแบบของระบบจำลองแม่พิมพ์แล้วจะนำข้อมูลที่ได้จากการออกแบบขึ้นต้น เข้า (Import) ประมวลผลโดยโปรแกรม Moldex3D R11 ในขั้นตอนนี้จะทำการกำหนดเงื่อนไขต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการกระบวนการฉีดพลาสติก เช่น การกำหนดวัสดุ (Assign Material) เงื่อนไขของกระบวนการ (Process Condition) การตั้งค่าพารามิเตอร์ (Setup Computation Parameters) เป็นต้น ในการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกนี้ ผู้วิจัยจะใช้วัสดุ ABS เครื่องฉีดพลาสติกขนาด 380 Tf ส่วนเงื่อนไขและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะกำหนดตามรูปแบบการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วนทั้งหมด 16 การทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ หลังจากประมวลผลการจำลองการฉีดโดยโปรแกรม Moldex3D แล้วจะทำการสรุปและวิเคราะห์ข้อมูลค่าการโก่งของชิ้นส่วน (Warpages Analysis) เพื่อนำข้อมูลที่ได้อาวิเคราะห์หือทธิพลของปัจจัยต่างๆ โดยโปรแกรม Minitab ต่อไป แบบจำลองระบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแสดงดังภาพที่ 3.24



ภาพที่ 3.24 แบบจำลองระบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกโดยโปรแกรม Moldex3D

(รายละเอียดการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์การจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกโดยโปรแกรม Moldex3D สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากภาคผนวก)

3.4 การทดลองเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกปัจจัย (Screening Experiment)

ในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยจะในค่า Y (ค่าการโก่งงอเสีรูปร่างของชิ้นส่วน) ที่ได้จากการประมวลผลการจำลองการฉีดพลาสติกโดยโปรแกรม Moldex3D ตามค่าพารามิเตอร์ที่ทำการออกแบบไว้ตามแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Design 2^{8-4}) ที่ทำการออกแบบไว้ในขั้นตอนนี้ก่อนหน้า โดยจะมาข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ตามแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน แล้วทำการคัดกรอง (Screening) ปัจจัยที่ไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติออก ส่วนปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะถูกนำไปเป็นปัจจัยนำเข้าไปในแผนการทดลองอย่างละเอียดในขั้นตอนนี้ต่อไป

3.5 การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัย

การทดลองในขั้นตอนนี้ จะนำปัจจัยที่มีผลกระทบที่ได้จากแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วนในขั้นตอนนี้การทดลองเบื้องต้น (Screening Experiment) มาทำการทดลองด้วยแผนการทดลองที่ละเอียดขึ้น ผู้วิจัย ได้เลือกวิธีการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (CCD) เพื่อทำการทดลองในขั้นตอนนี้ อันเนื่องจากผู้วิจัยประเมินว่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญ มีลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) ซึ่งแผนการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (CCD) มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการศึกษาหรือสร้างตัวแบบในลักษณะของโพลิโนเมียลดีกรี 2 (Second Order or Quadratic Model) (สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากบทที่ 2) จากนั้นผู้วิจัยจะนำแผนการทดลองดังกล่าวมาทำการจำลองกระบวนการฉีดและเก็บข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (RSM) และหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมในขั้นตอนนี้ต่อไป

การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (RSM) และการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization) การประมาณค่าผลตอบที่เหมาะสมของปัจจัยต่อระบบ เป็นการนำข้อมูลค่า Y (ค่าการโก่งงอเสีรูปร่างของชิ้นส่วน) ที่ได้จากกระบวนการจำลองกระบวนการฉีดชิ้นส่วนด้วยโปรแกรม Moldex3D ตามแผนการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (CCD) โดยผลลัพธ์ดังกล่าวจะถูกนำมาประมวลผลด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อประมาณค่าของระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ส่งผลทำให้ค่า Y (ค่าการโก่งงอของชิ้นส่วน) มีค่าน้อยที่สุด โดยใช้เทคนิควิธีพื้นผิวผลตอบ (RSM) และการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization) เมื่อสามารถกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมต่อระบบได้แล้วจึงนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมาทำการทดลองเพื่อยืนยันผลและการเปรียบเทียบผลการทดลองในขั้นตอนนี้ต่อไป

3.6 การยืนยันผลและการเปรียบเทียบผลการทดลอง

กระบวนการทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลองในงานวิจัยนี้ เป็นการเพิ่มระดับความเชื่อมั่นของผลการทดลองในขั้นตอนต่างๆ โดยหลังจากทำการวิเคราะห์เพื่อการประมาณค่าของระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อระบบด้วยวิธีพื้นผิวผลตอบ (RSM) และการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization) จนได้ผลลัพธ์แล้ว จะนำผลลัพธ์ที่ได้ คือ ค่าพารามิเตอร์ของปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้ค่าผลตอบ Y (ค่าการโก่งงอเสียรูปของชิ้นส่วน) ต่ำที่สุดมาทำการทดลองเพื่อยืนยันผลและเปรียบเทียบผลการทดลองดังกล่าว โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การยืนยันผลการทดลองโดยวิธีการจำลองด้วยโปรแกรม Moldex3D

วิธีการนี้เป็นการนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization) ที่ทำให้ค่าผลตอบ Y (ค่าการโก่งงอเสียรูปของชิ้นส่วน) ต่ำที่สุดมาทำการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกด้วยโปรแกรม Moldex3D แล้วเก็บข้อมูลค่าการโก่งงอสูงสุดของชิ้นส่วน (Maximum of Warpages) เพื่อใช้เปรียบเทียบผลการทดลองในขั้นตอนต่อไป

2. การยืนยันผลการทดลองโดยการทดลองฉีดชิ้นส่วนจริง

วิธีการนี้เป็นการนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization) ที่ทำให้ค่าผลตอบ Y (ค่าการโก่งงอเสียรูปของชิ้นส่วน) ต่ำที่สุดมาทำการทดลองฉีดพลาสติก การทดลองนี้จะทดลองโดยใช้แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษาจริง เครื่องฉีดพลาสติกจะเป็นรุ่นขนาดและคุณสมบัติต่างๆ ของเครื่องฉีดเดียวกันกับแบบจำลองในกระบวนการจำลองการฉีด นำชิ้นส่วนที่ได้จากกระบวนการฉีดจริง มาวัดหาค่าการโก่งงอบนแนวตัดการเสียรูป เพื่อนำไปใช้เปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ในขั้นตอนต่อไป

3. การเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างวิธีการจำลองและการทดลองฉีดชิ้นส่วน

วิธีการนี้จะนำค่าการโก่งงอเสียรูปของชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษาที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 วิธีการ กล่าวคือ วิธีการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization) ที่ทำให้ค่าผลตอบ Y (ค่าการโก่งงอเสียรูปของชิ้นส่วน) ต่ำที่สุด วิธีการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกด้วยโปรแกรม Moldex3D และวิธีการทดลองฉีดพลาสติกชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษาโดยแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกจริง มาทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลการทดลองและเพื่อใช้ในการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติในขั้นตอนต่อไป

3.7 การทดสอบสมมุติฐานทางสถิติ

หลังจากทำการทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลองทั้ง 2 ขั้นตอนดังกล่าวแล้ว จะนำค่า Y (ค่าการโค้งงอของชิ้นส่วน) ทั้ง 3 กระบวนการ คือ วิธีการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization) วิธีการจำลอง (Simulation) ด้วยโปรแกรม Moldex3D และการทดลองฉีดพลาสติกด้วยแม่พิมพ์จริง มาทำการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของข้อมูลด้วยหลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยกระบวนการดังกล่าวจะใช้โปรแกรม Minitab ในการประมวลผลและคำนวณหาค่าระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินใจในการยอมรับหรือปฏิเสธสมมุติฐานการวิจัยในครั้งนี้

3.8 การติดตามผลและสรุปผลการทดลอง

ในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการทำการวิจัยในครั้งนี้ ขั้นตอนดังกล่าวจะนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองและผ่านการทดสอบทางสถิติแล้วมาทำการปรับใช้กับกระบวนการผลิตจริงและติดตามเก็บข้อมูลผลการเกิดของเสียที่เกี่ยวข้องกับการเสีรูปร่างของชิ้นส่วน โดยผู้วิจัยจะทำการติดตามผลการผลิตชิ้นส่วนจำนวน 5 แผนการผลิตต่อเนื่องกัน โดยเกณฑ์ในการวิเคราะห์การติดตามผลเพื่อทำการสรุปผลการวิจัยนั้น ผู้วิจัยจะเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ของเสียอันเกิดจากปัญหาการเสีรูปร่างของชิ้นส่วนโดยเฉลี่ยแต่ละแผนการผลิต เทียบกับเกณฑ์ของค่าเปอร์เซ็นต์ของเสียที่โรงงานผู้ผลิตชิ้นส่วนสามารถยอมรับ คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ของเสียที่เกิดจากปัญหาการเสีรูปร่างของชิ้นส่วนไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ของยอดการผลิตชิ้นส่วนทั้งหมดได้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้ กล่าวถึงผลการทดลองต่างๆ ที่ได้จากการดำเนินการตามแผนการทดลองที่กล่าวในบทที่ 3 ซึ่งผลการทดลองต่างๆ สามารถแยกได้เป็น 7 ผลการทดลองหลัก ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์ค่าการโก่งงอเสียรูปของชิ้นส่วนตัวอย่างด้วยโปรแกรม Moldex3D ตามแผนการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน 2^{8-4}
2. ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยในการออกแบบการทดลองเบื้องต้น (Screening Experiment) ตามแผนการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน 2^{8-4} ด้วยโปรแกรม Minitab
3. ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยตามแผนการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (Central Composite Designs; CCD)
4. ผลการวิเคราะห์วิธีพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology) และการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization)
5. ผลการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันและเปรียบเทียบผลการทดลอง
6. ผลการทดสอบระดับความเชื่อมั่นและสมมุติฐานทางสถิติ
7. การติดตามผลการนำผลการทดลองไปปรับใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วน

4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าการโก่งงอเสียรูปของชิ้นส่วนตัวอย่างด้วยโปรแกรม Moldex3D ตามแผนการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน 2^{8-4}

จากการออกแบบแผนการทดลองเบื้องต้น ผู้วิจัยเลือกวิธีการทดลองด้วยแผนการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน 2^{8-4} (2^{8-4} Fractional Factorial Experiment) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยเบื้องต้น ซึ่งวิธีการในการทดลองนั้นจะนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้ออกแบบไว้แล้วตามแผนการทดลองมากำหนดเป็นค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลอง (Simulation) กระบวนการฉีดชิ้นส่วนและวิเคราะห์ผลของการโก่งงอเสียรูปของชิ้นส่วนตัวอย่างด้วยโปรแกรม Moldex3D จากการทดลองจำลองกระบวนการฉีดพลาสติก ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1

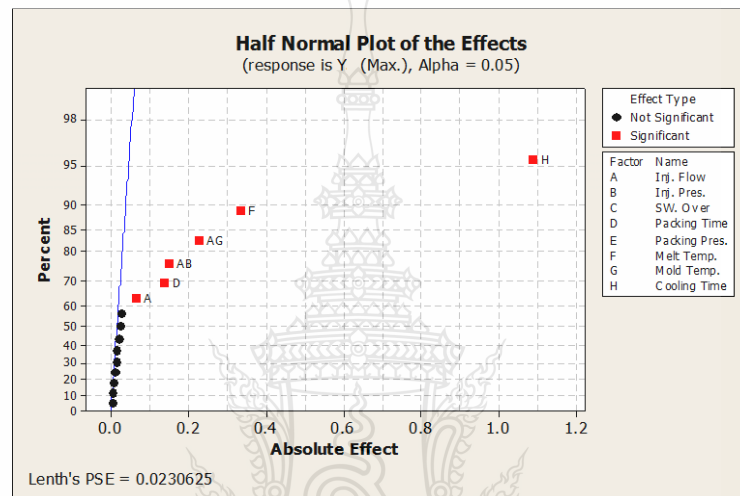
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์การโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วนด้วยโปรแกรม Moldex3D ตามแผนการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน 2^{8-4} (2^{8-4} Fractional Factorial Experiment)

Run Order	ปัจจัย (Factors)								ผลตอบ (Y) (mm)
	Inj Flow (A)	Inj Pres (B)	SW Over (C)	Packing Time (D)	Packing Pres (E)	Melt Temp (F)	Mold Temp (G)	Cooling Time (H)	
1	50	60	90	4	60	220	60	30	5.095
2	80	60	90	4	60	240	80	60	4.258
3	50	80	90	4	80	220	80	60	4.148
4	80	80	90	4	80	240	60	30	5.782
5	50	60	98	4	80	240	80	30	5.728
6	80	60	98	4	80	220	60	60	4.181
7	50	80	98	4	60	240	60	60	4.267
8	80	80	98	4	60	220	80	30	5.208
9	50	60	90	8	80	240	60	60	4.253
10	80	60	90	8	80	220	80	30	4.938
11	50	80	90	8	60	240	80	30	5.365
12	80	80	90	8	60	220	60	60	4.197
13	50	60	98	8	60	220	80	60	4.132
14	80	60	98	8	60	240	60	30	5.485
15	50	80	98	8	80	220	60	30	4.874
16	80	80	98	8	80	240	80	60	4.319

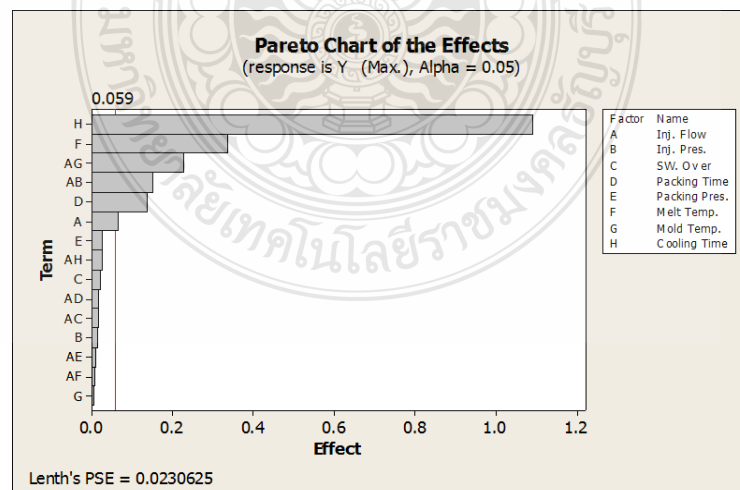
จากตารางการวิเคราะห์การโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วนตามแผนการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน 2^{8-4} พบว่า ได้ค่าการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วนต่ำที่สุดเท่ากับ 4.132 มิลลิเมตร ในการทดลองที่ 13 (Run Order 13) และได้ค่าการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วนสูงที่สุดเท่ากับ 5.782 มิลลิเมตร ในการทดลองที่ 4 (Run Order 4) ทั้งนี้ผลการทดลองดังกล่าวยังไม่สามารถวิเคราะห์ผลได้อย่างละเอียดเพราะไม่สามารถแยกอิทธิพลของปัจจัยได้โดยตรง ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบการทดลองเบื้องต้นมาทำการวิเคราะห์ระดับอิทธิพลของแต่ละปัจจัย โดยใช้โปรแกรม Minitab ในขั้นตอนต่อไป

4.2 ผลการวิเคราะห์หือทธิพลของปัจจัยในการออกแบบการทดลองเบื้องต้น (Screening Experiment) ตามแผนการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน 2^{8-4} ด้วยโปรแกรม Minitab

จากผลการจำลอง (Simulation) กระบวนการฉีดขึ้นส่วนด้วยโปรแกรม Moldex3D โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการออกแบบการทดลองตามแผนการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วนแบบ 2^{8-4} เมื่อนำผลการทดลองมาทำการวิเคราะห์หือทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อค่า Y (ค่าการโก่งงอเสียรูปของขึ้นส่วน) ด้วยโปรแกรม Minitab ผลที่ได้ดังภาพที่ 4.1 และ 4.2



ภาพที่ 4.1 Half Normal Plot วิเคราะห์ผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Y (ค่าการโก่งงอสูงสุด) โดยโปรแกรม Minitab ตามแผนการทดลองเบื้องต้น



ภาพที่ 4.2 Pareto Chart วิเคราะห์ผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Y (ค่าการโก่งงอสูงสุด) โดยโปรแกรม Minitab ตามแผนการทดลองเบื้องต้น

จากข้อมูล Half Normal Plot และ Pareto Chart เมื่อพิจารณาที่ผลกระทบของปัจจัยหลัก (Main Effects) พบว่า ปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อค่า Y (ค่าการโค้งงอสูงสุดของชิ้นส่วน) มีทั้งหมด 4 ปัจจัย คือ

1. อัตราการฉีด (Injection Flow; A)
2. เวลาการฉีดเข้า (Packing Time; D)
3. อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก (Melt Temp; F)
4. เวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time; H)

และเมื่อพิจารณาที่ผลกระทบของปัจจัยร่วม (Interaction Effects) พบว่า ผลกระทบของปัจจัยร่วมที่มีนัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อค่า Y (ค่าการโค้งงอสูงสุดของชิ้นส่วน) มีทั้งหมด 2 คู่ปัจจัย คือ

1. อัตราการฉีด (Injection Flow; A) ร่วมกับอุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temp; G)
2. อัตราการฉีด (Injection Flow; A) ร่วมกับแรงดันฉีด (Injection Pres; B)

ทั้งนี้ผลกระทบของปัจจัยร่วม (Interaction Effects) ดังกล่าว จะยังไม่สามารถบ่งชี้ได้โดยตรงว่าเป็นผลของปัจจัยใด (สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากบทที่ 2) ซึ่งต้องพิจารณาร่วมกับข้อมูลการวิเคราะห์โครงสร้างซ้ำซ้อน (Alias Structure) ของแผนการทดลองและข้อมูลใน Interaction Plot ที่จะกล่าวถึงในขั้นตอนต่อไป

ในการวิเคราะห์ผลอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction Effects) เนื่องจากแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน (2^{8-4} Fractional Factorial) แบบ 16 การทดลอง (16 Run Order) ที่ใช้ในการทดลองนี้มีลักษณะรูปแบบโครงสร้างซ้ำซ้อน Resolution 4 (IV) ซึ่งหมายความว่าอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่สามารถตรวจพบได้จากผลการวิเคราะห์ค่า Y ในแผนการทดลองนี้จะเป็นอิทธิพลร่วมที่มีโครงสร้างซ้ำซ้อน (Alias Structure) แบบ 2 ปัจจัยร่วมคู่กับอีก 2 ปัจจัยร่วม ซึ่งในทางทฤษฎีแล้วจะถือได้ว่ามีอิทธิพลต่อค่า Y น้อยมาก โดยสามารถตัดผลกระทบนี้ออกจากการวิเคราะห์ผลการทดลองได้ (สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากบทที่ 2) ข้อมูลการวิเคราะห์โครงสร้างซ้ำซ้อน (Alias Structure) ของแผนการทดลอง แสดงดังภาพที่ 4.3

Fractional Factorial Design			
Factors:	8	Base Design:	8, 16
Resolution:	IV	Replicates:	1
Runs:	16	Center pts (total):	0
Blocks:	1	Fraction:	1/16

Design Generators: E = BCD, F = ACD, G = ABC, H = ABD

Alias Structure (up to order 4)

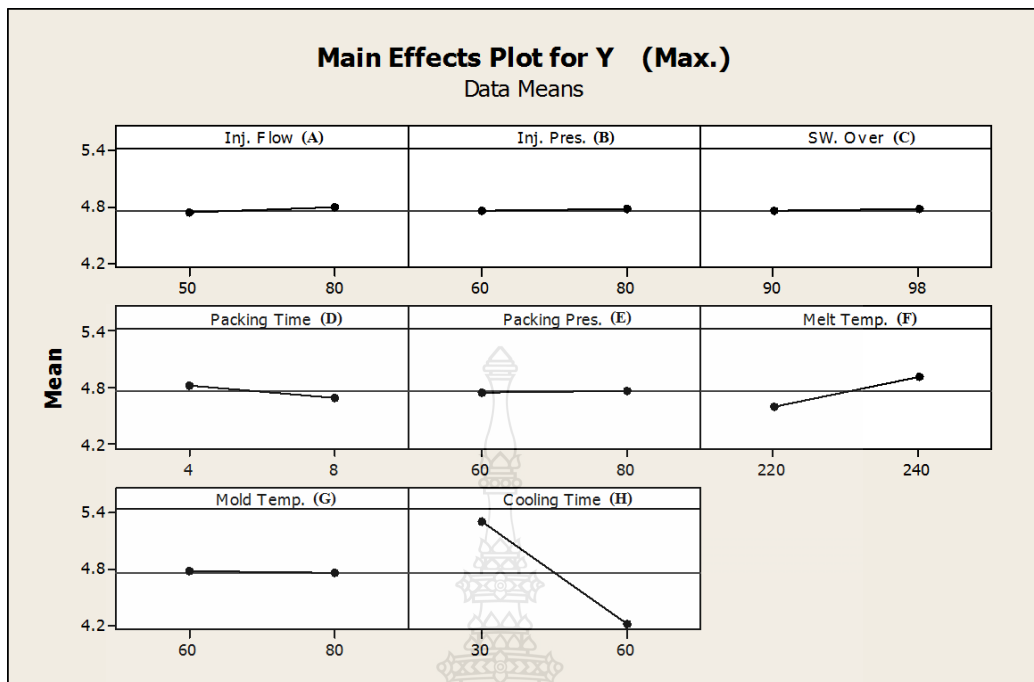
I + ABCG + ABDH + ABEF + ACDF + ACEH + ADEG + AFGH + BCDE + BCFH + BDFG + BEGH + CDGH + CEFG + DEFH

A + BCG + BDH + BEF + CDF + CEH + DEG + FGH
 B + ACG + ADH + AEF + CDE + CFH + DFG + EGH
 C + ABG + ADF + AEH + BDE + BFH + DGH + EFG
 D + ABH + ACF + AEG + BCE + BFG + CGH + EFH
 E + ABF + ACH + ADG + BCD + BGH + CFG + DFH
 F + ABE + ACD + AGH + BCH + BDG + CEG + DEH
 G + ABC + ADE + AFH + BDF + BEH + CDH + CEF
 H + ABD + ACE + AFG + BCF + BEG + CDG + DEF

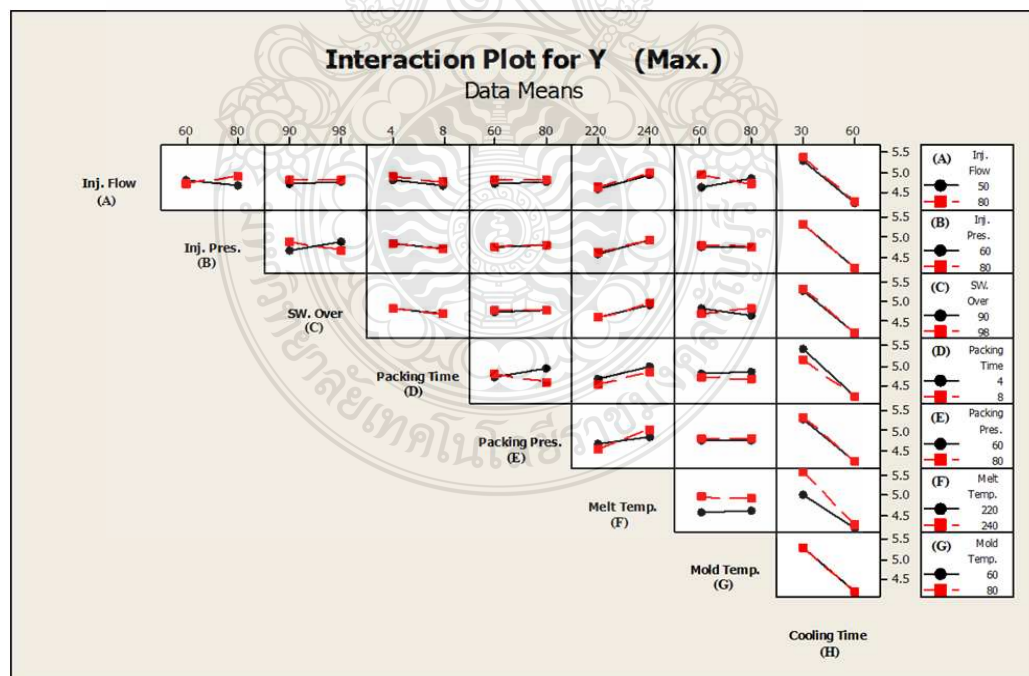
AB + CG + DH + EF + ACDE + ACFH + ADFG + AEGH + BCDF + BCEH + BDEG + BFGH
 AC + BG + DF + EH + ABDE + ABFH + ADGH + AEFH + BCDH + BCEF + CDEG + CFGH
 AD + BH + CF + EG + ABCE + ABFG + ACGH + AEFH + BCDG + BDEF + CDEH + DFGH
 AE + BF + CH + DG + ABCD + ABGH + ACFG + ADFH + BCEG + BDEH + CDEF + EFGH
 AF + BE + CD + GH + ABCH + ABDG + ACEG + ADEH + BCFG + BDFH + CEFH + DEFG

ภาพที่ 4.3 รูปแบบโครงสร้างซ้ำซ้อนของ Main Effects และ Interaction Effects

อย่างไรก็ตามการทดลองนี้จำเป็นที่จะต้องทำการวิเคราะห์ผลของอิทธิพลของปัจจัยร่วมเหล่านี้ เพื่อใช้ในการควบคุมและกำหนดระดับของค่าพารามิเตอร์ของปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญต่างๆ ที่เหลือ ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม เพื่อทำการทดลองวิเคราะห์ผลของอิทธิพลของปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่า Y (ค่าการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วน) อย่างละเอียดในขั้นตอนต่อไป ผู้วิจัย จึงใช้ข้อมูล Main Effects Plot และ Interaction Plot ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้น มาใช้ในการกำหนดเพื่อควบคุมค่าพารามิเตอร์ของปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญต่อค่า Y ทั้ง 4 ปัจจัย และกำหนดในส่วนของค่าพารามิเตอร์ของปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่า Y อีก 4 ปัจจัย ข้อมูล Main Effects Plot และ Interaction Plot แสดงดังภาพที่ 4.4 และ 4.5



ภาพที่ 4.4 Main Effects Plot วิเคราะห์ผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Y (ค่าการ โกงงอสูงสุด) โดยโปรแกรม Minitab ตามแผนการทดลองเบื้องต้น



ภาพที่ 4.5 Interaction Plot เพื่อใช้วิเคราะห์ผลของปัจจัยร่วมที่มีอิทธิพลต่อค่า Y (ค่าการ โกงงอสูงสุด) โดยโปรแกรม Minitab ตามแผนการทดลองเบื้องต้น

จากข้อมูล Main Effects Plot และ Interaction Plot ซึ่งผู้วิจัยจะนำไปใช้เป็นเกณฑ์กำหนดค่าพารามิเตอร์ของแต่ละปัจจัย ทั้งปัจจัยที่มีนัยสำคัญและปัจจัยไม่มีนัยสำคัญต่อค่า Y (ค่าการโก่งงอเสีรูปร่างของชิ้นส่วน) เพื่อใช้ควบคุมค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการทดลองเพื่อวิเคราะห์ระดับของอิทธิพลอย่างละเอียด โดยใช้แผนการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (CCD) ในขั้นตอนต่อไป ข้อมูลระดับค่าพารามิเตอร์ของปัจจัยที่ส่งผลให้ค่า Y มีค่าต่ำสุดจากการวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้น แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ของปัจจัยที่มีนัยสำคัญและปัจจัยไม่มีนัยสำคัญที่มีผลต่อค่า Y (ค่าการโก่งงอสูงสุด) ตามแผนการทดลองเบื้องต้น

รายละเอียด	ปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่า Y				ปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญต่อค่า Y			
ปัจจัยที่ทำการทดลองเบื้องต้น	Inj Flow	Packing Time	Melt Temp	Cooling Time	Injection Pres	SW Over	Packing Pres	Mold Temp
สัญลักษณ์ของปัจจัย	A	D	F	H	B	C	E	G
ค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลให้ค่า Y ต่ำสุด เมื่อพิจารณาจาก Main Effects และ Interaction Effects	50 %	8 Sec	220 °C	60 Sec	60 %	90 %	60 %	80 °C

4.3 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยโดยแผนการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (Central Composite Designs; CCD)

จากการศึกษาผลการทดลองเบื้องต้น สามารถคัดเลือกปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการโก่งงอเสีรูปร่างของชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษาอย่างมีนัยสำคัญเหลือเพียง 4 ปัจจัย ผู้วิจัยจึงนำปัจจัยที่มีอิทธิพลทั้ง 4 ปัจจัย มาทำการวิเคราะห์ระดับอิทธิพลอย่างละเอียด เพื่อลดความคาดเคลื่อนของผลลัพธ์จากผลการทดลองเบื้องต้น ด้วยแผนการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (CCD) เนื่องจากผลการวิเคราะห์เบื้องต้น มีลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) ซึ่งแผนการทดลองแบบส่วนผสมกลาง มีข้อดีคือสามารถวิเคราะห์ลักษณะกำลังสอง (Second Order) ได้ดีที่สุดและนอกจากนี้แผนการทดลองดังกล่าว จะไม่ทำการทดลองทุกจุด Corner Point เหมือนการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล จึงทำให้สะดวกในการทำการทดลองรวมถึงประหยัดต้นทุนและเวลาในการทดลอง แต่ยังสามารถวิเคราะห์ผลของอิทธิพลของปัจจัยอย่างละเอียดได้ (สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากบทที่ 2) จากข้อมูลข้างต้น สามารถกำหนดระดับของปัจจัยในการทดลองตามแผนการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (CCD) ได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การกำหนดระดับของปัจจัยในการทดลองตามแผนการทดลองแบบส่วนผสมกลาง

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย					หน่วย
		$-\alpha$	-1	0	1	α	
1. อัตราความเร็วฉีด (Injection Flow Rate)	A	35	50	65	80	95	%
2. เวลาในการฉีด (Packing Time)	D	2	4	6	8	10	Sec
3. อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก (Melting Temp)	F	210	220	230	240	250	$^{\circ}\text{C}$
4. เวลาหล่อเย็น (Cooling Time)	H	15	30	45	60	75	Sec

เมื่อกำหนดให้

จุด $-\alpha$ และ α คือ การทดลองที่จุดในแนวแกน (Axial Point) ของการออกแบบการทดลอง

จุด -1 และ 1 คือ การออกแบบ 2^k แฟกทอเรียล

จุด 0 คือ การทดลองที่จุดศูนย์กลาง (Center Point) ของการออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบแผนการทดลองแบบส่วนผสมกลาง เนื่องจากมีปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้งหมด 4 ปัจจัย และวิธีออกแบบการทดลองตามแผนการทดลองนี้ต้องเพิ่มการทดลองที่จุดศูนย์กลาง (Central Composite) ดังนั้น แผนการทดลองจึงมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 31 การทดลอง (31 Run Order) ซึ่งในการทดลองดังกล่าวจะทำการควบคุมปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญต่อค่า Y ตามค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 4.2 รูปแบบแผนการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง แสดงดังตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 รูปแบบของแผนการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง 31 Run Order

Run Order	ระดับปัจจัย			
	อัตราการฉีด (Injection Flow Rate)	เวลาในการฉีด (Packing Time)	อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก (Melting Temp)	เวลาหล่อเย็น (Cooling Time)
	(A)	(D)	(F)	(H)
1	-1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1	-1
3	-1	1	-1	-1
4	1	1	-1	-1
5	-1	-1	1	-1
6	1	-1	1	-1
7	-1	1	1	-1
8	1	1	1	-1
9	-1	-1	-1	1
10	1	-1	-1	1
11	-1	1	-1	1
12	1	1	-1	1
13	-1	-1	1	1
14	1	-1	1	1
15	-1	1	1	1
16	1	1	1	1
17	$-\alpha$	0	0	0
18	α	0	0	0
19	0	$-\alpha$	0	0
20	0	α	0	0
21	0	0	$-\alpha$	0
22	0	0	α	0
23	0	0	0	$-\alpha$
24	0	0	0	α
25	0	0	0	0
26	0	0	0	0
27	0	0	0	0
28	0	0	0	0
29	0	0	0	0
30	0	0	0	0
31	0	0	0	0

ตารางที่ 4.5 แผนการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง 31 Run Order

Run Order	ปัจจัย (Factors)				ผลตอบ (ค่า Y) (mm)
	อัตราการฉีด (Injection Flow Rate) (A)	เวลาในการฉีด (Packing Time) (D)	อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก (Melting Temp) (F)	เวลาหล่อเย็น (Cooling Time) (H)	
1	50	4	220	30	
2	80	4	220	30	
3	50	8	220	30	
4	80	8	220	30	
5	50	4	240	30	
6	80	4	240	30	
7	50	8	240	30	
8	80	8	240	30	
9	50	4	220	60	
10	80	4	220	60	
11	50	8	220	60	
12	80	8	220	60	
13	50	4	240	60	
14	80	4	240	60	
15	50	8	240	60	
16	80	8	240	60	
17	35	6	230	45	
18	95	6	230	45	
19	65	2	230	45	
20	65	10	230	45	
21	65	6	210	45	
22	65	6	250	45	
23	65	6	230	15	
24	65	6	230	75	
25	65	6	230	45	
26	65	6	230	45	
27	65	6	230	45	
28	65	6	230	45	
29	65	6	230	45	
30	65	6	230	45	
31	65	6	230	45	

จากแผนการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง 31 Run Order เมื่อผู้วิจัยนำเงื่อนไขการทดลองต่างๆ ไปทำการจำลองกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกและวิเคราะห์ค่าการโก่งงอเสียรูปของชิ้นส่วนด้วยโปรแกรม Moldex3D อีกครั้ง แล้วทำการบันทึกข้อมูลค่าการโก่งงอเสียรูป ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกขึ้นรูปตัวอย่าง

โดยโปรแกรม Moldex3D ตามแผนการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (CCD)

Run Order	ปัจจัย (Factors)				ผลตอบ (ค่า Y) (mm)
	อัตราการฉีด (Injection Flow Rate) (A)	เวลาในการฉีด (Packing Time) (D)	อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก (Melting Temp) (F)	เวลาหล่อเย็น (Cooling Time) (H)	
1	50	4	220	30	5.095
2	80	4	220	30	5.208
3	50	8	220	30	4.874
4	80	8	220	30	4.938
5	50	4	240	30	5.728
6	80	4	240	30	5.782
7	50	8	240	30	5.365
8	80	8	240	30	5.485
9	50	4	220	60	4.148
10	80	4	220	60	4.181
11	50	8	220	60	4.132
12	80	8	220	60	4.197
13	50	4	240	60	4.267
14	80	4	240	60	4.258
15	50	8	240	60	4.253
16	80	8	240	60	4.319
17	35	6	230	45	4.138
18	95	6	230	45	4.269
19	65	2	230	45	4.545
20	65	10	230	45	4.153
21	65	6	210	45	4.936
22	65	6	250	45	4.669
23	65	6	230	15	6.232
24	65	6	230	75	4.282

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนตัวอย่าง

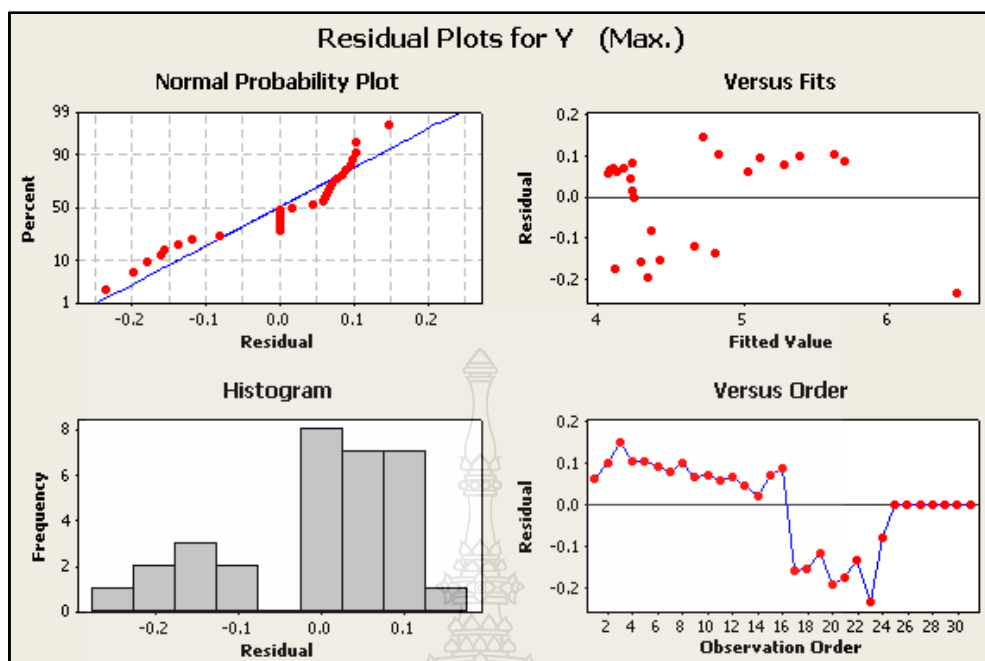
โดยโปรแกรม Moldex3D ตามแผนการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (CCD) (ต่อ)

Run Order	ปัจจัย (Factors)				ผลตอบ (ค่า Y) (mm)
	อัตราการฉีด (Injection Flow Rate) (A)	เวลาในการฉีด (Packing Time) (D)	อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก (Melting Temp) (F)	เวลาหล่อเย็น (Cooling Time) (H)	
25	65	6	230	45	4.248
26	65	6	230	45	4.248
27	65	6	230	45	4.248
28	65	6	230	45	4.248
29	65	6	230	45	4.248
30	65	6	230	45	4.248
31	65	6	230	45	4.248

จากตารางการวิเคราะห์การโค้งงอเสี้ยวรูปของชิ้นส่วนตามแผนการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (CCD) พบว่า ได้ค่าการโค้งงอเสี้ยวรูปของชิ้นส่วนต่ำสุดเท่ากับ 4.132 มิลลิเมตรในการทดลองที่ 11 (Run Order 11) และได้ค่าการโค้งงอเสี้ยวรูปของชิ้นส่วนสูงสุดเท่ากับ 6.232 มิลลิเมตรในการทดลองที่ 23 (Run Order 23) ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ระดับอิทธิพลของแต่ละปัจจัยอย่างละเอียด โดยวิธีพื้นผิวผลตอบ (RSM) ด้วยโปรแกรม Minitab ในขั้นตอนต่อไป

4.4 ผลการวิเคราะห์โดยวิธีการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology) และการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization)

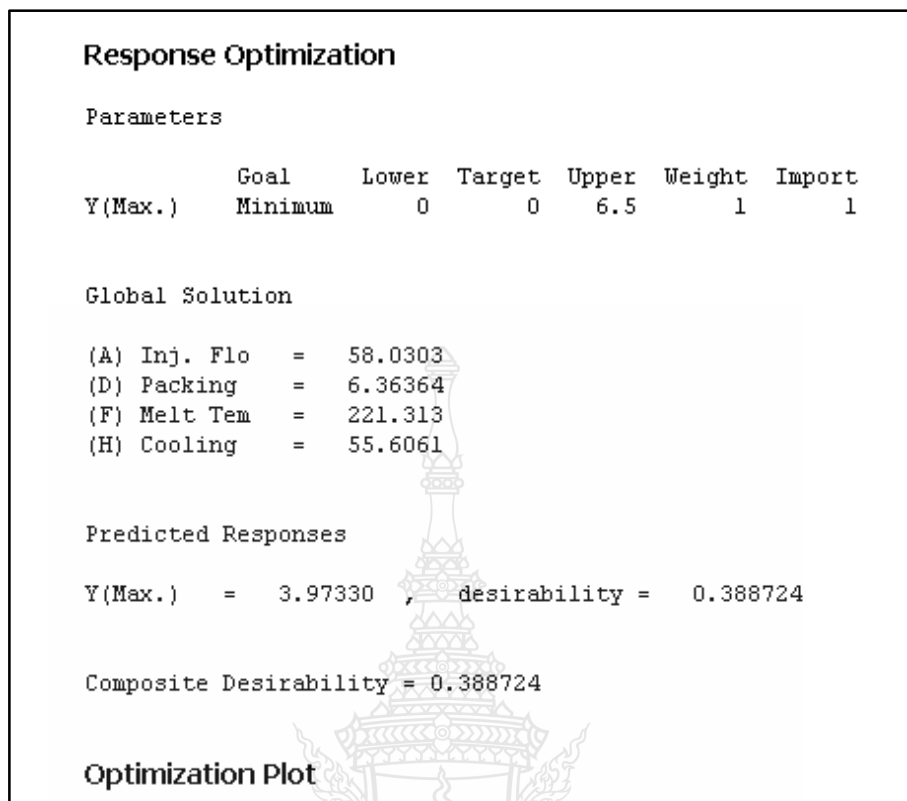
จากข้อมูลผลการทดลองตามแผนการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (CCD) ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลโดยวิธีการพื้นผิวผลตอบ (RSM) และวิธีวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization) ที่ทำให้ค่า Y มีค่าต่ำที่สุดที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% ($\alpha = 0.05$) ผลลัพธ์ที่ได้ แสดงดังภาพที่ 4.6 ภาพที่ 4.7 และภาพที่ 4.8



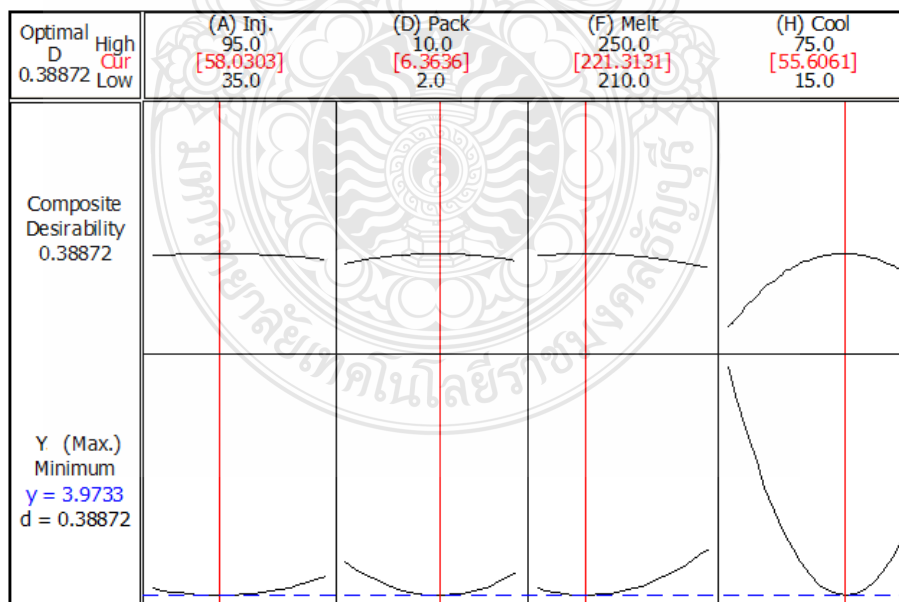
ภาพที่ 4.6 Residual Plots ของค่าผลตอบ (ค่า Y) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization)

จากข้อมูลในภาพที่ 4.6 สามารถวิเคราะห์รูปแบบความพอเพียงของข้อมูลได้ดังนี้

1. ข้อมูลจากกราฟ Normal Probability Plot ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรงแสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ
2. ข้อมูลจากแผนภูมิ Histogram ที่สามารถลากเส้นโค้งที่มีลักษณะใกล้เคียงกับ Normal Curve แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ
3. ข้อมูลจากกราฟ Versus Fitted Value ซึ่งมีลักษณะการเรียงตัวที่ไม่แน่นอนและกระจายกระจาย แสดงว่าข้อมูลเป็นแบบสุ่มและแต่ละกลุ่มมีความแปรปรวนเท่าๆ กัน
4. ข้อมูลจากกราฟ Versus Order ที่มีลักษณะการกระจายทั้งด้านบนและด้านล่างที่เท่าๆ กันและไม่อยู่ในด้านใดด้านหนึ่ง แสดงว่าข้อมูลแต่ละกลุ่มเป็นอิสระต่อกัน



ภาพที่ 4.7 ข้อมูลการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization)



ภาพที่ 4.8 ผลตอบที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ค่า Y (ค่าการ โกงงอเสีรูปของชิ้นส่วน) ต่ำที่สุด ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha = 0.05$)

จากการวิเคราะห์ผล โดยวิธีการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสมเพื่อหาพารามิเตอร์ของปัจจัยที่ส่งผลให้ค่า Y ต่ำที่สุด คือ เท่ากับ 3.97 มิลลิเมตร เมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ของปัจจัยที่มีนัยสำคัญ 4 ปัจจัยดังนี้คือ

1. กำหนดให้อัตราการฉีด (Injection Flow; A) เท่ากับ 58 เปอร์เซ็นต์
2. กำหนดให้เวลาการฉีดเข้า (Packing Time; D) เท่ากับ 6.3 วินาที
3. กำหนดให้อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก (Melt Temp; F) เท่ากับ 221 องศาเซลเซียส
4. กำหนดให้เวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time; H) เท่ากับ 55 วินาที

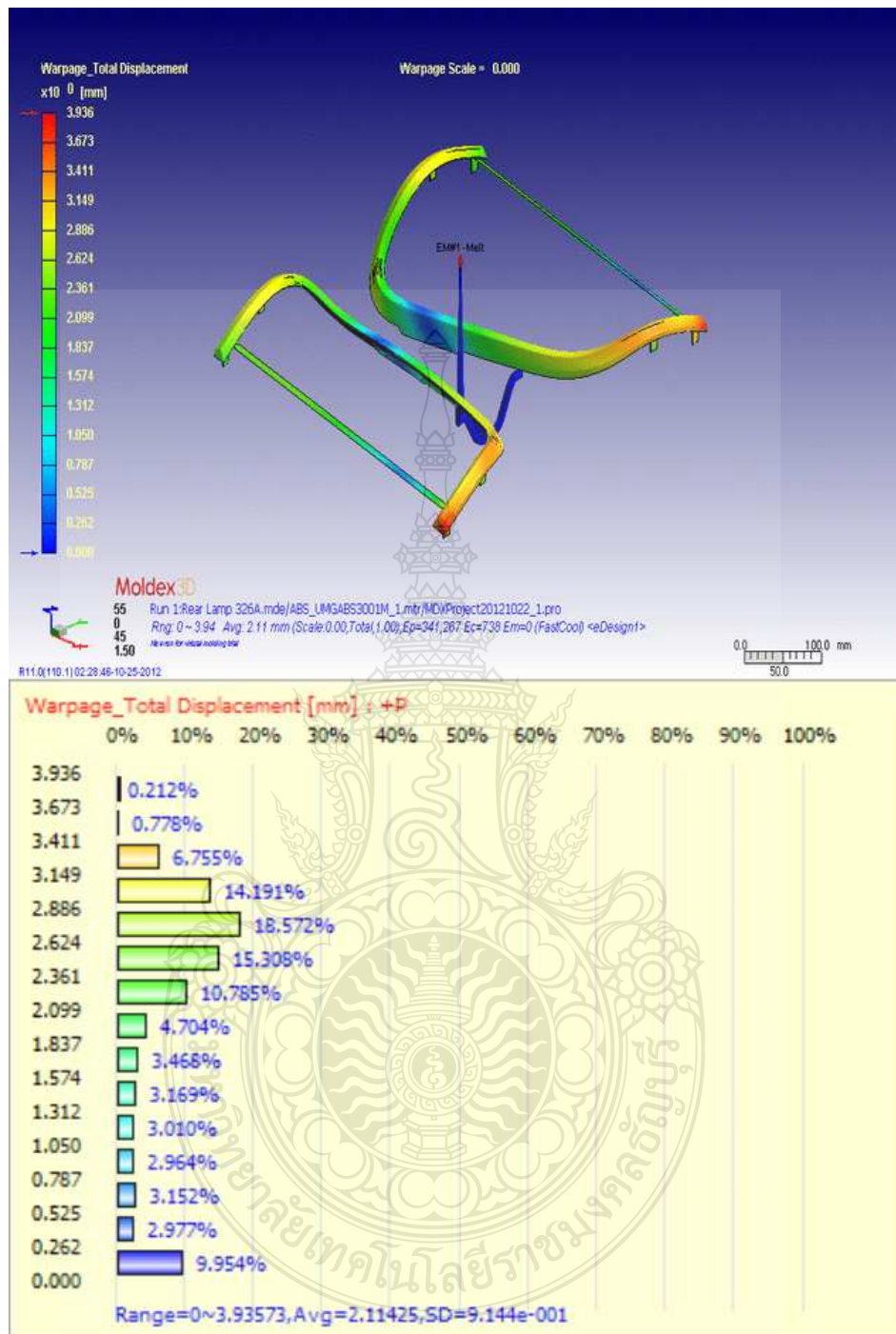
ส่วนปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญอีก 4 ปัจจัย ให้กำหนดค่าพารามิเตอร์ดังนี้คือ

1. กำหนดให้แรงดันฉีด (Injection Pressure; B) เท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์
2. กำหนดให้ระยะเปลี่ยนการฉีดเป็นฉีดเข้า (Switching Over; C) เท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์
3. กำหนดให้แรงดันฉีดเข้า (Packing Pressure; E) เท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์
4. กำหนดให้อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temp; G) เท่ากับ 80 องศาเซลเซียส

4.5 ผลการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันและเปรียบเทียบผลการทดลอง

4.5.1 ผลการทดลองโดยวิธีการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกด้วยโปรแกรม Moldex3D

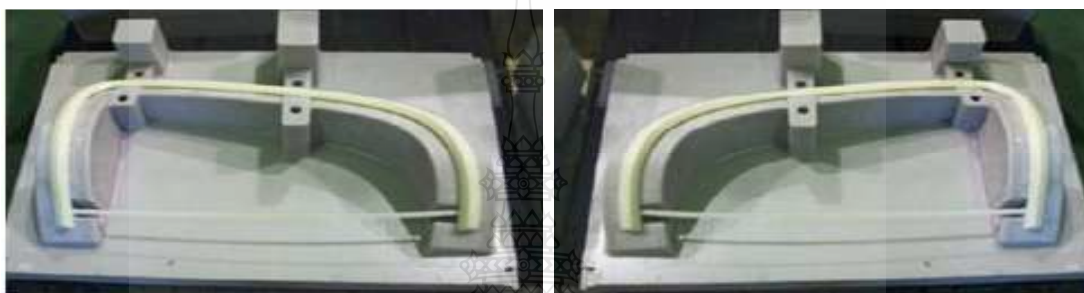
การทดลองโดยนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization) ที่ทำให้ค่าผลตอบต่ำสุด มาทำการจำลองกระบวนการฉีดขึ้นส่วนโดยโปรแกรม Moldex3D พบว่า ที่บริเวณส่วนปลายด้านบนของชิ้นส่วนทั้งข้างขวา (RH) และชิ้นส่วนข้างซ้าย (LH) เมื่อวิเคราะห์จากแถบสีที่เป็นสีแดงซึ่งหมายความว่ามีการโก่งงอเสียรูปของชิ้นส่วนมากที่สุด โดยได้ค่าการโก่งงอเสียรูปสูงสุด (Maximum of Warpages) เท่ากับ 3.93 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 4.9



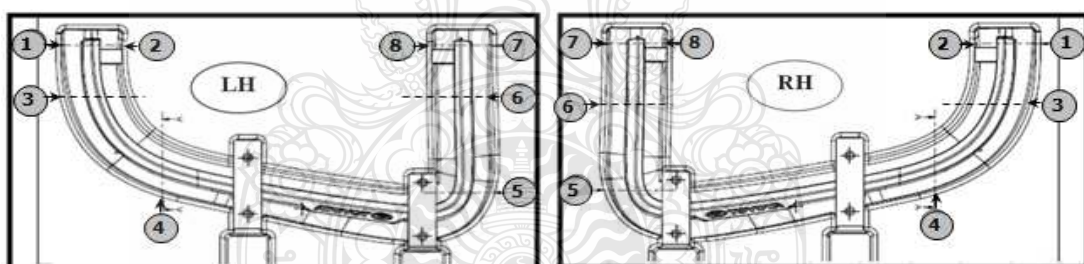
ภาพที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์การโก่งงอเสียรูปด้วยโปรแกรม Moldex3D ภายใต้อาณาเขตที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม

4.5.2 ผลการทดลองโดยการทดลองฉีดขึ้นส่วนจริง

ในการทดลองด้วยกระบวนการฉีดขึ้นส่วนจริงโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization) ผู้วิจัย จะทำการเก็บข้อมูลค่าการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วนตัวอย่างบนเกจวัดค่าการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วน ดังภาพที่ 4.10 โดยมีตำแหน่งหรือจุดวัดค่าการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วนตัวอย่าง ดังภาพที่ 4.11 ส่วนข้อมูลค่าการโค้งงอเสียรูปในกระบวนการทดลองฉีดพลาสติกชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษา แสดงในตารางที่ 4.7 และ 4.8



ภาพที่ 4.10 ลักษณะชิ้นส่วนและการวัดค่าการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วนบนเกจวัดค่าการโค้งงอ



ภาพที่ 4.11 ตำแหน่งการวัดค่าการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วนบนเกจวัดค่าการโค้งงอ



ภาพที่ 4.12 การทดลองฉีดพลาสติกชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษา

ตารางที่ 4.7 ค่าการโก่งงอของชิ้นส่วนข้างขวา (RH Side) ที่วัดได้จากกระบวนการฉีดจริงภายใต้เงื่อนไขปัจจัยที่เหมาะสม จำนวน 10 ชิ้น

ชิ้นส่วน ตัวอย่าง	ค่าการเสีรูปของชิ้นส่วนข้างขวา (มม.)							
	ตำแหน่ง P1	ตำแหน่ง P2	ตำแหน่ง P3	ตำแหน่ง P4	ตำแหน่ง P5	ตำแหน่ง P6	ตำแหน่ง P7	ตำแหน่ง P8
No. 1	3.9	3.9	3.6	3.2	2.6	3.0	2.8	2.8
No. 2	4.1	4.2	3.5	3.1	2.8	2.9	2.6	2.6
No. 3	4.2	4.1	3.6	3.2	2.8	3.2	2.9	2.9
No. 4	4.1	4.1	3.8	3.4	2.6	3.0	3.0	3.0
No. 5	3.9	4.0	3.7	3.3	2.8	3.3	2.8	2.8
No. 6	4.1	4.1	3.8	3.3	2.7	2.9	2.7	2.7
No. 7	4.0	4.1	3.6	3.2	2.6	3.1	2.9	2.9
No. 8	4.1	4.1	3.8	3.3	2.7	3.0	2.8	2.8
No. 9	4.1	4.0	3.5	3.4	2.8	3.0	2.8	2.8
No. 10	4.1	4.2	3.7	3.2	2.6	3.3	3.0	3.0
Average	4.06	4.08	3.66	3.26	2.70	3.07	2.83	2.83

ตารางที่ 4.8 ค่าการโก่งงอของชิ้นส่วนข้างซ้าย (LH Side) ที่วัดได้จากกระบวนการฉีดจริงภายใต้เงื่อนไขปัจจัยที่เหมาะสม จำนวน 10 ชิ้น

ชิ้นส่วน ตัวอย่าง	ค่าการเสีรูปของชิ้นส่วนข้างซ้าย (มม.)							
	ตำแหน่ง P1	ตำแหน่ง P2	ตำแหน่ง P3	ตำแหน่ง P4	ตำแหน่ง P5	ตำแหน่ง P6	ตำแหน่ง P7	ตำแหน่ง P8
No. 1	3.9	3.9	3.8	3.1	2.8	2.9	2.9	2.9
No. 2	4.1	3.9	3.6	3.2	2.6	2.8	2.7	2.7
No. 3	4.2	4.2	3.6	3.2	2.7	3.0	2.8	2.8
No. 4	4.1	4.1	3.7	3.3	2.6	3.1	2.8	2.8
No. 5	4.1	4.1	3.8	3.4	2.7	2.9	2.9	2.9
No. 6	4.2	4.2	3.7	3.3	2.8	3.2	3.0	3.0
No. 7	4.1	4.1	3.8	3.1	2.7	3.1	3.0	3.0
No. 8	4.0	4.3	3.6	3.3	2.9	3.1	2.9	2.9
No. 9	4.0	4.0	3.7	3.2	2.6	3.2	2.7	2.7
No. 10	4.2	4.1	3.8	3.1	2.5	2.9	2.9	2.9
Average	4.09	4.09	3.71	3.22	2.69	3.02	2.86	2.86

จากข้อมูลในตารางที่ 4.7 และ 4.8 พบว่า ชิ้นส่วนตัวอย่างข้างขวา (RH) และชิ้นส่วนตัวอย่างข้างซ้าย (LH) มีการโค้งงอเสียรูปที่จุดวัด P1 และจุดวัด P2 มากที่สุดซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งหรือบริเวณที่ชิ้นส่วนตัวอย่างมีค่าการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วนมากที่สุดที่ได้จากการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนตัวอย่างโดยโปรแกรม Moldex3D ดังภาพที่ 4.9 ดังนั้น ผู้วิจัยจึงนำค่าการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วนตัวอย่างในจุดวัด P1 และจุดวัด P2 มาทำการวิเคราะห์เพื่อใช้ในการทดสอบระดับความเชื่อมั่นและสมมุติฐานทางสถิติในขั้นตอนต่อไป ข้อมูลค่าการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วนตัวอย่างจากการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.9

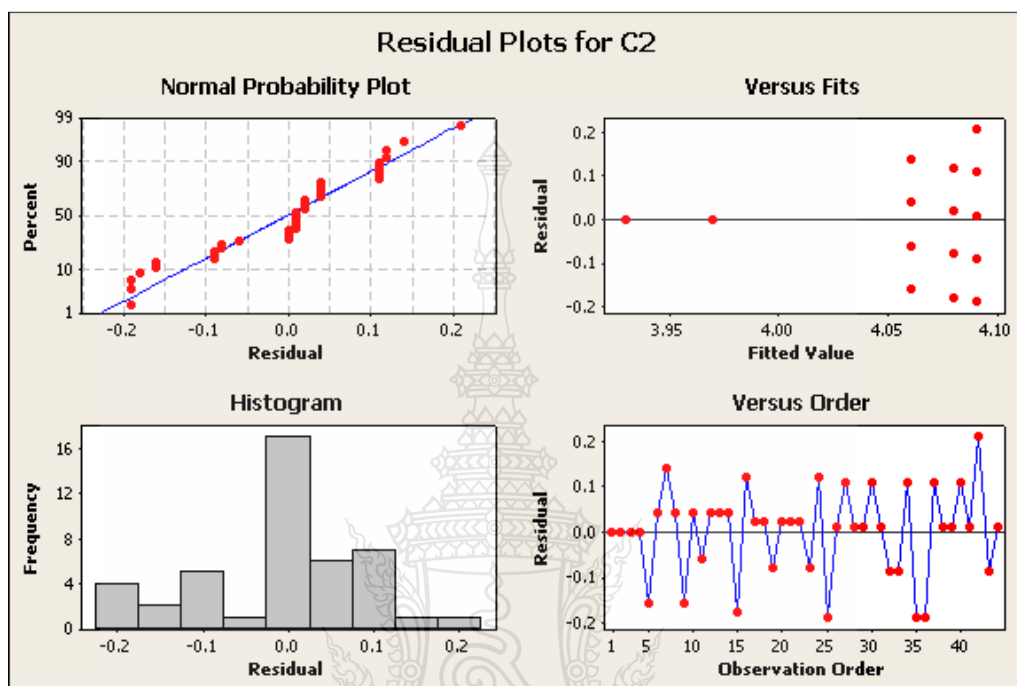
ตารางที่ 4.9 ค่าการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วนตัวอย่างที่นำไปใช้ในการทดสอบระดับความเชื่อมั่นและสมมุติฐานทางสถิติ

ตัวอย่าง	ค่าการโค้งงอเสียรูป จากกระบวนการทดลองฉีดชิ้นส่วนจริง (มม.)				ค่าการโค้งงอเสียรูป จากวิธีวิเคราะห์ผลตอบ ที่เหมาะสม (Response Optimization) (มม.)	ค่าการโค้งงอเสียรูป จากวิธีการจำลอง กระบวนการฉีดพลาสติก (โปรแกรม Moldex3D) (มม.)
	ชิ้นส่วนข้างขวา (RH)		ชิ้นส่วนข้างซ้าย (LH)			
	P1	P2	P1	P2		
No. 1	3.9	3.9	3.9	3.9	3.97	3.93
No. 2	4.1	4.2	4.1	3.9	-	-
No. 3	4.2	4.1	4.2	4.2	-	-
No. 4	4.1	4.1	4.1	4.1	-	-
No. 5	3.9	4.0	4.1	4.1	-	-
No. 6	4.1	4.1	4.2	4.2	-	-
No. 7	4.0	4.1	4.1	4.1	-	-
No. 8	4.1	4.1	4.0	4.3	-	-
No. 9	4.1	4.0	4.0	4.0	-	-
No. 10	4.1	4.2	4.2	4.1	-	-

4.6 ผลการทดสอบระดับความเชื่อมั่นและสมมุติฐานทางสถิติ

จากการยืนยันผลการทดลองโดยนำค่าพารามิเตอร์ที่ประมวลผลได้จากวิธีการหาค่าที่เหมาะสมจากการออกแบบการทดลองมาทำการทดลองฉีดโดยแบบจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกโดยโปรแกรม Moldex 3D และนำค่าพารามิเตอร์เดียวกันมาทำการทดลองฉีดชิ้นส่วนจริงจากแม่พิมพ์

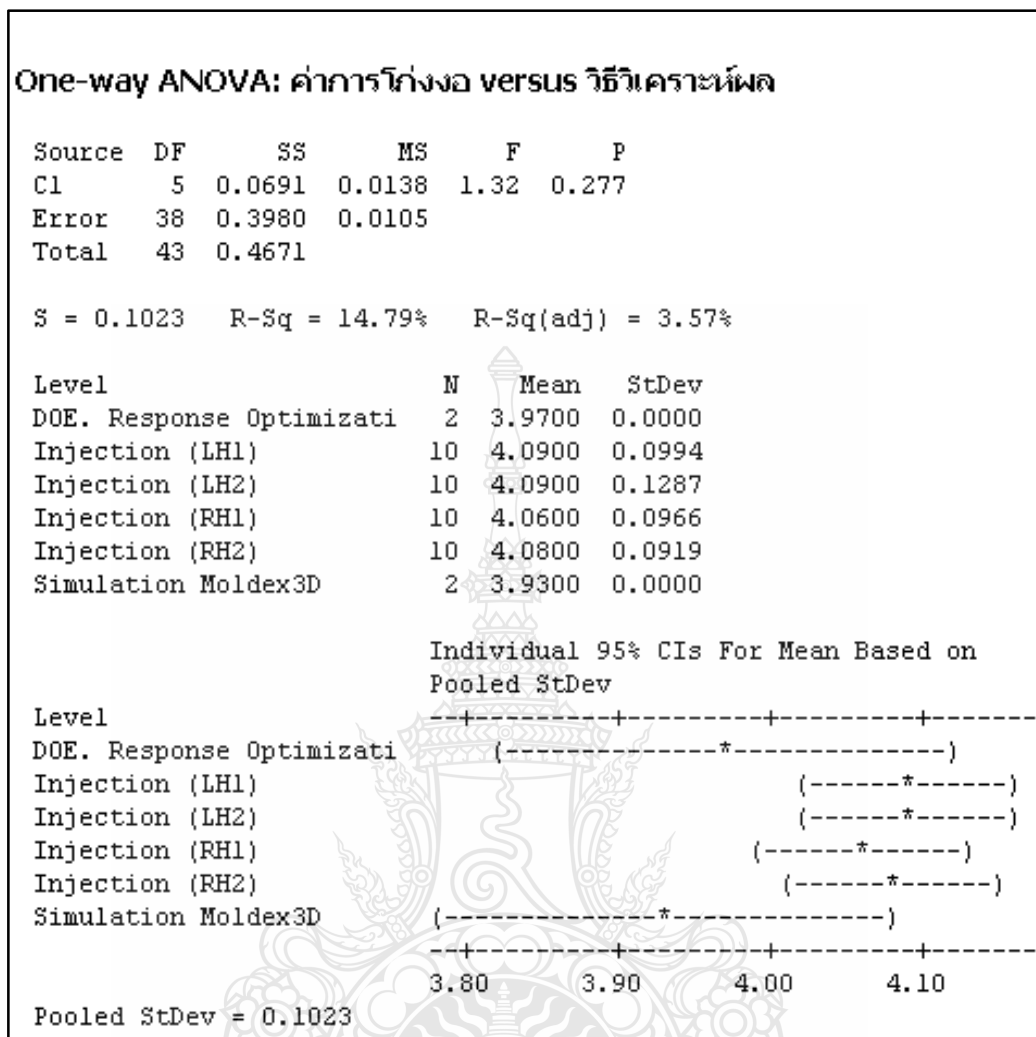
นิต ผู้วิจัย ได้นำผลลัพธ์คือค่าการเสถียรสูงสุดของชิ้นงานที่ได้ทั้งแบบจำลองและการทดลองนี้จริง มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha=0.05$) ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน แสดงดังภาพที่ 4.13 และภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.13 Residual Plots ของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากข้อมูลในภาพที่ 4.13 สามารถวิเคราะห์รูปแบบความพอเพียงของข้อมูลได้ดังนี้

1. ข้อมูลจากกราฟ Normal Probability Plot ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรงแสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ
2. ข้อมูลจากแผนภูมิ Histogram ที่สามารถลากเส้นโค้งที่มีลักษณะใกล้เคียงกับ Normal Curve แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ
3. ข้อมูลจากกราฟ Versus Fitted Value ซึ่งมีลักษณะการเรียงตัวที่ไม่แน่นอนและกระจัดกระจาย แสดงว่าข้อมูลเป็นแบบสุ่มและแต่ละกลุ่มมีความแปรปรวนเท่าๆ กัน
4. ข้อมูลจากกราฟ Versus Order ที่มีลักษณะการกระจายทั้งด้านบนและด้านล่างที่เท่าๆ กันและไม่อยู่ในด้านใดด้านหนึ่ง แสดงว่าข้อมูลแต่ละกลุ่มเป็นอิสระต่อกัน



ภาพที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าการโก่งงอเสีรูปร่างของชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษา

เนื่องจากสมมุติฐานการทดลองในงานวิจัยนี้คือ ค่าเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ค่าการโก่งงอเสีรูปร่างของชิ้นส่วนพลาสติก เอบีเอส (ABS) ชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษาโดยใช้วิธีการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกด้วยโปรแกรม Moldex3D เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากกระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนตัวอย่างจริง ภายใต้เงื่อนไขและค่าพารามิเตอร์เดียวกันที่ได้จากเทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมโดยวิธีการออกแบบการทดลองได้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถกำหนดสมมุติฐานการทดสอบได้ดังนี้คือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

H_1 : มีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่ที่ต่างกัน

เมื่อกำหนดให้

μ_1 คือ ค่าเฉลี่ยของการโค้งงอเสี้ยนรูปของชิ้นส่วนโดยวิธีผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization)

μ_2 คือ ค่าเฉลี่ยของการโค้งงอเสี้ยนรูปของชิ้นส่วนโดยวิธีการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกด้วยโปรแกรม Moldex3D

μ_3 คือ ค่าเฉลี่ยของการโค้งงอเสี้ยนรูปของชิ้นส่วนข้างขวา (RH) โดยวิธีการทดลองฉีดชิ้นส่วนจริง

μ_4 คือ ค่าเฉลี่ยของการโค้งงอเสี้ยนรูปของชิ้นส่วนข้างซ้าย (LH) โดยวิธีการทดลองฉีดชิ้นส่วนจริง

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในภาพที่ 4.14 พบว่า ได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.277 ซึ่งมากกว่าค่า α ($\alpha = 0.05$) จึงยอมรับสมมติฐาน H_0 และปฏิเสธสมมติฐาน H_1 หรือสามารถสรุปได้ว่าผลลัพธ์ของการทดลองทั้ง 3 วิธีคือ ค่าการโค้งงอเสี้ยนรูปของชิ้นส่วนที่ได้จากการประมวลผลโดยวิธีการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization) ค่าการโค้งงอเสี้ยนรูปของชิ้นส่วนที่ได้จากวิธีการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนตัวอย่าง และค่าการโค้งงอเสี้ยนรูปของชิ้นส่วนที่ได้จากการทดลองฉีดชิ้นส่วนตัวอย่างจริง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha = 0.05$)

4.7 การติดตามผลการนำผลการทดลองไปปรับใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วน

จากผลการทดลองข้างต้น ผู้วิจัย ได้นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมไปใช้ในการตั้งค่าเครื่องฉีดพลาสติกในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนทั้งหมด 5 แผนผลิตโดยสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 จำนวนของเสียที่ตรวจพบในการบวนการผลิตชิ้นส่วนจริงโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลอง

แผนการผลิต	จำนวนการผลิต (คู่ RH/LH)	จำนวนชิ้นงานที่เสียรูป เกินมาตรฐานกำหนด (เกิน 6 มม.)		ของเสียที่ตรวจพบ (%)		เกณฑ์ของเสีย ที่ยอมรับได้ (%)
		ชิ้นงาน	ชิ้นงาน	ชิ้นงาน	ชิ้นงาน	
		RH	LH	RH	LH	
ครั้งที่ 1 (First lot)	550	23	19	4.18	3.45	5.00
ครั้งที่ 2	525	17	18	3.24	3.43	5.00
ครั้งที่ 3	525	19	18	3.62	3.43	5.00
ครั้งที่ 4	525	14	16	2.67	3.05	5.00
ครั้งที่ 5	315	9	10	2.86	3.17	5.00
รวมทั้งหมด	2,440	82	81	3.36	3.32	5.00

จากข้อมูลในตาราง พบว่า จากผลการนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปทำการปรับใช้จริงกับกระบวนการผลิตชิ้นส่วนทั้งหมด 5 แผนการผลิต รวมผลิตชิ้นส่วนทั้งหมด 2,440 คู่ โดยพบสัดส่วนของเสียที่เกิดจากการโค้งงอเสียรูปของชิ้นส่วนเกินมาตรฐานกำหนดที่ 6 มิลลิเมตร ดังนี้คือ ชิ้นส่วนข้างขวา (RH) เท่ากับ 3.36 เปอร์เซ็นต์ และชิ้นส่วนข้างซ้าย (LH) เท่ากับ 3.32 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ของเสียที่โรงงานผู้ผลิตยอมรับได้ที่ 5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงถือว่าเป็นบรรลุวัตถุประสงค์ในการทดลองในครั้งนี้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ นำเสนอวิธีการวิเคราะห์และการแก้ไขปัญหาการโก่งงอเสีรูปร่างของชิ้นส่วนพลาสติก เอบีเอส ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษา ด้วยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง โดยประยุกต์ใช้ร่วมกับการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้มีทั้งหมด 8 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การศึกษาและการวิเคราะห์ปัญหา การออกแบบแผนการทดลองเบื้องต้น การสร้างแบบจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกโดยโปรแกรม Moldex3D การทดลองเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกปัจจัย การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัย การยืนยันผลและการเปรียบเทียบผลการทดลอง การทดสอบสมมุติฐานทางสถิติ การติดตามผลและสรุปผลการทดลอง เครื่องมือวิเคราะห์ทางสถิติที่นำมาใช้วิเคราะห์ผลการทดลอง ได้แก่ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) เทคนิควิธีการระดมความคิด (Brainstorming) แผนภูมิก้างปลา (Fish Bone Diagram) ตารางความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) แผนภูมิพาร์โต (Pareto Diagram) ฮิสโตแกรม (Histogram) และแผนภูมิควบคุม (Control Chart) การออกแบบแผนการทดลองในงานวิจัยใน ผู้วิจัยเลือกใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Experiment) ในการทดลองตามแผนการทดลองเบื้องต้น (Screening Experiment) และใช้แผนการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (Central Composite Design) ในการทดลองเพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัย ร่วมกับวิธีการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology) และการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization) ส่วนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลการทดลอง ได้แก่ โปรแกรมจำลองกระบวนการฉีดพลาสติก Moldex3D และ โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อการออกแบบการทดลอง Minitab

5.1 ผลการทดลอง

จากผลการทดลอง พบว่า การนำวิธีการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการจำลอง (Simulation) กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกโดยโปรแกรมวิเคราะห์การฉีดพลาสติก Moldex3D สามารถวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการฉีด รวมถึงการวิเคราะห์หาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ผลลัพธ์ของการเสีรูปร่างของชิ้นส่วนตัวอย่างต่ำที่สุด โดยจากผลการวิเคราะห์การโก่งงอเสีรูปร่างด้วยโปรแกรม Minitab ได้ค่าการโก่งงอเสีรูปร่างของชิ้นส่วนประมาณ 3.97 มิลลิเมตร เมื่อกำหนดให้ค่าของปัจจัยที่มีอิทธิพลทั้ง 4 ปัจจัย ได้แก่ เวลาหล่อเย็นเท่ากับ

55 วินาที อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติกเท่ากับ 221 องศาเซลเซียส เวลาฉีดเข้าเท่ากับ 6 วินาทีและอัตราการฉีดเท่ากับ 58 เปอร์เซ็นต์ จากผลการวิเคราะห์ข้างต้น เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมาทำการจำลองกระบวนการฉีดขึ้นส่วนพลาสติกด้วยโปรแกรม Moldex3D พบว่า ได้ค่าการโก่งงอเสีรูปของชิ้นส่วนเท่ากับ 3.93 มิลลิเมตร และเมื่อนำค่าพารามิเตอร์เดียวกันมาทำการทดลองฉีดขึ้นส่วนพลาสติกด้วยกระบวนการฉีดตัวอย่างกรณีศึกษาจริง พบว่า ได้ค่าการโก่งงอเสีรูปของชิ้นส่วนเฉลี่ยประมาณ 4 มิลลิเมตร ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ผลการทดลองทั้ง 3 วิธีคือ การออกแบบการทดลอง กระบวนการจำลองการฉีดพลาสติก และการทดลองฉีดขึ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษาจริง มีความแตกต่างกันน้อยมาก ซึ่งจากผลการทดสอบทางสถิติ สามารถสรุปได้ว่าผลลัพธ์ดังกล่าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงสามารถใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ปัจจัยในกระบวนการฉีดขึ้นส่วนพลาสติก ประสิทธิภาพของการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก รวมถึงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เพื่อลดปัญหาการเสีรูปของชิ้นส่วนก่อนการสร้างแม่พิมพ์ฉีดจริง เพื่อลดโอกาสและต้นทุนในการแก้ไขแม่พิมพ์ฉีดภายหลังการสร้างแม่พิมพ์ รวมถึงลดต้นทุนในการทดลองฉีดขึ้นส่วนจริงเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมก่อนทำการผลิตได้

จากผลการทดลอง สามารถสรุปผลตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยได้ดังนี้

1. ผลการทดลองสามารถวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการโก่งงอเสีรูปของชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษาได้ กล่าวคือ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการโก่งงอเสีรูปของชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติมีทั้งหมด 4 ปัจจัย คือ เวลาหล่อเย็น อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก เวลาฉีดเข้า และอัตราการฉีด
2. จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกกับกระบวนการทดลองฉีดขึ้นส่วนตัวอย่างจริงโดยค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลอง พบว่า ได้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha = 0.05$)
3. จากการทดลองสามารถหาค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ค่าการโก่งงอเสีรูปของชิ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษาต่ำที่สุดได้ กล่าวคือ กำหนดให้อัตราการฉีดที่ 58 เปอร์เซ็นต์ เวลาฉีดเข้าที่ 6 วินาที อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติกที่ 221 องศาเซลเซียสและเวลาหล่อเย็นที่ 55 วินาที และเมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองไปปรับใช้กับกระบวนการผลิตขึ้นส่วนตัวอย่างกรณีศึกษาได้ โดยได้ค่าสัดส่วนของเสีที่เกิดจากปัญหาการโก่งงอเสีรูปของชิ้นส่วนข้างขวา (RH) เท่ากับ 3.36 เปอร์เซ็นต์ และชิ้นส่วนข้างซ้าย (LH) เท่ากับ 3.32 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเนื่องจากเกณฑ์สัดส่วนของเสีที่

โรงงานผู้ผลิตยอมรับได้ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่างานวิจัยนี้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลการทดลองในงานวิจัยนี้ อาจมีความคลาดเคลื่อนกับผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการฉีดขึ้นส่วนจริง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสาเหตุและองค์ประกอบในหลายส่วน เช่น ความสมบูรณ์ของกระบวนการสร้างแม่พิมพ์ที่อาจมีความคลาดเคลื่อนจาก CAD ที่ออกแบบไว้ในแบบจำลองระบบแม่พิมพ์ฉีดเช่นความเรียบของผิวแม่พิมพ์ หรืออาจเนื่องมาจากปัจจัยรบกวนอื่นๆ ที่ไม่สามารถควบคุมให้อยู่ในค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการโดยตรงได้เช่น อุณหภูมิภายนอก ความชื้น ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องฉีดพลาสติก เป็นต้น ซึ่งสาเหตุต่างๆ เหล่านี้อาจส่งผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ในการทดลองได้

ในการนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองไปปรับใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วจำเป็นต้องคำนึงถึงปัญหาคุณภาพของชิ้นส่วนอื่นๆ ด้วยเช่น ปัญหาชิ้นงาน ฉีดไม่เต็มแบบ (Short Mold) รอยฟุ้งบนชิ้นงาน (Jetting) รอยยุบในชิ้นงาน (Sink Mark) พลาสติกไหม้ (Burning) ชิ้นงานเป็นครีบ (Flash) เป็นต้น ซึ่งการปรับปรุงแก้ไขปัญหาต่างๆ เหล่านี้อาจจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติกในบางค่าเพื่อลดผลกระทบของปัญหาต่างๆ เหล่านี้ ซึ่งจะทำให้ค่าของการโก่งงอเสีรูปร่างของชิ้นส่วนเปลี่ยนแปลงไปจากผลการทดลองได้

รายการอ้างอิง

- [1] สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, “ผลกระทบจากเศรษฐกิจถดถอยต่อพลาสติกในอุตสาหกรรมรถยนต์,” *Plastic Intelligence Update*, กุมภาพันธ์, 2552. หน้า 3-4.
- [2] กำชัย ไทยไชยนต์, การปรับปรุงคุณภาพการฉีดพลาสติกโดยวิธีการของทาอูชิ, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2552.
- [3] นริศรา จิตรระกูลชัย, การคัดแยก ABS และ HIPS ด้วยกระบวนการ Froth Flotation ที่ใช้ Surfactant, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2549.
- [4] H. F. Mark, *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*. 3rd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003.
- [5] ปรีชา พหลเทพ, โพลีเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2546.
- [6] บรรเลง ศรีนิล, เทคโนโลยีพลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 25. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2553.
- [7] ชาลี ตระการกุล, การออกแบบแม่พิมพ์ฉีด 1. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546. หน้า 55-56, 58, 61, 67, 72, 78, 80, 82.
- [8] ชาลี ตระการกุล, การออกแบบแม่พิมพ์ฉีด 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2548.
- [9] วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม, งานฉีดพลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2540.
- [10] วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม, วิศวกรรมการฉีดพลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2553.
- [11] สุเทพ บุตรดี, การศึกษาการปรับตั้งพารามิเตอร์ที่สำคัญของเครื่องฉีด, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546.

- [12] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2543. หน้า 282-283.
- [13] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, ระบบการควบคุมคุณภาพที่หน้างาน คิวซีเซอร์เคิล (QC Cycle). พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: บริษัท เทคโนโลยีคอลแลพโพรชเคาน์เซลลิ่งแอนด์เทรนนิ่ง จำกัด, 2543. หน้า 54-57.
- [14] อนุชิต กิจปกรณ์สันติ, การลดต้นทุนคุณภาพโดยรวมกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกของชิ้นส่วนรถยนต์, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2549.
- [15] วราภรณ์ ขำสนิท, การปรับปรุงค่าพารามิเตอร์สำหรับกระบวนการฉีดพลาสติกกรณีที่มีข้อบกพร่องหลายคน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- [16] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: บริษัท เทคโนโลยีคอลแลพโพรชเคาน์เซลลิ่งแอนด์เทรนนิ่ง จำกัด, 2547.
- [17] ปารเมศ ชูติมา, การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545. หน้า 217-223, 449-450.
- [18] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ท็อป, 2551. หน้า 172-173, 223-224, 227-228, 281-282, 337-339.
- [19] บริษัท เทคคอร์ จำกัด, คู่มือMeet Minitab Release 14 for Window (Online), 2549 Available: <http://www.minitab.com/support/docs/re14/MeetMinitab14.pdf> (1 พฤศจิกายน 2554).
- [20] ปราโมทย์ เดชะอำไพ, ระเบียบวิธีไฟต์เอลิเมนต์เพื่อการคำนวณพลศาสตร์ของไหล. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- [21] Core Tech System, Moldex3D User's Manual Release R11 1995-2012 (Online), 2012. Available: <http://www.moldex3d.com> (28 May 2012.)
- [22] Li, C.S. and Shen, Y.K., "Optimum Design of Runner System Balancing in Injection Molding," **International Communication in Heat and Mass Transfer**, Vol. 22, 1995. pp 179-188.

- [23] Seow, L.W. and Lam, Y.C., "Optimizing Flow in Plastic Injection Molding," **Material Processing Technology (Electronic)**, Vol. 72, 1996. pp. 333-341.
- [24] Reifschneider, L., "Teaching Design for Manufacturability with Desktop Computer Aided Analysis," **Journal of Industrial Technology**, No. 16, 2000. pp. 1-5.
- [25] Sadeghi, B.H.M., "A BP-Neural Network Predictor Model for Plastic Injection Molding Process," **Journal of Materials Processing Technology**, No. 103, 2000. pp. 411-416.
- [26] พรนภา สอนองบุญ, การศึกษาการปรับตั้งพารามิเตอร์ที่สำคัญของเครื่องฉีดพลาสติก, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543.
- [27] อภิชาติ ศรีณนิตย์, การลดของเสียในโรงงานอุตสาหกรรมฉีดพลาสติก, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548.
- [28] ชัยนต์ เลาสุทแสน, การออกแบบแผนการทดลองเพื่อปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการฉีดพลาสติกกรณีศึกษาโรงงานฉีดพลาสติก, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548.
- [29] สิทธิศักดิ์ ชูรกิจ, การออกแบบและวิเคราะห์ชิ้นส่วนพลาสติกของเครื่องใช้ไฟฟ้า, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549.
- [30] อนุชิต กิจปรกรณ์สันติ, การลดต้นทุนคุณภาพโดยรวมกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกของชิ้นส่วนรถยนต์, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2549.
- [31] พิษณุกร ชวนาทนุสรณ์, การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรมแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและเจเนติกอัลกอริทึมเพื่อลดการโค้งงอของชิ้นงานฉีดขึ้นรูปพลาสติก, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2552.
- [32] อัยฉาอุษ หนูแก้ว, การปรับปรุงคุณภาพงานฉีดพลาสติกโดยวิธีการทากูชิ, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2550.

- [33] นพรัตน์ พรหมจักร, การลดของเสียในกระบวนการฉีดถาดลำเลียงชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยใช้
ไฟไนต์เอลิเมนต์, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม
เครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,
2553.
- [34] พิระพงษ์ บัวโทณ, การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองและคอมพิวเตอร์ช่วยในงาน
วิศวกรรมเพื่อลดการหดตัวของชิ้นงานฉีดขึ้นรูปพลาสติก, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรม
ศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2555.



ภาคผนวก





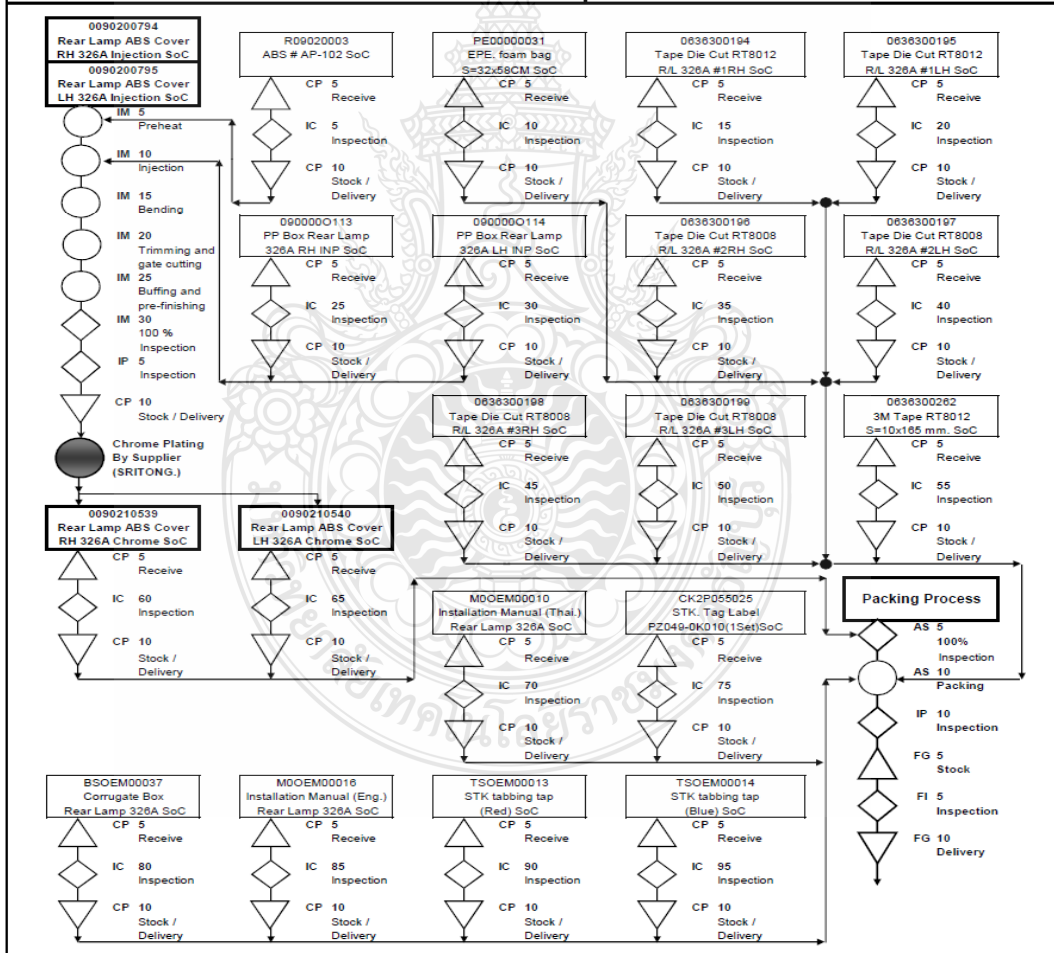
Process Flow Chart

Part Number :	PZ049-0K010	Date	Revision Record	Issue By
Part Name :	REAR LAMP CHROME COVER	2 Feb 11	New Issue	Mr. ADUN
Vehicle Model :	326A	1 Apr 11	Revision 1	Mr. ADUN
Supplier :	WICHEN DYNAMIC INDUSTRY CO., LTD.	28 Nov 11	Revision 2	Mr. ADUN
Plant :	PHATHUMTHANI, THAILAND	23 Mar 12	Revision 3	Mr. ADUN

Component Parts & Material List

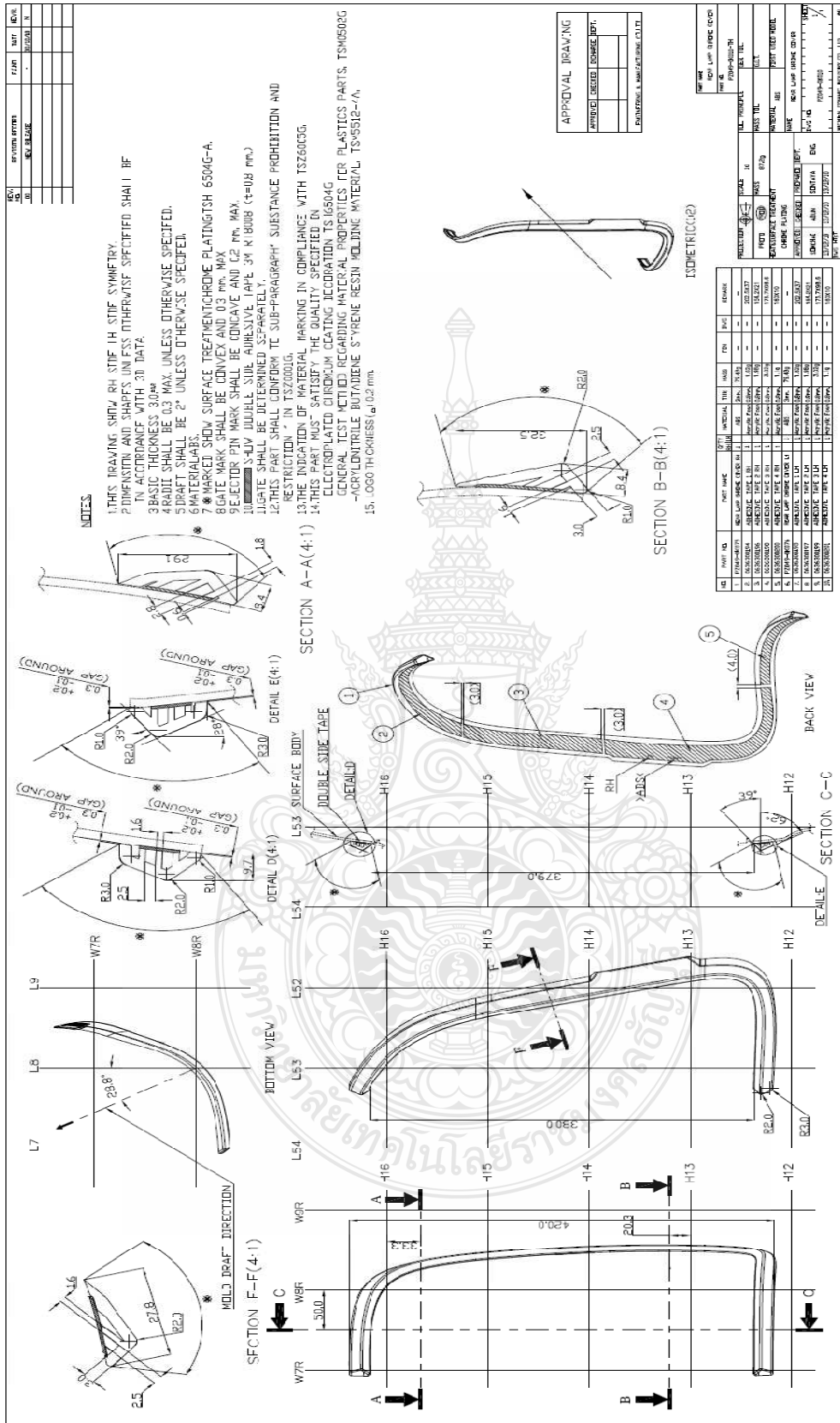
No.	Part Number	Part Name	Supplier	Plant	Critical Process
1	0090210539	Rear Lamp ABS Cover RH 326A Chrome SoC	Sritong	Samut Prakan	
2	0090210540	Rear Lamp ABS Cover LH 326A Chrome SoC	Sritong	Samut Prakan	
3	0090200794	Rear Lamp ABS Cover RH 326A Injection SoC	WDL	Pathum Thani	
4	0090200795	Rear Lamp ABS Cover LH 326A Injection SoC	WDL	Pathum Thani	
5	R09020003	ABS # AP-102 SoC	M.C. Plastic	Samut Prakan	
6	090000O113	PP Box Rear Lamp 326A RH INF SoC	CRES PACK	Pathum Thani	
7	090000O114	PP Box Rear Lamp 326A LH INF SoC	CRES PACK	Pathum Thani	
8	PE00000031	EPE foam bag S=32x58CM SoC	CRES PACK	Pathum Thani	
9	0636300194	Tape Die Cut RT8012 R/L 326A #1RH SoC	K.I.	Nakhon Pathom	
10	0636300195	Tape Die Cut RT8012 R/L 326A #1LH SoC	K.I.	Nakhon Pathom	
11	0636300196	Tape Die Cut RT8008 R/L 326A #2RH SoC	K.I.	Nakhon Pathom	
12	0636300197	Tape Die Cut RT8008 R/L 326A #2LH SoC	K.I.	Nakhon Pathom	
13	0636300198	Tape Die Cut RT8008 R/L 326A #3RH SoC	K.I.	Nakhon Pathom	
14	0636300199	Tape Die Cut RT8008 R/L 326A #3LH SoC	K.I.	Nakhon Pathom	
15	0636300262	3M Tape RT8012 S=10x165 mm. SoC	K.I.	Nakhon Pathom	
16	TSOEM00013	STK tabbing tap (Red) SoC	K.I.	Nakhon Pathom	
17	TSOEM00014	STK tabbing tap (Blue) SoC	K.I.	Nakhon Pathom	
18	M0OEM00010	Installation Manual Rear Lamp 326A (Thai) SoC	Sangaroon I.	Pathum Thani	
19	M0OEM00016	Installation Manual Rear Lamp 326A (Eng.) SoC	Sangaroon I.	Pathum Thani	
20	CK2P055025	STK Tag Labe PZ049-0K010(1Set)SoC	TOYOTA	-	
21	BSOEM00037	Corrugate Box Rear Lamp 326A SoC	S.SIAM	Nonthaburi	

Remark : SPECIAL CHARACTERISTIC



Route :	Supplier	Submit	C&A Quality	Return Original	Supplier
			Keep a copy		Keep Original
	Doc No. QG - MQC/PFC - 001d				Rev : 01

ข้อมูล Process Flow Chart ของกระบวนการผลิตชิ้นส่วน Rear Lamp Chrome Cover 326A



ข้อมูล Drawing ของชิ้นส่วน Rear Lamp Chrome Cover 326A



AP102

Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

Description:

AP102 is a plating grade of ABS resin that is especially designed for electro plating of injection molding. It is recommended for automotive parts (radiator grill, motorcycle parts, and name plates), knob, TV component, and cosmetic packaging.

Physical Properties:	Method	Unit	Value
Melt Flow Index (10 kg/220°C)	ASTM D1238	g/10min.	21
Izod Notched Impact (1/4", 23°C)	ASTM D256	Kg-cm/cm	25
Tensile Strength at Yield (23°C)	ASTM D638	kg/cm ²	435
Flexural Strength at Yield (23°C)	ASTM D790	kg/cm ²	620
Flexural Modulus (23°C)	ASTM D790	×10 ⁴ kg/cm ²	2.35
Rockwell Hardness (1/4", 23°C)	ASTM D785	R-Scale	112
Heat Distortion Temperature (1/4", 18.6 kg/cm ²)	ASTM D648	°C	88
Heat Distortion Temperature (1/4", 4.6 kg/cm ²)	ASTM D648	°C	96
Flammability	UL-94	-	HB (1.5)

Processing Technique

Drying Temperature: 80-85°C, 2-4 hrs

Processing Temperature: 190-240°C

However, the actual processing conditions depend on mold design, power of machine, screw configurations and other environments.

Remark: The values presented on the above are typical laboratory average, not to be construed as specifications and may vary within moderate ranges. The applicability or the accuracy of this information or the suitability of our products cannot be guaranteed because the conditions of use on the part or our uses are beyond our control.

Product Data sheet



บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน)

555/2 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงจตุจักร เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทร. +66(0)2649-7000, 66(0)2649-7777 แฟกซ์: +66(0)2649-7002

IRPC Public Company Limited

555/2 Energy Complex Building B, 6th Floor, Vibhavadi Rangsit Road, Chatchak, Bangkok 10900 THAILAND. TEL: +66(0)2649-7000, 66(0)2649-7777 FAX: +66(0)2649-7002 www.irpc.co.th, www.ipcmarket.com

REV. 20110601

ข้อมูลคุณสมบัติด้านต่างๆ ของวัตถุดิบพลาสติก เอบีเอส (ABS) ที่ใช้ในการทดลอง



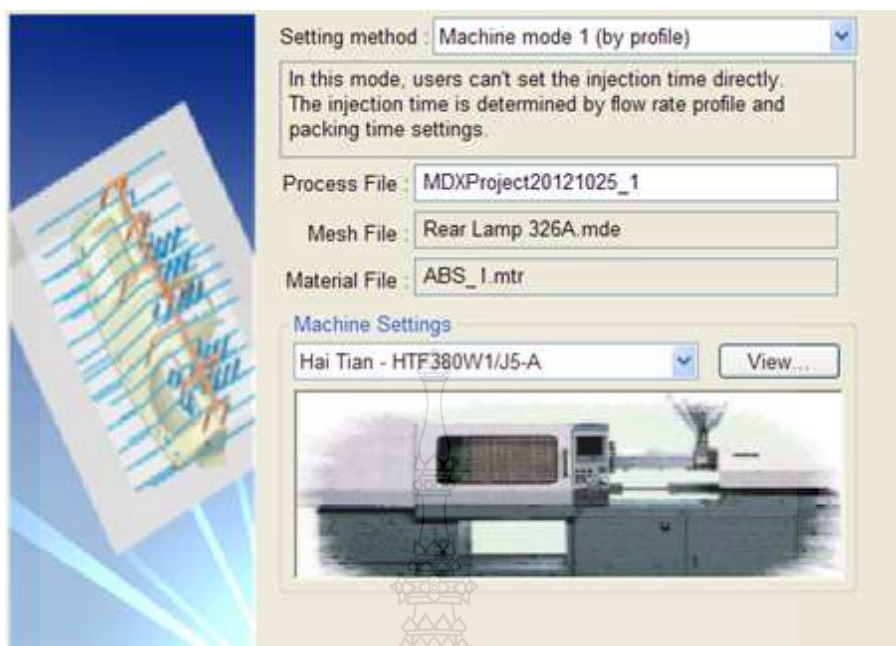
Manufacturer : HAITIAN	
Model : HTF-380W	
Advanced Information :	
Power in Tons :	380 T
Dist. X Between Tie Bars :	730 mm (28.7 in)
Dist. Y Between Tie Bars :	730 mm (28.7 in)
Screw Diameter :	65 mm
Shot Weight :	1127 g (39.7 oz)
Opening of the Press :	700 mm (27.6 in)
Mould Size :	280-730 mm
Type of Control :	APC7000

ข้อมูลรายละเอียดของเครื่องฉีดพลาสติกขนาด 380 ตัน ยี่ห้อ Hai Tian รุ่น HTF380W1

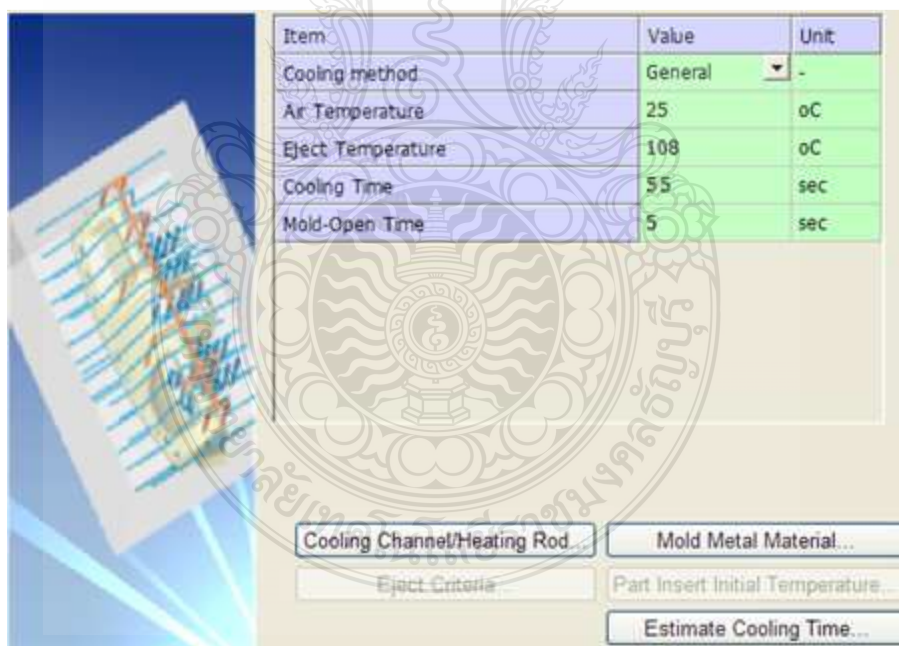
ภาคผนวก ข

ข้อมูลการประมาณผลการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกด้วยโปรแกรม Moldex3D

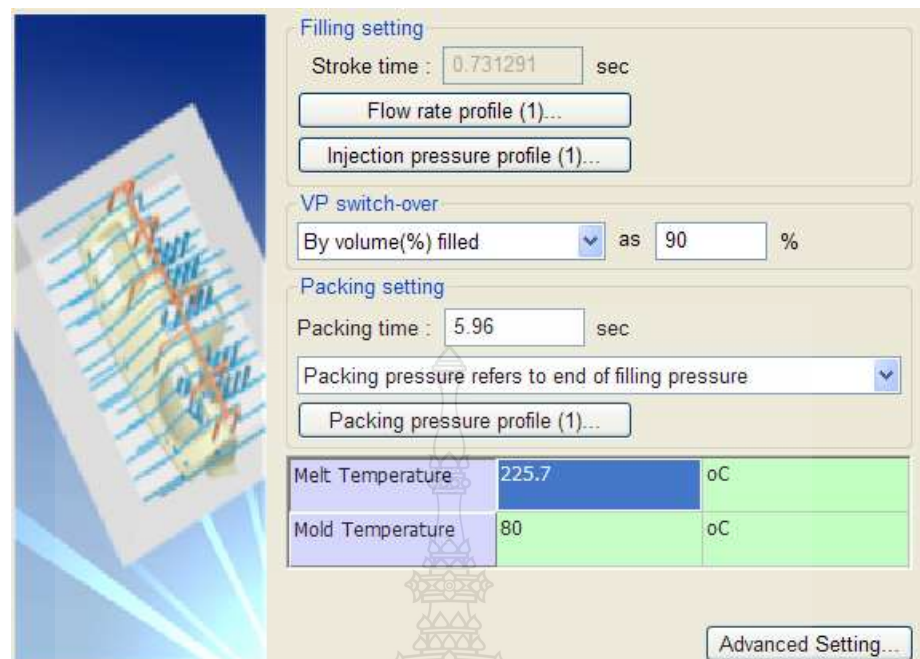




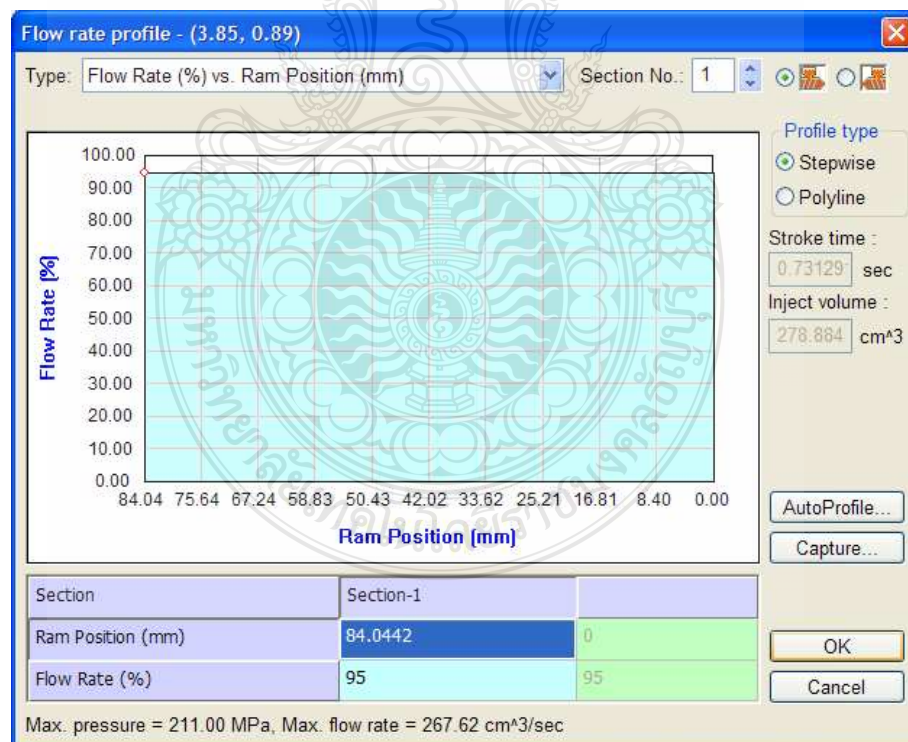
ข้อมูลการกำหนดวัตถุคิบ เครื่องฉีดพลาสติกและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในขั้นตอน Project Settings



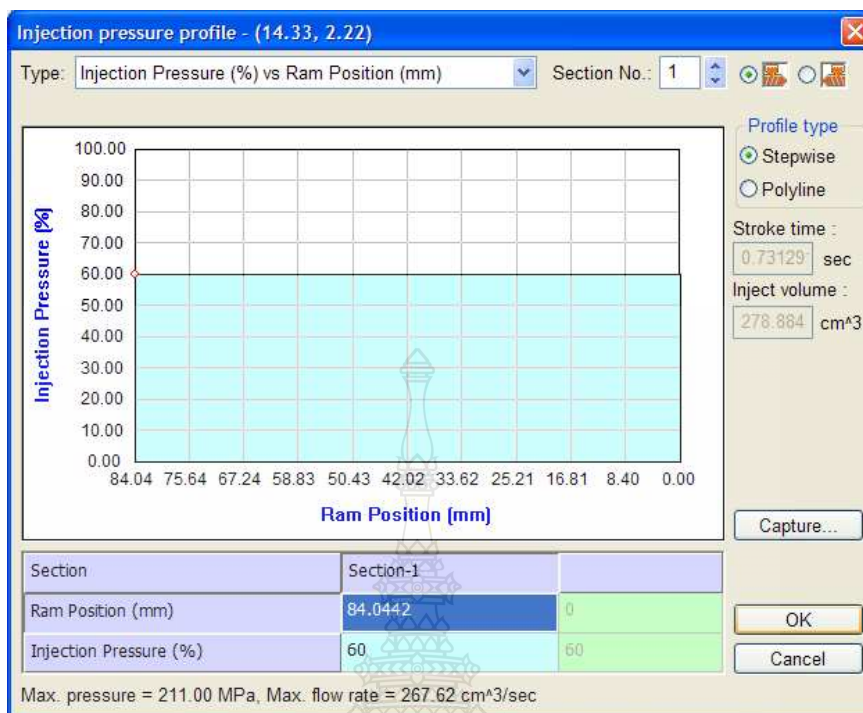
ข้อมูลการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในขั้นตอน Cooling Settings



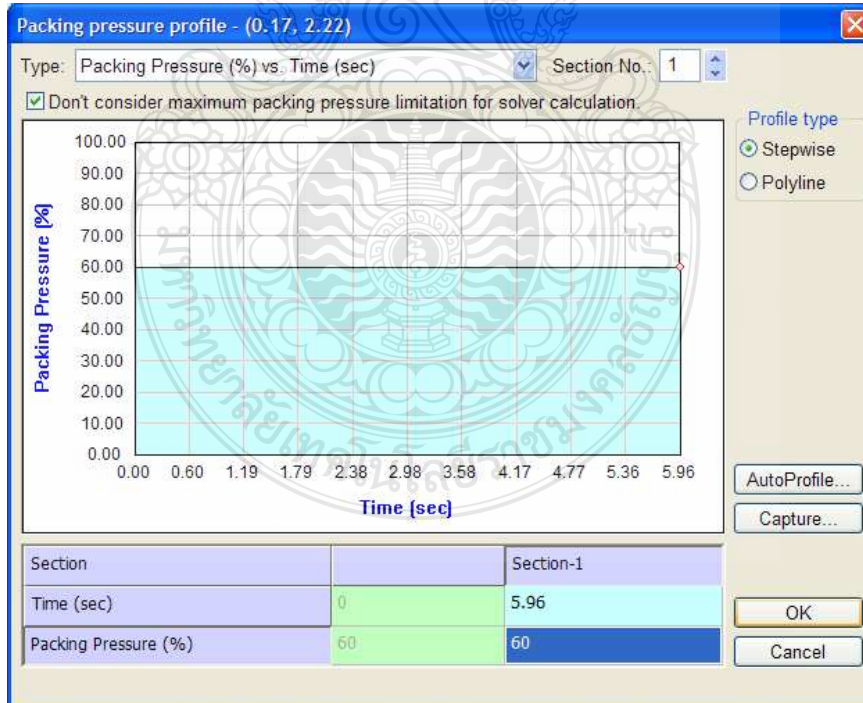
ข้อมูลการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในขั้นตอน Filling Packing Settings



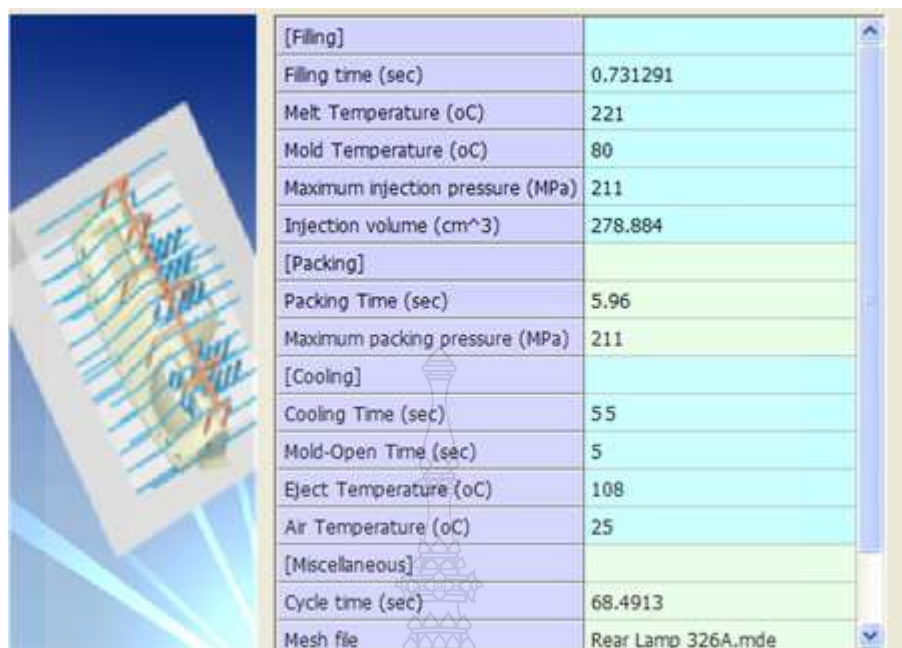
ข้อมูลแสดงการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ในขั้นตอน Flow Rate Setting



ข้อมูลแสดงการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ในขั้นตอน Injection Pressure Setting

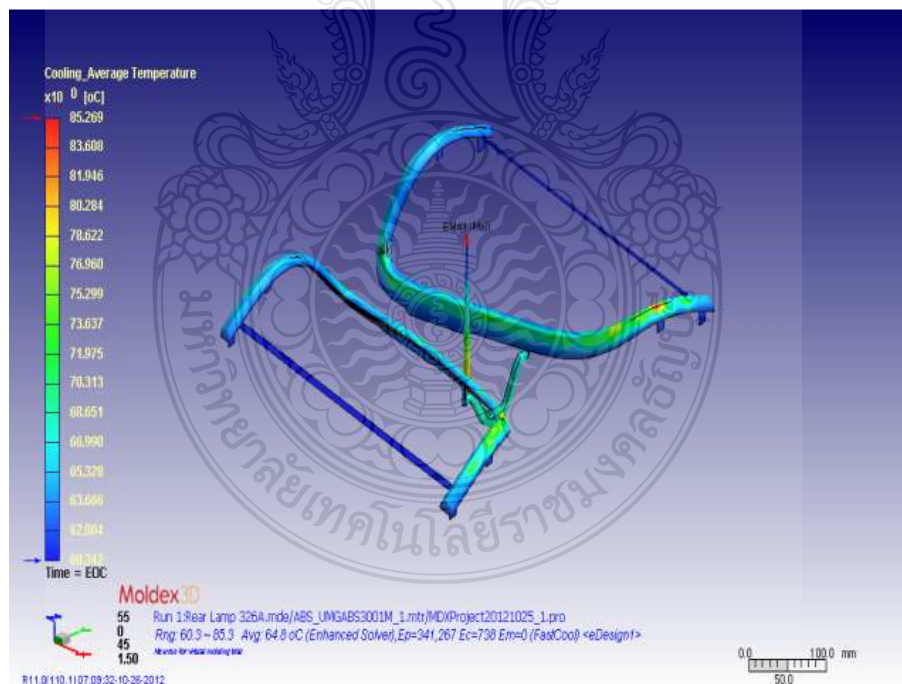


ข้อมูลแสดงการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ในขั้นตอน Packing Pressure Setting

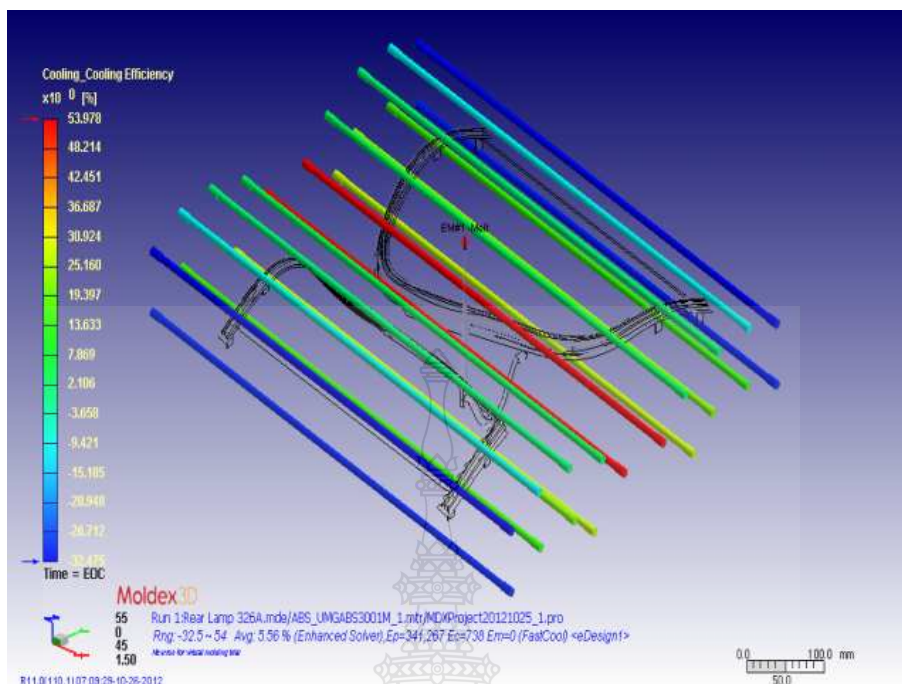


[Filling]	
Filling time (sec)	0.731291
Melt Temperature (oC)	221
Mold Temperature (oC)	80
Maximum injection pressure (MPa)	211
Injection volume (cm ³)	278.884
[Packing]	
Packing Time (sec)	5.96
Maximum packing pressure (MPa)	211
[Cooling]	
Cooling Time (sec)	55
Mold-Open Time (sec)	5
Eject Temperature (oC)	108
Air Temperature (oC)	25
[Miscellaneous]	
Cycle time (sec)	68.4913
Mesh file	Rear Lamp 326A.mde

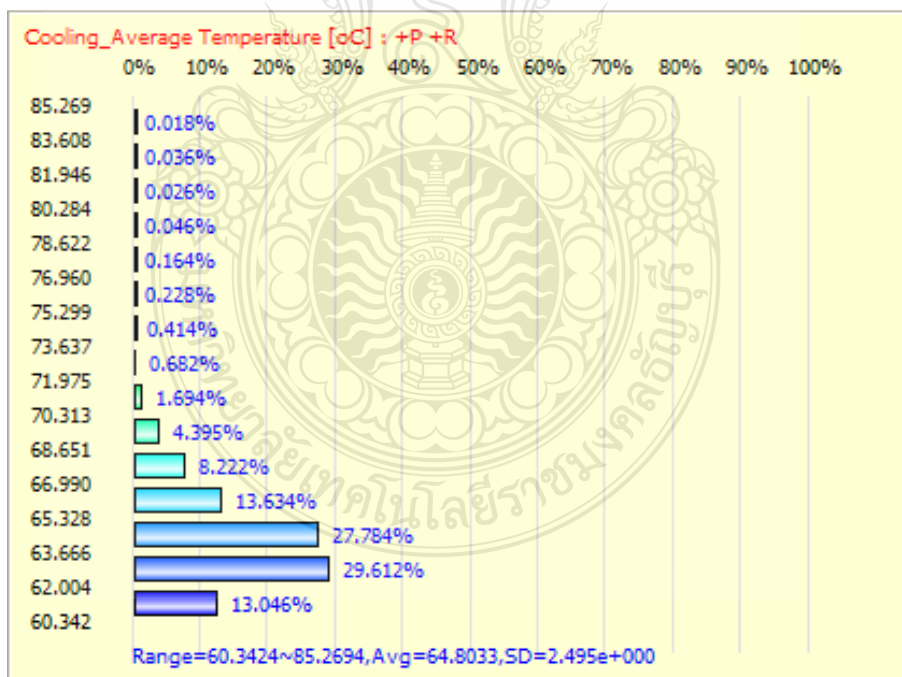
ข้อมูลการสรุปค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง



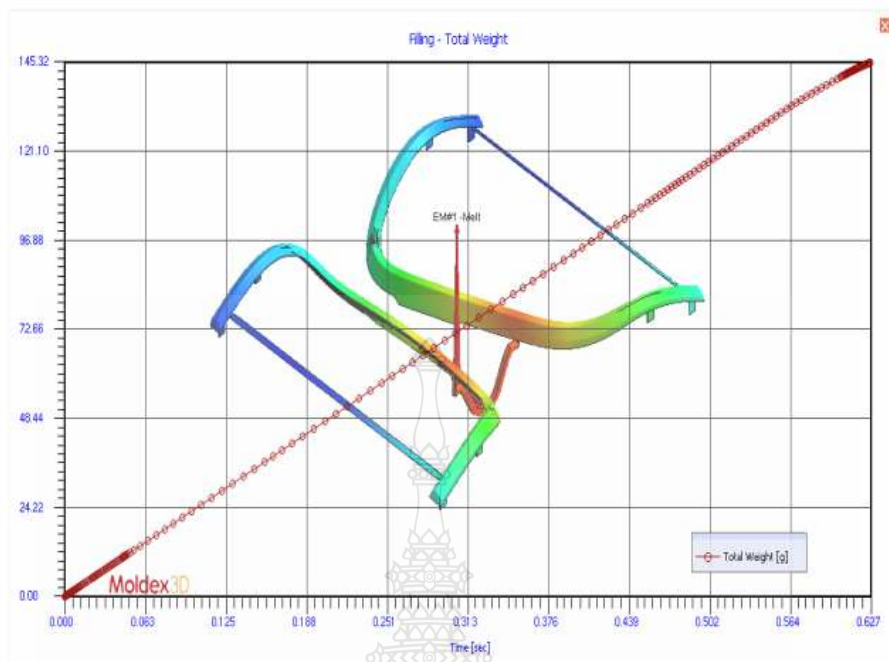
ข้อมูลแสดงอุณหภูมิโดยเฉลี่ย (Average Temperature) ในระบบหล่อเย็นของแบบจำลองโปรแกรม Moldex3D



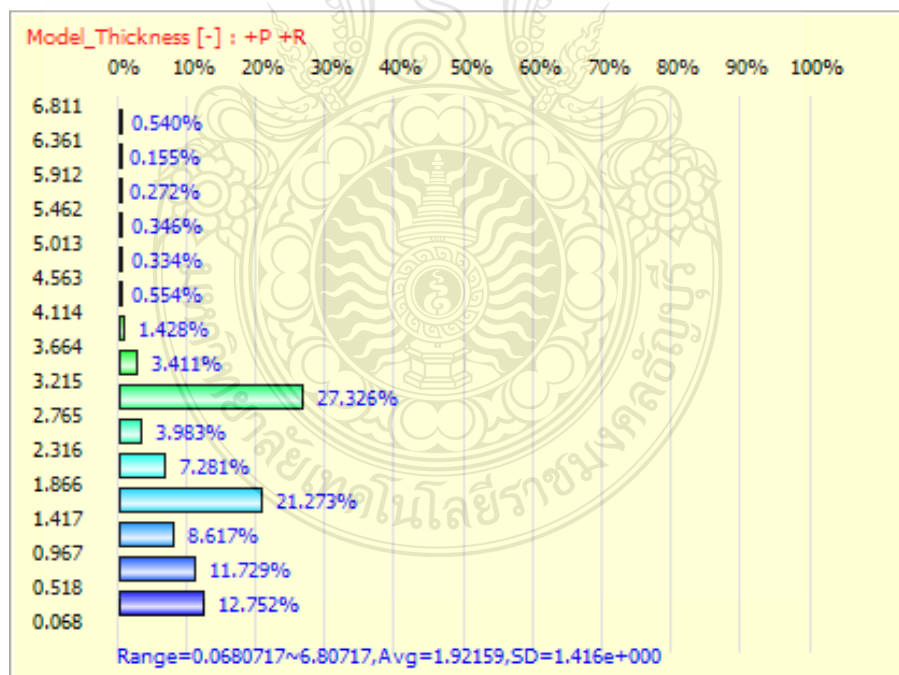
ข้อมูลแสดงผล Cooling Efficiency ในระบบหล่อเย็นของแบบจำลองโปรแกรม Moldex3D



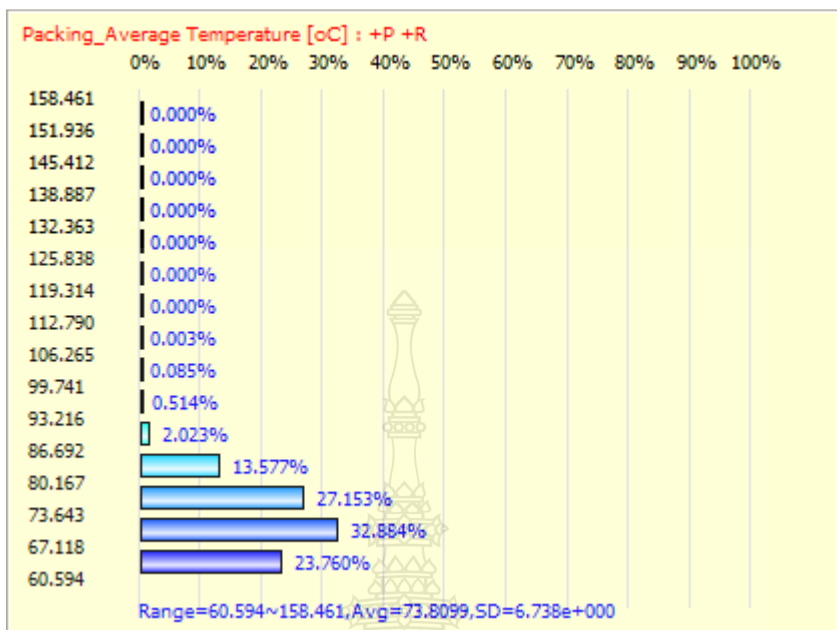
ข้อมูลแสดงผล Statistics of Average Temperature ในระบบหล่อเย็นของแบบจำลองโปรแกรม Moldex3D



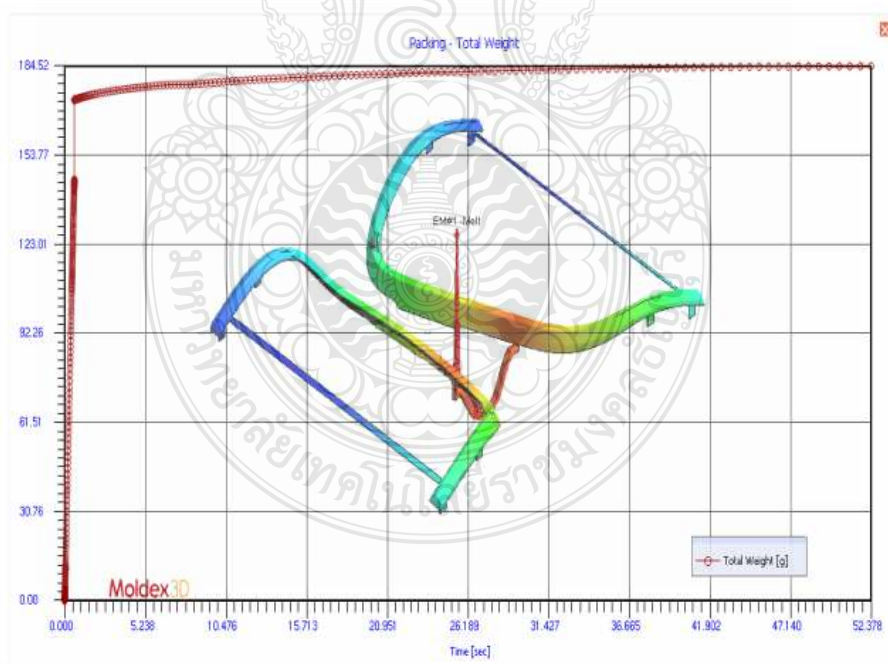
ข้อมูลแสดงผล XY Total Weight ของแบบจำลองโปรแกรม Moldex3D



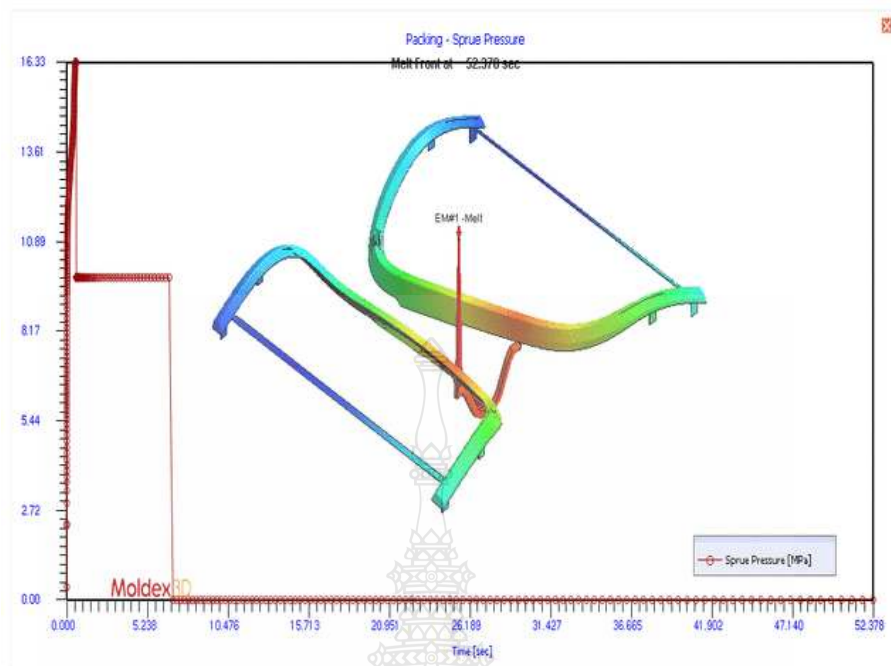
ข้อมูลแสดงผล Statistics of Thickness ของแบบจำลองโปรแกรม Moldex3D



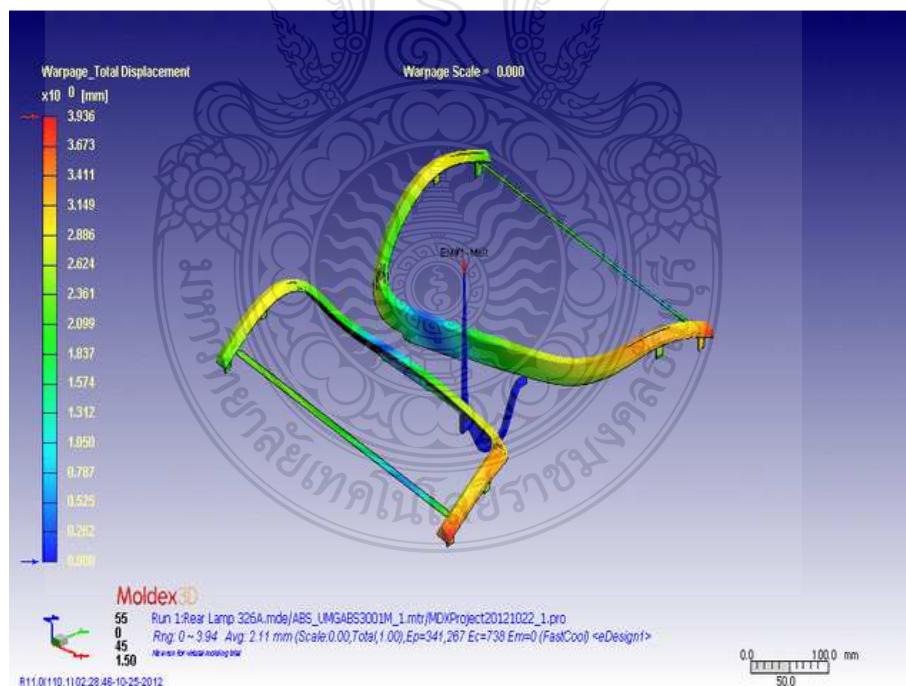
ข้อมูลแสดงผล Statistics of Average Temperature (Packing) ของแบบจำลองโปรแกรม Moldex3D



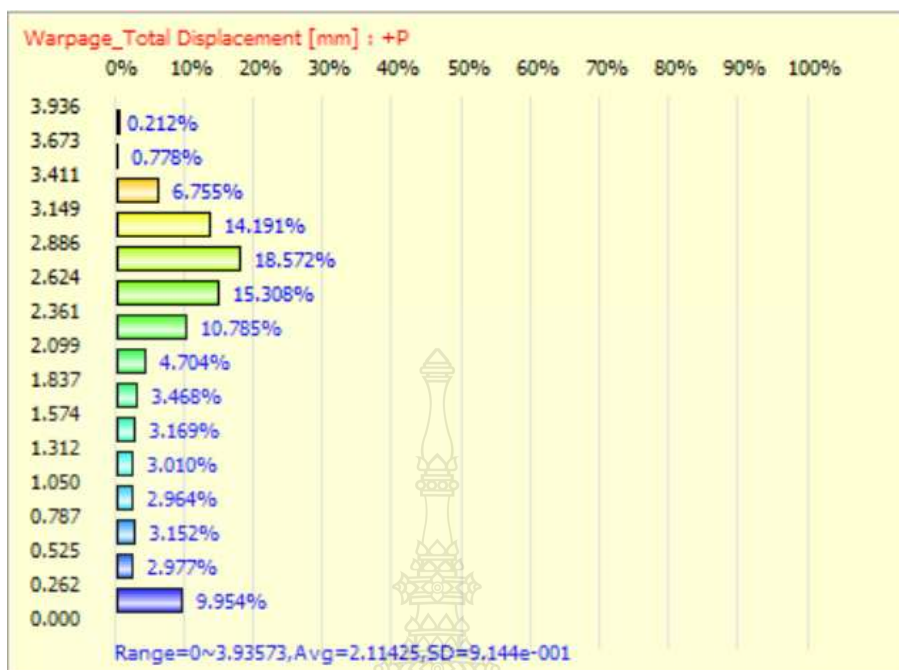
ข้อมูลแสดงผล XY Total Weight (Packing) ของแบบจำลองโปรแกรม Moldex3D



ข้อมูลแสดงผล Sprue Pressure (Packing) ของแบบจำลองโปรแกรม Moldex3D



ข้อมูลแสดงผล Warp of Deformed ของแบบจำลองโปรแกรม Moldex3D



ข้อมูลแสดงผล Statistics of Total Displacement ของแบบจำลองโปรแกรม Moldex3D



ภาคผนวก ค

ข้อมูลการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab



Factorial Fit: Y (Max.) versus Inj. Flow, Inj. Pres., ...

Estimated Effects and Coefficients for Y(Max.) (coded units)

Term	Effect	Coef
Constant		4.7644
Inj. Flow	0.0633	0.0316
Inj. Pres.	0.0113	0.0056
SW. Over	0.0198	0.0099
Packing Time	-0.1380	-0.0690
Packing Pres.	0.0270	0.0135
Melt Temp.	0.3355	0.1678
Mold Temp.	-0.0048	-0.0024
Cooling Time	-1.0900	-0.5450
Inj. Flow*Inj. Pres.	0.1497	0.0749
Inj. Flow*SW. Over	-0.0152	-0.0076
Inj. Flow*Packing Time	0.0155	0.0077
Inj. Flow*Packing Pres.	-0.0090	-0.0045
Inj. Flow*Melt Temp.	-0.0055	-0.0028
Inj. Flow*Mold Temp.	-0.2258	-0.1129
Inj. Flow*Cooling Time	-0.0245	-0.0123

Analysis of Variance for Y (Max.) (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	8	5.2999	5.2999	0.66249	*	*
2-Way Interactions	7	0.2983	0.2983	0.04261	*	*
Residual Error	0	*	*	*		
Total	15	5.5982				

Estimated Coefficients for Y (Max.) using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-0.136458
Inj. Flow	0.0390042
Inj. Pres.	-0.0318833
SW. Over	0.0107292
Packing Time	-0.0512917
Packing Pres.	0.00330000
Melt Temp.	0.0179667
Mold Temp.	-0.0486750
Cooling Time	-0.0327944
Inj. Flow*Inj. Pres.	0.000499167
Inj. Flow*SW. Over	-1.27083E-04
Inj. Flow*Packing Time	0.000258333
Inj. Flow*Packing Pres.	-3.00000E-05
Inj. Flow*Melt Temp.	-1.83333E-05
Inj. Flow*Mold Temp.	-7.52500E-04
Inj. Flow*Cooling Time	-5.44444E-05

ข้อมูลการวิเคราะห์หาค่าอิทธิพลของปัจจัยในการออกแบบการทดลองเบื้องต้น (Screening Experiment) ตามแผนการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน 2^{8-4} ด้วยโปรแกรม Minitab

Predicted Response for New Design Points Using Model for Y (Max.)

Point	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
1	5.09500	*	(* , *)	(* , *)
2	4.25800	*	(* , *)	(* , *)
3	4.14800	*	(* , *)	(* , *)
4	5.78200	*	(* , *)	(* , *)
5	5.72800	*	(* , *)	(* , *)
6	4.18100	*	(* , *)	(* , *)
7	4.26700	*	(* , *)	(* , *)
8	5.20800	*	(* , *)	(* , *)
9	4.25300	*	(* , *)	(* , *)
10	4.93800	*	(* , *)	(* , *)
11	5.36500	*	(* , *)	(* , *)
12	4.19700	*	(* , *)	(* , *)
13	4.13200	*	(* , *)	(* , *)
14	5.48500	*	(* , *)	(* , *)
15	4.87400	*	(* , *)	(* , *)
16	4.31900	*	(* , *)	(* , *)

ข้อมูลการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยในการออกแบบการทดลองเบื้องต้น (Screening Experiment)

ตามแผนการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน 2^{8-4} ด้วยโปรแกรม Minitab (ต่อ)



Central Composite Design

Factors: 4 Replicates: 1
 Base runs: 31 Total runs: 31
 Base blocks: 1 Total blocks: 1

Two-level factorial: Full factorial

Cube points: 16
 Center points in cube: 7
 Axial points: 8
 Center points in axial: 0

Response Surface Regression: Y (Max.) versus (A) Inj. Flo, (D) Packing , ...

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Y (Max.)

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	25.7581	15.1094	1.705	0.108
(A) Inj. Flow	-0.0091	0.0578	-0.157	0.877
(D) Packing Time	-0.2747	0.4293	-0.640	0.531
(F) Melt Temp.	-0.1893	0.1249	-1.516	0.149
(H) Cooling Time	0.0099	0.0572	0.173	0.865
(A) Inj. Flow*(A) Inj. Flow	0.0001	0.0001	1.058	0.306
(D) Packing Time*(D) Packing Time	0.0162	0.0067	2.419	0.028
(F) Melt Temp.*(F) Melt Temp.	0.0005	0.0003	1.984	0.065
(H) Cooling Time*(H) Cooling Time	0.0013	0.0001	10.913	0.000
(A) Inj. Flow*(D) Packing Time	0.0003	0.0012	0.217	0.831
(A) Inj. Flow*(F) Melt Temp.	-0.0000	0.0002	-0.077	0.940
(A) Inj. Flow*(H) Cooling Time	-0.0001	0.0002	-0.343	0.736
(D) Packing Time*(F) Melt Temp.	-0.0004	0.0018	-0.213	0.834
(D) Packing Time*(H) Cooling Time	0.0025	0.0012	2.096	0.052
(F) Melt Temp.*(H) Cooling Time	-0.0008	0.0002	-3.159	0.006

S = 0.142915 PRESS = 1.88233
 R-Sq = 96.93% R-Sq(pred) = 82.29% R-Sq(adj) = 94.23%

Analysis of Variance for Y (Max.)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	14	10.3016	10.30164	0.735832	36.03	0.000
Linear	4	7.5267	0.05415	0.013539	0.66	0.627
Square	4	2.4770	2.47696	0.619240	30.32	0.000
Interaction	6	0.2980	0.29797	0.049661	2.43	0.073
Residual Error	16	0.3268	0.32679	0.020425		
Lack-of-Fit	10	0.3268	0.32679	0.032679	*	*
Pure Error	6	0.0000	0.00000	0.000000		
Total	30	10.6284				

ข้อมูลการวิเคราะห์ห้ที่พิพฒของป้จยด้วยวิธีการวิเคราะห์ที่พื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology) ตามแผนการออกแบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (CCD) โดยโปรแกรม Minitab

Unusual Observations for Y (Max.)

Obs	StdOrder	Y (Max.)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
20	20	4.153	4.349	0.109	-0.196	-2.13 R
23	23	6.232	6.466	0.109	-0.234	-2.54 R

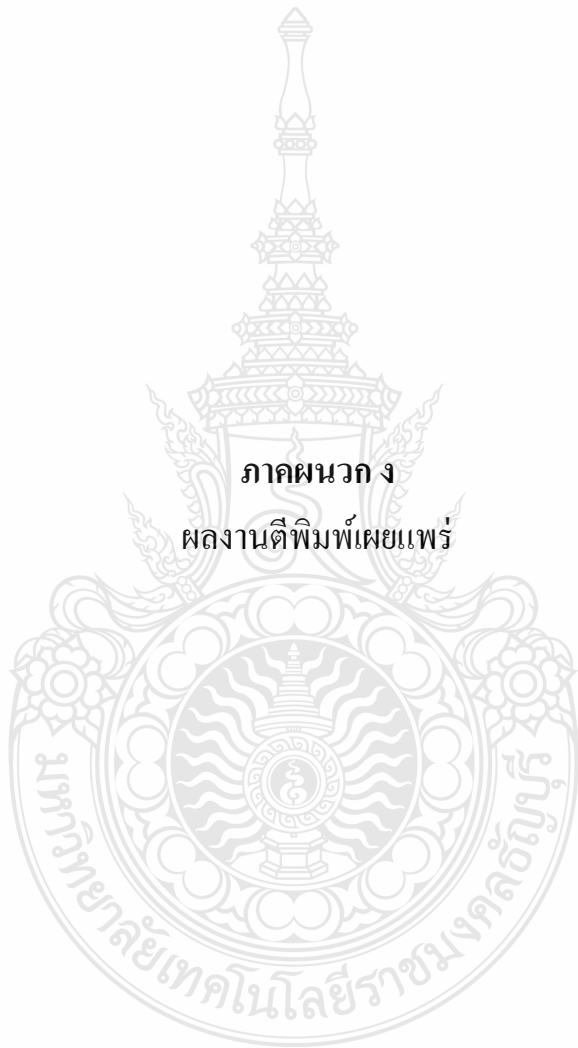
R denotes an observation with a large standardized residual.

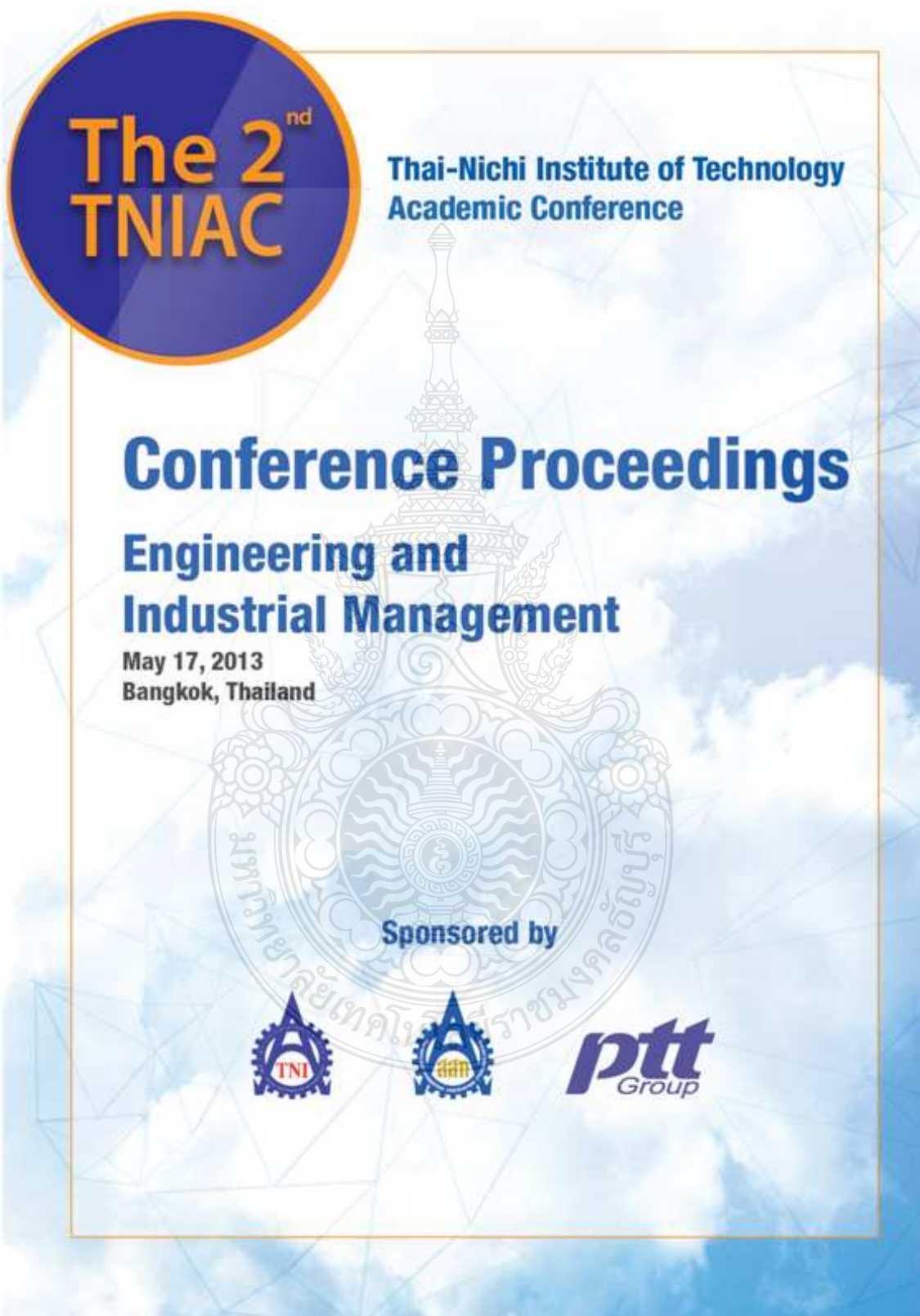
Predicted Response for New Design Points Using Model for Y (Max.)

Point	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
1	5.03229	0.109153	(4.80090, 5.26369)	(4.65107, 5.41351)
2	5.11079	0.109153	(4.87940, 5.34219)	(4.72957, 5.49201)
3	4.72496	0.109153	(4.49356, 4.95635)	(4.34374, 5.10618)
4	4.83446	0.109153	(4.60306, 5.06585)	(4.45324, 5.21568)
5	5.62463	0.109153	(5.39323, 5.85602)	(5.24340, 6.00585)
6	5.69213	0.109153	(5.46073, 5.92352)	(5.31090, 6.07335)
7	5.28679	0.109153	(5.05540, 5.51819)	(4.90557, 5.66801)
8	5.38529	0.109153	(5.15390, 5.61669)	(5.00407, 5.76651)
9	4.08113	0.109153	(3.84973, 4.31252)	(3.69990, 4.46235)
10	4.11063	0.109153	(3.87923, 4.34202)	(3.72940, 4.49185)
11	4.07329	0.109153	(3.84190, 4.30469)	(3.69207, 4.45451)
12	4.13379	0.109153	(3.90240, 4.36519)	(3.75257, 4.51501)
13	4.22196	0.109153	(3.99056, 4.45335)	(3.84074, 4.60318)
14	4.24046	0.109153	(4.00906, 4.47185)	(3.85924, 4.62168)
15	4.18363	0.109153	(3.95223, 4.41502)	(3.80240, 4.56485)
16	4.23313	0.109153	(4.00173, 4.46452)	(3.85190, 4.61435)
17	4.29708	0.109153	(4.06569, 4.52848)	(3.91586, 4.67831)
18	4.42508	0.109153	(4.19369, 4.65648)	(4.04386, 4.80631)
19	4.66392	0.109153	(4.43252, 4.89531)	(4.28269, 5.04514)
20	4.34925	0.109153	(4.11786, 4.58064)	(3.96803, 4.73047)
21	4.11425	0.109153	(3.88286, 4.34564)	(3.73303, 4.49547)
22	4.80592	0.109153	(4.57452, 5.03731)	(4.42469, 5.18714)
23	6.46625	0.109153	(6.23486, 6.69764)	(6.08503, 6.84747)
24	4.36292	0.109153	(4.13152, 4.59431)	(3.98169, 4.74414)
25	4.24800	0.054017	(4.13349, 4.36251)	(3.92412, 4.57188)
26	4.24800	0.054017	(4.13349, 4.36251)	(3.92412, 4.57188)
27	4.24800	0.054017	(4.13349, 4.36251)	(3.92412, 4.57188)
28	4.24800	0.054017	(4.13349, 4.36251)	(3.92412, 4.57188)
29	4.24800	0.054017	(4.13349, 4.36251)	(3.92412, 4.57188)
30	4.24800	0.054017	(4.13349, 4.36251)	(3.92412, 4.57188)
31	4.24800	0.054017	(4.13349, 4.36251)	(3.92412, 4.57188)

ข้อมูลการวิเคราะห์ห่อทธิพลของปัจจัยด้วยวิธีการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology) ตามแผนการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (CCD) โดยโปรแกรม Minitab (ต่อ)

ภาคผนวก ง
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่





**The 2nd
TNIAC**

**Thai-Nichi Institute of Technology
Academic Conference**

Conference Proceedings

Engineering and Industrial Management

**May 17, 2013
Bangkok, Thailand**

Sponsored by



Editor-in-Chief**Associate Professor Dr. Pichit Sukcharoenpong**

Vice President of Academic Affairs

Thai-Nichi Institute of Technology (TNI)

Bangkok 10250, Thailand

Telephone: 662 763 2631 Ext. 2631

Fax: 662 763 2725

Email: pichit@tni.ac.th

Internet: <http://www.tni.ac.th/tniac>**Assistant Editor****Dr. Jintawat Chaichanawong**

Faculty of Engineering

Thai-Nichi Institute of Technology (TNI)

Bangkok 10250, Thailand

Email: jintawat@tni.ac.th

Referees

Professor Dr. Sura Lekhakul, Thai-Nichi Institute of Technology

Assistant Professor Dr. Aroonluck Vithayavijin, Thai-Nichi Institute of Technology

Assistant Professor Dr. Lerkiat Vongsarnpigoon, Thai-Nichi Institute of Technology

Assoc. Prof. Dr. Natha Kuptasthien Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Associate Professor Dr. Penkhae Pachonpachanuk, Thai-Nichi Institute of Technology

Associate Professor Dr. Pichit Sukcharoenpong, Thai-Nichi Institute of Technology

Asst. Prof. Dr. Adisorn Leelasantitham Mahidol University

Asst. Prof. Dr. Nuttapol Limjeerajarus Thai-Nichi Institute of Technology

Asst. Prof. Dr. Pisut Pongchairerks Thai-Nichi Institute of Technology

Asst. Prof. Dr. Thosapon Katejanekarn Silpakorn University

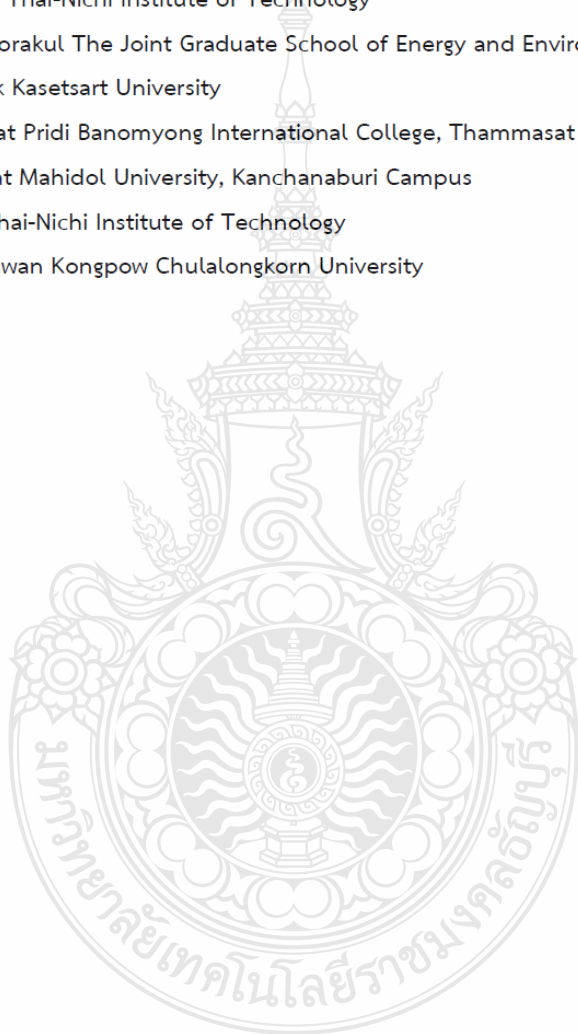
Asst. Prof. Dr. Warakom Nerdnoi Thai-Nichi Institute of Technology

Asst. Prof. Dr. Warakorn Srichavengsup Thai-Nichi Institute of Technology

Asst. Prof. Dr. Wipawadee Wongsuwan Thai-Nichi Institute of Technology

Dr. Apiluck Eiad-ua King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Dr. Boontariga Kasemsontitum Sirindhorn International Institute of Technology
Dr. Chansiri Singhtaun Kasetsart University
Dr. Dumrongkiat Ratana-Amornpin Thai-Nichi Institute of Technology
Dr. Jintawat Chaichanawong Thai-Nichi Institute of Technology
Dr. Korakot Hemsathapat, Thai-Nichi Institute of Technology
Dr. Nawin Viriya-empikul National Nanotechnology Center
Dr. Phaisarn Sudwilai Thai-Nichi Institute of Technology
Dr. Pipat Chaiwiwatworakul The Joint Graduate School of Energy and Environment
Dr. Ramidayu Yousuk Kasetsart University
Dr. Sunida Aroonpipat Pridi Banomyong International College, Thammasat University
Dr. Weerawut Chaiwat Mahidol University, Kanchanaburi Campus
Dr. Wimol San-Um Thai-Nichi Institute of Technology
Dr. Wipawan Wongsuwan Kongpow Chulalongkorn University



<i>Numerical Simulations of Wind Blow Sand over Vegetated Surfaces</i>	A3-3
Wichai Pattanapol	
การพัฒนาซอฟต์แวร์การแบ่งส่วนภาพและบีบอัดข้อมูลภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต ไพศาล ศรีพระราม, วรากร ศรีเขงทรัพย์	A3-4
Industrial and Engineering Technology	B
การปรับปรุงการออกแบบเพื่อแก้ปัญหารอยต่างบนกระจกมองหลังของรถยนต์ไอโคคาร์ คุณาวุฒิ วิบูลย์พันธุ์, ณัฐพล ลิ้มจิระจรัส	B1-1
การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในช่องสี่เหลี่ยมโค้งด้วยตัวสร้างกระแสวน กฤษณะ ภิไลยวรรณ, อุดมเกียรติ นนทแก้ว	B1-2
การออกแบบและสร้างชุดแปลงแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสสลับแบบตัวเก็บประจุ ขนาด 150 กิโลโวลต์ มินเรศน์ เตชะวงศ์, วรพงศ์ กันทะ	B1-3
การออกแบบระบบควบคุมวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงแบบบัสเพื่อติดตามกำลังสูงสุดสำหรับระบบ พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยทฤษฎีตรรกศาสตร์คลุมเครือด้วยโปรแกรมแม่เหล็กเชิงลิ่งค สุภณ กมล, วิมล แสนอ้อม	B2-1
<i>Parametric Study of the Automotive Condenser Manufacturing Process in a Brazing Furnace</i> , Chiradool Thaiprakob	B2-2
การสกัดสารออกฤทธิ์สำคัญจากบัวบกโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะเหนือจุดวิกฤตที่มีตัวทำละลาย ร่วม วราภรณ์ กิตติพันธ์วรกุล, มานพ เจริญไชยตระกูล	B2-3
ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรการขึ้นรูปกับพฤติกรรมกรรมการเกิดข้อบกพร่องบนชิ้นงานโลหะแผ่น สุรยุทธ์ โพธิ์ศรีสุข, ดิลก ศรีประไพ	B2-4
การพัฒนาปล่องกังหันลมสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าบนอาคารสูง กฤษณพงษ์ แสงแก้ว, สมภพ ปัญญาสมพรรค	B2-5
การออกแบบการทดลองเพื่อการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสียรูปในการจำลองกระบวนการฉีด ขึ้นส่วนพลาสติก ABS. อุดลย์ จิตรอารี, ศรีโร จารุภิญโญ, ระพี กาญจนะ	B3-1

**การออกแบบการทดลองเพื่อการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสียรูปในการจำลอง
 กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก ABS**

อดุลย์ จิตรอารี ศรีโร จารุภิญโญ และ ระพี กาญจนะ

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสียรูปในกระบวนการฉีดขึ้นรูปขึ้นรูปพลาสติก ABS. ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Moldex3D โดยทำการศึกษาปัจจัยเบื้องต้นทั้งหมด 8 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการฉีด, แรงดันฉีด, ระยะการเปลี่ยนฉีดอัดย้า, เวลาฉีดอัดย้า, แรงดันฉีดอัดย้า, อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก, อุณหภูมิแม่พิมพ์ และเวลาในการหล่อเย็น จากผลการจำลองกระบวนการฉีดตามแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าการเสียรูปของชิ้นส่วน ได้แก่ เวลาหล่อเย็น, อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก, เวลาฉีดอัดย้า และอัตราการฉีด จากการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมโดยวิธี Central composite design แล้วนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาทำการจำลองกระบวนการฉีดโดยโปรแกรม Moldex3D ผลลัพธ์ที่ได้คือ ได้ค่าการเสียรูปสูงสุดของชิ้นส่วนเท่ากับ 4.19 มิลลิเมตร ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.22 มิลลิเมตร และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.95 เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาทำการทดลองฉีดขึ้นรูปจริงเพื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้ไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% โดยได้ค่าการเสียรูปสูงสุดของชิ้นส่วนเฉลี่ยเท่ากับ 4.2 มิลลิเมตร จากการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดเพื่อช่วยในการวิเคราะห์คุณภาพของการออกแบบกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก ABS รวมไปถึงคุณภาพของการออกแบบระบบแม่พิมพ์ฉีดก่อนการสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เพื่อลดต้นทุนในการแก้ไขแม่พิมพ์ภายหลังการสร้างแม่พิมพ์จริง และยังสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ในกระบวนการฉีด เพื่อลดต้นทุนที่เกิดจากการทดลองฉีดจริงเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในกระบวนการผลิต



The 2nd TNIAC: Thai-Nichi Institute of Technology Academic Conference
 "Engineering and Industrial Management"
 May 17, 2013. Thai-Nichi Institute of Technology

การออกแบบการทดลองเพื่อการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสียรูปในการจำลอง กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก ABS.

Design of Experiments for Analyzing Factors Affecting to Varied Deformation in the Simulation of ABS Plastic Injection Molding Process.

อดุลย์ จิตรอารี ศรีโร จารุกัญญา และ ระพี กาญจนะ
 สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 39 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสียรูปในกระบวนการฉีดขึ้นรูปชิ้นส่วนพลาสติก ABS. ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Moldex3D โดยทำการศึกษาค่าปัจจัยเบื้องต้นทั้งหมด 8 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการฉีด, แรงดันฉีด, ระยะการเปลี่ยนฉีดอัตโนมัติ, เวลาฉีดอัตโนมัติ, แรงดันฉีดอัตโนมัติ, อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก, อุณหภูมิแม่พิมพ์ และเวลาในการหล่อเย็น จากผลการจำลองกระบวนการฉีดตามแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสียรูปของชิ้นส่วน ได้แก่ เวลาหล่อเย็น, อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก, เวลาฉีดอัตโนมัติ และอัตราการฉีด จากการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมโดยวิธี Central composite design แล้วนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาทำการจำลองกระบวนการฉีดโดยโปรแกรม Moldex3D ผลลัพธ์ที่ได้คือ ค่าการเสียรูปสูงสุดของชิ้นส่วนเท่ากับ 4.19 มิลลิเมตร ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.22 มิลลิเมตร และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.95 เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาทำการทดลองฉีดขึ้นรูปจริงเพื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง พบว่าผลลัพธ์ที่ได้ไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% โดยได้ค่าการเสียรูปสูงสุดของชิ้นส่วนเฉลี่ยเท่ากับ 4.2 มิลลิเมตร จากการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดเพื่อช่วยในการวิเคราะห์คุณภาพของการออกแบบกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก ABS รวมไปถึงคุณภาพของการออกแบบระบบแม่พิมพ์ฉีดก่อนการสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เพื่อลดต้นทุนในการแก้ไขแม่พิมพ์ภายหลังการสร้างแม่พิมพ์จริง และยังสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ในกระบวนการฉีด เพื่อลดต้นทุนที่เกิดจากการทดลองฉีดจริงเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในกระบวนการผลิต

คำสำคัญ: การออกแบบการทดลอง, การจำลอง, กระบวนการฉีด, ชิ้นส่วนยานยนต์

Abstract

The objectives of this research are to the study and analyze significant factors affecting varied deformation in the ABS plastic injection molding process by using design of experiments and injection molding process simulation with the moldex3D programming. In this study, eight factors were initially screened namely; injection flow, injection pressure, switching over position, packing time, packing pressure, melt temperature, mold temperature, and cooling time. As a result of using injection process simulation as of the fractional factorial experiment design, it shown the significant factors affecting to deformation were cooling time, melt temperature, packing time, and injection flow. Then the response surface methodology (RSM) with using the central composite design (CCD) was applied to analyze the optimum condition of each parameter before simulating the injection process by moldex3D programming. The simulation results shown that the maximum of deformation is 4.19 mm, the sample means is 2.22 mm, and the sample standard deviation is 0.95. After that setup the simulation results as parameter input into the actual injection process, the result shown that the maximum of deformation is 4.2 mm and there is no statistical difference between simulation results and experimental results at 95% confidential interval level. The contribution of this research improves the quality of ABS plastic injection process design including mold design. This also values in cost reduction in mold fabrication and trial production before launching real production.

Keywords: Design of experiment, simulation, injection molding process, automotive parts

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์มีการเติบโตอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดการแข่งขันในกลุ่มของผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์อย่างมาก การผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ภายใต้ต้นทุนการผลิตที่ต่ำสุดและรวดเร็ว จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะสร้างความสามารถในการแข่งขันของผู้ผลิต การสร้างความสามารถต่างๆนี้ จำเป็นต้องพึ่งพาเทคโนโลยีและกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ ชิ้นส่วนพลาสติก ABS เป็นวัสดุหนึ่งที่มีคุณสมบัติหลายประการที่ผู้ผลิตเลือกนำมาใช้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยกระบวนการผลิตส่วนใหญ่จะใช้กระบวนการผลิตแบบฉีดขึ้นรูป [1] เนื่องจากเป็นกรรมวิธีที่สามารถผลิตชิ้นส่วนที่รวดเร็วและผลิตได้ในปริมาณมากๆ ทำให้สามารถตอบสนองความต้องการชิ้นส่วนได้สูงและมีต้นทุนการผลิตต่อชิ้นที่ต่ำหากมีการผลิตในปริมาณมากๆ แต่อย่างไรก็ตาม กรรมวิธีนี้ ต้องอาศัยทักษะและเทคโนโลยีอย่างมากเพื่อให้ได้กระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ เพราะหากมีการควบคุมกระบวนการและค่าพารามิเตอร์ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องอย่างไม่เหมาะสมแล้วจะส่งผลให้เกิดข้อเสียจากกระบวนการและคุณภาพของชิ้นส่วนที่ไม่ได้มาตรฐาน ทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นและเป็นปัญหาต่อระบบการควบคุมคุณภาพอีกด้วย กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก ABS ส่วนใหญ่ยังมักพบปัญหาการเสีรูปของชิ้นส่วน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากหลายสาเหตุด้วยกัน เช่น การออกแบบชิ้นส่วน การออกแบบโครงสร้างและระบบแม่พิมพ์ การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ เป็นต้น ซึ่งการป้องกันและแก้ไขปัญหาค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้น การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมและการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จึงมีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากจะช่วยให้ผู้ผลิตชิ้นส่วนพลาสติก ABS ด้วยกรรมวิธีการฉีดขึ้นรูป สามารถวิเคราะห์และป้องกันปัญหาการเสีรูปของชิ้นส่วนได้ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีด เพื่อลดโอกาสที่จะเกิดความบกพร่องจากกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์และลดต้นทุนในการทดลองผลิตเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จะใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วน

2. ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ

การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ หมายถึงกระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสม และสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติ เพื่อหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้

2.1.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น

2.1.2 การทดลองแบบแฟกทอเรียลบางส่วน

การทดลองแบบแฟกทอเรียลบางส่วน คือ การทดลองที่ทำโดยลดรูปลงจากการทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบในสัดส่วนของจำนวนระดับปัจจัยการใช้งานโดยส่วนใหญ่ของการออกแบบการทดลองชนิดลดระดับเรียกว่า การทดลองเพื่อการวิเคราะห์เบื้องต้น (Screening Experiment) กล่าวคือ เป็นการทดลองซึ่งใช้ในการพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่มีอยู่ในระบบทั้งหมดว่า ปัจจัยใดให้ผลกระทบต่อผลตอบสนองของระบบที่มากที่สุด ดังนั้นการทดลองนี้จึงเป็นการทดลองในขั้นต้นแรก [2]

2.1.3 การออกแบบการทดลองแบบ Central Composite

การออกแบบการทดลองแบบ Central Composite มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการศึกษาหรือสร้างตัวแบบในลักษณะของโพลีโนเมียลดีกรี (Second-Order or Quadratic Model) มีความยืดหยุ่นในการใช้งานและมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแผนการทดลองอื่นที่ใช้ในการศึกษาตัวแบบโพลีโนเมียลดีกรี 2 [2]

2.1.4 วิธีพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology)

วิธีพื้นผิวผลตอบ เป็นการรวมเอาเทคนิคทั้งทางคณิตศาสตร์และทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหาโดยที่ผลตอบที่เราสนใจขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร และเรามีวัตถุประสงค์ที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบนี้ [3]

2.2 กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก

งานขึ้นรูปพลาสติกโดยกระบวนการฉีดขึ้นรูปนั้นคุณภาพของชิ้นส่วนที่ได้จะดีหรือไม่ ขึ้นอยู่กับกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ที่เหมาะสมและการปรับตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดพลาสติก โดยค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ อุณหภูมิขณะเป็ดขึ้นส่วน อุณหภูมิกระบอกลัด ชิ้นระขั้สกรู ความเร็วรอบสกรู ความดันฉีด ความดันฉีดอัดย้า เวลาฉีดอัดย้า ระยะสำรอง เวลาที่พลาสติกเหลวเข้ากระบอกลัด ความเร็วฉีด ความดันด้านการถอยกลับของสกรู ระยะเปลี่ยนการฉีดเป็นฉีดอัดย้า แรงปิดแม่พิมพ์ และเวลาในการหล่อเย็น เป็นต้น [4]

2.3 กระบวนการไฟไนต์เอลิเมนต์และการจำลองการฉีดพลาสติก

2.3.1 ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

กระบวนการวิเคราะห์ปัญหาใดๆทางไฟไนต์เอลิเมนต์จะประกอบไปด้วย การแบ่งโดเมนของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ การเลือกใช้นิพจน์ของเอลิเมนต์ การสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ การรวมระบบไฟไนต์เอลิเมนต์เข้าด้วยกันแล้วแก้ปัญหาสมการ และการคำนวณหาค่าอื่นๆ [5]

2.3.2 กระบวนการแก้ปัญหาด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์

1. กระบวนการขั้นต้น (Pre-Processing) คือกระบวนการสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์จากรูปแบบที่แท้จริงของปัญหา ซึ่งจะเก็บข้อมูลเหล่านี้ในรูปแบบของสมการทางเรขาคณิต โดยรูปแบบของไฟไนต์เอลิเมนต์ต้องเหมือนกับรูปร่างต้นแบบของจริงมากที่สุด

จากการนำเงื่อนไขของปัจจัยตามแผนการทดลองแฟกทอเรียล บางส่วนมาทำการจำลองกระบวนการฉีดขึ้นส่วนและวิเคราะห์ผลการเสียรูปของชิ้นส่วนโดยโปรแกรม Moldex3D ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์การเสียรูปของชิ้นส่วนโดยโปรแกรม Moldex3D ตามแผนการทดลอง 2⁸⁻⁴ Fractional Factorial

Run Order	Y ₁ (SD.)	Y ₂ (Means)	Y ₃ (Max.)
1	1.111	2.696	5.095
2	0.947	2.213	4.258
3	0.950	2.209	4.148
4	1.204	2.980	5.782
5	1.197	2.961	5.728
6	0.953	2.220	4.181
7	0.948	2.215	4.267
8	1.128	2.744	5.208
9	0.945	2.206	4.253
10	1.077	2.589	4.938
11	1.126	2.755	5.365
12	0.955	2.224	4.197
13	0.948	2.199	4.132
14	1.143	2.801	5.485
15	1.068	2.562	4.874
16	0.955	2.234	4.319

4.2 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้น (Screening Experiment) ตามแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน

จากผลการวิเคราะห์การจำลองกระบวนการฉีดขึ้นส่วนด้วยโปรแกรม Moldex3D ภายใต้เงื่อนไขแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วนแบบ 2⁸⁻⁴ เมื่อพิจารณาจากอิทธิพลของปัจจัยร่วม พบว่า แผนการทดลองนี้ มีรูปแบบ Resolution 4 หมายความว่า มีผลของอิทธิพลปัจจัยร่วมน้อยมาก โดยอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่สามารถตรวจพบได้จะเป็นผลของอิทธิพลร่วมที่มีโครงสร้างซ้ำซ้อนแบบ 2 ปัจจัยร่วมกับอีก 2 ปัจจัยร่วม ดังรูปที่ 4.1

```

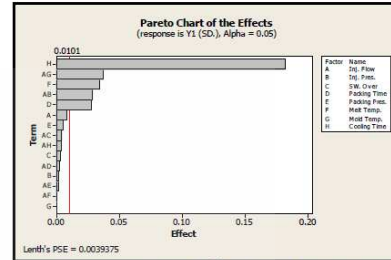
Design Generators: E = BCD, F = ACD, G = ABC, H = ABD

Alias Structure (up to order 4)
I + ABCC + ABHH + ABFF + ACDF + ACEH + ADCC + AFGH + BCDE + BCFH + EDFC + EGHG + CDGH + CDFG + DEFH

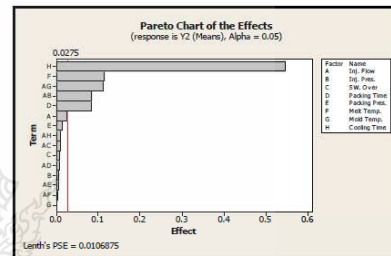
A + BCC + BHH + EFF + CDF + CFH + DEG + FGH
B + ACC + AHH + AEF + CDE + CFH + DFG + FGH
C + ABG + ABF + AEH + BDE + BFG + DGH + EFG
D + ABH + ACF + AEG + BCE + BFG + DGH + EFG
E + ABF + ACH + ADG + BCD + BGH + CDF + DFG
F + ABH + ACD + ABE + BCF + BDE + CEF + DEH
G + ABC + ADE + AFH + DDF + DEH + CDH + CEF
H + ABD + ACE + AFC + BCF + DEG + CDG + DEF
AB + CC + DH + EF + ACDE + ACFH + ADFG + AEHH + BCFG + BCFH + BDEG + BFGH
AC + BG + DF + EH + ABOE + ABFH + ADGH + ADFG + BCFH + BCFE + CDGC + CDFH
AD + BH + CF + DG + ABCE + ABFG + ACCH + AEFG + BCFG + BDEF + CDEF + DFGH
AE + BF + CH + DE + ABCD + ABGH + ACFG + ADFH + BCFG + BDEF + CDEF + DFGH
AF + BE + CD + GH + ABCH + ABGG + ACFG + ADFH + BCFG + BDEF + CDEF + DFGH
    
```

รูปที่ 4.1 โครงสร้างซ้ำซ้อนของ Main Effects และ Interaction Effects

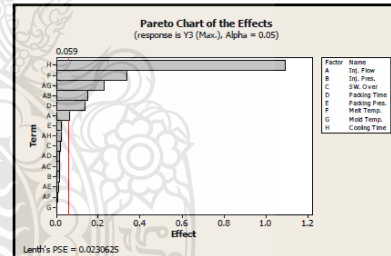
เมื่อพิจารณาที่ปัจจัยหลัก (Main Effects) พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Y₁ และ Y₂ ได้แก่ เวลาในการหล่อเย็น(H) , อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก(F) และ เวลาการฉีดอัด(D) ตามลำดับ ส่วนปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Y₃ ได้แก่ เวลาในการหล่อเย็น(H) , อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก(F) , เวลาการฉีดอัด(D) และอัตราการฉีด(A) ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.2, 4.3, 4.4



รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Y₁



รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Y₂



รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Y₃

4.3 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยโดยการออกแบบการทดลอง Central Composite Designs; CCD.

เมื่อนำปัจจัยที่มีอิทธิพลทั้ง 4 ปัจจัยที่ได้จากการศึกษาผลกระทบเบื้องต้น มาทำการวิเคราะห์ด้วยแผนการออกแบบการทดลอง Central Composite Designs ; CCD. (31 Run Order) แล้ว ทำการจำลองกระบวนการฉีดโดยโปรแกรม Moldex3D ผลลัพธ์ที่ได้ดังรูปที่ 4.5

2. กระบวนการวิเคราะห์ (Solution) คือ การนำข้อมูลต่างๆ ที่สร้างไว้ในขั้นตอนแรก มาเข้าสู่ส่วนที่ทำหน้าที่วิเคราะห์ในไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยตัวซอฟต์แวร์จะสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สอดคล้องกับปัญหานั้นๆ

3. กระบวนการขั้นสุดท้าย (Post-Processing) เป็นการใช้ระบบคอมพิวเตอร์กราฟฟิกส์ทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่อ่านค่าได้ง่าย โดยแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การออกแบบแผนการทดลอง

งานวิจัยนี้ ได้เลือกไว้วิธีการออกแบบแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Design) เพื่อใช้ในการทดลองเบื้องต้น (Screening Experiment) โดยปัจจัยที่นำมาทำการศึกษาดังนี้มีทั้งหมด 8 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการฉีด, แรงดันฉีด, ระยะการเปลี่ยนฉีดอัดยา, เวลาฉีดอัดยา, แรงดันฉีดอัดยา, อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก, อุณหภูมิแม่พิมพ์ และเวลาหล่อเย็น โดยออกแบบให้ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ 2 ระดับ

ตารางที่ 3.1 แผนการทดลอง 2^{8-4} Fractional Factorial

Item	Factors	Symbol	Levels	Low	High	Unit
1	Injection Flow Rate	A	2	50	80	%
2	Injection Pressure	B	2	60	80	%
3	Switching Over	C	2	90	98	%
4	Packing Time	D	2	4	8	Sec.
5	Packing Pressure	E	2	60	80	%
6	Melt Temperature	F	2	220	240	C ^o
7	Mold Temperature	G	2	60	80	C ^o
8	Cooling Time	H	2	30	60	Sec.

อิทธิพลของปัจจัยหรือตัวแปรตาม (ค่า Y) ที่ทำการศึกษา คือ ค่าการโก่งงอเสีรูปของชิ้นส่วน โดยแบ่งออกเป็น 3 ค่า ได้แก่ ค่า Y₁ คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการโก่งงอของชิ้นส่วน ค่า Y₂ คือค่าเฉลี่ยการโก่งของชิ้นส่วน และค่า Y₃ คือค่าการโก่งสูงสุดของชิ้นส่วน โดยค่าทั้ง 3 ค่านี้ จะได้จากการจำลองกระบวนการฉีดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Moldex3D

3.2 การสร้างรูปแบบและการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติก

ขั้นตอนนี้จะเป็นการสร้างลักษณะต่างๆ ของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Moldex3D R11 Designer เช่น ระบบทางวิ่งพลาสติก ระบบหล่อเย็น ระบบการทำงานของแม่พิมพ์ การแบ่งเอลิเมนต์ของแบบจำลอง เป็นต้น เมื่อได้รูปแบบของระบบจำลองแม่พิมพ์แล้วจะนำข้อมูลมาทำการกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการฉีดพลาสติก

3.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้น (Screening) เพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสีรูปของชิ้นส่วน

การวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้น จะนำข้อมูลค่าการโก่งงอของชิ้นส่วนที่ได้จากการจำลองระบบการฉีด มาทำการวิเคราะห์ตามรูปแบบการออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วนโดยโปรแกรม Minitab 15 โดยจะทำการคัดแยกให้เหลือเพียงเฉพาะปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Y เพื่อนำไปวิเคราะห์อย่างละเอียดในขั้นตอนต่อไป

3.4 การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัย

การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัย จะนำปัจจัยที่มีอิทธิพลที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วนมาทำการทดลองตามแผนการทดลองแบบ Central Composite Designs

3.5 การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology; RSM) และการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization)

ขั้นตอนนี้จะนำข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลการจำลองกระบวนการฉีดตามแผนการทดลองแบบ Central Composite Designs มาทำการวิเคราะห์และประมวลผลอย่างละเอียดโดยวิธีวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ และการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม โดยโปรแกรม Minitab 15

3.6 การยืนยันผลและการเปรียบเทียบผลการทดลอง

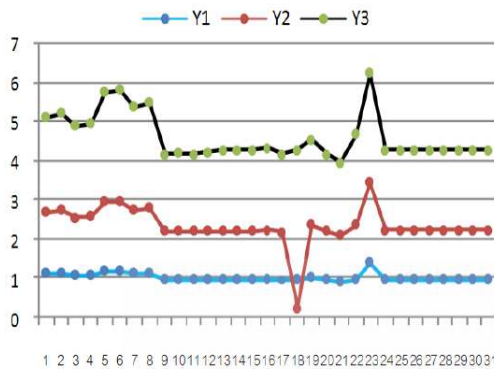
หลังจากทำการประมาณค่าของระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อระบบในขั้นตอนที่ผ่านมาแล้ว จะนำผลลัพธ์ที่ได้ เช่น เงื่อนไขและระดับของปัจจัยต่างๆ มาทำการประมวลผลและทดลองซ้ำ โดยสามารถแยกออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

1. การยืนยันและเปรียบเทียบผลการทดลองโดยกระบวนการจำลองระบบ ซึ่งเป็นการนำผลลัพธ์ของค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อระบบที่ได้มาทำการจำลอง (Simulation) ด้วยโปรแกรม Moldex3D R11 แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลมาเปรียบเทียบความแตกต่างกับค่า Y ทั้ง 3 ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization)

2. การยืนยันและเปรียบเทียบผลการทดลองโดยการทดลองฉีดพลาสติกจริง เป็นการนำผลลัพธ์ของค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อระบบ มาทำการทดลองฉีดพลาสติกด้วยเงื่อนไขและแม่พิมพ์ฉีดจริง แล้วนำชิ้นส่วนที่ได้จากกระบวนการฉีดจริงมาวัดค่าการโก่งงอแบบแอกซ์ติวการเสีรูป แล้วนำผลลัพธ์มาเปรียบเทียบความแตกต่างกับผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization) และกระบวนการจำลองระบบด้วยโปรแกรม Moldex3D R11 แล้วคำนวณหาระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ

4. ผลการทดลอง

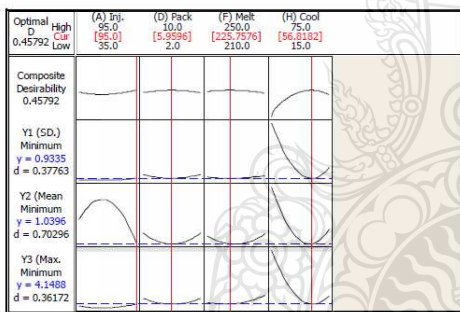
4.1 ผลการวิเคราะห์การเสีรูปของชิ้นส่วนโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Moldex3D ตามแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน



รูปที่ 4.5 ผลการจำลองกระบวนการฉีดโดยโปรแกรม Moldex3D ตามแผนการทดลอง Central Composite Designs ; CCD

4.4 ผลการวิเคราะห์โดยวิธีการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology; RSM.) และการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม

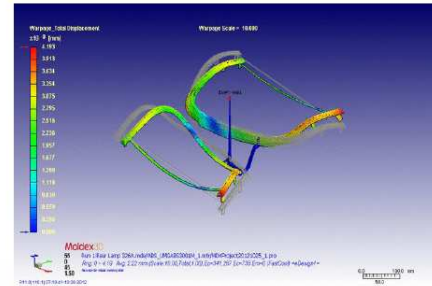
จากผลการทดลองตามแผนการทดลองแบบ Central Composite Designs ; CCD. เมื่อนำมาวิเคราะห์โดยวิธีการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology ; RSM.) แล้วทำการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization) ของปัจจัยที่ทำให้ค่า Y มีค่าต่ำที่สุดที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$ ผลที่ได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบที่เหมาะสม

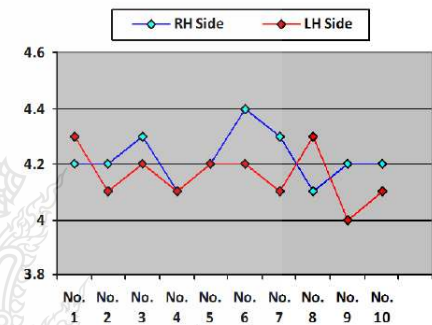
4.4 การยืนยันผลและการเปรียบเทียบผลการทดลอง

4.4.1 ผลการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกโดยนำเงื่อนไขปัจจัยที่เหมาะสมมาทำการจำลองกระบวนการฉีดขึ้นส่วนโดยโปรแกรม Moldex3D พบว่า ได้ค่า $Y_1 = 0.9529$, ค่า $Y_2 = 2.219$ และค่า $Y_3 = 4.19$ ดังรูปที่ 4.7

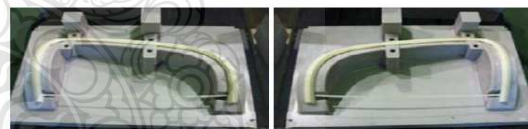


รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์การเสีรูปร่างโดยโปรแกรม Moldex3D ภายใต้เงื่อนไขปัจจัยที่เหมาะสม

4.4.2 ผลการทดลองจากกระบวนการฉีดขึ้นส่วนจริงภายใต้เงื่อนไขปัจจัยที่เหมาะสม พบว่า เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมไปใช้ในการปรับตั้งในกระบวนการฉีดจริง ผลที่ได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ค่าการเสีรูปร่างของชิ้นส่วนที่วัดได้จากกระบวนการฉีดจริง



รูปที่ 4.9 ลักษณะชิ้นส่วนและการวัดค่าการเสีรูปร่างของชิ้นส่วนแบบกวด

5. สรุปผลการทดลอง

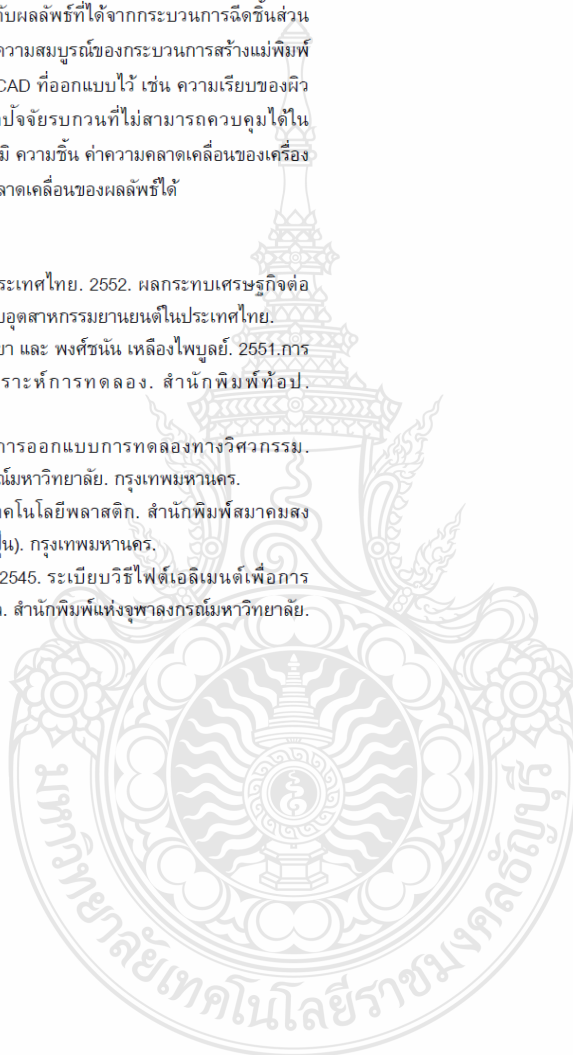
จากการทดลอง พบว่า การประยุกต์ใช้วิธีการออกแบบการทดลอง ร่วมกับการจำลองกระบวนการฉีดขึ้นส่วนพลาสติกโดยโปรแกรมวิเคราะห์การฉีดพลาสติก Moldex3D สามารถวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการเสีรูปร่างของชิ้นส่วนตัวอย่าง รวมถึงการวิเคราะห์หาค่าของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ผลลัพธ์ของการเสีรูปร่างของชิ้นส่วนต่ำที่สุด ซึ่งจากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์วิธีการออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม Minitab 15 กับผลการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกโดยโปรแกรม Moldex3D และผลการทดลองฉีดขึ้นส่วนจริง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสีรูปร่างของชิ้นส่วนตัวอย่าง

มี 4 ปัจจัย ได้แก่ เวลาในการหล่อเย็น , อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก , เวลาการฉีดอัดย้า และอัตราการฉีด

งานวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ปัจจัยในกระบวนการฉีดขึ้นส่วนพลาสติก ประสิทธิภาพของการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก รวมถึงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เพื่อลดปัญหาการเสียรูปของชิ้นส่วนก่อนการสร้างแม่พิมพ์ฉีดจริง เพื่อลดโอกาสและต้นทุนในการแก้ไขแม่พิมพ์ฉีดภายหลังการสร้างแม่พิมพ์ รวมถึงลดต้นทุนในการทดลองฉีดจริงเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมก่อนทำการผลิต ผลการวิจัยขั้นต้นอาจมีความคลาดเคลื่อนกับผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการฉีดขึ้นส่วนจริงอยู่บ้างทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความสมบูรณ์ของกระบวนการสร้างแม่พิมพ์ที่อาจมีความคลาดเคลื่อนจาก CAD ที่ออกแบบไว้ เช่น ความเรียบของผิวแม่พิมพ์ หรืออาจเนื่องมาจากปัจจัยรบกวนที่ไม่สามารถควบคุมได้ในกระบวนการฉีดจริง เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องฉีด เป็นต้น ซึ่งอาจส่งผลต่อค่าคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. 2552. ผลกระทบเศรษฐกิจต่อผลิตภัณฑ์พลาสติกสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ในประเทศไทย.
- [2] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบุลย์. 2551. การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง. สำนักพิมพ์ท็อป. กรุงเทพมหานคร.
- [3] ปารเมศ ชูติมา. 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.
- [4] บรรเลง ศรีเนล. 2544. เทคโนโลยีพลาสติก. สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพมหานคร.
- [5] ปราโมทย์ เตชะอำไพ. 2545. ระเบียบวิธีไฟต์เอเลเมนต์เพื่อการคำนวณพลศาสตร์ของไหล. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นายอคุลย์ จิตรอารี
วัน เดือน ปีเกิด	2 สิงหาคม พ.ศ. 2526
ที่อยู่	บ้านเลขที่ 83 หมู่ที่ 1 ตำบลและ อำเภอทุ่งช้าง จังหวัดน่าน
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2544	สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาช่างกลโรงงาน วิทยาลัยเทคนิคน่าน จังหวัดน่าน
พ.ศ. 2547	สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาช่างเทคนิค การผลิต วิทยาลัยเทคนิคน่าน จังหวัดน่าน
พ.ศ. 2550	สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรม อุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2552 - 2554	ตำแหน่งวิศวกรโครงการ แผนกพัฒนาผลิตภัณฑ์ ฝ่ายวิศวกรรมผลิตภัณฑ์ บริษัท วิเชียร ไดนามิคอินดัสตรี จำกัด จังหวัดปทุมธานี
พ.ศ. 2555 - ปัจจุบัน	ตำแหน่งผู้ช่วยหัวหน้าแผนกพัฒนาผลิตภัณฑ์ ฝ่ายวิศวกรรมผลิตภัณฑ์ บริษัท วิเชียร ไดนามิคอินดัสตรี จำกัด จังหวัดปทุมธานี