การประยุกต์ใช้เทคนิค ซิกซ์ ซิกม่า
เพื่อลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก

สมพร วงษ์เพ็ง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้เทคนิค ซิกซ์ ซิกม่า เพื่อลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก
ชื่อ- นามสกุล	นายสมพร วงษ์เพ็ง
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. ระพี กาญจนะ
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการฉีดพลาสติก และปรับปรุงคุณภาพของชิ้นงาน โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า จากข้อมูลในอดีตพบว่า มีของเสีย 19,041 ดีพีพีเอ็ม หรือ ร้อยละ 1.9 ซึ่งไม่เป็นไปตามเป้าหมายขององค์กรที่ตั้งไว้ คือ ของเสียจากการผลิตต้องไม่เกินร้อยละ 0.5 หรือ 5,000 ดีพีพีเอ็ม และค่าความสามารถของกระบวนการเท่ากับ 1.14 ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานทั่วไปต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 1.33

วิธีการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอน โดยเริ่มจากขั้นตอนการกำหนดปัญหาคือ การฉีดไม่เต็มชิ้นงาน หรือประมาณร้อยละ 64 ของ ของเสียทั้งหมด และหาค่าความสามารถกระบวนการฉีดพลาสติก ขั้นตอนที่สองการวัดกำหนดสาเหตุปัญหา โดยการสร้างแผนภูมิกระบวนการ ทำให้ทราบความสัมพันธ์ของกระบวนการ จากนั้นหาสาเหตุของปัญหา โดยการสร้างแผนภูมิสาเหตุและผล ซึ่งจะนำไปเชื่อมโยงกับค่าระดับความเสี่ยงที่ได้มาจากการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดของกระบวนการ เพื่อหาสาเหตุที่มีผลกระทบต่อปัญหามากที่สุด จากนั้นศึกษาระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบชิ้นงาน เพื่อให้ระบบการวัดถูกต้องและแม่นยำ ขั้นตอนที่สามวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่แท้จริงด้วยวิธีการทางสถิติ เพื่อให้ทราบสาเหตุที่แท้จริงที่มีผลกระทบกับปัญหา ขั้นตอนที่สี่การปรับปรุงตัวแปรต่างๆ ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลอง และขั้นตอนสุดท้ายคือการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการปรับปรุงด้วยเทคนิคการควบคุมเชิงสถิติให้ธำรงรักษาไว้

ผลการวิจัยตามแนวทางเทคนิคซิกซ์ ซิกม่าสามารถลดปัญหาของเสีย จากกระบวนการฉีดพลาสติกเหลือ 4,064 ดีพีพีเอ็ม หรือ ร้อยละ 0.41 ซึ่งสามารถลดลงได้ร้อยละ 78.66 จึงสามารถบรรลุเป้าหมายขององค์กร และยังสามารถเพิ่มความสามารถของกระบวนการให้เป็น 1.94 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานทั่วไป

คำสำคัญ: ซิกซ์ ซิกม่า ปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน กระบวนการฉีดพลาสติก

Thesis Title	The Application of Six Sigma Technique for Defects Reduction in The Injection Molding Process
Name - Surname	Mr. Somporn Vongpeang
Program	Industrial Engineering
Thesis Advisor	Dr. Rapee Kanchana
Academic Year	2011

ABSTRACT

The objectives of this thesis are to solve the defects problem in the injection molding process and to improve the product quality by applying the six sigma technique. From the historical data, it illustrated that the defect rate was 19,041 DPPM or 1.9 percent defect. Moreover, the process capability equaled to 1.14 which did not meet the company's target. The company aims to reduce the defect rate to be less than or equals to 0.5 percent defect or 5,000 DPPM and the process capability must be greater than or equal to 1.33 according to the general standard criteria.

The research methodology composed of five steps. Starting with defining the problem, the major problem is shot short problem which is about 64 percent all of defects and then evaluating the process performance. The second step was measurement phases with process mapping to investigate the relationship of process after that using cause and effect diagram to analyzing the root cause of the shot short problem. The failure mode and effect analysis (FMEA) root was consequently applied to identify the high impact on the shot short problem while the measurement system analysis was also implemented. The third step was analyzing the significant cause of problem with statistical tests. The fourth step was improving the significant factors by using the design of experiments (DOE) technique and the last step was controlling the significant factors with the statistical process control technique.

The result shows that the defects problem in the injection molding process can be decreased to 4,064 DPPM or 0.41 percent defect which equal to 78.66 percent defect decreased. This improvement achieves the company's target and also increases the process capability to be equals 1.94 as the general standard criteria.

Keywords: Six Sigma, shot short problem, injection molding process.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความเมตากรุณาอย่างสูงจาก ดร.ระพี กาญจนะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ณฐา คุปตัษเฐียร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.สมศักดิ์ อิทธิโสภณกุล และดร.เพ็ญสุดา พันฤทธิ์ดำ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ. โอกาสนี้

วิทยานิพนธ์นี้สามารถเสร็จสิ้นได้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ให้ประสิทธิประสาทวิชา คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการทำวิจัย บ่มเพาะจนผู้วิจัยสามารถนำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัย และให้ความอนุเคราะห์ประเมินรับรองงานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบพระคุณบิดา มารดาซึ่งสนับสนุนในด้านกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา ขอขอบพระคุณบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งมีผู้ช่วยกรรมการผู้จัดการ, ผู้จัดการ, หัวหน้าแผนก และช่างเทคนิค ที่ได้ให้การช่วยเหลือสนับสนุน และคำปรึกษาในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดียิ่ง ขอขอบคุณบุคลากร บัณฑิตวิทยาลัยทุกคนที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือตลอดช่วงเวลาของการศึกษาทำการวิจัย และขอขอบคุณกำลังใจจากเพื่อน ๆ ทุกท่าน ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

สมพร วงษ์เพ็ง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ซ
สารบัญภาพ ..... ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฎ
บทที่
1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 สมมุติฐานการวิจัย 2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย 3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์พลาสติก และกระบวนการขึ้นรูปพลาสติก 4
2.2 ประวัติและความเป็นมาของซิกซ์ ซิกม่า 23
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 48
2.4 การวิจารณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 53
3 การดำเนินการวิจัย 54
3.1 การศึกษากระบวนการฉีดพลาสติก Slat 2051003002 56
3.2 การจัดตั้งทีมงานในการแก้ไขปัญหา 56
3.3 การอบรมเทคนิคซิกส์ ซิกม่า ให้กับคณะทำงาน 56
3.4 ขั้นตอนการเลือกปัญหา 57

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

3.5 ขั้นตอนการวัด....57
3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์....62
3.7 ขั้นตอนการปรับปรุง....65
3.8 ขั้นตอนการควบคุม....65
4 ผลการดำเนินการวิจัย....67
4.1 ผลการศึกษาขั้นตอนกระบวนการฉีดพลาสติก....67
4.2 ผลการจัดตั้งทีมงาน เพื่อการแก้ไขปัญหา....73
4.3 ผลการอบรมการบริหารคุณภาพด้วยวิธีการซิกส์ ซิกม่าให้กับทีมงาน....74
4.4 ขั้นตอนการเลือกปัญหา (Define Phase)....74
4.5 ขั้นตอนการวัดผล (Measure Phase)....80
4.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Phase)....92
4.7 ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase)....104
4.8 ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase)....109
4.9 บทสรุปการดำเนินงาน....113
5 สรุป อภิปรายผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ....115
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน....115
5.2 อภิปรายผลการดำเนินงาน....116
5.3 ข้อดีและข้อเสียในการดำเนินงานแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า....117
5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่จะนำงานวิจัยนี้ไปปฏิบัติ....117
รายการอ้างอิง....118
ภาคผนวก....120
ก ภาพของเครื่องมือต่างๆที่ใช้ เครื่องฉีดพลาสติก และผลิตภัณฑ์ในการดำเนินงาน....121
ข ลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในชิ้นงานและวิธีแก้ไข....134
ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่....141
ประวัติผู้เขียน....157

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 เกณฑ์การให้ลำดับขั้นผลกระทบของความรุนแรง....36

2.2 การให้ลำดับโอกาสเกิดความผิดพลาด....37

2.3 โอกาสที่จะตรวจจับโดยการควบคุมกระบวนการ....37

4.1 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิต Slat แบบพลาสติก กับ แบบเดิม....75

4.2 จำนวนการผลิต ผลิตภัณฑ์จากพลาสติก ตั้งแต่ ตุลาคม 2553 ถึง กุมภาพันธ์ 2554....75

4.3 ข้อมูลการผลิตของเสีย ของกระบวนการฉีดพลาสติก....76

4.4 ประเภท และจำนวนของเสีย ผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002 ตั้งแต่ ตุลาคม 2553 ถึง กุมภาพันธ์ 2554....77

4.5 การเปรียบเทียบดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ....79

4.6 ผลการวิเคราะห์ความบกพร่องและผลกระทบ....83

4.7 ผลสรุปลำดับคะแนนในการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบที่สำคัญ....84

4.8 ข้อมูลการตรวจสอบชิ้นงานตัวอย่างของพนักงานตรวจสอบทั้ง 3 คน ก่อนปรับปรุง....86

4.9 ข้อมูลการตรวจสอบชิ้นงานตัวอย่างของพนักงานตรวจสอบทั้ง 3 คน หลังปรับปรุง....90

4.10 ค่าของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์....94

4.11 ผลการทดลองค่าแรงดันฉีด....95

4.12 ผลการทดลองค่าความเร็วฉีด....97

4.13 ผลการทดลองค่าเวลาฉีด....98

4.14 ผลการทดลองค่าอุณหภูมิฉีด....100

4.15 ผลการทดลองค่าเวลาการหล่อเย็น....101

4.16 ผลการทดลองค่าฉีดย้ำ....103

4.17 คุณลักษณะของปัจจัยป้อนเข้าในแบบการทดลอง....104

4.18 ผลการทดลองแบบ 2^3 Full factorial....105

4.19 ข้อมูลค่าน้ำหนักชิ้นงานทุก ๆ 2 ชั่วโมงช่วงวันที่ 22-28 ส.ค. ปี 2554....110

4.20 การเปรียบเทียบข้อมูลการการผลิต ก่อน ระหว่าง และหลังการปรับปรุงของผลิตภัณฑ์ Slat 2051003002 ในกระบวนการฉีดพลาสติก เดือนตุลาคม พ.ศ. 2553-กันยายน พ.ศ. 2554....112

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1.1 ผลิตภัณฑ์ Slat โลหะแบบเดิม ที่พัฒนามาเป็น Slat พลาสติก 2
2.1 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องฉีดพลาสติก 6
2.2 ส่วนประกอบของชุดฉีด....7
2.3 ส่วนประกอบของชุดเปิด-ปิดแม่พิมพ์....7
2.4 ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์ เพื่อปิดแม่พิมพ์ 8
2.5 ขั้นตอนการเลื่อนของชุดฉีด 9
2.6 ขั้นตอนการย้ำเพื่อรักษาความดันให้กับพลาสติกในแม่พิมพ์ 9
2.7 ตำแหน่งของชุดฉีดขณะที่หล่อเย็น....10
2.8 การถอยหลังกลับของชุดฉีด....10
2.9 การเปิดออกของแม่พิมพ์....11
2.10 คุณสมบัติของพอลิเมอร์แบบอสัณฐาน (PS) และแบบกึ่งผลึก (PE)....12
2.11 ผลของอุณหภูมิพลาสติกหลอมเหลวที่มีต่อความหนืดของพลาสติก 14
2.12 ภาพแบบของอุณหภูมิกระบอกฉีดแบบอุณหภูมิต่ำแล้วค่อยๆสูงขึ้น....14
2.13 ภาพแบบของอุณหภูมิกระบอกฉีดแบบอุณหภูมิคงที่....15
2.14 ภาพแบบของอุณหภูมิกระบอกฉีดแบบอุณหภูมิลดลง....15
2.15 ตำแหน่งของสกรูในแต่ละจังหวะการฉีด 17
2.16 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการฉีดย้ำและความหนาชิ้นงาน....21
2.17 การแจกแจงปกติที่ตำแหน่งกึ่งกลาง....25
2.18 การเปลี่ยนแปลงค่าตั้ง โดยธรรมชาติ....26
2.19 กระบวนการในการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องในซิกส์ ซิกม่า....28
2.20 โครงสร้างของแผนภาพสาเหตุและผลแบบวิเคราะห์ความผันแปร....31
2.21 โครงสร้างของแผนภาพสาเหตุและผลแบบจำแนกตามกระบวนการ....32
2.22 โครงสร้างของแผนภาพสาเหตุและผลแบบกำหนดรายการสาเหตุ 32
2.23 ตัวอย่างลักษณะของแผนภาพพาเรโต 39
2.24 แผนภูมิควบคุม....48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย....55
3.2 แผนภาพแสดงเหตุและผลของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน....58
3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา....63
4.1 ผลิตภัณฑ์ Slat 2051003002....67
4.2 ขั้นตอนกระบวนการฉีดพลาสติก....68
4.3 แสดงวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต Slat 2051003002....69
4.4 การติดตังแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก....69
4.5 การปรับตั้งพารามิเตอร์เครื่องฉีดพลาสติก....70
4.6 จังหวะปิดแม่พิมพ์....70
4.7 จังหวะฉีดพลาสติก....71
4.8 จังหวะแม่พิมพ์เคลื่อนที่เปิด....71
4.9 จังหวะการปลดชิ้นงาน....72
4.10 การตรวจสอบชิ้นงาน....72
4.11 การบรรจุผลิตภัณฑ์....73
4.12 โครงสร้างของทีมงานในการแก้ปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน....74
4.13 ข้อมูลการผลิต ของกระบวนการฉีดพลาสติก....76
4.14 การเปรียบเทียบข้อมูลการผลิต ของกระบวนการฉีดพลาสติก....77
4.15 เปอร์เซ็นต์ของเสีย ตั้งแต่เดือน ตุลาคม 2553 ถึง กุมภาพันธ์ 2554....78
4.16 ดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการก่อนการปรับปรุง....78
4.17 ลักษณะของเสีย การฉีดไม่เต็มชิ้นงาน (Short shot) ของผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002....79
4.18 เป้าหมายการดำเนินการวิจัย....80
4.19 กระบวนการที่จะก่อให้เกิด ปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน....81
4.20 แผนภาพแสดงเหตุและผลของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน....82
4.21 แผนภาพพาเรโตเรียงตามลำดับค่า RPN....85
4.22 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับก่อนปรับปรุง....87

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.23 การประมาณค่าแบบช่วงของร้อยละรีพีททะบิลิตี้ของพนักงาน (With Appraisers) และร้อยละความไม่ไบอัสของพนักงาน (Appraiser vs Standard) ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 % หลังปรับปรุง 87
4.24 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับหลังปรับปรุง 91
4.25 การประมาณค่าแบบช่วงของร้อยละรีพีททะบิลิตี้ของพนักงาน (With Appraisers) และร้อยละความไม่ไบอัสของพนักงาน (Appraiser vs Standard) ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 % หลังปรับปรุง 91
4.26 ผลการหาจำนวนตัวอย่างโดยใช้โปรมแกรม MINITAB ช่วยในการคำนวณ 93
4.27 ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรมแกรม Minitab การตั้งค่าแรงดันฉีด....96
4.28 ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรมแกรม Minitab การตั้งค่าความเร็วฉีด....97
4.29 ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรมแกรม Minitab การตั้งค่าเวลาฉีด....99
4.30 ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรมแกรม Minitabการตั้งค่าอุณหภูมิฉีด 100
4.31 ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรมแกรม Minitab การตั้งค่าเวลาการหล่อเย็น 102
4.32 ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรมแกรม Minitab การตั้งค่าฉีดย้ำ....103
4.33 ผลการออกแบบโดยใช้โปรมแกรม Minitab 105
4.34 ผลลัพธ์การทดลองแบบ 2^3 แฟคทอเรียล....106
4.35 ผลกระทบหลักของปัจจัยเดี่ยว 107
4.36 ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสม 108
4.37 แผนภูมิควบคุม X-bar-R สำหรับค่าน้ำหนักของชิ้นงาน 110
4.38 แนวโน้มปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานก่อนและหลังการปรับปรุง....111
4.39 แนวโน้มการเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานก่อนและหลังการปรับปรุง....113
4.40 สรุปผลการทดลองก่อนและหลังการปรับปรุง 114

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

n	จำนวนข้อมูล
N	จำนวนประชากรทั้งหมด
G	สิ่งตัวอย่างงานที่มีคุณภาพ
NG	สิ่งตัวอย่างงานที่มีคุณภาพไม่ดี
H_0	สมมุติฐานหลัก
H_1	สมมุติฐานอื่น
R^2	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ
x_i	ค่าวัดของข้อมูลตัวที่ i
y	ค่าของข้อมูลทางสถิติ
Z	ตัวแปรสุ่มแบบปกติมาตรฐาน
α	ความเสี่ยงของการตัดสินใจผิดพลาดแบบที่ 1
β	ความเสี่ยงของการตัดสินใจผิดพลาดแบบที่ 2
ε	ผลจากค่าที่ควบคุมไม่ได้
σ	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
L	ระยะชักสกรู
V	ปริมาตรพลาสติกเหลว
D	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู
IP	ความดันฉีด
K_F	Flowability
K_S	Thickness factor
F_W	ระยะทางการไหลที่ยาวที่สุด
F	แรงปิดแม่พิมพ์
CT	เวลาหล่อเย็น

Analysis of Variance (ANOVA)	การวิเคราะห์ความแปรปรวน
Blocking	การสกัดกั้น
Brainstorming	การระดมสมอง

Cause and Effect Diagram	แผนภาพสาเหตุและผล
Common Cause	สาเหตุธรรมชาติ
Contingency Table	ตารางแสดงเงื่อนไข
Control Limit	พิกัดควบคุม
Continue Process	กระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง
Data	ข้อมูล
Defective Ratio	สัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง
Degree of Freedom	องศาความอิสระของข้อมูล
Design Factor	ปัจจัยออกแบบ
Design of Experiment	การออกแบบการทดลอง
Experiment Error	ความผิดพลาดในการทดลอง
Factorial Experiment	การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล
Failure Mode Effect Analysis	การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ
Fish Bone Diagram	แผนภาพก้างปลา
Held-Constant Factor	ปัจจัยควบคุมให้คงที่
Hypothesis	สมมุติฐาน
Independent Test	การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล
Input	ด้านเข้า/ปัจจัยการผลิต
Interaction Effect	อิทธิพลร่วม
Intrinsic Technology	เทคโนโลยีเฉพาะด้าน
Key Process Input	ปัจจัยที่ป้อนเข้าที่สำคัญต่อกระบวนการ
Linearity	คุณสมบัติเชิงเส้นตรง
Main Effect	อิทธิพลหลัก
Model Adequacy Checking	การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล
Normality Test	การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล
Occurrence	โอกาสในการเกิด
Output	ด้านออก/ผลผลิต
Pareto Diagram	แผนภาพพาเรโต
Potential Cause of Failure	สาเหตุที่มีแนวโน้มในการเกิดข้อบกพร่อง

Potential Effect of Failure	ลักษณะผลกระทบที่มีแนวโน้มว่าจะเกิด
Potential Failure Mode	ลักษณะข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มว่าจะเกิด
Precision	ความแม่นยำ
Probability	ความน่าจะเป็น
Problem Statement	การทำความเข้าใจถึงปัญหา
Process Description / Function	รายละเอียดของกระบวนการ
Quality Control	การควบคุมคุณภาพ
Quality Improvement	การปรับปรุงคุณภาพ
Randomization	การสุ่ม
Response Variable	ตัวแปรตอบสนอง
Replication	การทำภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน
Residual Analysis	การวิเคราะห์เศษเหลือ
Response Variable	ตัวแปรตอบสนอง
Sample	สิ่งตัวอย่าง
Sample Size	ขนาดของสิ่งตัวอย่าง
Screen Design	การออกแบบเพื่อกรองปัจจัยต่างๆ
Setting Value	ค่าปรับตั้ง
Severity of the Effect	ความรุนแรงของผลกระทบ
Specification	ข้อกำหนดเฉพาะ
Stability	ความมีเสถียรภาพ
Statistical Hypothesis	สมมุติฐานเชิงสถิติ
Statistical Analysis	การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ
Risk Priority Number	ตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญของความเสี่ยง
Test of Hypothesis	การทดสอบสมมุติฐาน
Tolerance	ค่าเผื่อ
Uncontrollable Factor	ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้
Variable	ตัวแปร
Variance	ความแปรปรวน
Vital Few	สิ่งสำคัญมากที่มีจำนวนน้อย

Visual Inspection	การตรวจสอบโดยใช้สายตา
Injection Molding	กรรมวิธีการฉีดพลาสติก
Extrusion	กรรมวิธีการอัด
Blow Molding	กรรมวิธีการเป่า
Calendering	กรรมวิธีการรีด
Semi-Crystalline	โครงสร้างกึ่งผลึก
Amorphous	โครงสร้างอสัณฐาน
Shrinkage	การหดตัว
Melting Temperature	อุณหภูมิหลอมเหลว
Mold Temperature	อุณหภูมิแม่พิมพ์
Demolding Temperature	อุณหภูมิขณะปลดชิ้นงาน
Holding Pressure	ความดันฉีดย้ำ
Sink Mark	เกิดรอยยุบในชิ้นงาน
Burning	เกิดการไหม้
Surface Blemished	มีจุดบนผิวชิ้นงาน
Flashing	เนื้อพลาสติกที่เกินออกมานอกแม่พิมพ์
Laminations	เนื้อพลาสติกแบ่งเป็นชั้น
Flow Line	มีรอยการไหลของพลาสติก
Brittle Part	ชิ้นงานเปราะแตกง่าย
Wavy Surface	ผิวชิ้นงานเป็นคลื่น
Voids in Part	มีโพรงในชิ้นงาน
Short Shot	ฉีดไม่เต็มชิ้นงาน
Jetting	รอยพ่น

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันพลาสติกได้เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตประจำวันของเรามากขึ้นอย่างที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังเช่น บริษัทกรณีศึกษานี้ ก็ได้นำพลาสติกมาผลิตแทนวัตถุดิบประเภทอื่น เช่นโลหะลวด เป็นต้น ผลิตภัณฑ์จากเม็ดพลาสติกสามารถขึ้นรูปได้เร็ว มีความคงทน และอายุการใช้งานยาวนาน จึงส่งผลให้อุตสาหกรรมพลาสติกเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีการแข่งขันกันสูงมาก เพื่อให้สามารถแข่งขันกับผู้ประกอบการรายอื่นๆ ได้ จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงคุณภาพของสินค้า และลดต้นทุนการผลิต

จากข้อมูลข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาในกระบวนการการฉีดพลาสติก (Injection molding process) ของบริษัทกรณีศึกษา โดยกระบวนการฉีดพลาสติกเริ่มจากเม็ดหรือผงพลาสติกถูกให้ความร้อน หลอมเหลว และฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์จนเต็ม หลังจากนั้นปล่อยให้แข็งตัว แล้วจึงปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ได้ชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์ ดังนั้นคุณภาพของชิ้นงานที่ได้จะดีหรือไม่ดี ขึ้นอยู่กับการออกแบบแม่พิมพ์ที่เหมาะสม และการปรับตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดพลาสติก ได้แก่ อุณหภูมิกระบอกฉีด ระยะชักสกรู ความเร็วรอบสกรู เป็นต้น ถ้าปรับค่าพารามิเตอร์ไม่ถูกต้อง ไม่เหมาะสม หรือลองผิดลองถูก (Trial and error) จะทำให้เกิดของเสียขึ้นในกระบวนการฉีดพลาสติกเป็นจำนวนมาก คุณภาพชิ้นงานที่ได้ออกมาอาจจะไม่ตรงตามความต้องการของลูกค้า ทั้งนี้บริษัทกรณีศึกษาก็ประสบปัญหาในด้านการเกิดของเสียจากกระบวนการฉีดพลาสติก และการปรับตั้งพารามิเตอร์ต่างๆของเครื่องฉีดพลาสติก อีกทั้งบุคลากรยังขาดความรู้ ความสามารถ จึงทำให้เกิดปัญหาขึ้นบ่อยครั้ง

จากการศึกษาในกระบวนการฉีดพลาสติกโรงงานกรณีศึกษา และงานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002 เนื่องมาจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการพัฒนาจากโลหะมาเป็นพลาสติก แสดงดังภาพที่ 1.1 ซึ่งมีปริมาณการผลิตสูง และการสั่งซื้อระยะยาว (Long term order) จากการรวบรวมข้อมูลการผลิตตั้งแต่เดือนตุลาคม 2553 ถึง กุมภาพันธ์ 2554 มีจำนวนการผลิตถึง 178,820 ชิ้น หรือ 19.9 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนการผลิตทั้งหมด และยังพบปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นมากถึง 3,471 ชิ้น หรือ 19,041 DPPM หรือ 1.9 % Defects ซึ่งไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่องค์กรตั้งไว้ คือของเสียจากการผลิตต้องไม่เกิน 0.5 % Defects หรือ 5,000 DPPM

เดิม **ปัจจุบัน**

ภาพที่ 1.1 ผลิตภัณฑ์ Slat โลหะแบบเดิม ที่พัฒนามาเป็น Slat พลาสติกแบบใหม่ รหัส 2051003002

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกที่จะนำเทคนิคซิกซ์ ซิกม่า มาเป็นแนวทางช่วยในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น โดยมีการพัฒนาและปรับปรุงทั้งทางด้านคุณภาพให้ดีขึ้น ต้นทุนการผลิตลดลง เป็นแนวทางที่ช่วยลดความผันแปรระยะยาวในกระบวนการผลิต และอาศัยการวิเคราะห์ การตัดสินใจอย่างมีเหตุผลภายใต้ข้อมูลที่สามารถเชื่อถือได้

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อใช้หลักการ DMAIC ปรับปรุงคุณภาพสินค้า ผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002 ในกระบวนการฉีดพลาสติก

1.2.2 เพื่อลดปริมาณของเสียผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002 ในกระบวนการฉีดพลาสติกให้ต่ำกว่า 5 % Defect

1.3 สมมุติฐานการวิจัย

การประยุกต์ใช้เทคนิค ซิกซ์ ซิกม่า (Six sigma technique) ในกระบวนการฉีดพลาสติกสามารถแก้ไขปัญหาของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต และปรับปรุงคุณภาพของชิ้นงานได้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยฉบับนี้ จะทำการวิจัยเฉพาะผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002 ในกระบวนการฉีดพลาสติก (Injection molding process) โดยเครื่องฉีดพลาสติกขนาด 650 ตัน และเม็ดพลาสติกชนิด High density polyethylene (HDPE R-1760) ในโรงงานกรณีศึกษาเท่านั้น โดยมีระยะเวลาดำเนินงานทั้งสิ้น 9 เดือน ตั้งแต่เดือน มีนาคม 2554 ถึง พฤศจิกายน 2554

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย สามารถแบ่ง ตามแนวทางของเทคนิค ซิกซ์ ซิกม่า มีดังต่อไปนี้

1.5.1 เก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตย้อนหลังของบริษัท

1.5.2 กำหนดปัญหา (Define phase)

1.5.3 การวัดกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measurement phase)

1.5.4 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis phase)

1.5.5 การปรับปรุง (Improvement phase)

1.5.6 การควบคุมติดตาม (Control phase)

1.5.7 การสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

1.5.8 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถลดปริมาณของเสีย ผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002ในกระบวนการฉีดพลาสติกให้ต่ำกว่า 5 % Defect ได้

1.6.2 สามารถปรับปรุงคุณภาพ ผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002 ในกระบวนการฉีดพลาสติกได้

1.6.3 สามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุง และพัฒนากระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนนี้จะบรรยายเกี่ยวกับทฤษฎี และหลักการที่ใช้ในโครงงานวิจัยในครั้งนี้ เนื่องจากการดำเนินงานทั้งหมดสามารถแบ่งทฤษฎีที่เกี่ยวข้องออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ทฤษฎีเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์พลาสติก และกระบวนการขึ้นรูปพลาสติก ในส่วนที่ 2 จะกล่าวถึงขั้นตอนมาตรฐานของวิธีการซิกซ์ ซิกม่า และในส่วนที่ 3 จะกล่าวถึงผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์พลาสติก และกระบวนการขึ้นรูปพลาสติก

ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่เราพบอยู่ทั่วไปนั้น โดยทั่วไปจะมีกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันออกไป เช่น กรรมวิธีการอัดรีด (Extrusion) ซึ่งใช้ในการผลิตชิ้นงานต่างๆ ได้แก่ ท่อ สายยาง กรอบประตู หน้าต่าง เป็นต้น กรรมวิธีการเป่าถุงและแผ่นฟิล์ม (Blow film) กรรมวิธีการเป่าภาชนะต่างๆ ที่มีลักษณะเป็นรูปทรงกลวง (Blow molding) กรรมวิธีขึ้นรูปจากแผ่นฟิล์มพลาสติก (Thermoforming) กรรมวิธีการรีด (Calendering) และกรรมวิธีการฉีดพลาสติก (Injection molding) ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากสามารถผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างได้หลากหลาย สามารถฉีดชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ดี ราคาเครื่องจักรไม่แพงมาก ใช้พื้นที่ในการผลิตไม่มาก และยังสามารถทำงานได้ทั้งแบบพลาสติกที่เป็นผงและเม็ด ทั้งพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก และเทอร์โมเซต [1]

2.1.1 ประเภทของพลาสติก

วัตถุดิบสำหรับงานฉีดพลาสติก โดยทั่วไปจะนิยมแบ่งออกเป็น 3 ประเภทด้วยกัน คือ กลุ่มเทอร์โมพลาสติก กลุ่มเทอร์โมเซต และกลุ่มอีลาสโตเมอร์ หรือยางสังเคราะห์ ซึ่งมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ต่อไปนี้

1) เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

เทอร์โมพลาสติก คือ พลาสติกที่เมื่อนำไปหลอมเหลวแล้วปล่อยให้เย็นจนแข็งตัว ก็ยังสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่อีก [1] พลาสติกประเภทนี้ยังแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ พลาสติกประเภทอสัณฐาน (Amorphosu thermoplastic) เป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างที่ไม่เป็นผลึก เช่น พอลิสไตรีน (Polystyrene) พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate) พอลิอะครีลิค (Polyacrylic) เป็นต้น ส่วนอีกกลุ่มหนึ่ง คือ พลาสติกแบบกึ่งผลึก(Partial Crystalline thermoplastic) เป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างบางส่วนเป็นผลึก เช่น พอลิเอททีลีน(Polyethylene),พอลิเอไมด์ (Polyamide) และพอลิอะซีตัล (Polyacetal) เป็นต้น

2) เทอร์โมเซต (Thermoset)

พลาสติกเทอร์โมเซต คือ พลาสติกที่เมื่อนำไปหลอมเหลวแล้วปล่อยให้เย็นจนแข็งตัว จะเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดโครงร้างที่เป็นร่างแห (Molecule cross-linking) ภายใต้อิทธิพลความร้อนที่เพิ่มขึ้นและทำให้ไม่สามารถนำกลับมาใหม่ได้อีก [1] เช่น อีพอกซี่ (Epoxy) ฟีนอลิก (Phynolic) ซิลิโคน (Silicone) และยูรีเทน (Urethane) เป็นต้น

3) อีลาสโตเมอร์ (Elastomer)

อีลาสโตเมอร์พลาสติก หรือยางสังเคราะห์ คือ พลาสติกที่เมื่อนำไปหลอมเหลวแล้วปล่อยให้เย็นจนแข็งตัวด้วยกรรมวิธีวัลคาไนเซชั่น (Vulcanization) จะทำให้เกิดโครงสร้างแบบร่างแห (Molecule cross-linking) ภายใต้อิทธิพลของความร้อนที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ไม่สามารถนำกลับมาหลอมเหลวได้อีก เช่น ยาง SBR ยาง NBR ยาง NR และยาง CR เป็นต้น

2.1.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการฉีดพลาสติก

การฉีดพลาสติก ถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก โดยเฉพาะแต่ก็สามารถใช้ฉีดประเภทเทอร์โมเซตได้เช่นกัน การฉีดพลาสติกจะเป็นวิธีที่สามารถผลิตได้ทีละปริมาณมากๆและรวดเร็ว โดยการฉีดพลาสติกสามารถแบ่งออกเป็น [1] 5 กรรมวิธี ได้แก่

1) การฉีดแบบ Injection molding เป็นการฉีดพลาสติกแบบธรรมดาที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยจะใช้สกรูเป็นตัวขับเคลื่อนเพื่อดันพลาสติกเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์

2) การฉีดแบบ Injection blow molding เป็นการฉีดพลาสติกที่ดัดแปลงมาจากการผลิตแบบเป่าโดยกรรมวิธีนี้จะใช้สำหรับผลิตขวดที่มีขนาดเล็กเท่านั้น และความหนาของงานจะต้องมีลักษณะใกล้เคียงกันทั่วทั้งชิ้น

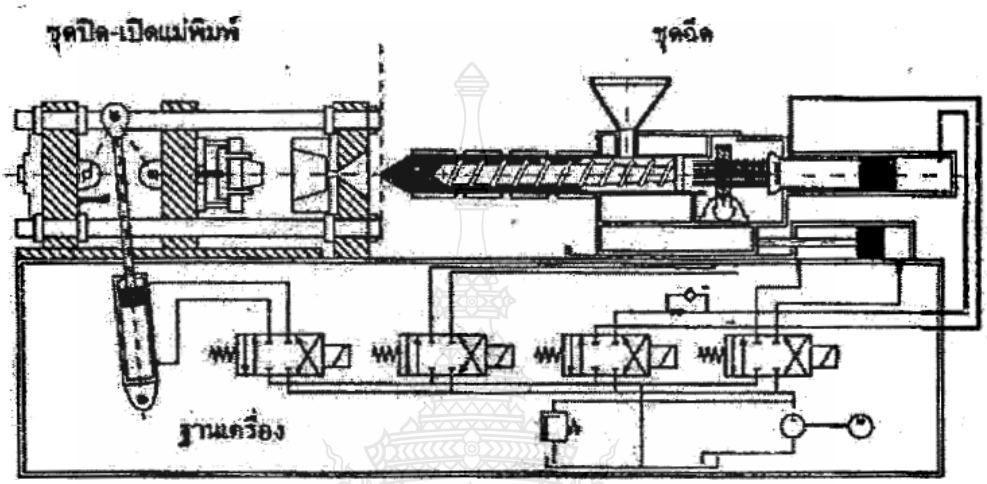
3) การฉีดแบบ Inject stretch blow molding เป็นการฉีดพลาสติกที่คล้ายกับการเป่าทั่วๆไป แต่แตกต่างกันตรงที่จะต้องทำการยืดพลาสติกก่อนที่จะทำการเป่า

4) การฉีดแบบ Reactive injection molding (RIM) เป็นกรรมวิธีที่ใช้ฉีดพลาสติกโมโนเมอร์เข้าไปในแม่พิมพ์ แทนการฉีดพลาสติกเหลวที่ร้อน แต่เป็นกรรมวิธีที่ยังไม่สามารถใช้ได้กับพลาสติกทั่วๆ ไปได้ ที่ใช้ได้ผลก็คือ โพลียูรีเทน (Polyurethane) เรซิ่น (Resin) และไนลอน (Nylon) เป็นต้น

5) การฉีดแบบ Injection stamping เป็นกรรมวิธีการผลิตแบบพิเศษสำหรับงานที่ต้องการความละเอียดสูง คือแม่พิมพ์สามารถปรับขนาดได้ เพื่อป้องกันการหดตัวหรือการบิดงอของชิ้นงาน ซึ่งยังไม่เป็นที่นิยมใช้กัน ส่วนมากนิยมใช้ผลิตเกี่ยวกับเลนซ์ (Lenses)

2.1.3 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องฉีดพลาสติก

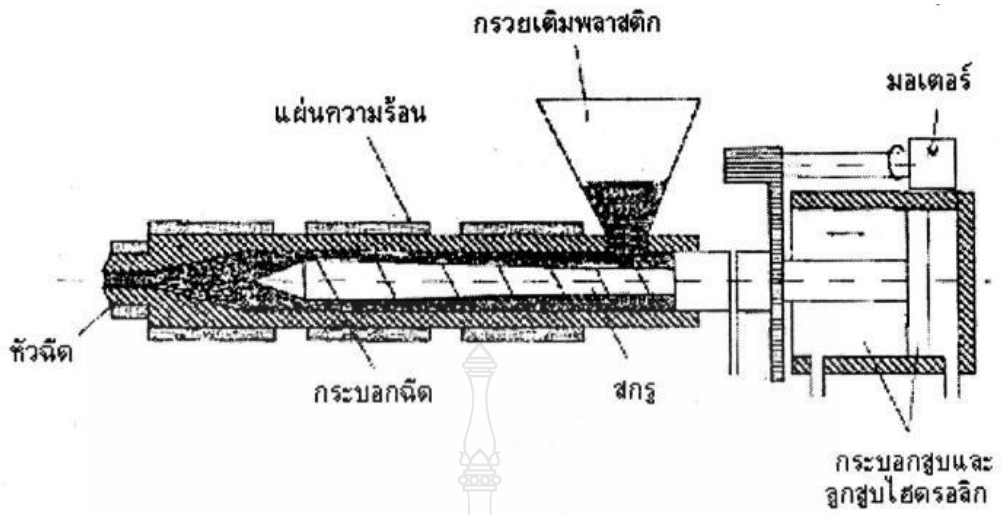
โดยทั่วไปแล้วเครื่องฉีดพลาสติกจะมีโครงสร้างส่วนประกอบสำคัญ ซึ่งสามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนชุดฉีด (Injection unit) ส่วนชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping unit) และส่วนสุดท้ายคือ ส่วนฐานของเครื่องฉีด (Base) ดังแสดงในภาพที่ 2.1 [1]



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องฉีดพลาสติก [1]

1) ส่วนชุดฉีด

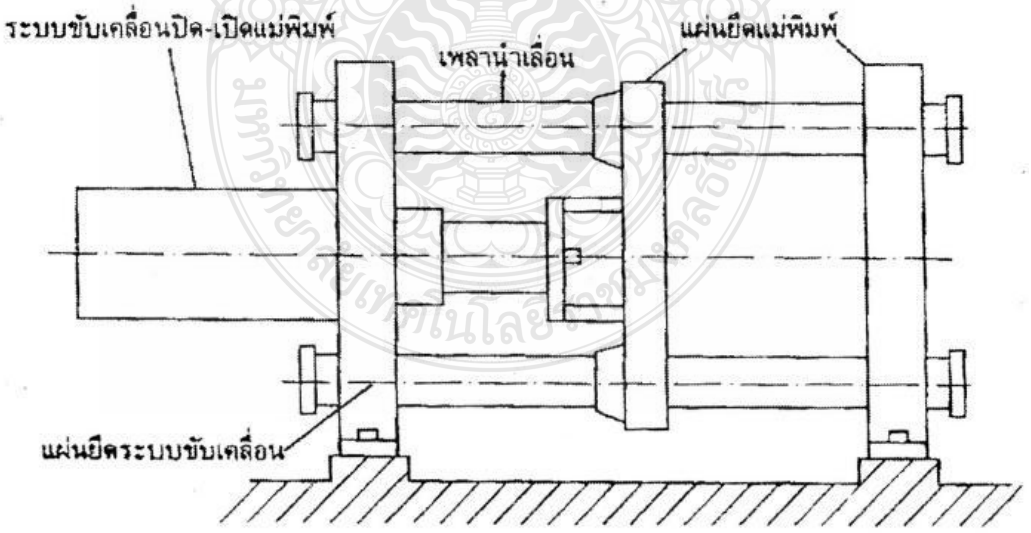
จะทำหน้าที่ดึงพลาสติกเข้าสู่กระบอกฉีด หลอมเหลวและส่งพลาสติกเหลวไปที่หัวฉีด และทำหน้าที่ในการฉีดและรักษาความดันย้ำ ซึ่งจะมีส่วนประกอบพื้นฐานดังต่อไปนี้ คือ หัวฉีด (Nozzle) สกรู (Screw) กระบอกฉีด (Barrel) แผ่นความร้อน (Heater) กรวยเติมพลาสติก (Hopper) กระบอกสูบและลูกสูบไฮดรอลิก (Hydraulic cylinder and pistol) และมอเตอร์ขับเคลื่อนสกรู (Drive motor) ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ส่วนประกอบของชุดฉีด [1]

2) ส่วนชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์

ทำหน้าที่ในการยึดแม่พิมพ์ทั้งสองส่วน เลื่อนปิดเปิดแม่พิมพ์ ให้แรงในการปิดล็อคแม่พิมพ์ หล่อเย็นชิ้นงานฉีดพลาสติก และปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ประกอบไปด้วยแผ่นยึดแม่พิมพ์ซึ่งมีส่วนที่เคลื่อนที่และอยู่กับที่ เพลานำเลื่อน ระบบขับเคลื่อนปิด-เปิดแม่พิมพ์ และแผ่นยึดระบบขับเคลื่อน ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ส่วนประกอบของชุดเปิด-ปิดแม่พิมพ์ [1]

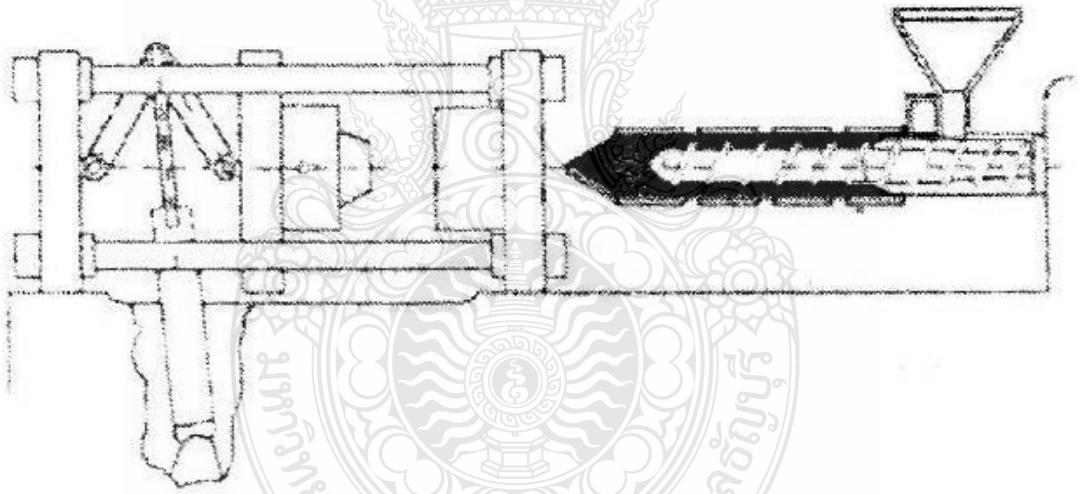
3) ส่วนฐานของเครื่องฉีด

ทำหน้าที่คอยรับน้ำหนักของชุดฉีด และชุดปิด-เปิด แม่พิมพ์ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ยึดติดอุปกรณ์ไฮดรอลิกทั้งหมดในเครื่อง และยังทำหน้าที่เป็นถังน้ำมันไฮดรอลิก โดยส่วนใหญ่แล้วตัวฐานเครื่องจะมีทำด้วยเหล็กเหนียวที่เชื่อมประกอบเข้าเป็นฐานเครื่อง เพื่อความแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักมาก ๆ ได้

2.1.4 ขั้นตอนการฉีดพลาสติก

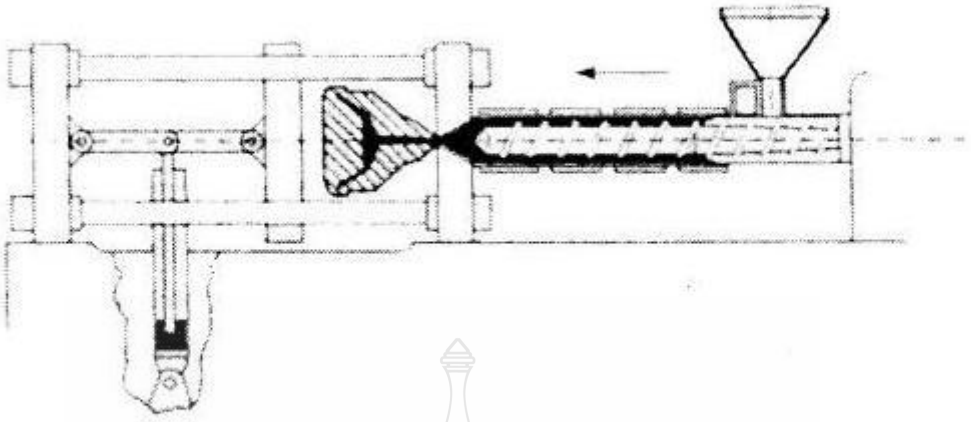
ในการฉีดพลาสติกเครื่องฉีดซึ่งประกอบด้วยสกรูจะสามารถเคลื่อนที่ไปตามแนวแกนให้เหมาะสมกับชิ้นงานที่มีขนาดเล็กไปจนถึงชิ้นงานขนาดใหญ่ เนื่องจากสามารถผลิตชิ้นงานได้หลายลักษณะงาน จึงทำให้มีความนิยมในการฉีดพลาสติกแบบนี้มาก ซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนของการฉีดพลาสติกได้ 9 จังหวะ ดังต่อไปนี้

1) แม่พิมพ์เคลื่อนที่เข้าปิดและล็อคแน่นเพื่อป้องกันการเผยอด้วยแรงต้านภายในแม่พิมพ์ ดังแสดงใน ภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์ เพื่อปิดแม่พิมพ์ [1]

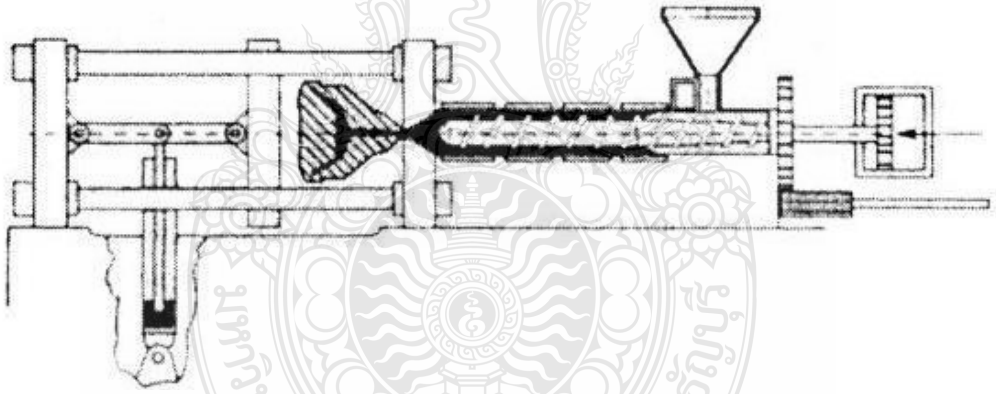
2) ชุดฉีดเลื่อนเข้าหาแม่พิมพ์จนกระทั่งชนกับแม่พิมพ์ และค้างไว้ด้วยแรงที่พอเหมาะเพื่อป้องกันชุดฉีด ถอยหลังกลับในขณะที่ทำการฉีด ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ขั้นตอนการเลื่อนของชุดฉีด [1]

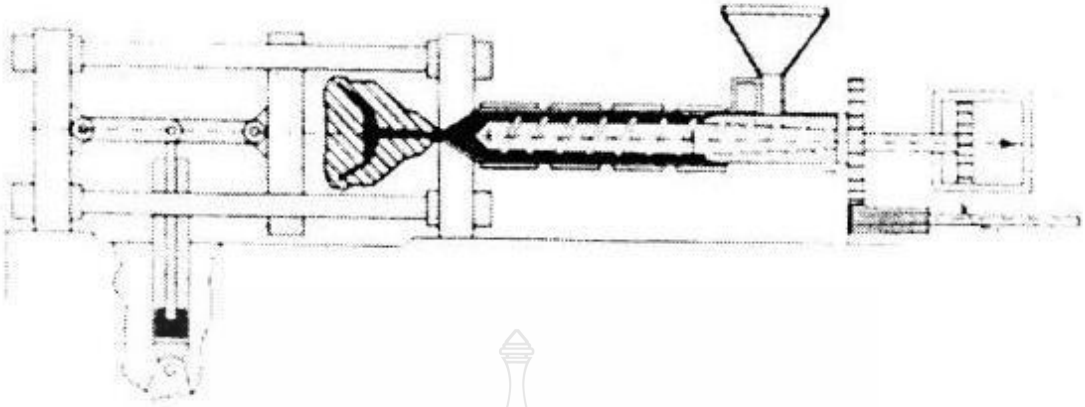
3) ฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ โดยสกรูจะเคลื่อนที่ตามแนวแกน

4) ย้ำรักษาความดันให้กับพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ เพื่อให้ได้ชิ้นงานเนื้อแน่นและไม่เกิดรอยยุบตัวที่ผิวของชิ้นงาน ดังแสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ขั้นตอนการย้ำเพื่อรักษาความดันให้กับพลาสติกในแม่พิมพ์ [1]

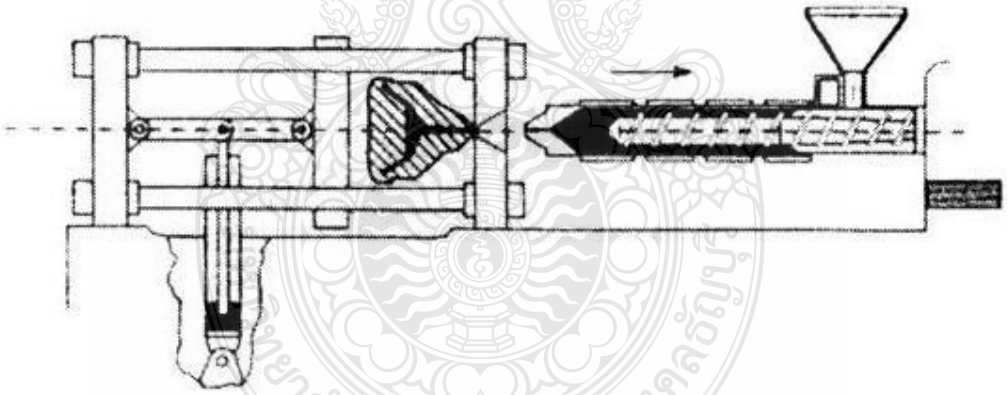
5) หล่อเย็นชิ้นงานฉีดในแม่พิมพ์ โดยที่จังหวะนี้จะมีอิทธิพลมากต่อเวลาการทำงานทั้งวงจร ดังแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ตำแหน่งของชุดฉีดขณะที่หล่อเย็น [1]

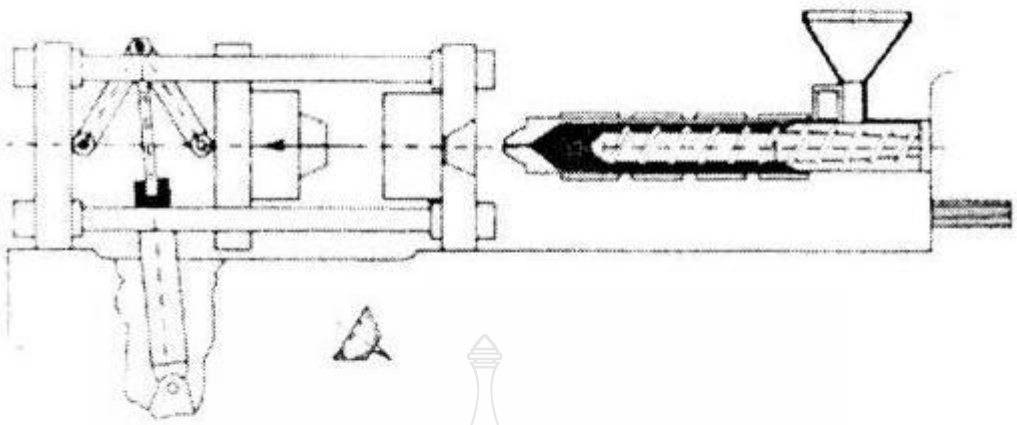
6) การหลอมและป้อนพลาสติกไปหน้าปลายสกรู เมื่อได้ปริมาณพลาสติกเหลวตามที่ต้องการแล้วเกลียวหนอนจะหยุดหมุน

7) ชุดฉีดจะถอยหลังกลับเพื่อป้องกันอุณหภูมิของหัวฉีดลดต่ำลงเกินไป เพราะจะทำให้พลาสติกบริเวณหัวฉีดหนืดเกินไปและไหลไม่ได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 การถอยหลังกลับของชุดฉีด [1]

8) แม่พิมพ์จะเปิดออกหลังจากสิ้นสุดเวลาในการหล่อเย็น ดังแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 การเปิดออกของแม่พิมพ์ [1]

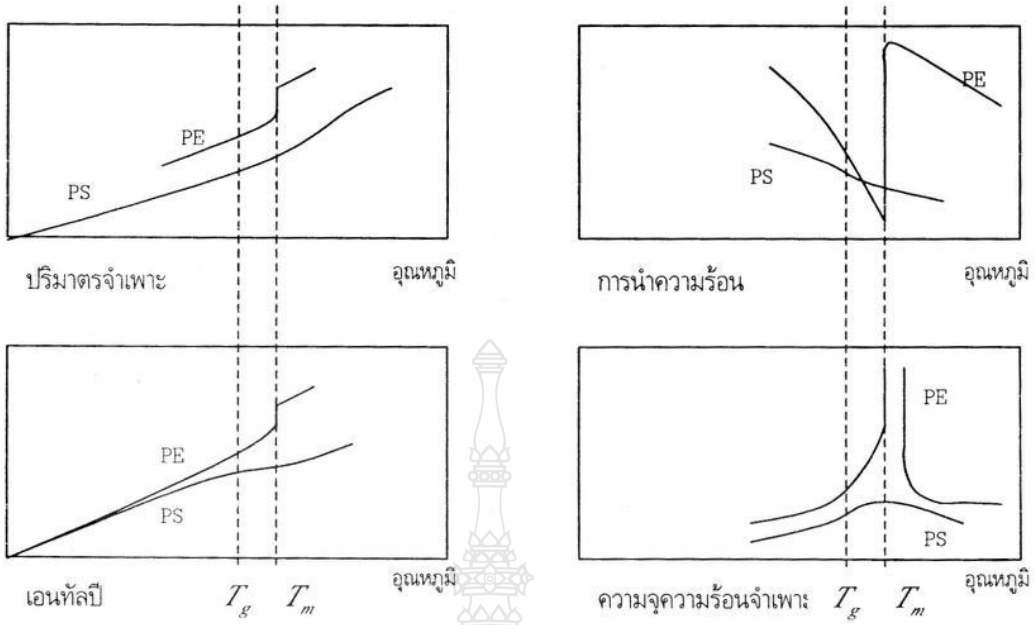
9) ทำการปลดชิ้นงานเมื่อแม่พิมพ์เปิดออกสุดแล้ว

2.1.5 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงานฉีดพลาสติก

คุณภาพของชิ้นงานฉีดพลาสติกนั้นขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัวด้วยกัน สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่อิทธิพลของพลาสติก อิทธิพลของการออกแบบระบบทางเข้าของน้ำพลาสติกที่จะเข้าในแบบและอิทธิพลของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก ตัวแปรแต่ละประเภทก็จะมีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงานที่แตกต่างกันออกไป ไม่ว่าจะมีอิทธิพลโดยทางตรงหรือโดยทางอ้อม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) อิทธิพลของชนิดพลาสติก ในงานฉีดพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกนั้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมพลาสติกแบบอสัณฐานกับเทอร์โมพลาสติกแบบกึ่งผลึก พบว่าเมื่อพลาสติกได้รับความร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้น คือในเทอร์โมพลาสติกแบบกึ่งผลึก เมื่อพิจารณาค่าปริมาตรจำเพาะ และค่าพลังงานจำเพาะ ที่ผลึกเริ่มหลอมเหลว ค่าปริมาตรจำเพาะและค่าพลังงานจำเพาะจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว [2]

นอกจากนี้แล้วค่าการนำความร้อนของเทอร์โมพลาสติกแบบกึ่งผลึกจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อเข้าใกล้จุดหลอมเหลวของผลึก แต่เมื่ออุณหภูมิถึงจุดหลอมเหลวของผลึกแล้วค่าการนำความร้อนจะเพิ่มขึ้นทันทีส่วนค่าความจุความร้อนจำเพาะจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเข้าใกล้จุดผลึกหลอมเหลวและจะเพิ่มอย่างรวดเร็ว เมื่อสิ้นสุดช่วงผลึกหลอมเหลว ค่านี้จะลดลงอย่างรวดเร็ว หมายความว่าเทอร์โมพลาสติกแบบกึ่งผลึกต้องการความร้อนส่วนหนึ่งเพื่อช่วยในการหลอมเหลวผลึกนั่นเอง โดยการเปรียบเทียบคุณสมบัติเทอร์โมพลาสติกแบบอสัณฐานและเทอร์โมพลาสติกแบบกึ่งผลึกแสดงในภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 คุณสมบัติของพอลิเมอร์แบบอสัณฐาน (PS) และแบบกึ่งผลึก (PE) [2]

สำหรับมวลโมเลกุลที่แตกต่างกันของพลาสติกแม้ว่าจะเป็นพอลิเมอร์ชนิดเดียวกัน พอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำกว่าจะมีอุณหภูมิในการอ่อนตัวต่ำ และความหนืดในสารละลายก็จะต่ำด้วย ความสัมพันธ์ของมวลโมเลกุลกับดัชนีการหลอมเหลว (Melt index) กับความหนืด คือถ้าหากดัชนีการหลอมเหลวสูง ความหนืดก็จะน้อย แสดงว่ามีการไหลได้ดีเมื่อมีการหลอมละลาย นั่นหมายความว่าพลาสติกที่มีมวลโมเลกุลต่ำก็จะมีค่าดัชนีการหลอมเหลวสูงนั่นเอง

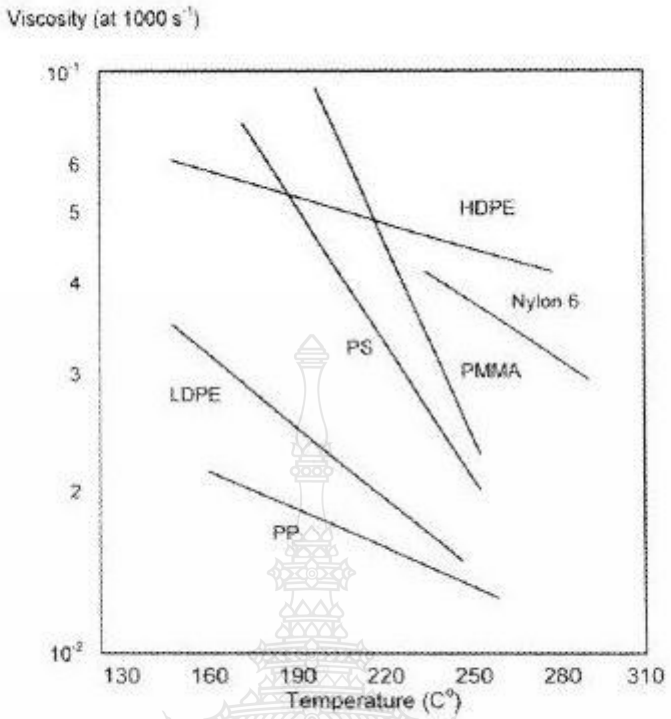
2) อิทธิพลของการออกแบบระบบทางเข้าของน้ำพลาสติกที่จะเข้าในแบบ เนื่องจากการออกแบบชิ้นงานจำเป็นจะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติโดยรวมของชิ้นงานที่ต้องการ ซึ่งได้แก่ คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติการแปรรูปค่าการไหลของพลาสติก (Flowability) รวมไปถึงข้อจำกัดในการออกแบบแม่พิมพ์และการฉีดดังนั้นไม่ว่าจะเป็นการออกแบบแม่พิมพ์ การออกแบบระบบทางเข้า (Gate) ระบบทางไหลของพลาสติก (Runner) หรือแม้แต่กระทั่งระบบหล่อเย็น (Cooling) ล้วนแล้วแต่มีความสำคัญกับคุณภาพของชิ้นงานทั้งสิ้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบได้แก่ การหดตัว (Shrinkage) ความหนาของชิ้นงาน (Thickness) ความเรียวของชิ้นงาน (Taper) รัศมีระหว่างผิวต่อ (Fillet) ครีบ (Rib) ส่วนนูนของชิ้นงาน (Boss) ส่วนที่เป็นคอคอดของชิ้นงาน (Undercut) รอยต่อ(Weld line หรือ Knit line) ระบบทางไหลของพลาสติก (Runner) ระบบทางเข้าพลาสติก (Gate) ความแข็งแรงของชิ้นงาน (Strength) และช่องระบายอากาศในชิ้นงาน (Air ventilation) เป็นต้น

3) อิทธิพลของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก มีบทบาทเป็นอย่างมากต่อคุณภาพชิ้นงานหากแม่พิมพ์ถูกออกแบบได้ถูกต้องและเหมาะสมแล้ว ตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานก็มีเพียงการปรับตั้งพารามิเตอร์เท่านั้น ซึ่งพารามิเตอร์ก็มีหลายค่าด้วยกัน แต่ค่าที่สำคัญได้แก่ ความเร็วในการฉีด ระยะเปลี่ยนความดันฉีดเป็นฉีดย้ำ เวลาในการรักษาความดันฉีดย้ำ เวลาในการหล่อเย็นเวลาในการหลอมเหลวและป้อนพลาสติกเหลว อุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ และความดันไฮดรอลิก เป็นต้น การปรับตั้งค่าเหล่านี้ส่วนใหญ่จะเกิดจากการทดลองฉีดไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพตามต้องการ ซึ่งทำให้มีการสูญเสียเวลาและต้นทุนในการฉีดเป็นอย่างมาก หากผู้ปรับตั้งมีความรู้และความเข้าใจมากขึ้น ก็จะช่วยให้ฉีดได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพและยังประหยัดเวลาและต้นทุนในการทดลองอีกด้วย

2.1.6 พารามิเตอร์สำคัญในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก

1) อุณหภูมิพลาสติกหลอมเหลว (Melting temperature)

อุณหภูมิพลาสติกหลอมเหลว คือ อุณหภูมิที่ปลายหัวฉีด การเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับชิ้นแต่ละชนิดนั้น มีตัวแปรที่สำคัญคือ ชนิดของพลาสติก เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิพลาสติกหลอมเหลวเกิดการเปลี่ยนแปลง ก็จะทำให้คุณสมบัติต่าง ๆ ของพลาสติกเปลี่ยนแปลงไปด้วย เช่น ค่าความหนืด (Viscosity) เอนทาลปี (Enthalpy) ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) เป็นต้น โดยค่าอุณหภูมิจะถูกกำหนดสมบัติของวัสดุชนิดนั้น ๆ ซึ่งจะกำหนดให้เป็นช่วงกว้าง ๆ ดังนั้นการฉีดพลาสติกที่มีรูปร่างแตกต่างกันจะมีวิธีการเลือกอุณหภูมิพลาสติกหลอมเหลวอย่างไร โดยทั่วไปมักจะนิยมใช้ค่าเฉลี่ยของช่วงค่าอุณหภูมิที่บริษัทผู้ผลิตเป็นผู้กำหนดได้ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของความหนืดและอุณหภูมิพลาสติกเหลว [13] แล้วพบว่ามีความสัมพันธ์ ดังแสดงในภาพที่ 2.11

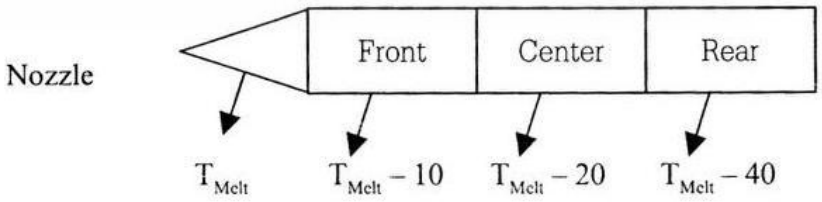


ภาพที่ 2.11 ผลของอุณหภูมิพลาสติกหลอมเหลวที่มีต่อความหนืดของพลาสติก [2]

2) อุณหภูมิกระบอกฉีด (Barrel temperature)

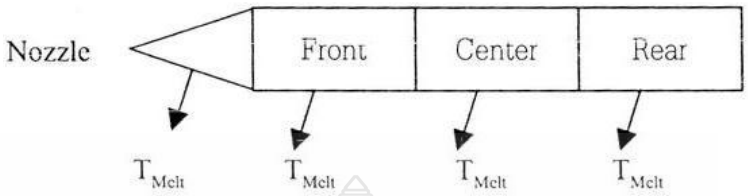
โดยทั่วไปแล้วอุณหภูมิกระบอกฉีดจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนหน้า (Front) ส่วนกลาง (Center) และส่วนหลัง (Rear) ซึ่งจะเป็นแผ่นความร้อน (Heater) ที่ติดอยู่กับกระบอกฉีด การตั้งอุณหภูมิกระบอกฉีดจำเป็นจะต้องปรับให้เหมาะสมกับการทำงาน ซึ่งทั่วไปจะมีการตั้งอุณหภูมิกระบอกฉีดอยู่ 3 แบบ คือ

- แบบอุณหภูมิลดลง (จากหัวฉีดไปยังกรวยเติมพลาสติก) โดยการตั้งอุณหภูมิแบบนี้จะใช้เมื่อระยะชักสกรูมีค่าระหว่าง 1 ถึง 1.5 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู ดังแสดงในภาพที่ 2.12



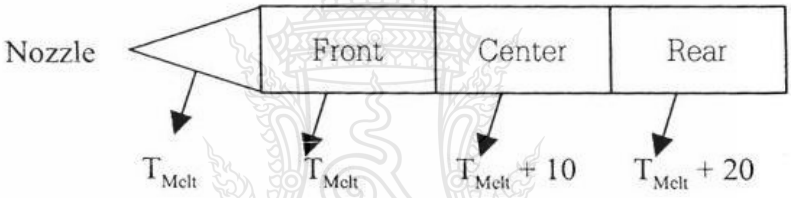
ภาพที่ 2.12 รูปแบบของอุณหภูมิกระบอกฉีดแบบอุณหภูมิต่ำแล้วค่อย ๆ สูงขึ้น [2]

- แบบอุณหภูมิคงที่ โดยที่การตั้งอุณหภูมิกระบอกฉีดแบบนี้จะใช้เมื่อระยะชักของสกรูอยู่ระหว่าง 1.5 ถึง 2 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู ดังแสดงในภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 รูปแบบของอุณหภูมิกระบอกฉีดแบบอุณหภูมิคงที่ [2]

- แบบอุณหภูมิเพิ่มขึ้น (จากหัวฉีดไปยังกรวยเติมพลาสติก) โดยการตั้งอุณหภูมิแบบนี้จะใช้เมื่อระยะชักสกรูมีค่าระหว่าง 2 ถึง 3 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู ดังแสดงในภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 รูปแบบของอุณหภูมิกระบอกฉีดแบบอุณหภูมิลดลง [2]

3) อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold temperature)

อุณหภูมิแม่พิมพ์เป็นตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน การเปลี่ยนแปลงค่าของอุณหภูมิแม่พิมพ์มีอิทธิพลต่อความดันในแม่พิมพ์เช่นเดียวกับอุณหภูมิพลาสติกหลอมเหลว คือ ระหว่างจังหวะการฉีด ความหนืดของพลาสติกเหลวจะเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิแม่พิมพ์จะมีอิทธิพลไม่มากต่อชิ้นงานที่มีความหนามาก แต่จะมีอิทธิพลอย่างมากต่อชิ้นงานบางและมีระยะทางการไหลที่ยาว ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้อุณหภูมิแม่พิมพ์ให้เหมาะสม โดยที่ทางบริษัทผู้ผลิตเม็ดพลาสติกจะเป็นผู้กำหนดค่าของอุณหภูมิแม่พิมพ์ให้เหมาะสมกับพลาสติกแต่ละชนิด โดยจะกำหนดเป็นช่วงกว้าง ๆ มาให้หลักการการเลือกก็จะเหมือนกับการเลือกอุณหภูมิพลาสติกหลอมเหลว คือ เลือกอุณหภูมิเฉลี่ยของแม่พิมพ์ตามที่บริษัทผู้ผลิตเม็ดพลาสติกกำหนดให้

4) อุณหภูมิขณะปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ (Demolding temperature)

อุณหภูมิปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์สามารถตรวจสอบได้จากตัวควบคุมอุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold temperature control) หรือจากการวัดอุณหภูมิชิ้นงานหลังจากปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ โดยค่านี้ มีผลต่อชิ้นงานคือหากการปลดชิ้นงานเกิดขึ้นเมื่อชิ้นงานมีอุณหภูมิสูงมากจะทำให้ชิ้นงานที่เย็นตัวนอกแม่พิมพ์เกิดการหดตัว ไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการ และยังทำให้ชิ้นงานมีรอยการกระทุ้งที่ผิวของชิ้นงานอีกด้วย แต่หากปลดชิ้นงานที่อุณหภูมิชิ้นงานต่ำมากเกินไปจะทำให้เสียเวลามาก ซึ่งทำให้อัตราการผลิตลดลงโดยไม่จำเป็น ดังนั้นค่าอุณหภูมิปลดชิ้นงานซึ่งถูกกำหนดจากโรงงานผู้ผลิตเม็ดพลาสติก โดยจะเลือกใช้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่พลาสติกไม่เกิดการบิดเบี้ยวหลังและเกิดการหดตัวเมื่อทำการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ (Heat distribution temperature : HDT)

5) ระยะชักสกรู (Metering stroke)

ระยะชักสกรู คือ ระยะพลาสติกเหลวหน้าสกรู โดยจะแสดงถึงปริมาตรพลาสติกเหลวที่ต้องการฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 1-3 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู หากค่านี้ไม่ถูกคำนวณให้ถูกต้องก็จะทำให้พลาสติกเหลวที่เข้าสู่ชิ้นงานไม่พอดีกับปริมาตรที่ต้องการ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.1

$$L=\frac{Vx1{,}000\,x4}{\pi D^2}+\text{Cushion} \qquad (2.1)$$

เมื่อ L = ระยะชักสกรู (mm)

V = ปริมาตรพลาสติกเหลว (mm)

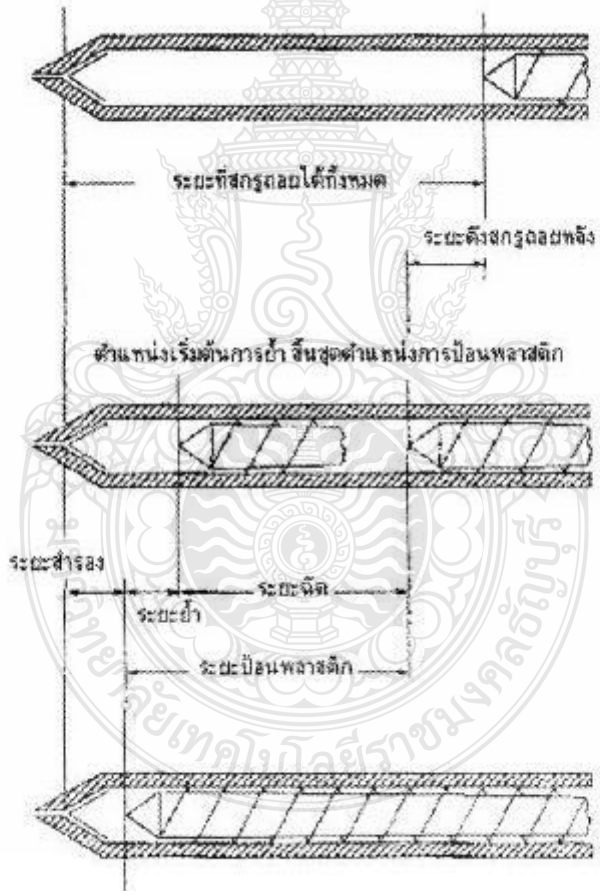
D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู (mm)

6) เวลาที่พลาสติกเหลวแช่อยู่ในกระบอกฉีด (Resident time)

เวลาที่พลาสติกเหลวแช่ในกระบอกฉีดนั้นเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากเป็นระยะเวลาที่พลาสติกหลอมเหลว ซึ่งตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อเวลานี้คือ ความเร็วรอบสกรู ขนาดของชิ้นงาน และขนาดสกรูซึ่งสามารถประมาณเวลาได้จากปริมาณของพลาสติกที่ฉีดผ่านหัวฉีด ถ้าหากพลาสติกเหลวแช่อยู่ในกระบอกฉีดเป็นเวลานานเกินไป จะส่งผลให้พลาสติกเสื่อมสภาพได้ แต่หากเวลาที่พลาสติกเหลวแช่ในกระบอกฉีดน้อยเกินไปก็จะทำให้พลาสติกไม่หลอมเหลวเป็นเนื้อเดียวกัน หากใช้เครื่องฉีดพลาสติกมีขนาดใหญ่ฉีดชิ้นงานขนาดเล็ก จะทำให้ระยะเวลาที่พลาสติกแช่ในกระบอกฉีดจะนานมากดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกขนาดสกรูให้เหมาะสมกับชิ้นงาน

7) ระยะสำรอง (Cushion)

ระยะสำรอง คือ ระยะที่ช่วยป้องกันการเกิดการกระแทกของหัวฉีดกับแม่พิมพ์ โดยจะต้องตั้งค่านี้ไว้ภายในกระบอกฉีด และยังป้องกันไม่ให้พลาสติกเกิดการเปลี่ยนแปลงและการไหลย้อนกลับ เนื่องจากปริมาณพลาสติกเหลวที่อยู่ในระยะสำรองที่เหมาะสมจะสามารถชดเชยการหดตัวของพลาสติกที่ถูกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ในจังหวะของการฉีดย้ำด้วย เมื่อเวลาฉีดย้ำสิ้นสุดลงแล้วจำเป็นต้องมีพลาสติกเหลวอยู่ในระยะสำรองเหลืออยู่ การตั้งค่าระยะนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของสกรู คือ หากเครื่องฉีดที่ใช้สกรูขนาดใหญ่ก็จะเลือกใช้ระยะสำรองที่มากกว่าเครื่องฉีดที่ใช้สกรูขนาดเล็ก ซึ่งค่าที่แนะนำให้ใช้คือขนาดสกรู 18 – 100 มิลลิเมตร จะแนะนำให้ใช้ระยะสำรอง 1 – 5 มิลลิเมตร [2] โดยที่ตำแหน่งของสกรูของระยะสำรองและขั้นตอนการฉีดอื่น ๆ แสดงดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 ตำแหน่งของสกรูในแต่ละจังหวะการฉีด [2]

8) ความเร็วรอบสกรู (Screw speed)

ความเร็วรอบสกรู มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิพลาสติกเหลวและระยะเวลาในการหลอมเหลวและป้อนพลาสติก หากความเร็วรอบสกรูสูง ก็จะทำให้อุณหภูมิพลาสติกเหลวสูงขึ้น แต่จะทำให้ระยะเวลาในการหลอมเหลวและป้อนพลาสติกเหลวก็จะสั้นลง โดยทั่วไปจะแนะนำให้ใช้ความเร็วรอบสกรูสูงเนื่องจากจะทำให้เกิดแรงเสียดทานสูง ส่งผลให้เนื้อพลาสติกหลอมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ดียิ่งขึ้นสำหรับคำนวณความเร็วรอบสกรูสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.2 และ 2.3

กรณีที่ 1 พลาสติกทั่วไป

$$n = \frac{0.2x1{,}000\,x60}{\pi xD} \tag{2.2}$$

กรณีที่ 2 พลาสติกที่ไวต่อความร้อน

$$n = \frac{0.05x1{,}00\,x60}{\pi xD} \tag{2.3}$$

เมื่อ n = ความเร็วรอบสกรู (rpm)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู (mm)

9) ความดันต้านการถอยกลับสกรู (Back pressure)

ความดันต้านการถอยกลับสกรู เป็นความดันที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งด้านท้ายของสกรู โดยทั่วไปแล้วพลาสติกที่เข้าสู่กระบอกฉีดได้สม่ำเสมอหรือไม่นั้น จำเป็นต้องอาศัยความดันต้านการถอยกลับของสกรู เพื่อควบคุมระยะเวลาในการหมุนตัวถอยกลับของสกรู เพื่อควบคุมระยะเวลาในการหมุนตัวถอยหลังของสกรูเพื่อทำการป้อนพลาสติกเข้าสู่กระบอกฉีด ซึ่งหากเพิ่มความดันต้านการถอยกลับของสกรูให้มากขึ้น จะทำให้ระยะเวลาของการป้อนพลาสติกเข้าสู่กระบอกฉีดนานขึ้นด้วย โดยค่าความดันนี้จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาการป้อนพลาสติกเหลวเข้าสู่กระบอกฉีดที่ต้องการ ตัวพลาสติกเหลวก็เป็นสิ่งสำคัญที่มีผลต่อความดันต้านการถอยกลับของสกรู โดยที่พลาสติกที่ใหม่ไม่ผ่านการใช้มาก่อน และไม่มีการผสมสี จะแนะนำให้ใช้ความต่ำกว่า คือ ประมาณ 5 บาร์ (ความดันไฮดรอลิก) ส่วนพลาสติกที่ผ่านการใช้มาแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ กับพลาสติกที่มีการผสมสี แนะนำให้ใช้ความดันประมาณ10 บาร์ (ความดันไฮดรอลิก) เพื่อช่วยให้เกิดการคลุกเคล้าของสีกับเม็ดพลาสติกหรือพลาสติกที่ถูกนำมาใช้ใหม่ ให้เนื้อพลาสติกมีความสม่ำเสมอ

10) ระยะเปลี่ยนจากจังหวะฉีดเติมเป็นฉีดย้ำ (Switch over)

การเปลี่ยนจากจังหวะการฉีดเติมเป็นการฉีดย้ำนั้น หากต้องการที่จะปรับเปลี่ยนความดันไฮดรอลิกขณะที่ออกคำสั่งให้เปลี่ยนจากจังหวะการฉีดเติมเป็นการฉีดย้ำนั้น จะพบว่าจะเกิดขึ้นช้ากว่าเวลาที่กำหนดเนื่องจากเกิดการหน่วงของการทำงานของชุดควบคุมไฮดรอลิก การกำหนดตำแหน่งนี้จำเป็นจะต้องกำหนดระยะที่เกิดขึ้นก่อนตำแหน่งที่ต้องการจริง แต่เป็นสิ่งที่ยากเนื่องจากมีตัวแปรหลายตัวที่มีผลต่อเวลาที่ตอบสนองการทำงานของไฮดรอลิก เช่น ปริมาตรน้ำมันไฮดรอลิก ความดัน อุณหภูมิน้ำมันไฮดรอลิกในระบบ เป็นต้น ดังนั้นการหาตำแหน่งที่แท้จริงของการเปลี่ยนจังหวะการฉีดเติมเป็นการฉีดย้ำ ได้มาจากการสังเกตการเคลื่อนที่ของสกรู การสังเกตจะสามารถช่วยให้หาระยะที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องได้ ผลของการปรับค่าระยะเปลี่ยนจังหวะการฉีดเติมเป็นฉีดย้ำช้าเกินไป จะทำให้เวลาที่ใช้นานขึ้น ความดันไฮดรอลิกก็ต้องสูงขึ้น ความดันในแม่พิมพ์สูงขึ้นจะทำให้ชิ้นงานเกิดครีบ น้ำหนักของชิ้นงานมากเกินไป และเกิดความเค้นตกค้างในชิ้นงานทำให้ชิ้นงานเปราะแตกหักได้ง่าย หากเปลี่ยนเร็วเกินไปจะทำให้ความดันในแม่พิมพ์ต่ำเกินไปจนพลาสติกถูกฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ ชิ้นงานมีน้ำหนักเบาเกินไป เกิดรอยยุบ ผิวชิ้นงานเป็นรอย และเกิดความเครียดในชิ้นงานทำให้ชิ้นงานเปราะแตกง่าย

11) ความเร็วฉีด (Injection speed)

ความเร็วในการฉีด คือ ความเร็วของสกรูที่เคลื่อนที่เพื่อทำหน้าที่ดันพลาสติกเหลวให้ไปอยู่ที่หัวฉีดและเข้าสู่แม่พิมพ์ โดยมีไฮดรอลิกเป็นตัวขับ ความเร็วฉีดและความดันฉีดจะเป็นสิ่งที่เกิดคู่กัน โดยถ้าใช้ความเร็วฉีดสูงก็จะทำให้ความดันฉีดสูงขึ้นด้วย และถ้าหากใช้ความเร็วฉีดต่ำแล้วความดันฉีดก็จะต่ำลงด้วย ซึ่งความเร็วในการฉีดนี้จะมีผลต่อการไหลของพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ คือ เมื่อพลาสติกเหลวไหลเข้าสู่แม่พิมพ์แล้ว ความร้อนจะถูกถ่ายเทให้กับผนังแม่พิมพ์ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า ทำให้พลาสติกเกิดการแข็งตัวและเกาะอยู่ที่ผนังแม่พิมพ์ ซึ่งเป็นผลให้ทางไหลของพลาสติกในแม่พิมพ์แคบลง เคลื่อนที่ไปได้ช้า และต้องใช้ความดันฉีดสูง โดยทั่วไปแนะนำให้ใช้ความเร็วฉีดสูงสุดเท่าที่จะทำได้ เนื่องจากแรงเฉือน (Shear stress) จะทำให้พลาสติกเหลวเกิดความร้อนและคงสภาพความเป็นของเหลว และยังเป็นการประกันความเชื่อมั่นว่าสกรูจะมีการเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอ

12) ความดันฉีด (Injection pressure)

ความดันฉีด คือ ความดันที่ทำให้พลาสติกเหลวที่อยู่หน้าสกรูถูกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ ซึ่งสามารถปรับได้จากความดันไฮดรอลิก พลาสติกเหลวจะสามารถไหลเข้าสู่แม่พิมพ์เต็มหรือไม่ก็ขึ้นอยู่กับความดันฉีดเช่นกัน ความดันฉีดขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงาน ความสามารถในการไหลของพลาสติกเหลว และระยะทางการไหลที่ยาวที่สุด เนื่องจากมีสมการคำนวณที่ต้องอาศัยข้อมูลที่

ยุ่งยากโดยต้องอาศัยค่าความสามารถในการไหลของพลาสติก ความหนาของชิ้นงานและระยะทางการไหลที่ยาวที่สุด และยังต้องมีการเผื่อความดันที่ตกคร่อมหัวฉีดอีก 200 บาร์ สามารถสรุปเป็นสมการการคำนวณความดันฉีดแสดงดังสมการที่ 2.4

$$IP = (K_F \times K_S \times f_W) + 200 \quad (2.4)$$

เมื่อ I_P = ความดันฉีด (bar)

K_F = Flowability (bar/mm)

K_S = Thickness Factor

FW = ระยะทางการไหลที่ยาวที่สุด (mm)

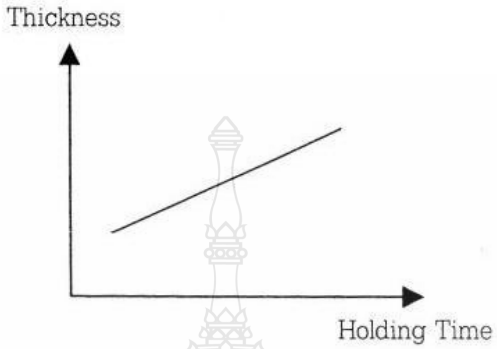
13) ความดันฉีดย้ำ (Holding pressure)

การฉีดย้ำเป็นขั้นตอนในการฉีดเมื่อพลาสติกถูกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ไปแล้วประมาณ 90 – 95 เปอร์เซ็นต์ความสำคัญของการฉีดย้ำคือเพื่อป้องกันไม่ให้พลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ไหลย้อนกลับเนื่องจากในโพรงแม่พิมพ์มีความดันสูงกว่า ซึ่งเป็นสาเหตุของการยุบตัวของชิ้นงานเนื่องจากการหดตัวของพลาสติกเหลวที่เย็นตัว และความไม่เที่ยงตรงของชิ้นงาน กระบวนการฉีดย้ำจะทำจนกระทั่งพลาสติกเหลวทางเข้าพลาสติกเกิดการแข็งตัวจนปิดสนิท การฉีดย้ำจะใช้ความดันประมาณ 40 – 60 เปอร์เซ็นต์ของความดันระบบ โดยทำการย้ำพลาสติกเหลวที่เหลืออีกประมาณ 5 – 10 เปอร์เซ็นต์ เข้าสู่แม่พิมพ์จนเต็ม สำหรับค่าความดันฉีดย้ำที่ทำการปรับตั้งนั้น แนะนำให้ใช้ค่า 50 เปอร์เซ็นต์ของความดันฉีด

14) เวลาในการฉีดย้ำ (Holding time)

เวลาในการฉีดย้ำมีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน โดยเฉพาะความเที่ยงตรงของชิ้นงาน ถ้าหากเวลาในการฉีดย้ำน้อยเกินไป จะทำให้ความดันในแม่พิมพ์ไม่เพียงพอที่จะทำให้พลาสติกเหลวแน่นเต็มแม่พิมพ์ได้ ความดันในโพรงแม่พิมพ์จะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากการไหลย้อนกลับของพลาสติกเหลว ทำให้ชิ้นงานไม่ได้ขนาดและน้ำหนักตามต้องการ แต่หากใช้เวลาในการฉีดย้ำนานเกินไปแล้ว จะทำให้ความดันในแม่พิมพ์คงสภาพนานเกินไป ทำให้พลาสติกถูกอัดแน่นเป็นเวลานานจนอาจทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหายได้ เวลาในการฉีดย้ำที่เหมาะสมนั้นโดยทั่วไปจะมีวิธีการทดสอบโดยการทดลองฉีดด้วยเวลาฉีดย้ำที่แตกต่างกัน และชั่งน้ำหนักของชิ้นงาน ซึ่งปัญหาก็คือการควบคุมพารามิเตอร์อื่น ๆ ให้คงที่ตลอดเวลา โดยแนะนำให้ใช้เวลาในการฉีดย้ำประมาณ 1 – 3 วินาที หากใช้เวลานานกว่านี้จะทำให้ชิ้นงานเกิดความเครียดตกค้างขึ้นในชิ้นงานได้ ซึ่งเมื่อพิจารณา

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชิ้นงานกับเวลาในการฉีดย้ำ และความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของชิ้นงานกับเวลาในการฉีดย้ำพบว่าเวลาที่ใช้ในการฉีดย้ำมีความสัมพันธ์กับเชิงเส้นตรงกับความหนาของชิ้นงาน คือเมื่อชิ้นงานหนามากเวลาฉีดย้ำก็ต้องมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการฉีดย้ำและความหนาชิ้นงาน [2]

15) แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamping force)

การปิดแม่พิมพ์เพื่อป้องกันไม่ให้แม่พิมพ์เผยอออกขณะทำการฉีด ดังนั้นแรงที่ใช้ทำการปิดแม่พิมพ์จำเป็นจะต้องเพียงพอไม่ให้พลาสติกเหลวล้นออกมาซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดครีบในชิ้นงาน ตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อแรงปิดแม่พิมพ์ ได้แก่ ความหนืดของพลาสติกเหลว อัตราส่วนระหว่างระยะทางการไหลกับความหนาของชิ้นงาน อุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ พื้นที่ภาพฉายของชิ้นงานความแข็งแรงของแม่พิมพ์ และช่องระบายอากาศของแม่พิมพ์ตัวแปรเหล่านี้มีผลต่อความดันที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์ ดังนั้นการคำนวณค่าแรงปิดแม่พิมพ์จะคำนวณได้ดังสมการที่ 2.5

$$F = \frac{P_{Cavity} x A}{1{,}000} \tag{2.5}$$

เมื่อ F = แรงปิดแม่พิมพ์ (ton)

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

A = พื้นที่ภาพฉายของแม่พิมพ์ (mm^2)

สำหรับการคำนวณหาค่าความดันที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์ สามารถทำได้โดยการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ที่ติดไว้กับผนังด้านในของแม่พิมพ์ที่สัมผัสกับพลาสติกเหลว ถ้าหากไม่มีเครื่องมือสำหรับวัดความดันในแม่พิมพ์ก็สามารถประมาณค่าความดันที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์ คือประมาณ 60 – 70 เปอร์เซ็นต์ของของความดันฉีดที่เกิดขึ้นจริง

16) เวลาในการหล่อเย็น (Cooling time)

การหล่อเย็นเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งในการฉีดพลาสติกโดยเฉพาะอย่างยิ่งประเภทเทอร์โมพลาสติกเพื่อให้พลาสติกเย็นตัวก่อนที่จะทำการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ การควบคุมแม่พิมพ์ให้มีอุณหภูมิคงที่นั้นสามารถทำได้โดยการผ่านน้ำหรือน้ำมันไปที่แม่พิมพ์สามารถปรับตั้งได้จากเครื่องฉีดโดยตรงซึ่งก็คือการควบคุมอุณหภูมิน้ำหรือน้ำมันให้คงที่ และนอกจากนี้แล้วการไหลของน้ำหรือน้ำมันจะต้องมีการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) เพื่อให้การระบายความร้อนมีประสิทธิภาพสูงสุดหากน้ำมีการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) ซึ่งจะไปขวางการถ่ายเทความร้อนทำให้การหล่อเย็นที่เกิดขึ้นก็จะไม่เกิดประสิทธิผล ดังนั้นการไหลของน้ำจะต้องมีอัตราการไหลไม่น้อยกว่า 10 – 15 ลิตรต่อนาที การดูง่าย ๆ ก็คือ ควรเปิดน้ำให้น้ำที่ออกจากท่อนั้นเต็มท่ออยู่เสมอ นอกจากอัตราการไหลของน้ำแล้ว เวลาในการหล่อเย็นควรจะเพียงพอสำหรับการทำให้แม่พิมพ์มีอุณหภูมิที่ต้องการนอกจากนี้ เวลาในการหล่อเย็นยังมีผลต่อเวลาในการฉีด หากเวลาในการหล่อเย็นนานเกินไปก็จะทำให้อัตราการผลิตต่ำ หากเวลาในการหล่อเย็นเร็วเกินไปก็อาจจะทำให้ชิ้นงานเกิดการหดตัวและบิดเบี้ยวหลังจากที่ปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ โดยส่วนใหญ่แล้วผู้ทำการปรับตั้งเครื่องมักจะใช้วิธีการเปิดน้ำ และทดลองฉีดจนกว่าจะได้เวลาในการหล่อเย็นที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้เสียเวลาและวัตถุดิบในการทดลองเป็นอย่างมาก การนำเอาสมการเข้ามาช่วยคำนวณเวลาในการหล่อเย็นจะสามารถช่วยลดเวลาในการทดลองได้ โดยสมการคำนวณแสดงดังสมการที่ 2.6

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

เมื่อ CT = เวลาหล่อเย็น (s)

d = ความหนาของชิ้นงาน (mm)

a_{eff} = Effective Thermal Conductivity (mm^2/s)

T_{Melt} = อุณหภูมิพลาสติกหลอมเหลว (°C)

T_{Mold} = อุณหภูมิแม่พิมพ์(°C)

T_{Demold} = อุณหภูมิปลดชิ้นงาน (°C)

2.2 ประวัติและความเป็นมาของซิกซ์ ซิกม่า

นับตั้งแต่สิ้นสุดสงครามโลกครั้งที่ 2 เป็นต้นมา ประเทศญี่ปุ่นได้พัฒนาความสามารถทางเศรษฐกิจอย่างหนัก ในปี ค.ศ.1945 เริ่มมีนักวิชาการจากสหรัฐอเมริกาไปให้คำปรึกษาเพื่อการพัฒนาแก่ประเทศญี่ปุ่น W. Edwards Deming ก็เป็นหนึ่งในนักวิชาการที่ไปให้คำปรึกษาที่มีชื่อเสียงที่สุดในสมัยนั้น

การสัมมนาของ Deming เริ่มจากการให้ความรู้ทางสถิติ ไปจนถึงการเป็นที่ปรึกษาในการปรับโฉมหน้าทางอุตสาหกรรมของญี่ปุ่น ทฤษฎีการจัดการต่างๆ ของ Deming มักเป็นไปในการกำหนดนโยบายซึ่งมุ่งเน้นไปในการวิเคราะห์ และจัดการกับความไม่แน่นอนต่างๆ ของกระบวนการ ซึ่งส่งผลไปถึงการผลิต จนไปถึงการปรับปรุงคุณภาพทั่วทั้งองค์กร Total quality management (TQM) ซึ่งได้รับการยกย่องเป็นอย่างมากจนมีการตั้งรางวัล Deming Prize เป็นรางวัลทางด้านคุณภาพที่สูงที่สุด

จากความสำเร็จในการพัฒนาคุณภาพ และเศรษฐกิจในประเทศญี่ปุ่นมาถึงปี ค.ศ.1980 ได้มีสื่อ NBC ของสหรัฐอเมริกา เสนอข้อความว่า “If Japan Can, Why Can’t We” รณรงค์ให้เกิดการพัฒนาทางด้านคุณภาพกันอย่างมากมายในสหรัฐอเมริกา ทำให้มีการมองถึงความสำเร็จของประเทศญี่ปุ่นทั้งที่ความรู้และทฤษฎีต่างๆ มีต้นกำเนิดมาจากสหรัฐอเมริกาเอง ได้มีการศึกษาและพัฒนาตลอดมา Mikel Harry วิศวกรของบริษัท Motorola ได้ศึกษาแนวคิดในเรื่องความแปรปรวนของ Deming เป็นพิเศษ และเสนอต่อองค์กรว่า การศึกษาความแปรปรวนจะเป็นแนวทางพัฒนาประสิทธิภาพที่ดีที่สุด และถือเป็นจุดเริ่มต้นของแนวคิดของกรรมวิธีทาง ซิกซ์ ซิกม่าซึ่งในทางสถิติ “ซิกม่า” เป็นสัญลักษณ์ภาษากรีก (σ) ซึ่งใช้ในการอธิบายถึงความผันแปรในกระบวนการ แสดงถึงการวัดค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการกระจายตัวของ ข้อมูลที่เบี่ยงเบนไปจากค่ากลางของข้อมูล ซึ่งค่าความผันแปรนี้จะทำการเปรียบเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะ (Specification limits) ของผลิตภัณฑ์ ถ้าข้อมูลของผลิตภัณฑ์ชิ้นใดมีค่าออกนอกข้อกำหนดเฉพาะนี้ก็จะถือว่าผลิตภัณฑ์นั้นเป็นผลิตภัณฑ์บกพร่อง (Defect) ซึ่งถ้ากระบวนการใดมีความสามารถของกระบวนการอยู่ที่ระดับ 6 ซิกม่านั่นจะหมายถึงระยะห่างระหว่างค่าเซตติ้งของกระบวนการและข้อกำหนดเฉพาะในแต่ละข้างจะมีค่าเป็น 6 เท่าของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งจะมีโอกาสในการสร้างผลิตภัณฑ์บกพร่องเพียง 3.4 ppm เท่านั้น (ppm: Part per million)

กรรมวิธีทาง ซิกซ์ ซิกม่า ได้เริ่มมีการพัฒนาขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ.1985 และภายใต้การนำของ Bob Galvin, CEO ของ Motorola ในสมัยนั้น ได้เริ่มมีการนำกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกม่า มาใช้ในปี ค.ศ.1987 มุ่งเน้นไปในการวิเคราะห์ความแปรปรวนในทุกสิ่งที่โมโตโรร่าทำ และดำเนินการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องกำหนดเป้าหมายที่ความผิดพลาด 3.4 ppm ตามแนวคิดของซิกซ์ ซิกม่า

จากความสำเร็จในการนำกรรมวิธีซิกซ์ ซิกม่า มาใช้ ของโมโตโรร่า ทำให้บริษัทสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ 2 พันล้านเหรียญสหรัฐ และได้รับรางวัลคุณภาพ Malcolm baldridge award ในปี ค.ศ.1988 และจากแนวความคิดนี้ ได้มีองค์กรต่างๆ นำไปใช้จนประสบความสำเร็จจนได้รับความนิยมสูงสุดในปัจจุบัน [3]

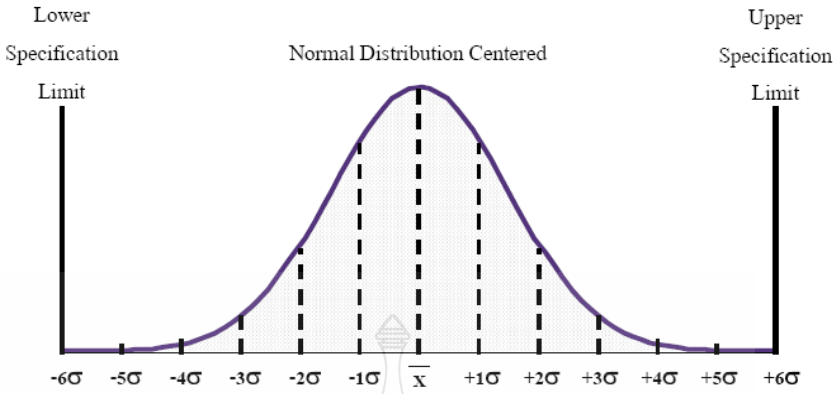
2.2.1 แนวคิดของกรรมวิธีทาง ซิกซ์ ซิกม่า

ในแนวทางของซิกซ์ ซิกม่า การที่ผู้ผลิตจะสามารถสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าได้นั้น ผู้ผลิตจำเป็นจะต้องมีการลดความเสี่ยงหรือโอกาสที่จะทำให้ลูกค้าเกิดความไม่พึงพอใจ ซึ่งการลดความเสี่ยงนี้ จะสามารถทำได้โดยการเพิ่มความสามารถในกระบวนการผลิตอันเป็นผลทำให้กระบวนการผลิตสามารถผลิตสินค้าหรือบริการซ้ำๆ กันได้ในระดับมาตรฐานที่สูง โอกาสที่ลูกค้าจะพึงพอใจก็จะมีสูงตามไปด้วย แต่ในการเพิ่มความสามารถในกระบวนการผลิตนั้น สิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงคือ จะต้องทำการศึกษา และทำความเข้าใจถึงความผันแปรที่เกิดขึ้นตลอดช่วงการผลิต ซึ่งแหล่งความผันแปรหลักๆจะมาจากการออกแบบ (Design) วัสดุ (Materials) และกระบวนการผลิต (Process) เพราะความผันแปรเหล่านี้จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อความสามารถของกระบวนการผลิต ถ้าความผันแปรในกระบวนการผลิตมีมาก ความสามารถของกระบวนการจะต่ำ ในทางกลับกันถ้าความผันแปรในกระบวนการผลิตมีน้อย ความสามารถของกระบวนการก็จะสูง

ในการลดความผันแปรของกระบวนการ ต้องทำการศึกษาและหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์กับสาเหตุปัจจัยในกระบวนการผลิต ซึ่งสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของสมการคณิตศาสตร์ได้คือ $Y = f(x_1, x_2, \ldots, x_N)$ เมื่อ Y คือลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และ $(x_1, x_2, \ldots, x_N)$ คือสาเหตุปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการผลิต ซึ่งสาเหตุปัจจัยในกระบวนการผลิตนี้มีจำนวนมากมาย (Trivial many) แต่สาเหตุปัจจัยที่มีความสำคัญและส่งผลกระทบอย่างมากต่อลักษณะทางคุณภาพนั้นจะมีจำนวนเพียงเล็กน้อย (Vital few) เมื่อสาเหตุปัจจัยเหล่านี้ถูกควบคุมความผันแปรก็จะลดลง คุณภาพของผลิตภัณฑ์ก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย

2.2.2 เป้าหมายตามกรรมวิธีซิกซ์ ซิกม่า

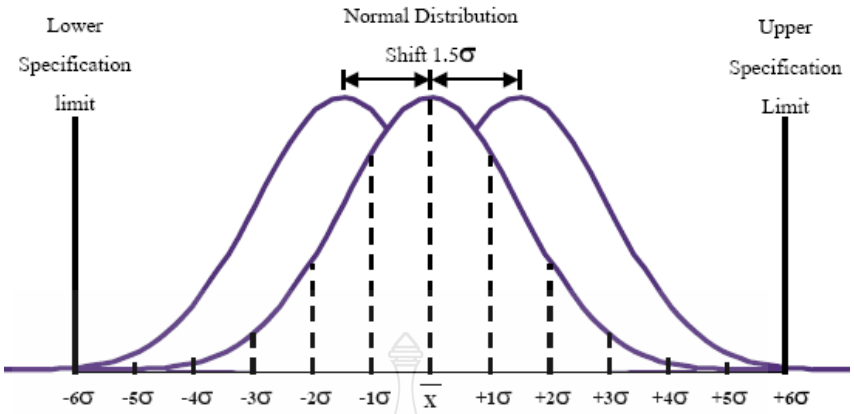
ในกระบวนการผลิตและบริการ โดยปกติจะมีประชากรส่วนใหญ่อยู่ที่ระดับ $\pm 3\sigma$ หรือประมาณ 97.73 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้การกระจายแบบปกติดังแสดงในภาพที่ 2.17 แสดงการแจกแจงปกติที่ตำแหน่งกึ่งกลาง ซึ่งการกำหนดเป้าหมายในอดีตให้สามารถผลิตสินค้าและบริการภายใต้ระดับ $\pm 3\sigma$ หมายถึงการมีโอกาสพบของเสีย 2,700 ชิ้น ในล้านชิ้น หากคำนึงถึงการให้บริการในสายการบิน การผ่าตัดของแพทย์การจ่ายยาในโรงพยาบาล ย่อมไม่มีลูกค้าคนใดเป็นผลของความผิดพลาดแม้เพียงหนึ่งครั้งในล้านครั้งรวมไปถึงการผลิตสินค้า และบริการต่างตอบสนองความต้องการของลูกค้า จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องผลิตสินค้า และบริการให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเข้าใกล้ระดับของเสียเป็นศูนย์



Spec. Limit	Percent	Defective ppm
±1 sigma	68.27	317300
±2 sigma	95.45	45500
±3 sigma	99.73	2700
±4 sigma	99.9937	63
±5 sigma	99.999943	0.57
±6 sigma	99.9999998	0.002

ภาพที่ 2.17 การแจกแจงปกติที่ตำแหน่งกึ่งกลาง [3]

แต่ในความเป็นจริงแล้วกระบวนการผลิตภายใต้สภาวะควบคุมในระยะยาว กระบวนการจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าตั้ง (Setting) โดยธรรมชาติ ซึ่งจะขยับเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะอยู่ในช่วง $\pm 1.5\sigma$ เนื่องจากมีสิ่งรบกวนต่างๆ ที่เกิดจากอิทธิพลความไม่สุ่มของระบบเข้ามามีอิทธิพลตลอดช่วงการผลิต ซึ่งการที่ค่าตั้ง มีการขยับเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะนี้จะทำให้มีสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากข้อบกพร่องลดลงจากเดิมเหลือ 93.32 เปอร์เซ็นต์ อันเป็นผลสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องเพิ่มขึ้นเป็น 66,807 ppm ดังแสดงในภาพที่ 2.18



Spec. limit	Percent	Defective ppm
±1 sigma	30.23	697700
±2 sigma	69.13	308700
±3 sigma	93.32	66807
±4 sigma	99.3790	6210
±5 sigma	99.97670	233
±6 sigma	99.999660	3.4

ภาพที่ 2.18 การเปลี่ยนแปลงค่าตั้ง โดยธรรมชาติ [3]

ภายใต้แนวความคิดของซิกซ์ ซิกม่า นี้ การกระจายของลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะถูกทำให้ลดลง โดยการลดความผันแปรในกระบวนการผลิต ซึ่งภายใต้แนวความคิดนี้ลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะมีการกระจายอยู่ในช่วง ±6σ จากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะ ซึ่งจะทำให้มีความมั่นใจว่า จะมีผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากข้อบกพร่องคิดเป็นสัดส่วน 99.9999998 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้ว่าค่าตั้ง จะมีการขยับเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะ 1.5σ แล้วก็ตาม ก็จะมีสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องเพียง 0.0000034เปอร์เซ็นต์ หรือคิดเป็น 3.4 ppm เท่านั้น

2.2.3 การจัดองค์กรบริหารตามแนวทางซิกซ์ ซิกม่า

การดำเนินการตามแนวทางซิกซ์ ซิกม่า นั้นเริ่มต้นและสิ้นสุดลงด้วยการสร้างความพึงพอใจให้เกิดกับลูกค้านั้นจะเป็นการดำเนินงานทั่วทั้งองค์กรเพื่อเป็นการสร้างรากฐานในการปรับปรุงคุณภาพอย่างแท้จริง โดยจัดตั้งคณะทำงานเพื่อการดำเนินงานและวางรากฐานอย่างเป็นระบบ ซึ่งคณะทำงานนี้จะต้องได้รับการอบรมและการฝึกฝนเพื่อให้เข้าใจถึง หลักการ แนวคิด และวิธีการในการดำเนินงานตามแนวทาง ซิกซ์ ซิกม่า และทราบถึง หน้าที่ และบทบาท และความรับผิดชอบของตน โดยคณะทำงานที่จัดตั้งขึ้นมานั้นจะประกอบด้วย [4, 5]

1) ผู้บริหารระดับสูง (Executive leadership)

สิ่งสำคัญที่สุดในการนำเอาแนวทางซิกซ์ ซิกม่า มาใช้ให้ประสบผลสำเร็จได้นั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้บริหารระดับสูงต้องลงมาดูแลด้วยตนเอง โดยเริ่มจากการกำหนดเป้าหมาย ที่มีต่อโครงการเพื่อให้เกิดความเข้าใจร่วมกันถึงเพื่อให้คณะทำงานได้เข้าใจแนวทางการทำงาน ถ้าปราศจากการสนับสนุนจากผู้บริหารระดับสูงแล้ว การนำแนวทางซิกซ์ ซิกม่า มาใช้ก็ไม่อาจบรรลุถึงผลสำเร็จได้ ดังนั้นก่อนที่จะนำแนวทางนี้มาใช้ ผู้บริหารระดับสูงต้องประกาศถึงวิสัยทัศน์ให้เข้าใจร่วมกันว่าการนำ ซิกซ์ ซิกม่า เข้ามานั้นต้องการให้องค์กรเป็นอย่างไร เพื่อกำหนดทิศทางขององค์กรต่อไปในอนาคต

2) แชมเปี้ยน (Champions)

บุคคลผู้ที่มาทำหน้าที่เป็นแชมเปี้ยน นั้น ต้องเป็นบุคคลที่อยู่ในส่วนของผู้บริหารระดับสูงในองค์กรลักษณะการทำงานของแชมเปี้ยนแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะได้แก่ แชมเปี้ยนบุคลากร (Deployment champion) และแชมเปี้ยนโครงการ (Project champion) ซึ่งมีหน้าที่หลักในการจัดตั้งและติดตามผล การทำงานของคณะทำงานตลอดจนกำหนดและประเมินผลโครงการ ผู้ที่จะมาทำตำแหน่งนี้จะต้องเป็นผู้ที่มีความรู้ในเรื่องของธุรกิจเป็นอย่างสูงและมีความรู้ความเข้าใจในปรัชญาทฤษฎี และเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการตามแนวทางซิกซ์ ซิกม่าเป็นอย่างดี

3) มาสเตอร์แบลคเบลท์ (Master black belt)

เป็นบุคคลผู้ซึ่งได้รับการแต่งตั้งโดยแชมเปี้ยน ทำหน้าที่ในการประสานงานร่วมกับฝ่ายบริหาร ซึ่งต้องรับผิดชอบ และดูแลการทำงานในรูปแบบที่เต็มเวลา เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติงานตามแนวทางซิกซ์ ซิกม่า โดยตรงตลอดจนเป็นผู้อบรม ดูแล และเป็นพี่เลี้ยงให้กับคณะทำงานที่ชื่อว่าแบลคเบล (Black belt) และกรีนเบล (Green belt) โดยต้องเป็นผู้เริ่มต้นทำให้พนักงานมีความเข้าใจถึงการนำหลักการ และแนวคิดมาใช้ในทางปฏิบัติ

4) แบลคเบลท์ (Black belt)

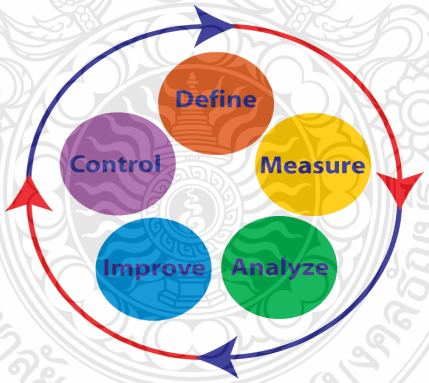
ทำงานภายใต้การดูแลของมาสเตอร์แบลคเบลท์ (Master black belt) มีหน้าที่หลักในการประยุกต์ใช้ความรู้ในหลักการและแนวคิด ตลอดจนเครื่องมือทางสถิติมาใช้ในการแก้ปัญหาโครงการที่ได้รับมอบหมาย ซึ่งต้องรับผิดชอบและดูแลการทำงานในรูปแบบที่เต็มเวลา เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติงานตามแนวทางซิกซ์ ซิกม่าโดยตรง และเป็นเสมือนตัวเชื่อมระหว่างการจัดการของฝ่ายบริหารและการทำงานในระดับปฏิบัติการ

5) กรีนเบลท์ (Green belt)

เป็นบุคคลที่ได้รับเลือกให้เข้าไปแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวข้องกับงานประจำที่ทำอยู่ โดยคณะทำงานเฉพาะกิจซึ่งทำการแก้ปัญหาในแต่ละโครงการ สำหรับเนื้อหาที่ใช้ในการอบรมนั้น ต้องมีการปรับปรุงให้ง่ายขึ้น เพื่อสนับสนุนการแก้ปัญหาในสายงานที่ทำอยู่ อีกทั้งยังมีส่วนช่วยสนับสนุนการทำงานให้กับคณะทำงานแบลคเบลท์ (Black belt) ซึ่งจะมีส่วนช่วยเสริมและสนับสนุนให้การบริหารจัดการมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

2.2.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนในการดำเนินงานนี้จะมุ่งเน้นที่การแก้ปัญหาในกระบวนการเป็นหลัก โดยผู้ที่มีบทบาทสำคัญในการดำเนินงานนี้คือคณะผู้ทำงานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะดำเนินงานตามกระบวนการ DMAIC คือกระบวนการในการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องดังภาพที่ 2.19 โดยก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการหลักนั้นจะต้องทำการนิยามถึงปัญหาที่ต้องการจะนำมาปรับปรุงเสียก่อนโดยควรเลือกปัญหาที่เป็นปัญหาที่สำคัญ เป็นต้นเหตุที่ทำให้ลูกค้าไม่พอใจและส่งผลกระทบที่รุนแรงต่อกระบวนการหรือเป็นปัญหาที่เห็นสิ่งที่ควรปรับปรุงอย่างชัดเจนมาทำการแก้ปัญหาก่อน จากนั้นทำการเลือกลักษณะของตัวแปรตอบสนอง (Response variable) เพื่อมาทำการศึกษาและเป็นตัววัดผลในการปรับปรุง (Key process output value, KPOV) จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการในขั้นต่าง ๆ ต่อไป



ภาพที่ 2.19 กระบวนการในการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องในซิกซ์ ซิกม่า [6]

1) ขั้นตอนการเลือกปัญหา (Define phase)

ในขั้นตอนของการเลือกปัญหาเริ่มจากการกำหนดลูกค้าและศึกษาความต้องการของลูกค้า จากการสำรวจความต้องการ หรือความพึงพอใจของลูกค้า หรือจากข้อมูลการร้องเรียนของลูกค้า ศึกษากระบวนการทำงานหลักขององค์กร แล้วนำความต้องการของลูกค้ามากระจายเป็นปัจจัย

คุณภาพที่สำคัญของแต่ละกระบวนการ ปัญหาคุณภาพต่าง ๆ ที่สำคัญและตรงกับความต้องการของลูกค้า รวมถึงปัญหาที่ไม่สามารถแก้ไขได้ในหน่วยงานปกติก็จะถูกจัดเรียงลำดับความสำคัญและถูกเลือกให้ดำเนินการแก้ไขปรับปรุง เมื่อแบลคเบลท์ (Black belt) และแชมเปี้ยน (Champion) สามารถกำหนดโครงการที่จะดำเนินการแก้ไขปรับปรุงได้แล้ว ก็จะร่วมกันกำหนดขอบเขตการดำเนินงานและคณะทำงานต่อไป

2) การวัด (Measure phase)

ในขั้นนี้เป็นการวิเคราะห์หาปัจจัยที่คาดว่าน่าจะมีผลต่อการเกิดปัญหา โดยก่อนอื่นควรศึกษาและวิเคราะห์ระบบการวัดที่ใช้เพื่อวัดความผันแปรที่เกิดจากการวัด หากความผันแปรที่เกิดขึ้นมีมากเกินกว่าที่กำหนดจะต้องทำการปรับปรุงระบบการวัดให้ดีขึ้นเสียก่อน จากนั้นทำการศึกษาถึงความสามารถของกระบวนการ เพื่อศึกษาว่าความสามารถของกระบวนการที่แท้จริงเป็นเท่าไรและควรจะตั้งเป้าหมายในการปรับปรุงไว้เท่าใด ผลที่ได้จากขั้นตอนนี้คือปัจจัยต่างที่คาดว่าเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา

3) ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze phase)

ขั้นตอนนี้จะนำปัจจัยนำเข้าที่สำคัญของกระบวนการต่าง ๆ มาทำการวิเคราะห์ เพื่อดูว่าปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้มีผลต่อกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงของกระบวนการ หากปัจจัยใดที่ทดสอบแล้วพบว่ามีผลต่อตัวแปรตอบสนองของกระบวนการ (KPOV) ก็จะนำไปดำเนินการในขั้นตอนต่อไป ซึ่งจากการดำเนินงานในขั้นตอนนี้ จะทำให้เข้าใจกระบวนการมากขึ้น และมาตรฐานการทำงานต่าง ๆ จะถูกทบทวน และปรับปรุงใหม่ ตัวแปรต่าง ๆ จะถูกกำหนดและศึกษา และทำให้ทราบว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองของกระบวนการ (KPOV) อย่างมากซึ่งจะเป็นปัจจัยที่เหมาะสมที่จะนำไปทำการแก้ไขต่อไป

4) ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve phase)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการออกแบบ และทำการทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างตัวแปรตอบสนองของกระบวนการ (KPOV) กับปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองของกระบวนการ (KPOV) นั้น ๆ และหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยที่จะทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองของกระบวนการ (KPOV) ที่ดีที่สุด จากนั้นจะดำเนินการวิเคราะห์ระบบการวัดของแต่ละปัจจัยเพื่อทำให้การดำเนินการควบคุมในขั้นตอนถัดไปเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

5) ขั้นตอนการควบคุม (Control phase)

เมื่อกระบวนการผลิตได้รับการปรับปรุงแล้ว ขั้นตอนนี้ก็จะเป็นการจัดทำวิธีการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ เพื่อให้พนักงานสามารถควบคุมได้ด้วยตนเอง แล้วทำการประเมินความสามารถ

ของกระบวนการผลิตอีกครั้ง เพื่อวิเคราะห์ว่าหลังจากปรับปรุงแล้วกระบวนการสามารถทำได้ตามเป้าหมายหรือไม่ หากความสามารถของกระบวนการยังไม่ดี ก็จะต้องย้อนกลับไปทำตามขั้นตอนก่อนหน้านี้อีกครั้ง นอกจากนี้แล้วจะต้องมีการประเมินผลการดำเนินงาน โดยวัดจากระดับคุณภาพที่เปลี่ยนแปลงไป และประเมินความสามารถในการลดต้นทุน หรือความพึงพอใจของลูกค้าที่เปลี่ยนไปหลังการปรับปรุงกระบวนการ

2.2.5 เครื่องมือที่ใช้ในซิกซ์ ซิกม่า (Six sigma tools)

ซิกซ์ ซิกม่านั้นจะอาศัยการคิดอย่างเป็นระบบ (Systematic thinking) ตัดสินใจบนข้อมูล ที่สามารถเชื่อถือได้ โดยที่ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาใช้เป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจทั้งด้วยวิธีการทางตรรกะและทางสถิติ สำหรับเครื่องมือทางสถิติที่จะถูกนำมาใช้ในซิกซ์ ซิกม่านั้นมีอยู่ด้วยกันมากมาย แต่เครื่องมือที่จะขอกล่าวถึงในเนื้อหาบทนี้ จะเป็นเครื่องมือที่ได้นำมาใช้ในการทำวิจัยนี้เท่านั้น ซึ่งจะประกอบด้วย

1) การวิเคราะห์ปัญหา

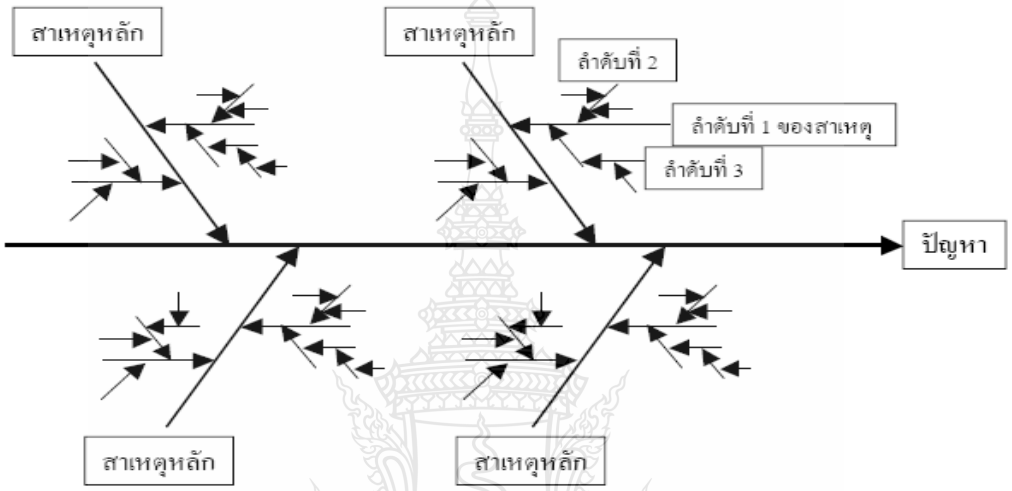
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเครื่องมือพื้นฐานที่ถูกนำมาใช้ในการวิจัย ซึ่งเครื่องมือเหล่านี้จะเป็นเครื่องมือที่ใช้ช่วยในการวิเคราะห์ เพื่อหาสาเหตุเบื้องต้นของปัญหา [7,8]

- แผนภูมิแสดงการไหลของงาน (Flow chart) เป็นแผนภาพที่แสดงให้ทราบถึงโครงสร้างและความสัมพันธ์ของงานในกระบวนการที่ทำการศึกษา ซึ่งการแบ่งย่อยงานเพื่อนำมาสร้างแผนภาพแสดงการไหลของงานนั้น จะต้องมีความละเอียดเพียงพอที่จะสามารถนำไปวิเคราะห์ถึงปัญหาในกระบวนการที่สนใจได้ บางครั้งเราอาจเรียกว่า แผนที่กระบวนการ (Process mapping)

- แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and effect diagram) เป็นแผนภาพที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลสำหรับปัญหาที่ทำการศึกษา ซึ่งแผนภาพนี้มีส่วนช่วยให้การวิเคราะห์ปัญหามีความง่าย และเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ที่มีประโยชน์สำหรับนำเสนอความสัมพันธ์ ระหว่างสาเหตุและผล สำหรับประเด็นปัญหาที่พิจารณา ซึ่งแผนภาพนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นครั้งแรก โดยศาสตราจารย์ ดร.คาโอรุ อิชิกาว่า แห่งมหาวิทยาลัยโตเกียว เมื่อ ค.ศ. 1943 โดยครั้งแรกนั้น ดร.อิชิกาว่า ได้ใช้แผนภาพนี้ในการอธิบายถึงวิธีการในการตรวจจับ และแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพในการผลิต ให้แก่กลุ่มวิศวกร จากบริษัท คาวาซากิ สตีลเวิร์ค จำกัด

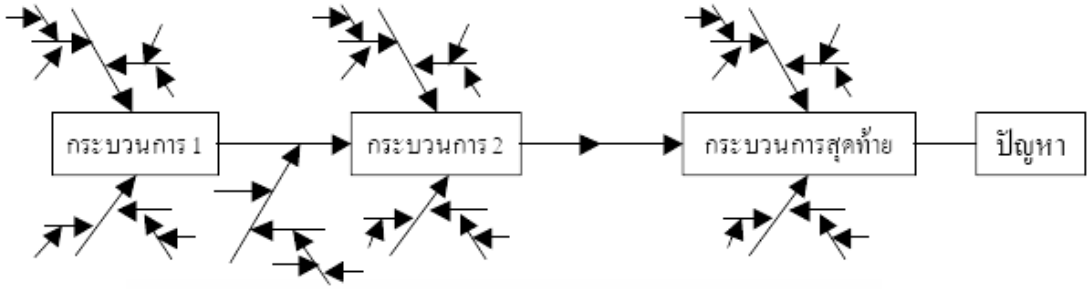
- สำนักมาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งญี่ปุ่น (JIS) ได้นิยามความหมายของแผนภาพสาเหตุและผลไว้ว่าเป็น แผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์อย่างมีระบบระหว่างผลที่แน่นอนประการหนึ่งกับสาเหตุต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องโดยจำแนกแผนภาพสาเหตุและผลนี้ ออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

- การวิเคราะห์ความผันแปร (Dispersion analysis) จะใช้แสดงสาเหตุของการเกิดความผันแปรในคุณภาพที่แสดงด้วยหัวปลาตามลำดับก่อนหลังด้วยการตั้งคำถามว่า “ทำไมจึงเกิดความผันแปร” ขึ้น เป็นเช่นนี้เรื่อย ๆ ดังแสดงในโครงสร้างภาพที่ 2.20 โดยผู้สร้างแผนภาพสาเหตุและผลประเภทนี้จะต้องนึกไว้เสมอว่า ความผันแปรทุกตัวสามารถตรวจจับและทำให้ลดลงได้ โดยจุดแข็งของแผนภาพสาเหตุและผลประเภทนี้จะช่วยแสดงอย่างเป็นระบบถึงปัจจัยที่มีผลต่อความผัน



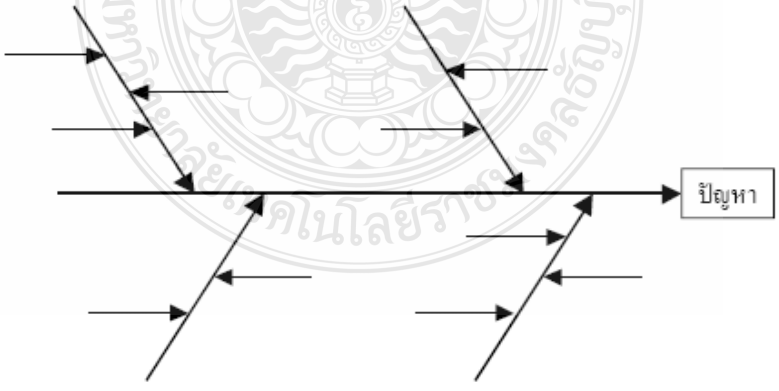
ภาพที่ 2.20 โครงสร้างของแผนภาพสาเหตุและผลแบบวิเคราะห์ความผันแปร [7]

- การจำแนกตามกระบวนการผลิต (Process classification) โดยแผนภาพสาเหตุและผลประเภทนี้ ใช้สำหรับแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล โดยมีการจำแนกตามกระบวนการย่อยต่าง ๆ เช่น ในตัวอย่างของกระบวนการประกอบงาน ดังโครงสร้างในภาพที่ 2.21 โดยแผนภาพสาเหตุและผลประเภทนี้จะมีจุดเด่นคือ สามารถสร้างได้ง่าย และสื่อข้อความได้ความหมายดี เพราะสามารถสร้างแผนภาพสาเหตุและผลที่แต่ละกระบวนการย่อยแล้วจึงนำมาต่อกระบวนการกัน แต่มีจุดอ่อนคือทำให้ดูเหมือนว่ามีสาเหตุซ้อนสาเหตุ (สาเหตุของกระบวนการย่อยต้นน้ำ (Upstream) จะเป็นสาเหตุของกระบวนการท้ายน้ำ (Downstream) ทำให้มีสาเหตุมากกว่าหนึ่งปัจจัย ซึ่งทำให้ยากต่อการวิเคราะห์



ภาพที่ 2.21 โครงสร้างของแผนภาพสาเหตุและผลแบบจำแนกตามกระบวนการ [7]

· การกำหนดรายการของสาเหตุ (Cause enumeration) แผนภาพสาเหตุและผลแบบนี้จะมีโครงสร้างดังภาพที่ 2.22 เหมือนกรณีการวิเคราะห์ความผันแปร แต่จะมีความแตกต่างกันตรงที่ว่า แผนภาพสาเหตุและผลประเภทนี้จะมุ่งสู่รายการสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา (ตามหัวปลา) ค่อนข้างง่าย แต่มีข้อเสียคือ มีความยากในการสร้างค่อนข้างมาก เพราะนอกจากจะต้องระดมสมองหาสาเหตุที่คาดว่าจะเป็นไปได้ทั้งหมดแล้ว ยังจำเป็นต้องมีการทบทวนอยู่เสมอด้วย เพื่อให้มั่นใจว่าสาเหตุหลัก ๆ มิได้ตกหล่นไปจากการพิจารณาในการวิเคราะห์ปัญหาโดยคิวซีเซอร์เคิลนั้น จะถือว่าแผนภาพสาเหตุและผลประเภทของการวิเคราะห์ความผันแปรนี้มีประโยชน์มากที่สุดเพราะใช้วิเคราะห์ปัญหาที่มีความผันแปร ในขณะที่แผนภาพสาเหตุและผลแบบกำหนดรายการของสาเหตุใช้วิเคราะห์ปัญหาที่เรื้อรัง เหมาะกับปัญหาการปรับปรุงคุณภาพ และแผนภาพสาเหตุและผลแบบจำแนกตามกระบวนการเหมาะอย่างยิ่งกับการสร้างแผนการควบคุม



ภาพที่ 2.22 โครงสร้างของแผนภาพสาเหตุและผลแบบกำหนดรายการสาเหตุ [7]

- กราฟ (Graph) เป็นแผนภาพที่แสดงถึงตัวเลขผลการวิเคราะห์ทางสถิติซึ่งสามารถทำให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ โดยการพิจารณาด้วยตาเปล่าได้กราฟมีอยู่หลายประเภท ทั้งนี้ขึ้นอยู่ที่ว่าข้อมูลที่พิจารณามีความผันแปรอยู่ในรูปแบบใด เช่น ปริมาณอนุกรมเวลา หรือสัดส่วน ฯลฯ

- การวิเคราะห์ความบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis, FMEA) การวิเคราะห์ภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบในกระบวนการหรือ FMEA Process เพื่อช่วยเพิ่มความเที่ยงตรง (Reliability) ของกระบวนการเพื่อการผลิตหรือการออกแบบการควบคุมกระบวนการ [9,10]

- จุดประสงค์ของ FMEA มีดังนี้ [9,10]

1. สามารถที่จะพิจารณาและประเมินโอกาสที่จะเกิดภาวะความผิดพลาดของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการและผลกระทบต่าง ๆ

2. แบ่งแยกกิจกรรมซึ่งสามารถที่จะกำจัดหรือลดโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาด

3. กระบวนการเตรียมเอกสารต่าง ๆ เพื่อส่งเสริมกิจกรรมดังที่กล่าวมาข้างต้น

- ประโยชน์ในการประยุกต์ใช้วิเคราะห์ภาวะความผิดพลาด และการวิเคราะห์ผลกระทบ เมื่อมีการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบอย่างเหมาะสม ประโยชน์ของการใช้จะมีดังต่อไปนี้

1. ทำให้มีความรู้เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์มากยิ่งขึ้น เนื่องมาจากวิธีการต่างๆ ของการทำงานของภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบจะใช้ผู้เชี่ยวชาญจากหลายหน่วยงาน ดังนั้น ความเข้าใจที่ดีขึ้นร่วมกันในการออกแบบและใช้งานจะเป็นสิ่งที่ทำให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

2. ลดเวลาการทำงานหากภาวะความผิดพลาดและสาเหตุได้ถูกค้นพบก่อนที่จะมีการสร้างชิ้นงานต้นแบบหรือประกอบชิ้นงาน จะสามารถลดเวลาในการทดสอบชิ้นงานที่ได้รับการออกแบบอย่างไม่เหมาะสมไปได้มาก

3. ลดต้นทุนการออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ไม่เหมาะสม มักจะถูกออกแบบใหม่ที่ดีกว่าอยู่บ่อยครั้ง ดังนั้นหากมีการพบความผิดพลาดอย่างรวดเร็วก็จะสามารถลดจุดด้อยได้ก่อน อันจะทำให้มีการสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบน้อยครั้ง เป็นผลให้ต้นทุนการผลิตลดลง

4. ลดต้นทุนการรับประกันการซ่อม และเรียกกลับมาซ่อมหรือปรับปรุง การปรับปรุงให้การออกแบบและผลิตมีประสิทธิภาพจะสามารถลดปริมาณความเสียหาย ซึ่งเกี่ยวเนื่องโดยตรงกับต้นทุนการรับประกันการซ่อมและเรียกกลับมาซ่อม ซึ่งจะลดต้นทุนโดยรวมของผลิตภัณฑ์ และเป็นการส่งเสริมภาพลักษณ์ของบริษัทให้ดียิ่งขึ้น

5. คุณภาพสูงขึ้น สิ่งที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดล้วนแต่เป็นองค์ประกอบที่ช่วยให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดียิ่งขึ้น ซึ่งจะเป็นผลให้ผู้ใช้มีความพึงพอใจมากยิ่งขึ้น

6. สามารถเก็บข้อมูลดียิ่งขึ้น การสร้างและการเก็บข้อมูลที่เหมาะสมของภาวะผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบจะเป็นสิ่งที่ต้องมีการเก็บข้อมูลในการออกแบบผลิตภัณฑ์ไว้ทั้งหมด ซึ่งจะป้องกันความผิดพลาดซึ่งจะเคยเกิดขึ้นในอดีตอันเกิดจากความตั้งใจที่ดี นอกเหนือจากนั้นการเก็บข้อมูลการปรับปรุงและวิเคราะห์ต่าง ๆ จะช่วยให้การออกแบบขั้นต่อไปในอนาคตมีความสะดวกยิ่งขึ้น

- ชนิดของวิเคราะห์ภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบนั้น เป็นวิธีการวิเคราะห์ปัญหาหรือความล้มเหลวอย่างเป็นระบบมีขั้นตอนสำหรับการค้นหาสาเหตุของความผิดพลาดก่อนที่จะเกิดขึ้นจริง เพื่อเป็นการป้องกันก่อนที่จะเกิดปัญหารายแรงขึ้นมาภายหลังและเป็นการลดความเสี่ยงของการเกิดปัญหา โดยทั่วไปแล้ว FMEA สามารถแบ่งตามวิธีการนำไปใช้งานได้หลายอย่างคือ

1. System FMEA จะใช้สำหรับการออกแบบหรือปรับปรุงระบบการทำงานในการใช้งานมักจะรวมอยู่ในขั้นตอนของ FMEA ชนิดอื่น ได้แก่ การสร้างแนวความคิดในการออกแบบและกำหนดรายละเอียดของระบบงาน การออกแบบ การพัฒนา การทดสอบ และการประเมินผลระบบ

2. Design FMEA ซึ่งนิยมใช้สำหรับการวิเคราะห์ผลและการแก้ไขงานที่มีการทดลอง หรือปฏิบัติเป็นครั้งแรกมักจะพิจารณาเกี่ยวข้องกับกลุ่มของการรวมส่วนประกอบต่าง ๆ หรือส่วนย่อย ๆ เข้าด้วยกันและส่วนของผลิตภัณฑ์ว่ามีหน้าที่การใช้งานตามที่ออกแบบเหมาะสมแล้วหรือไม่และส่วนใดจะมีปัญหาจะป้องกันหรือลดระดับความเสี่ยงได้มากน้อยแค่ไหน

3. Process FMEA ซึ่งนิยมใช้สำหรับกระบวนการผลิตมีลักษณะเหมือนกับ Design FMEA แต่จะทำการพิจารณาเกี่ยวกับปัจจัยการผลิตที่สำคัญ คือ พนักงาน เครื่องจักร วัสดุ วิธีการ การวัดและสภาพแวดล้อมของการผลิต โดยทั่วไปแล้วเครื่องจักรจะเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดเมื่อจัดทำ Process FMEA

4. Service FMEA เกี่ยวข้องกับการให้บริการเป็นหลัก โดยนิยมให้คนเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดเมื่อจัดทำ Service FMEA

5. Machinery FMEA ซึ่งนิยมใช้สำหรับการวิเคราะห์เครื่องจักรอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้โดยแบ่งเป็นส่วนประกอบต่าง ๆ เช่น โครงสร้างเครื่องจักร เครื่องมือส่วนทำความเย็น ส่วนส่งกำลัง ส่วนหล่อลื่น ชุดเกียร์ ตลับลูกปืน ฯลฯ

- งานเอกสารของ FMEA การวิเคราะห์ปัญหาหรือความล้มเหลวที่เกิดขึ้นโดยวิธีการ FMEA ซึ่งถือว่าเป็นการวางระบบเตือนภัยล่วงหน้าและเป็นเทคนิคการป้องกันปัญหาชนิดหนึ่ง ซึ่งมีส่วนช่วยวิศวกรกระบวนการในการศึกษาสาเหตุและผลกระทบต่าง ๆ ก่อนที่การออกแบบหรือวิธีการกระบวนการผลิตจะสรุปผลขั้นสุดท้ายทุกเรื่องทุกด้านที่มีการวิเคราะห์ร่วมกัน จะถูกบันทึกลงแบบฟอร์มมาตรฐานของ FMEA โดยมักจะเริ่มต้นจากหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่งของกระบวนการผลิตจะถูกนำมาพิจารณาอย่างละเอียดว่ามีชนิดหรือรูปแบบของปัญหาและความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นหรือเคยเกิดขึ้นมาแล้วมีอะไรบ้าง มีสาเหตุมาจากเรื่องใด และจะมีผลกระทบอย่างไรหลังจากนั้นจะมีการประมาณตัวเลขระดับความเสี่ยงหรือที่เรียกกันว่าค่า RPN ซึ่งมาจากคำว่า Risk priority number ให้กับแต่ละปัญหา

- การคำนวณค่า RPN มาจากผลคูณค่าพารามิเตอร์ 3 ตัว คือ O×S×D เมื่อ

  S = Severity คือ เกณฑ์การให้ลำดับขั้นผลกระทบของความรุ่นแรง

  O = Occurrence คือ การให้ลำดับโอกาสเกิดความผิดพลาด

  D = Detection คือ โอกาสที่จะตรวจจับโดยการควบคุมกระบวนการ

ค่า S, O และ D นิยมใช้เป็นตัวเลขจำนวนเต็มมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 ดังนั้นเมื่อค่าระดับความเสี่ยงต่ำสุดของการเกิดปัญหา คือ ค่า RPN = 1 ซึ่งมาจาก 1×1×1 หมายความว่า ความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีน้อยมาก และความรุนแรงของผลกระทบ เมื่อเกิดปัญหานี้มีน้อยมากเช่นกันและสามารถตรวจจับปัญหานี้ได้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้าอย่างสมบูรณ์ส่วนค่าระดับความเสี่ยงสูงสุดของการเกิดปัญหา คือ ค่า RPN = 1000 ซึ่งมาจาก 10×10×10 หมายความว่าความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีมาก เช่น พบทุกวันและระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้ก็มีมากเช่นกระบวนการผลิตต้องหยุดทั้งหมด หรือลูกค้า ต้องยกเลิกสัญญาสั่งซื้อ เป็นต้น และยังไม่มีวิธีการตรวจจับปัญหานี้ได้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้าเลย

ทั้งนี้การให้คะแนนค่า S O และ D ซึ่งประเมินค่าโดยมีการลำดับความสำคัญดังตารางที่ 2.1 ตารางที่ 2.2 และ ตารางที่ 2.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์การให้ลำดับขั้นผลกระทบของความรุนแรง

เกณฑ์ (ผลกระทบของระดับความรุ่นแรง)	**ลำดับที่ (Rank)**
อาจจะทำให้เกิดอันตรายกับเครื่องจักรอื่นหรือกับผู้ปฏิบัติงานอย่างสูง	10
อาจทำให้เกิดอันตรายกับเครื่องจักรอื่นหรือกับผู้ปฏิบัติงาน	9
ทำให้การผลิตหยุดชะงักอย่างมาก และผลิตจำนวน 100 % อาจจะต้องกลายเป็นผลิตภัณฑ์เสีย (Scrapped 100 %)	8
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์อาจจะต้องมีการนำมาเลือกบางส่วนที่เสียออก (<100% เป็นผลิตภัณฑ์เสีย)	7
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์มีเสีย <100 % แต่อาจไม่ต้องนำมาเลือกบางส่วนออก	6
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์จำนวน <100 % อาจจะต้องมาผลิตอีกครั้ง (Reworked 100 %)	5
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์อาจจะต้องมีการนำมาเลือกบางส่วนที่เสียออก แล้วนำส่วนที่เหลือมาทำอีกครั้ง (Reworked <100 %)	4
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์จำนวนน้อยกว่า 100 % อาจจะต้องนำมาทำใหม่ในสายการผลิต แต่ภายนอกสถานีการผลิต	3
ทำให้กรผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์จำนวนน้อยกว่า 100 % อาจจะต้องนำมาทำใหม่ในสายการผลิต และภายในสถานีการผลิต	2
ไม่มีผลกระทบ	1

ตารางที่ 2.2 การให้ลำดับโอกาสเกิดความผิดพลาด

โอกาสในกรเกิดความผิดพลาด (Occurrence Opportunity of Failure)	**อัตราความเป็นไปได้ในการเกิดความผิดพลาด (Possible Failure Rate)**	**ลำดับที่ (Rank)**
สูงมาก (ความผิดพลาดเกิดขึ้นเกือบแน่นอน)	มากกว่าหรือเท่ากับ 1 ใน 2	10
	1 ใน 3 ถึง 1 ใน 2	9
สูง (ความผิดพลาดมีบ่อยครั้ง)	1 ใน 8 ถึง 1 ใน 3	8
	1 ใน 20 ถึง 1 ใน 8	7
ปานกลาง (ความผิดพลาดเกิดขึ้นบ้าง)	1 ใน 80 ถึง 1 ใน 20	6
	1 ใน 400 ถึง 1 ใน 80	5
	1 ใน 2,000 ถึง 1 ใน 400	4
ต่ำ (ความผิดพลาดเกิดขึ้น น้อยครั้ง)	1 ใน 15,000 ถึง 1 ใน 2000	3
	1 ใน 150,000 ถึง 1 ใน 15,000	2
ต่ำมาก (ความผิดพลาดมีโอกาสเกิดได้น้อยมาก)	มากกว่า 1 ใน 1,500,000 ถึง 1 ใน 150,000	1

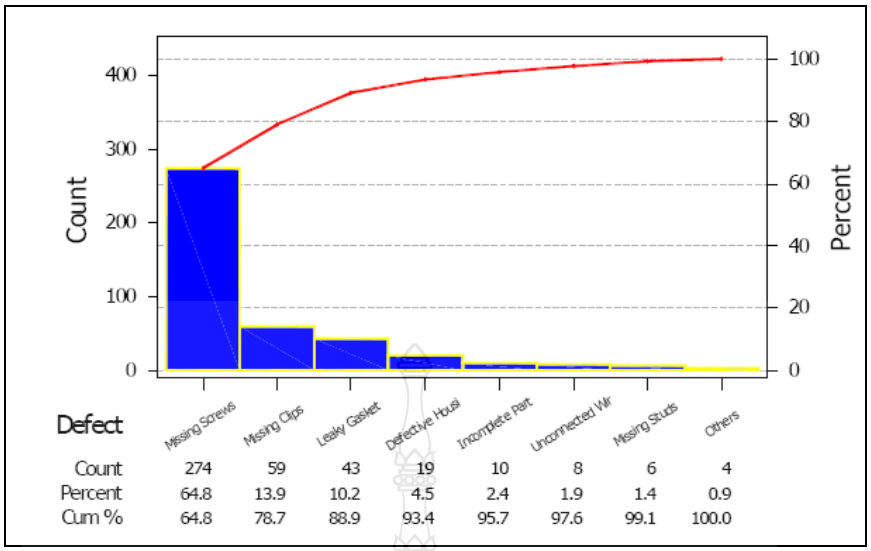
ตารางที่ 2.3 โอกาสที่จะตรวจจับโดยการควบคุมกระบวนการ

โอกาสการตรวจ (Detection Opportunity)	**โอกาสที่จะตรวจจับโดยการควบคุมกระบวนการ (Opportunity of Detection by Process Control)**	**ลำดับที่ (Rank)**
ไม่สามารถตรวจจับได้อย่างแน่นอน	การควบคุมการออกแบบไม่สามารถตรวจจับโอกาสที่จะเป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาด(หรือไม่มีการควบคุมการออกแบบเลย)	10
มีโอกาสตรวจจับได้เล็กน้อยที่สุด	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับที่จะเป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้เล็กน้อยที่สุด	9
มีโอกาสตรวจจับได้เล็กน้อยมาก	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้เล็กน้อยมาก	8

ตารางที่ 2.3 โอกาสที่จะตรวจจับโดยการควบคุมกระบวนการ (ต่อ)

โอกาสการตรวจ (Detection Opportunity)	**โอกาสที่จะตรวจจับโดยการควบคุมกระบวนการ (Opportunity of Detection by Process Control)**	**ลำดับที่ (Rank)**
มีโอกาสตรวจจับได้ต่ำมาก	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้ต่ำมาก	7
มีโอกาสตรวจจับได้ต่ำ	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้ต่ำ	6
มีโอกาสตรวจจับได้ปานกลาง	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้ปานกลา	5
มีโอกาสตรวจจับได้ค่อนข้างสูง	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้ค่อนข้างสูง	4
มีโอกาสตรวจจับได้สูง	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้สูง	3
มีโอกาสตรวจจับได้สูงมาก	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้สูงมาก	2
มีโอกาสตรวจจับได้ค่อนข้างแน่นอน	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้ค่อนข้างแน่นอน	1

- แผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram) แผนภาพพาเรโต เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของข้อมูลที่มีการจำแนกประเภท หรือแบบหลายพวก โดยอาศัยหลักการพาเรโต (Pareto Principle) คือ สิ่งที่สำคัญมากมีจำนวนน้อย และสิ่งที่สำคัญน้อยมีจำนวนมาก (Vital Few and Trivial Many) ซึ่งมักใช้ตัวเลข 80 – 20 เป็นค่าประมาณ สำหรับทั้งจำนวน และความสำคัญ ลักษณะของแผนภาพพาเรโต ดังแสดงในภาพที่ 2.23



ภาพที่ 2.23 ตัวอย่างลักษณะของแผนภาพพาเรโต [7]

2) การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลเป็นสิ่งสำคัญมากในวิธีการทางสถิติ ซึ่งข้อมูลอาจได้มาจากประชากร (Population) หรือสิ่งตัวอย่าง (Sample) ก็ได้ ซึ่งข้อมูลในทางสถิติสำหรับงานทางด้านวิศวกรรม อาจจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

- ข้อมูลแบบแจงนับ เป็นข้อมูลที่ได้จากการแจงนับสมาชิกที่สนใจในประชากรหรือสิ่งตัวอย่างโดยปกติแล้วจะมีลักษณะแบบช่วง (Discrete data)

- ข้อมูลจากการวัด เป็นข้อมูลที่ได้จากการวัดสมาชิกแต่ละตัวที่สนใจของประชากรหรือสิ่งตัวอย่าง โดยปกติแล้วจะมีลักษณะแบบต่อเนื่อง (Continuous data)

2.2.6 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement system analysis, MSA)

กิตติศักดิ์ [11] ได้กล่าวไว้ว่า วัตถุต่างๆ ล้วนแล้วแต่มีค่าคงที่ของคุณสมบัติเฉพาะต่าง ๆ ค่าหนึ่ง ซึ่งถือว่าเป็น “ค่าจริง” ของวัตถุตามคุณสมบัติเฉพาะนั้น ๆ โดย “การวัด” จะเป็นการกำหนดค่าที่เป็นตัวเลขให้กับคุณสมบัติเฉพาะเหล่านั้น ในกระบวนการวัด หรือระบบการวัด จะมีองค์ประกอบหลัก ๆ คือ เครื่องมือวัด พนักงานวัด วิธีการวัด สิ่งที่ได้รับการวัด และสิ่งแวดล้อมในการวัด แต่เนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้จะมีความไม่เท่ากัน จึงส่งผลให้เกิดความผันแปรจากระบบการวัดขึ้น ซึ่งความผันแปรนี้มีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะคือความผันแปรที่เป็นไปโดยสาเหตุธรรมชาติ (Common cause of variation) ซึ่งความผันแปรจะอยู่ในเสถียรภาพที่สามารถทำนายได้ แต่ความผันแปรอีกลักษณะหนึ่งคือ ความผันแปรที่เป็นไปโดยสาเหตุแห่งความผิดพลาด (Special cause of variation)

ความผันแปรนี้จะไม่เสถียร และไม่สามารถทำนายได้ในการวัด เพื่อการประกันคุณภาพจึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการตรวจจับสาเหตุแห่งความผิดพลาดและทำการกำจัดทิ้ง ควบคู่ไปกับการพยายามลดสาเหตุธรรมชาติแห่งความผันแปรอย่างต่อเนื่อง

สาเหตุด้านความผันแปรของระบบการวัดเหล่านี้ จะมีผลทำให้ค่าวัดที่ได้เบี่ยงเบนไปจากค่าจริงของสิ่งวัดเสมอ กล่าวคือ ถ้าให้ x หมายถึง ค่าวัดที่ได้ และ μ หมายถึง ค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัดแล้ว จะได้ว่า $x_i = \mu - \varepsilon_i$ โดยจะเรียก ε นี้ว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าวัด (Measurement error) ในการวิเคราะห์ระบบการวัดนี้ มีจุดประสงค์สำคัญในการวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด แล้วทำการแก้ไขปรับปรุง

จากความคลาดเคลื่อนของค่าวัดที่มีทั้งปริมาณที่สามารถกำจัดได้ และกำจัดไม่ได้ จึงมีความจำเป็นต้องกำจัดปริมาณที่สามารถควบคุมได้ก่อน อันได้แก่ ความคลาดเคลื่อนซึ่งเป็นสาเหตุมาจากความผิดพลาด เช่น การขาดความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องมือวัด ซึ่งสามารถกำจัดได้ โดยการกำหนดขั้นตอน และวิธีการวัดที่แน่นอน การฝึกอบรมพนักงานวัด การทำมาตรฐานของสิ่งที่ได้รับการวัดเป็นต้น เมื่อดำเนินการทำให้ระบบการวัดเป็นมาตรฐานแล้ว ก็จะดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือ เพื่อกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ หลังจากนั้นจะมีการลดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม ซึ่งมีสาเหตุมาจากธรรมชาติต่าง ๆ ด้วยการประเมินถึงแหล่งความผันแปรต่างๆ ทั้งจากเครื่องมือวัด พนักงานวัดตลอดจนสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการวัด

การวิเคราะห์ระบบการวัด เป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัด เพื่อแยกแยะแหล่งความผันแปรต่าง ๆ และดำเนินการปรับปรุง ในการวิเคราะห์จะสนใจในการวิเคราะห์ความถูกต้องและการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด แล้วพยายามปรับให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งความแม่นยำของระบบการวัดจะประกอบไปด้วย

- ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) หมายถึง ความแตกต่างของระบบการวัดภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน

- ความสามารถในการทำเหมือน (Reproducibility) หรือไบอัส (Bias) หมายถึงความแตกต่างของระบบการวัดต่างเงื่อนไขกัน

ในการวิเคราะห์ทั้ง 2 กรณีนี้ สามารถแบ่งการวิเคราะห์ ออกเป็น 3 วิธี คือ วิธีการอาศัย $R, \overline{X} - R$ และ ANOVA ซึ่งการศึกษาโดยอาศัยพิสัย R จะให้ภาพรวมของความผันแปรของระบบการวัดแต่ไม่สามารถแยกความผันแปรออกเป็น Repeatability และ Reproducibility วิธีการอาศัยค่าเฉลี่ยและค่าพิสัย $(\overline{X} - R)$ สามารถแยกความผันแปรออกเป็น Repeatability และReproducibility ออกจากกันได้ แต่ไม่สามารถแยกอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและสิ่งตัวอย่างของงานออกจากค่า

Repeatability ได้ ส่วนวิธีการที่อาศัย ANOVA จะอาศัยการแยกความแปรผันรวมของระบบการวัดออกเป็นความผันแปรจากสาเหตุต่าง ๆ 4 องค์ประกอบด้วยกันคือ ความผันแปรจากสาเหตุของพนักงานวัด ความผันแปรจากสาเหตุของสิ่งตัวอย่างงาน ความผันแปรจากสาเหตุร่วมของพนักงานวัดกับสิ่งตัวอย่างงาน และความผันแปรจากสาเหตุของตัวอุปกรณ์วัดเอง

ในการศึกษาความสามารถของระบบการวัดแบบอาศัยข้อมูลนับนี้ จะเป็นการประเมินแบบเปรียบเทียบชิ้นงานที่ทำการตรวจสอบกับพิกัดกับข้อกำหนดเฉพาะ ซึ่งจะทำให้สามารถประเมินผลของข้อมูลออกมาเป็นยอมรับและปฏิเสธ หรือ ผ่านและไม่ผ่าน จึงไม่สามารถประเมินผลได้ว่า คุณภาพของงานที่ตรวจสอบได้นั้นดี หรือไม่ดีอย่างไร

สำหรับการศึกษาความสามารถของระบบการวัดแบบอาศัยข้อมูลจะเป็นการประเมินโดยการเปรียบเทียบชิ้นงานที่ทำการตรวจสอบกับพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะ ซึ่งจะทำให้สามารถประเมินผลของข้อมูลออกมาเป็นยอมรับ และปฏิเสธ หรือ ผ่าน และไม่ผ่าน การประเมินผลจะออกมาในรูปของความมีประสิทธิผลของการตรวจสอบ (Screen effectiveness) อันจะหมายถึงความสามามารถของระบบการวัดในการแยกแยะงานไม่ดีออกจากงานที่ดี ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการยอมรับจะขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของความผิดพลาดในการตรวจสอบ (% Error) ดังนี้

- <10% Error สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้
- 10 % ถึง 30 % อาจยอมรับได้ซึ่งขึ้นอยู่กับความสำคัญในสิ่งประยุกต์ใช้ค่าใช้จ่ายในการวัด ตลอดจนปัจจัยอื่น ๆ ฯลฯ
- >30% ไม่สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้และมีความจำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุความผันแปรแล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

ในการประเมินผลกระบวนการวัดมีขั้นตอนดังนี้

1) ทำการเลือกสิ่งตัวอย่างงานจากกระบวนการผลิตประมาณ 20-30 ชิ้น โดยพยายามให้สิ่งตัวอย่างงานดังกล่าวประกอบไปด้วย สิ่งตัวอย่างงานที่มีคุณภาพดี สิ่งตัวอย่างงานที่คุณภาพไม่ดี และสิ่งตัวอย่างงานที่มีคุณาภาพกำกึ่งในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน

2) เลือกพนักงานวัดหรือพนักงานตรวจสอบมา 2-4 คน โดยพนักงานที่เลือกมาจะต้องเป็นพนักงานที่มีหน้าที่ประจำในการตรวจสอบคุณภาพ และได้ผ่านการฝึกอบรมมาอย่างดี และผ่านการสอบประเมินผลแล้ว

3) ทำการเลือกพนักงานขึ้นมาก่อนหนึ่งคนแล้วให้ตรวจสอบสิ่งตัวอย่างสุ่มเพื่อประเมินผลของพนักงานแต่ละคนนี้ความจำเป็นต้องทำการตรวจสอบ “ซ้ำ” อย่างน้อยชิ้นงานละ 2-3 ครั้ง

4) ทำการเลือกพนักงานคนที่สองขึ้นมาแล้วดำเนินการตรวจสอบอย่างสุ่มเหมือนข้อ 3 และทำเช่นนี้กับพนักงานคนอื่น ๆ อีกจนครบทุกคนตามที่วางแผนไว้

5) ดำเนินการประเมินผลด้วยดัชนีต่าง ๆ ดังนี้

% Repeatability ของพนักงานตรวจสอบ = จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ/จำนวนครั้งที่ตรวจสอบเหมือนกัน

% ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ = จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ/จำนวนครั้งที่ตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้อง

% ประสิทธิผลด้าน Repeatability ของพนักงานตรวจสอบ = จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ/จำนวนครั้งที่ทุกคนตรวจสอบได้เหมือนกัน

% ประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ = จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ/จำนวนครั้งที่ทุกคนตรวจสอบถูกต้อง

% Repeatability จะใช้การวิเคราะห์ความแม่นยำในขณะที่ % ความไม่ไบอัสจะใช้วิเคราะห์ความถูกต้อง (ไบอัส หมายถึง ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากการวัดอ้างอิง) และในการเปรียบเทียบเกณฑ์การยอมรับกับ % Error จะได้เท่ากับ 100 ลบค่า % เหล่านี้เป็น % Error)

6) ดำเนินการตัดสินใจเพื่อปฏิบัติการแก้ไขจากดัชนีที่คำนวณได้จากดัชนีตามสมการที่ หากค่า % Repeatability ของพนักงานตรวจสอบได้ต่ำกว่าเกณฑ์ (น้อยกว่า 90 %) แสดงถึงการขาดความแม่นยำของพนักงานจำเป็นต้องทำการฝึกอบรมพนักงานรวมทั้งการประเมินผลพนักงานใหม่แต่หาก % ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบได้ต่ำกว่าเกณฑ์ หมายถึง การตรวจสอบของพนักงานขาดความถูกต้องจำเป็นต้องปรับปรุงวิธีการตรวจสอบเสียใหม่ และหาก % ประสิทธิผลด้าน Repeatability ของการตรวจสอบ และ % ประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของการตรวจสอบได้ต่ำกว่าเกณฑ์จะหมายถึงระบบการตรวจสอบขาดความแม่นยำ และขาดความถูกต้องจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุจากดัชนีข้างต้นแล้วทำการแก้ไขให้ถูกต้อง เพื่อให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

2.2.7 การทดสอบสมมติฐาน (Test of hypothesis)

ในกรณีที่ผู้ตัดสินใจมีความตั้งใจที่จะตัดสินใจแบบมีการทดลอง ด้วยการยืนยันความเชื่ออย่างใดอย่างหนึ่งแล้ว จะทำการตัดสินใจผ่านการทดสอบสมมติฐาน โดยที่ตัวแบบของการตัดสินใจนี้จะมีอยู่ด้วยกัน 2 ทางเลือก คือ สมมติฐานหลัก (Null hypothesis : H_0) คือ สมมติฐานที่สร้างขึ้นด้วยความหวังที่จะปฏิเสธ และการปฏิเสธสมมติฐานหลัก ทำให้ยอมรับสมมติฐานอื่น ๆ (Alternative hypothesis : H_1)

ในการตัดสินใจจากผลการทดสอบสมติฐานเชิงสถิติ อาจจะเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ 2 กรณี คือกรณีที่ 1 เมื่อเราปฏิเสธสมมติฐานหลัก โดยที่สมมติฐานหลักเป็นจริง การตัดสินใจดังกล่าวเป็นการกระทำความผิดพลาดแบบที่ 1 (Type I error) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ α

กรณีที่ 2 เมื่อสมมติฐานหลักไม่ถูกต้อง แต่สรุปว่าสมมติฐานหลักถูกต้อง การตัดสินใจดังกล่าว เป็นการกระทำความผิดพลาดแบบที่ 2 (Type II error) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ β และเรียก $1 - \beta$ ว่าอำนาจในการทดสอบ (Power of test)

แนวทางในการตั้งสมมติฐานมีอยู่ด้วยกัน 3 แนวทางคือ [12]

1) การกำหนดสมมติฐานจากประสบการณ์ในอดีต ซึ่งการกำหนดสมมติฐานแบบนี้ จะถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างมาก ในการควบคุมกระบวนการ

2) การกำหนดสมมติฐานจากทฤษฎี การกำหนดสมมติฐานแบบนี้มักจะถูกนำไปใช้กับงานวิจัยและพัฒนา (R&D)

3) การกำหนดสมมติฐานจากการพิจารณาถึงปัจจัยภายนอกต่างๆ

การทดสอบสมมติฐานจำเป็นต้องมีการทำการทดลอง เพื่อหาเหตุผลมายืนยันความเชื่อของผู้ทดสอบซึ่งถ้าเหตุผลที่ได้ไม่สามารถยืนยันความเชื่อของผู้ทดสอบได้แล้ว ผู้ทดสอบก็มีความจำเป็นที่จะต้องทำการยอมรับทางเลือกอีกทางเลือกหนึ่ง ซึ่งจริง ๆ แล้วการที่ยอมรับทางเลือกอีกทางเลือกหนึ่งนั้น มิใช่เป็นเพราะทางเลือกนั้นถูกต้อง แต่ที่เลือก เพราะไม่มีเหตุผลเพียงพอที่จะทำการปฏิเสธ (Fail to reject) ทางเลือกนั้น ในทางกลับกันถ้าเหตุผลที่ได้นั้นสามารถทำการยืนยันความเชื่อของผู้ทดสอบได้ความเชื่อของผู้ทดสอบก็จะสามารถทำการยอมรับได้

ในทางปฏิบัติเมื่อตั้งสมมติฐานได้แล้ว ถ้าหากมีปัจจัยไม่มากก็จะทำการทดสอบสมมติฐานแบบพื้นฐานได้ แต่ถ้าหากมีหลายปัจจัยก็อาจจะออกแบบการทดลองตามความเหมาะสมโดยอาศัยหลักการของการออกแบบการทดลอง (Design of experiment : DOE) หรือจากข้อมูลปกติตามความเหมาะสมทำการทดลองเก็บข้อมูล แล้วใช้หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูล ซึ่งจะมีวิธีการแตกต่างกันขึ้นอยู่กับรูปแบบของข้อมูล และวิธีการทดลอง ในทางปฏิบัติสามารถใช้โปรแกรมในการคำนวณทางสถิติช่วย ซึ่งจะสามารถคำนวณค่า P-value (Probability value) ที่สัมพันธ์โดยตรงกับ α ซึ่งหมายถึงโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาด หากทำการปฏิเสธสมมติฐานหลัก ซึ่งเมื่อเราให้ค่า $\alpha = 0.05$ จะหมายถึงว่าเรายอมรับความเสี่ยงที่จะผิดพลาดแบบที่ 1 เท่ากับ 0.05 หรือ 5เปอร์เซ็นต์ หรือมีโอกาสผิดพลาดได้ 1 ใน 20 ของการตัดสินใจ ดังนั้นในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อพิสูจน์สมมติฐานนั้น หากพบว่าค่า P มีค่ามากกว่า 0.05 คือมีโอกาสที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลักแล้วกระทำความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้มากกว่า 0.05 ก็จะไม่สามารถปฏิเสธ

สมมติฐานหลัก และต้องยอมรับสมมติฐานหลักนั้น แต่ถ้าหากค่า P น้อยกว่า 0.05 ก็จะทำการปฏิเสธสมมติฐานหลักนั้น แล้วยอมรับสมมติฐานอื่นแทน

2.2.8 การออกแบบการทดลอง (Design of experiments)

การออกแบบการทดลองเพื่อตรวจดูว่าปัจจัย (Factor) ใดหรือตัวแปร (Input variable) ใดที่มีผลต่อสิ่งที่ให้ความสำคัญ (หรือความสนใจ) ในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา (Output response) ปัจจัย (Factor) ในการผลิตสามารถแบ่งเป็น [12]

- ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการผลิต

- ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการผลิต

การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ได้ว่า ปัจจัยใดมีผลต่อผลิตภัณฑ์หรือไม่ต้องทำการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยอย่างน้อย 2 ระดับ แล้วจะทำการทดลองจากนั้นจึงวิเคราะห์ผลการทดลอง

1) วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง

- เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือ การพิสูจน์ข้อเท็จจริง หรือความเชื่อจากประสบการณ์ หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต

- เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ

2) คำจำกัดความ (Definition)

- อิทธิพลหรือผล (Effect) คือ ผลของตัวแปรต้นที่มีต่อตัวแปรตาม

- ปัจจัย (Factor) คือ สิ่งที่คิดว่ามีอิทธิพลต่อผลการทดลองของคุณสมบัติในตัวผลิตภัณฑ์

- ระดับของปัจจัย (Level of factor) คือ สภาวะต่าง ๆ ของปัจจัยหนึ่ง ๆ ที่ทำการกำหนดในการทดลอง

- ปัจจัยรบกวน (Noise factor) คือ ปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบเล็ก ๆ น้อยและไม่สามารถควบคุมได้

3) หลักในการออกแบบการทดลอง

- การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ การให้โอกาสในการเก็บข้อมูลของข้อมูลแต่ละตัวเท่าๆ กัน เพื่อกระจายผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ให้กับทุกระดับที่ศึกษาให้เท่าๆกัน การทำแบบสุ่มยังสามารถแบ่งออกได้อีกเป็น 3 วิธี คือ

  · แบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete randomization)

  · แบบสุ่มอย่างง่าย (Simple randomization)

  · แบบสุ่มแบบสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete randomization within blocks)

- การทำซ้ำ (Replication) หมายถึง การทำการทดลองซ้ำในแต่ละข้อมูลเพื่อกำจัดเอาผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ออก

- การบล็อก (Blocking) คือ การจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็น ช่วงเพื่อลดผลจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ แต่ไม่จำเป็นที่จะต้องมีการทำเสมอไปอะไรบ้างในการผลิต ซึ่งการนิยามปัญหานี้จะเกี่ยวโยงไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองการเลือก

4) ขั้นตอนการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง

- การนิยามปัญหาเป็นการระบุว่าความต้องการในการผลิตคืออะไร และต้องการรู้อะไรบ้างในการผลิต ซึ่งการนิยามปัญหานี้จะเกี่ยวโยงไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองการเลือกปัจจัยที่มีผลและระดับปัจจัยเป็นการใช้หลักการทางทฤษฎีและประสบการณ์ที่เคยปฏิบัติมาในการผลิต เพื่อระบุว่ามีปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง และในแต่ละปัจจัยนั้นควรจะมีช่วงในการทดลองเป็นอย่างไร เพื่อระบุระดับของปัจจัยในการทดลองสุดท้าย คือ การระบุว่าระดับที่ใช้เป็นแบบกำหนด (Fixed levels) แบบสุ่ม (Random levels) หรือแบบผสม (Mixed levels) ซึ่งสามารถกล่าวโดยสังเขปได้ ดังต่อไปนี้

  · แบบกำหนด (Fixed levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน

  · แบบสุ่ม (Random levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าของปัจจัยได้แน่นอน

  · แบบผสม (Mixed levels) หมายถึง การผสมผสานระดับของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนดได้และแบบสุ่ม

- การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response variables) ผู้ทำการทดลองจะต้องเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาและการวัดค่านั้นจะต้องแม่นยำรวมทั้งความถูกต้องของเครื่องวัดด้วย

- การเลือกแบบทดลองจะต้องพิจารณาถึงจำนวนข้อมูลที่ทำซ้ำในการทดลองความเหมาะสมข้อจำกัดในการสุ่ม (Randomization) และการบล็อก (Blocking) ที่เกี่ยวข้องทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวโยงกันในด้านความเสี่ยง และต้นทุนที่ใช้ในการทดลองสำหรับการเลือกปัจจัย

- ในขณะทำการทดลองจะต้องปฏิบัติตามหลักการที่ได้ทำออกแบบไว้ นั่นคือต้องมีการสุ่ม การทำซ้ำ ข้อควรระวังในขณะทำการทดลอง คือ ความถูกต้องของเครื่องมือวัดและความสม่ำเสมอในการทดลอง เพื่อให้ความผิดพลาด (Error) ที่ออกมามีน้อยที่สุดการวิเคราะห์ข้อมูลในการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้ความรู้ทางด้านสถิติเข้ามาวิเคราะห์และสรุปผลรวมทั้งตัดสินความถูกต้องของข้อมูลที่เกิดขึ้น ก่อนที่จะตีความข้อมูลวิธีทางสถิติไม่อาจบอกได้ว่าปัจจัยใดมีผล (Effect) เท่าใดได้แน่นอนแต่เป็นเพียงเครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ภายใต้ความเชื่อมั่นเป็นเปอร์เซ็นต์ในการสรุปผล และข้อเสนอแนะเมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลแล้วจะต้องสรุปผลของการวิเคราะห์ ซึ่งอาจแสดงในภาพกราฟ ตาราง แผนภูมิ ฯลฯ

5) การเลือกแบบการทดลอง

- แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete randomize design) ซึ่งใช้กับการทดลองปัจจัยเดี่ยว (Single factor experiment) เป็นปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้มีขนาดไม่โตนักและไม่มีปัจจัยรบกวนการทดลอง ซึ่งจะทำโดยยึดหลักการทำแบบสุ่ม (Randomization) และการทำซ้ำ (Replication)

ขั้นตอนในการทำการทดลอง

- การกำหนดตัวแปรตอบสนอง (Response variable) และปัจจัยที่สามารถทำการควบคุมได้ (Controllable factor) ที่สนใจ
- ทำการทดลองโดยสุ่มแบบสมบูรณ์ (Complete random) ในการวัดค่า
- วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

- แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม (Randomize block design) นั้นจะใช้กับการทดลองปัจจัยเดียว และมีปัจจัยรบกวน (Noise factor) หลักการของแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มคือ ต้องทำการสุ่มทุกครั้งและจะต้องทำซ้ำทุกการทดลองต้องทำการบล็อก สามารถลดปัจจัยรบกวนการบล็อกโดยอาจจะทำมากกว่า 1 บล็อก ก็ได้ซึ่งขึ้นกับจำนวนของปัจจัยรบกวน

ขั้นตอนในการทำการทดลอง

- ออกแบบและวางแผนการทดลอง
- เก็บข้อมูล
- การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Table) ซึ่งจะต้องมีผลของบล็อก (Block effect) ด้วย

• แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial design) จะใช้กับการทดลองที่มีปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัย ซึ่งเป็นการทดลองที่มีหลายปัจจัย (Multiple factor experiment) และเนื่องจากปัจจัย (Factor) มีมากกว่า 1 ปัจจัย ดังนั้น นอกจากการเกิดอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main effect) ที่สนใจแล้วยังอาจเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction effect) ได้ด้วยอิทธิพลของปัจจัยร่วม คือ ผลที่เกิดขึ้นจากการที่ปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปแล้วมีผลทำให้อิทธิพล (Effect) ของอีกปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงด้วย

2.2.9 แผนภูมิควบคุม (Control chart)

แผนภูมิควบคุมเป็นแผนภูมิที่มีโครงสร้างประกอบด้วยเส้นควบคุม 3 เส้น ได้แก่เส้นค่ากลาง คือเส้นที่แสดงจำนวนหรือขนาดของข้อกำหนดหรือเป้าหมายในการผลิต และเส้นขอบเขตการควบคุมอีก 2เส้น คือเส้นขอบเขตควบคุมค่าสูงและค่าต่ำที่ยอมให้เกิดขึ้นถ้าผลผลิตที่ได้มีค่าที่กำหนดอยู่ภายในขอบเขตการควบคุมระหว่างสองเส้นนี้ แสดงว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ ถ้าหากค่าดังกล่าวอยู่นอกเขตการควบคุม ถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับไม่ได้และต้องมีการวิเคราะห์หาสาเหตุและปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าวต่อไป โดยทั่วไปแผนควบคุมจะถูกกำหนดตามคุณลักษณะของตัวแปรที่ต้องการควบคุมแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

1) แผนภูมิควบคุมสำหรับข้อมูลที่มีค่าแบบต่อเนื่อง หรือเป็นข้อมูลที่ได้จากการวัด เรียกว่า Variable Control Chart โดยแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

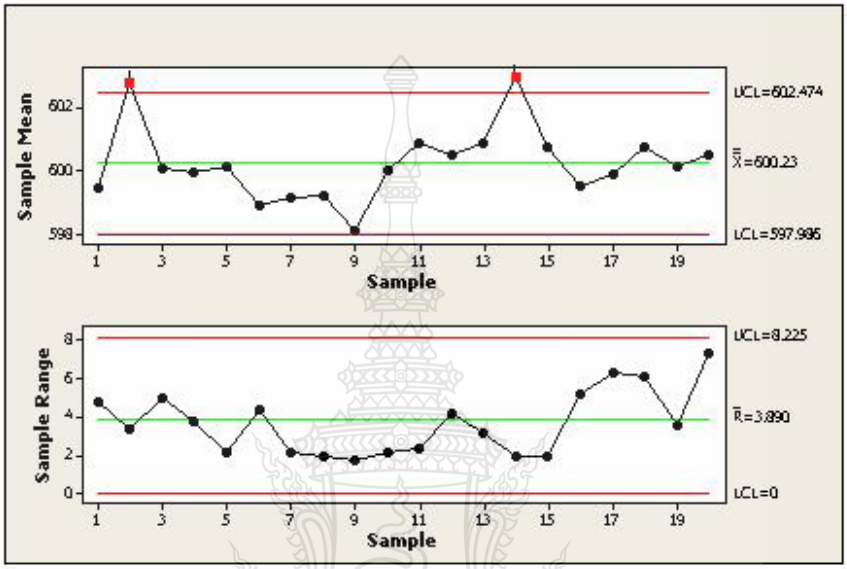
- แผนภูมิ $\overline{X}$ เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมตรวจสอบและบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย (Mean) ของผลิตภัณฑ์ว่าอยู่ในสภาพปกติหรือไม่

- แผนภูมิ R (R-chart) เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุม ตรวจสอบและบอกถึงการเปลี่ยนแปลงค่าพิสัย (Range) ของผลิตภัณฑ์ว่าอยู่ในสภาพปกติหรือไม่โดยทั่วไปแผนภูมิ $\overline{X}$ และ R จะใช้ร่วมกันเรียกว่า แผนภูมิ $\overline{X} - R$ เพื่อแสดงให้เห็นการกระจายของค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยได้พร้อมๆกัน

2) แผนภูมิควบคุมสำหรับข้อมูลที่มีค่าแบบช่วง หรือเป็นข้อมูลที่ได้จากการตรวจนับ เรียกว่า Attribute control chart โดยแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดหลัก ๆ คือ

- แผนภูมิจำนวนตำหนิ เป็นแผนภูมิที่ใช้ตรวจสอบโดยการนับจำนวนข้อตำหนิที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์นั้นมีความซับซ้อนหรือมีข้อกำหนดมากมาย การที่จะระบุว่าเป็นของดีหรือเสีย ทำได้ยากหรือมีค่าใช้จ่ายสูงสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูง แผนภูมิจำนวนตำหนินี้ได้แก่ แผนภูมิ C-chart U-chart

- แผนภูมิ P และ Pn (P and Pn chart) เป็นแผนภูมิที่ใช้ตรวจสอบโดยการสุ่มตัวอย่างแล้วระบุจำนวนของดีหรือของเสียในกระบวนการผลิตว่าอยู่ในสภาพปกติดีหรือไม่ แผนภูมิ P ใช้กับขนาดของกลุ่มตัวอย่างไม่คงที่ ส่วนแผนภูมิ Pn ใช้กับขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดคงที่แสดงดังภาพที่ 2.24



ภาพที่ 2.24 แผนภูมิควบคุม [13]

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชยันต์ (2548) [14] ได้ทำการศึกษากระบวนการฉีดพลาสติกเพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อชิ้นส่วนฝาครอบส่วนระบายอากาศที่ติดตั้งนอกอาคารที่ผลิตจากการฉีดพลาสติก จากการศึกษาสภาพของปัญหาเบื้องต้นในการฉีดพลาสติกพบว่าปัญหาที่สำคัญคือ ชิ้นส่วนพลาสติกเกิดการฉีดไม่เต็ม โดยใช้แผนการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ พบว่าความดันในการฉีดพลาสติก ความเร็วในการฉีดพลาสติก ความเร็วของสกรู ความเร็วในการหลอมพลาสติก และอุณหภูมิภายในกระบอกสูบส่วนกลาง เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการฉีดไม่เต็มชิ้นงานของฝาครอบส่วนระบายอากาศที่ติดตั้งนอกอาคารอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ หลังจากคัดเลือกปัจจัยได้แล้วจึงทำการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยด้วยแผนการทดลองเซ็นทรัลคอมโพสิตและการวิเคราะห์คาโนนิคอล ผลการวิเคราะห์ปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานมีรูปแบบเป็นจุดอานม้า เมื่อทำการพิจารณาหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมคือ ความดันในการฉีดพลาสติกที่ 42.50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความเร็วในการฉีดพลาสติกที่ 47.00 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วของสกรูที่ 91.50 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็ว

ในการหลอมพลาสติกที่ 7.67 มิลลิเมตรต่อวินาที และอุณหภูมิภายในกระบอกสูบส่วนกลางที่ 225.00 องศาเซลเซียล โดยมีสัดส่วนของเสียที่เกิดจากการฉีดไม่เต็มชิ้นงานเท่ากับ 1.94 (หรือคิดเป็นค่าของเปอร์เซ็นต์ของเสียเท่ากับ 0.22 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.10

ทัตจันทร์ (2545) [15] ได้อธิบายในเอกสารให้ความรู้เกี่ยวกับพลาสติกของบริษัท ไทยโพลีเอททิลีน จำกัด ได้กล่าวถึงปัญหาในการฉีดพลาสติกต่างๆ และระบุถึงปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานของผลิตภัณฑ์พลาสติกว่ามีสาเหตุจากอุณหภูมิในการหลอมพลาสติก ความเร็วของสกรู (Screw speed) ความดันในการฉีดพลาสติก อุณหภูมิของแม่แบบ และความดันต้านการถอยหลังของสกรู (Back pressure)

ฝ่ายโพลิเมอร์ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม (2543) [16] ได้ลงบทความในหนังสือ Industrial technology review ในเรื่องการแก้ไขปัญหาชิ้นงานฉีดพลาสติกที่มองเห็นด้วยตาเปล่า ซึ่งได้ระบุถึงสาเหตุของการเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานเกิดจากปัจจัยอุณหภูมิของแม่พิมพ์ ความเร็วในการฉีดพลาสติก ความดันในการฉีดพลาสติก และระยะเผื่อ (Cushion)

ไพฑูรย์ และทวีชัย (2532) [17] ซึ่งเป็นวิศวกรทางด้านเทคนิคของบริษัท ไทยโพลีเอททิลีน จำกัดได้อธิบายไว้ในเอกสารที่ใช้ในการสัมมนาเรื่องการฉีดแบบอย่างมีประสิทธิภาพ โดยอธิบายในหัวข้อเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อการฉีดพลาสติกที่ทำให้เกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานในผลิตภัณฑ์พลาสติกประเภทโพลิเอททีลีน พบว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลคือ ความเร็วในการฉีดพลาสติก ความดันในการฉีดพลาสติก และอุณหภูมิในการหลอมพลาสติก

Berins (1991) [18] ได้กล่าวถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในกาฉีดพลาสติก และได้มีการอธิบายถึงเรื่องการฉีดไม่เต็มชิ้นงานในหัวข้อเรื่องทำอย่างไรไม่ให้เกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน โดยระบุถึงการพิจารณาในด้านต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดปัญหาดังกล่าว ซึ่งด้านที่ทำการพิจารณาคือ เครื่องจักร แม่พิมพ์ อุณหภูมิ และวัตถุดิบ โดยสามารถแยกพิจารณาสาเหตุจากทั้ง 4 ด้านไดดั้งนี้ ระยะเวลาในการใช้ของเครื่องจักร การบำรุงรักษาเครื่องจักร ความดันในการฉีดพลาสติก เวลาในการฉีดพลาสติกความเร็วในการฉีดพลาสติก อุณหภูมิภายในกระบอกสูบ(บริเวณส่วนหน้า ส่วนกลาง และส่วนหลัง) อุณหภูมิของหัวฉีด (Nozzle temperature) อุณหภูมิในการหลอมพลาสติก และส่วนผสมของเม็ดพลาสติกที่ใช้

Bhote (2000) [19] ได้กล่าวถึงกรณีการศึกษาบริษัทผู้ผลิตของเด็กเล่นแห่งหนึ่งซึ่งมีปัญหาในเรื่องการฉีดไม่เต็มชิ้นงานผลิตภัณฑ์ของเด็กเล่น จากการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยที่มีผลคือ อุณหภูมิในการหลอมพลาสติก อุณหภูมิของแม่พิมพ์ ความดันในการฉีดพลาสติก ความดันต้านการถอยหลังของสกรู ความเร็วในการฉีดพลาสติก ความเร็วของสกรูและระยะเวลาในการฉีดพลาสติก (Injection time)

Jeanvons (2004) [20] ซึ่งเป็นตัวแทนของบริษัท Polybridge training ได้กล่าวในการสัมมนาเรื่องการอบรมกระบวนการการฉีดพลาสติกว่า จากการที่บริษัทได้เป็นที่ปรึกษาและทำการแก้ไขปรับปรุงในโรงงานอุตสาหกรรมการฉีดพลาสติกเป็นจำนวนมาก ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการฉีดพลาสติกที่ผลิตภัณฑ์เกิดปัญหาจากการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน พบว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลคือ ความเร็วในการฉีดพลาสติก ความดันในการฉีดพลาสติก และความเร็วในการหลอมพลาสติก

Reifschneider (2000) [21] ได้กล่าวถึงประโยชน์ในการนำโปรแกรมการออกแบบเพื่อจำลองรูปแบบชิ้นงานฉีดพลาสติกในลักษณะต่าง ๆ ว่าช่วยให้สามารถเห็นถึงปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นก่อนทำการผลิตจริง และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงแก้ไขชิ้นงาน และจากการศึกษาจำลองรูปแบบงานฉีดพลาสติกในรูปแบบปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นจากการฉีดพลาสติกพบว่า การเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานเกิดจากปัจจัยความดันในการฉีดพลาสติกและความเร็วในการฉีดพลาสติก และได้มีการเสนอแนะควรให้ความสำคัญในการออกแบบแม่พิมพ์ รวมไปถึงกระบวนการในการฉีดพลาสติกและวัตถุดิบในการผลิตด้วย

Rubin (1972) [22] ได้ระบุในการพูดถึงปัญหาต่างๆในการฉีดพลาสติกที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ทำการฉีดพลาสติก และได้มีการระบุถึงสาเหตุของการเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานนั้นเกิดจากปัจจัยความดันในการฉีดพลาสติก อุณหภูมิในการหลอมพลาสติก และความเร็วของสกรู

Sadeghi (2000) [23] สร้างแบบจำลองโดยอาศัยซอฟต์แวร์ทางวิศวกรรมช่วยในการวิเคราะห์(Computer-aided engineering) เพื่อทำนายรูปแบบชิ้นงานฝาปิดเครื่องคำนวณคิดเลข Casio รุ่น Fx-570s โดยหาค่าเหมาะสมของปัจจัยในกระบวนการฉีดพลาสติกที่จะลดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานทำการศึกษาผลกระทบจาก 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิของแม่พิมพ์ อุณหภูมิในการหลอมพลาสติก และความดันในการฉีดพลาสติก จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่ 40 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกที่ 260 องศาเซลเซียส และความดันในการฉีดพลาสติกที่ 21.70 เมกะปาสคาล (MPa) มีความเหมาะสมต่อกระบวนการฉีดชิ้นงานพลาสติกนี้เนื่องจากพบปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานน้อยที่สุด

วุฒิชัย (2546) [24] ทำการศึกษาหลักการและแนวคิดของซิกซ์ ซิกม่ามาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาสีเป็นสนิม จึงได้นำปัญหานี้มาทำโครงงานวิจัยโดยตัววัดผลลัพธ์ของการวิจัยนี้ คือ ค่ารอยผุพองที่เกิดขึ้นจากการทดสอบด้วยน้ำเกลือที่จำนวน 500 ชั่วโมง ซึ่งเป็นค่าที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของงานพ่นสีในส่วนของการเกิดสนิมโดยตรง จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยสำคัญที่ส่งผล

กระทบต่อค่ารอยผุพองที่เปลี่ยนไป คือ ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำล้างก่อนพ่นสี ค่าความเข้มข้นของสารเคมี LK และ A1 ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าของน้ำล้างก่อนพ่นสีเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่ารอยผุพองค่อนข้างมาก แต่เนื่องจากในการปรับปรุงค่าการนำไฟฟ้าของน้ำล้างก่อนพ่นสีจำเป็นต้นลงทุนเครื่องจักรที่มีราคาสูง และในโครงงานวิจัยนี้มิได้ทำการเผื่องบประมาณไว้ จึงนำปัจจัยเฉพาะปัจจัยของค่าความเข้มข้นของสารเคมี LK และ A1 มาทำการปรับปรุงค่ารอยผุพองด้วยการออกแบบการทดลองและการหาพื้นที่ผลตอบสนอง ซึ่งจากการปรับปรุงด้วยการเพิ่มความเข้มข้นของสารเคมี LK และ A1 ในขั้นตอนของการออกแบบการทดลอง สามารถทำการลดค่ารอยผุพองจากค่าปัจจุบัน คือ 7.14 มิลลิเมตร ลดเหลือ 4.46 มิลลิเมตร และเมื่อทำการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการใช้วิธีพื้นที่ผิวตอบสนองผลที่ได้จากการดำเนินการการปรับตั้งค่าปัจจัยนำเข้าที่จุดที่เหมาะสมที่สุดให้ค่ารอยผุพองของการทดสอบด้วยน้ำเกลือที่จำนวน 500 ชั่วโมง ณ เวลาปัจจุบัน คือ เฉลี่ย 3.60 มิลลิเมตร

ประภาพร (2546) [25] ทำการศึกษาหลักการและแนวคิดของซิกซ์ ซิกม่ามาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในธุรกิจโดยเลือกแก้ปัญหาที่กระทบต่อต้นทุนในกระบวนการผลิตอุปกรณ์ใยแก้วนำแสงจากการศึกษาพบว่าในกระบวนการผลิตมีอัตราวัตถุดิบเสียเนื่องจากค่าความสูญเสียทางแสงสูงเกินค่ากำหนดเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตต่อชิ้นเฉลี่ยสูงขึ้น 5.01 เหรียญสหรัฐซึ่งทำให้บริษัทมีรายได้และกำไรลดลง จึงทำการวิจัยโดยมีเป้าหมายคือลดอัตราวัตถุดิบเสียเนื่องจากค่าความสูญเสียทางแสงสูงเกินค่ากำหนดจาก 26,700 ชิ้นต่อวัตถุดิบหนึ่งล้านชิ้นให้เหลือน้อยกว่า 7,810 ชิ้นต่อวัตถุดิบหนึ่งล้านชิ้น ขั้นแรกของการวิจัย คือ การวิเคราะห์และประเมินผลระบบการวัดต่อมาจึงวิเคราะห์หาปัจจัยป้อนเข้าที่สำคัญในกระบวนการซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาผลการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ทำให้ค่าความสูญเสียทางแสงของชิ้นงานสูงเกินค่ากำหนด คือ อุณหภูมิและความชื้นของสภาวะแวดล้อมขณะชิ้นงานเย็นตัวจึงทำการปรับปรุงโดยหาค่าอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองและเปลี่ยนค่าปรับตั้งอุณหภูมิและความชื้นขณะชิ้นงานเย็นตัวตามผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติผลจากการปรับปรุงพบว่าอัตราวัตถุดิบเสียลดลงเหลือเพียง 7,550 ชิ้นต่อวัตถุดิบหนึ่งล้านชิ้นซึ่งสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ประมาณปีละ 8,372 เหรียญสหรัฐ

อุษณีย์ (2545) [26] ทำการศึกษาการควบคุมคุณภาพโดยใช้แนวทางของซิกซ์ ซิกม่า เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระป๋องอันเนื่องจากข้อบกพร่องต่างๆ ระบบการดำเนินการคุณภาพตามแนวทางของ ซิกซ์ ซิกม่า จากการศึกษาพบว่าในระยะเวลา 4 เดือน สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระป๋องลดลงจาก 4,400 DPM เป็น 2,849 DPM เมื่อเปรียบเทียบในระดับ σ สามารถปรับปรุงจากระดับ 2.85 เป็นที่ระดับ 2.986 ทั้งนี้ในแต่ละวันจะ มีของเสียที่เกิดจากการตรวจสอบเฉลี่ย 1,200 DPM หากลดการตรวจสอบที่ไม่จำเป็นลงจะส่งผลให้ของเสียลดลงได้อีก 50%

โดยการประมาณการจะสามารถลดลงเหลือประมาณ 2000 DPM หรือระดับ σ อยู่ที่ 3.092 ซึ่งหากมีการควบคุมอย่างต่อเนื่องประมาณ 6 เดือน จะทำให้ความผันแปรในกระบวนการผลิตลดลงอีก 1.5σ เป็นผลทำให้สัดส่วนของเสียลดลงอยู่ที่ระดับ 4.592σ

จรัสพงศ์ (2543) [27] ทำการศึกษาแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า และทำการประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการเคลือบสีรถกระบะ ซึ่งจากการสำรวจสภาพปัญหาของผลิตภัณฑ์รถกระบะภายในกระบวนการเคลือบผิวชั้นบนสุดของแผนกสี พบว่าปัญหาประเภทสีหยดเป็นปัญหาหนึ่งซึ่งยังไม่เคยได้รับการแก้ไข ยากต่อการหาสาเหตุและมีต้นทุนการซ่อมแซมที่สูงระดับหนึ่ง โดยมีระดับปัญหาเฉลี่ยปลายปี พ.ศ. 2543 อยู่ที่ 0.2 จุดบกพร่องต่อหน่วยผลิตภัณฑ์และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนระดับ 0.37 จุดบกพร่องต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ต้นปีพ.ศ. 2544 ผลจากการดำเนินโครงงานวิจัย พบว่าสาเหตุของปัญหาสีหยด คือ การเสียหายจากการซ่อมบำรุงของอุปกรณ์ Bell cup ในสถานีพ่นอัตโนมัติที่ 3 การเสียหายจากการใช้งานผิดวิธีของ Air Cap สำหรับปืนพ่นโดยใช้คน และการขาดมาตรฐานในการทำความสะอาดปืนพ่นสีโดยใช้คน จึงจัดหาโดยสั่งซื้ออุปกรณ์ที่จำเป็นดังกล่าวเพื่อปรับปรุงกระบวนการ โดยสามารถปรับปรุงกระบวนการโดยการเปลี่ยน Bell cup ทั้งหมดเปลี่ยนปืนพ่นโดยใช้คนบางส่วนจำนวน 10 กระบอก ในสถานีที่ 9 และ 10 และเริ่มใช้มาตรการทำความสะอาดปืนพ่นโดยใช้คนอัตรา 10 คันต่อ 1 ครั้ง สามารถลดระดับสีหยดลงได้ร้อยละ 70 หรือลดลงเหลือ 0.1 จุดบกพร่องต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

Dose, et al. (2002) [28] ได้ทำการศึกษาวิจัยเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการนำแนวคิดซิกซ์ ซิกม่านำไปประยุกต์ใช้ในงานการผลิต (Traditional manufacturing) กับงานที่ไม่ใช่การผลิต(Nonmanfacturing) ซึ่งมีการจัดทำโครงการซิกซ์ ซิกม่าโดยใช้กลุ่มตัวอย่างที่ดำเนินงานการผลิต 3โครงการ แล้วทำการเปรียบเทียบแบบขั้นตอนต่อขั้นตอน (Phase by phase) กับงานที่ไม่ใช่การผลิต 5 โครงการ พบว่าในการจัดทำผังกระบวนการในขั้นตอนนิยามปัญหานั้น ในงานที่ไม่ใช่การผลิตจะมีผังกระบวนการที่ไม่ชัดเจน ซึ่งต่างจากในงานการผลิตที่ผังกระบวนการจะมีความชัดเจน และในขั้นตอนการวัดสภาพของปัญหาซึ่งต้องมีการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการในงานการผลิตจะมีตัวชี้วัดที่ชัดเจน เช่น ค่าความสามารถของกระบวนการ (Cpk) แต่ในงานที่ไม่ใช่การผลิตไม่มีตัววัดที่ชัดเจนจึงนิยมวัดในภาพแบบค่าเฉลี่ย และความแปรปรวนของข้อมูลและยังพบว่าการกระจายตัวของข้อมูลมีลักษณะกองไปทางด้านเดียว ส่วนในขั้นตอนการปรับปรุงในงานที่ไม่ใช่การผลิตจะไม่ค่อยนำการออกแบบการทดลอง (Design of experiment) เข้ามาเกี่ยวข้อง แต่จะเป็นการกำจัดปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลเสียโดยวิธีการทั่วไป

2.4 การวิจารณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการค้นคว้างานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวข้องกับงานวิจัยในครั้งนี้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ 1. งานวิจัยเกี่ยวข้องกับปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน (Shot short molding) และ 2. งานวิจัยเกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้เทคนิค ซิกซ์ ซิกม่า ในการแก้ไขปัญหาของเสีย

2.4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน (Shot short molding) คือ ชยันต์ (2548) [14] ทัตจันทร์ (2545) [15] ฝ่ายโพลิเมอร์ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม (2543) [16] ไพฑูรย์ และทวีชัย (2532)[17] Berins (1991) [18] Bhote (2000) [19] Jeanvons (2004) [20] Reifschneider (2000)[21] Rubin (1972) [22] Sadeghi (2000) [23] งานวิจัยที่กล่าวมานี้ได้ศึกษาปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน (Shot short molding) โดยมีปัจจัยดังนี้ ความดันในการฉีดพลาสติก ความเร็วในการฉีดพลาสติก ความเร็วของสกรู ความเร็วในการหลอมพลาสติก อุณหภูมิภายในกระบอกสูบ อุณหภูมิของแม่พิมพ์ ความดันต้านการถอยหลังของสกรู ซึ่งสามารถนำมาเป็นข้อมูลอ้างอิงในงานวิจัยในครั้งนี้

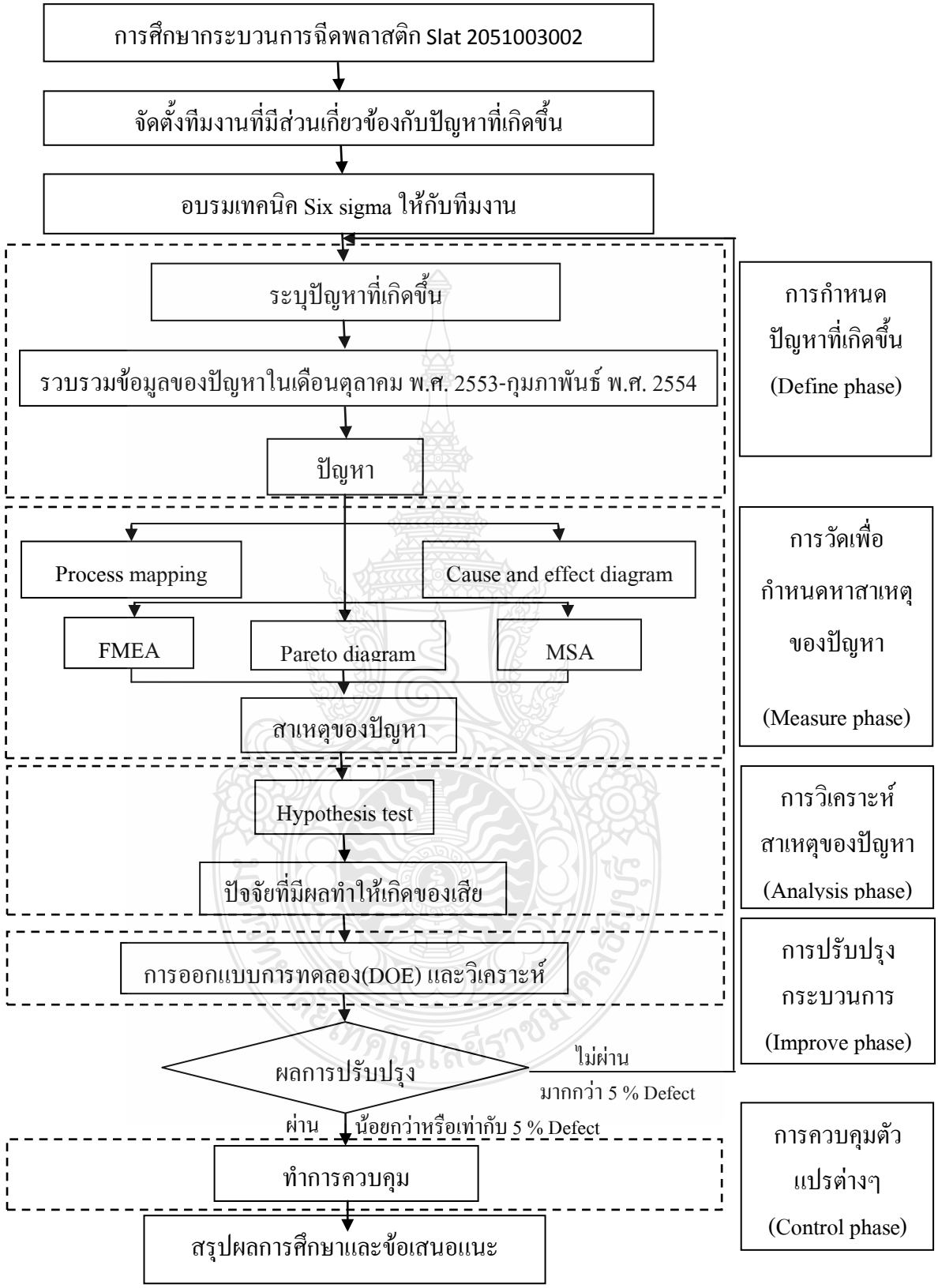
2.4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้แนวทางซิกซ์ ซิกม่า ในการแก้ไขปัญหาในกระบวนการผลิต คือ วุฒิชัย (2546) [24] ประภาพร (2546) [25] อุษณีย์ (2545) [26] จรัสพงศ์ (2543) [27] Dose, et al. (2002) [28] ซึ่งในทุกงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาข้างต้นสามารถใช้แนวทางซิกซ์ ซิกม่า มาแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานที่คล้ายกันตามวิธีการทางซิกซ์ ซิกม่า 5 ขั้นตอน โดยเริ่มจากจากการการระบุปัญหา เป็นการศึกษาปัญหาและหาสาเหตุของปัญหา จากนั้นทำการวิเคราะห์ระบบการวัด และเข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงด้วยวิธีการทางสถิติ เมื่อทราบสาเหตุที่แท้จริงแล้ว จึงทำการปรับปรุงโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง สุดท้ายคือขั้นตอนการควบคุม โดยวางแผนเพื่อควบคุมกระบวนการให้สามารถธำรงไว้ซึ่งผลของการปรับปรุง

งานวิจัยครั้งนี้เริ่มจากการค้นหาปัญหาโดยใช้ แผนที่กระบวนการ (Process mapping) เพื่อศึกษาการไหลของกระบวนการ แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and effect diagram) เพื่อช่วยให้การวิเคราะห์ปัญหามีความง่าย และเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การวิเคราะห์ความบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis: FMEA) เพื่อเป็นการช่วยวิเคราะห์ภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบในกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ แผนภาพพาเรโต (Pareto diagram) สำหรับวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของข้อมูลที่มีการจำแนกประเภท หรือแบบหลายพวก จากนั้นทำการวิเคราะห์ระบบการวัด และการการทดสอบสมมุติฐานโดยใช้การทดสอบแบบ ANOVA ในการทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อได้ข้อบกพร่องที่มีผลกระทบต่อปัญหาแล้วก็จะทำการออกแบบการทดลองใช้การออกแบบ Factorial design เพื่อทำการทดลองและวิเคราะห์ผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองและหาค่าตัวแปรที่ดีที่สุดในการนำไปทำการปรับปรุงและการสร้างมาตรฐานการควบคุมต่อไป

บทที่ 3
การดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะอธิบายเกี่ยวกับขั้นตอนการนำทฤษฎีการบริหารคุณภาพด้วยเทคนิค ซิกซ์ ซิกม่า โดยนำเอาหลักการในเรื่องของการลดความผันแปร ในกระบวนการผลิต มาประยุกต์ใช้ในการลดความสูญเสีย (Waste) รวมถึงการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยเนื้อหาจะเน้นหลักการต่างๆ เป็นลักษณะภาพรวมและเหตุผลการนำมาใช้ เพื่อความเข้าใจในการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเหล่านี้ในขั้นตอนต่าง ๆ ของการดำเนินงานได้อย่างเหมาะสม ซึ่งทั้งหมดนี้มีเป้าหมายคือ การปรับปรุงคุณภาพกระบวนการ การตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้าให้สูงขึ้น และช่วยลดต้นทุนภายในองค์กรลงอย่างมีประสิทธิภาพ

ระเบียบวิธีวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก ๆ โดยเริ่มจากการการระบุปัญหาและการวัด ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหาและหาสาเหตุของปัญหา จากนั้นทำการวิเคราะห์ระบบการวัดและตรวจสอบแล้ววิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงด้วยวิธีการทางสถิติ เมื่อทราบสาเหตุที่แท้จริงแล้ว จึงทำการปรับปรุงโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองและการออกแบบใหม่ สุดท้ายคือขั้นตอนการควบคุมโดยวางแผนเพื่อควบคุมกระบวนการให้สามารถรักษาไว้ซึ่งผลของการปรับปรุง ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยได้ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษากระบวนการฉีดพลาสติก Slat 2051003002

ขั้นตอนนี้จะทำการศึกษากระบวนการฉีดพลาสติก Slat 2051003002 ในโรงงานกรณีศึกษา โดยจะศึกษาผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต ขั้นตอนการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก ซึ่งทำหน้าที่ในการฉีดพลาสติกให้เป็นผลิตภัณฑ์ รวมถึงกระบวนการทำงานแต่ละกระบวนการทั้งหมด เริ่มตั้งแต่วัตถุดิบผ่านกระบวนการผลิตจนถึงได้เป็นผลิตภัณฑ์ และกระบวนการตรวจสอบ เพื่อเป็นความรู้พื้นฐานของทีมงานให้มีความเข้าใจก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและดำเนินการปรับปรุงต่อไป โดยรวบรวมข้อมูลจากเอกสารในระบบคุณภาพของแต่ละแผนกที่เกี่ยวข้องซึ่งข้อมูลที่ได้รวบรวมจะใช้ตารางและกราฟในการแสดงข้อมูลและถ้าเป็นขั้นตอนต่าง ๆ จะใช้แผนภูมิการไหลในการแสดงขั้นตอนการดำเนินการเพราะสามารถทำให้ทีมงานสามารถทำความเข้าใจได้โดยง่ายยิ่งขึ้น

3.2 การจัดตั้งทีมงานในการแก้ไขปัญหา

เมื่อทำการศึกษากระบวนการฉีดพลาสติก และได้หัวข้อที่จะทำการศึกษารวมถึงเป้าหมายในการปรับปรุงแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็คือการจัดตั้งทีมงานที่มีความเกี่ยวข้องกับปัญหานั้น เป็นการคัดเลือกทีมงานที่มาจากหลายหน่วยงานที่มาร่วมกันแก้ไขปัญหาให้เป็นไปตามเป้าหมายที่วางเอาไว้ โดยทีมงานที่จัดตั้งขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาในการฉีดพลาสติกนี้ จะต้องเป็นผู้ที่มีความรู้และประสบการณ์เป็นอย่างดีในกระบวนการฉีดพลาสติก ดังนั้นคณะทำงานดังกล่าวจึงต้องเป็นบุคคลที่มาจากหน่วยงานต่าง ๆ ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับกระบวนการฉีดพลาสติก โดยการคัดเลือกจากแผนกการผลิต แผนกซ่อมบำรุง และแผนกควบคุมคุณภาพ

3.3 การอบรมเทคนิคซิกซ์ ซิกม่า ให้กับคณะทำงาน

เนื่องจากบริษัทมีนโยบายในการลดต้นทุน เพิ่มผลผลิต โดยมีการจัดประกวด ประเมินผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุง และสนับสนุนให้พนักงานมีการนำเอาเทคนิคต่างๆมาใช้ในการลดต้นทุน เพิ่มผลผลิต ซึ่งเทคนิคของซิกซ์ ซิกม่า (Six sigma) ก็เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการลดต้น เพิ่มผลผลิต ทางบริษัทจึงจัดฝึกอบรมเทคนิคของซิกซ์ ซิกม่า ทำให้พนักงานแทบทุกระดับมีความรู้ ความเข้าใจในทฤษฎี หลักการ และเครื่องมือต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต ให้เข้าใจในเทคนิคของซิกซ์ ซิกม่า ดีในระดับหนึ่ง อีกทั้งยังได้รับคำปรึกษาจากวิทยากรผู้เชี่ยวชาญในเครือฯ ด้านซิกซ์ ซิกม่าเป็นอย่างดี

3.4 ขั้นตอนการเลือกปัญหา (Define phase)

การดำเนินการในขั้นตอนนี้ เริ่มจากการเก็บข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ฉีดพลาสติก เพื่อทำการคัดเลือกปัญหาที่สำคัญมาทำการปรับปรุงและแก้ไข ซึ่งการเก็บข้อมูลจะเริ่มจากการนำข้อมูลของเสียจากแผนกการผลิตที่มีการบันทึกของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแต่ละกะการทำงานมาทำการรวบรวมข้อมูลของเสียเป็นระยะเวลา 5 เดือนคือในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2553-เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 จากนั้น ทีมงานจะทำการคัดเลือกปัญหามาจัดระดับความสำคัญ และเลือกมาดำเนินการแก้ไขปรับปรุงในขั้นตอนต่อไป

3.5 ขั้นตอนการวัด (Measure phase)

การดำเนินการในขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนการวัดความผิดพลาดต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการปรับปรุง โดยเริ่มต้นจากการสร้างแผนภูมิการไหลของกระบวนการทำให้สามารถทราบถึงปัจจัยและความสัมพันธ์ในแต่ละงานในกระบวนการ หลังจากนั้นนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาจากการศึกษาสร้างแผนภูมิการไหลของกระบวนการมาเข้าสู่การระดมสมองสร้างแผนภาพแสดงเหตุและผลของปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาที่ทำการศึกษา เพื่อแสดงเหตุและผลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา และนำปัจจัยที่ระบุแผนภาพมาเข้าสู่กระบวนการระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ เพื่อค้นหาสาเหตุที่น่าจะมีผลกระทบต่อปัญหามากที่สุด และสุดท้ายทำการวิเคราะห์ระบบการวัด เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการวัดของพนักงาน ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้ก็คือ สาเหตุของปัญหาที่ก่อให้เกิดปัญหาจากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์

3.5.1 ขั้นตอนการศึกษาแผนภูมิกระบวนการไหลของกระบวนการ (Process mapping)

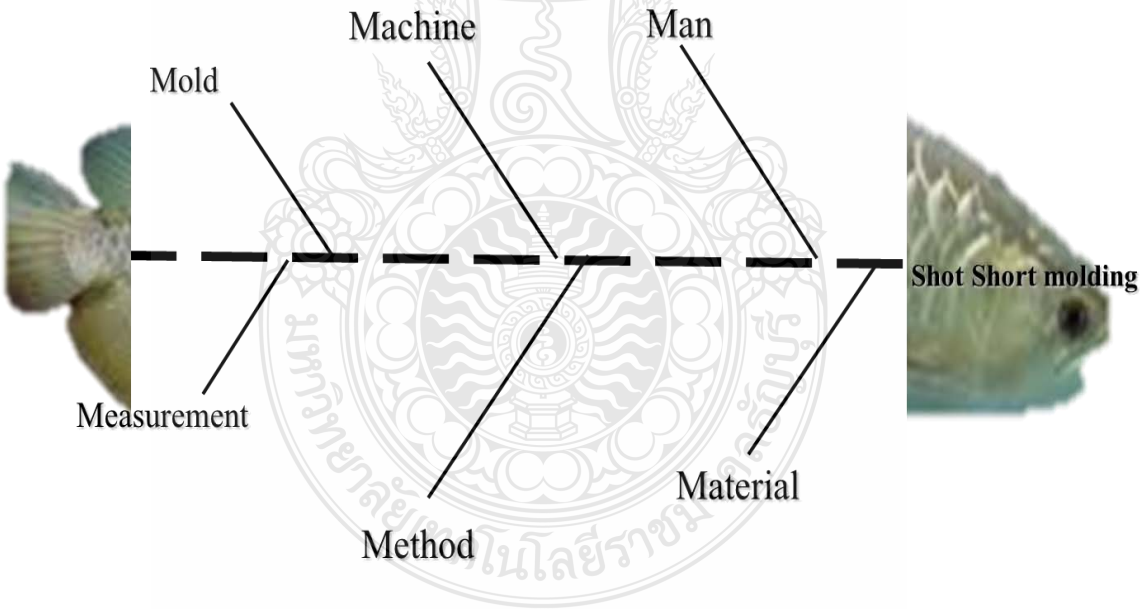
การดำเนินการในขั้นตอนนี้ จะทำการศึกษาแผนภูมิของกระบวนการประกอบแผ่นวงจรชนิดอ่อนที่ประกอบไปด้วยขั้นตอนการทำงานทั้งหมด 6 ขั้นตอน เป็นขั้นตอนแรกของการศึกษาและพัฒนาคุณภาพของการผลิต เนื่องจากจะทำให้สามารถทราบถึงปัจจัยและความสัมพันธ์ในแต่ละขั้นตอนในกระบวนการ ในการศึกษาขั้นตอนนี้ทีมงานจะต้องมีความเข้าใจในกระบวนการผลิตและสามารถระบุปัญหา ซึ่งจะก่อให้เกิดข้อบกพร่องได้อย่างชัดเจน ซึ่งผลของขั้นตอนนี้ก็คือ ทำให้ทราบว่าขั้นตอนใดมีโอกาสก่อให้เกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน และขั้นตอนการใดที่สามารถตรวจจับปัญหาดังกล่าวได้ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์สาเหตุต่อไป

3.5.2 ขั้นตอนการแสดงเหตุและผล (Cause and effect diagram)

การดำเนินการในขั้นตอนนี้ เริ่มจากการศึกษาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของปัญหาที่เชื่อว่าเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบที่ทำให้เกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานในการระบุสาเหตุของปัญหา

ต้องกระทำโดยวิธีการระดมสมองจากทีมงานที่จัดตั้งขึ้นมาและมีความเชี่ยวชาญหรือคุ้นเคยในกระบวนการผลิตนั้น ๆ เพราะการระเว้นหรือมองข้ามปัจจัยบางอย่างอาจจะทำให้เกิดการแก้ไขปัญหาผิดจุดได้ สาเหตุที่ระบุได้จากแผนภาพแสดงเหตุและผลจะเป็นการกำหนดปัจจัยเพื่อที่จะทำการวิเคราะห์ด้วยหลักทางสถิติต่อไป โดยผู้วิจัยได้การศึกษาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล โดยอธิบายถึงปัจจัยนำเข้าโดยใช้แผนภาพก้างปลาและการระดมสมอง (Fish bone diagram) ดังแสดงในภาพที่ 3.2 โดยพิจารณาปัจจัยในด้านต่าง ๆ ดังนี้

1) ด้านพนักงาน (Man)
2) ด้านเครื่องจักร (Machine)
3) ด้านวิธีการ (Method)
4) ด้านวัตถุดิบ (Material)
5) ด้านการวัด (Measurement)
6) ด้านแม่พิมพ์ฉีด (Mold)



ภาพที่ 3.2 แผนภาพแสดงเหตุและผลของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน

3.5.3 การวิเคราะห์ความบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis: FMEA)

หลังจากที่ได้มีการระดมสมองในการทำแผนภาพก้างปลาแล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องจากลักษณะข้อบกพร่อง (Failure mode and effect analysis) หรือที่เรียกว่า FMEA ซึ่งเป็นกลวิธีที่ใช้ในการเข้าถึงสาเหตุของปัญหาอย่างเป็นระบบ เพื่อใช้ในการศึกษาปัญหาที่เป็นไปได้เพื่อป้องกันมิให้ปัญหาที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดปรากฏการขึ้นมา และเป็นการจัดลำดับความสำคัญเพื่อที่จะได้นำมาแก้ไขต่อไป

ขั้นตอนการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องจากลักษณะข้อบกพร่อง

1) ระบุขั้นตอนการดำเนินงาน ซึ่งเป็นการแยกขั้นตอนต่าง ๆ ออกเป็นขั้นตอนย่อย

2) ระบุถึงปัจจัยป้อนเข้าที่น่าจะสำคัญต่อความผันแปร ในกระบวนการ (Potential key process input variation: potential KPIV)

3) ระบุลักษณะข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มว่าจะเกิด (Potential failure mode) โดยการตั้งคำถามว่าภายในขั้นตอนย่อย ๆ ของกระบวนการนั้น ถ้าการทำงานไม่เป็นไปตามหน้าที่ที่ต้องการแล้วลักษณะข้อบกพร่องจะเป็นอย่างไร

4) ระบุลักษณะผลกระทบของข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มว่าจะเกิด (Potential effect of failure) โดยการตั้งคำถามว่าถ้าหากลักษณะข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดขึ้นแล้วจะส่งผลกระทบต่อปัญหาที่สนใจอย่างไร

5) ให้คะแนนความรุนแรงของผลกระทบ (Severity of the effect: S) โดยการให้คะแนนจะใช้หลักการที่แสดงในตารางที่ 2.1

6) ระบุสาเหตุที่มีแนวโน้มในการเกิดข้อบกพร่อง (Potential causes of failure)

7) ให้คะแนนโอกาสในการเกิด (Occurrence: O) ซึ่งโอกาสในการเกิดคือโอกาสของสาเหตุที่ได้รับการระบุถึงจะเกิดขึ้นและมีผลทำให้เกิดลักษณะข้อบกพร่องโดยการให้คะแนนจะใช้หลักการที่แสดงในตารางที่ 2.2

8) ระบุการควบคุมในปัจจุบัน (Current control) โดยให้รายละเอียดของการควบคุมเพื่อใช้ในการป้องกันมิให้ลักษณะข้อบกพร่องเกิดขึ้นมา

9) ให้คะแนนการตรวจจับ (Detection: D) ซึ่งการตรวจจับคือการประเมินถึงกิจกรรมที่กระทำในการควบคุมเพื่อสืบหาและตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องก่อนการผลิตหรือการส่งมอบให้ลูกค้า โดยการให้คะแนนจะใช้หลักการที่แสดงในตารางที่ 2.3

10) คำนวณตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญของความเสี่ยง (Risk priority number: RPN) ซึ่งสามารถคำนวณจากผลคูณของคะแนนตามความรุนแรงของผลกระทบ คะแนนโอกาสในการเกิดและคะแนนการตรวจจับ

3.5.4 การจัดลำดับความสำคัญของค่าความเสี่ยงชี้นำ (Risk priority number: RPN)

การจัดลำดับความสำคัญในการแก้ข้อบกพร่องจะดำเนินการโดยนำค่า RPN ที่คำนวณได้มาจัดเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยโดยอาศัยหลักการพาเรโต (Pareto principle) ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของข้อมูลที่มีการจำแนกประเภทหรือแบบหลายพวก จากนั้นดำเนินการตัดสินใจเลือกข้อบกพร่องที่ต้องการแก้ไข ในงานวิจัยนี้ทางทีมงานจะเลือกข้อบกพร่องเฉพาะที่มีความสำคัญมาดำเนินการแก้ไขเท่านั้น โดยลำดับของการปฏิบัติการแก้ไขจะพิจารณาโดยใช้ตัวตัวเลข 80 : 20 โดยประมาณ หรือเลือกพิจารณาข้อบกพร่องที่มีค่า RPN มากกว่า 100 มาดำเนินการปฏิบัติการแก้ไข ซึ่งในการเลือกข้อบกพร่องที่มีค่า RPN มากกว่า 100 มาปฏิบัติการแก้ไขนั้นมีงานวิจัยหลายงานที่นำมาใช้และได้ผลดี ยกตัวอย่างเช่นการประยุกต์ใช้เทคนิค FMEA ในการปรับปรุงกระบวนการออกแบบและพัฒนาแม่พิมพ์ขึ้นรูปแก้วที่ใช้บนโต๊ะอาหาร [10]

3.5.5 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement system analysis)

การวิเคราะห์ความแม่นยำเป็นการวัดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มหมายถึงความคลาดเคลื่อนที่ข้อมูลกระจายอย่างสุ่มรอบค่าที่แท้จริงค่าหนึ่ง โดยความคลาดเคลื่อนนี้จะมีลักษณะตัวแบบของการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ และมีองค์ประกอบของความผันแปรมาจากสาเหตุความคลาดเคลื่อน 4 สาเหตุ คือ สาเหตุจากชิ้นงาน สาเหตุจกพนักงาน สาเหตุร่วมระหว่างพนักงานและชิ้นงาน และสาเหตุแบบสุ่ม ถ้าจะแบ่งคุณสมบัติด้านความแม่นยำสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประการคือ ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) ซึ่งหมายถึง ค่าความแตกต่างในการวัดอย่างต่อเนื่องกับชิ้นงานเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกันและความสามารถในการทำเหมือน (Reproducibility) ซึ่งหมายถึงค่าความแตกต่างในการเฉลี่ยของการวัดกับงานชิ้นเดียวกัน ด้วยเครื่องมือเดียวกันแต่ต่างพนักงานกัน

- ในงานวิจัยนี้ทีมงานจะทำการวิเคราะห์ความแม่นยำของพนักงานตรวจสอบชิ้นงานสำหรับตรวจจับปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1) ทำการเลือกสิ่งตัวอย่างงานจากกระบวนการผลิตประมาณ 50 ชิ้น โดยพยายามให้สิ่งตัวอย่างงานดังกล่าวประกอบไปด้วย สิ่งตัวอย่างงานที่มีคุณภาพดี สิ่งตัวอย่างงานที่คุณภาพไม่ดี และสิ่งตัวอย่างงานที่มีคุณภาพก้ำกึ่งในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน

2) เลือกพนักงานวัดหรือพนักงานตรวจสอบมา 3 คน โดยพนักงานที่เลือกมาจะต้องเป็นพนักงานที่มีหน้าที่ประจำในการตรวจสอบคุณภาพ และได้ผ่านการฝึกอบรมมาอย่างดี และผ่านการสอบประเมินผลแล้ว

3) ทำการเลือกพนักงานขึ้นมาก่อนหนึ่งคนแล้วให้ตรวจสอบสิ่งตัวอย่างสุ่มเพื่อประเมินผลของพนักงานแต่ละคนนี้ความจำเป็นต้องทำการตรวจสอบ “ซ้ำ” อย่างน้อยชิ้นงานละ 2-3 ครั้ง

4) ทำการเลือกพนักงานคนที่สองขึ้นมาแล้วดำเนินการตรวจสอบอย่างสุ่มเหมือนข้อ 3 และทำเช่นนี้กับพนักงานคนอื่น ๆ อีกจนครบทุกคนตามที่วางแผนไว้

5) ดำเนินการประเมินผลด้วยดัชนีต่างๆ ดังนี้

% Repeatability ของพนักงานตรวจสอบ = จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ/จำนวนครั้งที่ตรวจสอบเหมือนกัน

% ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ = จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ/จำนวนครั้งที่ตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้อง

% ประสิทธิผลด้าน Repeatability ของพนักงานตรวจสอบ = จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ/จำนวนครั้งที่ทุกคนตรวจสอบได้เหมือนกัน

% ประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ = จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ/จำนวนครั้งที่ทุกคนตรวจสอบถูกต้อง

% Repeatability จะใช้การวิเคราะห์ความแม่นยำในขณะที่ % ความไม่ไบอัสจะใช้วิเคราะห์ความถูกต้อง (ไบอัส หมายถึง ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากการวัดอ้างอิง) และในการเปรียบเทียบเกณฑ์การยอมรับกับ % Error จะได้เท่ากับ 100 ลบค่า % เหล่านี้เป็น % Error)

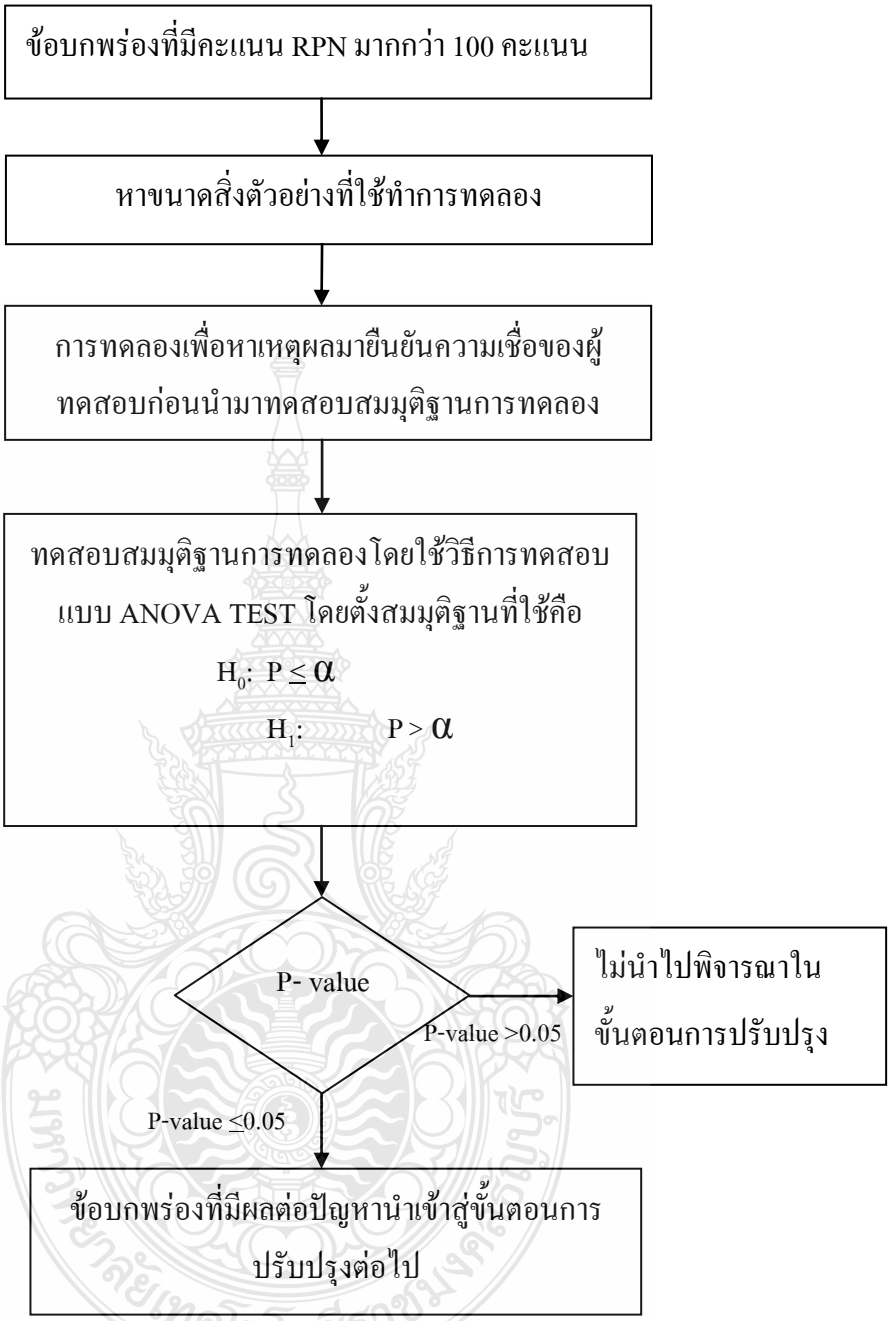
การวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Minitab มาช่วย วิธีทำการวิเคราะห์จะอาศัยค่าเฉลี่ยและค่าพิสัย ในการวิเคราะห์ ซึ่งวิธีนี้จะสามารถแยกความผันแปรออกเป็น Repeatability และ Reproducibility ออกจากกันได้

6) ดำเนินการตัดสินใจเพื่อปฏิบัติการแก้ไขจากดัชนีที่คำนวณได้จากดัชนีตามสมการที่ หากค่า % Repeatability ของพนักงานตรวจสอบได้ต่ำกว่าเกณฑ์ (น้อยกว่า 90 %) แสดงถึงการขาดความแม่นยำของพนักงานจำเป็นต้องทำการฝึกอบรมพนักงานรวมทั้งการประเมินผลพนักงานใหม่แต่หาก % ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบได้ต่ำกว่าเกณฑ์ หมายถึง การตรวจสอบของพนักงานขาดความถูกต้องจำเป็นต้องปรับปรุงวิธีการตรวจสอบเสียใหม่ และหาก % ประสิทธิผลด้าน Repeatability ของการตรวจสอบ และ % ประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของการตรวจสอบได้ต่ำกว่าเกณฑ์จะหมายถึงระบบการตรวจสอบขาดความแม่นยำ และขาดความถูกต้องจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุจากดัชนีข้างต้นแล้วทำการแก้ไขให้ถูกต้อง เพื่อให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze phase)

หลังจากที่เราได้สรุปปัจจัยสำคัญที่น่าจะมีผลต่อปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนการพิสูจน์สมมุติฐานเพื่อหาว่าปัจจัยต่าง ๆ มีผลจริงหรือไม่ ก่อนที่จะนำปัจจัยเหล่านั้นไปดำเนินการแก้ไขต่อไป

รายละเอียดการศึกษาในขั้นตอนนี้จะเริ่มจากการหาจำนวนงานตัวอย่างที่ใช้ทำการทดลอง (Power and sample size) จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ทีละสาเหตุทีละปัจจัย โดยใช้วิธีการทดสอบการวิเคราะห์แบบ ANOVA TEST เพื่อพิสูจน์ว่าปัจจัยตัวใดเป็นสาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้เกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน โดยในการทดลองนี้จะมีจุดมุ่งหมายเพื่อกลั่นกรองปัจจัยต่าง ๆ (Screening factors) ที่สงสัยออกไปก่อนหรือเป็นการกรองเฉพาะปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา

3.6.1 ขั้นตอนการหาขนาดตัวอย่างที่ใช้ทำการทดลอง (Power and sample size)

ขั้นตอนการวิเคราะห์หาขนาดตัวอย่าง (Sample size) ของการทดสอบความมีนัยสำคัญของสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง จะใช้โปรมแกรม Minitab มาช่วยในการคำนวณและอำนวยความสะดวก ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ระดับนัยสำคัญ (α) มีค่าเท่ากับ 0.05 ซึ่งความน่าจะเป็นในการยอมรับสมมติฐาน (β) เท่ากับ 0.05 หรือ Power of test เท่ากับ 0.95 และ

2) จากข้อมูลในอดีตความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) มีค่าเท่ากับ 3.504

3) กำหนดค่าระดับของจำนวน (Number of level) ที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 3 ระดับ

3.6.2 การทดลอง

การทดสอบสมมติฐานจำเป็นต้องมีการทำการทดลองก่อน เพื่อหาเหตุผลมายืนยันความเชื่อของผู้ทดสอบซึ่งถ้าเหตุผลที่ได้ไม่สามารถยืนยันความเชื่อของผู้ทดสอบได้แล้ว ผู้ทดสอบก็มีความจำเป็นที่จะต้องทำการยอมรับทางเลือกอีกทางเลือกหนึ่ง ซึ่งจริง ๆ แล้วการที่ยอมรับทางเลือกอีกทางเลือกหนึ่งนั้น มิใช่เป็นเพราะทางเลือกนั้นถูกต้อง แต่ที่เลือกเพราะไม่มีเหตุผลเพียงพอที่จะทำการปฏิเสธ (Fail to reject) ทางเลือกนั้น ในทางกลับกันถ้าเหตุผลที่ได้นั้นสามารถทำการยืนยันความเชื่อของผู้ทดสอบได้ความเชื่อของผู้ทดสอบก็จะสามารถทำการยอมรับได้ ขั้นตอนนี้เป็นการนำข้อบกพร่องที่มีคะแนน RPN มากกว่า 100 คะแนนมาทำการวิเคราะห์โดยการทดลอง เพื่อหาพารามิเตอร์หรือวิธีการแบบใหม่ของข้อบกพร่องนั้น ๆ และวัดผลด้วยอัตราการเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน (Shot short molding) โดยทำการควบคุมปัจจัยอื่น ๆ ให้คงที่ ก่อนนำพารามิเตอร์หรือวิธีการแบบใหม่ของข้อบกพร่องนั้นมาทำการเปรียบเทียบกับแบบเก่า ด้วยการทดสอบสมมุติฐานด้วยวิธี ANOVA TEST เพื่อดูความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

3.6.3 การทดสอบสมมุติฐาน (Hypothesis test methods)

หลังจากที่ได้ผลทำการทดลองแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการตัดตัดสินใจผ่านการทดสอบสมมติฐาน โดยที่ตัวแบบของการตัดสินใจนี้จะมีอยู่ด้วยกัน 2 ทางเลือก คือ สมมติฐานหลัก (Null hypothesis : H_0) คือ สมมติฐานที่สร้างขึ้นด้วยความหวังที่จะปฏิเสธ และการปฏิเสธสมมติฐานหลักทำให้ยอมรับสมมติฐานอื่นๆ (Alternative hypothesis : H_1) และผลการทดสอบที่ได้ เมื่อนำค่า P-value ที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับค่าความผิดพลาดแบบที่ 1 ของการทดสอบสมมติฐาน (α) ที่ระดับ 0.05 จะพบว่าค่า P-Value มีค่ามาก ซึ่งเกณฑ์ในการตัดสินใจคือ

ค่า P-Value$\leq\alpha$ หมายถึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 (Accept H_1)

ค่า P-Value$>\alpha$ หมายถึงไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0

สำหรับการทดสอบสมมุติฐานในขั้นตอนนี้จะใช้การทดสอบแบบ ANOVA TEST มาใช้ในการทดสอบเนื่องจากการทดลองเป็นการทดสอบสมมติฐาน

3.7 ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve phase)

3.7.1 การออกแบบการทดลองแบบ 2^k Full factorial

ในขั้นตอนนี้จะทำการเลือกการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลมาใช้เพราะสามารถทำการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อกระบวนการและเกิดขึ้นพร้อมๆกันได้ เมื่อมีการทำการทดลอง ควรทำการเปลี่ยนค่าระดับปัจจัยไปพร้อมๆกันมากกว่าทำการเปลี่ยนค่าระดับปัจจัยตัวใดตัวหนึ่ง เพราะจะทำให้ได้งานที่มีประสิทธิภาพมากกว่าทั้งในเรื่องการประหยัดเวลาและต้นทุน และยังสามารถวิเคราะห์เรื่องอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัยได้ด้วย โดยอิทธิพลร่วม คือ ผลของการที่ปัจจัยร่วมกันที่มีอยู่ในหลายๆกระบวนการ ถ้าไม่ได้ทำการทดลองแบบแฟคทอเรียลอาจจะไม่เห็นผลของอิทธิพลร่วมได้ชัดเจนนัก

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการออกแบบและทำการทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างตัวตอบสนองของกระบวนการ Key process output variable (KPOV) กับปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองของกระบวนการนั้น และหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยที่ทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองของกระบวนการที่ดีที่สุด ก่อนนำไปสู่การดำเนินการควบคุมในขั้นตอนถัดไป

3.7.2 การนำเสนอแนวทางการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง

เมื่อเราได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละข้อบกพร่องที่ทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองของกระบวนการที่ดีที่สุดแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการนำเสนอแนวทางการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องของปัญหาที่มีความสำคัญและข้อบกพร่องที่ไม่มีความแตกต่างแต่ต้องทำการปรับปรุงให้ดีขึ้น

3.8. ขั้นตอนการควบคุม (Control phase)

ขั้นตอนนี้เป็นการติดตาม ตรวจสอบ และประเมินผลงานที่ปฏิบัติ โดยการเปรียบเทียบผลการทำงานก่อนการปฏิบัติงาน และหลังปฏิบัติงานว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด ถ้าผลลัพธ์ออกมาตามเป้า ก็จะนำไปจัดทำมาตรฐานสำหรับการปฏิบัติงานในครั้งต่อไป แต่ถ้าผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด โดยอาจสูงหรือต่ำกว่าที่ต้องการ ทีมงานคุณภาพก็ต้องทำการศึกษาและวิเคราะห์หาสาเหตุ เพื่อทำการแก้ไขปรับปรุงใหม่ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยสามารถใช้เครื่องมือดังต่อไปนี้ เช่นการตรวจสอบ (Audit) และการควบคุมทางสถิติ (Statistical process control) เป็นต้น

การเก็บข้อมูลหลังการแก้ไขปรับปรุง ผู้วิจัยทำการนำเสนอผลการเก็บข้อมูลใหม่หลังการปรับปรุงเพื่อทำการเปรียบเทียบผลการเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานก่อนและหลังจากทำการปรับปรุงข้อบกพร่องต่าง ๆ โดยทำการนำเสนอเป็นช่วงดังนี้

ช่วงที่ 1 ช่วงก่อนการปรับปรุง (เดือนตุลาคม พ.ศ. 2553-เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554)

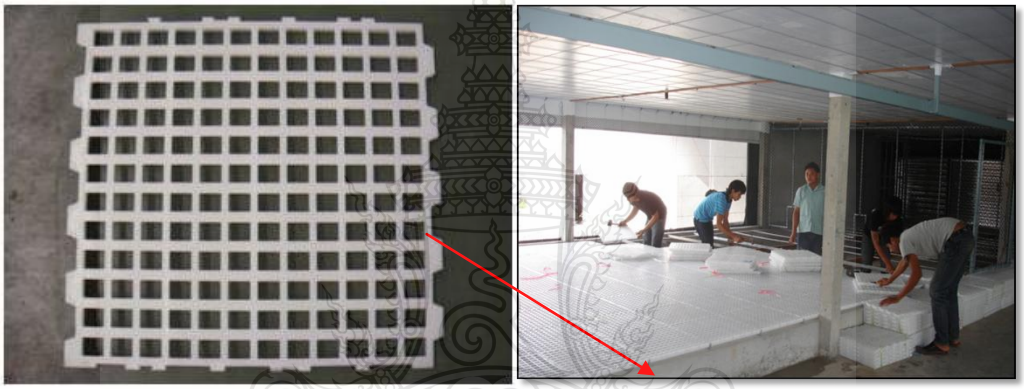
ช่วงที่ 2 ช่วงระหว่างการทำการทดลอง (เดือนมีนาคม พ.ศ. 2554-เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554)

ช่วงที่ 3 ช่วงหลังการปรับปรุง (เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2554-เดือน กันยายน พ.ศ 2554)

บทที่ 4
ผลการดำเนินการวิจัย

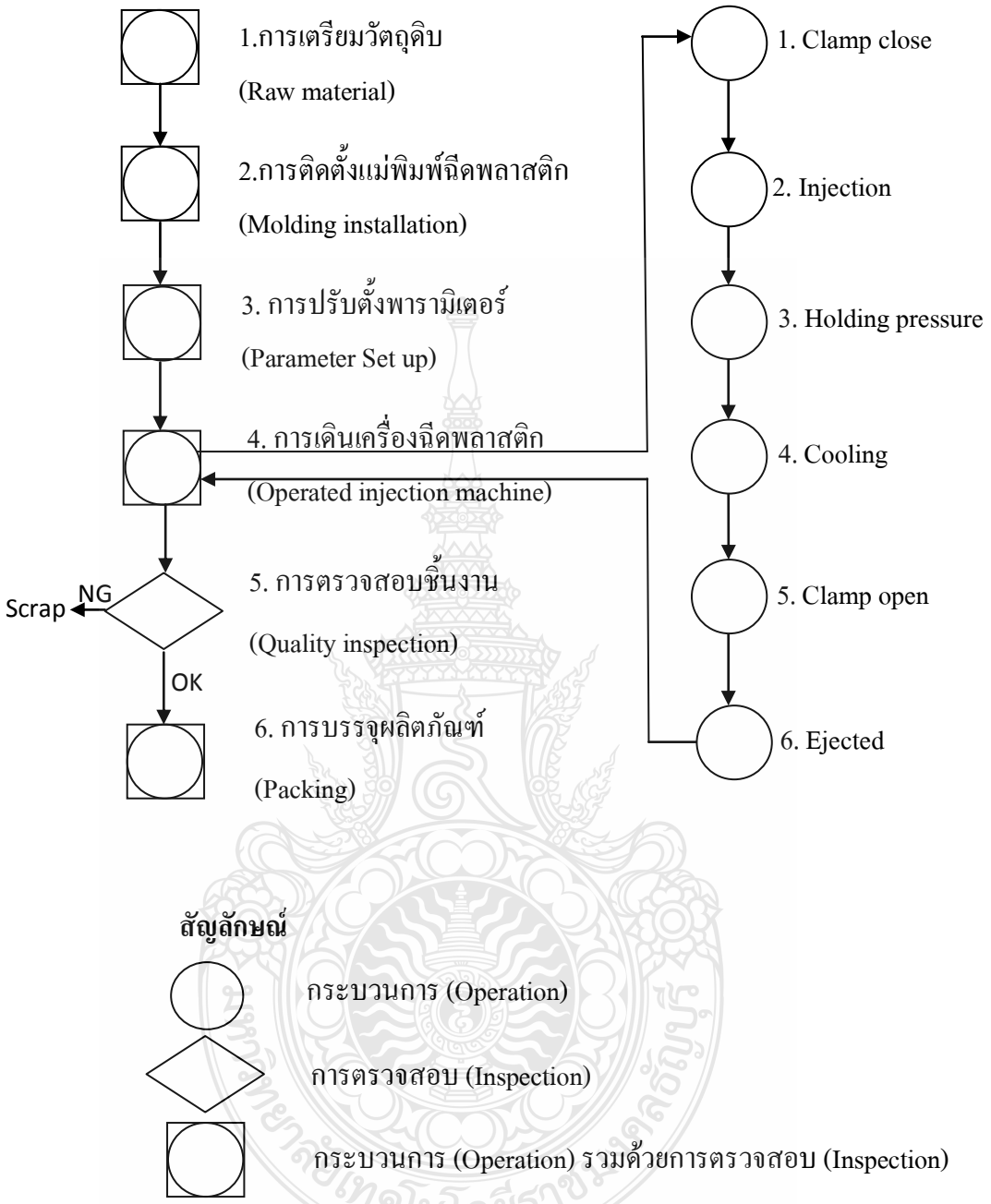
4.1 ผลการศึกษาขั้นตอนกระบวนการฉีดพลาสติก (Injection molding process)

ผลิตภัณฑ์ Slat 2051003002 เป็นส่วนประกอบหนึ่งโรงเรือนสำหรับเลี้ยงไก่ การใช้งานโดยนำ Slat 2051003002 มาวางเรียงต่อ ๆ กันบนคานรองพื้น Slat เพื่อใช้เป็นแผ่นพื้นสำหรับใช้เลี้ยงไก่ โดยมีลักษณะ ความกว้างเท่ากับ 500 มิลลิเมตร ความยาวเท่ากับ 500 มิลลิเมตร ความหนาเท่ากับ 30 มิลลิเมตร ช่องระหว่างกลางห่างกัน 25 มิลลิเมตร และแกนกลางกว้าง 15 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ผลิตภัณฑ์ Slat 2051003002

ผลิตภัณฑ์ Slat 2051003002 ในกระบวนการฉีดพลาสติก (Injection molding process) ได้ถูกนำมาเป็นกรณีศึกษานี้ ลักษณะการผลิตจะมาจากเครื่องฉีดพลาสติก (Injection molding machine) เมื่อได้เป็นผลิตภัณฑ์แล้ว จะมีพนักงานตรวจสอบชิ้นงานให้ตรงตามข้อกำหนดของบริษัท ก่อนที่จะส่งไปติดตั้งที่หน้างานโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ โดยพนักงานตรวจสอบชิ้นงานหลังจากทำหน้าที่ตรวจสอบชิ้นงานเสร็จสมบูรณ์แล้ว จะทำหน้าที่ในการควบคุมเครื่องฉีดพลาสติก ในกระบวนการผลิตด้วย ในปัจจุบันกระบวนการฉีดพลาสติกของผลิตภัณฑ์ Slat 2051003002 มีจำนวนเครื่องที่สามารถฉีดได้ 3 เครื่อง ทำงาน 6 วันต่อสัปดาห์ สามารถผลิตงานได้สูงสุด 60,840 ชิ้นต่อเดือน ซึ่งมีกระบวนการทำงาน 6 ขั้นตอน และกระบวนการฉีดพลาสติกอีก 6 ขั้นตอน ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ขั้นตอนกระบวนการฉีดพลาสติก

4.1.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ: ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบจะให้พนักงานทำการเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต คือ เม็ดพลาสติกชนิด High density polyethylene (HDPE R-1760) โดยเริ่มจากการคัดเลือกเม็ดพลาสติกจากผู้ขายที่ได้มาตรฐาน จากนั้นเทเม็ดพลาสติกลงในถัง จากนั้นเครื่องจะทำการลำเลียงเม็ดพลาสติกเข้าเครื่องฉีดพลาสติก โดยระบบอัตโนมัติ ดังภาพที่ 4.3

ภาพที่ 4.3 วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต Slat 2051003002

4.1.2 ขั้นตอนการติดตั้งแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนการนำแม่พิมพ์ฉีดขึ้นไปติดตั้งบนเครื่องฉีดพลาสติก โดยการใช้เครนยกแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ดังภาพที่ 4.4

ภาพที่ 4.4 การติดตั้งแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

4.1.3 ขั้นตอนการปรับตั้งพารามิเตอร์ ก่อนเริ่มการฉีดพลาสติกทุกครั้ง ต้องทำการปรับตั้งพารามิเตอร์ ให้สอดคล้องกันผลิตภัณฑ์ในแต่ละชนิด ดำเนินการโดยช่างหรือผู้เชี่ยวชาญ ดังภาพที่ 4.5

ภาพที่ 4.5 การปรับตั้งพารามิเตอร์เครื่องฉีดพลาสติก

4.1.4 ขั้นตอนการฉีดพลาสติก ในขั้นตอนนี้จะแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 จะเริ่มตั้งแต่จังหวะปิดแม่พิมพ์ เป็นจังหวะที่แม่พิมพ์เคลื่อนที่ปิดด้วยระบบไฮดรอลิคส์พร้อมกับล็อค เพื่อแม่พิมพ์ปิดแนบสนิทกันในขณะฉีดดังภาพที่ 4.6

ภาพที่ 4.6 จังหวะปิดแม่พิมพ์

ขั้นตอนที่ 2 จังหวะฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์หรือจังหวะเติมเม็ดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ เกลียวหนอนจะเคลื่อนที่ตามแนวแกนเพื่อดัน นำพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์

ภาพที่ 4.7 จังหวะฉีดพลาสติก

ขั้นตอนที่ 3 จังหวะฉีดรักษาความดัน (Holding pressure) และชดเชยการหดตัว

ขั้นตอนที่ 4 จังหวะช่วงการหล่อเย็นชิ้นงาน เป็นการทำงานเพื่อรอให้พลาสติกเหลวแข็งตัว

ขั้นตอนที่ 5 จังหวะแม่พิมพ์เคลื่อนที่เปิดออกถึงระยะสูงสุด

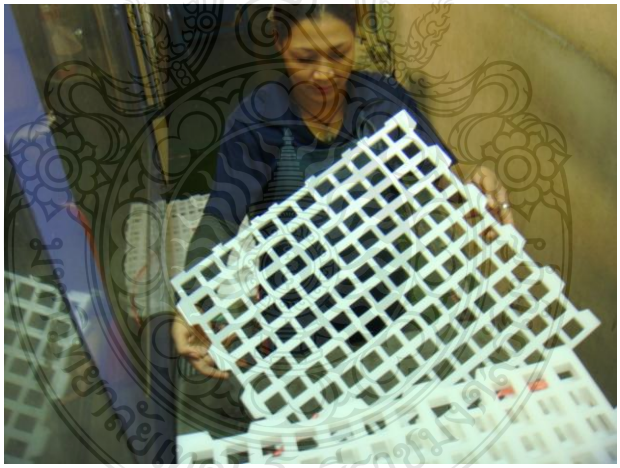
ภาพที่ 4.8 จังหวะแม่พิมพ์เคลื่อนที่เปิด

ขั้นตอนที่ 6 เป็นการดำเนินงานขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการฉีดพลาสติกคือจังหวะการปลดชิ้นงาน (Ejection) ตัวอีเจ็กเตอร์ (Ejector) จะกระทุ้งให้ชิ้นงานหลุดจากแม่พิมพ์

ภาพที่ 4.9 จังหวะการปลดชิ้นงาน

4.1.5 ขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นงาน แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

1) การตรวจสอบด้วยสายตา (Visual check) โดยตรวจลักษณะความผิดปรกติของชิ้นงาน เช่น ชิ้นงานโก่งงอ, ฉีดไม่เต็มชิ้นงาน สีเพี้ยน รอยไหม้ และอื่น ๆ เป็นต้น



ภาพที่ 4.10 การตรวจสอบชิ้นงาน

2) การสุ่มตัวอย่าง (Sampling test) ด้วยการสุ่มชั่งน้ำหนักชิ้นงาน จำนวน 1 ชิ้น ทุกๆ 2 ชั่วโมง โดยกระบวนการฉีดชิ้นงาน 1 ชิ้น ใช้เวลา 2 นาที หรือ 30 ชิ้น ต่อ 1 ชั่วโมง ดังนั้นการสุ่มตัวอย่างชิ้นงาน (Sampling test) คือ เมื่อฉีดชิ้นงาน 60 ชิ้น จะทำการสุ่มชั่งน้ำหนักชิ้นงานจำนวน 1 ชิ้น โดยมีค่าน้ำหนักของชิ้นงาน อยู่ที่ 1,210 ±15 กรัม ดังแสดงดังภาพที่ ก.12 ในภาคผนวก ก.

4.1.6 ขั้นตอนการบรรจุผลิตภัณฑ์ โดยจะบรรจุ 5 ชิ้นต่อ 1 มัด

ภาพที่ 4.11 การบรรจุผลิตภัณฑ์

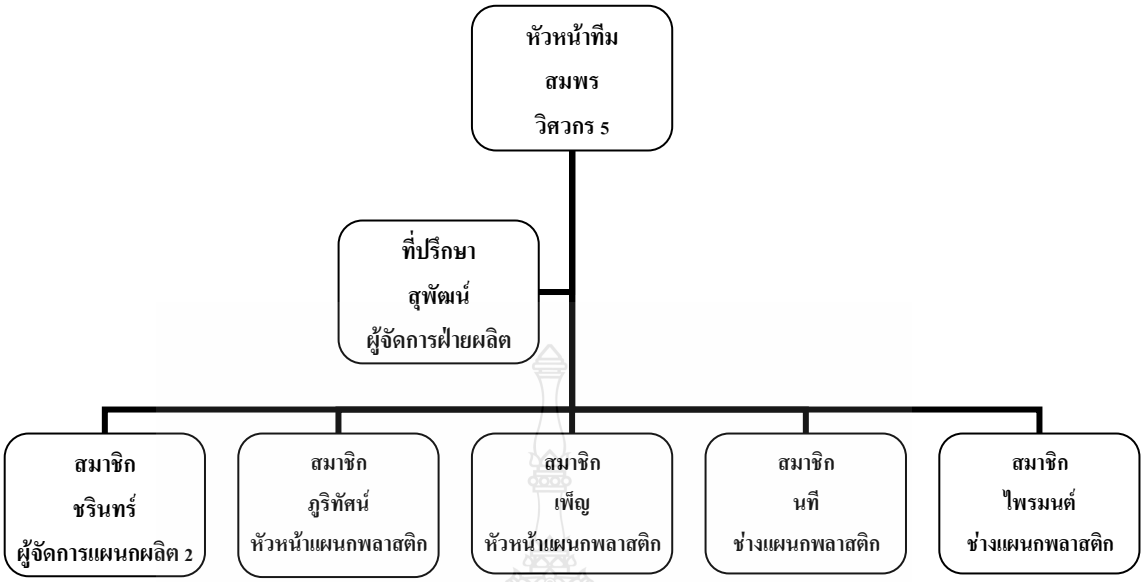
4.2 ผลการจัดตั้งทีมงาน เพื่อการแก้ไขปัญหา

จากการประสานงานกับหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ทำให้ได้ตัวแทนของแผนกต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องประกอบด้วยผู้จัดการฝ่ายผลิต ผู้จัดการแผนกผลิต2 หัวหน้าแผนกพลาสติก ช่างเทคนิคแผนกพลาสติก และวิศวกร5 รวมจำนวนพนักงานที่เข้าร่วมในทีมงานทั้งหมด 7 คนและเพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ ดังนั้นจึงจัดแผนภูมิของคณะทำงานดังภาพที่ 4.12 และกำหนดหน้าที่ความรับผิดชอบดังนี้

หัวหน้าทีมคือ วิศวกร มีหน้าที่ออกแบบการทดลอง กำหนดนัดหมายการประชุมและเป็นผู้นำการประชุมระดมสมองของทีมงานในการดำเนินการ

ที่ปรึกษาคือ ผู้จัดการฝ่ายผลิต มีหน้าที่ให้คำปรึกษาและเสนอแนะในที่ประชุม เช่น กรณีที่มีความคิดเห็นไม่ตรงกันและหาข้อสรุปในการประชุม

สมาชิกทีมคือ ผู้จัดการแผนกผลิต2 หัวหน้าแผนกพลาสติก และช่างเทคนิคแผนกพลาสติก มีหน้าที่ร่วมกันวิเคราะห์ข้อบกพร่อง การช่วยกันระดมสมอง การวิเคราะห์ความรุนแรง การออกแบบการทดลอง รวมถึงการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง



ภาพที่ 4.12 โครงสร้างของทีมงานในการแก้ปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน (Shot short Molding)

4.3 ผลการอบรมการบริหารคุณภาพด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่าให้กับทีมงาน

ทางบริษัทได้ส่งหัวหน้าทีมไปฝึกอบรม หลักสูตรการบริหารคุณภาพด้วยวิธีการ ซิกซ์ซิกม่า เป็นระยะเวลา 2 วัน โดยวิทยากรผู้บรรยายภายในเครือฯ ซึ่งรายละเอียดการฝึกอบรมแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือฟังคำบรรยายและทำกิจกรรมกลุ่ม จากการฟังบรรยายและการนำเสนอผลงานหลังการทำกิจกรรมกลุ่มรวมทั้งข้อเสนอแนะของวิทยากรทำให้หัวหน้าทีมผู้ที่เข้ารับการฝึกอบรมมีความรู้และความเข้าใจในการนำไปใช้ในการปฏิบัติได้ หลังจากที่หัวหน้าทีมได้รับการฝึกอบรมมาแล้ว ได้นำความรู้ต่างๆ ที่ได้รับจากการฝึกอบรม มาทำการฝึกอบรมต่อให้กับทีมงานการแก้ปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน (Shot short molding)

4.4 ขั้นตอนการเลือกปัญหา (Define phase)

ผลที่ได้จากการนำพลาสติกมาผลิตแทนวัตถุดิบประเภทโลหะ ลวด สามารถลดต้นทุนการผลิตต่อตารางเมตรลงจากเดิม ถึง 60.11 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังตารางที่ 4.1

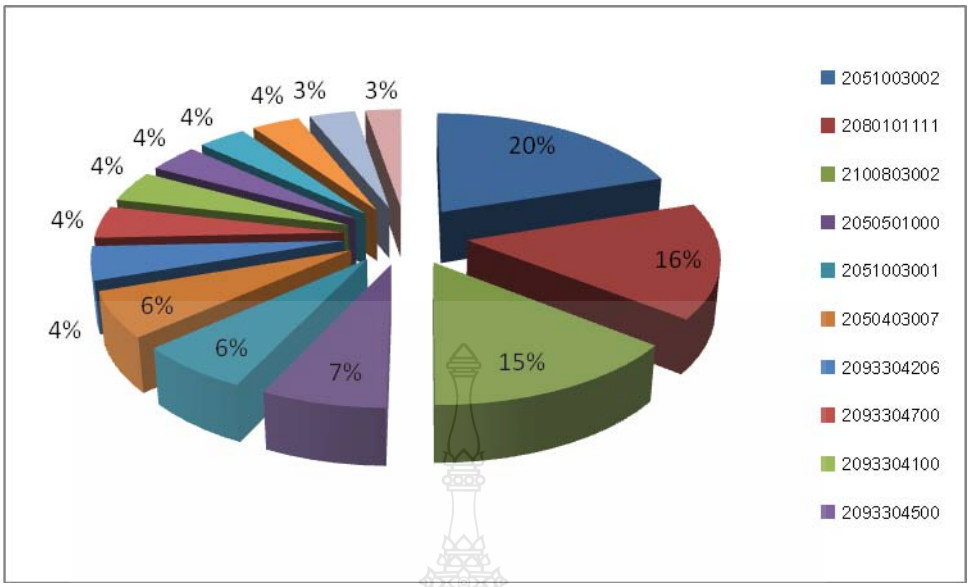
ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิต Slat แบบพลาสติก กับ แบบเดิม

รหัส	ชื่อผลิตภัณฑ์	ราคาต่อชิ้น	ราคาต่อตารางเมตร	หน่วย
2051003002	แสลทพลาสติกไก่ 50x50ซม. สีขาว M2	68.51	274.04	บาท
2060034503	แสลทลวดถัก 2.50 x 0.60 ม.	1,650.00	1,100.00	บาท
สามารถต้นทุนการผลิตต่อตารางเมตรได้			60.11	เปอร์เซ็นต์

จากข้อมูลของฝ่ายผลิตย้อนหลังตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ.2553-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 พบว่า ผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002 มีปริมาณจำนวนการผลิตต่อเดือนสูง และการสั่งซื้อระยะยาว (Long term order) ดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.13 ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำ ผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002 มาทำการวิจัยในครั้งนี้

ตารางที่ 4.2 จำนวนการผลิต ผลิตภัณฑ์จากพลาสติก ตั้งแต่ ตุลาคม 2553 ถึง กุมภาพันธ์ 2554

Item code	Item name	Quantity/Pcs.	%
2051003002	แสลทพลาสติกไก่ 50x50ซม. สีขาว M2	178,820	19.90
2080101111	หญ้าเทียมสีเทา	140,900	15.68
2100803002	ถ้วยที่ให้น้ำไก่เล็กขาเดี่ยว-ท่อเหลี่ยม	131,000	14.58
2050501000	ถาดให้อาหารลูกไก่กลม สีเหลือง F	62,420	6.95
2051003001	แสลทพลาสติกไก่ 50x50ซม. สีขาว M1	57,440	6.39
2050403007	ถาดไข่ตู้ฟัก 42 ฟอง สีขาว	55,912	6.22
2093304206	ตะแกรงครอบจานอาหารไก่เนื้อ KPI-46	40,934	4.56
2093304700	เกลียวปรับอาหารไก่ KPI-46	39,250	4.37
2093304100	จานอาหารสีแดง KPI-46	37,925	4.22
2093304500	กรวยอาหารไก่ KPI-46	34,094	3.79
2101102000	แคล้มยึดท่อพีวีซี 3/4"	32,500	3.62
2093304601	ฝาครอบกรวยอาหารไก่ KPI-46	32,300	3.59
2093304400	ลิ้นปิด-เปิดอาหารไก่ KPI-46	31,000	3.45
2050302400	น๊อตพลาสติก	24,000	2.67

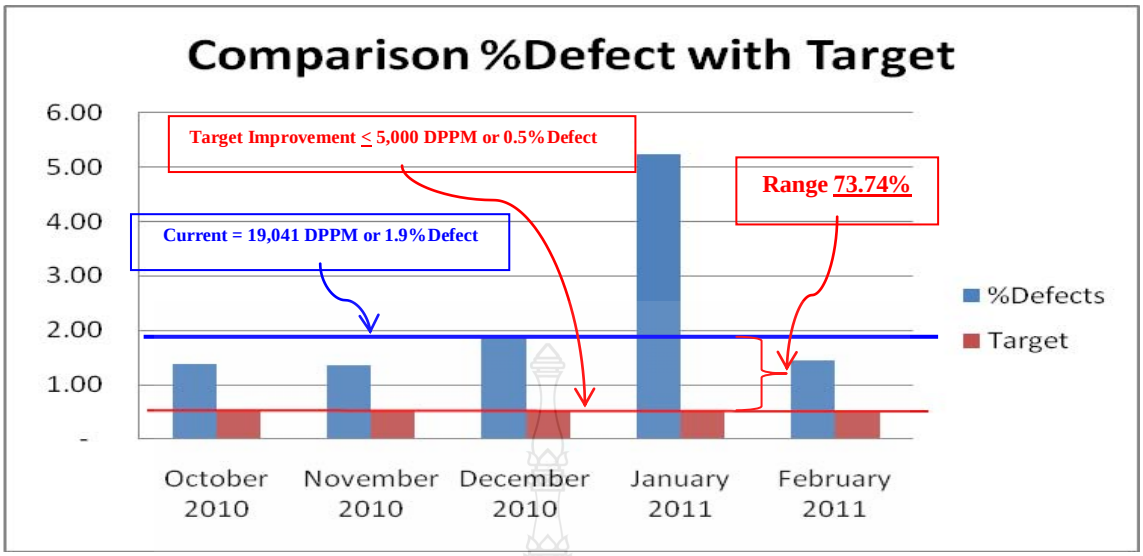


ภาพที่ 4.13 ข้อมูลการผลิต ของกระบวนการฉีดพลาสติก

จากข้อมูลพบปัญหาของเสีย ผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002 ที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉีดพลาสติกมากถึง 3,471 ชิ้น หรือ 19,041 DPPM หรือ 1.9 % Defects ซึ่งไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่องค์กรตั้งไว้ คือของเสียจากการผลิตต้องไม่เกิน 0.5 % Defects หรือ 5,000 DPPM แสดงดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.14

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลการผลิตของเสีย ของกระบวนการฉีดพลาสติก

Month	Year	Order	Defect	DPPM	%Defects	%Yield	%Sigma
October	2010	34,025	472	13,682	1.37	98.63	3.71
November	2010	35,747	482	13,304	1.33	98.67	3.72
December	2010	54,493	1,018	18,339	1.83	98.17	3.59
January	2011	18,750	981	49,719	4.97	95.03	3.15
February	2011	35,805	518	14,261	1.43	98.57	3.69
Total		178,820	3,471	19,041	1.90	98.10	3.57

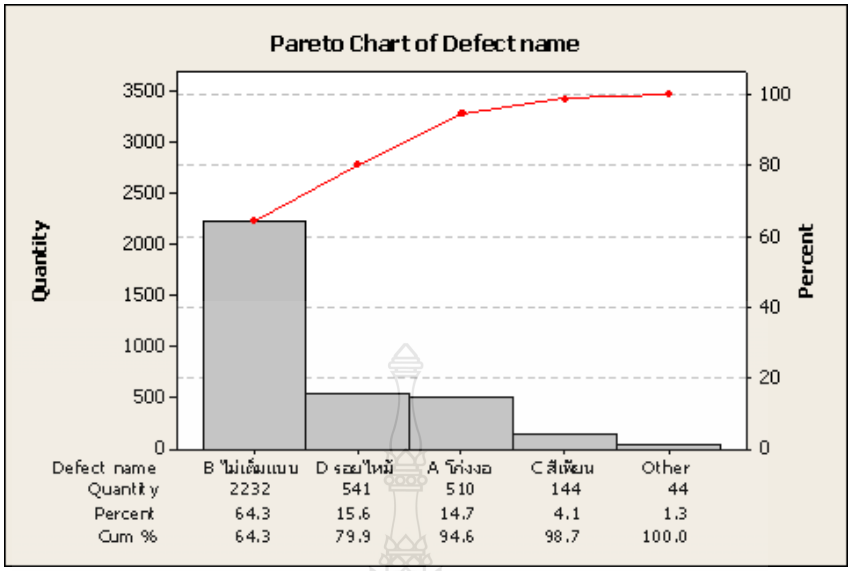


ภาพที่ 4.14 การเปรียบเทียบข้อมูลการผลิต ของกระบวนการฉีดพลาสติก

จากข้อมูลปัญหาหลักของเสียส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้น ทำให้ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มากที่สุดคือปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน (Shot short molding) ประมาณ 64 % ของของเสียทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.15 จึงจำเป็นต้องแก้ปัญหาในส่วนนี้ก่อน และของเสียที่เกิดขึ้นนี้ต้องเสียค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น สิ่งเหล่านี้ถือว่าเป็นการสูญเสียที่ต้องทำให้ลดลงหรือมีค่าเป็นศูนย์ (Zero defect) จึงต้องอาศัยเทคนิคที่เหมาะสมมาทำการปรับปรุงสภาพการผลิต เพื่อให้ต้นทุนการผลิตลดลงและคุณภาพสินค้าตรงตามที่ลูกค้าต้องการ ซึ่งผู้ทำการวิจัยและทีมงานจึงได้เลือกปัญหานี้ไปทำการปรับปรุงในขั้นตอนต่อไป

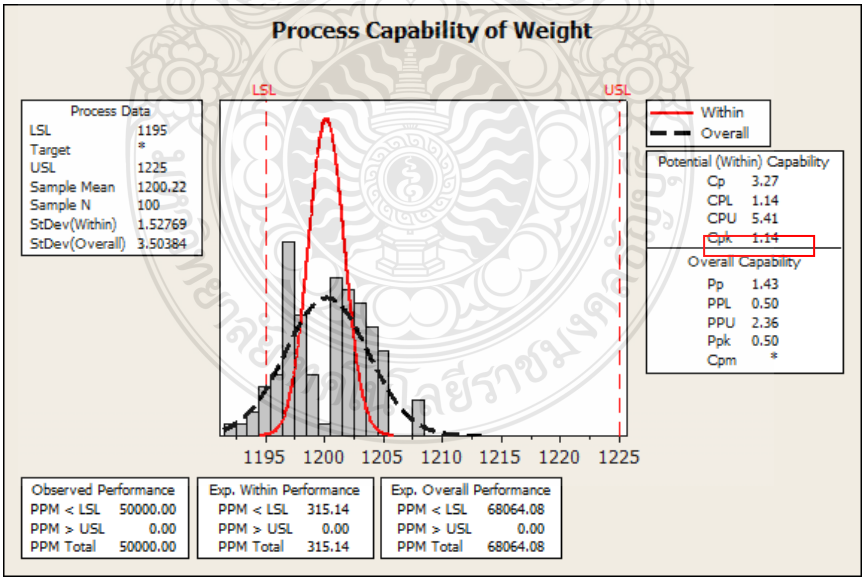
ตารางที่ 4.4 ประเภท และจำนวนของเสีย ผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002 ตั้งแต่ ตุลาคม 2553 ถึง กุมภาพันธ์ 2554

Defect Type	Oct'10	Nov'10	Dec'11	Jan'11	Feb'11	Sub Total
A โก่งงอ (Warped moulding)	76	91	91	177	75	510
B ไม่เต็มแบบ (Short moulding)	307	328	702	579	316	2,232
C สีเพี้ยน	17	15	25	59	28	144
D รอยไหม้ (Burnt Streaks)	66	44	193	147	91	541
E อื่นๆ	7	5	5	19	8	44



ภาพที่4.15 เปอร์เซ็นต์ของเสีย ตั้งแต่เดือน ตุลาคม 2553 ถึง กุมภาพันธ์ 2554

จากข้อมูลผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002 ได้นำค่าน้ำหนักชิ้นงานจำนวน 100 ตัวอย่าง (ทุก ๆ 2ชั่วโมง 1 ตัวอย่าง) เพื่อหาค่าความสามารถกระบวนการ (Process capability index) Cpk ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4.16



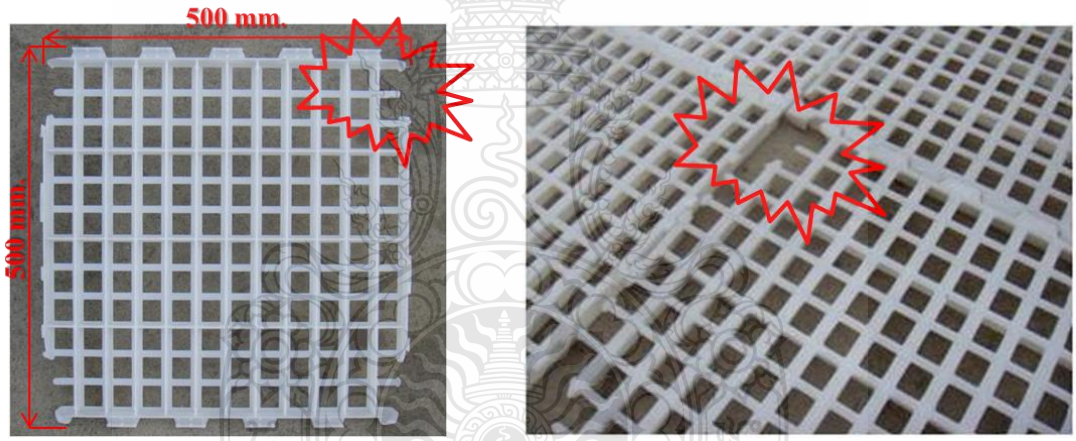
ภาพที่ 4.16 ดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการก่อนการปรับปรุง

จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าค่าความสามารถของกระบวนการ มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่จะยอมรับได้ แสดงดังตารางที่ 4.5 จึงต้องมีปรับปรุงกระบวนการต่อไป

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ

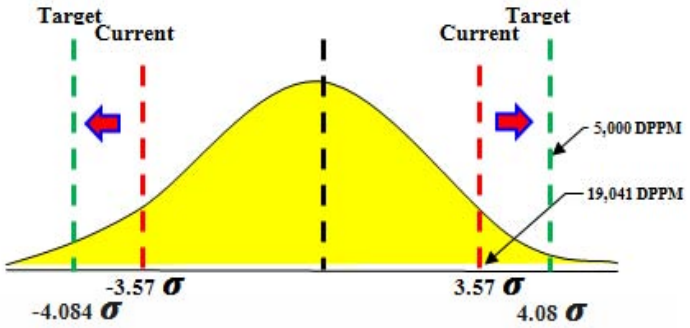
Item	Cpk Data
Standard	>=1.33
Current 2051003002	1.14

ลักษณะของผลิตภัณฑ์ Slat 2051003002 ในกระบวนการฉีดพลาสติก (Injection molding process) ที่เกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน (Shot short molding) แสดงดังภาพที่ 4.17



ภาพที่ 4.17 ลักษณะของเสีย การฉีดไม่เต็มชิ้นงาน (Short shot) ของผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002

เป้าหมายของโครงงานวิจัยนี้ คือ การลดอัตราของเสียจากการฉีดไม่เต็มชิ้นงานของผลิตภัณฑ์ Slat 2051003002 ที่เกิดขึ้น ในกระบวนการฉีดพลาสติก ลงจากเดิมค่าเฉลี่ยของเสียต่อเดือน 1.9 % Defect หรือ 19,041 DPPM ลดลงเหลือเพียง 5 % Defect หรือ 5,000 DPPM แสดงดังภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.18 เป้าหมายการดำเนินการวิจัย

4.5 ขั้นตอนการวัดผล (Measure phase)

4.5.1 การศึกษาขั้นตอนการไหลของกระบวนการ (Process mapping)

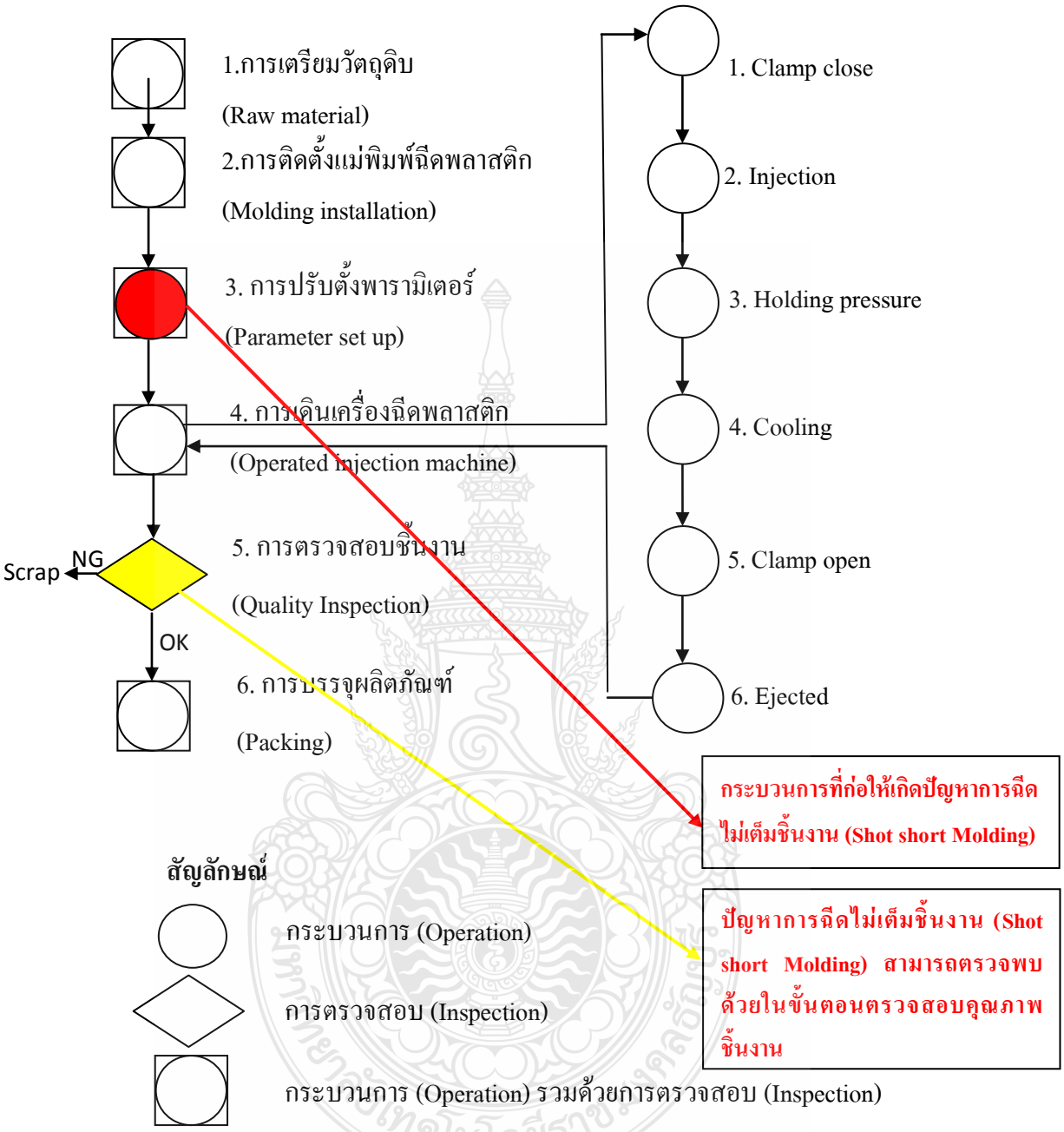
จากการศึกษากระบวนการผลิตทั้งกระบวนการอย่างละเอียดในหัวที่ 4.1 ทำให้สามารถแสดงขั้นตอนการไหลของกระบวนการฉีดพลาสติก ตั้งแต่วัตถุดิบรับเข้าผ่านกระบวนการผลิตจนเป็นผลิตภัณฑ์ Slat 2051003002 แสดงในภาพที่ 4.2

จากผลการศึกษากระบวนการผลิตทั้งกระบวนการพบว่าขั้นตอนที่ส่งผลทำให้เกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน (Shot short molding) เกิดขึ้นใน 1 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนที่ 3 คือการปรับตั้งพารามิเตอร์ สำหรับขั้นตอนที่สามารถตรวจเจอปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน ได้ 100 % คือขั้นตอนที่ 5 เป็นขั้นตอนการตรวจสอบงานด้วยสายตา ดังแสดงดังภาพที่ 4.19

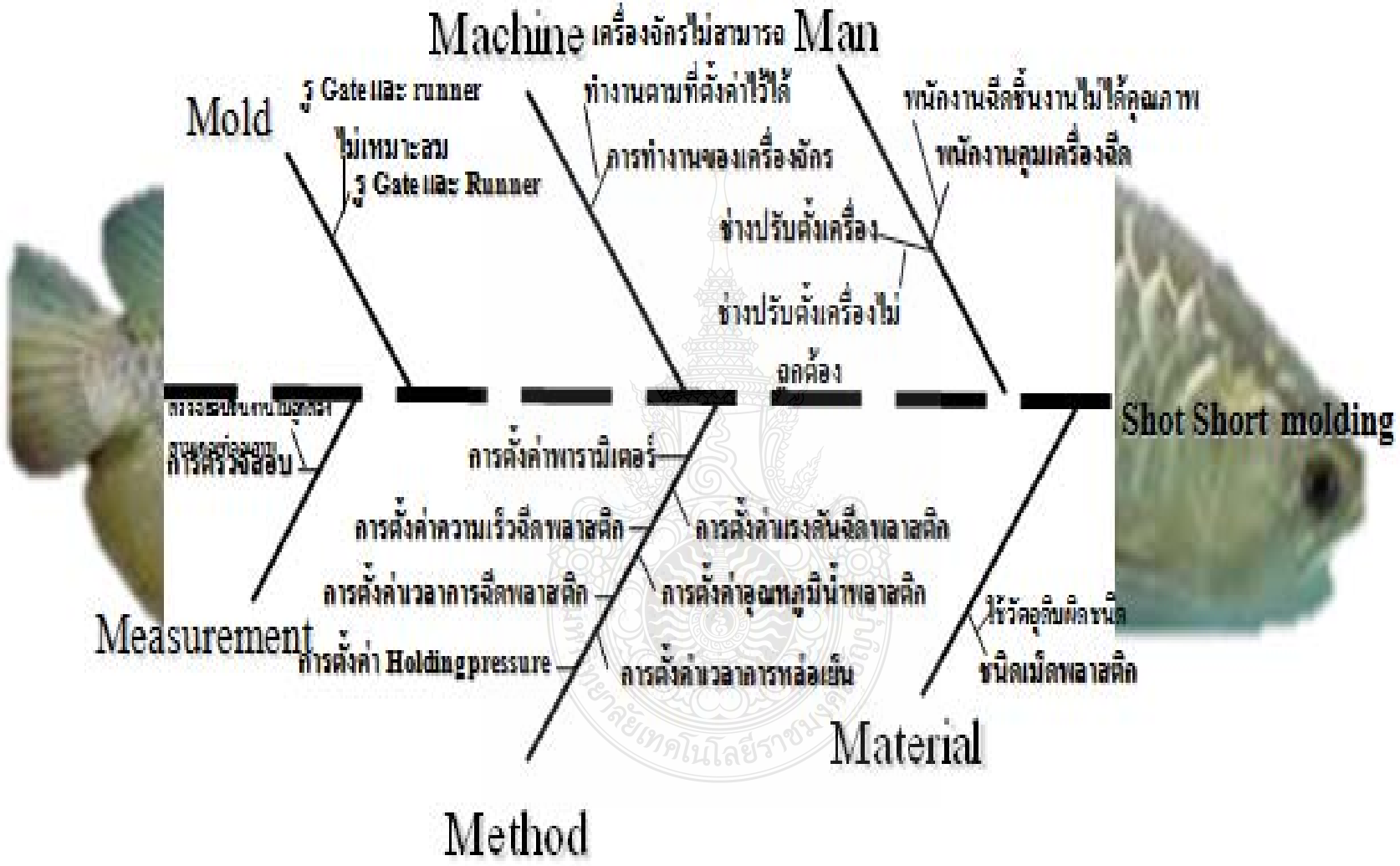
4.5.2 ผลการวิเคราะห์แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and effect diagram)

เมื่อทำการศึกษากระบวนการฉีดพลาสติกทั้งกระบวนการอย่างละเอียดแล้ว จะพอทำให้ทราบว่าตัวแปรเข้าที่สำคัญของกระบวนการมีอะไรบ้าง จากนั้นทำการระดมสมองเพื่อทำการหาสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมด

สำหรับหัวข้อปัญหาของโครงงานวิจัยนี้คือ การเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานทางผู้วิจัยและทีมงานที่ประกอบด้วยวิศวกรและผู้ที่เกี่ยวข้องหลาย ๆ ฝ่าย ได้ช่วยกันระดมสมอง (Brainstorm) เพื่อทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาดังกล่าว โดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผลของปัจจัยดังภาพที่ 4.20 ซึ่งจากแผนภาพแสดงเหตุและผลของปัจจัยนั้น จะพบว่าสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดของปัญหานั้นมีจำนวนมากมาย แต่ปัญหาหลัก ๆ จะมุ่งเน้นไปในส่วนของการควบคุมพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดพลาสติก แต่ผู้วิจัยและทีมงานมีความจำเป็นต้องทำการคัดเลือกเฉพาะสาเหตุที่สำคัญ จึงนำปัจจัยทั้งหมดมาวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ เพื่อให้คะแนน และพิจารณาว่าสาเหตุใดบ้างที่เป็นที่ควรนำมาทำการแก้ไขปัญหา และนำคะแนนไปสร้างแผนภาพพาเรโตของขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 4.19 กระบวนการที่จะก่อให้เกิด ปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน (Shot short molding)



ภาพที่ 4.20 แผนภาพแสดงเหตุและผลของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน

4.5.3 การวิเคราะห์ความบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis)

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ความบกพร่องและผลกระทบ

Process Description/Function ปัจจัยนำเข้าหลักของกระบวนการ			Potential Failure Mode ลักษณะความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น	Potential Effect of Failure ผลกระทบจากความผิดพลาด	ความรุนแรง SEV	Potential Causes of Failure สาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาด	โอกาสเกิด OCC	Current Control การควบคุมในปัจจุบัน	การตรวจจับได้ DET	RPN
MAN	1	ช่างปรับตั้งเครื่อง	ช่างปรับตั้งเครื่องไม่ถูกต้อง	ฉีดไม่เต็มแบบ (Shot short molding)	6	พนักงานขาดการฝึกอบรมและไม่มีประสบการณ์	2	WI, Checklist	5	60
	2	พนักงานฉีดพลาสติก	พนักงานฉีดชิ้นงานไม่ได้คุณภาพ	ฉีดไม่เต็มแบบ (Shot short molding)	5	พนักงานขาดการฝึกอบรมและไม่มีประสบการณ์	2	WI, Checklist	5	50
Machine	3	การทำงานของเครื่องจักร	เครื่องจักรไม่สามารถทำงานตามที่ตั้งค่าไว้ได้	ฉีดไม่เต็มแบบ (Shot short molding)	8	การบำรุงรักษาเครื่องจักร ยังไม่เหมาะสมเท่าที่ควร	3	WI, PM,Checklist	4	96
Method	4	การตั้งค่าพารามิเตอร์	ตั้งค่าพารามิเตอร์ไม่ถูกต้อง	ฉีดไม่เต็มแบบ (Shot short molding)	5	พนักงานขาดการฝึกอบรมและไม่มีประสบการณ์	3	WI, Checklist	5	75
	5	การตั้งค่าแรงดันฉีด	ตั้งค่าแรงดันฉีดไม่เหมาะสม	ฉีดไม่เต็มแบบ (Shot short molding)	5	ขาดการทดลองการตั้งค่าที่ถูกต้อง และเหมาะสม	6	WI, Checklist	8	240
	6	การตั้งค่าความเร็วฉีด	ตั้งค่าความเร็วฉีดไม่เหมาะสม	ฉีดไม่เต็มแบบ (Shot short molding)	5	ขาดการทดลองการตั้งค่าที่ถูกต้อง และเหมาะสม	6	WI, Checklist	8	240
	7	การตั้งค่าเวลาฉีด	ตั้งค่าเวลาฉีดไม่เหมาะสม	ฉีดไม่เต็มแบบ (Shot short molding)	5	ขาดการทดลองการตั้งค่าที่ถูกต้อง และเหมาะสม	6	WI, Checklist	8	240
	8	การตั้งค่าอุณหภูมิฉีด	ตั้งค่าอุณหภูมิฉีดไม่เหมาะสม	ฉีดไม่เต็มแบบ (Shot short molding)	5	ขาดการทดลองการตั้งค่าที่ถูกต้อง และเหมาะสม	6	WI, Checklist	8	240
	9	การตั้งค่าเวลาการหล่อเย็น	ตั้งค่าเวลาการหล่อเย็นไม่เหมาะสม	ฉีดไม่เต็มแบบ (Shot short molding)	5	ขาดการทดลองการตั้งค่าที่ถูกต้อง และเหมาะสม	5	WI, Checklist	8	200
	10	การตั้งค่า Holding pressure	ตั้งค่าHolding pressure ไม่เหมาะสม	ฉีดไม่เต็มแบบ (Shot short molding)	5	ขาดการทดลองการตั้งค่าที่ถูกต้อง และเหมาะสม	5	WI, Checklist	8	200
Material	11	ชนิดวัตถุดิบ	ใช้วัตถุดิบผิดชนิด	ฉีดไม่เต็มแบบ (Shot short molding)	8	พนักงานขาดการฝึกอบรมและไม่มีประสบการณ์	3	WI, Checklist	2	48
Measurement	12	การตรวจสอบ	ตรวจสอบชิ้นงานไม่ถูกต้องตามเกณฑ์คุณภาพ	ฉีดไม่เต็มแบบ (Shot short molding)	5	พนักงานขาดการฝึกอบรมและไม่มีประสบการณ์ในการตรวจสอบคุณภาพ	5	WI, Checklist	5	125
Mold	13	รู Gate และ runer	รู Gate และ runner ไม่เหมาะสม	ฉีดไม่เต็มแบบ (Shot short molding)	5	ไม่มีมาตรฐานการออกแบบ	1	ผ่านการตรวจสอบตามเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก	4	20

จากตารางที่ 4.6 เมื่อทำการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องและจากการระดมสมองเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ โดยเริ่มจากการระดมสมองและทำการคิดอย่างเป็นระบบโดยคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ ดังนั้นสาเหตุที่มิได้ตัดออกจากแผนภาพแสดงสาเหตุและผลจะถูกนำมาทำการวิเคราะห์ต่อในการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ เพื่อสามารถค้นหาสาเหตุที่น่าจะมีผลกระทบต่อปัญหามากที่สุดได้

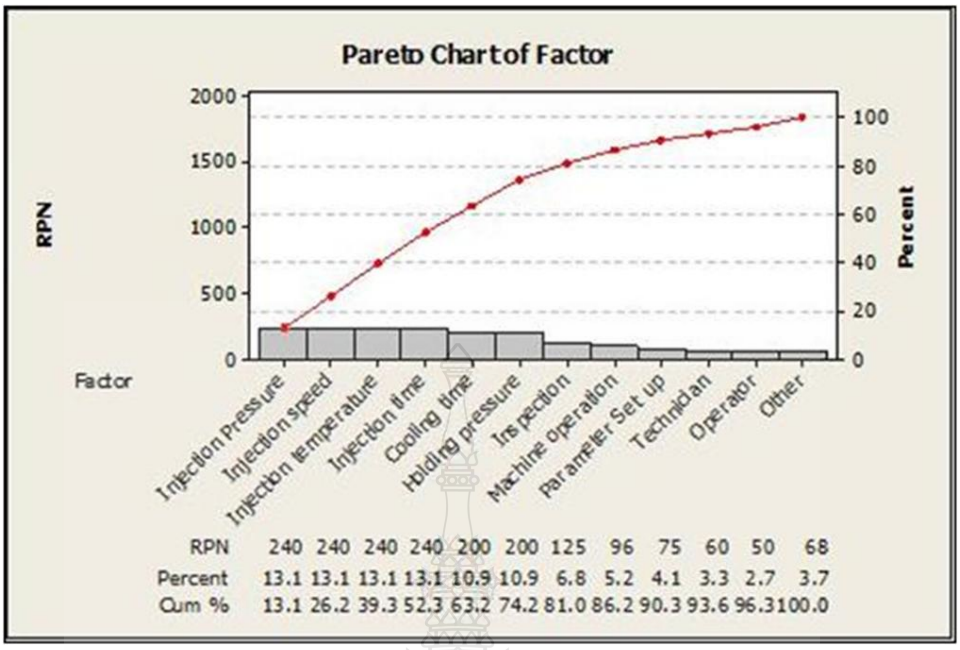
ตารางที่ 4.7 ผลสรุปลำดับคะแนนในการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบที่สำคัญ

ลำดับ	สาเหตุ	RPN-Score
1	การตั้งค่าแรงดันฉีด (Injection pressure)	240
2	การตั้งค่าความเร็วฉีด (Injection speed)	240
3	การตั้งค่าเวลาฉีด (Injection time)	240
4	การตั้งค่าอุณหภูมิฉีด (Injection temperature)	240
5	การตั้งค่าเวลาการหล่อเย็น (Cooling time)	200
6	การตั้งค่าฉีดย้ำ (Holding pressure)	200
7	การตรวจสอบ (Inspection)	125

จากตารางที่ 4.7 การแสดงผลการวิเคราะห์ความบกพร่องและผลกระทบพบว่ามีข้อบกพร่องอยู่ 7 ข้อบกพร่องที่มีค่า RPN-Score มากกว่า 100 คะแนนเพื่อดำเนินการแก้ไขต่อไป

4.5.4 การวิเคราะห์ด้วยแผนภาพพาเรโตเพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหา

จากค่าตัวเลขระดับความเสี่ยง (RPN) ซึ่งมาจากการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการข้างต้นสามารถนำมาสร้างแผนภาพพาเรโต เพื่อทำการคัดเลือกข้อบกพร่องที่สำคัญ และพิจารณาว่าข้อบกพร่องใดบ้างที่เป็นสาเหตุที่ควรนำมาทำการแก้ไขปัญหา ดังภาพที่ 4.21 โดยหลักของการพิจารณาคัดเลือกข้อบกพร่องที่สำคัญนั้นจะใช้หลักการพาเรโต คือ ข้อมูลที่มีความสำคัญจะมีเพียงจำนวนเล็กน้อย และข้อมูลที่มีความสำคัญเล็กน้อยมีจำนวนมาก โดยใช้ตัวเลข 80 : 20 โดยประมาณหรือเลือกพิจารณาข้อบกพร่องที่มีค่า RPN มากกว่า 100 มาดำเนินการปฏิบัติการแก้ไขก็ได้ แต่สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการเลือกพิจารณาข้อบกพร่องที่มีค่า RPN มากกว่า 100 มาเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกข้อบกพร่องมาดำเนินการแก้ไขต่อไป



ภาพที่ 4.21 แผนภาพพาเรโตเรียงตามลำดับค่า RPN

จากภาพที่ 4.21 แสดงให้เห็นว่าข้อบกพร่องที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานในกระบวนการฉีดพลาสติก ที่ได้คัดเลือกมา มีดังต่อไปนี้คือ การตั้งค่าแรงดันฉีด 240 คะแนน การตั้งค่าความเร็วฉีด 240 คะแนน การตั้งค่าเวลาฉีด 240 คะแนน การตั้งค่าอุณหภูมิฉีด 240 คะแนน การตั้งค่าเวลาการหล่อเย็น 200 คะแนน การตั้งค่าฉีดย้ำ 200 คะแนน และ การตรวจสอบ 125 คะแนน ข้อบกพร่องที่ได้รับการคัดเลือกนี้มีระดับคะแนน RPN-Score มากกว่า 100 คะแนน เป็นข้อบกพร่องที่ก่อให้เกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน และเป็นปัจจัยที่ยังไม่มีมาตรฐานการผลิตที่เหมาะสม ซึ่งจะทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

4.5.5 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement system analysis)

การที่จะนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจนั้น มีความจำเป็นต้องตรวจสอบก่อนว่าข้อมูลเหล่านั้นสามารถนำไปใช้ในการอธิบายกระบวนการได้หรือไม่ และเนื่องจากข้อมูลที่ได้มีความจำเป็นจะต้องผ่านระบบการวัดทำให้จึงต้องประเมินความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด ก่อนที่จะนำข้อมูลมาใช้ในการตัดสินใจ ถ้าหากผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับไม่ได้ ต้องหาสาเหตุและแก้ปัญหาระบบการวัดให้ได้ก่อน

1) ผลการวิเคราะห์ความผันแปรในระบบการวัดจากข้อมูลเชิงคุณลักษณะ หรือข้อมูลนับก่อนการปรับปรุง การวิเคราะห์ความผันแปรในระบบการวัดจากข้อมูลเชิงคุณลักษณะหรือข้อมูลนับข้อมูลที่ได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลการตรวจสอบชิ้นงานตัวอย่างของพนักงานตรวจสอบทั้ง 3 คน ก่อนปรับปรุง

ATTRIBUTE MEASUREMENT SYSTEMS STUDY

Part	ผู้ประเมินคนที่ 1			ผู้ประเมินคนที่ 2			ผู้ประเมินคนที่ 3			Reference
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	
1	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
2	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
3	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
4	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
5	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
6	G	G	G	G	G	NG	G	NG	NG	G
7	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
8	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
9	G	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
10	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
11	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
12	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	G	NG	NG
13	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
14	G	G	NG	G	G	NG	G	NG	NG	G
15	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
16	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
17	NG	NG	NG	NG	G	NG	G	NG	NG	NG
18	NG	NG	NG	NG	G	NG	G	NG	NG	NG
19	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
20	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
21	G	G	NG	G	NG	G	NG	G	NG	G
22	NG	NG	G	NG	G	NG	G	G	NG	NG
23	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
24	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
25	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
26	NG	G	NG	NG	G	NG	NG	NG	G	NG
27	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
28	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
29	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
30	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
31	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
32	G	G	G	G	G	NG	G	G	G	G
33	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
34	NG	NG	G	NG	NG	G	G	G	G	NG
35	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
36	G	G	G	G	G	G	G	NG	G	G
37	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
38	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
39	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
40	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
41	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
42	NG	NG	NG	NG	G	NG	NG	NG	NG	NG
43	G	NG	G	G	G	G	G	G	NG	G
44	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
45	NG	G	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
46	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
47	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
48	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
49	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
50	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG

หมายเหตุ G คือ ชิ้นงานดี NG คือ ชิ้นงานไม่ดีหรือเสีย

ผลการวิเคราะห์โปรแกรม MINITAB แสดงดังภาพที่ 4.22 และ 4.23

Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
1	50	42	84.00	(70.89, 92.83)
2	50	40	80.00	(66.28, 89.97)
3	50	40	80.00	(66.28, 89.97)

Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
1	50	42	84.00	(70.89, 92.83)
2	50	40	80.00	(66.28, 89.97)
3	50	39	78.00	(64.04, 88.47)

Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

Between Appraisers

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
50	35	70.00	(55.39, 82.14)

Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

All Appraisers vs Standard

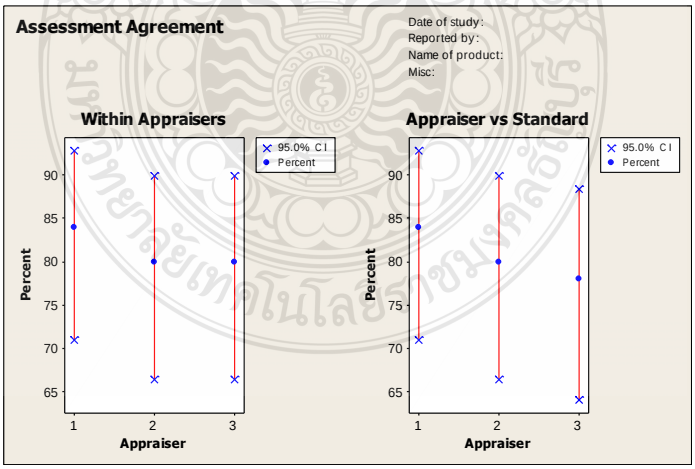
Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
50	35	70.00	(55.39, 82.14)

Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.

Attribute Agreement Analysis

ภาพที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับก่อนปรับปรุง



ภาพที่ 4.23 การประมาณค่าแบบช่วงของร้อยละรีพีททะบิลิตี้ของพนักงาน (With Appraisers) และร้อยละความไม่ไบอัสของพนักงาน (Appraiser vs Standard) ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 % ก่อนปรับปรุง

จากภาพที่ 4.22 และ 4.23 สามารถตีความหมายจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB ดังต่อไปนี้

- ค่า % รีพีททะบิลีตี้ของพนักงานตรวจสอบคนที่ 1 2 3 มีค่าเท่ากับ 84.00 % 80.00 % และ 80.00 % ตามลำดับ และการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95 % สำหรับค่ารีพีททะบิลิตี้ของพนักงาน คนที่ 1 2 3 จะอยู่ในช่วง 70.89 ถึง 92.83 66.28 ถึง 89.97 และ 66.28 ถึง 89.97 ตามลำดับ

- ค่า %ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบคนที่ 1 2 3 จะมีค่าเท่ากับ 84.00 % 80.00 % และ 78.00 % ตามลำดับ และการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับค่าความไม่ไบอัสของพนักงาน คนที่ 1 2 3 จะอยู่ในช่วง 70.89 ถึง 92.83 66.28 ถึง 89.97 และ 64.04 ถึง 88.47 ตามลำดับ

- ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลีตี้เท่ากับ 70.00 % ซึ่งแสดงว่าพนักงาน 3 คนตรวจสอบงาน 100 ชิ้น จะมีเพียง 70 ชิ้นเท่านั้นที่พนักงานทั้งสองคนตรวจสอบได้ผลลัพธ์เหมือนกันและการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลีตี้จะอยู่ในช่วง 55.39 ถึง 82.14

- ประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ เท่ากับ 70.00% แสดงว่าในการใช้พนักงาน 3 คนตรวจสอบงานจำนวน 100 ชิ้น จะมีเพียง 70 ชิ้นเท่านั้นที่พนักงานทั้งสองคนตรวจสอบได้ถูกต้องเหมือนกัน และการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับประสิทธิผลด้านโปรดิวซิบิลิตี้จะอยู่ในช่วง 55.39 ถึง 82.14

จากข้างต้น %รีพีททะบิลีตี้ ของพนักงานตรวจสอบคนที่ 1 2 3 โดยเมื่อคิด %ของความผิดพลาดในการตรวจสอบทั้งสองจะมีค่าเท่ากับ 16 % 20 % และ 20 % ตามลำดับ ความหมายของค่ารีพีททะบิลิตี้นี้จะแสดงถึงความแม่นยำในการวัดอยู่ในเกณฑ์ที่พอจะยอมรับได้ แต่เพื่อแก้ไขปัญหาค่ารีพีททะบิลิตี้ของพนักงาน ให้มีค่าสูงขึ้นเพื่อความแม่นยำ จึงจำเป็นต้องทำการอบรมพนักงานใหม่ รวมถึงการประเมินผลพนักงานใหม่ เพื่อปรับปรุงรีพีททะบิลีตี้ให้ดีขึ้น

ในส่วน %ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบซึ่งบ่งบอกการใช้การวิเคราะห์ที่ถูกต้อง พบว่า พนักงานตรวจสอบ คนที่ 1 2 3 โดยเมื่อคิด %ของความผิดพลาดในการตรวจสอบจะมีค่าเท่ากับ 16 % 20 % และ 22 % ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่พอจะยอมรับได้ ดังนั้นต้องทำการปรับปรุงวิธีการตรวจสอบใหม่หรือมิฉะนั้นจะต้องกำหนดใช้ชิ้นงานได้รับการตรวจสอบโดยผู้ชำนาญการเฉพาะเท่านั้น

2) ทำการฝึกอบรมพนักงานตรวจสอบชิ้นงาน ก่อนการปรับปรุง วิธีการอบรมพนักงานเป็นการอบรมด้วยตนเอง (Self training) โดยดูจากชิ้นงานตัวอย่างที่ผ่านการตรวจสอบด้วยผู้เชี่ยวชาญแล้วศึกษาด้วยตัวเอง โดยไม่มีการแนะนำถึงจุดของคุณภาพ (Quality point) หรือ ข้อกำหนดของคุณภาพ (Specification of quality) ซึ่งมีปัญหาเรื่องมาตรฐานการแยกแยะชิ้นงาน ของดี ของเสียที่แตกต่างกัน

การปรับปรุง ด้วยวิธีการฝึกอบรมการปฏิบัติงานจริง (On the job training) โดยใช้มาตรฐานการฝึกอบรมเดียวกันแนะนำถึงจุดของคุณภาพ หรือข้อกำหนดของคุณภาพด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านคุณภาพ ซึ่งการฝึกอบรมเดียวกันนี้จะเป็นการลดความผันแปรในการตัดสินใจของพนักงานตรวจสอบทั้งสาม และจะทำให้ความผันแปรในการวัดลดลงอีกด้วย โดยมีระยะเวลาการอบรม 1 สัปดาห์ และกำหนดมาตรฐานเวลาในการตรวจสอบชิ้นงานแต่ละชิ้น 30 วินาที กำหนดรอบเวลาการอบรมซ้ำ (Re-training) ทุก ๆ 3 เดือน

3) ผลการวิเคราะห์ความผันแปรในระบบการวัดจากข้อมูลเชิงคุณลักษณะ หรือข้อมูลนับหลังการปรับปรุง โดยสุ่มชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 50 ชิ้นงานซึ่งเป็นทั้งชิ้นงานที่มีคุณภาพดี (Good: G) และไม่ดี(No Good: NG) ซึ่งชิ้นงานแต่ละชิ้นจะได้รับการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ดี หรือไม่ดี โดยขั้นตอนของการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานตัวอย่างนี้จะใช้พนักงานตรวจสอบจำนวน 3 คน คือ พนักงาน 1 พนักงาน 2 และ พนักงาน 3 ซึ่งพนักงานแต่ละคนจะทำการตรวจวัดชิ้นงานตัวอย่างแต่ละชิ้นให้ครบทั้ง 50 ตัวอย่าง และทำเช่นนี้จนครบทั้ง 3 คน และทุกคนจะทำการตรวจสอบชิ้นงานแต่ละชิ้นจำนวน 3 ครั้ง และข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานตัวอย่างโดยพนักงานตรวจสอบ 1,2 และ 3 ข้อมูลที่ได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลการตรวจสอบชิ้นงานตัวอย่างของพนักงานตรวจสอบทั้ง 3 คน หลังปรับปรุง

ATTRIBUTE MEASUREMENT SYSTEMS STUDY

Part	ผู้ประเมินคนที่ 1			ผู้ประเมินคนที่ 2			ผู้ประเมินคนที่ 3			Reference
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	
1	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
2	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
3	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
4	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
5	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
6	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
7	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
8	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
9	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
10	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
11	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
12	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
13	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
14	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
15	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
16	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
17	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
18	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
19	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
20	G	G	G	G	NG	G	G	G	G	G
21	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
22	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
23	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
24	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
25	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
26	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
27	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
28	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
29	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
30	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
31	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
32	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
33	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
34	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
35	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
36	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
37	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
38	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
39	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
40	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
41	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
42	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
43	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
44	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
45	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
46	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
47	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
48	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
49	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
50	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG

หมายเหตุ G คือ ชิ้นงานดี NG คือ ชิ้นงานไม่ดีหรือเสีย

ผลการวิเคราะห์โปรแกรม MINITAB แสดงดังภาพที่ 4.24 และ 4.25

Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
1	50	50	100.00	(94.18, 100.00)
2	50	49	98.00	(89.35, 99.95)
3	50	50	100.00	(94.18, 100.00)

Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
1	50	50	100.00	(94.18, 100.00)
2	50	49	98.00	(89.35, 99.95)
3	50	50	100.00	(94.18, 100.00)

Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

Between Appraisers

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
50	49	98.00	(89.35, 99.95)

Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

All Appraisers vs Standard

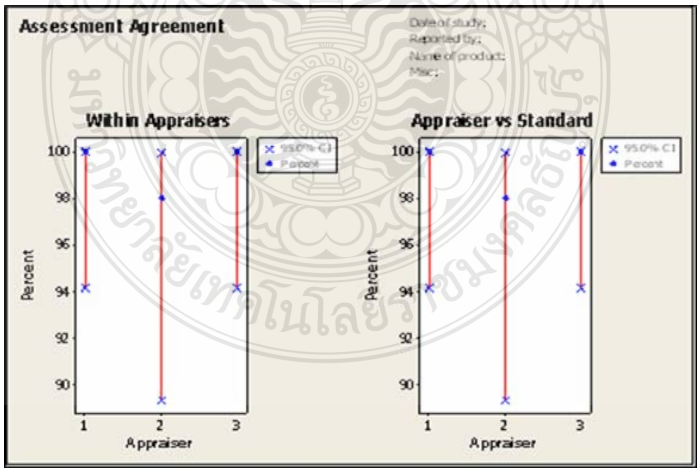
Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
50	49	98.00	(89.35, 99.95)

Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.

Attribute Agreement Analysis

ภาพที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับหลังปรับปรุง



ภาพที่ 4.25 การประมาณค่าแบบช่วงของร้อยละรีพีททะบิลิตี้ของพนักงาน (With Appraisers) และร้อยละความไม่ไบอัสของพนักงาน (Appraiser vs Standard) ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 % หลังปรับปรุง

จากภาพที่ 4.24 และ 4.25 สามารถตีความหมายจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB ดังต่อไปนี้

- ค่า %รีพีททะบิลีตี้ของพนักงานตรวจสอบคนที่ 1 2 3 มีค่าเท่ากับ 100.00% 98.00% และ 100.00% ตามลำดับ และการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับค่ารีพีททะบิลิตี้ของพนักงาน คนที่ 1 2 3 จะอยู่ในช่วง 94.18 ถึง 100.00 89.35 ถึง 99.95 และ 94.18 ถึง 100.00 ตามลำดับ

- ค่า %ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบคนที่ 1 2 3 จะมีค่าเท่ากับ 100.00% 98.00% และ 100.00% ตามลำดับ และการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับค่าความไม่ไบอัสของพนักงาน คนที่ 1 2 3 จะอยู่ในช่วง 94.18 ถึง 100.00 89.35 ถึง 99.95 และ 94.18 ถึง 100.00 ตามลำดับ

- ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลีตี้เท่ากับ 98.00% ซึ่งแสดงว่าพนักงาน 3 คนตรวจสอบงาน 100 ชิ้น จะมีเพียง 98 ชิ้นเท่านั้นที่พนักงานทั้งสองคนตรวจสอบได้ผลลัพธ์เหมือนกันและการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลีตี้จะอยู่ในช่วง 89.35 ถึง 99.95

- ประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ เท่ากับ 98.00% แสดงว่าในการใช้พนักงาน 3 คนตรวจสอบงานจำนวน 100 ชิ้น จะมีเพียง 98 ชิ้นเท่านั้นที่พนักงานทั้งสองคนตรวจสอบได้ถูกต้องเหมือนกัน และการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับประสิทธิผลด้านโปรดิวซิบิลิตี้จะอยู่ในช่วง ถึง 89.35 ถึง 99.95

จากข้างต้น %รีพีททะบิลีตี้ ของพนักงานตรวจสอบคนที่ 1 2 3 โดยเมื่อคิด %ของความผิดพลาดในการตรวจสอบทั้งสองจะมีค่าเท่ากับ 0% 2% และ 0% ตามลำดับ ความหมายของค่ารีพีททะบิลิตี้นี้จะแสดงถึงความแม่นยำในการวัดอยู่ในเกณฑ์สูง

ในส่วน %ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบซึ่งบ่งบอกการใช้การวิเคราะห์ที่ถูกต้อง พบว่า พนักงานตรวจสอบ คนที่ 1 2 3 โดยเมื่อคิด %ของความผิดพลาดในการตรวจสอบจะมีค่าเท่ากับ 0% 2% และ 0% ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์สูงเช่นเดียวกัน จึงเชื่อมั่นได้ว่า ระบบการตรวจสอบมีประสิทธิภาพ และความแม่นยำ สามารถนำไปใช้ตรวจสอบได้ตามปกติ

4.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze phase)

จากขั้นตอนการวัดผล (Measure phase) พบว่าสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาที่ทำการศึกษา 6 สาเหตุซึ่งประกอบไปด้วย

1) การตั้งค่าแรงดันฉีด (Injection pressure)

2) การตั้งค่าความเร็วฉีด (Injection speed)

3) การตั้งค่าเวลาฉีด (Injection time)

4) การตั้งค่าอุณหภูมิฉีด (Injection temperature)

5) การตั้งค่าเวลาการหล่อเย็น (Cooling time)

6) การตั้งค่าฉีดย้ำ (Holding pressure)

แนวทางการวิเคราะห์นั้นจะทำการวิเคราะห์ทีละสาเหตุ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ ANOVA TEST เพื่อพิสูจน์ว่าปัจจัยใดเป็นสาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้เกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน (Shot short Molding) โดยในการทดลองนี้จะมีจุดมุ่งหมายเพื่อกลั่นกรองปัจจัยต่าง ๆ ที่สงสัยออกไปก่อนหรือเป็นการกรองเฉพาะปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ

4.6.1 การหาจำนวนตัวอย่างที่ใช้ทำการทดลอง (Power and sample size)

การคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองนี้จะคำนวณด้วยโปรแกรม MINITAB และกำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

1) ระดับนัยสำคัญ (α) มีค่าเท่ากับ 0.05 ซึ่งความน่าจะเป็นในการยอมรับสมมติฐาน (β) เท่ากับ 0.05 หรือ Power of test เท่ากับ 0.95 และ

2) จากข้อมูลในอดีตความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) มีค่าเท่ากับ 3.504

3) กำหนดค่าระดับของจำนวน (Number of level) ที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 3 ระดับ ผลที่ได้แสดงดังภาพที่ 4.26

Power and Sample Size

One-way ANOVA

Alpha = 0.05 Assumed standard deiation = 3.504 Number of Levels = 3

SS Means	Sample Size	Target Power	Actual Power	Maximum Difference
50	5	0.95	0.951740	10

The sample size is for each level.

Power Curve for One-way ANOVA

ภาพที่ 4.26 ผลการหาจำนวนตัวอย่างโดยใช้โปรมแกรม MINITAB ช่วยในการคำนวณ

จากภาพที่ 4.26 แสดงผลการทดสอบการหาขนาดตัวอย่างพบว่าอยู่ที่ขนาดตัวอย่างที่ 5 ชิ้นของแต่ละระดับ และให้ค่ากำลังของการทดสอบที่ 0.95 ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงใช้จำนวนสิ่งตัวอย่างอย่างน้อยเท่ากับ 5 ตัวอย่างขึ้นไป ของแต่ละระดับ

จากการกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยที่คาดว่าจะมีผล คือ ความดันในการฉีดพลาสติก ความเร็วในการฉีดพลาสติก ระยะเวลาในการฉีดพลาสติก อุณหภูมิของหัวฉีด ระยะเวลาการหล่อเย็น และแรงดันในการฉีดย้ำ ออกเป็น ระดับ คือ ระดับที่ใช้ปัจจุบัน และเพิ่ม-ลดอย่างละหนึ่งระดับในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่าของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์

FACTOR	Down	Current	Up	Unit
การตั้งค่าแรงดันฉีด	15	20	25	Bar
การตั้งค่าความเร็วฉีด	8	10	12	%
การตั้งค่าเวลาฉีด	15	20	25	Sec
การตั้งค่าอุณหภูมิฉีด	210	215	220	°C
การตั้งค่าเวลาการหล่อเย็น	90	95	100	Sec
การตั้งค่าฉีดย้ำ	5	10	15	Bar

ในส่วนของปัจจัยอื่น ๆ ที่ใช้ในการฉีดชิ้นงานครั้งนี้ แต่ไม่ได้นำมาวิเคราะห์ การปรับไว้ตามที่ค่าเดิม คือ แรงดันของระบบน้ำหล่อเย็นจะปรับตั้งค่าที่ 5 Bar อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นจะปรับตั้งค่าที่ 18 °C แรงดันในการถอยกลับของสกรูจะปรับตั้งค่าที่ 10 Bar แรงดันในการปลดชิ้นงานจะปรับตั้งค่าที่ 40 Bar แรงดันในการเปิดแม่พิมพ์ แบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ ระยะที่ 1 ก่อนแม่พิมพ์เปิดจะปรับตั้งค่าที่ 70 Bar ระยะที่ 2 แม่พิมพ์เคลื่อนที่เปิดจะปรับตั้งค่าที่ 100 Bar ระยะที่ 3 ก่อนแม่พิมพ์เปิดสุดจะปรับตั้งค่าที่ 40 Bar ระยะที่ 4 เมื่อแม่พิมพ์เปิดสุดจะปรับตั้งค่าที่ 30 Bar และแรงดันในการปิดแม่พิมพ์แบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ ระยะที่ 1 ก่อนแม่พิมพ์ปิดจะปรับตั้งค่าที่ 30 Bar ระยะที่ 2 แม่พิมพ์เคลื่อนที่ปิดจะปรับตั้งค่าที่ 80 Bar ระยะที่ 3 ก่อนแม่พิมพ์ปิดสุดจะปรับตั้งค่าที่ 20 Bar ระยะที่ 4 เมื่อแม่พิมพ์ปิดสุดจะปรับตั้งค่าที่ 80 Bar ทำให้แม่พิมพ์ปิดแน่นสนิท แสดงดังภาพที่ ก.13 ในภาคผนวก ก.

4.6.2 การวิเคราะห์การปรับค่าพารามิเตอร์ ในเรื่องการตั้งค่าแรงดันฉีด (Injection pressure)

การดำเนินการผลิตในปัจจุบันจะกำหนดระดับของค่าแรงดันฉีดอยู่ที่ 20 Bar ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงแบ่งปัจจัยออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

1) ระดับที่ทำการของลดค่าแรงดันฉีด เท่ากับ 15 Bar
2) ระดับค่าปัจจุบันของแรงดันฉีด เท่ากับ 20 Bar
3) ระดับที่ทำการของเพิ่มค่าแรงดันฉีด เท่ากับ 25 Bar

ผู้วิจัยได้กำหนดระดับค่าแรงดันฉีด ทั้ง 3 ระดับนี้ อันเนื่องมาจากคำแนะนำของคู่มือการใช้งานของเครื่องฉีดพลาสติกรุ่น MMCII-650 การปรับตั้งค่าแรงดันในการฉีดพลาสติกควรปรับเพิ่มหรือลดที่ละ 5 เพื่อให้สามารถเห็นผลของการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน

แนวทางการวิเคราะห์ โดยการทดลองค่าแรงดันฉีด ทั้ง 3 ระดับ ทดลองระดับละ 5 ครั้ง ส่วนปัจจัยอื่นที่ไม่ใช่ค่าแรงดันฉีด จะคงไว้ ณ ค่าปัจจุบัน ดังแสดงผลที่ได้ ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองค่าแรงดันฉีด

การตั้งค่าแรงดันฉีด	1	2	3	4	5	Total	Average	Defect
15	1,189	1,193	1,193	1,200	1,197	5,972	1,194	3
20	1,200	1,205	1,192	1,202	1,197	5,996	1,199	1
25	1,211	1,215	1,225	1,212	1,210	6,073	1,215	0

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.11 พบว่าค่าแรงดันฉีดที่ได้จากน้ำหนักของชิ้นงาน 1,210 ±15 กรัม ดังนั้นผู้ทำวิจัยและทีมงานจึงเลือกทำการตั้งสมมติฐานการทดลองดังนี้

ค่า P-Value$\leq\alpha$ หมายถึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 (Accept H_1)

ค่า P-Value$>\alpha$ หมายถึงไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0

H_0: การตั้งค่าแรงดันฉีดต่างกัน ทำให้น้ำหนักชิ้นงานมีค่าไม่แตกต่างกัน

H_1: การตั้งค่าแรงดันฉีดต่างกัน ทำให้น้ำหนักชิ้นงานมีค่าแตกต่างกัน

ผลการการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรม MINITAB ได้ผลดังภาพที่ 4.27

One-way ANOVA: Weight versus Injection Pressure

```
Source              DF      SS     MS      F      P
Injection Pressure   2  1113.7  556.9  20.93  0.000
Error               12   319.2   26.6
Total               14  1432.9

S = 5.158   R-Sq = 77.72%   R-Sq(adj) = 74.01%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level  N     Mean  StDev    ---+---------+---------+---------+------
15     5  1194.40   4.22    (-----*-----)
20     5  1199.20   4.97          (-----*-----)
25     5  1214.60   6.11                        (-----*------)
                            ---+---------+---------+---------+------
                          1192.0    1200.0    1208.0    1216.0

Pooled StDev = 5.16
```

ภาพที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรมแกรม MINITAB การตั้งค่าแรงดันฉีด

ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.000 เพราะฉะนั้นจึงสามารถปฏิเสธสมมติฐาน H_0 จึงสามารถสรุปได้ว่า การตั้งค่าแรงดันฉีดต่างกัน ทำให้น้ำหนักชิ้นงานมีค่าแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญด้วยนัยสำคัญ 0.05

4.6.3 การวิเคราะห์การปรับค่าพารามิเตอร์ ในเรื่องการตั้งค่าความเร็วฉีด (Injection speed)

การดำเนินการผลิตในปัจจุบันจะกำหนดระดับของค่าความเร็วฉีดอยู่ที่ 10 เปอร์เซ็น ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงแบ่งปัจจัยออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

1) ระดับที่ทำการของลดค่าความเร็วฉีด เท่ากับ 8 เปอร์เซ็นต์

2) ระดับปัจจุบันของค่าความเร็วฉีด เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์

3) ระดับที่ทำการของเพิ่มค่าความเร็วฉีด เท่ากับ 12 เปอร์เซ็นต์

ผู้วิจัยได้กำหนดระดับค่าความเร็วฉีด ทั้ง 3 ระดับนี้ อันเนื่องมาจากคำแนะนำของคู่มือการใช้งานของเครื่องฉีดพลาสติกรุ่น MMCII-650 การปรับตั้งค่าแรงดันในการฉีดพลาสติก ควรปรับเพิ่มหรือลดที่ละ 2 เพื่อให้สามารถเห็นผลของการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน

แนวทางการวิเคราะห์ โดยการทดลองค่าความเร็วฉีด ทั้ง 3 ระดับ ทดลองระดับละ 5 ครั้ง ส่วนปัจจัยอื่นที่ไม่ใช่ค่าความเร็วฉีด จะคงไว้ ณ ค่าปัจจุบัน ดังแสดงผลที่ได้ ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองค่าความเร็วฉีด

การตั้งค่าความเร็วฉีด	1	2	3	4	5	Total	Average	Defect
8	1,190	1,197	1,188	1,201	1,198	5,974.00	1,194.80	2
10	1,200	1,205	1,192	1,202	1,197	5,996.00	1,199.20	1
12	1,224	1,208	1,211	1,201	1,227	6,071.00	1,214.20	1

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.12 พบว่าค่าความเร็วฉีดที่ได้จากน้ำหนักของชิ้นงาน 1,210 ±15 กรัม ดังนั้นผู้ทำวิจัยและทีมงานจึงเลือกทำการตั้งสมมติฐานการทดลองดังนี้

ค่า P-Value$\leq\alpha$ หมายถึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 (Accept H_1)

ค่า P-Value$>\alpha$ หมายถึงไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0

H_0: การตั้งค่าความเร็วฉีดต่างกัน ทำให้น้ำหนักชิ้นงานมีค่าไม่แตกต่างกัน

H_1: การตั้งค่าความเร็วฉีดต่างกัน ทำให้น้ำหนักชิ้นงานมีค่าแตกต่างกัน

ผลการการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรม MINITAB ได้ผลดังภาพที่ 4.28

One-way ANOVA: Weight versus Injection speed

```
Source           DF      SS     MS     F      P
Injection speed   2  1034.5  517.3  8.81  0.004
Error            12   704.4   58.7
Total            14  1738.9

S = 7.662   R-Sq = 59.49%   R-Sq(adj) = 52.74%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N     Mean  StDev  ---+---------+---------+---------+------
 8     5  1194.80   5.54  (-------*------)
10     5  1199.20   4.97       (-------*-------)
12     5  1214.20  10.99                (-------*-------)
                          ---+---------+---------+---------+------
                          1190      1200      1210      1220

Pooled StDev = 7.66
```

ภาพที่ 4.28 ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรมแกรม MINITAB การตั้งค่าความเร็วฉีด

ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.004 เพราะฉะนั้นจึงสามารถปฏิเสธสมมติฐาน H_0 จึงสามารถสรุปได้ว่า การตั้งค่าความเร็วฉีด ต่างกัน ทำให้น้ำหนักชิ้นงานมีค่าแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญด้วยนัยสำคัญ 0.05

4.6.4 การวิเคราะห์การปรับค่าพารามิเตอร์ ในเรื่องการตั้งค่าเวลาฉีด (Injection time)

การดำเนินการผลิตในปัจจุบันจะกำหนดระดับของค่าเวลาฉีด อยู่ที่ 20 วินาที ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงแบ่งปัจจัยออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

1) ระดับที่ทำการของลดค่าเวลาฉีด เท่ากับ 15 วินาที

2) ระดับปัจจุบันของค่าเวลาฉีด เท่ากับ 20 วินาที

3) ระดับที่ทำการของเพิ่มค่าเวลาฉีด เท่ากับ 25 วินาที

ผู้วิจัยได้กำหนดระดับค่าเวลาฉีด ทั้ง 3 ระดับนี้ อันเนื่องมาจากคำแนะนำของคู่มือการใช้งานของเครื่องฉีดพลาสติกรุ่น MMCII-650 การปรับตั้งค่าแรงดันในการฉีดพลาสติก ควรปรับเพิ่มหรือลดที่ละ 5 เพื่อให้สามารถเห็นผลของการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน

แนวทางการวิเคราะห์ โดยการทดลองค่าเวลาฉีด ทั้ง 3 ระดับ ทดลองระดับละ 5 ครั้ง ส่วนปัจจัยอื่นที่ไม่ใช่ค่าเวลาฉีด จะคงไว้ ณ ค่าปัจจุบัน ดังแสดงผลที่ได้ ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองค่าเวลาฉีด (Injection Time)

การตั้งค่าเวลาฉีด	1	2	3	4	5	Total	Average	Defect
15	1,196	1,199	1,201	1,204	1,197	5,997.00	1,199.40	0
20	1,200	1,205	1,192	1,202	1,197	5,996.00	1,199.20	1
25	1,198	1,194	1,199	1,201	1,196	5,988.00	1,197.60	1

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.13 พบว่าค่าเวลาฉีด ที่ได้จากน้ำหนักของชิ้นงาน 1,210 ±15 กรัม ดังนั้นผู้ทำวิจัยและทีมงานจึงเลือกทำการตั้งสมมติฐานการทดลองดังนี้

ค่า P-Value$\leq\alpha$ หมายถึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 (Accept H_1)

ค่า P-Value$>\alpha$ หมายถึง ไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0

H_0: การตั้งค่าเวลาฉีดต่างกัน ทำให้น้ำหนักชิ้นงานมีค่าไม่แตกต่างกัน

H_1: การตั้งค่าเวลาฉีดต่างกัน ทำให้น้ำหนักชิ้นงานมีค่าแตกต่างกัน

ผลการการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรม MINITAB ได้ผลดังภาพที่ 4.29

One-way ANOVA: Weight versus Injection time

```
Source          DF     SS    MS     F      P
Injection time   2    9.7   4.9  0.35  0.715
Error           12  169.2  14.1
Total           14  178.9

S = 3.755   R-Sq = 5.44%   R-Sq(adj) = 0.00%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N     Mean  StDev   ----+---------+---------+---------+-----
15     5  1199.40   3.21          (--------------*-------------)
20     5  1199.20   4.97        (--------------*-------------)
25     5  1197.60   2.70   (--------------*--------------)
                           ----+---------+---------+---------+-----
                          1195.0    1197.5    1200.0    1202.5

Pooled StDev = 3.75
```

ภาพที่ 4.29 ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรมแกรม MINITAB การตั้งค่าเวลาฉีด

ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.715 เพราะฉะนั้นจึงไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 จึงสามารถสรุปได้ว่า การตั้งค่าเวลาฉีด ต่างกัน ทำให้น้ำหนักชิ้นงานมีค่าไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญด้วยนัยสำคัญ 0.05

4.6.5 การวิเคราะห์การปรับค่าพารามิเตอร์ ในเรื่องการตั้งค่าอุณหภูมิฉีด (Injection temperature)

การดำเนินการผลิตในปัจจุบันจะกำหนดระดับของค่าอุณหภูมิฉีดอยู่ที่ 215 องศาเซลเซียส ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงแบ่งปัจจัยออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

1) ระดับที่ทำการของลดค่าอุณหภูมิฉีด เท่ากับ 210 องศาเซลเซียส

2) ระดับปัจจุบันของค่าอุณหภูมิฉีด เท่ากับ 215 องศาเซลเซียส

3) ระดับที่ทำการของเพิ่มค่าอุณหภูมิฉีด เท่ากับ 220 องศาเซลเซีย

ผู้วิจัยได้กำหนดระดับค่าอุณหภูมิฉีด ทั้ง 3 ระดับนี้ อันเนื่องมาจากคำแนะนำของคู่มือการใช้งานของเครื่องฉีดพลาสติกรุ่น MMCII-650 การปรับตั้งค่าอุณหภูมิฉีด ควรปรับเพิ่มหรือลดที่ละ 5 เพื่อให้สามารถเห็นผลของการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน

แนวทางการวิเคราะห์ โดยการทดลองค่าอุณหภูมิฉีด ทั้ง 3 ระดับ ทดลองระดับละ 5 ครั้ง ส่วนปัจจัยอื่นที่ไม่ใช่ค่าอุณหภูมิฉีด จะคงไว้ ณ ค่าปัจจุบัน ดังแสดงผลที่ได้ ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองค่าอุณหภูมิฉีด

การตั้งค่าอุณหภูมิฉีด	1	2	3	4	5	Total	Average	Defect
210	1,189	1,197	1,185	1,193	1,200	5,964.00	1,192.80	3
215	1,200	1,205	1,192	1,202	1,197	5,996.00	1,199.20	1
220	1,200	1,203	1,221	1,210	1,222	6,056.00	1,211.20	0

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.14 พบว่าค่าอุณหภูมิฉีด ที่ได้จากน้ำหนักของชิ้นงาน 1,210 ±15 กรัม ดังนั้นผู้ทำวิจัยและทีมงานจึงเลือกทำการตั้งสมมติฐานการทดลองดังนี้

ค่า P-Value$\leq\alpha$ หมายถึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 (Accept H_1)

ค่า P-Value$>\alpha$ หมายถึงไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0

H_0: การตั้งค่าอุณหภูมิฉีดต่างกัน ทำให้น้ำหนักชิ้นงานมีค่าไม่แตกต่างกัน

H_1: การตั้งค่าอุณหภูมิฉีดต่างกัน ทำให้น้ำหนักชิ้นงานมีค่าแตกต่างกัน

ผลการการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรม MINITAB ได้ผลดังภาพที่ 4.30

One-way ANOVA: Weight versus Injection temperature

```
Source                  DF      SS     MS     F      P
Injection temperature    2   872.5  436.3  8.05  0.006
Error                   12   650.4   54.2
Total                   14  1522.9

S = 7.362   R-Sq = 57.29%   R-Sq(adj) = 50.18%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N     Mean  StDev  ----+---------+---------+---------+-----
210    5  1192.80   6.02  (-------*-------)
215    5  1199.20   4.97        (-------*-------)
220    5  1211.20  10.08                (-------*-------)
                          ----+---------+---------+---------+-----
                            1190      1200      1210      1220

Pooled StDev = 7.36
```

ภาพที่ 4.30 ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรมแกรม MINITAB การตั้งค่าอุณหภูมิฉีด

ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.006 เพราะฉะนั้นจึงสามารถปฏิเสธสมมติฐาน H_0 จึงสามารถสรุปได้ว่า การตั้งค่าอุณหภูมิฉีด ต่างกัน ทำให้น้ำหนักชิ้นงานมีค่าแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญด้วยนัยสำคัญ 0.05

4.6.6 การวิเคราะห์การปรับค่าพารามิเตอร์ ในเรื่องการตั้งค่าเวลาการหล่อเย็น (Cooling time)

การดำเนินการผลิตในปัจจุบันจะกำหนดระดับของเวลาการหล่อเย็น อยู่ที่ 95 วินาที ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงแบ่งปัจจัยออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

1) ระดับที่ทำการของลดค่าเวลาการหล่อเย็น เท่ากับ 90 วินาที
2) ระดับปัจจุบันของค่าเวลาการหล่อเย็น เท่ากับ 95 วินาที
3) ระดับที่ทำการของเพิ่มค่าเวลาการหล่อเย็น เท่ากับ 100 วินาที

ผู้วิจัยได้กำหนดระดับค่าเวลาการหล่อเย็น ทั้ง 3 ระดับนี้ อันเนื่องมาจากคำแนะนำของคู่มือการใช้งานของเครื่องฉีดพลาสติกรุ่น MMCII-650 การปรับตั้งค่าเวลาการหล่อเย็น ควรปรับเพิ่มหรือลดที่ละ 5 เพื่อให้สามารถเห็นผลของการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน

แนวทางการวิเคราะห์ โดยการทดลองค่าเวลาการหล่อเย็น ทั้ง 3 ระดับ ทดลองระดับละ 5 ครั้ง ส่วนปัจจัยอื่นที่ไม่ใช่ค่าเวลาการหล่อเย็น จะคงไว้ ณ ค่าปัจจุบัน ดังแสดงผลที่ได้ ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองค่าเวลาการหล่อเย็น

การตั้งค่าเวลาการหล่อเย็น	1	2	3	4	5	Total	Average	Defect
90	1,208	1,201	1,193	1,197	1,202	6,001.00	1,200.20	1
95	1,200	1,205	1,192	1,202	1,197	5,996.00	1,199.20	1
100	1,203	1,201	1,196	1,203	1,197	6,000.00	1,200.00	0

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.15 พบว่าค่าเวลาการหล่อเย็น ที่ได้จากน้ำหนักของชิ้นงาน 1,210 ±15 กรัม ดังนั้นผู้ทำวิจัยและทีมงานจึงเลือกทำการตั้งสมมติฐานการทดลองดังนี้

ค่า P-Value$\leq\alpha$ หมายถึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 (Accept H_1)

ค่า P-Value$>\alpha$ หมายถึงไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0

H_0: การตั้งค่าเวลาการหล่อเย็นต่างกัน ทำให้น้ำหนักชิ้นงานมีค่าไม่แตกต่างกัน

H_1: การตั้งค่าเวลาการหล่อเย็นต่างกัน ทำให้น้ำหนักชิ้นงานมีค่าแตกต่างกัน

ผลการการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรม MINITAB ได้ผลดังภาพที่ 4.31

One-way ANOVA: Weight versus Cooling time

```
Source        DF     SS    MS     F      P
Cooling time   2    2.8   1.4  0.06  0.940
Error         12  269.6  22.5
Total         14  272.4

S = 4.740   R-Sq = 1.03%   R-Sq(adj) = 0.00%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N     Mean  StDev  --------+---------+---------+---------+-
 90    5  1200.20   5.63     (---------------*--------------)
 95    5  1199.20   4.97  (--------------*---------------)
100    5  1200.00   3.32     (--------------*--------------)
                          --------+---------+---------+---------+-
                             1197.0    1200.0    1203.0    1206.0

Pooled StDev = 4.74
```

ภาพที่ 4.31 ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรมแกรม MINITAB การตั้งค่าเวลาการหล่อเย็น

ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.940 เพราะฉะนั้นจึงไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 จึงสามารถสรุปได้ว่า การตั้งค่าเวลาการหล่อเย็น ต่างกัน ทำให้น้ำหนักชิ้นงานมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญด้วยนัยสำคัญ 0.05

4.6.7 การวิเคราะห์การปรับค่าพารามิเตอร์ ในเรื่องการตั้งค่าฉีดย้ำ (Holding pressure)

การดำเนินการผลิตในปัจจุบันจะกำหนดระดับของฉีดย้ำ อยู่ที่ 10 Bar ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงแบ่งปัจจัยออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

1) ระดับที่ทำการของลดค่าฉีดย้ำ เท่ากับ 5 Bar

2) ระดับปัจจุบันของค่าฉีดย้ำ เท่ากับ 10 Bar

3) ระดับที่ทำการของเพิ่มค่าฉีดย้ำ เท่ากับ 15 Bar

ผู้วิจัยได้กำหนดระดับค่าฉีดย้ำ ทั้ง 3 ระดับนี้ อันเนื่องมาจากคำแนะนำของคู่มือการใช้งานของเครื่องฉีดพลาสติกรุ่น MMCII-650 การปรับตั้งค่าฉีดย้ำ ควรปรับเพิ่มหรือลดที่ละ 5 เพื่อให้สามารถเห็นผลของการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน

แนวทางการวิเคราะห์ โดยการทดลองค่าฉีดย้ำ ทั้ง 3 ระดับ ทดลองระดับละ 5 ครั้ง ส่วนปัจจัยอื่นที่ไม่ใช่ค่าฉีดย้ำ จะคงไว้ ณ ค่าปัจจุบัน ดังแสดงผลที่ได้ ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ผลการทดลองค่าฉีดย้ำ

การตั้งค่า Holding pressure	1	2	3	4	5	Total	Average	Defect
5	1,194	1,201	1,202	1,202	1,196	5,995.00	1,199.00	1
10	1,200	1,205	1,192	1,202	1,197	5,996.00	1,199.20	1
15	1,202	1,195	1,198	1,197	1,202	5,994.00	1,198.80	0

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.16 พบว่าค่าฉีดย้ำ ที่ได้จากน้ำหนักของชิ้นงาน 1,210 ±15 กรัม ดังนั้นผู้ทำวิจัยและทีมงานจึงเลือกทำการตั้งสมมติฐานการทดลองดังนี้

ค่า P-Value$\leq\alpha$ หมายถึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 (Accept H_1)

ค่า P-Value$>\alpha$ หมายถึงไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0

H_0: การตั้งค่าฉีดย้ำต่างกัน ทำให้น้ำหนักชิ้นงานมีค่าไม่แตกต่างกัน

H_1: การตั้งค่าฉีดย้ำต่างกัน ทำให้น้ำหนักชิ้นงานมีค่าแตกต่างกัน

ผลการการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรม MINITAB ได้ผลดังภาพที่ 4.32

One-way ANOVA: Weight versus Holding pressure

```
Source            DF     SS    MS     F      P
Holding pressure   2    0.4   0.2  0.01  0.988
Error             12  193.6  16.1
Total             14  194.0

S = 4.017   R-Sq = 0.21%   R-Sq(adj) = 0.00%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level  N     Mean  StDev      +---------+---------+---------+---------
 5     5  1199.00   3.74      (-----------------*-----------------)
10     5  1199.20   4.97       (-----------------*-----------------)
15     5  1198.80   3.11      (-----------------*-----------------)
                             +---------+---------+---------+---------
                          1195.0    1197.5    1200.0    1202.5

Pooled StDev = 4.02
```

ภาพที่ 4.32 ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรมแกรม MINITAB การตั้งค่าฉีดย้ำ

ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.988 เพราะฉะนั้นจึงไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 จึงสามารถสรุปได้ว่า การตั้งค่าฉีดย้ำ ต่างกัน ทำให้น้ำหนักชิ้นงานมีค่าไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญด้วยนัยสำคัญ 0.05

4.6.8 สรุปผลการดำเนินงานการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากผลการดำเนินงานในขั้นตอนการวิเคราะห์ โดยเริ่มจากการนำปัจจัยที่มีผลกระทบต่อโครงการที่ได้มาจากขั้นตอนการวัดผลมาทำการทดลองซึ่งผลของการวิเคราะห์ พบว่า การตั้งค่าแรงดันฉีด การตั้งค่าความเร็วฉีด และการตั้งค่าอุณหภูมิฉีด ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน โดยผลต่อค่าน้ำหนักของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะนำไปพิจาณาในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการต่อไป

4.7 ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase)

4.7.1 การออกแบบการทดลองแบบ 2^3 Full factorial

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการออกแบบ และทำการทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างตัวแปรตอบสนองของกระบวนการ Key Process Output Variable (KPOV) กับปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองของกระบวนการ นั้น ๆ และหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยที่จะทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองของกระบวนการที่ดีที่สุด

จากการวิเคราะห์จากการทดลองวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อกลั่นกรองปัจจัยต่าง ๆ (Screening factor) มีปัจจัยที่ต้องปรับปรุงคือ 1.การตั้งค่าแรงดันฉีด 2.การตั้งค่าความเร็วฉีด และ3.การตั้งค่าอุณหภูมิฉีด โดยยังไม่ทราบค่าปัจจัยที่เหมาะสมดังนั้นผู้ทำการวิจัยและทีมงานจึงทำการกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.17 และออกแบบการทดลองเพื่อหาหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมโดยใช้การทดลองแบบ 2^3 Full Factorial

ตารางที่ 4.17 คุณลักษณะของปัจจัยป้อนเข้าในแบบการทดลอง

Factor	KPIV		Unit
	Current (-)	New (+)	
Injection Pressure	20	25	Bar
Injection Speed	10	12	%
Injection Temperature	215	220	°C

จากตารางที่ 4.17 เป็นคุณลักษณะของปัจจัยป้อนเข้าในแบบการทดลองโดยมี 3 ปัจจัย ซึ่งทั้งสามปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ โดยมาจากคู่มือการใช้งานของเครื่องฉีดพลาสติกรุ่น MMCII-650 ปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน (Shot short molding) นี้ ถ้าวิเคราะห์แล้วพบว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับ 1.การ

ตั้งค่าแรงดันฉีด 2.การตั้งค่าความเร็วฉีด และ 3.การตั้งค่าอุณหภูมิฉีด ควรปรับตั้งค่าต่างๆนี้เพิ่มขึ้น จึงทำให้ได้ปัจจัย 2 ระดับ คือค่าที่ใช้ในปัจจุบัน (-) และค่าที่ปรับเพิ่มขึ้น (+) และแบบการทดลองดังกล่าวจะใช้การทดลองแบบ 2^k โดยการทดลองจะกำหนดค่าการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง เนื่องจากต้องการทราบสาเหตุที่ชัดเจน ดังนั้นจึงเลือกทดลองแบบ 2^k ได้แบบการทดลอง 16 การทดลองดังภาพที่ 4.33 จากนั้นทีมงานได้ทำการทดลองซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.18

Full Factorial Design

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

ภาพที่ 4.33 ผลการออกแบบโดยใช้โปรมแกรม MINITAB

ตารางที่ 4.18 ผลการทดลองแบบ 2^3 Full factorial

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Pressure (Bar)	Speed (%)	Temp. (°C)	Weight (g)
1	6	1	1	20	10	215	1,195
2	8	1	1	25	10	215	1,204
3	10	1	1	20	12	215	1,198
4	13	1	1	25	12	215	1,209
5	14	1	1	20	10	220	1,194
6	5	1	1	25	10	220	1,212
7	4	1	1	20	12	220	1,208
8	11	1	1	25	12	220	1,218
9	1	1	1	20	10	215	1,193
10	15	1	1	25	10	215	1,203
11	16	1	1	20	12	215	1,199
12	3	1	1	25	12	215	1,209
13	9	1	1	20	10	220	1,195
14	12	1	1	25	10	220	1,212
15	7	1	1	20	12	220	1,208
16	2	1	1	25	12	220	1,219

จากตารางที่ 4.18 เป็นผลการทดลอง 16 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างตัวแปรตอบสนองของกระบวนการกับปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองของกระบวนการนั้นๆ โดยผลการทดลองข้างต้นจะนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ร่วมของแต่ละปัจจัยโดยใช้โปรแกรม MINITAB ช่วยในการวิเคราะห์

1) การวิเคราะห์การทดลองแบบ 2^3 แฟคทอเรียล

Factorial Fit: Weight versus Pressure, Speed, Temp.

Estimated Effects and Coefficients for Weight (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		1204.75	0.1768	6815.10	0.000
Pressure	12.00	6.00	0.1768	33.94	0.000
Speed	7.50	3.75	0.1768	21.21	0.000
Temp.	7.00	3.50	0.1768	19.80	0.000
Pressure*Speed	-1.50	-0.75	0.1768	-4.24	0.003
Pressure*Temp.	2.00	1.00	0.1768	5.66	0.000
Speed*Temp.	2.50	1.25	0.1768	7.07	0.000
Pressure*Speed*Temp.	-2.00	-1.00	0.1768	-5.66	0.000

S = 0.707107 PRESS = 16
R-Sq = 99.63% R-Sq(pred) = 98.50% R-Sq(adj) = 99.30%

Analysis of Variance for Weight (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	997.00	997.000	332.333	664.67	0.000
2-Way Interactions	3	50.00	50.000	16.667	33.33	0.000
3-Way Interactions	1	16.00	16.000	16.000	32.00	0.000
Residual Error	8	4.00	4.000	0.500		
Pure Error	8	4.00	4.000	0.500		
Total	15	1067.00				

ภาพที่ 4.34 การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB 2^3 แฟคทอเรียล

2) สรุปผลการทดลองแบบ 2^3 แฟคทอเรียล

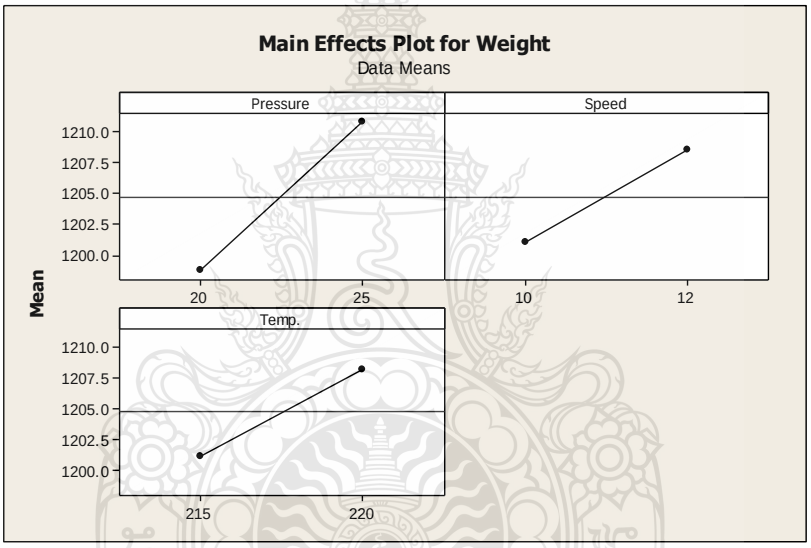
- จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า การตั้งค่าแรงดันฉีด การตั้งค่าความเร็วฉีด และ การตั้งค่าอุณหภูมิฉีด แต่ละปัจจัยมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยทั้งสามข้างต้นมีผลต่อน้ำหนักชิ้นงานที่ทำให้เกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน ในกระบวนการฉีดพลาสติก

- จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้างต้น พบว่า ปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างการตั้งค่าแรงดันฉีด กับการตั้งค่าความเร็วฉีด และการตั้งค่าแรงดันฉีด กับการตั้งค่าอุณหภูมิฉีด และการตั้งค่า

ความเร็วฉีด และการตั้งค่าอุณหภูมิฉีด มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างกันทั้งสามข้างต้นมีผลต่อน้ำหนักชิ้นงานที่ทำให้เกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน ในกระบวนการฉีดพลาสติก

- จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้างต้น พบว่า ปฏิกิริยาสัมพันธ์ทั้งสามปัจจัยระหว่างการตั้งค่าแรงดันฉีด กับการตั้งค่าความเร็วฉีด กับการตั้งค่าอุณหภูมิฉีด สรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างกันทั้งสามข้างต้นมีผลต่อน้ำหนักชิ้นงานที่ทำให้เกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน ในกระบวนการฉีดพลาสติก

ผลการทดลองแบบ 2^3 Full factorial เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยเดี่ยว ความแปรปรวนร่วม และผล Factorial plot แสดงได้ดังภาพที่ 4.35

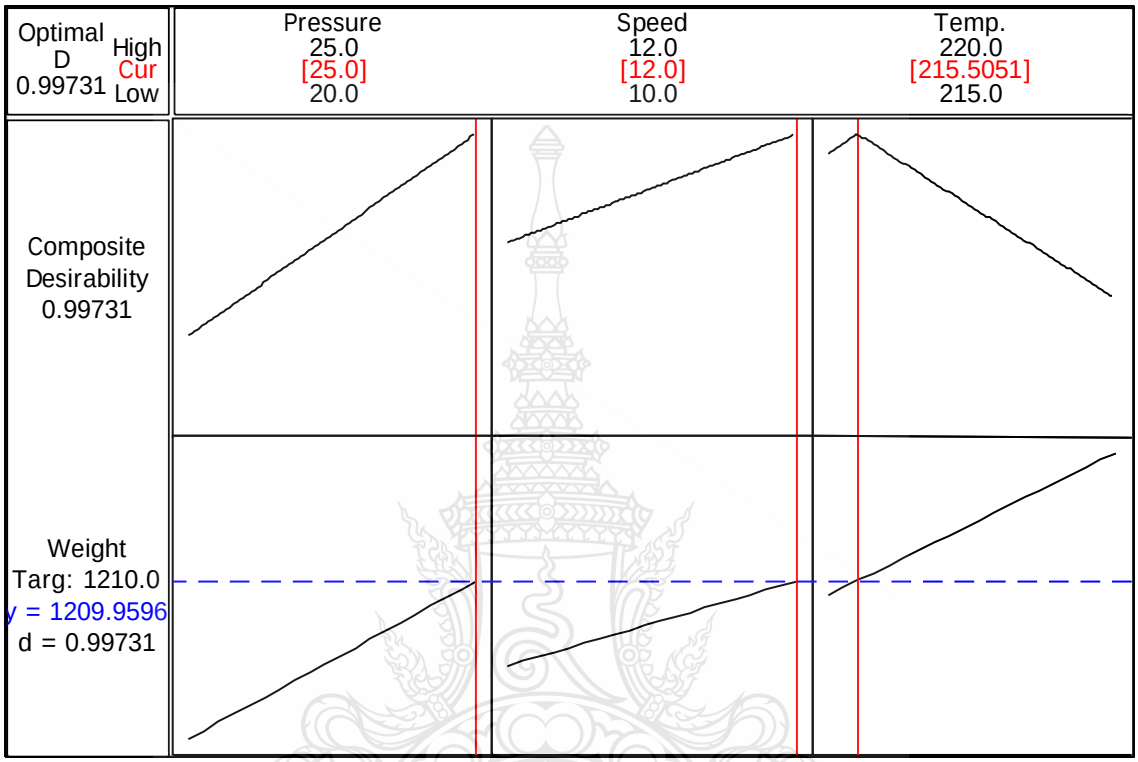


ภาพที่ 4.35 ผลกระทบหลักของปัจจัยเดี่ยว

จากภาพที่ 4.35 เป็นการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของสาเหตุหลักแต่ละตัวจากการปรับตั้งค่าที่ต่ำที่สุดไปสู่ค่าที่สูงที่สุด ซึ่งจะมีแนวโน้มการเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน โดยการตั้งค่าแรงดันฉีด เปลี่ยนแปลงจาก 20 Bar เพิ่มเป็น 25 Bar จะทำให้น้ำหนักของชิ้นงานเพิ่มขึ้น และเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน ลดน้อยลง การตั้งค่าความเร็วฉีด เปลี่ยนแปลงจาก 10 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มเป็น 12 เปอร์เซ็นต์ ทำให้น้ำหนักของชิ้นงานเพิ่มขึ้น และเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน ลดน้อยลง และการตั้งค่าอุณหภูมิฉีด จากการเปลี่ยนแปลงช่วงอุณหภูมิจาก 215°C เพิ่มขึ้นเป็น 220°C ทำให้น้ำหนักของชิ้นงานเพิ่มขึ้น และเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานลดน้อยลงเช่นเดียวกัน

3) การกำหนดค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง

การทดลองหาค่าตอบสนองค่าน้ำหนักชิ้นงาน โดยกำหนดระดับค่าน้ำหนักชิ้นงานควรอยู่ที่น้ำหนัก 2,010 กรัม ดังแสดงในภาพที่ 4.36



ภาพที่ 4.36 ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสม

จากภาพที่ 4.36 พบว่า เพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักของชิ้นงานที่ 2,010 กรัม จะต้องกำหนดควบคุมปัจจัยในการผลิต คือ การตั้งค่าแรงดันฉีด อยู่ที่ระดับ 25 Bar การตั้งค่าความเร็วฉีด อยู่ที่ระดับ 12 เปอร์เซ็นต์ และการตั้งค่าอุณหภูมิฉีด อยู่ที่ระดับ 215.5051 °C แต่ในการปฏิบัติงานจริงการตั้งค่าอุณหภูมิฉีด ไม่สามารถที่จะปรับระดับได้ละเอียดตามผลการศึกษา จึงต้องกำหนดไว้ที่ระดับ 215 °C

4.7.2 สรุปผลการดำเนินงานการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

จากการดำเนินงานในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ พบว่า จากปัจจัยที่มีผลต่อค่าน้ำหนักของชิ้นงานในกระบวนการฉีดพลาสติก ได้แก่ การตั้งค่าแรงดันฉีด การตั้งค่าความเร็วฉีด และ การตั้งค่าอุณหภูมิฉีด เพื่อทำการปรับปรุงค่าน้ำหนักของชิ้นงานให้มีค่าเท่ากับ 2,010 กรัมโดยเริ่มต้นจากการทดลองแบบ 2^3 แฟคทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง พบว่า นอกจากสามปัจจัยข้างต้นแล้ว ยังพบว่ามีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างการตั้งค่าแรงดันฉีด กับการตั้งค่าความเร็วฉีด การตั้งค่า

แรงดันฉีด กับการตั้งค่าอุณหภูมิฉีด และกับการตั้งค่าความเร็วฉีด กับการตั้งค่าอุณหภูมิฉีด ยังมีผลต่อค่าน้ำหนักของชิ้นงานอีกด้วย

ดังนั้นการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่ดีที่สุดในการผลิตจำเป็นต้องใช้การวิธีการหาพื้นผิวตอบสนองกำลังสอง ทำให้ทราบสภาวะระดับที่เหมาะสมในการผลิต คือ การตั้งค่าแรงดันฉีดอยู่ที่ระดับ 25 Bar การตั้งค่าความเร็วฉีด อยู่ที่ระดับ 12 เปอร์เซ็นต์ และการตั้งค่าอุณหภูมิฉีด อยู่ที่ระดับ 215.5051 °C แต่ในการปฏิบัติงานจริงการตั้งค่าอุณหภูมิฉีด ไม่สามารถที่จะปรับระดับได้ละเอียดตามผลการศึกษา จึงต้องกำหนดไว้ที่ระดับ 215°C ซึ่งหลังจากขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการแล้วนั้นก็จะได้นำปัจจัยนำเข้าเหล่านี้ไปใช้ในกระบวนการผลิตและเพื่อที่สามารถป้องกันสาเหตุของปัญหาที่ได้รับการแก้ไขแล้วมิให้เกิดขึ้นอีกดังนั้นการควบคุมปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีความจำเป็น โดยมีรายละเอียดดังขั้นตอนต่อไป

4.8 ขั้นตอนการควบคุม (Control phase)

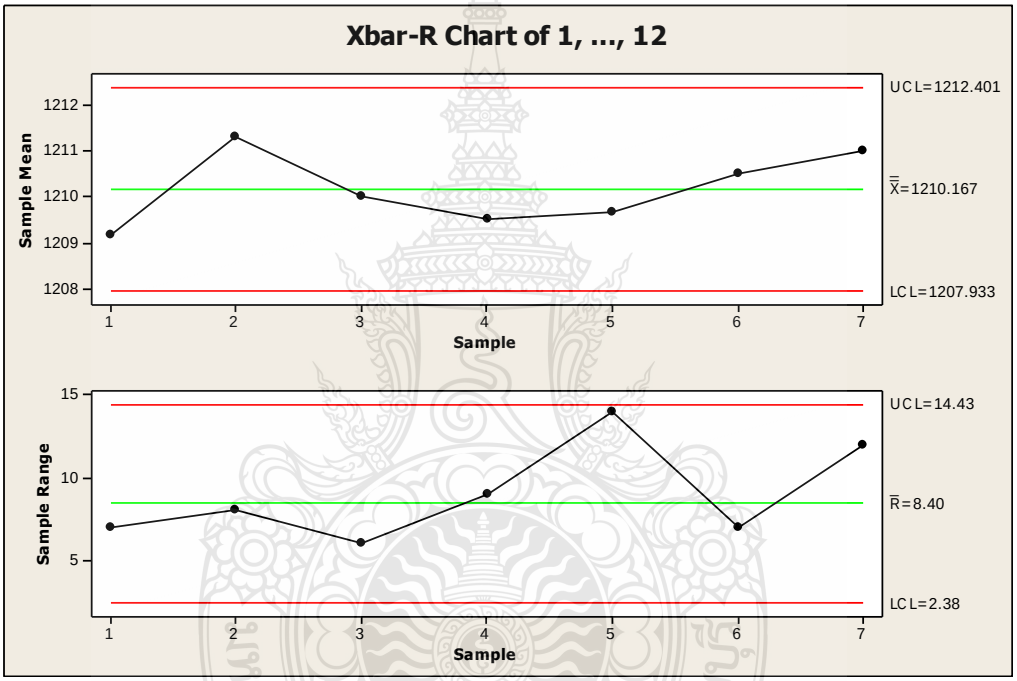
การควบคุมข้อบกพร่องต่าง ๆ ซึ่งจะมีผลทั้งทางตรงและทางอ้อม ต้องพยายามควบคุมระบบการทำงานเพื่อจะไม่ให้เกิดปัญหาซ้ำอีก หรือเป็นการตรวจติดตามปัญหาอย่างต่อเนื่องเพื่อดูความผิดปกติของกระบวนการและต้องควบคุมทั้งปัจจัยภายในและภายนอกด้วย โดยได้ทำการออกแบบและทดลองจัดสร้างระบบเอกสารการปฏิบัติงานในการควบคุมคุณภาพดังนี้

4.8.1 แนวทางการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ

จากขั้นตอนของการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการที่ผ่านมา ทำให้ทราบถึงปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญต่อผลลัพธ์ของกระบวนการ และค่าระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม ซึ่งการควบคุมตัวแปรต่างๆ วัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบและควบคุมปัจจัยนำเข้าที่ได้จากขั้นตอนของการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ โดยการควบคุมจะอาศัยคู่มือการปฏิบัติงาน (Work instruction) และเทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (SPC) โดยการตั้งค่าแรงดันฉีด อยู่ที่ระดับ 25 Bar การตั้งค่าความเร็วฉีด อยู่ที่ระดับ 12 เปอร์เซ็นต์ และการตั้งค่าอุณหภูมิฉีด อยู่ที่ระดับ 215 °C เนื่องจากค่าน้ำหนักของชิ้นงานเป็นข้อมูลเชิงแปรผัน ซึ่งจะใช้แผนภูมิควบคุม $\bar{X} - R$ โดยพิจารณาความผิดปกติที่เกิดขึ้นของค่าของน้ำหนักชิ้นงานที่บ่งบอกถึงสภาวะของกระบวนการที่ออกนอกการควบคุมเบื้องต้นจากการเก็บข้อมูลจากการอ่านค่าน้ำหนักชิ้นงานทุก ๆ 2 ชั่วโมง เป็นเวลา 7 วัน ดังตารางที่ 4.19 และสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 4.37

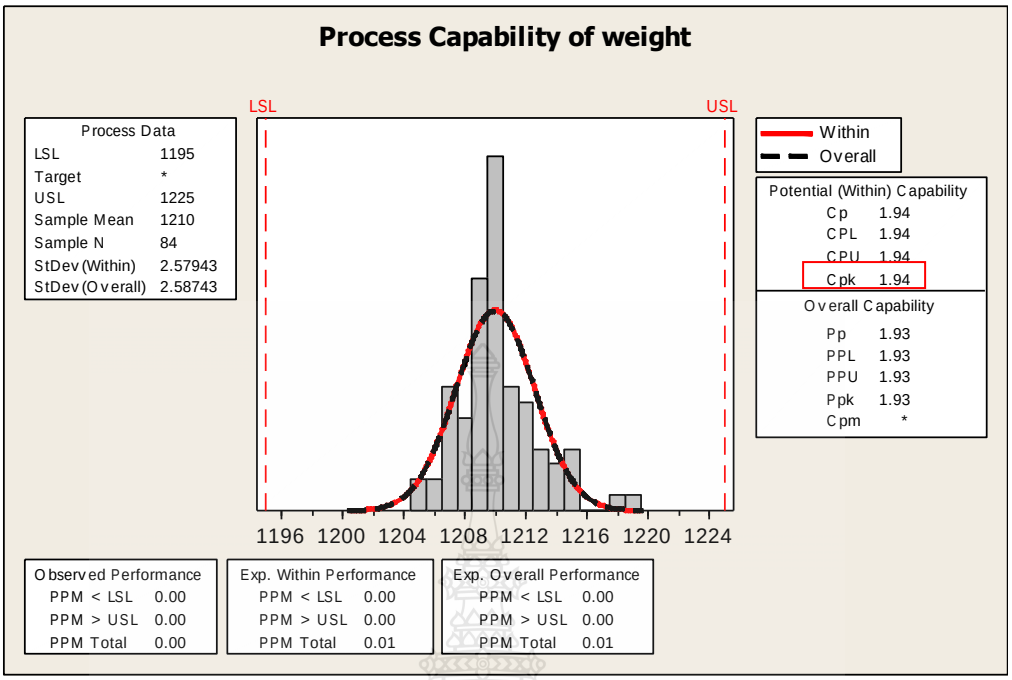
ตารางที่ 4.19 ข้อมูลค่าน้ำหนักชิ้นงานทุก ๆ 2 ชั่วโมงช่วงวันที่ 22-28 ส.ค. ปี 2554

วันที่	ครั้งที่/กรัม											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1,210	1,211	1,208	1,207	1,212	1,208	1,209	1,210	1,205	1,210	1,210	1,210
2	1,209	1,207	1,212	1,215	1,210	1,210	1,210	1,214	1,209	1,211	1,215	1,214
3	1,207	1,207	1,209	1,209	1,209	1,210	1,210	1,211	1,211	1,212	1,212	1,213
4	1,212	1,210	1,211	1,210	1,208	1,209	1,208	1,206	1,215	1,207	1,211	1,207
5	1,210	1,209	1,207	1,208	1,212	1,205	1,209	1,210	1,210	1,219	1,208	1,209
6	1,211	1,210	1,213	1,213	1,214	1,207	1,209	1,209	1,209	1,210	1,210	1,211
7	1,213	1,210	1,209	1,209	1,210	1,210	1,206	1,212	1,215	1,218	1,210	1,210
Total	**8,472**	**8,464**	**8,469**	**8,471**	**8,475**	**8,459**	**8,461**	**8,472**	**8,474**	**8,487**	**8,476**	**8,474**
Average	**1,210**	**1,209**	**1,210**	**1,210**	**1,211**	**1,208**	**1,209**	**1,210**	**1,211**	**1,212**	**1,211**	**1,211**



ภาพที่ 4.37 แผนภูมิควบคุม $\overline{X}-R$ สำหรับค่าน้ำหนักของชิ้นงาน

จากภาพที่ 4.37 แผนภูมิควบคุม $\overline{X}-R$ สำหรับค่าน้ำหนักของชิ้นงานพบว่ามีค่าอยู่ในช่วงการควบคุมของค่าเฉลี่ย (Mean) 2,010 กรัม ซึ่งจะไม่ส่งผลต่อการเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.38 ดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุง

จากภาพที่ 4.38 หลังจากการปรับปรุง และการควบคุมกระบวนการผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002 ได้ทำการหาค่าความสามารถกระบวนการ (Process capability index) Cpk พบว่ามีค่าเพิ่มเป็น 1.94 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานทั่วไป

4.8.2 สรุปผลการดำเนินงานการควบคุมตัวแปรต่างๆ

จากการดำเนินงานในขั้นตอนการควบคุมต่าง ๆ โดยการควบคุมปัจจัยการตั้งค่าแรงดันฉีดอยู่ที่ระดับ 25 Bar การตั้งค่าความเร็วฉีด อยู่ที่ระดับ 12 เปอร์เซ็นต์ และการตั้งค่าอุณหภูมิฉีด อยู่ที่ระดับ 215° C นั้น จะใช้เครื่องมือคู่มือการปฏิบัติงาน เพื่อแสดงถึงวิธีการปฏิบัติงานและขจัดความผิดพลาดอันเนื่องมาจากวิธีการปฏิบัติงาน รวมทั้งใช้เทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (SPC) เนื่องจากปัจจัยเป็นข้อมูลเชิงแปรผันดังนั้นจึงใช้แผนภูมิควบคุมชนิด $\overline{X} - R$ เพื่อเฝ้าติดตามกระบวนการว่ามีสิ่งที่ผิดปกติเกิดขึ้นหรือไม่ ซึ่งพบว่าจากการเก็บข้อมูลค่าน้ำหนักของชิ้นงาน ทุก 2 ชั่วโมงเป็นเวลา 7 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกับค่าระดับที่เหมาะสมในการผลิต

4.8.3 ผลการเก็บข้อมูลหลังทำการควบคุมข้อบกพร่อง

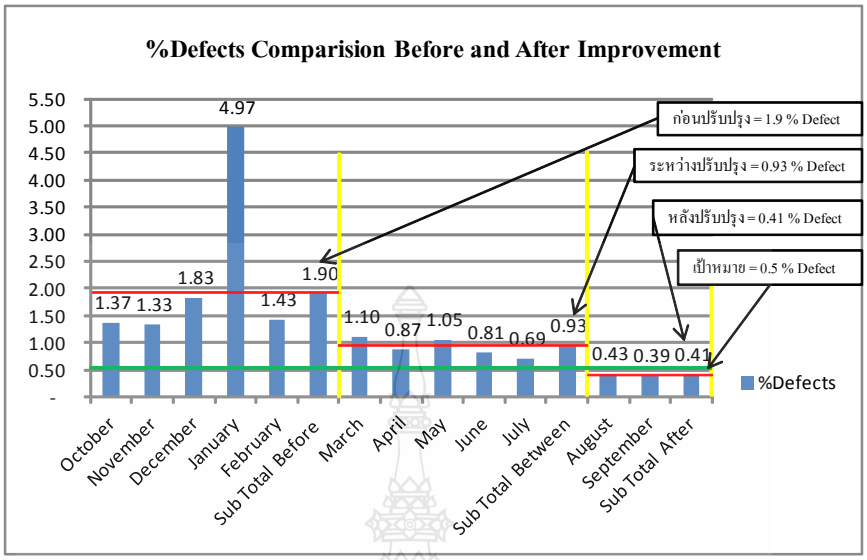
จากวัตถุประสงค์ในการทำการวิจัยฉบับนี้ คือ เพื่อลดการเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานที่เกิดขึ้น โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งหลังจากการดำเนินงานแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการซิกซ์ซิกม่าแล้ว ผู้วิจัยทำการนำเสนอผลการเก็บข้อมูลใหม่หลังการปรับปรุงเพื่อทำการเปรียบเทียบผลการ

เกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานก่อนและหลังจากทำการปรับปรุงรวมถึงทำการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 การเปรียบเทียบข้อมูลการการผลิต ก่อน ระหว่าง และหลังการปรับปรุง ของผลิตภัณฑ์ Slat 2051003002 ในกระบวนการฉีดพลาสติก เดือนตุลาคม พ.ศ. 2553-กันยายน พ.ศ. 2554

Status	Month	Year	Order	Defect	DPPM	%Defects	%Yield	%Sigma
Before Improvement	October	2010	34,025	472	13,682	1.37	98.63	3.71
	November	2010	35,747	482	13,304	1.33	98.67	3.72
	December	2010	54,493	1,018	18,339	1.83	98.17	3.59
	January	2011	18,750	981	49,719	4.97	95.03	3.15
	February	2011	35,805	518	14,261	1.43	98.57	3.69
	Sub Total Before		**178,820**	**3,471**	**19,040.98**	**1.90**	**98.10**	**3.57**
Between Improvement	March	2011	48,630	541	11,002	1.10	98.90	3.79
	April	2011	24,815	218	8,709	0.87	99.13	3.88
	May	2011	23,070	245	10,508	1.05	98.95	3.81
	June	2011	23,715	194	8,114	0.81	99.19	3.90
	July	2011	26,500	185	6,933	0.69	99.31	3.96
	Sub Total Between		**146,730**	**1,383**	**9,337.47**	**0.93**	**99.07**	**3.85**
After Improvement	August	2011	30,180	129	4,256	0.43	99.57	4.13
	September	2011	40,395	159	3,921	0.39	99.61	4.16
	Sub Total After		**70,575**	**288**	**4,064.18**	**0.41**	**99.59**	**4.15**

จากตารางที่ 4.20 พบว่า เมื่อทำการการเปรียบเทียบข้อมูลสถิติของปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน ก่อนการดำเนินการแก้ไขปัญหาช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2553- เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 พบว่ามีของเสียอยู่ที่ ค่าเฉลี่ย 1.9 % Defect ซึ่งไม่เป็นไปตามเป้าหมายขององค์กร ที่ เปอร์เซ็นต์ของเสียไม่เกิน 0.5 % Defect และผลจากการดำเนินงานแก้ไขและปรับปรุงปัญหาสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกจะเป็นการวิเคราะห์ปัญหาและช่วงกำลังปรับปรุงในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2554 – เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554 พบว่ามีของเสียอยู่ที่ ค่าเฉลี่ย 0.93 % Defect และช่วงที่สองจะเป็นผลหลังจากการทำการควบคุมปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาช่วง เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2554 - เดือนกันยายน พ.ศ. 2554 พบว่ามีของเสียอยู่ที่ ค่าเฉลี่ย 0.41 % Defect ซึ่งสามารถลดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานลงได้ตามเป้าหมายที่วางเอาไว้คือ เปอร์เซ็นต์ของเสียไม่เกิน 0.5% Defect และสามารถแสดงเป็นกราฟแนวโน้มการเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานก่อนและหลังการปรับปรุงดังภาพที่ 4.39

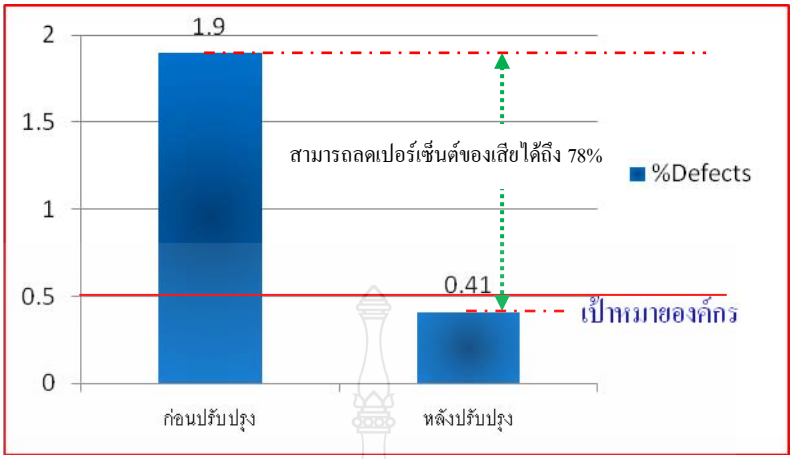


ภาพที่ 4.39 แนวโน้มการเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานก่อนและหลังการปรับปรุง

จากภาพที่ 4.39 ผลการเก็บข้อมูลพบว่าหลังการปรับปรุงแนวโน้มของปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานลดลงมากและมีความสม่ำเสมอ นั่นแสดงว่าผู้ทำการวิจัยสามารถแก้ปัญหาการเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานในกระบวนการฉีดพลาสติก และปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการ บรรลุอย่างที่ตั้งเป้าหมายไว้ได้

4.9 บทสรุปการดำเนินงาน

จากการดำเนินวิจัยในบทที่ 4 เป็นการแสดงให้เห็นถึงผลการดำเนินการวิจัยทั้งหมดในการดำเนินงานแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก คือ การกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น (Define phase) การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure phase) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis phase) การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve phase) และการควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control phase) ซึ่งผลจากการดำเนินงานแก้ไขปัญหาตามขั้นตอนดังกล่าวสามารถที่จะลดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน จากเดิมเฉลี่ยอยู่ที่ 1.9 % Defect 0.41 % Defect หรือ ลดลง 78 % แสดงดังภาพที่ 4.40 ซึ่งบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ได้คือ เปอร์เซ็นต์ของเสียไม่เกิน 0.5 % Defect สำหรับรายละเอียดผลการวิจัยที่กล่าวมานี้จะทำการสรุปให้เห็นรายละเอียดอีกครั้งในบทที่ 5 ซึ่งเป็นการสรุปการวิจัยทั้งหมดแยกในแต่ละขั้นตอน และยังกล่าวถึงข้อเสนอแนะในการนำไปปรับปรุงเพื่อใช้ในหน่วยงานอื่นต่อไป



ภาพที่ 4.40 สรุปผลการทดลองก่อนและหลังการปรับปรุง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการฉีดพลาสติก ของโรงงานกรณีศึกษา โดยทำการศึกษาในเรื่องปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน (Shot short molding) ของผลิตภัณฑ์ Slat 2051003002 โดยใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาแบบทั้งระบบ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนได้แก่ ขั้นตอนการระบุปัญหา (Define phase) ขั้นตอนการวัดผล (Measure phase) ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze phase) ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve phase) และขั้นตอนการควบคุม (Control phase) โดยผู้จัดทำได้ดำเนินการตามแนวทางทั้ง 5 ขั้นตอนซึ่งสามารถสรุปผลการดำเนินงานได้ดังนี้

5.1.1 ขั้นตอนการระบุปัญหา ตามแนวทางของเทคนิคซิกซ์ ซิกม่านั้นจะต้องพิจารณาถึงปัญหาที่มีผลกระทบต่อองค์กรในแง่ของธุรกิจเป็นหลัก โดยปัญหาที่เลือกมาคือปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานของผลิตภัณฑ์ Slat 2051003002 ซึ่งเป็นปัญหาหลักที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพโดยตรงของโรงงานกรณีศึกษา

5.1.2 ขั้นตอนการวัด ในขั้นตอนนี้ได้ทำการศึกษาถึงกระบวนการฉีดพลาสติก (Injection molding process) เพื่อเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์ปัญหา ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบชิ้นงาน ให้เกิดความถูกต้องและแม่นยำในการตรวจจับปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน ซึ่งได้ปรับปรุงระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบชิ้นงานให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ หลังจากนั้นได้มีการระดมสมองเพื่อจัดทำแผนภาพก้างปลาเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดของปัญหา รวมถึงการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากลักษณะข้อบกพร่อง ซึ่งจะเป็นการกำหนดปัจจัยเพื่อที่จะนำไปศึกษาต่อในเฟสการวิเคราะห์ได้แก่ การตั้งค่าแรงดันฉีด (Injection pressure) การตั้งค่าความเร็วฉีด (Injection speed การตั้งค่าเวลาฉีด (Injection time) การตั้งค่าอุณหภูมิฉีด (Injection temperature) การตั้งค่าเวลาการหล่อเย็น (Cooling time) และการตั้งค่าฉีดย้ำ (Holding pressure)

5.1.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ ในขั้นตอนนี้ได้นำปัจจัยที่ได้จากขั้นตอนการวัดทั้ง 6 ปัจจัยมาทดสอบสมมุติฐานว่ามีผลต่อการเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานหรือไม่โดยขั้นตอนการศึกษาวิเคราะห์นั้น เป็นการนำแต่ละข้อบกพร่องมาพิจารณาโดยการทดลองโดยผลการเปรียบเทียบคืออัตราการเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานที่เครื่องชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำผลที่ได้จาการทดลองของแต่ละปัจจัยมาทำการทดสอบสมมุติฐานโดยใช้วิธีทดสอบด้วย ANOVA TEST เพื่อทดสอบความแตกต่างของแต่ละปัจจัยก่อนและหลังการปรับปรุงมีความแตกต่างกันหรือไม่ ผลการทดสอบสมมุติฐาน

สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน คือ การตั้งค่าแรงดันฉีด การตั้งค่าความเร็วฉีด และการตั้งค่าอุณหภูมิฉีด

5.1.4 ขั้นตอนการปรับปรุง ในขั้นตอนนี้ได้นำปัจจัยที่มีผลมาทำการปรับปรุงโดยยังไม่ทราบค่าปัจจัยที่เหมาะสมดังนั้นจึงทำการทดลองซ้ำโดยการกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยต่าง ๆ และออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมโดยใช้การทดลองแบบ 2^3 Full Factorial ผลการทดลองพบว่าการตั้งค่าแรงดันฉีด อยู่ที่ระดับ 25 Bar การตั้งค่าความเร็วฉีดอยู่ที่ระดับ 12 เปอร์เซ็นต์ และและการตั้งค่าอุณหภูมิฉีด อยู่ที่ระดับ 215 °C เป็นค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดและสามารถลดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานลงได้

5.1.5 ขั้นตอนการควบคุม ในขั้นตอนนี้มีความจำเป็นจะทำการควบคุม คือ การควบคุมจะอาศัยคู่มือการปฏิบัติงาน (Work instruction) และเทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (SPC) โดยการตั้งค่าแรงดันฉีด อยู่ที่ระดับ 25 Bar การตั้งค่าความเร็วฉีด อยู่ที่ระดับ 12 เปอร์เซ็นต์ และการตั้งค่าอุณหภูมิฉีด อยู่ที่ระดับ 215 °Cเนื่องจากค่าน้ำหนักของชิ้นงานเป็นข้อมูลเชิงแปรผัน (Variable data) ซึ่งจะใช้แผนภูมิควบคุม $\overline{X} - R$

5.2 อภิปรายผลการดำเนินงาน

จากการประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า มาช่วยปัญหาการฉีดไม่เต็มในกระบวนการฉีดพลาสติก พบว่าก่อนการปรับปรุงเกิดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน เฉลี่ย 1.9 % Defect และค่าความสามารถกระบวนการ (Process capability index) Cpk เท่ากับ 1.14 ผลจากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยแผนภาพก้างปลา การระดมสมอง และการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาคือ การตั้งค่าแรงดันฉีด การตั้งค่าความเร็วฉีด การตั้งค่าเวลาฉีด การตั้งค่าอุณหภูมิฉีด การตั้งค่าเวลาการหล่อเย็น และการตั้งค่าฉีดย้ำ จากการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ 5% การตั้งค่าแรงดันฉีด การตั้งค่าความเร็วฉีด และการตั้งค่าอุณหภูมิฉีด มีผลต่อปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน อย่างมีนัยสำคัญ และจากการปรับปรุงด้วยการออกแบบการทดลองแบบ 2^3 Full Factorial เพื่อทำการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย พบว่าปริมาณ การตั้งค่าแรงดันฉีด อยู่ที่ระดับ 25 Bar การตั้งค่าความเร็วฉีด อยู่ที่ระดับ 12 เปอร์เซ็นต์ และการตั้งค่าอุณหภูมิฉีด อยู่ที่ระดับ 215 °C ทำให้สามารถลดปัญหาการฉีดไม่เต็มชิ้นงานในกระบวนการฉีดพลาสติก ได้ถึง 78% คืออยู่ค่าเฉลี่ย 0.41% Defect และเพิ่มค่าความสามารถกระบวนการเป็น 1.94 ทำให้เป็นไปตามเป้าหมายที่องค์กรตั้งไว้คือ ของเสียไม่เกิน 0.5 % Defect

5.3 ข้อดีและข้อเสียในการดำเนินงานแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า

5.2.1 ข้อดี

1) เนื่องจากการการดำเนินงานตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่า นั้น ทุกคนในองค์กรจะมีส่วนร่วมในการพัฒนาและแก้ไขปัญหาอย่างเป็นทีม ดังนั้นทุกตำแหน่งในคณะทำงานล้วนมีบทบาทสำคัญอันจะสร้างความสามัคคีในหมู่คณะและทำให้เกิดศักยภาพในการทำงานร่วมกัน

2) การดำเนินงานตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่า จะมีลักษณะเป็นขั้นตอนและแบบแผนที่ชัดเจน ดังนั้นในการประยุกต์ใช้เพื่อแก้ไขปัญหาใดจะสามารถช่วยให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างมีขั้นตอนและมีเหตุมีผลซึ่งกันและกัน

3) วิธีการซิกซ์ ซิกม่า เป็นเทคนิคที่รวมเอาเครื่องมือทางคุณภาพและสถิติไว้ด้วยกันอย่างเป็นขั้นตอน ทำให้ผลลัพธ์แต่ละขั้นตอนจะมีความน่าเชื่อถือได้

5.2.2 ข้อเสีย

เนื่องจากการดำเนินงานตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่า จำเป็นต้องใช้เครื่องมือทางคุณภาพและสถิติซึ่งมีรายละเอียดที่ซับซ้อน ดังนั้นในการประยุกต์ใช้จึงเหมาะสำหรับองค์กรที่บุคคลกรมีความรู้ความเข้าเกี่ยวกับหลักการควบคุมคุณภาพและหลักการทางสถิติเบื้องต้น อีกทั้งองค์กรยังควรจะต้องมีมาตรฐานในการควบคุมคุณภาพ เพื่อที่จะสามารถให้การดำเนินงานมีประสิทธิภาพสูงสุด

5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่จะนำงานวิจัยนี้ไปปฏิบัติ

ข้อเสนอแนะสำหรับในการศึกษาครั้งต่อไป หากมีการเพิ่มเติม โดยการนำเทคนิคซิกซ์ซิกม่ามาประยุกต์ใช้ในช่วงที่ผลิตภัณฑ์กำลังทำการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ (New product) ก็จะยิ่งส่งผลให้การผลิตมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เนื่องจากเมื่อเริ่มทำการผลิตผลิตภัณฑ์ไปแล้ว การปรับปรุงแก้ไขบางอย่างทำได้ยากมาก เนื่องจากจะกระทบต่อต้นทุน และอาจต้องแจ้งให้ลูกค้าทราบเพื่อขออนุมัติการเปลี่ยนแปลง

รายการอ้างอิง

[1] บรรเลง ศรนิล, 2548, เทคโนโลยีพลาสติก, พิมพ์ครั้งที่ 17, สมาคมส่งเสริม เทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, หน้า 1-24, 145-276.

[2] ปาณิพันธ์ ตันตยาภรณ์, 2544, การลดต้นทุนในการผลิตท่อ และอุปกรณ์ข้อต่อโพลีเอทีลีน, ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ,หน้า 2-11, 13-22.

[3] S. H. Park, Six Sigma for Quality and Productivity Promotion, 32th ed, Japan: The Asian Productivity Organization, 2003.

[4] R. Does, et al., "Comparing Nonmanufacturing with Traditional Application of Six Sigma," Journal of Quality Engineering, vol. 15, pp. 177-182, 20

[5] Breyfogle, F.W., 1999, Implementing Six Sigma : Smarter Solutions Using Statistic Methods, John Wiley & Sons, Canada, pp. 1-406.

[6] Pande, P.S., Neuman, R.P. and Cavanagh, R.R., 2000, The Six Sigma Way, How GE Motorola and Other Top Companies are Honing Their Performance, Mc Graw-Hill, New York, pp. 235-324.

[7] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, ระบบการควบคุมคุณภาพที่หน้างาน คิวซีเซอร์เคิล (QC Circle), สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, 2541, หน้า 3-315.

[8] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ, 1, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2544, หน้า 1-180.

[9] ธนากร เกียรติบรรลือ. FMEA การวิเคราะห์ความล้มเหลวในการผลิต. วารสาร Industrial Technolog Review. ฉบับที่ 73. กรกฎาคม 2543. หน้า 101-105.

[10] วิชาญ ทองไพรวรรณ, การประยุกต์ใช้เทคนิค FMEA ในการปรับปรุงกระบวนการออกแบบและพัฒนาแม่พิมพ์ขึ้นรูปแก้วที่ใช้บนโต๊ะอาหาร, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสากรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 2554.

[11] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, การวิเคราะห์ระบบการวัด, 2, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2543, หน้า 1-140.

[12] จรัสพงศ์ รักการ, การประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่าในการปรับปรุงคุณภาพการเคลือบสี สำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543.

[13] กิติศักดิ์ พลอยพาณิชเจริญ, 2543, ระบบการควบคุมคุณภาพที่หน้างาน คิวซีเซอร์เคิล (QC Cycle),พิมพ์ครั้งที่ 3, บริษัท เทคนิคอล แอพโพรช เคาน์เซลลิ่ง แอนด์ เทรนนิ่ง จำกัด, กรุงเทพฯ,หน้า 54-57.

[14] ชยันต์ เลาสุทแสน. การออกแบบแผนการทดลองเพื่อปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการฉีดพลาสติก กรณีศึกษาโรงงานฉีดพลาสติก. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548.

[15] ทัตจันทร์ ศุกระชาต. 2545. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลาสติก. 13.

[16] ฝ่ายโพลิเมอร์ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม. 2543. การแก้ไขปัญหาชิ้นงานฉีดพลาสติกที่มองเห็นด้วยตาเปล่า. Industrial Technology Review 76:84-87.

[17] ไพฑูรย์ สว่างศรี และทวีชัย จีรวงศ์ศรีทอง. 2532. สัมมนาเรื่องการฉีดแบบอย่างมีประสิทธิภาพ. บริษัท ไทยโพลีเอททีลีน จำกัด.

[18] Berins, M.L. 1991. Plastics Engineering Handbook of the Society of the Plastics Industry.5th ed. Van Nostrand Reinhold, New York.

[19] Bhote, K.R. 2000. World Class Quality: Using Design of Experiments to make it happen.2nd ed. American Management Association, New York.

[20] Jeanvons, D. 2004. Training Course Injection Moulding Technology. Polybridge TrainingLTD, UK.

[21] Reifschneider, L. 2000. Teaching Design for Manufacturability with Desktop Computer-ided Analysis. Journal of Industrial Technology 16:1-5.

[22] Rubin, I.I. 1972. Injection Molding Theory and Practice. John Wiley and Son, Inc., New York.

[23] Sadeghi, B.H.M. 2000. A BP-neural network predictor model for plastic injection moldingProcess. Journal of Materials Processing Technology 103: 411-416.

[24] วุฒิชัย เจริญยิ่งวัฒนา. การใช้กรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกม่า เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่ทีผลต่อคุณภาพงานพ่นสี. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.

[25] ประภาพร เนาวบุตร. การประยุกต์ใช้ซิกซ์ซิกม่าในงานผลิตอุปกรณ์ใยแก้วนำแสง (กรณีศึกษา : การลดจำนวนวัตถุดิบเสียเนื่องจากค่าความสูญเสียทางแสงสูงเกินค่ากำหนด). วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.

[26] อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว. การลดของเสียจากกระบวนการผลิตกระป๋องโดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ซิกม่า. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

[27] จรัสพงศ์ รักการ. การประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่าในการปรับปรุงคุณภาพเคลือบสีสำหรับอุตสาหกรรมรถยนต์.วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543.

[28] Does, R, et al., “Comparing Nonmanufacturing with Traditional Application of Six Sigma” Journal of Quality Engineering 15 (2002): 177-182.

ภาคผนวก

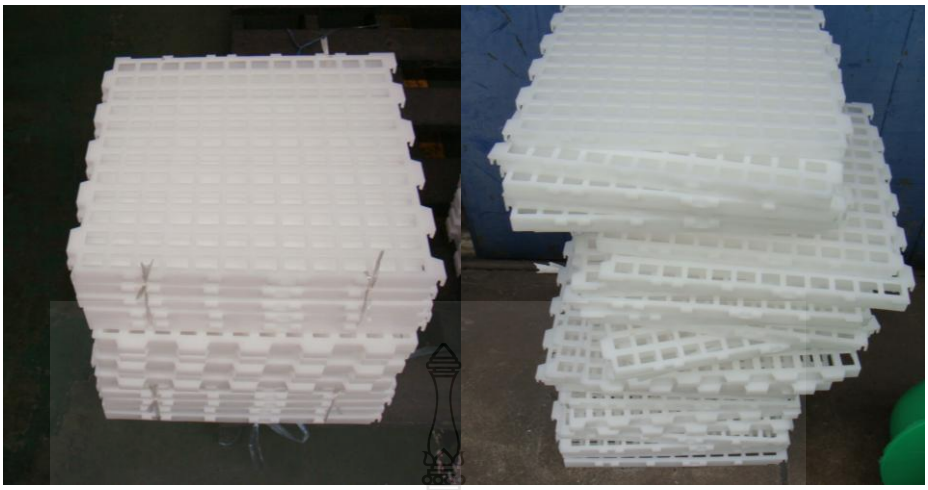
ภาคผนวก ก
ภาพของเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ เครื่องฉีดพลาสติก เอกสาร และลักษณะของผลิตภัณฑ์ในการดำเนินงาน

ภาพที่ ก.1 เครื่องฉีดพลาสติกแบบ Injection

ภาพที่ ก.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก

ภาพที่ ก.3 เครื่องบดพลาสติก

ภาพที่ ก.4 เครื่องอบเม็ดพลาสติก



ภาพที่ ก.5 ชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง

JINHWA

Section	Item	Unit	650 TON		
			O	A	B
Injection Unit	Screw Diameter	mm	90	95	100
	Max, Stroke Volume	㎤	2925	3259	3611
	Weight of Injection(P.S)	g	2682	2988	3311
		OZ	94.4	105	117
	Weight of Injection(P.E)	g	2076.8	2313.9	2563.8
	Injection Pressure	Kg/㎠	1815	1628	1470
	Plasticizing Capacity(P.S)	Kg/Hr	377	414.8	459.6
	Screw Drive	R.P.M	145		
	Nozzle Pushing Force	ton	12		
	Screw Drive System		Hydraulic Motor		
Clamping Unit	Mold Clamping Force	ton	650		
	Mold Opening Stroke	mm	950		
	Mold Height(Min/Max)	mm	500 / 1200		
	Clearance Between Tie bars(H ×V)	mm	980 × 880		
	Die Plate Dimensions(H ×V)	mm	1530 × 1370		
	Ejector Force	TON	14		
	Ejector Stroke	mm	240		
	Ejector Pin		Center 1 + 20		
Electro & Hydraulic	Electric Motor	Kw(HP)	37 (50) , 55 (75)		
	Capacity of Heater	Kw	36.2		
Other	Machine Dimensions	m	11.2× 2.4 × 2.1		
	Oil Reservoir Capacity	ℓ	1700		
	Machine Weight	ton	36.5		
	Cooling Water Reg.	ℓ/min	195		

ภาพที่ ก.6 ข้อมูลของเครื่องฉีดพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง

JINHWA

5 MOLDING INFORMATION

5.1 TEMPERATURE OF THERMOPLASTIC RESIN

Raw materials	Temperature (℃)	Injection pressure (kg/㎠)	Mold temperature (℃)	Thickness of product (㎜)
Polyethylene - PE	150~300	600~1,500	40~60	0.9~4.0
Polypropylene -PP	160~260	800~1,200	55~65	0.6~3.5
Nylon	200~320	800~1,500	80~120	0.6~3.0
Polyacetal	180~220	1,000~2,000	80~110	1.5~5.0
Noryl	260~320	850~1,400	80~100	0.8~4.0
Polystyrene - PS	200~300	800~2,000	40~60	1.0~4.0
AS	200~260	800~2,000	40~60	1.0~4.0
ABS	200~260	800~2,000	40~60	1.5~4.5
Acrylic	180~250	1,000~2,000	50~70	1.5~5.0
PVC	180~210	1,000~2,500	45~160	1.5~5.0
Polycarbonate - PC	280~320	400~2,200	90~120	1.5~5.0
Cellulose	160~250	600~2,000	50~60	1.0~4.0
Butylene	160~250	600~2,000	50~60	1.0~4.0

ภาพที่ ก.7 ช่วงการปรับตั้งพารามิเตอร์ในการฉีดพลาสติก

5.3 PHENOMENA AND CAUSES OF INFERIOR MOLDING

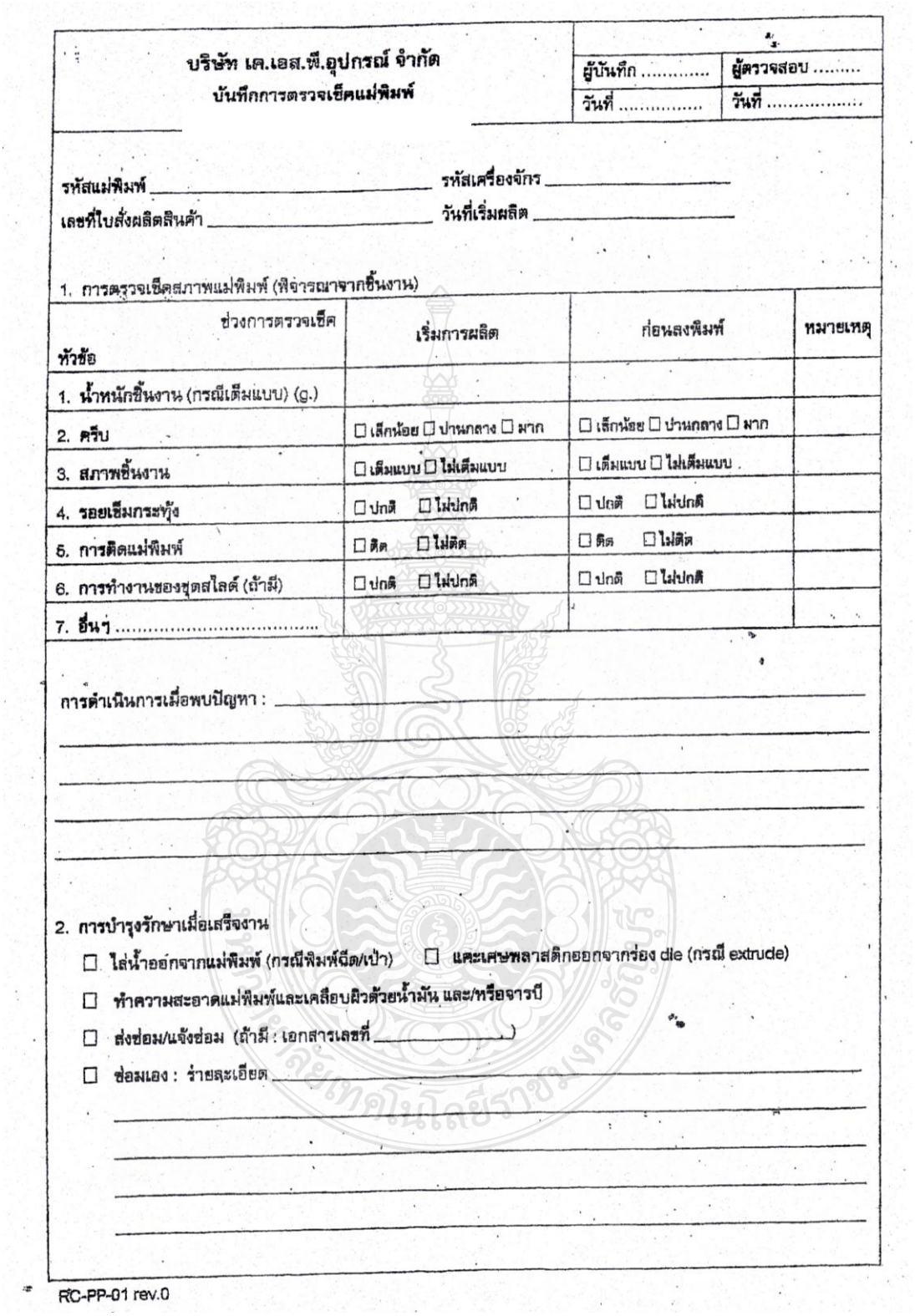
Phenomena	Molding Machine	Mold	Materials
Short Shots	1. Poor Injection Capacity (Volume and Plastic Ability) 2. Material Supply Quantity Insufficient 3. Injection Pressure is Low 4. Resin Temperature is Low 5. Injection Speed is Low 6. Nozzle Resistance is Large (Diameter is Small or Nozzle is Long) 7. Screw Charging is Poor 8. Nozzle is Cold 9. Back Flow Prevention Ring is Broken	1. Gate Balance is poor. 2. Gate, Runner and Sprue are Small 3. Mold Temperature is Low 4. Cold Slugs Appear 5. Mold Cavity is Too Thin 6. Gas Purging is Inadequate 7. Insert Ribs or Other Elements to Improve Flow	1. Poor Flow of Materials 2. Improper Lubricating Treatment
Flash	1. Injection Pressure is Too High 2. Clamping Force is Small 3. Excessive Injection quantity 4. Resin Temperature is Too High 5. Secondary Injection Pressure Holding Time is Long	1. Poor Mold Parallelism 2. Parting Lines are Not Matched 3. Presence of Foreign Material Between Mold halves	1. Resin Viscosity During Molding is Too Low

ภาพที่ ก.8 ปัญหาที่เกิดจากการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน และการแก้ไข

<Example of adjustment of parameter for working>

Item	Adjustment Guide	Unit
Injection Speed	±2	%
Injection Pressure	±5	Bar
Injection Position	±5	mm.
Injection Time	±5	Sec.
Cooling Time	±5	Sec.
Holding Speed	±2	%
Holding Pressure	±5	Bar
Injection Temperature	±5	°C

ภาพที่ ก.9 ตัวอย่างการปรับตั้งพารามิเตอร์



บริษัท เค.เอส.พี.อุปกรณ์ จำกัด
บันทึกการตรวจเช็คแม่พิมพ์

ผู้บันทึก ..... ผู้ตรวจสอบ .....
วันที่ ..... วันที่ .....

รหัสแม่พิมพ์ _____ รหัสเครื่องจักร _____
เลขที่ใบสั่งผลิตสินค้า _____ วันที่เริ่มผลิต _____

1. การตรวจเช็คสภาพแม่พิมพ์ (พิจารณาจากชิ้นงาน)

ช่วงการตรวจเช็ค / หัวข้อ	เริ่มการผลิต	ก่อนลงพิมพ์	หมายเหตุ
1. น้ำหนักชิ้นงาน (กรณีเต็มแบบ) (g.)			
2. ครีบ	☐ เล็กน้อย ☐ ปานกลาง ☐ มาก	☐ เล็กน้อย ☐ ปานกลาง ☐ มาก	
3. สภาพชิ้นงาน	☐ เต็มแบบ ☐ ไม่เต็มแบบ	☐ เต็มแบบ ☐ ไม่เต็มแบบ	
4. รอยเย็มกระทุ้ง	☐ ปกติ ☐ ไม่ปกติ	☐ ปกติ ☐ ไม่ปกติ	
5. การติดแม่พิมพ์	☐ ติด ☐ ไม่ติด	☐ ติด ☐ ไม่ติด	
6. การทำงานของชุดสไลด์ (ถ้ามี)	☐ ปกติ ☐ ไม่ปกติ	☐ ปกติ ☐ ไม่ปกติ	
7. อื่นๆ			

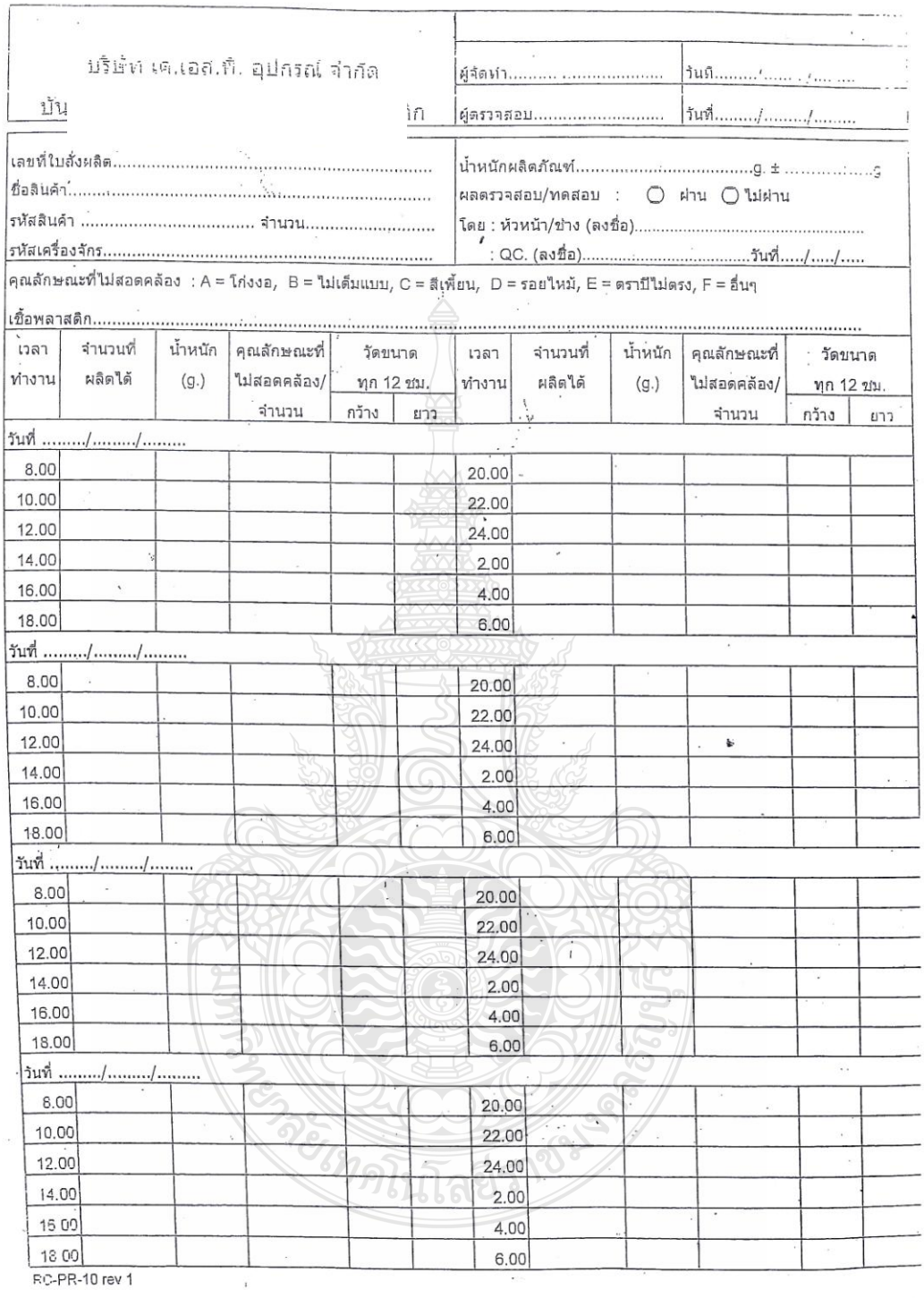
การดำเนินการเมื่อพบปัญหา : _____

2. การบำรุงรักษาเมื่อเสร็จงาน

☐ ไล่น้ำออกจากแม่พิมพ์ (กรณีพิมพ์ฉีด/เป่า) ☐ แคะเศษพลาสติกออกจากร่อง die (กรณี extrude)
☐ ทำความสะอาดแม่พิมพ์และเคลือบผิวด้วยน้ำมัน และ/หรือจารบี
☐ ส่งซ่อม/แจ้งซ่อม (ถ้ามี : เอกสารเลขที่ _____)
☐ ซ่อมเอง : รายละเอียด _____

RC-PP-01 rev.0

ภาพที่ ก.10 ใบบันทึกการติดตั้งแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก



บริษัท เค.เอส.ที. อุปกรณ์ จำกัด

ปั๊น

ผู้จัดทำ..... วันที่...../...../.....

ผู้ตรวจสอบ..... วันที่...../...../.....

เลขที่ใบสั่งผลิต.....

ชื่อสินค้า.....

รหัสสินค้า ..... จำนวน.....

รหัสเครื่องจักร.....

น้ำหนักผลิตภัณฑ์.....g. ± .....g

ผลตรวจสอบ/ทดสอบ : ◯ ผ่าน ◯ ไม่ผ่าน

โดย : หัวหน้า/ช่าง (ลงชื่อ).....

: QC. (ลงชื่อ).....วันที่...../...../.....

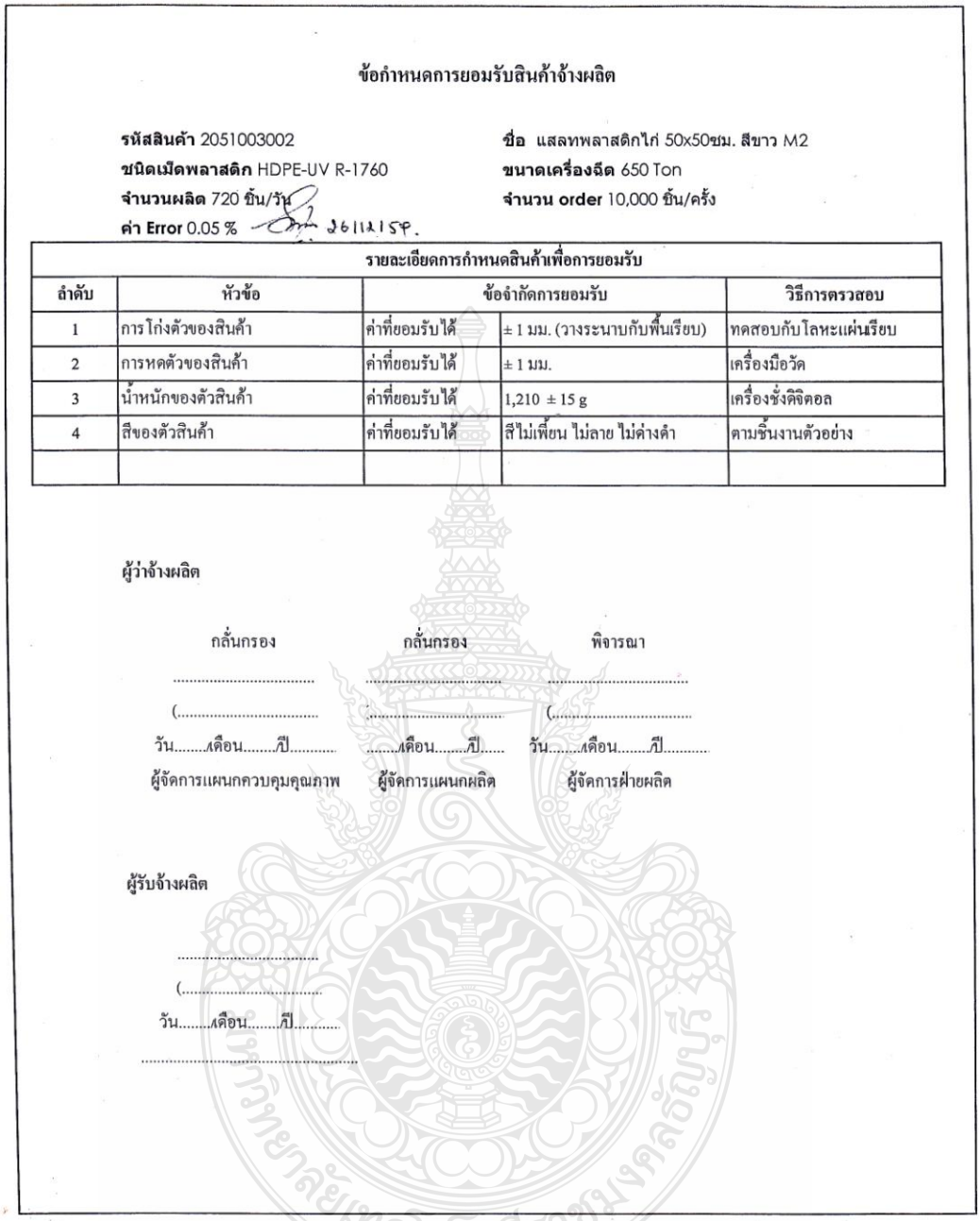
คุณลักษณะที่ไม่สอดคล้อง : A = โก่งงอ, B = ไม่เต็มแบบ, C = สีเพี้ยน, D = รอยไหม้, E = ดราบีไม่ตรง, F = อื่นๆ

เยื้อพลาสติก.....

เวลาทำงาน	จำนวนที่ผลิตได้	น้ำหนัก (g.)	คุณลักษณะที่ไม่สอดคล้อง/จำนวน	วัดขนาด ทุก 12 ชม. กว้าง	วัดขนาด ทุก 12 ชม. ยาว	เวลาทำงาน	จำนวนที่ผลิตได้	น้ำหนัก (g.)	คุณลักษณะที่ไม่สอดคล้อง/จำนวน	วัดขนาด ทุก 12 ชม. กว้าง	วัดขนาด ทุก 12 ชม. ยาว
วันที่ ...../...../.....											
8.00						20.00					
10.00						22.00					
12.00						24.00					
14.00						2.00					
16.00						4.00					
18.00						6.00					
วันที่ ...../...../.....											
8.00						20.00					
10.00						22.00					
12.00						24.00					
14.00						2.00					
16.00						4.00					
18.00						6.00					
วันที่ ...../...../.....											
8.00						20.00					
10.00						22.00					
12.00						24.00					
14.00						2.00					
16.00						4.00					
18.00						6.00					
วันที่ ...../...../.....											
8.00						20.00					
10.00						22.00					
12.00						24.00					
14.00						2.00					
16.00						4.00					
18.00						6.00					

RC-PR-10 rev 1

ภาพที่ ก.11 ใบบันทึกการสุ่มตรวจเช็ค ค่าน้ำหนักชิ้นงาน



ข้อกำหนดการยอมรับสินค้าจ้างผลิต

รหัสสินค้า 2051003002 **ชื่อ** แสลทพลาสติกไก่ 50x50ซม. สีขาว M2
ชนิดเม็ดพลาสติก HDPE-UV R-1760 **ขนาดเครื่องฉีด** 650 Ton
จำนวนผลิต 720 ชิ้น/วัน **จำนวน order** 10,000 ชิ้น/ครั้ง
ค่า Error 0.05 % 26112154.

รายละเอียดการกำหนดสินค้าเพื่อการยอมรับ				
ลำดับ	หัวข้อ	ข้อจำกัดการยอมรับ		วิธีการตรวจสอบ
1	การโก่งตัวของสินค้า	ค่าที่ยอมรับได้	± 1 มม. (วางระนาบกับพื้นเรียบ)	ทดสอบกับโลหะแผ่นเรียบ
2	การหดตัวของสินค้า	ค่าที่ยอมรับได้	± 1 มม.	เครื่องมือวัด
3	น้ำหนักของตัวสินค้า	ค่าที่ยอมรับได้	1,210 ± 15 g	เครื่องชั่งดิจิตอล
4	สีของตัวสินค้า	ค่าที่ยอมรับได้	สีไม่เพี้ยน ไม่ลาย ไม่ด่างดำ	ตามชิ้นงานตัวอย่าง

ผู้ว่าจ้างผลิต

กลั่นกรอง	กลั่นกรอง	พิจารณา
.....	.....	.....
(.....	.....	(.....
วัน.....เดือน.....ปี.....	.....เดือน.....ปี.....	วัน.....เดือน.....ปี.....
ผู้จัดการแผนกควบคุมคุณภาพ	ผู้จัดการแผนกผลิต	ผู้จัดการฝ่ายผลิต

ผู้รับจ้างผลิต

.....
(.....
วัน.....เดือน.....ปี.....
.....

ภาพที่ ก.12 เกณฑ์มาตรฐาน ค่าน้ำหนักชิ้นงานที่ยอมรับได้

คู่มือการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องฉีดพลาสติก

แก้ไขครั้งที่ ..... วันที่

ผู้จัดทำ ..... ผู้อนุมัติ .....

ลำดับที่	ชื่อผลิตภัณฑ์	MOLD CLOSE				MOLD OPEN				EJECT	INJECTION				HOLD	SUCK BACK	HEATER TEMP	COOLING	SHIL TEMP
		SLOW	FAST	L-P	H-P	SLOW	FAST	DEC	END	ADV 2	TIMER		SPEED	PRESSURE	PRESSURE	B/PR	HEAT	PRESSURE	
		PRE	PRE	PRE	PRE	PRE	PRE	PRE	PRE	PRE	INJ	COOLING							
		Bar	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar	S	S	%	Bar	Bar	Bar	°C	Bar	°C
9	แสตท์ใก่ 50x50 M/2	30	80	20	80	70	100	40	30	40	20	95	12	25	10	10	215	5	18
ค่า error		±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1
UG-PP-01 rev.0																			

ภาพที่ ก.13 คู่มือการปรับตั้งพารามิเตอร์เครื่องฉีดพลาสติก

ภาคผนวก ข
ลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในชิ้นงานและวิธีแก้ไข

ข.1 ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในชิ้นงานและวิธีแก้ไข

สาเหตุของปัญหาการเกิดข้อบกพร่องกับชิ้นงาน สามารถจำแนกออกเป็นสาเหตุใหญ่ด้วยกัน คือปัญหาเนื่องจากพลาสติก ปัญหาเนื่องจากแม่พิมพ์ ปัญหาจากการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก และปัญหาจากประสิทธิภาพของเครื่องฉีดพลาสติก ส่วนแนวทางการแก้ปัญหาการเกิดข้อบกพร่องในชิ้นงานมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน คือ ปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักร แก้ไขแม่พิมพ์ให้มีคุณภาพดีกว่าเดิม ปรับพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดให้เหมาะสมกว่าเดิม เช่น เวลา อุณหภูมิ ความดัน เป็นต้นควรศึกษาคุณสมบัติของพลาสติกให้ถูกต้องที่สุด ในกรณีที่รูปแบบของชิ้นงานยากต่อการฉีด ควรออกแบบชิ้นงานใหม่ ให้สามารถฉีดได้ และจัดการกับระบบการฉีดพลาสติกให้เป็นระบบมีอุปกรณ์เสริมสำหรับช่วยในการฉีดพลาสติก ซึ่งสามารถสรุปแนวทางวิธีการแก้ไขโดยแยกเป็นข้อบกพร่องแต่ละแบบ ดังนี้

ข.1.1 เกิดรอยยุบในชิ้นงาน (Sink mark) มีวิธีแก้ไข ดังนี้

1) เพิ่มความดันฉีดย้ำและเวลาในการฉีดย้ำ
2) เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลวที่หัวฉีด
3) ลดความเร็วในการฉีด
4) ลดความดันต้านการถอยกลับของสกรู
5) ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น
6) ลดอุณหภูมิแม่พิมพ์
7) เพิ่มขนาดทางเข้าพลาสติกเหลว
8) เพิ่มอัตราการป้อนพลาสติกเหลว
9) ปรับปรุงระบบทางเข้าของพลาสติกเหลวให้ดียิ่งขึ้น

ข.1.2 พลาสติกไหม้ (Burning) มีวิธีแก้ไข ดังนี้

1) ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว
2) ลดความเร็วในการฉีด
3) ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น
4) เพิ่มขนาดทางเข้าพลาสติกเหลว
5) เพิ่มช่องระบายอากาศให้กับแม่พิมพ์

ข.1.3 มีจุดบนผิวชิ้นงาน (Surface blemished) มีวิธีแก้ไข ดังนี้

1) เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว
2) เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลวที่หัวฉีด

3) เพิ่มความเร็วรอบสกรู

4) ลดความเร็วในการฉีด

5) เพิ่มความดันต้านการถอยกลับของสกรู

6) เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์

7) ทำความสะอาดแม่พิมพ์

8) ทำความสะอาดระบบทางไหลของพลาสติก

9) เพิ่มขนาดของสลักเย็น

10)อบพลาสติกให้แห้งสนิท

ข.1.4 เนื้อพลาสติกที่เกินออกมานอกแม่พิมพ์ (Flashing) มีวิธีแก้ไข ดังนี้

1) ลดความดันฉีดให้ต่ำลง

2) ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว

3) ลดความดันและเวลาในการฉีดย้ำ

4) เพิ่มแรงในการปิดแม่พิมพ์

5) ลดความเร็วในการฉีด

6) ลดอุณหภูมิของแม่พิมพ์

7) แก้ไขแม่พิมพ์ใหม่

ข.1.5 ผิวชิ้นงานด้าน (Dull surface) มีวิธีแก้ไข ดังนี้

1) เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว

2) เพิ่มความเร็วรอบของสกรู

3) ลดความเร็วในการฉีด

4) เพิ่มความดันต้านการถอยกลับของสกรู

5) ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น

6) เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์

7) ทำความสะอาดแม่พิมพ์

8) เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว

9) อบพลาสติกให้แห้งสนิท

10)ใช้พลาสติกที่ไม่มีสิ่งเจือปน

ข.1.6 เนื้อพลาสติกแบ่งเป็นชั้น (Laminations) มีวิธีแก้ไข ดังนี้

1) ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว
2) เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลวที่หัวฉีด
3) เพิ่มความเร็วรอบสกรู
4) ลดความเร็วในการฉีด
5) เพิ่มความดันต้านการถอยกลับของสกรู
6) ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น
7) เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์
8) เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว
9) อบพลาสติกให้แห้งสนิท
10) ใช้พลาสติกที่ไม่มีสิ่งเจือปน

ข.1.7 ชิ้นงานติดอยู่ในแม่พิมพ์ (Part sticks in mold) มีวิธีแก้ไข ดังนี้

1) ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว
2) ลดความดันและเวลาในการฉีดย้ำ
3) ลดความเร็วในการฉีด
4) ลดอุณหภูมิของแม่พิมพ์
5) ทำความสะอาดแม่พิมพ์
6) แก้ไขแม่พิมพ์ใหม่
7) ใช้แม่พิมพ์ตัวใหม่
8) ตรวจสอบขนาดของหัวฉีด และทำความสะอาดหัวฉีด
9) เพิ่มช่องระบายอากาศสำหรับปลดชิ้นงาน

ข.1.8 ชิ้นงานบิดเบี้ยว (Part distort) มีวิธีแก้ไข ดังนี้

1) ลดความดันฉีดให้ต่ำลง
2) เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว
3) ลดความดันและเวลาในการฉีดย้ำ
4) ลดความเร็วในการฉีด
5) เพิ่มความดันต้านการถอยกลับของสกรู
6) เพิ่มเวลาในการหล่อเย็นและเวลาในการเปิดแม่พิมพ์

ข.1.9 สีของชิ้นงานเปลี่ยนไป (Discoloration of sprue) มีวิธีแก้ไข ดังนี้

1) ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว
2) ฉีดด้วยสกรูที่กำลังหมุน
3) ลดความเร็วในการฉีด
4) ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น
5) เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์
6) เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว
7) เพิ่มขนาดของสลักเย็น

ข.1.10มีรอยการไหลของพลาสติก (Flow line) มีวิธีแก้ไข ดังนี้

1) เพิ่มความดันฉีดให้สูงขึ้น
2) เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว
3) เพิ่มความเร็วในการฉีด
4) เพิ่มความดันต้านการถอยกลับของสกรู
5) ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น
6) เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์
7) เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว
8) เพิ่มช่องระบายอากาศให้กับแม่พิมพ์
9) อบพลาสติกให้แห้งสนิท

ข.1.11ชิ้นงานเปราะแตกง่าย (Brittle part) มีวิธีแก้ไข ดังนี้

1) เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว
2) ลดความดันและเวลาในการฉีดย้ำ
3) เพิ่มความเร็วรอบสกรู
4) ลดความเร็วในการฉีด
5) เพิ่มความดันต้านการถอยกลับของสกรู
6)เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์
7) เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว
8) เพิ่มขนาดของสลักเย็น
9) อบพลาสติกให้แห้งสนิท

ข.1.12ผิวชิ้นงานเป็นคลื่น (Wavy surface) มีวิธีแก้ไข ดังนี้

1) เพิ่มความดันฉีดให้สูงขึ้น
2) เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว
3) เพิ่มความดันและเวลาในการฉีดย้ำ
4) เพิ่มความเร็วในการฉีด
5) ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น
6) ลดอุณหภูมิแม่พิมพ์
7) เพิ่มอัตราการป้อนพลาสติกเหลว
8) เพิ่มเวลาในการหล่อเย็นและเวลาในการเปิดแม่พิมพ์

ข.1.13รอยหยักเป็นทางยาวบนผิวชิ้นงาน (Worms track on part) มีวิธีแก้ไข ดังนี้

1) เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว
2) เพิ่มอุณหภูมิหัวฉีด
3) เพิ่มความเร็วรอบของสกรู
4) ลดความเร็วในการฉีด
5) เพิ่มความดันต้านการถอยกลับของสกรู
6) ขยายช่องของหัวฉีดให้กว้างยิ่งขึ้น
7) เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว
8) เพิ่มขนาดของสลักเย็น
9) อบพลาสติกให้แห้งสนิท

ข.1.14มีรอยเป็นทางในชิ้นงาน (Streaks on part) มีวิธีแก้ไข ดังนี้

1) เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว
2) ลดความเร็วรอบของสกรู
3) ปรับหัวฉีดให้แน่นยิ่งขึ้น
4) ลดความเร็วในการฉีด
5) เพิ่มความดันต้านการถอยกลับของสกรู
6) อบพลาสติกให้แห้งสนิท

ข.1.15มีโพรงในชิ้นงาน (Voids in part) มีวิธีแก้ไข ดังนี้

1) ลดอุณหภูมิพลาสติกเหลว
2) เพิ่มความดันและเวลาในการฉีดย้ำ

3) เพิ่มอุณหภูมิหัวฉีด

4) ลดความเร็วในการฉีด

5) เพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์

6) เพิ่มขนาดทางเข้าของพลาสติกเหลว

7) เพิ่มอัตราการป้อนพลาสติก

ข.1.16 ฉีดไม่เต็มชิ้นงาน (Short shot) มีวิธีแก้ไข ดังนี้

1) เพิ่มความดันฉีดให้สูงขึ้น

2) เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลว

3) เพิ่มอุณหภูมิหัวฉีด

4) ทำความสะอาดหัวฉีด

ภาคผนวก ค
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

สมพร วงษ์เพ็ง, ระพี กาญจนะ, “การวิเคราะห์ระบบการวัดของแผนกพลาสติก กรณีศึกษา : โรงงานผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์การเกษตร”, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ 2554 (IE NETWORK CONFERENCE 2011) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี, โรงแรมแอมบาสเดอร์ซิตี้ จอมเทียน พัทยา จังหวัดชลบุรี วันที่ 20-21, ตุลาคม 2554.

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY
NETWORK 2011 @ RMUTT
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ขอเรียนเชิญเข้าร่วมการสัมมนา
IE NETWORK CONFERENCE 2011
การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี 2554
20–21 ตุลาคม 2554 ณ โรงแรมแอมบาสเดอร์ซิตี้ จอมเทียน จังหวัดชลบุรี
Industrial Development for Environmental Preservation
สาขาวิชาในการประชุม
• Energy and Environmental Management
• Engineering Economy and Cost Management
• Modeling and Optimization
• Work Study and Productivity Improvement
• Production and Operation Management
• Supply Chain and Logistics Management
• Safety Engineering and Ergonomics
• Materials Engineering
• Operation Research
• Quality Management
• Innovation and Technology Management
• Manufacturing Engineering and Technology
• Other related topics in IE
กำหนดการสำคัญ
เปิดรับบทความฉบับสมบูรณ์ 2 มิ.ค. – 22 มิ.ย. 54
ประกาศผลการพิจารณาบทความฉบับสมบูรณ์ 3 ส.ค. 54
วันสุดท้ายของการส่งบทความฉบับแก้ไข 17 ส.ค. 54
ประกาศผลพิจารณาบทความฉบับแก้ไข 24 ส.ค. 54
ประชุมวิชาการ 20 – 21 ต.ค. 54
สอบถามรายละเอียดเพิ่มเติม:
ดร.ระพี กาญจนะ, ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
โทรศัพท์: 0-2549-3440
08-2688-7250
08-9009-2894
โทรสาร :0-2549-3442
Website: http://www.ienetwork2011.rmutt.ac.th
E-mail : ienetwork2011@rmutt.ac.th

NETWORK 2011 @ RMUTT
ie
รวมบทคัดย่อ
การประชุมวิชาการข่ายงาน
วิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2554
IE NETWORK CONFERENCE 2011
20 - 21 ตุลาคม 2554
โรงแรมแอมบาสเดอร์ซิตี้ จอมเทียน พัทยา จังหวัดชลบุรี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ
การประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2554

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รศ.ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช
ผศ.ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย
ผศ.ดร.ประมวล สุธีจารุวัฒน
รศ.ดร.ปารเมศ ชุติมา
ผศ.ดร.ดาริชา สุธีวงศ์
ผศ.ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดร.ปฏิภาณ จุ้ยเจิม
ดร.สุดารัตน์ วงศ์กีรเกียรติ
ดร.ปุณณมี สัจจกมล
ดร.สุวิชภรณ์ วิชกูล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

ดร.ชัยวัฒน์ นุ่มทอง
ดร.ศิริรัตน์ หมื่นวณิชกูล
อ.จันจิรา คงชื่นใจ
ดร.เพ็ญสุดา พันฤทธิ์ดำ
ดร.สิรางค์ กลั่นคำสอน

มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

ผศ.ชานนท์ มูลวรรณ
อ.ประภาพรรณ เกษราพงศ์
ดร.ศักดิ์ชาย รักการ
อ.จักรินทร์ กลั่นเงิน

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รศ.ดร.พรเทพ ขอขจายเกียรติ
ผศ.ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว
ผศ.ดร.วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์
ดร.ปาพจน์ เจริญอภิปาล
รศ.ดร.ศุภชัย ปทุมนากุล
ผศ.ดร.ดนัยพงศ์ เชษฐโชติศักดิ์
ดร.ธนา ราษฎร์ภักดี

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รศ.ดร.วิชัย ฉัตรทินวัฒน์
ผศ.ดร.คมกฤต เล็กสกุล
ผศ.ดร.สรรฐติชัย ชีวสุทธิศิลป์
ผศ.ดร.อรรถพล สมุทคุปต์
ดร.ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์
ดร.อนิรุท ไชยจารุวณิช
รศ.ดร.วิมลิน เหล่าศิริถาวร
ผศ.ดร.วัสสนัย วรรธนัจฉริยา
ผศ.ดร.อภิชาต โสภาแดง
ดร.กรกฎ ใยบัวเทศ ทิพยาวงศ์
ดร.วสวัชร นาคเขียว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รศ.คมสัน จิระภัทรศิลป
รศ.ดร.บวรโชค ผู้พัฒน์
รศ.ดร.สิทธิชัย แก้วเกื้อกูล
รศ.สันติรัฐ นันสะอาง
ผศ.ดร. เจริญชัย โชมพัตราภรณ์
ผศ.ดร.เตือนใจ สมบูรณ์วิวัฒน์
ผศ.พจมาน เตียวัฒนรัฐติกาล
ดร.ช่อแก้ว จตุรานนท์
ดร.วิศิษฏ์ศรี วิยะรัตน์
ดร.อิศรทัต พึ่งอ้น
อ.ปรัชาญา เพียสุระ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

รศ.วันชัย แหลมหลักสกุล
ดร.กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ
รศ.ดร. ฤดี มาสุจันท์
ผศ.ดร. สกนธ์ คล่องบุญจิต
ผศ.ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล
ดร. อุดม จันทร์จรัสสุข
ดร.พิชญ์วดี กิตติปัญญางาม
ดร.ชุมพล ยวงใย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผศ.พิชัย จันทร์มณี
ผศ.วิชาญ ช่วยพันธ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

ผศ.ณัฐศักดิ์ พรพุฒิศิริ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ดร.นเรศ อินต๊ะวงค์
ดร.บรรเจิด แสงจันทร์
ดร.ภาคภูมิ จารุภูมิ
ผศ.มนวิภา อาวิพันธุ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

รศ.สุชาติ เย็นวิเศษ
ผศ.เดช เหมือนขาว
ผศ.สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผศ.ดร.พรศิริ จงกล
ดร.พงษ์ชัย จิตตะมัย
ดร.ปภากร สุนานนท์
ดร.ปวีร์ ศิริรักษ์
อ.นรา สมัตถภาพงศ์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

รศ.ดร.จิรรัตน์ ธีระวราพฤกษ์ รศ.ดร.จิรศิริรพงศ์ เจริญภัณฑารักษ์
ผศ.ดร.วุฒิชัย วงษ์ทัศนีย์กร ผศ.ดร.วรารัตน์ กังสัมฤทธิ์
ผศ.ดร.สวัสดิ์ ภาระราช ผศ.ดร.เสมอจิตร หอมรสสุคนธ์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ผศ.ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ ผศ.ศิษฎา สิมารักษ์
ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง ดร.สมลักษณ์ วรรณฤมล
ดร.ภาณุ บูรณจารุกร อ.ธณิกานต์ ธงชัย
อ.ศรีสัจจา วิทยศักดิ์

มหาวิทยาลัยปทุมธานี

ดร. ภาสพิรุฬห์ ศรีสำเริง

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผศ.ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป ผศ.ดร.สุดสาคร อินธิเดช
ผศ.ดร.บพิธ บุปผโชติ ดร.อรอุมา ลาสุนนท์
ดร.นิดา ชัยมูล

มหาวิทยาลัยมหิดล

รศ.ดร.ดวงพรรณ ศฤงคารินทร์ ผศ.ดร.วเรศรา วีระวัฒน์
ดร.จิรพรรณ เลี่ยงโรคาพาธ ผศ.ศุภชัย นาทะพันธ์

มหาวิทยาลัยรังสิต

ผศ.ดร.ธนวรรณ อัศวไพบูลย์ ผศ.ดร.เพียงจันทร์ จริงจิตร
ผศ.สินี สุขกรมใส ดร.พิษณุ มนัสปิติ
อ.ศิลปชัย วัฒนเสย อ.ต่อศักดิ์ อุทัยไขฟ้า
อ.พรรคพงษ์ แก่นณรงค์ อ.สายสุนีย์ พงษ์พัฒนศึกษา

มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ผศ.ดร. กฤษดา พิศัลยบุตร ดร.เลิศเลขา ธนะชัยขันธ์
อ.นุกูล อุบลบาน อ.นันทวรรณ อ่ำเอียม

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

รศ.ธนรัตน์ แต้วัฒนา ผศ.ดร.ทศพล เกียรติเจริญผล
ผศ.ดร.นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์ ดร.ณัฐพงษ์ คงประเสริฐ
ดร.สิริเดช ชาตินิยม ดร.พงษ์เพ็ญ จันทนะ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ผศ.พัฒนพงศ์ อริยสิทธิ์
อ.จักร์พันธ์ กัณหา
อ.ธนิน ศรีวะรมย์
อ.วรพจน์ พันธ์คง
ดร.ธริณี มณีศรี
อ.ชวลิต มณีศรี
อ.พิสุทธิ์ รัตนแสนวงษ์
อ.สุพัฒตรา เกษราพงศ์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผศ.ดร.ประจวบ กล่อมจิตร
ผศ.ปฏิพัทธ์ หงษ์สุวรรณ
ผศ.สุขุม โฆษิตชัยมงคล
ดร.กัญจนา ทองสนิท
ดร.สิทธิชัย แซ่แหล่ม
ผศ.จันทร์เพ็ญ อนุรัตนานนท์
ผศ.วันชัย ลีลากวีวงศ์
ผศ.สุวัฒน์ เณรโต
ดร.ณัฐพล ศิริสว่าง

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รศ.ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล
รศ.สมชาย ชูโฉม
ผศ.ดร.เจษฎา วรรณสินธุ์
ผศ.ดร.นภิสพร มีมงคล
ผศ.ดร.รัญชนา สินธวาลัย
ผศ.ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์
ผศ.เจริญ เจตวิจิตร
ผศ.ยอดดวง พันธ์นรา
รศ.วนิดา รัตนมณี
ผศ.ดร.กลางเดือน โพชนา
ผศ.ดร.ธเนศ รัตนวิไล
ผศ.ดร.ประภาส เมืองจันทร์บุรี
ผศ.ดร.สุภาพรรณ ไชยประพัทธ์
ผศ.ดร.องุ่น สังขพงศ์
ผศ.พิเชฐ ตระการชัยศิริ
ผศ.สงวน ตั้งโพธิธรรม

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย

อ.จิตลดา ชิ้มเจริญ
อ.วรลักษณ์ เสถียรรังสฤษฎ์
อ.อรอุมา กอสนาน
อ.นิศากร สมสุข
อ.อัญชลี สุพิทักษ์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผศ.ดร.คณิศร ภูนิคม
ผศ.ดร.นุชสรา เกรียงกรกฎ
ผศ.ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส
ผศ.ดร.สุขอังคณา ลี
ดร.จริยาภรณ์ อุ่นวงษ์
ผศ.ดร.นลิน เพียรทอง
ผศ.ดร.ปรีชา เกรียงกรกฎ
ผศ.ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์
ดร.ธารชุดา พันธ์นิกุล
ดร.สัณณ์ โอฬาพิริยะกุล

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ดร.กรกฎ เหมสถาปัตย์
ดร.ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน

สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

ผศ.ชัยพฤกษ์ อาภาเวท
ผศ.ประยูร สุรินทร์
อ.เจษฎา วงศ์อ่อน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รศ.ดร.ชัยยุทธ ช่างสาร
รศ.มานพ ตันตระบัณฑิตย์
ผศ.ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์
ผศ.ดร.จตุรงค์ ลังกาพินธุ์
ผศ.ดร.ณฐา คุปตัษเฐียร
ผศ.ดร.วารุณี อริยวิริยะนันท์
ผศ.ดร.ศิวกร อ่างทอง
ผศ.ดร.ศิริชัย ต่อสกุล
ผศ.ดร.สมหมาย ผิวสอาด
ผศ.ชวลิต แสงสวัสดิ์
ดร.กุลชาติ จุลเพ็ญ
ดร.ชัยยะ ปราณีตพลกรัง
ดร.ณรงค์ชัย โอเจริญ
ดร.ระพี กาญจนะ
ดร.สรพงษ์ ภวสุปรีย์
ดร.สุมนมาลย์ เนียมหลาง
ผศ.สุรัตน์ ตรัยวนพงศ์

สารบัญ (ต่อ)

OIE58	การปรับปรุงกระบวนการเพื่อเพิ่มผลผลิตภายในแผนกปั๊ม กรณีศึกษา โรงงานกล่องเครื่องประดับ อุษาวดี อินทร์คล้าย พรเทพ แก้วเชื้อ วรินทร์ เกียรตินุกูล อรวิกา แก้วเชื้อ	348
OIE59	การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องอบแบบหมุนสำหรับการควบคุมแบบเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง กรณีศึกษากระบวนการอบเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ในฟาร์มไก่ไข่ ชยพล ศรีหงอก ธนา ราษฎร์ภักดี รัชพล สันติวรากร	349
OIE60	การศึกษาตัวชี้วัดด้านการจัดการความรู้ที่มีการนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรม รัญชนา สินธวาลัย นภิสพร มีมงคล นวพร เพ็งล่อง	350
OIE62	การปรับปรุงพัฒนาออกแบบอุปกรณ์จับยึดขา Pin ในกระบวนการประกอบ LV.Bobbin ธวัช วิวัฒน์เจริญ นายวัลลภ อรุณส่ง สุรกิจ ตั้งไพโรจน์วงศ์	351
OIE63	การแก้ตัวประกอบกำลังเพื่อลดค่าพลังงานไฟฟ้าในอาคารสถานประกอบการ องอาจ แสดใหม่	352
OIE64	การศึกษาเชิงเปรียบเทียบในการคัดเลือกคุณลักษณะที่เหมาะสมสำหรับการทำเหมืองข้อมูลเพื่อพยากรณ์โอกาสการสำเร็จการศึกษาของนักศึกษา พรเทพ คงไชย รัชฎา คงคะจันทร์	353
OIE65	การคัดเลือกคุณลักษณะที่เหมาะสมในการทำเหมืองข้อมูลเพื่อสร้างระบบตรวจสอบมะเร็งเต้านม สมเกียรติ โกศลสมบัติ รัชฎา คงคะจันทร์	354
OIE66	การจัดตารางสอนในมหาวิทยาลัยโดยใช้อัลกอริธึมการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคอย่างมีวิวัฒนาการและการโปรแกรมแบบมีข้อจำกัด อิทธิกร ธรรมจันทึก รัชฎา คงคะจันทร์	355
OIE67	การวิเคราะห์ระบบการวัดของแผนกพลาสติกกรณีศึกษา : โรงงานผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์การเกษตร สมพร วงษ์เพ็ง ระพี กาญจนะ	356

การวิเคราะห์ระบบการวัดของแผนกพลาสติก กรณีศึกษา : โรงงานผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์การเกษตร

สมพร วงษ์เพ็ง* และ ระพี กาญจนะ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110
E-mail: pond064@hotmail.com*

บทคัดย่อ

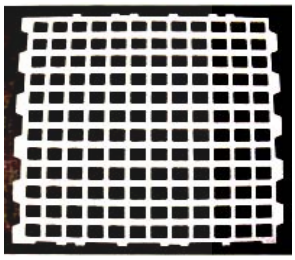
งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และปรับปรุงระบบการวัดที่มีผลต่อปัญหาของเสียของผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002 ในกระบวนการฉีดพลาสติก จากข้อมูลในอดีต ตั้งแต่เดือน ตุลาคม 2553 ถึง กุมภาพันธ์ 2554 พบว่ามีของเสียประมาณ 19,041 DPPM หรือ 1.9 % Defects จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ระบบการวัดก่อน เพื่อให้ระบบการวัดถูกต้องแม่นยำ และปรับปรุงคุณภาพของชิ้นงานในส่วนอื่นต่อไป ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยเริ่มจากการกำหนดผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการผลิตมากที่สุดมาวิเคราะห์ก่อน แล้วสร้างแผนภูมิกระบวนการ เพื่อทำให้ทราบความสัมพันธ์ของกระบวนการ ต่อด้วยประเมินผลคุณภาพของพนักงานตรวจสอบ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis) แบบนับ ผลการวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่ต้องการความแม่นยำมากขึ้น จึงทำการฝึกอบรมพนักงานตรวจสอบในการแยกแยะชิ้นงานคุณภาพดี กับชิ้นงานคุณภาพไม่ดี ด้วยวิธีการฝึกอบรมการปฏิบัติงานจริง (On the job training) ระยะเวลา 1 สัปดาห์ หลังจากนั้นประเมินผลคุณภาพของพนักงานตรวจสอบหลังปรับปรุง ผลการวิเคราะห์ที่ได้เพิ่มขึ้น อยู่ในเกณฑ์สูง จึงสามารถมั่นใจในกระบวนการตรวจสอบว่ามีความประสิทธิภาพ และความแม่นยำสูง เมื่อนำไปใช้ในกระบวนการตรวจสอบปกติ ส่งผลให้สามารถปรับปรุงระบบการวัดที่เกี่ยวข้องต่อปัญหาของเสียที่ของผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002 ในกระบวนการฉีดพลาสติก ลดเปอร์เซ็นต์ของเสียลงได้ 0.53%

คำหลัก การวิเคราะห์ระบบการวัด, กระบวนการฉีดพลาสติก

1. บทนำ

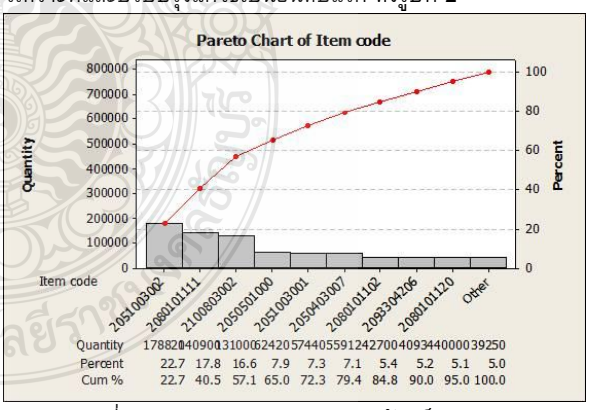
กระบวนการวัดถือเป็นกิจกรรมหนึ่งที่สร้างความน่าเชื่อมั่นให้สินค้าหรือผลิตภัณฑ์ขององค์กร และถือเป็นกิจกรรมสำคัญที่ทำหน้าที่ยืนยันว่าสินค้าหรือผลิตภัณฑ์เป็นไปตามข้อกำหนดหรือความต้องการของลูกค้า จึงทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องมีเครื่องมือที่จะทำการทวนสอบหรือยืนยันผลความแม่นยำ ความน่าเชื่อถือของกิจกรรมการวัดดังกล่าวด้วย ซึ่งจะทำให้มีความสอดคล้องต่อข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO 9001: 2008 ที่โรงงานกรณีศึกษาได้รับ การรับรองมาตรฐานไว้แล้ว

ปัจจุบันปริมาณของเสียจากกระบวนการฉีดพลาสติกโรงงานกรณีศึกษามีเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002 ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่น กว้าง 50 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร ซึ่งการใช้งานจะนำมาเรียงต่อกันเป็นแผ่นพื้น ดังรูปที่ 1



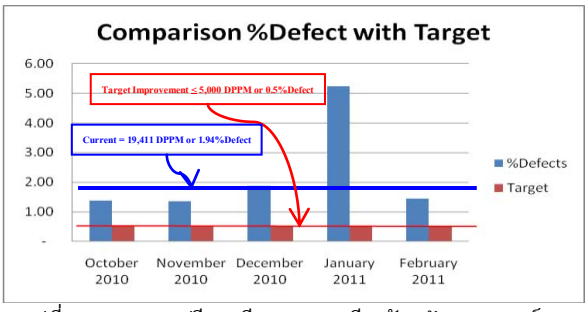
รูปที่ 1 แสดงผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002

ผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002 นี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการผลิตสูงที่สุดของแผนกพลาสติก จากการรวบรวมข้อมูลตั้งแต่เดือน ตุลาคม 2553 ถึง กุมภาพันธ์ 2554 จึงต้องนำมาวิเคราะห์และปรับปรุงแก้ไขเป็นอันดับแรก ดังรูปที่ 2



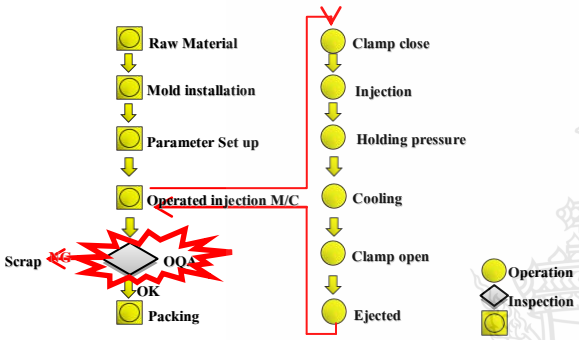
รูปที่ 2 แสดงจำนวนการผลิต ผลิตภัณฑ์พลาสติก

ผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002 นี้ยังพบของเสียมากถึง 3,471 ชิ้น หรือ 19,041 DPPM หรือ 1.9 %Defects ซึ่งไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่องค์กรตั้งไว้ คือของเสียจากการผลิตต้องไม่เกิน 0.5 %Defects หรือ 5,000 DPPM จากการรวบรวมข้อมูลตั้งแต่เดือน ตุลาคม 2553 ถึง กุมภาพันธ์ 2554 ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบ %ของเสีย กับ เป้าหมายองค์กร

กระบวนการผลิตของ ผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002 มีอยู่ด้วยกันหลายกระบวนการ ซึ่งหนึ่งในนั้นที่มีความสำคัญไม่น้อยกว่ากระบวนการอื่นๆ คือกระบวนการตรวจสอบ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002

การปรับปรุงคุณภาพของชิ้นงาน เทคนิคหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งก็คือ การวิเคราะห์ระบบการวัด ซึ่งเป็นกระบวนการที่รับรองคุณภาพของชิ้นงานนั้นๆ ว่ามีคุณภาพตรงตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งในโรงงานกรณีศึกษานี้ เป็นระบบการตรวจสอบด้วยสายตา (Visual check) ดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 แสดงการตรวจสอบชิ้นงานด้วยสายตา (Visual check)

การตรวจสอบชิ้นงานของโรงงานกรณีศึกษาจะมีผลผ่านหรือไม่ผ่านเท่านั้น ชิ้นงานที่ผ่านคุณภาพจะส่งให้กับลูกค้า ส่วนชิ้นงานที่ไม่ผ่านคุณภาพจะนำไปเป็นทิ้ง (Scrap) และการตรวจสอบชิ้นงาน จะมีมาตรฐานการตรวจ โดยเปรียบเทียบกับชิ้นงานตัวอย่างที่ผ่านการตรวจสอบด้วยผู้เชี่ยวชาญ โดยไม่มีการแนะนำถึงจุดของคุณภาพ (Quality point) หรือ ข้อกำหนดของคุณภาพ (Specification of Quality) จึงมีปัญหาในด้านการตรวจสอบชิ้นงานดีเป็นชิ้นงานเสีย หรืองานเสียเป็นงานดี จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องปรับปรุงระบบการวัดให้สามารถเชื่อถือได้

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis) เป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัด เพื่อแยกแยะแหล่งความผันแปรต่างๆ และดำเนินการปรับปรุง ในการวิเคราะห์จะสนใจในการวิเคราะห์ความถูกต้องและการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด แล้วพยายามปรับให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ

กิตติศักดิ์ (2542) ได้กล่าวไว้ว่า ปกติวัตถุต่างๆ ล้วนแต่จะมีค่าคงที่ของคุณสมบัติเฉพาะต่างๆ ค่าหนึ่งซึ่งถือเป็น “ค่าจริง” ของวัตถุตามคุณสมบัติเฉพาะนั้นๆ โดยพบว่า “การวัด” จะเป็นการกำหนดค่าที่เป็นตัวเลขให้กับคุณสมบัติเฉพาะเหล่านั้นๆ ในการกระบวนการวัด หรือระบบการวัดจะมีองค์ประกอบหลักๆ คือ เครื่องมือวัด พนักงานวัด วิธีการวัด สิ่งที่ได้รับการวัดและสิ่งแวดล้อมในการวัดแต่เนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้จะมีความไม่เท่ากันจึงส่งผลให้เกิดความผันแปรในระบบการวัดขึ้น ซึ่งความผันแปรนี้มีอยู่ด้วยกันสองลักษณะ คือ ความผันแปรที่เป็นไปด้วยสาเหตุธรรมชาติ (Common Cause of Variation) ซึ่งความผันแปรจะอยู่ในลักษณะเสถียรภาพที่สามารถทำนายได้ แต่ความผันแปรอีกลักษณะหนึ่ง คือ ความผันแปรที่เป็นไปด้วยสาเหตุแห่งความผิดพลาด (Special Cause of Variation) ความผันแปรนี้จะไม่เสถียรและไม่สามารถทำนายได้ในการวัดเพื่อการประกันคุณภาพ จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการตรวจจับสาเหตุแห่งความผิดพลาดแล้วทำการกำจัดทิ้งควบคู่ไปกับการพยายามลดสาเหตุธรรมชาติแห่งความผันแปรอย่างต่อเนื่อง

สาเหตุด้านความผันแปรของระบบการวัดเหล่านี้ จะมีผลทำให้ค่าวัดที่ได้เบี่ยงเบนไปจากค่าจริงของสิ่งวัดเสมอ กล่าวคือ ถ้าให้ x หมายถึงค่าวัดที่ได้ และ μ หมายถึงค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัดแล้ว จะได้ว่า xi = μ - ε i โดยจะเรียก ε นี้ว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าวัด (Measurement Error) ในการวิเคราะห์ระบบการวัดนี้ มีจุดประสงค์สำคัญในการวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด แล้วทำการแก้ไขปรับปรุง

จากความคลาดเคลื่อนของค่าวัดที่มีทั้งปริมาณที่สามารถกำจัดได้ และกำจัดไม่ได้ จึงมีความจำเป็นต้องกำจัดปริมาณที่สามารถควบคุมได้ก่อน อันได้แก่ ความคลาดเคลื่อนซึ่งเป็นสาเหตุมาจากความผิดพลาด เช่น การขาดความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องมือวัด ซึ่งสามารถกำจัดได้ โดยการกำหนดขั้นตอน และวิธีการวัดที่แน่นอน การฝึกอบรมพนักงานวัด การทำมาตรฐานของสิ่งที่ได้รับการวัดเป็นต้น เมื่อดำเนินการทำให้ระบบการวัดเป็นมาตรฐานแล้ว ก็จะดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือ เพื่อกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ หลังจากนั้นจะมีการลดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม ซึ่งมีสาเหตุมาจากธรรมชาติต่างๆ ด้วยการประเมินถึงแหล่งความผันแปรต่างๆ ทั้งจากเครื่องมือวัด พนักงานวัดตลอดจนสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการวัด

การวิเคราะห์ระบบการวัด เป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัด เพื่อแยกแยะแหล่งความผันแปรต่างๆ และดำเนินการปรับปรุง ในการวิเคราะห์จะสนใจในการวิเคราะห์ความถูกต้องและการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด แล้วพยายามปรับให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งความแม่นยำของระบบการวัดจะประกอบไปด้วย

- ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) หมายถึงความแตกต่างของระบบการวัดภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน

- ความสามารถในการทำเหมือน (Reproducibility) หรือไบอัส (Bias) หมายถึงความแตกต่างของระบบการวัดต่างเงื่อนไขกัน

ในการวิเคราะห์ทั้ง 2 กรณีนี้ สามารถแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 วิธี คือ วิธีการอาศัย และ ANOVA ซึ่งการศึกษาโดยอาศัยพิสัย R จะให้ภาพรวมของความผันแปรของระบบการวัดแต่ไม่สามารถแยกความผันแปรออกเป็น Repeatability และ Reproducibility วิธีการอาศัยค่าเฉลี่ยและค่าพิสัย สามารถแยกความผันแปรออกเป็น Repeatability และReproducibility ออกจากกันได้ แต่ไม่สามารถแยกอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและสิ่งตัวอย่างของงานออกจากค่า Repeatability ได้ ส่วนวิธีการที่อาศัย ANOVA จะอาศัยการแยกความแปรผันรวมของระบบการวัดออกเป็นความผันแปรจากสาเหตุต่างๆ 4 องค์ประกอบด้วยกันคือ ความผันแปรจากสาเหตุของพนักงานวัด ความผันแปรจากสาเหตุของสิ่งตัวอย่างงาน ความผันแปรจากสาเหตุร่วมของพนักงานวัดกับสิ่งตัวอย่างงาน และความผันแปรจากสาเหตุของตัวอุปกรณ์วัดเอง

ในการศึกษาความสามารถของระบบการวัดแบบอาศัยข้อมูลนับนี้ จะเป็นการประเมินแบบเปรียบเทียบชิ้นงานที่ทำการตรวจสอบกับพิกัดกับข้อกำหนดเฉพาะ ซึ่งจะทำให้สามารถประเมินผลของข้อมูลออกมาเป็นยอมรับและปฏิเสธ หรือ ผ่านและไม่ผ่าน จึงไม่สามารถประเมินผลได้ว่า คุณภาพของงานที่ตรวจสอบได้นั้นดี หรือไม่ดีอย่างไร

สำหรับการศึกษาความสามารถของระบบการวัดแบบอาศัยข้อมูลจะเป็นการประเมินโดยการเปรียบเทียบชิ้นงานที่ทำการตรวจสอบกับพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะ ซึ่งจะทำให้สามารถประเมินผลของข้อมูลออกมาเป็นยอมรับ และปฏิเสธ หรือ ผ่านและไม่ผ่าน การประเมินผลจะออกมาในรูปของความมีประสิทธิผลของการตรวจสอบ (Screen Effectiveness) อันจะหมายถึงความสามามารถของระบบการวัดในการแยกแยะงานไม่ดีออกจากงานที่ดี ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการยอมรับจะขึ้นอยู่กับ %ของความผิดพลาดในการตรวจสอบ (%Error) ดังนี้

1. <10% Error สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้

2. 10% ถึง 30% อาจยอมรับได้ซึ่งขึ้นอยู่กับความสำคัญในสิ่งประยุกต์ใช้ค่าใช้จ่ายในการวัด ตลอดจนปัจจัยอื่นๆ ฯลฯ

3. >30% ไม่สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้และมีความจำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุความผันแปรแล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

ในการประเมินผลกระบวนการวัดมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการเลือกสิ่งตัวอย่างงานจากกระบวนการผลิตประมาณ 20-30 ชิ้น โดยพยายามให้สิ่งตัวอย่างงานดังกล่าวประกอบไปด้วยสิ่งตัวอย่างงานที่มีคุณภาพดี สิ่งตัวอย่างงานที่คุณภาพไม่ดีและสิ่งตัวอย่างงานที่มีคุณภาพก้ำกึ่งในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน

2. เลือกพนักงานวัดหรือพนักงานตรวจสอบมา 2-4 คน โดยพนักงานที่เลือกมาจะต้องเป็นพนักงานที่มีหน้าที่ประจำในการตรวจสอบคุณภาพ และได้ผ่านการฝึกอบรมมาอย่างดี และผ่านการสอบประเมินผลแล้ว

3. ทำการเลือกพนักงานขึ้นมาก่อนหนึ่งคนแล้วให้ตรวจสอบสิ่งตัวอย่างสุ่มเพื่อประเมินผลของพนักงานแต่ละคนนี้ความจำเป็นต้องทำการตรวจสอบ “ซ้ำ” อย่างน้อยชิ้นงานละ 2-3 ครั้ง

4. ทำการเลือกพนักงานคนที่สองขึ้นมาแล้วดำเนินการตรวจสอบอย่างสุ่มเหมือนข้อ 3 และทำเช่นนี้กับพนักงานคนอื่นๆ อีกจนครบทุกคนตามที่วางแผนไว้

5. ดำเนินการประเมินผลด้วยดัชนีต่างๆ ดังนี้

% Repeatability ของพนักงานตรวจสอบ = จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ/จำนวนครั้งที่ตรวจสอบเหมือนกัน

% ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ = จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ/จำนวนครั้งที่ตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้อง

% ประสิทธิผลด้าน Repeatability ของพนักงานตรวจสอบ = จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ/จำนวนครั้งที่ทุกคนตรวจสอบได้เหมือนกัน

% ประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ = จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ/จำนวนครั้งที่ทุกคนตรวจสอบถูกต้อง

% Repeatability จะใช้การวิเคราะห์ความแม่นยำในขณะที่ % ความไม่ไบอัสจะใช้วิเคราะห์ความถูกต้อง (ไบอัสหมายถึง ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากการวัดอ้างอิง) และในการเปรียบเทียบเกณฑ์การยอมรับกับ %Error จะได้เท่ากับ 100 ลบค่า % เหล่านี้เป็น % Error)

6. ดำเนินการตัดสินใจเพื่อปฏิบัติการแก้ไขจากดัชนีที่คำนวณได้จากดัชนีตามสมการที่ หากค่า % Repeatability ของพนักงานตรวจสอบได้ต่ำกว่าเกณฑ์ (น้อยกว่า 90%) แสดงถึงการขาดความแม่นยำของพนักงานจำเป็นต้องทำการฝึกอบรมพนักงานรวมทั้งการประเมินผลพนักงานใหม่แต่หาก % ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบได้ต่ำกว่าเกณฑ์ หมายถึง การตรวจสอบของพนักงานขาดความถูกต้องจำเป็นต้องปรับปรุงวิธีการตรวจสอบเสียใหม่ และหาก % ประสิทธิผลด้าน Repeatability ของการตรวจสอบ และ % ประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของการตรวจสอบได้ต่ำกว่าเกณฑ์จะหมายถึงระบบการตรวจสอบขาดความแม่นยำ และขาดความถูกต้องจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุจากดัชนีข้างต้นแล้วทำการแก้ไขให้ถูกต้อง เพื่อให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ศุภชาติ (2552) ได้กล่าวไว้ว่า ในการศึกษาความผันแปรที่เกิดขึ้นในระบบการวัดซึ่งอาศัยข้อมูลเชิงคุณภาพหรือข้อมูลนับนี้

จะมีกระบวนการ และขั้นตอนเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับข้อมูลเชิงปริมาณคือ อาศัยการประเมินผลระบบการวัดและการวิเคราะห์ระบบการวัด สำหรับขั้นตอนของการประเมินผลระบบการวัดจะเป็นการประเมินผลที่เรียกว่า การประเมินผลในระยะสั้น (Short method) โดยจะเป็นการเปรียบเทียบชิ้นงานที่ทำการทดสอบกับพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะ ซึ่งจะทำให้สามารถประเมินผลของข้อมูลออกมาเป็นที่ยอมรับ (accept) หรือปฏิเสธ (reject) และผ่าน (good) หรือไม่ผ่าน (no good) จึงไม่สามารถประเมินผลได้ว่าคุณภาพงานที่ตรวจสอบได้นั้นดีหรือไม่ดีอย่างไร

ชิต (2544) ได้กล่าวไว้ว่า ก่อนการวิเคราะห์ใด เพื่อดำเนินการแก้ไขปัญหาจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ระบบการวัดก่อน ถ้าหากระบบการวัดนั้นมีปัญหาก็หมายความว่าข้อมูลที่ได้มา ไม่มีสารสนเทศเพียงพอ ส่งผลที่จะนำมาใช้ในการตัดสินใจ

พรนภา (2543) ได้กล่าวไว้ว่า กระบวนการฉีดพลาสติก เริ่มจากเม็ดหรือผงพลาสติกถูกให้ความร้อน หลอมเหลว และฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์จนเต็ม หลังจากนั้นปล่อยให้แข็งตัว แล้วจึงปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ได้ชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์ ดังนั้นคุณภาพของชิ้นงานที่ได้จะดีหรือไม่ดี ขึ้นอยู่กับการออกแบบแม่พิมพ์ที่เหมาะสม และการปรับตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดพลาสติก ได้แก่ อุณหภูมิกระบอกฉีด ระยะชักสกรู ความเร็วรอบสกรู เป็นต้น ถ้าปรับค่าพารามิเตอร์ไม่ถูกต้อง ไม่เหมาะสม หรือลองผิดลองถูก (Trial and Error) จะทำให้เกิดของเสียขึ้นในกระบวนการฉีดพลาสติกเป็นจำนวนมาก คุณภาพชิ้นงานที่ได้ออกมาอาจจะไม่ตรงตามความต้องการของลูกค้า

3. วิธีการทดลอง

ขั้นตอนในการดำเนินงานสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ซึ่งประกอบไปด้วย ดังต่อไปนี้

3.1 วิเคราะห์ระบบการวัดก่อนการปรับปรุง โดยผู้ชำนาญการแยกแยะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี และที่มีคุณภาพไม่ดี จำนวน 50 ชิ้น กำหนดทดสอบซ้ำจำนวน 3 ครั้ง เลือกพนักงานตรวจสอบ จำนวน 3 คน สุ่มพนักงานตรวจสอบครั้งละหนึ่งคน ให้ตรวจสอบตัวอย่างงานแบบสุ่มว่าผ่าน (Good-G) หรือไม่ผ่าน (No Good-NG) พร้อมบันทึกผล ทำจนครบทุกคน แล้วคำนวณด้วย โปรแกรม MINITAB

3.2 อบรมพนักงานตรวจสอบชิ้นงาน ให้สามารถแยกแยะชิ้นงานดี หรือไม่ดี ด้วยมาตรฐานเดียวกัน

3.3 วิเคราะห์ระบบการวัดหลังการปรับปรุง โดยผู้ชำนาญการแยกแยะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี และที่มีคุณภาพไม่ดี จำนวน 50 ชิ้น กำหนดทดสอบซ้ำจำนวน 3 ครั้ง เลือกพนักงานตรวจสอบ จำนวน 3 คน สุ่มพนักงานตรวจสอบครั้งละหนึ่งคน ให้ตรวจสอบตัวอย่างงานแบบสุ่มว่าผ่าน (Good-G) หรือไม่ผ่าน (No Good-NG) พร้อมบันทึกผล ทำจนครบทุกคน แล้วคำนวณด้วย โปรแกรม MINITAB

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์ความผันแปรในระบบการวัดจากข้อมูลเชิงคุณลักษณะ หรือข้อมูลนับก่อนการปรับปรุง

การวิเคราะห์ความผันแปรในระบบการวัดจากข้อมูลเชิงคุณลักษณะหรือข้อมูลนับ ข้อมูลที่ได้ดังรูปที่ 6

ATTRIBUTE MEASUREMENT SYSTEMS STUDY

Item name: Slat **Item code: 2051003002** **Analysis By: Somporn Vongpeang**

NO	ผู้ประเมินคนที่ 1			ผู้ประเมินคนที่ 2			ผู้ประเมินคนที่ 3			Reference
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	
1	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
2	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
3	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
4	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
5	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
6	G	G	G	G	G	NG	G	NG	NG	G
7	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
8	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
9	G	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
10	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
11	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
12	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	G	NG	NG
13	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
14	G	G	NG	G	G	NG	G	NG	NG	G
15	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
16	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
17	NG	NG	NG	NG	G	NG	G	NG	NG	NG
18	NG	NG	NG	NG	G	NG	G	NG	NG	NG
19	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
20	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G

หมายเหตุ G คือ ชิ้นงานดี

NG คือ ชิ้นงานไม่ดีหรือเสีย

รูปที่ 6 ตัวอย่างข้อมูลผลการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานตัวอย่างของพนักงานตรวจสอบทั้ง 3 คน ก่อนปรับปรุง

ผลการวิเคราะห์โปรแกรม Minitab แสดงดังรูปที่ 7 และ 8

Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
1	50	42	84.00	(70.89, 92.83)
2	50	40	80.00	(66.28, 89.97)
3	50	40	80.00	(66.28, 89.97)

Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
1	50	42	84.00	(70.89, 92.83)
2	50	40	80.00	(66.28, 89.97)
3	50	39	78.00	(64.04, 88.47)

Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

Between Appraisers

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
50	35	70.00	(55.39, 82.14)

Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

All Appraisers vs Standard

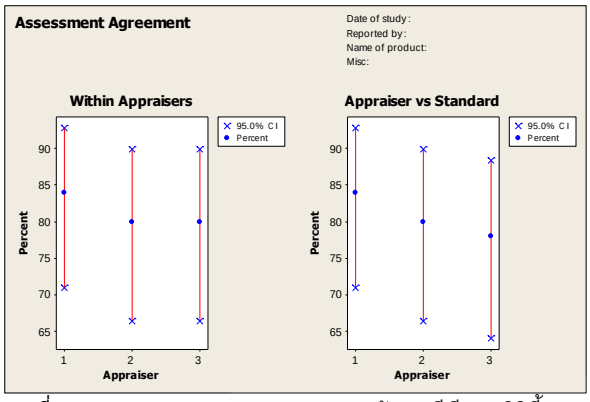
Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
50	35	70.00	(55.39, 82.14)

Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.

Attribute Agreement Analysis

รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับก่อนปรับปรุง



รูปที่ 8 แสดงการประมาณค่าแบบช่วงของร้อยละรีพีททะบิลิตี้ของพนักงาน (With Appraisers) และร้อยละความไม่ไบอัสของพนักงาน (Appraiser vs Standard) ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 % ก่อนปรับปรุง

จากรูปที่ 7 และ 8 สามารถตีความหมายจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ดังต่อไปนี้

1. ค่า %รีพีททะบิลีตี้ของพนักงานตรวจสอบคนที่ 1, 2, 3 มีค่าเท่ากับ 84.00%, 80.00% และ 80.00% ตามลำดับ และการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับค่ารีพีททะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 1, 2, 3 จะอยู่ในช่วง 70.89 ถึง 92.83, 66.28 ถึง 89.97 และ 66.28 ถึง 89.97 ตามลำดับ

2. ค่า %ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบคนที่ 1, 2, 3 จะมีค่าเท่ากับ 84.00%, 80.00% และ 78.00% ตามลำดับ และการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับค่าความไม่ไบอัสของพนักงาน คนที่ 1, 2, 3 จะอยู่ในช่วง 70.89 ถึง 92.83, 66.28 ถึง 89.97 และ 64.04 ถึง 88.47 ตามลำดับ

3. ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลีตี้เท่ากับ 70.00% ซึ่งแสดงว่าพนักงาน 3 คนตรวจสอบงาน 100 ชิ้น จะมีเพียง 70 ชิ้นเท่านั้นที่พนักงานทั้งสองคนตรวจสอบได้ผลลัพธ์เหมือนกันและการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลีตี้จะอยู่ในช่วง 55.39 ถึง 82.14

4. ประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบเท่ากับ 70.00% แสดงว่าในการใช้พนักงาน 3 คนตรวจสอบงานจำนวน 100 ชิ้น จะมีเพียง 70 ชิ้นเท่านั้นที่พนักงานทั้งสองคนตรวจสอบได้ถูกต้องเหมือนกัน และการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับประสิทธิผลด้านโปรดิวซิบิลิตี้จะอยู่ในช่วง 55.39 ถึง 82.14

จากข้างต้น %รีพีททะบิลีตี้ ของพนักงานตรวจสอบคนที่ 1, 2, 3 โดยเมื่อคิด %ของความผิดพลาดในการตรวจสอบทั้งสองจะมีค่าเท่ากับ 16%, 20% และ 20% ตามลำดับ ความหมายของค่ารีพีททะบิลิตี้นี้จะแสดงถึงความแม่นยำในการวัดอยู่ในเกณฑ์ที่พอจะยอมรับได้ แต่เพื่อแก้ไขปัญหาค่ารีพีททะบิลิตี้ของพนักงาน ให้มีค่าสูงขึ้นเพื่อความแม่นยำ จึงจำเป็นต้องทำการอบรมพนักงานใหม่ รวมถึงการประเมินผลพนักงานใหม่ เพื่อปรับปรุงรีพีททะบิลีตี้ให้ดีขึ้น

ในส่วน %ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบซึ่งบ่งบอกการใช้การวิเคราะห์ที่ถูกต้อง พบว่า พนักงานตรวจสอบ คนที่ 1, 2, 3 โดยเมื่อคิด %ของความผิดพลาดในการตรวจสอบจะมีค่าเท่ากับ 16%, 20% และ 22% ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่พอจะยอมรับได้ ดังนั้นต้องทำการปรับปรุงวิธีการตรวจสอบใหม่หรือมิฉะนั้นจะต้องกำหนดใช้ชิ้นงานได้รับการตรวจสอบโดยผู้ชำนาญการเฉพาะเท่านั้น

4.2 ทำการฝึกอบรมพนักงานตรวจสอบชิ้นงาน

ก่อนการปรับปรุง วิธีการอบรมพนักงานเป็นการอบรมด้วยตนเอง (Self Training) โดยดูจากชิ้นงานตัวอย่างที่ผ่านการตรวจสอบด้วยผู้เชี่ยวชาญ แล้วศึกษาด้วยตัวเอง โดยไม่มีการแนะนำถึงจุดของคุณภาพ (Quality point) หรือ ข้อกำหนดของคุณภาพ (Specification of Quality) ซึ่งมีปัญหาเรื่องมาตรฐานการแยกแยะชิ้นงาน ของดี ของเสียที่แตกต่างกัน

การปรับปรุง ด้วยวิธีการฝึกอบรมการปฏิบัติงานจริง (On the job training) โดยใช้มาตรฐานการฝึกอบรมเดียวกันแนะนำถึงจุดของคุณภาพ (Quality point) หรือ ข้อกำหนดของคุณภาพ (Specification of Quality) ด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านคุณภาพ ซึ่งการฝึกอบรมเดียวกันนี้จะเป็นการลดความผันแปรในการตัดสินใจของพนักงานตรวจสอบทั้งสาม และจะทำให้ความผันแปรในการวัดลดลงอีกด้วย โดยมีระยะเวลาการอบรม 1 สัปดาห์ และกำหนดมาตรฐานเวลาในการตรวจสอบชิ้นงานแต่ละชิ้น 30 วินาที กำหนดรอบเวลาการอบรมซ้ำ (Re-Training) ทุกๆ 3 เดือน

4.3 ผลการวิเคราะห์ความผันแปรในระบบการวัดจากข้อมูลเชิงคุณลักษณะ หรือข้อมูลนับหลังการปรับปรุง โดยสุ่มชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 50 ชิ้นงานซึ่งเป็นทั้งชิ้นงานที่มีคุณภาพดี (Good: G) และไม่ดี(No Good: NG) ซึ่งชิ้นงานแต่ละชิ้นจะได้รับการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ดี หรือไม่ดี โดยขั้นตอนของการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานตัวอย่างนี้จะใช้พนักงานตรวจสอบจำนวน 3 คน คือ พนักงาน A พนักงาน B และพนักงาน C ซึ่งพนักงานแต่ละคนจะทำการตรวจวัดชิ้นงานตัวอย่างแต่ละชิ้นให้ครบทั้ง 50 ตัวอย่าง และทำเช่นนี้จนครบทั้ง 3 คน และทุกคนจะทำการตรวจสอบชิ้นงานแต่ละชิ้นจำนวน 3 ครั้ง และข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานตัวอย่างโดยพนักงานตรวจสอบ A B และ C ข้อมูลที่ได้ดังรูปที่ 9

ATTRIBUTE MEASUREMENT SYSTEMS STUDY

Item name: Slat **Item code: 2051003002** **Analysis By: Somporn Vongpeang**

No	ผู้ประเมินคนที่ 1			ผู้ประเมินคนที่ 2			ผู้ประเมินคนที่ 3			Reference
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	
1	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
2	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
3	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
4	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
5	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
6	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
7	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
8	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
9	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
10	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
11	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
12	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
13	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
14	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
15	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
16	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
17	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
18	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
19	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
20	G	G	G	G	NG	G	G	G	G	G

หมายเหตุ G คือ ชิ้นงานดี

NG คือ ชิ้นงานไม่ดีหรือเสีย

รูปที่ 9 ตัวอย่างข้อมูลผลการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานตัวอย่างของพนักงานตรวจสอบทั้ง 3 คน หลังปรับปรุง

ผลการวิเคราะห์โปรแกรม Minitab แสดงดังรูปที่ 10 และ 11

Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
1	50	50	100.00	(94.18, 100.00)
2	50	49	98.00	(89.35, 99.95)
3	50	50	100.00	(94.18, 100.00)

Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
1	50	50	100.00	(94.18, 100.00)
2	50	49	98.00	(89.35, 99.95)
3	50	50	100.00	(94.18, 100.00)

Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

Between Appraisers

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
50	49	98.00	(89.35, 99.95)

Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

All Appraisers vs Standard

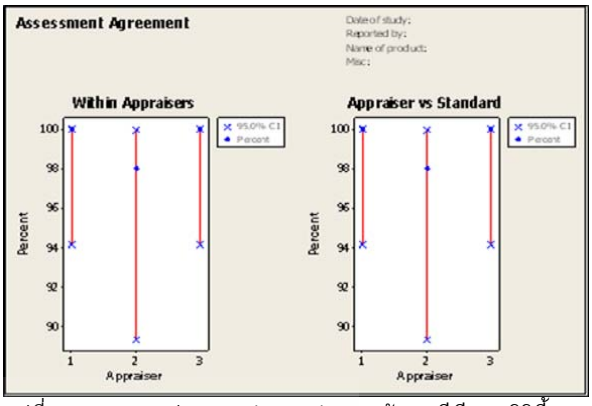
Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
50	49	98.00	(89.35, 99.95)

Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.

Attribute Agreement Analysis

รูปที่ 10 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับหลังปรับปรุง



รูปที่ 11 แสดงการประมาณค่าแบบช่วงของร้อยละรีพีททะบิลิตี้ของพนักงาน (With Appraisers) และร้อยละความไม่ไบอัสของพนักงาน (Appraiser vs Standard) ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 % หลังปรับปรุง

จากรูปที่ 10 และ 11 สามารถตีความหมายจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ดังต่อไปนี้

1. ค่า %รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบคนที่ 1, 2, 3 มีค่าเท่ากับ 100.00%, 98.00% และ 100.00% ตามลำดับ และการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับค่ารีพีททะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 1, 2, 3 จะอยู่ในช่วง 94.18 ถึง 100.00, 89.35 ถึง 99.95 และ 94.18 ถึง 100.00 ตามลำดับ

2. ค่า %ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบคนที่ 1, 2, 3 จะมีค่าเท่ากับ 100.00%, 98.00% และ 100.00% ตามลำดับ และการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับค่าความไม่ไบอัสของพนักงาน คนที่ 1, 2, 3 จะอยู่ในช่วง 94.18 ถึง 100.00, 89.35 ถึง 99.95 และ 94.18 ถึง 100.00 ตามลำดับ

3. ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้เท่ากับ 98.00% ซึ่งแสดงว่าพนักงาน 3 คนตรวจสอบงาน 100 ชิ้น จะมีเพียง 98 ชิ้นเท่านั้นที่พนักงานทั้งสองคนตรวจสอบได้ผลลัพธ์เหมือนกันและการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้จะอยู่ในช่วง 89.35 ถึง 99.95

4. ประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบเท่ากับ 98.00% แสดงว่าในการใช้พนักงาน 3 คนตรวจสอบงานจำนวน 100 ชิ้น จะมีเพียง 98 ชิ้นเท่านั้นที่พนักงานทั้งสองคนตรวจสอบได้ถูกต้องเหมือนกัน และการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับประสิทธิผลด้านโปรดิวซิบิลิตี้จะอยู่ในช่วง ถึง 89.35 ถึง 99.95

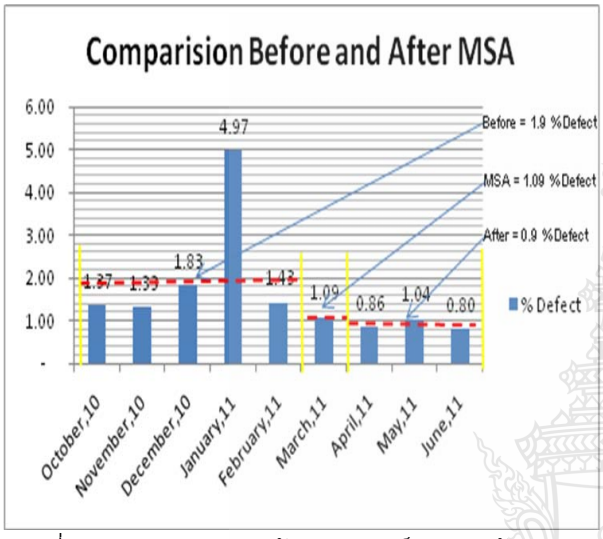
จากข้างต้น %รีพีททะบิลิตี้ ของพนักงานตรวจสอบคนที่ 1, 2, 3 โดยเมื่อคิด %ของความผิดพลาดในการตรวจสอบทั้งสองจะมีค่าเท่ากับ 0%, 2% และ 0% ตามลำดับ ความหมายของค่ารีพีททะบิลิตี้นี้จะแสดงถึงความแม่นยำในการวัดอยู่ในเกณฑ์สูง

ในส่วน %ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบซึ่งบ่งบอกการใช้การวิเคราะห์ที่ถูกต้อง พบว่า พนักงานตรวจสอบ คนที่ 1, 2, 3 โดยเมื่อคิด %ของความผิดพลาดในการตรวจสอบจะมีค่าเท่ากับ 0%, 2% และ 0% ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์สูงเช่นเดียวกัน จึง

เชื่อมั่นได้ว่า ระบบการตรวจสอบมีประสิทธิภาพ และความแม่นยำสามารถนำไปใช้ตรวจสอบได้ตามปกติ

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ระบบการวัดพนักงานตรวจสอบชิ้นงานผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002 จากการวิเคราะห์ และทำการฝึกอบรม ปรับปรุงวิธีการตรวจสอบ สามารถเพิ่มความแม่นยำ และลดอคติในการตรวจสอบชิ้นงาน เป็นผลให้สามารถลดของเสียที่เกิดขึ้นได้ ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 แสดงผลก่อน และหลังการวิเคราะห์ระบบการวัด ของผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการวิเคราะห์ระบบการวัด ของผลิตภัณฑ์ Slat รหัส 2051003002 ในกระบวนการฉีดพลาสติก สามารถปรับปรุงระบบการวัด และลดเปอร์เซ็นต์ของเสียลงได้ 0.53% จากเดิม 1.9 %Defect ลดลงเหลือ 0.9 %Defect จึงมั่นใจได้ว่าระบบการวัดมีความถูกต้อง แม่นยำ

การวิเคราะห์ระบบการวัดนี้ ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น หรือปัญหาประเภทอื่น นอกเหนือจากผลิตภัณฑ์ Slat 2051003002 ได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.ระพี กาญจนะ ที่กรุณาให้ความรู้คำปรึกษา แนวคิด ข้อเสนอแนะ ข้อคิดเห็นต่างๆ และตรวจสอบข้อบกพร่องอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิจัยในครั้งนี้จนงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงใคร่ขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ และผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะครูอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้การเรียนการสอนด้าน สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

งานวิจัยนี้สามารถเสร็จสิ้นได้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยสนับสนุน และเป็นกำลังใจในหลายๆด้าน และผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยกรรมการผู้จัดการ, ผู้จัดการ, หัวหน้าแผนก และช่างเทคนิค ที่ได้ให้โอกาสและคำแนะนำเป็นแนวทางในการทำการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

<u>ประชุมวิชาการภาษาไทย</u>

[1] ชิต เหล่าวัฒนา และ ณัฐพงศ์ วุฒิกร, 2544 การปรับปรุงคุณภาพระบบวัดความสั่นสะเทือนของสปินเดิลมอเตอร์โดยผ่านแนวทางของซิกส์ซิกม่า. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.

[2] พรนภา สนองบุญ, 2543. การศึกษาการปรับตั้งพารามิเตอร์ที่สำคัญของเครื่องฉีดพลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[3] ศุภชาติ ขมหวาน, 2552. การศึกษาความผันแปรในการวิเคราะห์ระบบการวัดและการประยุกต์. การค้นคว้าแบบอิสระเชิงวิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาสถิติประยุกต์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

<u>หนังสือภาษาไทย</u>

[4] กิตติศักดิ์ พลอยพาณิชเจริญ, 2542 การวิเคราะห์ระบบการวัด. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นายสมพร วงษ์เพ็ง
วัน เดือน ปีเกิด	4 มกราคม 2525
ที่อยู่	193/2 หมู่ที่ 2 ตำบลหนองหลวง อำเภอท่าตะโก จังหวัดนครสวรรค์ 60160
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหการ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปี พ.ศ. 2550
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2550 – 2553	ตำแหน่งวิศวกรควบคุมการผลิต บริษัทแอร์วอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด
พ.ศ. 2553 – 2554	ตำแหน่งวิศวกรควบคุมกระบวนการผลิต บริษัทชิโยดะ อินทิเกร (ประเทศไทย) จำกัด
พ.ศ. 2554 – ปัจจุบัน	ตำแหน่งวิศวกร 5 บริษัทเค.เอส.พี. อุปกรณ์ จำกัด (เครือเจริญโภคภัณฑ์)