การลดข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวในชิ้นส่วนงานหล่อของช่วงล่างรถบรรทุก

นายสุรธวัช จินาพันธ์

โครงงานวิจัยอุตสาหกรรมนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคุณภาพ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2549

การลดข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวในชิ้นส่วนงานหล่อของช่วงล่างรถบรรทุก

นายสุรธวัช จินาพันธ์ วศ.บ. (วิศวกรรมโลหการ)

โครงงานวิจัยอุตสาหกรรมนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคุณภาพ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2549

คณะกรรมการสอบโครงงานวิจัยอุตสาหกรรม

..... ประธานกรรมการโครงงานวิจัยอุตสาหกรรม
(รศ.กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.พจมาน เตียวัฒนรัฐติกาล)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อ.วาสนา เสียงดัง)

..... กรรมการ
(ผศ.พยูร เกตุกราย)

..... กรรมการ
(ดร.อัษฎา จิรประยุกต์เลิศ)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

การลดข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวในชิ้นส่วนงานหล่อของช่วงล่างรถบรรทุก

นายสุรธวัช จินาพันธ์ วศ.บ. (วิศวกรรมโลหการ)

โครงงานวิจัยอุตสาหกรรมนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคุณภาพ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2549

คณะกรรมการสอบโครงงานวิจัยอุตสาหกรรม

..... ประธานกรรมการโครงงานวิจัยอุตสาหกรรม
(รศ.กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.พจมาน เตียวัฒนรัฐติกาล)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อ.วาสนา เสียงดัง)

..... กรรมการ
(ผศ.พยูร เกตุกราย)

..... กรรมการ
(ดร.อัษฎา จิรประยุกต์เลิศ)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สำนักหอสมุด
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Industrial Research Project Title	Shrinkage Defect Reduction in Casting Suspension Parts for Truck and Trailer
Industrial Research Project Credits	6
Candidate	Mr.Surathawat Jinaphan
Industrial Research Project Advisors	Asst. Prof. Pochamarn Teawattanarattikal
	Lect.Wassana Siangdung
Program	Master of Engineering
Field of Study	Quality Engineering
Department	Production Engineering
Faculty	Engineering
B.E.	2549

Abstract

The industrial research was conducted at Burapa Steel Co., Ltd under their real working conditions. The main objective of this study was to reduce the amount of rework of non-conforming steel casting parts. A trailer suspension part named "U-Bolt Plate UT005A40A" was chosen as a subject in order to analytically verify the influential factors that caused "Shrinkage defect" by the Design of Experiment method and the indicator was considered by the gross plant rework reduction. By root cause analysis and FMEA, there were four influential impacts on shrinkage defects, namely: pouring temperature, riser volume, sand mould moisture and pouring time. An effect of the pouring temperature on shrinkage could be explained by metallurgical theory, while the other three factors were analyzed by OFAT method. The result showed that the two significant conditions that cause the least shrinkage under studying constraints were riser volume and pouring temperature. The results from the design of experiment showed that the optimum condition was 271.3 cm^3 of riser volume and 1600 ºC of pouring temperature. When the experimental findings were applied to mass production process, the shrinkage in U-Bolt Plate UT005A40A was reduced from 13 percent to 2.28 percent. Consequently, the gross plant rework defect was successfully reduced from 15 percent to 10 percent.

Keywords: Steel Casting / Shrinkage Defect / Design of Experiment / FMEA

หัวข้อโครงงานวิจัยอุตสาหกรรม	การลดข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวในชิ้นส่วนงานหล่อของช่วงล่างรถบรรทุก
หน่วยกิต	6
ผู้เขียน	นายสุรธวัช จินาพันธ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.พจมาน เตียวัฒนรัฐติกาล อ.วาสนา เสียงดัง
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมคุณภาพ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ.	2549

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยอุตสาหกรรมนี้ได้ทำการศึกษาใน บริษัท บูรพาเหล็กกล้า จำกัด มีวัตถุประสงค์เพื่อลดสัดส่วนงานซ่อมชิ้นงานในกระบวนการผลิตเหล็กกล้าหล่อ โดยมุ่งเน้นไปที่งาน U-Bolt Plate UT005A40A ด้วยการวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่มีผลต่อลักษณะข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวซึ่งส่งผลต่อปริมาณงานซ่อมโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม จากการวิเคราะห์หาสาเหตุผ่านการระดมสมองและวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดโพรงหดตัวมีสี่ปัจจัย คือ อุณหภูมิเทน้ำเหล็ก ขนาดของรูล้น ความชื้นทรายทำแบบ และเวลาในการเทน้ำเหล็ก โดยที่อุณหภูมิเทน้ำเหล็กเป็นปัจจัยที่สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีการหล่อโลหะ ส่วนอีกสามปัจจัยนำไปทดลองโดยการวิเคราะห์ทีละปัจจัย (OFAT) พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโพรงหดตัวอย่างมีนัยสำคัญภายใต้เงื่อนไขของการศึกษานี้ คือ ขนาดรูล้น กับ อุณหภูมิเทน้ำเหล็ก ผลจากการทำการออกแบบการทดลองพบว่า อุณหภูมิเทน้ำเหล็กที่ 1600 องศาเซลเซียส และขนาดรูล้นแบบใหม่ที่ปริมาตร 271.3 ลูกบาศก์เซนติเมตร ให้ผลการเกิดโพรงหดตัวน้อยที่สุด และจากการติดตามผลโดยผลิตงานจริง พบว่าข้อบกพร่องโพรงหดตัวของงาน U-Bolt Plate 005A40A ลดลงจากร้อยละ 13 เหลือ ร้อยละ 2.28 ส่งผลให้สัดส่วนงานซ่อมรวมของบริษัทลดลงจากร้อยละ 15 ของงานที่ผลิตทั้งหมดเหลือร้อยละ 10 ของงานที่ผลิตทั้งหมด ซึ่งบรรลุตามเป้าหมายคุณภาพที่กำหนดไว้ว่าสัดส่วนงานซ่อมไม่เกินร้อยละ 12 ของงานที่ผลิตทั้งหมด

คำสำคัญ : เหล็กกล้าหล่อ / โพรงหดตัว / การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม / การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิจัยอุตสาหกรรมนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยกราบขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน โดยเฉพาะ ผศ.พจมาน เตียวัฒนรัฐติกาล และอาจารย์ วาสนา เสียงดัง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาการทำวิจัยที่กรุณาให้แนวคิดคำแนะนำตลอดจนแก้ไขปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ และขอกราบขอบพระคุณ รศ.กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ ผู้ที่ให้แนวคิดในการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ รวมไปถึงคณะกรรมการสอบคือ ผศ.พยูร เกตุกรายและดร.อัษฎา จิรประยุกต์เลิศ

โครงงานนี้อาจจะไม่สำเร็จได้ถ้าหากไม่ได้รับความร่วมมือที่ดีตลอดมา ซึ่งผู้วิจัยกราบขอบพระคุณ คุณสมศักดิ์ เตชาพลาเลิศ คุณสมนึก เตชาพลาเลิศและคุณสมชัย อุดมพันธุ์ ซึ่งทั้งสามท่านเป็นกรรมการบริหารบริษัท บูรพาเหล็กกล้า จำกัดที่สนับสนุนการศึกษา คุณศิริชัย อุดมพันธุ์ ผู้จัดการทั่วไป ที่ให้คำแนะนำแนวคิดและข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวกับการทำงานวิจัยนี้แก่ผู้วิจัยเป็นอย่างดี และพนักงานบริษัท บูรพาเหล็กกล้า จำกัด ทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้คำแนะนำและข้อมูลต่างๆ ในการปรับค่าระดับปัจจัยต่างๆ ในการทดลอง ตลอดถึงเพื่อนๆ สาขาวิศวกรรมคุณภาพ ที่ให้คำแนะนำต่างๆ สุดท้ายผู้วิจัยกราบขอบพระคุณ คุณธวัชและคุณสุรภี จินาพันธ์ พ่อและแม่ของผู้วิจัยและคุณวชิราภรณ์ หมั่นเพียรที่ให้กำลังใจตลอดมา รวมถึงบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้แต่มีส่วนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี ทุกตัวอักษร ในโครงงานวิจัยเล่มนี้ เกิดจากทุกๆ ท่านที่ได้กล่าวมา ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ค
กิตติกรรมประกาศ ง
สารบัญ จ
รายการตาราง ซ
รายการรูปประกอบ ญ
รายการสัญลักษณ์ ฐ
ประมวลศัพท์และคำย่อ ฑ

บทที่

1. บทนำ **1**
1.1 หลักการและเหตุผล 1
1.2 วัตถุประสงค์ 1
1.3 ขอบเขตของงาน 2
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย 2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.6 บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง **6**
2.1 เหล็กกล้า 6
2.2 การหลอมเหล็กกล้า 8
2.3 การออกแบบและตำแหน่งวางรูล้น 11
2.4 ตำหนิงานหล่อ 19
2.5 การวิเคราะห์ระบบการวัด 25
2.6 เครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในการดำเนินการ 29
2.7 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ (FMEA) 32
2.8 การทดสอบสมมุติฐาน 34
2.9 การออกแบบการทดลอง 35

3. สภาพปัจจุบันของบริษัทที่เข้าร่วมโครงการ **40**

3.1 รายละเอียดของบริษัท 40

3.2 ประวัติความเป็นมา 40

3.3 ลักษณะการประกอบธุรกิจ 41

3.4 โครงสร้างการบริหารงาน 41

3.5 หน้าที่ของฝ่ายผลิต 42

3.6 ประเภทของสินค้าที่ผลิตในปัจจุบัน 42

3.7 กระบวนการทางธุรกิจ 44

3.8 กระบวนการผลิตชิ้นงานหล่อ 47

3.9 สภาพปัญหาของโรงงาน 59

3.10 การเลือกผลิตภัณฑ์ที่จะไปทำการวิจัย 63

3.11 รายละเอียดผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา 69

3.12 สภาพการซ่อมชิ้นงานในปัจจุบัน 70

3.13 ตัวชี้วัดของโครงงาน 72

4. การดำเนินงาน **73**

4.1 การวิเคราะห์ระบบการวัด 73

4.2 การศึกษาและวิเคราะห์เพื่อระบุปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาที่ต้องการศึกษา 78

4.3 ขั้นตอนการระดมสมองเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา 78

4.4 การวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่น่าจะส่งผลต่อการเกิดโพรงหดตัวในชิ้นงาน 80

4.5 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ (FMEA) 80

4.6 การทดสอบกรองปัจจัย 86

4.7 ดำเนินการการทดลองและวิเคราะห์ผลออกแบบการทดลอง 93

4.8 การทดลองเพื่อยืนยันผลการปรับปรุง 101

4.9 การติดตามผลการทดลอง 102

4.10 การวางแผนควบคุมระดับปัจจัย 105

5. สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ **109**

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 109

5.2 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการประเมินผลการดำเนินงาน 111

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพในอนาคต 111

5.4 ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นของการทำโครงงาน 112

เอกสารอ้างอิง **113**

ภาคผนวก **115**

ก รายละเอียดในการดำเนินการผลิต 115

ข ตารางการออกแบบทดลองและผลการทดลอง 131

ประวัติผู้วิจัย **143**

รายการตาราง

ตาราง **หน้า**

2.1 ปริมาณ SiO_2 ในเม็ดทรายที่เหมาะกับงานหล่อโลหะแต่ละชนิด 9

2.2 ปริมาณสัดส่วนผสมทรายหล่อแบบหล่อทรายชื้นสำหรับโลหะชนิดต่าง 10

2.3 ปริมาตรหดตัวของโลหะงานหล่อชนิดต่าง ๆ ในระหว่างกระบวนการแข็งตัว 12

2.4 ช่วงระยะเวลาในการแข็งตัวของน้ำเหล็กในรูปทรงต่างกันแต่มีน้ำหนักเท่ากัน 18

2.5 ขนาดสิ่งตัวอย่างแนะนำในการประเมินผลระบบการตรวจสอบ 27

2.6 ตาราง ANOVA (สูตร) 38

3.1 เป้าหมายคุณภาพของแต่ละหน่วยงาน 46

3.2 รายละเอียดของงานหล่อ 48

3.3 ปริมาณยอดการผลิตและของเสียรวมทุกประเภทของแต่ละเดือน 60

3.4 แสดงการเปรียบเทียบความต้องการของลูกค้า 60

3.5 จำนวนครั้งที่ลูกค้าร้องเรียนในแต่ละปี 61

3.6 จำนวนครั้งที่ลูกค้าร้องเรียนในแต่ละปีของลูกค้า Weweler 64

3.7 ปัญหาของงาน U-Bolt Plate UT005A40A ที่ลูกค้าพบและร้องเรียนมา 64

3.8 ข้อมูลการผลิตของงานทั่วไป เทียบกับงาน U-Bolt Plate UT005A40A 67

3.9 สัดส่วนงานซ่อมของลูกค้า Weweler ในปี 2547 และ 2548 68

3.10 ลักษณะบกพร่องของงาน U-Bolt Plate UT005A40Aที่ต้องซ่อมแซม 70

4.1 ผลการวัดคุณภาพชิ้นงานของพนักงานแผนกตรวจสอบ 75

4.2 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ 81

4.3 ค่าตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญของความเสี่ยง 83

4.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดโพรงหดตัว 84

4.5 ผลการทดลองจากการปรับค่าความชื้นแบบทรายสองค่า 88

4.6 ผลการทดลองจากการปรับขนาดของรูล้นสองค่า 90

4.7 ผลการทดลองจากการปรับเวลาในการเทสองค่า 91

4.8 ระดับของปัจจัยและปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง 93

4.9 ค่าของปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ และทำการกำหนดค่าไว้ 94

4.10 ค่าของปัจจัยที่สามารถควบคุมได้และทำการปรับเปลี่ยนค่าการทำงาน 94

4.11 ผลการทดลอง 2 ปัจจัย 2 ระดับ 95

4.12 สรุปการจำแนกของเสียแต่ละระดับคู่ปัจจัยจากผลการทดลอง 100

4.13 ระดับการปรับตั้งของแต่ละปัจจัยก่อนและหลังการปรับปรุง 101

4.14 ผลการทดสอบการปรับปรุง 101
4.15 การเปรียบเทียบสัดส่วนงานซ่อมรวมของบริษัทฯ ก่อนและหลังการปรับปรุง 104
4.16 แผนการควบคุม (Control Plan) ในส่วนการผลิต 107
5.1 สภาวะของปัจจัยที่ทำให้เกิดโพรงหดตัวน้อยที่สุด 110
5.2 การเปรียบเทียบสัดส่วนงานซ่อมโพรงหดตัวก่อนและหลังปรับปรุง 110
5.3 สัดส่วนงานซ่อมรวมและต้นทุนโสหุ้ยก่อนและหลังการปรับปรุง 110
ก.1 การหาที่มาของตัวชี้วัด 116
ก.2 ตัวอย่างใบบันทึกงานซ่อมประจำวัน 117
ก.3 ต้นทุนโสหุ้ยที่ใช้ในการผลิต 118
ก.4 เกณฑ์การประเมินการให้คะแนน ในการกำหนดอัตราของความรุนแรง (Sev) 121
ก.5 เกณฑ์การประเมินการให้คะแนน ในการกำหนดโอกาสในการเกิด (Occur) 122
ก.6 เกณฑ์การประเมินการให้คะแนน ในการกำหนดโอกาสในการตรวจจับ (Prot) 123
ก.7 แผนการควบคุม (Control Plan) ทั้งกระบวนการ 124
ก.8 แบบฟอร์มใบบันทึกการผสมทราย 128
ก.9 ใบบันทึกการตรวจสอบกระสวน 129
ก.10 ใบบันทึกการหลอมเหล็ก 130
ข.1 ตารางแผนการทดลองการทดสอบการวัด 132
ข.2 ตารางการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab 134
ข.3 ผลการติดตามชิ้นงาน U-Bolt Plate UT005A40A ในข้อบกพร่องโพรงหดตัว 142

รายการรูปประกอบ

รูป **หน้า**

2.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอน 7

2.2 Equilibrium Diagram ของเหล็กคาร์บอน 8

2.3 ปริมาตรหดตัวของเหล็กบริสุทธิ์ 12

2.4 พฤติกรรมในระหว่างการแข็งตัวของน้ำเหล็ก 13

2.5 ขั้นตอนการแข็งตัวของน้ำโลหะที่เกิดขึ้นในชิ้นงานจริง 15

2.6 ลักษณะและตำแหน่งวางรูล้น 17

2.7 ลักษณะข้อบกพร่องของทรายร่วง 20

2.8 ลักษณะของโพรงหดตัว 21

2.9 Dendrite ในโพรงหดตัวของเหล็กเหนียวหล่อ 21

2.10 ลักษณะของตำหนิเนื้อไม่ประสาน 23

2.11 ลักษณะการเกิดตำหนิวิ่งไม่เต็มแบบ 24

2.12 ตำหนิเทไม่เต็มที่เกิดในชิ้นงานหล่อ 24

2.13 แนวความคิดในการประเมินความผันแปร 29

2.14 ลักษณะของแผนภาพพาเรโต 30

2.15 โครงสร้างของแผนภาพสาเหตุและผลแบบกำหนดรายการสาเหตุ 31

2.16 การแจกแจงของตัวสถิติ X ภายใต้ H_0 และ H_1 35

3.1 โครงสร้างขององค์กร 41

3.2 ชิ้นส่วนของโรงปูนซีเมนต์ 43

3.3 ชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมการเกษตร 43

3.4 ชิ้นงานช่วงล่างรถบรรทุก 43

3.5 กระบวนการทางธุรกิจ 45

3.6 แผนภูมิแสดงการผลิตชิ้นงานหล่อ 47

3.7 เศษเหล็กที่นำเข้ามาเพื่อทำการหลอม 49

3.8 การนำทรายแก้วไปตรวจสอบคุณภาพ 49

3.9 การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีของเศษเหล็ก 50

3.10 การตรวจสอบคุณภาพทรายแก้ว 50

3.11 การผสมทรายทำแบบ 51

3.12 การตรวจสอบคุณภาพของทรายชื้น 51

3.13 การทำแบบทราย 52

3.14 การตรวจสอบความแข็งแรงของแบบทราย 52
3.15 การหลอมเหล็กด้วยเตาหลอมไฟฟ้าแล้ววัดอุณหภูมิ 53
3.16 การตรวจสอบค่าเคมีในน้ำเหล็ก 53
3.17 การเทน้ำเหล็กลงในแบบทราย 54
3.18 การแคะเศษทรายออกจากชิ้นงาน 54
3.19 การตัดรูล้นออกจากชิ้นงาน 55
3.20 การยิงทรายชิ้นงาน 55
3.21 การเจียรแต่งชิ้นงานหลังการเชื่อม 56
3.22 การอบชุบชิ้นงาน 56
3.23 การเจียรละเอียดแล้วใช้เกจในการควบคุมขนาด 57
3.24 การกลึงชิ้นงานโดยใช้เครื่องกลึง CNC 57
3.25 การวัดขนาดของชิ้นงานที่ผ่านการกลึงแล้ว 58
3.26 การบรรจุชิ้นงานลงลัง 58
3.27 แผนภูมิสัดส่วนการสั่งซื้อของลูกค้าในปีพ.ศ. 2547 62
3.28 แผนภูมิสัดส่วนการสั่งซื้อของลูกค้าในปีพ.ศ.2548 63
3.29 โพรงหดตัวที่ลูกค้ายอมรับได้และไม่ยอมรับ 65
3.30 วิธีการซ่อมชิ้นงานที่มีโพรงหดตัวของลูกค้าทั่วไป 65
3.31 วิธีการซ่อมชิ้นงานที่มีโพรงหดตัวของลูกค้า Weweler 66
3.32 ชิ้นงาน U-BOLT PLATE UT005A40A 69
3.33 พาเรโตแสดงความมีเสถียรภาพของอาการของเสียที่ต้องซ่อมปี พ.ศ.2547 71
3.34 พาเรโตแสดงความมีเสถียรภาพของอาการของเสียที่ต้องซ่อมปีพ.ศ. 2548 71
4.1 ชิ้นงาน U-Bolt Plate UT005A40A 73
4.2 รูปงานดีของงาน U-Bolt Plate UT005A40A 74
4.3 รูปงานเสียของงาน U-Bolt Plate UT005A40A 74
4.4 สภาพหลังจากผ่าของชิ้นงานที่สภาพภายนอกเป็นของดี 77
4.5 สภาพหลังจากผ่าของชิ้นงานที่สภาพภายนอกเป็นของเสีย 77
4.6 แผนภาพก้างปลาแสดงเหตุและผลของการเกิดโพรงหดตัวในชิ้นงาน 79
4.7 แผนภาพพาเรโตค่าตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญของความเสี่ยงของปัจจัย 83
4.8 ขนาดของรูล้นแบบเก่า 85
4.9 ขนาดของรูล้นแบบใหม่ 85
4.10 ผลการคำนวณหาสิ่งตัวอย่างผ่านโปรแกรม Minitab 87

4.11 ผลการทดลองหาความมีนัยสำคัญของสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง เนื่องจากค่าความชื้นของทรายทำแบบ 89
4.12 ผลการทดลองหาความมีนัยสำคัญของสัดส่วน ผลิตภัณฑ์บกพร่องเนื่องจาก ขนาดของรูลม้น 90
4.13 ผลการทดลองหาความมีนัยสำคัญของสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องเนื่องจาก เวลาในการเท 92
4.14 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลอง 2 ปัจจัย 2 ระดับ 96
4.15 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลอง 2 ปัจจัย 2 ระดับ 97
4.16 กราฟแสดงผลการค่าเฉลี่ยของปัจจัยหลักของสัดส่วนของเสียแต่ละระดับ ปัจจัย 98
4.17 กราฟแสดงผลของสัดส่วนของเสียของปัจจัยร่วม 99
4.18 ผลการวิเคราะห์หลังปรับปรุงและก่อนปรับปรุง 102
4.19 แผนภูมิควบคุมประเภท P Chart ของการเกิดข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว 103
4.20 มาตรฐานการทำงาน 106

รายการสัญลักษณ์

n	=	จำนวนข้อมูล
N	=	ขนาดของประชากร
G	=	งานที่มีคุณภาพดี
NG	=	งานที่มีคุณภาพไม่ดี
2^k	=	การทดลองแบบ k ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยแบ่งเป็น 2 ระดับ
H_0	=	สมมติฐานหลัก
H_1	=	สมมติฐานอื่น
R^2	=	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ
x_i	=	ค่าวัดของข้อมูลตัวที่ i
y	=	ค่าของข้อมูลทางสถิติ
Z	=	ตัวแปรสุ่มแบบปกติมาตรฐาน
α	=	ความเสี่ยงของการตัดสินใจผิดพลาดแบบที่ 1
β	=	ความเสี่ยงของการตัดสินใจผิดพลาดแบบที่ 2
ε	=	ผลจากค่าที่ควบคุมไม่ได้
σ	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ประมวลศัพท์และคำย่อ

Analysis of Variance (ANOVA)	=	การวิเคราะห์ความแปรปรวน
Attribute Data	=	ข้อมูลเชิงคุณภาพ
Bias	=	ความเอนเอียง
Blow Hole	=	โพรงอากาศ
Cause and Effect Diagram	=	แผนภาพสาเหตุและผล
Casting Defect	=	ข้อบกพร่องงานหล่อ
Cold Shut	=	เนื้อไม่ประสาน
Control Limit	=	พิกัดควบคุม
Defect	=	ข้อบกพร่อง
Design of Experiment	=	การออกแบบการทดลอง
Detection	=	การตรวจจับ
Expertise	=	ผู้มีความรู้เฉพาะทาง
Factorial Experiment	=	การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล
Gating	=	ทางเข้าของน้ำเหล็กสู่ชิ้นงาน
Gating System	=	ระบบป้อนเติมน้ำโลหะ
Hypothesis	=	สมมุติฐาน
Independent Test	=	การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล
Interaction Effect	=	อิทธิพลร่วม
Intrinsic Technology	=	เทคโนโลยีเฉพาะทาง
Key Process Input	=	ปัจจัยที่ป้อนเข้าที่มีผลสำคัญต่อกระบวนการ
Main Effect	=	อิทธิพลหลัก
Measurement System Analysis (MSA)	=	การวิเคราะห์ระบบการวัด
Misrun	=	วิ่งไม่เต็มแบบ
Normality Test	=	การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล
Null Hypothesis	=	สมมุติฐานหลัก
Occurrence	=	การเกิด
Output	=	ผลผลิต
Pareto Diagram	=	แผนภาพพาเรโต
Potential Cause of Failure	=	สาเหตุที่มีแนวโน้มทำให้เกิดข้อบกพร่อง
Precision	=	ความแม่นยำ

Process Description / Function	=	รายละเอียดของกระบวนการ
Quality Control	=	การควบคุมคุณภาพ
Quality Improvement	=	การปรับปรุงคุณภาพ
Response Variable	=	ตัวแปรตอบสนอง
Replication	=	การทำภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน
Riser	=	รูล้น
Rough Surface	=	ผิวหยาบ
Runner	=	ทางวิ่งน้ำโลหะ
Sample	=	สิ่งตัวอย่าง
Sample Size	=	ขนาดของสิ่งตัวอย่าง
Sand Drop	=	ทรายตก
Screen Design	=	การออกแบบเพื่อกรองปัจจัยต่างๆ
Setting Value	=	ค่าปรับตั้ง
Severity of the Effect	=	ความรุนแรงของผลกระทบ
Shrinkage	=	โพรงหดตัว
Specification	=	ข้อกำหนดเฉพาะ
Sprue	=	รูเทน้ำเหล็ก
Statistical Hypothesis	=	สมมุติฐานเชิงสถิติ
Statistical Analysis	=	การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ
Test of Hypothesis	=	การทดสอบสมมุติฐาน
Variable	=	ตัวแปร
Variance	=	ความแปรปรวน
Vital Few	=	สิ่งสำคัญมากที่มีจำนวนน้อย

บทที่ 1 บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

เนื่องจากในปัจจุบันการแข่งขันทางด้านการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆมีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้น ผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาปรับปรุงรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ลดต้นทุนการผลิต สามารถส่งมอบให้กับลูกค้าได้ตรงตามเวลา เพื่อทำให้ลูกค้าเกิดความเชื่อมั่นในผลิตภัณฑ์ และถ้าผู้ผลิตรายใดสามารถรักษาคุณสมบัติดังที่กล่าวมาได้อย่างต่อเนื่องผู้ผลิตรายนั้นจะสามารถแข่งขันในเวทีตลาดโลกได้

จากการศึกษากระบวนการผลิตเหล็กกล้าหล่อ พบว่าในกระบวนการหล่อชิ้นงาน U-Bolt Plate UT005A40A มีปัญหาสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพสินค้าอย่างมากคือ โพรงหดตัว (Shrinkage) ซึ่งเป็นปัญหาที่ทำให้บริษัทสูญเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมากในแต่ละปี เพราะต้องทำการซ่อม (Rework) ชิ้นงานในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก และเมื่อพิจารณาสัดส่วนยอดผลิตที่เป็นอันดับหนึ่งของทางโรงงาน และมีสัดส่วนงานซ่อมของผลิตภัณฑ์นี้มากที่สุด ส่งผลให้สัดส่วนงานซ่อมรวมปัจจุบันอยู่ที่ 15% ของงานที่ผลิตทั้งหมด ซึ่งเบี่ยงเบนไปจากเป้าหมายคุณภาพที่ทางบริษัทฯกำหนดไว้คือสัดส่วนงานซ่อมรวมไม่เกิน 12% ของงานที่ผลิตทั้งหมด ดังนั้นหัวข้อของโครงการวิจัยนี้ จะเป็นการไปถึงการลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทโพรงหดตัวด้วยการนำกลวิธีทางสถิติ และการควบคุมคุณภาพและความรู้เฉพาะทางในด้านงานหล่อโลหะ มาทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและหาแนวทางแก้ไขเพื่อลดสัดส่วนงานซ่อมดังกล่าว

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อลดสัดส่วนงานซ่อมรวมของงานที่ผลิตทั้งหมดในบริษัทฯโดยมุ่งเน้นไปที่ชิ้นงาน U-Bolt Plate UT005A40A ที่มีข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว (Shrinkage) จากกระบวนการหล่อขึ้นรูป

2. เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตชิ้นงานอื่นที่ผ่านกระบวนการหล่อขึ้นรูปแล้วให้เกิดข้อบกพร่องโพรงหดตัวน้อยที่สุด

1.3 ขอบเขตของงาน

งานวิจัยนี้มีขอบเขตของงานวิจัยคือ ศึกษาเฉพาะกระบวนการหล่อของผลิตภัณฑ์ U-Bolt Plate UT-005A40Aซึ่งเป็นชิ้นส่วนช่วงล่างรถบรรทุกเท่านั้นและใช้วิธีการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ความแปรปรวนหาสภาวะปัจจัยที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องโพรงหดตัวน้อยที่สุด

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหล่อเหล็กกล้า

2. ศึกษาและกำหนดปัจจัยในกระบวนการหล่อเหล็กกล้าที่ส่งผลต่อการเกิดโพรงหดตัว (Shrinkage)

3. ทำการหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดโพรงหดตัวทั้งหมด ด้วยวิธีการระดมสมอง

4. ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่เลือกมาอีกครั้งโดยวิธีการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ

5. ทำการออกแบบและวางแผนการทดลองเพื่อหาข้อกำหนดเฉพาะ (Specification) ของแต่ละปัจจัยที่ทำให้ผลตอบรับเป็นไปตามลูกค้ากำหนดและบรรลุเป้าหมายคุณภาพ

6. ดำเนินการทดลองตามแผนของการออกแบบการทดลอง

7. วิเคราะห์ผลการทดลองโดยอาศัยหลักทางสถิติ

8. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องโพรงหดตัวและทราบสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้เกิดโพรงหดตัวน้อยที่สุด

2. สามารถลดสัดส่วนงานซ่อมชิ้นงานที่มีข้อบกพร่องโพรงหดตัวและสามารถเพิ่มผลผลิตของผลิตภัณฑ์

3. สามารถลดปริมาณวัสดุสิ้นเปลืองสำหรับการแก้ไขข้อบกพร่องเช่น ลวดเชื่อมที่ใช้ในการซ่อมชิ้นงานลงได้

4. สามารถลดคำร้องเรียนของลูกค้าในส่วนของคุณภาพของสินค้า

1.6 บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เสกสรร พลสุวรรณ [1] ได้ศึกษาถึงวิธีการแก้ไขปัญหาผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เกิดจากปัญหาเม็ดผง โดยเริ่มดำเนินการวิเคราะห์ระบบการวัดของพนักงานก่อนที่เพื่อให้มั่นใจได้ว่าผลการทดลองที่ได้จะไม่เกิดจากการวัดที่คลาดเคลื่อนของพนักงาน โดยทำการทดสอบโดยใช้ชิ้นงานที่มีคุณภาพดี ชิ้นงานที่มีคุณภาพก้ำกึ่งและชิ้นงานที่มีคุณภาพไม่ดี ซึ่งเมื่อทำการทดสอบแล้วได้ผลการทดสอบที่พึงพอใจ จึงทำการระดมสมอง (Brain storming) ร่วมกับพนักงานที่เกี่ยวข้องในงานพ่นสีรถยนต์ โดยผ่านแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ซึ่งจากการระดมสมองจะได้สาเหตุค่อนข้างมาก คือ 25 สาเหตุซึ่งเกินกว่าที่จะนำไปทดลองทั้งหมด จึงทำการลดสาเหตุที่ไม่เกี่ยวข้องออกไปก่อนโดยวิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) เพื่อดูว่าสาเหตุใดบ้างที่มีความสัมพันธ์อย่างเข้มแข็ง (Strong Relationships) กับตัวแปรออกที่ทำการศึกษา และเมื่อทำการทอนปัจจัยออกไปแล้วจนเหลือปัจจัยที่คิดว่ามีผลต่อการบกพร่องของผลิตภัณฑ์จึงทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ (FMEA) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการเข้าถึงปัญหาอย่างเป็นระบบ และใช้ในการศึกษาปัญหาที่เป็นไปได้เพื่อป้องกันปัญหาที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดขึ้นมา และเพื่อเป็นการเสริมทักษะของวิศวกรให้มีความคิดอย่างเป็นระบบ และมีการจัดลำดับก่อนหลังของการแก้ปัญหาโดยเน้นไปที่การป้องกันปัญหาที่มีโอกาสการเกิด (Most Likely Failure) โดยทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากลักษณะข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต (Process FMEA)

ณัฐพล สินตระการผล [2] ได้ศึกษาถึงวิธีการลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องของการผลิตเพลาข้างรถยนต์ ซึ่งในกระบวนการผลิตเพลาข้างนั้น ในส่วนของหน้าแปลนต้องอาศัยวิธีการตีขึ้นรูป โดยวัตถุดิบที่ใช้เป็นท่อนเหล็กกลมเมื่อตัดให้ได้ขนาดตามมาตรฐานแล้ว นำไปให้ความร้อนโดยอาศัยการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าผ่านวัตถุดิบ แล้วจึงนำไปตีให้ได้รูปร่างที่ต้องการ ปัญหาผลิตภัณฑ์บกพร่องที่พบได้มากที่สุดจากกระบวนการผลิตดังกล่าวคือ ปัญหาหน้าแปลนเนื้อไม่เต็ม ดังนั้นจึงดำเนินการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้วิธีการทางสถิติ ในลำดับแรกนั้นมุ่งพิจารณาในส่วนของเครื่องจักรที่มีผลกระทบกับการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องโดยตรง เช่น เครื่องตัดเหล็ก, เครื่องอัดขึ้นรูปร้อนและเครื่องตีขึ้นรูป ทำให้ทราบถึงตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบกับการเกิดปัญหาหน้าแปลนไม่เต็ม ในลำดับต่อมาจึงพยายามแยกพารามิเตอร์ที่สามารถควบคุมได้และควบคุมไม่ได้ออกจากกัน แล้วจึง

ดำเนินการควบคุมพารามิเตอร์ที่ควบคุมได้ คือ Spindle Pressure, Upsetting Temperature, Forging Force จากนั้นทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยทั้งสามด้วยการใช้การทดลองแบบ 2^3 แฟคทอเรียล พบว่าควรปรับตั้งค่า Spindle Pressure เท่ากับ 70 kg/cm^2, Upsetting Temperature เท่ากับ 1200°C, Forging Force เท่ากับ 1250 Ton เพื่อให้การเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทหน้าแปลนไม่เต็มน้อยที่สุด และจากการปรับตั้งพารามิเตอร์ทั้งสามในสภาวะดังกล่าว พบว่ากระบวนการผลิตเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องเท่ากับ 2562 ppm มากกว่าค่าที่ตั้งเป้าไว้ คือ 1809 ppm การที่ยังเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องในระดับสูงอยู่นั้น สาเหตุจากยังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และยังไม่ได้รับการควบคุม เช่น การไม่กำหนดมาตรฐานของการทำความสะอาดแผ่น Anvil หรือการปรับ Die Alignment ตามอายุการใช้งานของเครื่องตีขึ้นรูป เป็นต้น จากสาเหตุเหล่านี้ถ้าสามารถทำการควบคุมหรือเพิ่มความเข้มงวดในการซ่อมบำรุงตามอายุการใช้งานแล้วจะสามารถลดการเกิดผลิตเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องลงอีกได้

ธนพงศ์ เวชพงศ์ [3] ได้ทำการศึกษาสาเหตุ และปรับปรุงกระบวนการเจาะเพื่อลดการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องเนื่องจากการเจาะรูเกินขนาด มีวัตถุประสงค์ในการแก้ปัญหาการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องในกระบวนการผลิต โดยมุ่งที่กระบวนการเจาะในสายการผลิตบี ซึ่งเป็นกระบวนการวิกฤต เนื่องจากมีการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องมากที่สุดในโรงงาน การดำเนินการวิจัยมีการเก็บข้อมูลเพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ในลักษณะต่างๆ เพื่อแก้ไขปัญหา มีการนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อให้มั่นใจว่า ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลที่มีความถูกต้อง และแม่นยำ และเป็นข้อมูลที่ไม่มีความผันแปรและผิดพลาดจากการวัด จึงได้มีการวิเคราะห์ระบบการวัด ของกระบวนการเจาะ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์พบว่า สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดของกระบวนการเจาะได้ จึงได้ดำเนินการในขั้นตอนต่อไป โดยการศึกษาความสามารถของกระบวนการเจาะ ซึ่งเป็นการพิจารณาเพื่อบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการทำงาน ความผันแปรในกระบวนการ และพิจารณาถึงความคงที่ของกระบวนการ จากผลการศึกษาความสามารถของกระบวนการ พบว่ากระบวนการเจาะมีค่าดัชนี Cp, Cpk ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และกระบวนการเจาะมีกระบวนการทำงานที่ไม่คงที่ จึงจำเป็นจะต้องดำเนินการเพื่อลดความผันแปรต่างๆ ในการะบวนการ โดยการจัดมาตรฐานในการทำงานของกระบวนการเจาะ ในการวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดปัญหา สำหรับการวิจัยนี้ได้ใช้หลักการทางสถิติในการเก็บข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูล ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเบื้องต้น ดำเนินการโดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล และแบบสอบถามสาเหตุและผล และการยืนยันสาเหตุของปัญหาได้ใช้การออกแบบการทดลอง แบบการทดลองหลายปัจจัย เมื่อแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ (2^k Factorial Design Experiment) โดยมีปัจจัยที่ให้ความสนใจ 3 ปัจจัย คือ เศษจากการเจาะสว่าน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรีมเมอร์ ความคมของมุมตัดดอกสว่าน โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูล และสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเศษจากการเจาะของตำแหน่งการเจาะสว่าน มีผลต่อการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องเนื่องจากรูเจาะเกิน

ขนาดอย่างมีนัยสำคัญ จึงได้ดำเนินการแก้ไขร่วมกับเจ้าหน้าที่ของโรงงาน โดยใช้แนวความคิดที่ว่าจะทำให้ไม่มีเศษจากการเจาะเข้าไปติดค้างในรูเจาะ จนไปถึงกระบวนการรีมเมอร์ ซึ่งจะก่อให้เกิดรูเจาะเกินขนาด โดยเจ้าหน้าที่ของโรงงานได้ทำการออกแบบเครื่องปัดเศษ และออกแบบปรับกระบวนการเจาะให้มีลักษณะการเจาะแบบเป็นจังหวะ และหยุดให้ดอกสว่านหมุนอยู่กับที่เพื่อปัดเศษ ซึ่งผลของการปรับปรุงกระบวนการเจาะสามารถลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องจากปัญหารูเจาะเกินขนาด ในกระบวนการเจาะสายการผลิตบี ลงได้ร้อยละ 94.61 ของการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่อง เนื่องจากปัญหารูเจาะเกินขนาดเดิมซึ่งมากกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ คือ จะทำการลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องลงร้อยละ 70 ของผลิตภัณฑ์บกพร่อง เนื่องจากปัญหารูเจาะเกินขนาด

Whitcomb [4] ได้ทำการออกแบบการทดลองสำหรับการหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่น้อยที่สุดในกระบวนการฉีดพลาสติก โดยนำตัวแปรที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวอย่างมีนัยสำคัญมาออกแบบการทดลอง และกำหนดระดับของตัวแปรแต่ละตัวเท่ากับสองระดับเพื่อลดเวลาในการทดลองและเก็บข้อมูล จากผลการทดลองพบว่าความดันฉีดและระยะเวลาในการฉีดพลาสติกเป็นปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติก และพบอีกว่าความชื้นในอากาศเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกปัจจัยหนึ่ง ถ้าควบคุมความชื้นให้อยู่ในระดับต่ำก็สามารถลดอัตราการหดตัวของพลาสติกลงได้แม้ว่าจะเปลี่ยนค่าของปัจจัยอื่นๆ ซึ่งข้อมูลที่ได้ค้นพบจากการทดลองนี้มีคุณค่าต่อการนำไปปรับปรุงกระบวนการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ต่อไป

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เหล็กกล้า (Steel) [5]

เหล็กกล้า หมายถึง เหล็กที่มีธาตุคาร์บอนเป็นส่วนผสม โดยจะยึดหลักที่ว่าในเหล็กที่มีคาร์บอนผสมอยู่ต่ำกว่า 1.7 หรือ 2% ของน้ำหนักเหล็กทั้งหมด จะเรียกว่าเหล็กกล้า (ถ้ามีคาร์บอนผสมอยู่มากกว่า 1.7 หรือ 2% จะจัดเป็นเหล็กหล่อ) นอกจากธาตุคาร์บอนแล้วยังอาจจะมีธาตุอื่น ๆ ผสมอยู่ด้วย แต่จะอยู่ในลักษณะเป็นธาตุเจือปน (Impurities) เช่น ซิลิกอน แมงกานีส กำมะถัน และฟอสฟอรัส เหล็กกล้า แบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ คือ

เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel) ซึ่งเป็นเหล็กที่มีคาร์บอนเป็นส่วนผสมหลัก ธาตุอื่น ๆ มีอยู่น้อยไม่เจาะจงผสมลงไป แต่อาจจะติดมาจากกรรมวิธีทางถลุง หรือ กรรมวิธีการไล่แก๊ส เหล็กกล้าคาร์บอนแบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามปริมาณของธาตุคาร์บอนที่ผสม คือ

เหล็กคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) มีคาร์บอนน้อยไม่เกิน 0.2% ของน้ำหนักเหล็กทั้งหมด เป็นเหล็กที่อ่อนมีความแข็งแรงต่ำ สามารถรีดหรือตีเป็นแผ่นได้ง่าย ที่ทำเป็นเหล็กเส้นใช้ในงานก่อสร้าง หรือรีดเป็นแผ่นใช้ในงานวิศวกรรมทั่ว ๆ ไป บางทีเรียกเหล็กชนิดนี้ว่าเหล็กละมุน (Mild Steel)

เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel) มีคาร์บอนตั้งแต่ 0.2 - 0.5% ของน้ำหนักเหล็กทั้งหมด เป็นเหล็กที่มีความแข็งแรงสูงกว่าประเภทแรก ใช้ทำชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลทั่ว ๆ ไป สามารถทำการอบชุบได้

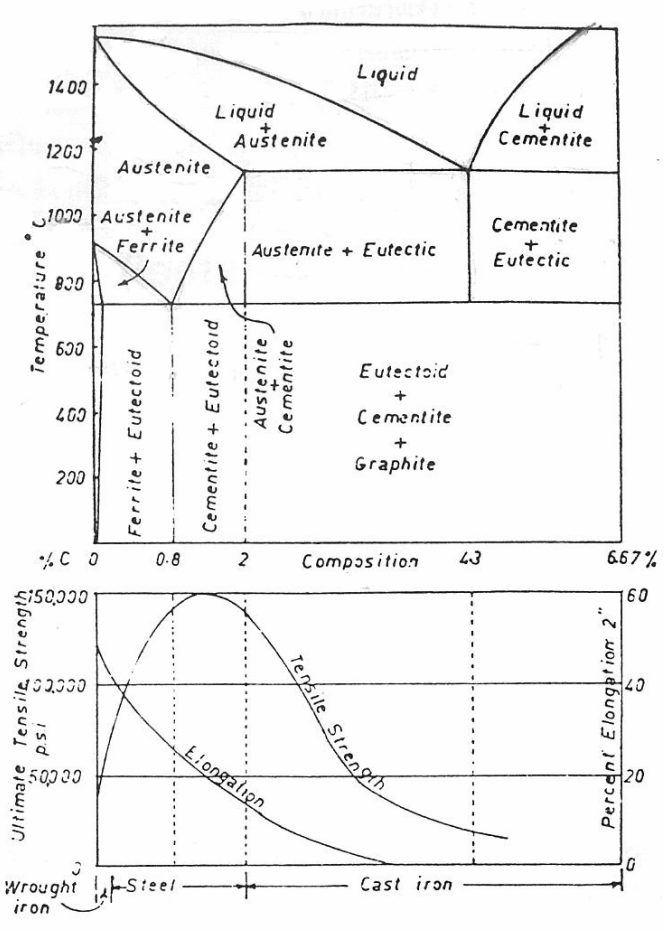
เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel) มีคาร์บอนตั้งแต่ 0.5% ของน้ำหนักเหล็กทั้งหมด ขึ้นไป จัดเป็นเหล็กที่มีความแข็งแรงและความแข็งสูง สามารถทำการอบชุบให้มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงได้ ใช้ทำเครื่องมือ เครื่องใช้ต่าง ๆ ที่ต้องการความต้านทานต่อการสึกหรอได้เป็นอย่างดี

เหล็กกล้าผสม (Alloy Steel) คือ เหล็กกล้าคาร์บอนที่มีธาตุอื่น ๆ ผสมอยู่ เช่น โครเมียม นิเกิล โมลิบดินัม วาเนเดียม และโคบอลต์ สำหรับแมงกานิสและซิลิกอน ถ้ามีปริมาณสูงกว่าในเหล็กกล้าคาร์บอน จะจัดเป็นธาตุผสมเช่นเดียวกัน ดังเช่น ผสมแมงกานีสหรือซิลิกอนเกินกว่า 1% ของน้ำหนักเหล็กทั้งหมด การผสมธาตุต่าง ๆ ลงไปในเหล็กกล้าคาร์บอน ส่วนใหญ่มุ่งที่จะปรับปรุงคุณสมบัติความสามารถในการชุบแข็ง (Harden ability) คุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนทั้งที่

อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิสูง และในบางกรณีเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติตัวนำไฟฟ้าและคุณสมบัติเกี่ยวกับแม่เหล็ก เหล็กกล้าผสมแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ คือ เหล็กกล้าผสมต่ำ ซึ่งจะมีปริมาณธาตุผสมมากไม่เกิน 10% ของน้ำหนักเหล็กทั้งหมด และเหล็กกล้าผสมสูงซึ่งจะผสมธาตุสูงเกินกว่า 10% ของน้ำหนักเหล็กทั้งหมด

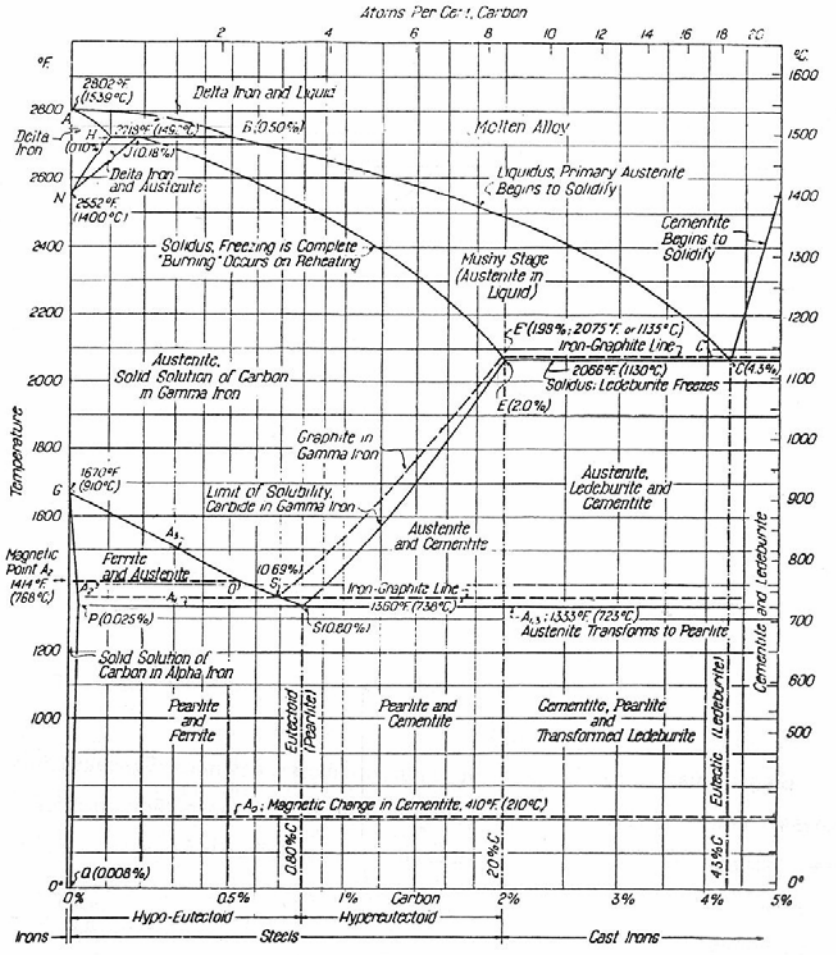
2.1.1 เหล็กกล้าคาร์บอน (Plain Carbon Steel)

เหล็กคาร์บอน หรือ Carbon Steel เป็นวัสดุช่างประเภทเดียวที่มีคุณสมบัติทางความแข็งแรง (Strength) และความอ่อนตัว (Ductility) ที่เปลี่ยนแปลงได้กว้างมากตามปริมาณของคาร์บอนที่มีอยู่ในเหล็ก ทำให้เหมาะที่จะเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมของลักษณะงาน ดังตัวอย่างเช่น เหล็กคาร์บอน ถ้ามีปริมาณของคาร์บอนต่างกันเพียงเล็กน้อยจะทำการชุบแข็งด้วยวิธีการแตกต่างกันหรือทำการขึ้นรูป (Mechanical Forming) แตกต่างกันอีก อาจจะทำให้เหล็กมีความแข็งแรงแตกต่างกันได้อย่างมากมาย คือ อาจจะแปรค่าความแข็งแรงได้ถึงจำนวน 10 กก. ต่อตาราง ม.ม. อัตราการยืดตัว (Elongation) ก็อาจจะต่างกันได้ตั้งแต่ 50% ถึง 100% ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอน [5]

การศึกษาถึงคุณสมบัติและการควบคุมคุณสมบัติของเหล็กคาร์บอน จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอาศัยการอธิบายร่วมกับ Equilibrium Diagram ของเหล็กกับคาร์บอน ซึ่งเราทราบว่าปริมาณของคาร์บอนในเหล็กมีความสำคัญมากต่อความแข็งแรง (Strength) และความอ่อนตัว (Ductility) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 Equilibrium Diagram ของเหล็กคาร์บอน [5]

จาก Equilibrium Diagram พบว่าน้ำเหล็กจะเริ่มมีการแข็งตัวเมื่ออุณหภูมิลดลงมาถึงเส้น Liquidus ที่อุณหภูมิ 1539 °C ที่คาร์บอนประมาณ 0.1-0.4%ของน้ำหนักเหล็ก ซึ่งเป็นช่วงของสเปคผลิตภัณฑ์ที่ทำการวิจัย

2.2 การหลอมเหล็กกล้า [6]

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงส่วนหลักๆในกระบวนการหลอมเหล็กกล้า ซึ่งประกอบด้วย ชนิดของเม็ดทราย ประเภททรายแบบหล่อและเตาที่ใช้หลอมเหล็กกล้า เป็นต้น

2.2.1 เม็ดทรายในงานหล่อ (Foundry Sand)

เม็ดทราย หมายถึง ก้อนวัสดุที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.05 - 2.5 ม.ม. ที่แยกสลายมาจากหินโดยธรรมชาติหรือโดยการบดย่อยก้อนหิน องค์ประกอบทางเคมีหลักของเม็ดทรายที่พบโดยทั่ว ๆ ไปคือซิลิก้า ซึ่งอาจจะมีองค์ประกอบทาเคมีอื่น เช่น เฟลสปาร์ , ไมกา และ ออกไซด์ของโลหะปะปนในเนื้อของเม็ดทรายอยู่ด้วย นอกจากนี้เม็ดทรายยังหมายถึง แร่ธาตุต่าง ๆ ที่เป็นก้อนขนาดเล็ก เช่น แร่เซอร์โคเนีย (Zirconia) ที่นำมาใช้ในชื่อเม็ดทราย เซอร์คอน (Zircon) แร่โครเนีย (Chronia) นำมาใช้ในชื่อเม็ดทราย โครไมท์ (Chromite) เม็ดทรายอลูมินา และเม็ดทรายโอลิวิน เม็ดทรายเหล่านี้สามารถนำมาใช้งานเป็นวัสดุแบบหล่อได้เป็นอย่างดี และเหมาะสำหรับการเทน้ำโลหะแต่ละชนิดแตกต่างกันไป ในทางปฏิบัติเม็ดทรายที่ใช้ในงานหล่อโดยทั่วไปจะเป็นเม็ดซิลิก้าโดยปริมาณ SiO_2แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณ SiO_2 ในเม็ดทรายที่เหมาะกับงานหล่อโลหะแต่ละชนิด [6]

โลหะงานหล่อ	ชิ้นงานใหญ่	ชิ้นงานเล็ก
เหล็กเหนียวหล่อ	>95%	>90%
เหล็กหล่อ	>90%	>80%
ทองแดงผสมหล่อ	>80%	>75%
อลูมิเนียมผสมหล่อ	>80%	>75%

2.2.2 แบบทรายหล่อทรายชื้น (Green Sand Mold)

ทรายหล่อชื้น หมายถึง ทรายหล่อที่ใช้ทำแบบทรายหล่อโลหะแต่สามารถใช้รองรับการเทน้ำโลหะได้หลังการทำแบบหล่อแล้วเสร็จ โดยการควบคุมปริมาณความชื้นของมวลก้อนทรายให้เหมาะสมกับชนิดของน้ำโลหะที่เท โดยทั่ว ๆ ไปปริมาณความชื้นจะถูกควบคุมไม่ให้สูงเกินกว่า 5% ทรายหล่อชื้น จัดเป็นแบบทรายหล่อโลหะที่สำคัญที่สุดในอุตสาหกรรมหล่อโลหะ เนื่องจากแบบทรายที่ขึ้นรูปเสร็จ จะสามารถใช้เทน้ำโลหะได้ทันทีทำให้ วงจรการนำกลับทรายหล่อมาใช้งานใหม่สั้น วงจรการนำหีบหล่อกลับมาใช้งานใหม่สั้น สามารถใช้เทน้ำโลหะได้ทุกชนิดและทุกขนาดน้ำหนัก (น้ำหนักใช้งานทั่ว ๆ ไป ซึ่งจะใช้เทเหล็กเหนียวหล่อที่มีน้ำหนักชิ้นงานสูงถึง 10 ตันได้ แต่ต้องคัดเลือกชนิดและขนาดของเม็ดทรายที่เหมาะสม) ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านค่าแบบทรายหล่อ

โลหะ ในทางปฏิบัติสัดส่วนของวัสดุงานหล่อที่ใช้ในการเตรียมทรายหล่อชื้นที่จะผสมเตรียมใหม่ (ยังไม่มีทรายหล่อใช้งานเลยหรือมีอยู่แล้วจะผสมเตรียมใช้เป็นทรายหน้าแบบหล่อ) ดังตารางที่ 2.2

ดังที่กล่าวถึงในเรื่องคุณสมบัติของ Bentonite จะเห็นได้ว่าในกรณีที่เทน้ำโลหะที่มีอุณหภูมิเทสูง ๆ เช่น Cu - Alloy เหล็กหล่อ และเหล็กเหนียวหล่อ อุณหภูมิของทรายหล่อโดยเฉพาะส่วนที่สัมผัสกับน้ำโลหะจะมีระดับอุณหภูมิสูงมากจนทำให้ Bentonite ในบริเวณดังกล่าวหมดสภาพการใช้งาน (Dead Clay) เมื่อนำทรายเก่ากลับมาใช้งานใหม่ Bentonite ที่หมดอายุเหล่านี้จะแตกออกเป็นฝุ่นละเอียด (Fines)ติดปนอยู่ในทรายหล่อ ฝุ่นละเอียดเหล่านี้จะทำให้คุณภาพของทรายหล่อลดลงเรื่อย ๆ ตามปริมาณฝุ่นละเอียดที่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ฝุ่นละเอียดเหล่านี้ยังเป็นต้นเหตุทำให้ชิ้นงานหล่อได้เกิดตำหนิงานหล่อได้หลายรูปแบบ ดังนั้นหลังการเทน้ำโลหะแต่ละครั้งแล้วควรปล่อยให้ทรายหล่อมีอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 40 ^{o}C เสียก่อน จากนั้นควรจะกำจัดฝุ่นละเอียดออกจากทรายหล่อในระบบก่อนจะผสมเตรียมเพื่อนำกลับมาใช้งานใหม่

ตารางที่ 2.2 ปริมาณสัดส่วนผสมเตรียมทรายหล่อแบบหล่อทรายชื่นสำหรับโลหะชนิดต่างๆ [6]

โลหะ	%ดินเหนียว	Com. Str. Kg/cm^2	%ความชื้น	%S.S.I	Flowability	Permeability	%สารผสมเติม
เหล็กเหนียวหล่อ	<8	0.8	2-4	92	72	200	<1.5
เหล็กหล่อ	<10	1.0	4-6	88	75	150	<1.5
ทองแดงผสมหล่อ	<12	0.6	4-8	86	75	60	- (<1.0)
อลูมิเนียมผสมหล่อ	<15	0.5	4-8	85	75	60	-

ในทางปฏิบัติทรายหล่อแบบหล่อทรายชื้นจำเป็นจะต้องควบคุมคุณภาพโดยการทดสอบทรายหล่อในห้องปฏิบัติการทดสอบทรายหล่อ การทดสอบทั่วไปจะประกอบด้วยการทดสอบวัดความสามารถในการรับแรงอัดของทรายหล่อ ปริมาณความชื้น ปริมาณดินเหนียว ประสิทธิภาพการยอมให้อากาศไหลผ่านหรือ Permeability และ Compact ability จึงต้องควบคุมให้ได้ค่าดังตารางที่ 2.2

2.2.3 เตาที่ใช้หลอมเหล็กกล้า (Steel Melting Furnace)

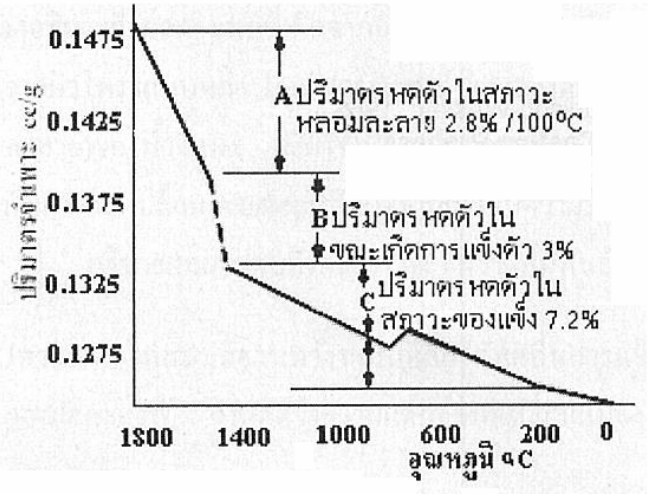
เนื่องจากวัตถุดิบที่นำกลับมาหลอมใหม่เป็นเศษเหล็กเหนียว 100% และจำเป็นจะต้องใช้อุณหภูมิหลอมละลายสูงมาก ซึ่งจะขอกล่าวถึงชนิดของเตาหลอมที่ทางบริษัทฯใช้ทำการผลิตคือ

2.2.3.1 การหลอมด้วยเตาไฟฟ้ากระแสเหนี่ยวนำ

การหลอมเหล็กเหนียวด้วยเตาหลอมชนิดนี้ ควรจะทำการคัดเลือกเศษเหล็กที่นำกลับมาหลอมให้เหมาะสมกับความต้องการ ทั้งนี้เนื่องจากเตาหลอมจะต้องเป็นเตาเหนี่ยวนำความถี่สูงที่มีตั้งแต่ 1200 - 3000 Hz จะทำให้การหลอมดำเนินไปด้วยความรวดเร็วมาก หลังจากบรรจุเตาและผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดปฐมภูมิจะใช้ระยะเวลาเพียง 10-15 นาที เท่านั้นที่การหลอมจะสามารถหลอมเหล็กได้เต็มเตา พร้อมกับระดับอุณหภูมิสูงที่เพียงพอต่อการเทชิ้นงาน ซึ่งการหลอมด้วยเตากระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้ไม่จำเป็นจะต้องทำการหลอมให้มี Slag คลุมผิวหน้าน้ำเหล็ก เนื่องจากระหว่างการหลอมสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะผลักดันน้ำเหล็กให้เกิดการหมุนวนตลอดเวลา จนไม่สามารถรักษา Slag ให้ลอยคลุมผิวหน้าน้ำเหล็กไว้ได้ตลอดเวลา นอกจากนี้การเกิด Oxidation ของน้ำเหล็กยังมีน้อยมาก ทำให้เตาชนิดนี้เหมาะสมกับงานหล่อที่ต้องการน้ำเหล็กแต่ละครั้งในปริมาณไม่มากนักและสามารถปรับเปลี่ยนส่วนผสมเคมีของน้ำเหล็กได้ง่าย จึงเหมาะสมกับการหลอมเหล็กกล้าประเภท Low Carbon Steel และ Low Alloy Steel โดยตัวเตาที่ใช้งานจะมีความจุตั้งแต่ 15 - 2200 กก. แต่ที่นิยมใช้งานกันทั่ว ๆ ไปจะมีความจุระหว่าง 45 - 45000 กก.

2.3 การออกแบบและตำแหน่งวางรูล้น (Riser Design and Placement) [6]

โลหะเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการขยายตัวทำให้มีปริมาตรมากขึ้น ในสภาวะหลอมละลายปริมาตรของโลหะจะยิ่งมีขนาดโตมากขึ้น ดังนั้นเมื่อโลหะคายความร้อนออกไปจากสภาวะที่มีระดับอุณหภูมิหลอมละลายปริมาตรของโลหะก็จะลดลงหรือเรียกว่าหดตัวลง(Shrinkage and Contraction) การหดตัวในสภาวะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากเหลวเป็นของแข็งจะเรียกว่า Shrinkage ในขณะที่การลดปริมาตรลงในสภาวะของแข็งหรือของเหลวจากระดับอุณหภูมิสูงลงสู่ระดับอุณหภูมิต่ำกว่าจะเรียกว่า Contraction เราสามารถจัดแบ่งการหดตัวของโลหะจากการหลอมละลายลงสู่อุณหภูมิห้องได้เป็นสามระยะคือ (1) หดตัวในสภาวะที่เป็นโลหะหลอมละลายจากระดับอุณหภูมิสูงลงสู่อุณหภูมิ liquidus เรียกว่า Liquid Contraction (2) หดตัวในระหว่างกระบวนการแข็งตัวของน้ำโลหะ เรียกว่า Solid Contraction และ (3) หดตัวในสภาวะของแข็งจากอุณหภูมิ Solidus ลงสู่อุณหภูมิห้อง เรียกว่า Solidus Contraction ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ปริมาตรหดตัวของเหล็กบริสุทธิ์ในระหว่างการลดอุณหภูมิจากอุณหภูมิสูง อุณหภูมิหลอมละลายสู่อุณหภูมิห้อง [6]

สมมุติว่ามีการเทน้ำโลหะที่มีระดับอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิหลอมละลาย (Superheated) อย่างรวดเร็วมากลงในแบบหล่อรูปทรงกระบอกจนเต็ม โดยไม่มีการป้อนเติมน้ำโลหะลงไปอีกเลย ก้อนโลหะหลังการแข็งตัวจะปรากฏโพรงหดตัวลดปริมาตรลงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาตรหดตัวของโลหะงานหล่อชนิดต่าง ๆ ในระหว่างกระบวนการแข็งตัว [6]

ชนิดโลหะ	% ปริมาตรหดตัว	ชนิดโลหะ	% ปริมาตรหดตัว
- เหล็กเหนียวคาร์บอน	2.5 - 3	- 90% Cu - 30% Zn	4
- 1.0%C เหล็กเหนียวคาร์บอน	4	- อลูมิเนียม	6.6
- เหล็กหล่อขาว	1.5 - 5	- Al - 4.5%Cu	6.3
- เหล็กหล่อเทา	ขยายตัว 2.5	- Al -12% Si	3.8
- ทองแดง	4.9	- แมงกานีส	4.2
- 70% Cu-30%Zn	4.5	- สังกะสี	6.5

เพื่อให้เห็นภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ถ้าโลหะที่หลอมเป็นเหล็กเหนียวที่มีคาร์บอนผสมในปริมาณน้อยมาก จะได้ว่าการหดตัวในสภาวะหลอมละลาย เมื่อเทน้ำเหล็กที่มีระดับอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิหลอมละลายมากน้ำเหล็กจะคายความร้อนและลดอุณหภูมิลงสู่อุณหภูมิหลอมละลาย (แข็งตัว; liquidus) ในระหว่างการลดอุณหภูมิลงดังกล่าวน้ำโลหะจะลดปริมาตรลงในอัตราการหดตัวประมาณ 2.8% ของปริมาตรเริ่มต้นทุก 100°Cที่ลดลง และในระหว่างกระบวนการแข็งตัวของน้ำเหล็กปริมาตรของ

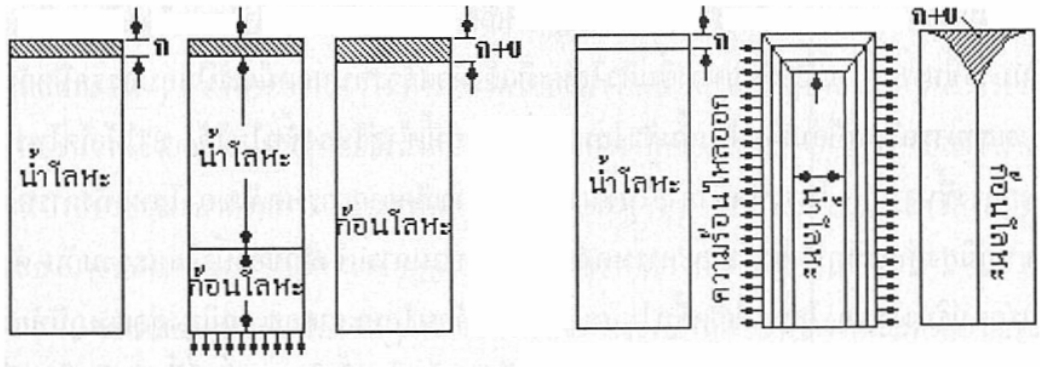
เหล็กในสภาวะที่เปลี่ยนจากของเหลวเป็นของแข็งจะลดลงประมาณ 4%ของปริมาตรเริ่มต้น เมื่ออุณหภูมิของเหล็กลดลงจากอุณหภูมิหลังการแข็งตัว (solidus) ลงสู่อุณหภูมิห้อง ; ปริมาตรของเหล็กจะลดลงประมาณ 7.2%ของปริมาตรเริ่มต้น

รูปร่างของโพรงหดตัวที่เกิดขึ้นนั้น จะเกิดขึ้นกับพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนออกจากน้ำโลหะรูปทรงกระบอกโดยวัสดุแบบหล่อ จะเห็นได้ว่าการถ่ายเทความร้อนสามารถพิจารณาได้เป็น สองลักษณะคือ

1.ความร้อนถูกถ่ายเทออกจากน้ำเหล็กทางด้านล่างที่สัมผัสกับทรายเพียงทิศทางเดียว

2.ความร้อนถูกถ่ายเทออกจากน้ำเหล็กทางด้านล่างและด้านข้างของทรงกระบอก

ในกรณีที่การถ่ายเทความร้อนออกจากน้ำโลหะในทิศทางด้านล่างทิศทางเดียว จะได้ว่าการลดปริมาตรลงของเหล็กจะมีลักษณะเป็นแผ่นวงกลมบางๆที่ด้านบนและมีการลดลงเป็นชั้นๆ ดังรูปที่ 2.4 (ก) แต่ถ้าการคายความร้อนเกิดขึ้นที่ระนาบผิวทรงกระบอก การลดปริมาตรลงของน้ำโลหะจะมีลักษณะค่อยๆยุบตัวหดลงในแนวศูนย์กลางของชิ้นงานทรงกระบอกทีชั้นๆเช่นกัน จนลักษณะโพรงหดตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นรูปกรวยดังรูปที่ 2.4 (ข) เมื่อรวมผลกระทบที่เกิดจากการทิศทางการคายความร้อนทั้งสองทิศทางเข้าด้วยกัน จะได้ว่าผลกระทบดังกล่าวจะทำให้โพรงหดตัวมีลักษณะเป็นรูปกรวยและลดปริมาตรลงมากกว่าการลดปริมาตรที่เกิดจากการคายความร้อนเพียงทิศทางหนึ่งทิศทางใดอย่างเดียว



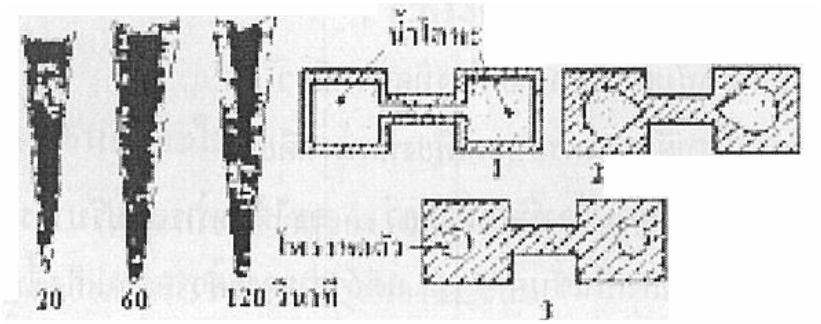
(ก) เมื่อการคายความร้อนมีทิศทางด้านล่างทิศทางเดียว

(ข) ทิศทางการคายความร้อนตามระนาบผิวทรงกระบอก

รูปที่ 2.4 พฤติกรรมในระหว่างการแข็งตัวของน้ำเหล็กทรงกระบอกที่เกิดขึ้นเมื่อพิจารณาทิศทางการคายความร้อนของน้ำโลหะ [6]

ดังนั้นงานหล่อโลหะรูปทรงกระบอกดังรูปที่ 2.4 จึงจำเป็นจะต้องวางรูล้น เพื่อสามารถใช้น้ำโลหะจากรูล้นไหลป้อนเติมเข้าไปชดเชยการหดตัวของน้ำโลหะ ที่จะเกิดขึ้นระหว่างแข็งตัวของน้ำโลหะ อย่างไรก็ตามพฤติกรรมการแข็งตัวที่เกิดขึ้นดังภาพที่ 2.4 (ข) จำเป็นจะต้องใช้รูล้นที่มีขนาดใหญ่กว่าพฤติกรรมที่เกิดขึ้นตามรูปที่ 2.4 (ก) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำโลหะในรูล้นบางส่วนจะเกิดการแข็งตัวขึ้นพร้อมๆกับน้ำโลหะในโพรงแบบหล่อชิ้นงาน ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าปริมาณของน้ำโลหะที่จะเพียงพอต่อการไหลป้อนเติมเข้าสู่โพรงแบบหล่อ บริเวณที่จะเกิดการหดตัวของน้ำโลหะจะมีปริมาณเปลี่ยนแปลงไปตามพฤติกรรมและตำแหน่งที่ความร้อนถูกถ่ายเทออกจากน้ำโลหะในโพรงแบบหล่อ และเมื่อพิจารณาปริมาตรของน้ำโลหะที่หดตัวหรือลดลงในระหว่างกระบวนการแข็งตัวของน้ำโลหะ จะเห็นว่าการลดปริมาตรลงของน้ำโลหะในช่วงระยะเวลาดังกล่าว จะเกิดขึ้นในขณะที่ระดับอุณหภูมิคงที่หรือเกิดขึ้นในระหว่างช่วงอุณหภูมิที่ค่อนข้างแคบ เมื่อเทียบกับการลดอุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิหลอมละลายจนถึงอุณหภูมิห้อง และเมื่อพิจารณาชิ้นงานเหล็กเหนียวหล่อขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วจะพบว่า หลังการเทน้ำโลหะลงในโพรงแบบหล่อจนเต็มแบบแล้ว เพียงช่วงเวลาที่สั้นมากๆ พบน้ำโลหะที่ผิวสัมผัสโพรงแบบหล่อจะแข็งตัวเป็นชั้นบางๆโดยรอบและปิดล้อมน้ำโลหะบริเวณใจกลางที่อุณหภูมิสูงจัดมากไว้ภายในน้ำโลหะส่วนที่เหลือนี้จะแข็งตัวกลายเป็นมวลโลหะแข็งที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำเหล็กพร้อมกับทำให้เกิดโพรงหดตัวของน้ำโลหะในบริเวณนี้ และเมื่อรูปร่างของชิ้นงานซับซ้อนมากขึ้น การปิดล้อมของชั้นผิวโลหะที่แข็งตัวแล้วรอบนอกนี้จะเป็นอุปสรรคปิดกั้นไม่ให้น้ำโลหะจากรูล้นหรือรูเทสามารถไหลป้อนเติมผ่านชั้นผิวโลหะที่แข็งบางๆนี้เข้าสู่โพรงชั้นในได้ ทำให้เกิดโพรงหดตัวขนาดใหญ่ขึ้นภายในใจกลางชิ้นงานได้ ซึ่งการเกิดโพรงหดตัวภายในชิ้นงานดังกล่าว เกิดจากการหดตัวของโลหะที่มาจากการหดตัวในสภาวะจากของเหลวที่มีอุณหภูมิสูงสู่อุณหภูมิแข็งตัวและการหดตัวจากกระบวนการแข็งตัวของน้ำโลหะรวมกัน ดังรูปที่ 2.5 (ก) จะแสดงการหดตัวของน้ำเหล็ก ณ เวลาการเย็นตัวที่ต่างกันและรูปที่ 2.5 (ข) จะแสดงการหดตัวของน้ำเหล็กในแบบหล่อจำลอง

ส่วนการหดตัวหรือการลดปริมาตรของโลหะที่เกิดขึ้น ในสภาวะที่เป็นก้อนโลหะจากอุณหภูมิสูงสู่อุณหภูมิห้องนี้ จะไม่มีผลกระทบต่อความสมบูรณ์ของเนื้อโลหะแต่จะทำให้เกิดความแค้นตกค้างในเนื้อโลหะ ทั้งนี้ขึ้นกับอิทธิพลที่เกิดจากรูปร่างของชิ้นงานและความแข็งแรงของแบบหล่อรวม กัน ถ้าความเค้นตกค้างนี้มีค่ามากกว่า Yield Strength ของเนื้อโลหะ จะทำให้เกิดการบิดงอ แต่ถ้าความเค้นตกค้างมากกว่า Ultimate Tensile Strength โลหะชิ้นงานที่ได้ก็จะแตกร้าว



(ก) (ข)

รูปที่ 2.5 (ก) ลิ่มเหล็กเหนียวจากการทดสอบ Drain Out ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน [6]

(ข) ขั้นตอนการแข็งตัวของน้ำโลหะที่เกิดขึ้นในชิ้นงานจริง [6]

การควบคุมอุณหภูมิและการควบคุมรูปแบบการแข็งตัวของน้ำโลหะที่เกิดขึ้นภายหลังการเท จะทำให้สามารถแก้ไขปัญหาการหดตัวของน้ำโลหะในระหว่างกระบวนการแข็งตัวได้เป็นอย่างดี การทำให้โพรงหดตัวของน้ำโลหะในระหว่างกระบวนการแข็งตัวเกิดขึ้นในบริเวณที่ไม่ใช่เนื้อโลหะชิ้นงาน หรือเนื้อโลหะส่วนเกินจากชิ้นงาน จะทำให้ชิ้นงานที่ได้มีความสมบูรณ์ของเนื้อโลหะตามต้องการ จากการทดลองพบว่าในกรณีที่ต้องการผลิตชิ้นงานโลหะหล่อขึ้นรูปให้มีคุณสมบัติต่าง ๆ ดีตามที่ต้องการนั้น **“ โพรงหดตัวของเนื้อโลหะจะต้องถูกบังคับให้เกิดขึ้นในเนื้อโลหะส่วนที่ไม่ใช่ชิ้นงานและจะต้องบังคับให้เกิดขึ้นในเนื้อโลหะบริเวณที่มีโอกาสจะมีความเค้นตกค้างน้อยที่สุดด้วย ”** เนื้อโลหะบริเวณที่ไม่ใช่ชิ้นงานนี้มักจะเป็นบริเวณที่เป็นแอ่งกักสำรองน้ำโลหะที่พร้อมจะป้อนเติมน้ำโลหะ เข้าสู่โพรงแบบหล่อได้ทันทีที่เกิดการแข็งตัวของน้ำโลหะชิ้นงาน แอ่งกักสำรองน้ำโลหะนี้จะเรียกว่า **“ รูล้น (Riser) ”** รูล้น คือ แอ่งกักสำรองน้ำโลหะในส่วนที่ไม่ใช่ชิ้นงาน น้ำโลหะในรูล้นจะต้องแข็งตัวช้ากว่าน้ำโลหะในโพรงแบบหล่อชิ้นงาน ทั้งนี้เพื่อให้น้ำโลหะจากรูล้นสามารถไหลป้อนเติมเข้าไปในโพรงแบบหล่อในระหว่างเกิดกระบวนการแข็งตัวของน้ำโลหะโพรงแบบ รูล้นจะถูกกำจัดหรือตัดออกจากชิ้นงานก่อนการส่งมอบ รูล้นจะต้องสามารถตอบสนองความต้องการสอบประการต่อไปนี้ได้

2.3.1 ขนาดของรูล้น

เมื่อวัสดุแบบหล่อที่ห่อหุ้มโลหะทั้งชิ้นงานและรูล้นเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน โมดุลัสของรูล้นจะต้องมีขนาดใหญ่กว่าโมดุลัสของชิ้นงานส่วนที่ต้องการให้น้ำโลหะจากรูล้นไหลป้อนเติม (ทั้งนี้เพื่อทำให้น้ำโลหะในรูล้นแข็งตัวช้ากว่า) ยกเว้นในกรณีที่มีการใช้วัสดุเพิ่มความร้อน (Exothermic materials)

เป็นวัสดุเสริม เช่นการใช้ Exothermic sleeve เป็นวัสดุห่อหุ้มน้ำโลหะรูล้น การใช้ Exothermic powder ใส่คลุมผิวหน้าน้ำโลหะในรูล้นยกเว้นเหล็กหล่อเทาชนิดที่ทนแรงดึงระหว่าง 15-20 กก./มม.^{2} ที่น้ำโลหะในรูล้นจะแข็งตัวก่อนชิ้นงานได้ สำหรับตำแหน่งที่จะวางรูล้นมีหลักการดังนี้ คือ โลหะผสมใดๆที่มีช่วงห่างอุณหภูมิเริ่มต้นและแข็งตัวถ่างกว้างมากกว่า 50° C ตำแหน่งที่จะจัดวางรูล้นควรจะมีความถี่หรือมีจำนวนรูล้นมากกว่าโลหะที่มีช่วงห่างอุณหภูมิแข็งตัวแคบ ระยะทางที่น้ำโลหะจากรูล้นไหลป้อนเติม และทำให้เนื้อโลหะชิ้นงานสมบูรณ์ปราศจากตำหนิตามต้องการจะเรียกว่าระยะไหลป้อนเติมอย่างมีประสิทธิภาพ (Effective Feeding Distance) และตำแหน่งที่จะวางรูล้นควรจะเป็นตำแหน่ง ที่น้ำโลหะชิ้นงานจะแข็งตัวช้าที่สุด รวมทั้งตำแหน่งที่ห่างไกลจากรูเทมากๆด้วย จากข้อมูลที่ที่กล่าวถึงมาแล้ว จะสังเกตเห็นได้ว่าพฤติกรรมการแข็งตัวของน้ำโลหะจะแตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดที่ ดังนั้นระยะเวลาในการแข็งตัวของน้ำโลหะในรูล้นที่ต้องการให้ช้ากว่าระยะเวลาในการแข็งตัวของน้ำโลหะชิ้นงานจึงแตกต่างกันไปอย่างมากมาย โดยมีทั้งชนิดของโลหะ รูปร่าง และขนาดน้ำหนักของชิ้นงานจะเป็นดัชนีบังคับระยะเวลาดังกล่าว

2.3.2 ชนิดของรูล้น

โดยทั่วๆไปตำแหน่งที่จะวางรูล้นให้กับชิ้นงาน แต่ละตำแหน่งจะนิยมเลือกส่วนของชิ้นงานที่มีปริมาตรมากที่สุดเมื่อเทียบกับบริเวณหรือส่วนอื่นๆ ที่ใกล้เคียงกันของชิ้นงานแต่ละส่วน หรือจะเลือกวางรูล้นในบริเวณที่ห่างไกลรูเท หรือทางวิ่งของน้ำโลหะที่น้ำโลหะจากบริเวณที่กล่าวถึงไม่สามารถไหลป้อนเติมเข้าสู่ชิ้นงานในบริเวณนั้นได้ ซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้เนื้อโลหะเกิดตำหนิหลังการแข็งตัว ลักษณะของรูล้นที่จัดวางลงในตำแหน่งดังกล่าวจะเรียกชื่อแตกต่างกันไปคือ

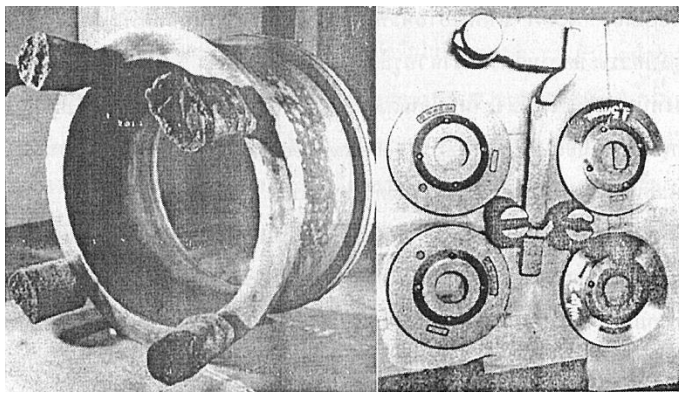
2.3.3 รูล้นบน

หมายถึงรูล้นที่จัดวางไว้บนชิ้นงานโดยตรง การเลือกใช้รูล้นชนิดนี้เมื่อขนาดของหีบหล่อ (Flask) ไม่เหมาะสมจะวางรู้ล้นข้างได้ รูล้นบนเหมาะจะใช้งานกับชิ้นงานเหล็กหล่อและเหล็กเหนียวที่มีขนาดใหญ่มากๆ ในกรณีที่นำมาใช้งานกับเหล็กเหนียวส่วนของฐานรูล้นที่สัมผัสกับชิ้นงานอาจจะต้องมีการขยายขนาดให้โตขึ้นเพื่อให้บริเวณนี้กลายเป็นตำแหน่งที่เรียกว่า Hot point หรือ Hot spot ซึ่งจะช่วยให้น้ำโลหะจากรูล้นสามารถไหลป้อนเติมเข้าสู่โพรงแบบหล่อได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และทำให้รูล้นแข็งตัวช้ากว่าชิ้นงาน ในกรณีที่เลือกใช้รูล้นบนกับชิ้นงานเหล็กหล่อ ส่วนของรูล้นที่สัมผัสชิ้นงานควรจะมีขนาดเล็กลงเรียกว่า “ คอรูล้น ” (Riser Neck) คอรูล้นนี้จะทำให้เราสามารถลดเวลาในการกำจัดรูล้นออกจากชิ้นงานได้ นอกจากนี้ทรายหล่อส่วนที่ขึ้นรูปเป็นคอรูล้นจะถูกน้ำโลหะทั้งจากชิ้นงานและรูล้นทำให้มีอุณหภูมิสูงกว่าทรายหล่อในบริเวณอื่นๆ เนื่องจากทรายหล่อบริเวณนี้จะมีมวลน้อยมาก ทำให้น้ำโลหะจากรูล้นสามารถไหลป้อนเติมเข้าสู่ชิ้นงานได้ง่ายและดีกว่า

รูล้นบนที่ไม่มีคอรูล้น นอกจากนี้รูล้นบนที่ใช้งานกับเหล็กหล่อโดยที่ไม่มีคอรูล้นมักจะถูกจัดเป็นส่วนของชิ้นงานที่ยื่นยาวออกไป และมักจะทำให้เกิดตำหนิงานหล่อได้ง่าย

2.3.4 รูล้นข้าง

หมายถึง รูล้นที่จัดวางไว้ด้านข้างของชิ้นงานโดยมีฐานรูล้นที่หน้าผ่าหีบหล่อและมักจะไม่วางไว้ห่างจากชิ้นงานจนมีระยะมากเกินไป รูล้นข้างจะต้องจัดเตรียมช่องทางเดินของน้ำโลหะให้เชื่อมต่อกับชิ้นงานและต้องสามารถกำจัดออกจากชิ้นงานได้ง่าย โดยทั่วไปรูล้นข้างจะนิยมวางไว้บนทางวิ่งของน้ำโลหะที่จัดเตรียมไว้เป็นช่องทางเดินของน้ำโลหะจากรูเทไปยังโพรงแบบ มากกว่ารูล้นบนประมาณ 5 - 10%ของรูล้นที่ใช้ทั่วไป เมื่อปริมาตรของน้ำโลหะในรูล้นทั้งสองเท่าๆกัน รูล้นข้างเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานกับชิ้นงานโลหะหล่อทุกชนิด ทั้งชิ้นงานที่มีขนาดน้ำหนักขนาดกลางและขนาดเล็ก ลักษณะการวางรูล้นให้กับชิ้นงานจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.6



(ก) รูล้นเปิดวางบนชิ้นงาน (ข) รูล้นปิดข้างบนทางวิ่งน้ำโลหะชิ้นงานเหล็กเหนียว

รูปที่ 2.6 ลักษณะและตำแหน่งวางรูล้น [6]

2.3.5 รูล้นเปิดและรูล้นปิด (Open and Blind Riser)

รูล้นแบบใดก็ตามที่ปลายด้านบนของรูล้นยื่นโผล่สูงเท่ากับผิวด้านบนของทรายหีบหล่อ และเปิดออกสู่อากาศ รูล้นชนิดนั้นจะเรียกว่า **รูล้นเปิด** ส่วนรูล้นชนิดใดก็ตามที่ปลายด้านบนของรูล้นมีทรายหล่อปิดล้อมไว้เช่นเดียวกันกับโพรงแบบหล่อ รูล้นชนิดนั้นจะเรียกว่า **รูล้นปิด** น้ำโลหะในรูล้นปิด

จะถ่ายเทความร้อนให้กับผนังทรายหล่อ ในขณะที่น้ำโลหะในรูล้นเปิดจะถ่ายเทความร้อนให้ทั้งกับอากาศและผนังทรายหล่อ ทำให้อุณหภูมิของน้ำโลหะในรูล้นเปิดลดอุณหภูมิลงเร็วกว่าน้ำโลหะในรูล้นปิด แต่น้ำโลหะในรูล้นเปิดจะได้รับแรงกดดันของบรรยากาศทำให้ผิวหน้าด้านบนของน้ำโลหะมีแรงดันเพิ่มมากขึ้นกว่าน้ำโลหะในรูล้นปิด ในทางปฏิบัติสำหรับรูล้นปิดควรจะใช้ก้อนทรายที่มีลักษณะเป็นก้อนทรายแหลมยื่นเข้าไปในช่องว่างของรูล้น เพื่อที่จะช่วยเพิ่มแรงดันของน้ำโลหะและทำให้ในรูล้นปิดมีประสิทธิภาพในการไหลป้อนเติมสูงกว่ารูล้นเปิด แต่เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วแม้ว่ารูล้นปิดจะมีขนาดเล็กกว่าและประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่าก็ตาม แต่รูล้นปิดจะมีความยุ่งยากในการเตรียมเพื่อการใช้งานมากกว่ารูล้นเปิด

2.3.6 รูล้นที่จะใช้กับงานหล่อเหล็กเหนียว

วิธีการที่จะกำหนดขนาดของรูล้นจะสามารถกระทำได้สองวิธีคือ

1. ใช้ช่วงระยะเวลาในการแข็งตัวของน้ำเหล็กในรูล้นที่จะต้องยาวนานกว่าน้ำโลหะในชิ้นงาน
2. หาได้จากปริมาณน้ำโลหะในรูล้นต้องมากพอ ที่จะไหลป้อนเติมให้กับน้ำโลหะในโพรงแบบหล่อ จากการทดสอบหาระยะเวลาในการแข็งตัวของน้ำเหล็ก (เหล็กเหนียวคาร์บอน) ที่มีน้ำหนัก 14 กิโลกรัมเท่ากันในรูปทรงชิ้นงานที่แตกต่างกันดังตารางที่ 2.4 จะพบว่าชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางจะใช้ระยะเวลาในการแข็งตัวที่สั้นที่สุด ในขณะที่ชิ้นงานรูปทรงกลมจะใช้ระยะเวลาในการแข็งตัวที่ยาวนานที่สุด

ตารางที่ 2.4 ช่วงระยะเวลาในการแข็งตัวของน้ำเหล็กในรูปทรงต่างกันแต่มีน้ำหนักเท่ากัน [6]

รูปทรง	ทรงกลม	ทรงกระบอก	แท่ง	แผ่นหนา	แผ่นบาง
ขนาด ม.ม.	∅155	∅112×198	95×95×216	59×153×216	25×38×203
ปริมาตร cm^3	1950	1950	1950	1950	1950
พื้นที่ผิว cm^2	753	898	1005	1101	1377
น้ำหนัก kg	14	14	14	14	14
ระยะเวลาที่ใช้ในการแข็งตัว นาที	7.3	4.7	3.6	2.7	1.5
อัตราส่วนเวลา	152	100	76	57	32

2.4 ตำหนิงานหล่อ (Casting Defects) [7]

งานหล่อโลหะที่ใช้ก้อนทรายแบบหล่อเป็นต้นแบบในการขึ้นรูปนั้น มักจะสามารถพบตำหนิชิ้นงานหล่อได้หลากหลายรูปแบบและเนื่องจากสาเหตุหลาย ๆ อย่าง ตำหนิบางชนิดอาจเกิดขึ้นจากสาเหตุหลายอย่างซึ่งในบางครั้งอาจเกิดจากสาเหตุเพียงอย่างเดียวและในบางครั้งอาจจะเกิดขึ้นจากหลาย ๆ สาเหตุพร้อม ๆ กัน นอกจากนี้ชิ้นงานโลหะหล่อขึ้นรูปแบบเดียวกันที่แม้ว่าจะเหมือนกันหมดในทุกสิ่งทุกอย่างแต่แตกต่างกันเพียงช่วงเวลา และ/หรือ สถานที่ในการผลิตก็อาจจะมีตำหนิชิ้นงานหล่อที่แตกต่างกัน ดังนั้นการศึกษาสาเหตุและรูปแบบและวิธีการแก้ไขตำหนิงานหล่อที่เกิดขึ้นจะทำให้สามารถผลิตชิ้นงานโลหะหล่อขึ้นรูปได้ด้วยความสมบูรณ์

ก่อนที่จะเริ่มต้นศึกษาตำหนิงานหล่อสิ่งที่จะต้องทราบคือ ชิ้นงานโลหะหล่อขึ้นรูปเพียงชิ้นเดียวจะต้องมีขั้นตอนในการผลิตหลายขั้นตอนรวมกันคือ

1. ขั้นตอนการผลิตกระสวนต้นแบบ (Pattern)
2. ขั้นตอนการขึ้นรูปก้อนทรายแบบหล่อ
3. ขั้นตอนการหลอมโลหะ
4. ขั้นตอนการเทน้ำโลหะในแบบหล่อ
5. ขั้นตอนหลังการแข็งตัวของน้ำโลหะ

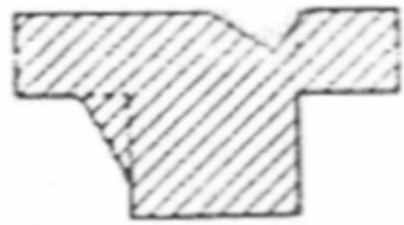
ซึ่งจากขั้นตอนข้างต้นล้วนแล้วมีโอกาสก่อให้เกิดตำหนิงานหล่อได้ทั้งสิ้น ดังนั้น International System ได้จัดแบ่งรูปแบบของตำหนิงานหล่อที่เกิดขึ้นและสำรวจหรือตรวจพบได้จาก สภาพที่มองเห็นด้วยตาเปล่า ลักษณะโดยทั่วไป ขนาด และ ตำแหน่งที่เกิดตำหนิขึ้นทั้งภายนอกและภายในเนื้อโลหะชิ้นงานหล่อโดยระบบนี้จัดแบ่งตำหนิโดยใช้ตัวอักษรกำหนดเป็นกลุ่มใหญ่ ดังนี้

A Metallic projection	เนื้อโลหะส่วนเกินชิ้นงาน
B Cavity	โพรงและรูพรุนทั้งผิวนอกและเนื้อภายใน
C Discontinuities	ความไม่สม่ำเสมอต่อเนื่อง
D Defective surface	ผิวนอกเนื้อโลหะมีตำหนิ
E Incomplete casting	ลักษณะชิ้นงานไม่สมบูรณ์เต็มตามรูปร่างที่ต้องการ
F Incorrect dimension and shape	ขนาดหรือรูปร่างชิ้นงานไม่ถูกต้อง
G Inclusion or structure anomalies	โครงสร้างจุลภาคของเนื้อโลหะผิดปรกติ และมีสารแทรกฝังในเนื้อโลหะ

ตำหนิแต่ละกลุ่มจะแบ่งเป็นกลุ่มย่อยๆ ที่กำหนดโดยใช้ระบบตัวเลขสามตัวตามท้ายตัวอักษร เช่น A112 , B111 เป็นต้น ซึ่งสามารถที่จะใช้ในการอ้างอิงและวิเคราะห์ตำหนิงานหล่อที่เกิดขึ้นดังนี้

2.4.1 Mold Drop (ก้อนทรายหีบบนร่วง)

ลักษณะทั่วไปของตำหนิ เป็นตำหนิที่รูปทรงของชิ้นงานในหีบล่างโดยเฉพาะบริเวณเหลี่ยมมุมก้อนทรายจะมีก้อนเนื้อ โลหะเพิ่มขึ้นในรูปทรงไม่แน่นอนเนื่องจากการที่ผนังทรายหล่อแตกร่อนออกจากก้อนทรายแบบและอีกบริเวณหนึ่งมีก้อนเนื้อโลหะหายไปจากก้อนชิ้นงานในบริเวณหนึ่งซึ่งมักจะเป็นหีบบนเนื้อโลหะพยุงให้ลอยตัวสูงขึ้นไปในหีบบน ตำหนิมักจะเกิดขึ้นในบริเวณที่ก้อนทรายหล่อมีความแข็งแรงต่ำกว่าที่ควรจะเป็นและมักจะมีตำหนิที่มีก้อนทรายหรือเม็ดทรายแทรกฝังในเนื้อโลหะหีบบนร่วมด้วยเสมอดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ลักษณะข้อบกพร่องทรายร่วง [7]

สาเหตุ

- การออกแบบระบบป้อนจ่ายน้ำโลหะเข้าสู่โพรงแบบหล่อไม่ดี ทำให้น้ำโลหะที่มีอุณหภูมิสูงมากปะทะผิว-ก้อนทรายหล่อเฉพาะบริเวณตลอดเวลา
- สภาพทั่วไปของกระสวนหรือกระสวนแผ่นไม่ดีเท่าที่ควรทำให้ทรายหล่อเกาะติดกระสวนได้ง่าย
- ผิวหน้ารอยผ่าหน้าหีบหล่อไม่ราบเรียบเป็นผิวหน้าเดียวทำให้ก้อนทรายหล่อมีโอกาสแตกได้ง่าย

การแก้ไข

- การซ่อมทรายแบบหล่อควรหลีกเลี่ยงการแตกร้าวก้อนทรายในระหว่างปิดหีบแบบหล่อ

2.4.2 Shrinkage (โพรงหดตัว)

ลักษณะทั่วไปของตำหนิ เป็นโพรงหดตัวของน้ำโลหะส่วนที่แข็งตัวช้าที่สุดเช่นบริเวณทางเข้าน้ำโลหะ มุมเหลี่ยม ของชิ้นงาน ไส้แบบ อาจจะเป็นโพรงเปิดหรือปิดก็ได้ ภายในโพรงหยาบและมี

ลักษณะเป็น Dendrite ยกเว้นในกรณีที่เป็นโลหะผสม Eutectic ผนังโพรงจะเรียบ ถ้าเป็นโพรงขนาดใหญ่จะเป็นโพรงเดียว แต่ถ้ามีขนาดเล็กจะกระจาย แสดงไว้ดังรูปที่ 2.8

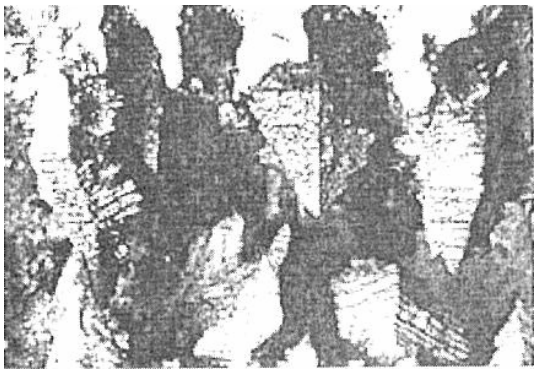
รูปที่ 2.8 ลักษณะของโพรงหดตัว [7]

สาเหตุ

สาเหตุหลักเกิดจากการลดปริมาตรของน้ำโลหะในระหว่าง การแข็งตัวของน้ำโลหะ และบริเวณดังกล่าวน้ำโลหะใหม่ไม่สามารถไหลป้อนเติมเข้าไปได้ จึงทำให้เกิดโพรงหดตัว และยังมีปัจจัยอื่นดังนี้

- อุณหภูมิเทน้ำเหล็กไม่เหมาะสมกับขนาดของรูล้น
- ก๊าซที่เกิดจากแบบหล่อ ความดันบรรยากาศ
- ผนังโพรงแบบหล่อเกิดการขยายตัว(Deformation) เนื่องจากได้รับความร้อนจนมีระดับอุณหภูมิสูง หรือเกิดจากความดันของน้ำโลหะในโพรงแบบหล่อ (Static Pressure หรือ Solidification Expansion)

จากสาเหตุทั้งหมดล้วนแต่ทำให้เกิดโพรงหดตัวได้ ซึ่งลักษณะของโพรงหดตัวแสดงไว้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 Dendrite ในโพรงหดตัวของเหล็กเหนียวหล่อ [7]

คำว่า Shrinkage ที่แม้ว่าในความหมายโดยทั่วไปในศัพท์ไทยจะหมายถึงการหดตัวหรือลดปริมาตรของน้ำโลหะที่เกิดขึ้นในระหว่างการแข็งตัวของน้ำโลหะ และในขณะที่ Contraction จะหมายถึงถึงการหดตัวหรือลดขนาดของก้อนและมวลน้ำโลหะจากระดับอุณหภูมิสูงลงสู่ระดับอุณหภูมิต่ำ ซึ่งคำ

ว่า Shrinkage น่าจะใช้ในความหมายที่กล่าวถึงสิ่งที่เกิดขึ้นในเหล็กหล่อขาว Mottle Iron และ Low Carbon Cast Iron เท่านั้น ในกรณีของเหล็กหล่อเทาและ Ductile Iron ที่มีพฤติกรรมดังที่กล่าวถึงข้างต้นน่าจะใช้ศัพท์ว่า “ False Shrinkage ”

2.4.2.1 การแก้ปัญหาการหดตัว สำหรับกรณีทั่วไป

ปัจจัยประกอบการออกแบบ

- ออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ให้มีความหนาสม่ำเสมอกัน เพื่อจะทำให้มีค่า Modulus (อัตราส่วนพื้นที่ผิว / ปริมาตร) เท่า ๆ กันหรือออกแบบให้ความหนาชิ้นงานค่อย ๆ เพิ่มขนาดเข้าหาตำแหน่งที่จะจัดวางรูล้น เพื่อทำให้เกิดการแข็งตัวของน้ำโลหะในทิศทางเดียว (Directional Solidification)

- ในกรณีที่จำเป็นควรแก้ไขแบบโดยการเพิ่ม Padding เพื่อทำให้เกิดการเย็นตัวอย่างมีทิศทาง และการใช้การกลึงเนื้อโลหะส่วนเกินทิ้งไปในภายหลัง

การเทน้ำโลหะ

- เลือกใช้ระดับอุณหภูมิเทน้ำโลหะที่เหมาะสมกับขนาดของรูล้น เพราะว่าถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปก็จะเกิดโพรงหดตัวจากรูล้นเข้าไปจนถึงชิ้นงาน แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปก็จะทำให้รูล้นเย็นตัวก่อนที่ชิ้นงานจะเย็นตัว

ระบบป้อนจ่ายน้ำโลหะ (Gating and Risering)

- ออกแบบรูล้น(Riser) ให้มีปริมาณน้ำโลหะสำรองในปริมาณมากเพียงพอที่จะไหลป้อนเติมเข้าสู่ชิ้นงานในขณะหดตัวระหว่างการแข็งตัวของน้ำโลหะ เลือกตำแหน่งจัดวางรูล้นในตำแหน่งที่น้ำโลหะชิ้นงานจะเกิดการแข็งตัวช่วงหลังสุดเมื่อเทียบกับบริเวณอื่น นอกจากนี้ยังจะต้องพิจารณาระยะไหลป้อนเติมของน้ำโลหะจากรูล้นเข้าสู่ชิ้นงานร่วมด้วยเสมอในการออกแบบ

- ใช้วัสดุเพิ่มความร้อน (Exothermic Materials) ปกคลุมผิวหน้าน้ำโลหะในรูล้นเพื่อยืดระยะเวลาให้น้ำโลหะในรูล้นคงอยู่ในสภาพหลอมละลายยาวนานที่สุดที่จะสามารถเติมเต็มชิ้นงานได้ โดยให้น้ำโลหะในรูล้นมีการแข็งตัวช้ากว่าน้ำโลหะในโพรงแบบหล่อ

- เลือกใช้จำนวนรูล้นที่มากพอที่จะชดเชยน้ำโลหะเข้าสู่โพรงแบบหล่อตามพฤติกรรมการแข็งตัวของน้ำโลหะชนิดนั้นๆ และตามคุณภาพชิ้นงานที่ต้องการ

- ใช้ External และ Internal Chills เข้าช่วยกระตุ้นการแข็งตัวของน้ำโลหะในบริเวณที่น้ำโลหะจะเกิดการแข็งตัวช้าที่สุด เพราะ Chiller จะช่วยเพิ่ม End Effect ทำให้เนื้อโลหะเต็มสมบูรณ์ หรือแก้ไขโดยการเพิ่มค่า Modulus ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการไหลป้อนเติมน้ำโลหะจากรูล้น หรือเพิ่มครีบบนชิ้นงานเพื่อกระตุ้นการแข็งตัวให้เร็วขึ้นด้วยการลดอุณหภูมิน้ำโลหะในส่วนที่หนากว่า

2.4.3 Cold Shut or Cold Lap (ชิ้นงานหล่อไม่เต็ม)

ลักษณะทั่วไปของตำหนิ เป็นเส้นแบ่งขอบเขตแสดงความไม่ต่อเนื่องของเนื้อโลหะ ขอบโค้งมนลงบรรจบกันที่เส้นแบ่งเขตดังรูปที่ 2.10 ตำหนิที่เกิดขึ้นอาจจะตื้นหรือลึกไม่แน่นอน ตำหนิอาจจะสั้นหรือยาวตลอดหน้าตัดชิ้นงาน ในกรณีที่เป็นตำหนิน้อยที่สุดจะเป็นร่องตื้นๆขอบมน ชิ้นงานอาจมีขอบโค้งมนหรือมุมมน Cold Shut ที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าชิ้นงาน บาง ๆ - กว้าง ๆ โดยตลอดผิวหน้าจะเกิดขึ้นเนื่องจากสายน้ำโลหะไหลมาบรรจบกันด้วยอัตราการไหลที่แตกต่างกันตามความเร็วไหลที่ผ่าน Gate แตกต่างกัน

รูปที่ 2.10 ลักษณะของตำหนิเนื้อไม่ประสาน [7]

สาเหตุ

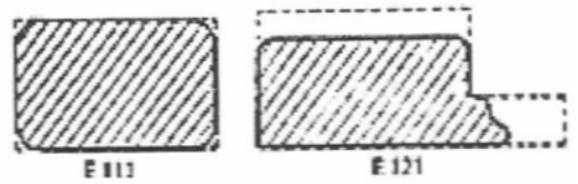
- ความสามารถในการไหลของน้ำโลหะต่ำไป (Fluidity) ผิวหน้าน้ำโลหะมีออกไซด์ปกคลุมอยู่
- เทน้ำโลหะลงแบบหล่ออย่างช้า ๆ หรือเท ๆ - หยุด ๆ
- แบบหล่อมีการระบายก๊าซออกจากแบบไม่ดีพอ

การแก้ไข

- เพิ่มอุณหภูมิเท
- ทำให้น้ำโลหะมีการไหลตัวดีขึ้นโดยใช้การปรุงแต่น้ำโลหะด้วยธาตุผสมเติมในปริมาณที่ยอมรับได้หรือเปลี่ยนชนิดของโลหะชิ้นงาน
- เพิ่มอัตราการเติมเต็มโพรงแบบหล่อโดยการเปลี่ยนขนาดระบบป้อนจ่ายน้ำโลหะ (Gating)
- เพิ่มการระบายก๊าซออกจากโพรงแบบ

2.4.4 Misrun (เทไม่เต็ม)

ตำหนิประเภทนี้ชิ้นงานจะมีรูปร่างเต็มแต่ไม่สมบูรณ์โดยส่วนขอบชิ้นงานจะโค้งมน ในกรณีเหล็กหล่อขอบมนที่เกิดขึ้นจะมันงามและทำความสะอาดได้ง่าย ในขณะที่ตำหนิเทไม่เต็ม บางส่วนของชิ้นงานหายไป โดยเฉพาะส่วนชิ้นงานที่ไกลจาก Gate ขอบส่วนชิ้นงานที่หายไปจะโค้งมนและเงามันสวยงาม ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ลักษณะการเกิดตำหนิวิ่งไม่เต็มแบบ [7]

สาเหตุ

- ความสามารถในการไหลตัวของน้ำโลหะต่ำ อุณหภูมิเทต่ำ เกิด Oxidation ของน้ำโลหะ
- เทน้ำโลหะช้าไป ขนาดของ Gate เล็กเกินไป หรือจัดวางในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม
- การระบายก๊าซออกจากโพรงแบบหล่อไม่เพียงพอ
- ในกรณีที่เป็นแบบถาวรอุณหภูมิแบบหล่อต่ำไป

การแก้ไข

- ควบคุมอุณหภูมิเทน้ำโลหะให้เหมาะสมกับชนิด - ส่วนผสมของน้ำโลหะและขนาดของชิ้นงาน
- ตรวจสอบขนาด Gate และแก้ไขตำแหน่งที่จัดวาง
- ในแบบหล่อถาวรเพิ่มอุณหภูมิแบบหล่อให้สูงขึ้น
- เพิ่มรูระบายก๊าซหรือทำให้แบบหล่อให้สูงขึ้น
- ในกรณีที่เนื้อโลหะงานหายไปให้เพิ่มความหนาชิ้นงาน

รูปที่ 2.12 ตำหนิเทไม่เต็ม (Misrun) ที่เกิดขึ้นในชิ้นงานหล่อ [7]

2.5 การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA : Measurement System Analysis) [8]

2.5.1 ระบบการวัด

ระบบการวัด คือกระบวนการในการกำหนดค่าทางตัวเลขให้กับลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์หรือบริการ เป็นการประเมินระบบเพื่อทำความเข้าใจในกระบวนการ และชี้ให้เห็นถึงลักษณะเฉพาะของกระบวนการว่าเป็นไปตามความต้องการหรือไม่ นอกจากนี้ระบบการวัดจะต้องมีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ ดังนั้นระบบการวัดที่เชื่อถือได้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อสื่อความเป็นจริงของกระบวนการ วัตถุต่างล้วนแล้วแต่มีค่าคงที่ของคุณสมบัติเฉพาะค่าหนึ่งซึ่งถือว่าเป็น “ค่าจริง” ของวัตถุตามคุณสมบัติเฉพาะนั้นๆ โดยการวัดเป็นการกำหนดค่าที่เป็นตัวเลขให้กับคุณสมบัติเฉพาะเหล่านั้นในกระบวนการวัด หรือระบบการวัด จะมีองค์ประกอบหลักๆ คือ เครื่องมือวัดพนักงานวัด วิธีการวัด สิ่งที่ได้รับการวัด และสิ่งแวดล้อมในการวัด แต่เนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้จะมีความไม่เท่ากัน จึงส่งผลให้เกิดความผันแปรจากระบบวัดขึ้น ซึ่งความผันแปรนี้มีอยู่ด้วยกันสองลักษณะคือ ความผันแปรที่เป็นไปโดยสาเหตุธรรมชาติ (Common Cause of Variation) ซึ่งความผันแปรจะอยู่ในเสเถียรภาพที่สามารถทำนายได้ แต่ความผันแปรอีกลักษณะคือ ความผันแปรที่เป็นไปโดยสาเหตุแห่งความผิดพลาด (Special Cause of Variation) ความผันแปรนี้จะไม่เสถียรและไม่สามารถทำนายได้ ในการวัดเพื่อการประกันคุณภาพจึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการตรวจจับสาเหตุแห่งความผิดพลาด แล้วทำการกำจัดทิ้ง ควบคู่ไปกับการพยายามลดสาเหตุธรรมชาติแห่งความผันแปรอย่างต่อเนื่อง

2.5.2 การวิเคราะห์ระบบการวัด

การวิเคราะห์ระบบการวัด คือ เทคนิคที่ทำการศึกษาและประเมินความสามารถของระบบการวัดที่เกิดจากพนักงาน, เครื่องมือวัด, วิธีการที่ใช้ในการวัด, หรือผลิตภัณฑ์ที่ถูกวัด ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัดว่ามีความผันแปรอยู่ในระดับที่ยอมรับได้หรือไม่ การวิเคราะห์ระบบการวัดดังนี้คือ วิเคราะห์ความถูกต้องของระบบการวัดด้วยการประเมินค่าไบอัสของระบบ, การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงเส้น และการวิเคราะห์คุณสมบัติความมีเสถียรภาพ ส่วนการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดทำโดยการประเมินผ่านค่ารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของระบบ

เนื่องจากข้อมูลทางวิศวกรรมนั้นสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ข้อมูลที่มีลักษณะแบบช่วง (Discreet Data) และข้อมูลที่มีลักษณะแบบต่อเนื่อง (Continues Data) การรวบรวมข้อมูล ทำให้การวิเคราะห์ระบบการวัดนั้นจำเป็นต้องแยกวิธีการวิเคราะห์ออกเป็น 2 วิธี คือวิธีการประเมินความสามารถของระบบการวัดเมื่อข้อมูลที่ได้มาจากการวัดหรือข้อมูลจากลักษณะเชิงผันแปร

(Variable Characteristic) และวิธีการประเมินความสามารถของระบบการวัดเมื่อข้อมูลที่ได้มาจากการนับหรือข้อมูลจากคุณลักษณะเชิงคุณภาพ (Attribute)

2.5.2.1 การประเมินความสามารถของกระบวนการวัดเมื่อข้อมูลที่ได้มาจากการวัด

ซึ่งการประเมินความสามารถของกระบวนการวัดแบบนี้จะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกคือการประเมินความสามารถของระบบการวัดด้านความถูกต้อง (Accuracy) ซึ่งการวิเคราะห์นี้จะมุ่งพิจารณาในคุณสมบัติ 3 ประการคือ การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านไบอัส (Bias) ของระบบการวัด การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเสถียรภาพ (Stability) ของระบบการวัดและในส่วนที่ 2 คือการวิเคราะห์ความแม่นยำ (Precision) ของระบบการวัด ซึ่งในการในส่วนนี้ จะมุ่งพิจารณาในคุณสมบัติ 2 ประการคือ ความสามารถในการวัดซ้ำภายในเงื่อนไขเดียวกันหรือรีพีททะลิบิตี้ (Repeatability) ซึ่งถือว่าเป็นความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random Error) ของระบบการวัดและความสามารถในการวัดซ้ำต่างเงื่อนไขหรือรีโปรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility) ซึ่งถือว่าเป็นความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic Error) ของระบบการวัด

2.5.2.2 การประเมินความสามารถของระบบการวัดเมื่อข้อมูลที่ได้มาจากการนับ

ในการศึกษาความสามารถของระบบการวัดแบบอาศัยข้อมูลนับ จะเป็นการประเมินโดยการเปรียบเทียบชิ้นงานที่ทำการตรวจกับพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะซึ่งทำให้สามารถประเมินผลของข้อมูลออกมาเป็นที่ยอมรับ และปฏิเสธ หรือ ผ่านและไม่ผ่าน จึงไม่สามารถประเมินผลได้ว่าคุณภาพของงานที่ตรวจสอบได้นั้นดีหรือไม่ดีอย่างไร โดยมีเกณฑ์ในการยอมรับวัดจากค่าประสิทธิผลของการตรวจสอบ
(Screen Effectiveness) ดังต่อไปนี้

<10% Error	สามารถยอมรับความสามารถในระดับการวัดได้
10 ถึง 30 % Error	อาจจะยอมรับได้ซึ่งขึ้นอยู่กับความสำคัญในสิ่งประยุกต์ใช้
<30% Error	ไม่สามารถยอมรับความสามารถระบบการวัดได้ มีความจำเป็นต้องหาถึงสาเหตุความผันแปร แล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

ในการศึกษาความสามารถของระบบการวัดนี้ สามารถของระบบการวัดนี้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ วิธีการประเมินผลในระยะสั้น (Short Method) และวิธีการประเมินผลในระยะยาว (Long Method) โดยแนวความคิดของวิธีการประเมินผลในระยะสั้นจะอาศัยการจำแนกชิ้นสิ่งตัวอย่างงานที่มีทั้งลักษณะดี ไม่ดีและก้ำกึ่ง (Marginal) ในจำนวนที่เหมาะสม แล้วให้พนักงานที่สุ่มมาหรือกำหนดไว้ล่วงหน้าทำการตรวจสอบ เพื่อจำแนกผลการตรวจสอบเป็นผ่านและไม่ผ่าน จากนั้นจะพิจารณาว่าผลการตรวจสอบซ้ำมีคุณภาพตรงกับคุณภาพตรงกับคุณภาพแท้จริงของสิ่งตัวอย่างงานหรือไม่ซึ่ง

ลักษณะดังกล่าวจะบ่งบอกถึง “ ความถูกต้อง ” ในการตรวจสอบโดยจะแบ่งลักษณะความถูกต้องนี้ออกเป็น “ ความลำเอียงของลูกค่า (Consumer’s Bias) ” หมายถึง การที่พนักงานตรวจสอบมีแนวโน้นจะตรวจสอบแล้วสรูปผลว่า “ไม่ผ่าน” สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี และ “ ความลำเอียงของผู้ผลิต ” (Producer’s Bias) หมายถึง การที่พนักงานตรวจสอบมีแนวโน้มจะตรวจสอบแล้วสรุปผลว่า “ ผ่าน ” สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพไม่ดี นอกจากนี้ยังให้ความในใจต่อความสามารถในการตรวจสอบซ้ำของพนักงานตรวจสอบ ซึ้งโดยปกติจะทำการประเมินผลออกมาในรูปของ “ ความมีประสิทธิผลของการตรวจสอบ ที่หมายถึง ความสามารถของระบบการวัด (หรือตรวจสอบ) ในการแยกแยะงานไม่ดีออกจากงานที่ดี

2.5.3 ขั้นตอนการประเมินผลระบบการตรวจสอบในระยะสั้น

ในการประเมินผลระบบการวัดหรือระบบการตรวจสอบในระยะสั้น มีกระบวนวิธีในการประเมินผลดังนี้

1. ทำการเลือก “คณะผู้ชำนาญการ” ซึ่งเป็นบุคคลที่มีความสามารถเป็นพิเศษในการแยกแยะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดี/เสีย และลูกค้าให้การยอมรับในผลการตรวจสอบดังกล่าว

2. ให้กำหนด “ล็อตมาตรฐาน (Standard Lots)” สำหรับใช้ในการตรวจสอบเพื่อประเมินความสามรถของระบบการตรวจสอบ โดย Fasser and Brettner แนะนำให้ลอดมาตรฐานดังกล่าวประกอบด้วยสิ่งตัวอย่างงานที่มีคุณภาพดี 1 ใน 3ของสิ่งตัวอย่างทั้งหมด โดยมีสิ่งตัวอย่างงานที่มีคุณภาพดี 1 ใน 3 และของสิ่งตัวอย่างทั้งหมดและอีก 1 ใน 3 เป็นสิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพก้ำกึ่งหรือมาร์จินัล (Marginal) โดยงานก้ำกึ่งนี้ควรจะประกอบด้วยงานดีแบบก้ำกึ่ง (Marginal Conformity) และงานไม่ดีแบบก้ำกิ่ง (Marginal Nonconformity) อย่างละครึ่ง ๆ

3. ทำการเลือกพนังงานวัดหรือพนักงานตรวจสอบมา 2 - 4 คน โดยพนักงานที่เลือกมาจะต้องเป็นพนักงานที่มีหน้าที่ประจำในการตรวจสอบคุณภาพ และได้ผ่านการฝึกอบรมมาเป็นอย่างดีพร้อมผ่านการสอบประเมินผลแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจสอบที่อาศัยความรู้สึก เช่น กลิ่น รสชาติ สี ฯลฯ

4.ทำการกำหนดจำนวนชิ้นตัวอย่างงาน และจำนวนครั้งในการทดสอบซ้ำ โดยจำนวนดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับจำนวนของพนักงานทดสอบดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ขนาดสิ่งตัวอย่างแนะนำในการประเมินผลระบบการตรวจสอบ [8]

จำนวนพนักงานตรวจสอบ	จำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ต่ำสุด	จำนวนทดลองซ้ำที่ต่ำสุด
1	24	5
2	18	4
3 หรือมากกว่า	12	3

5. ให้สุ่มพนักงานตรวจสอบขึ้นมาคนหนึ่งแล้วให้ตรวจสอบตัวอย่างงานแบบสุ่มเพื่อประเมินผลคุณภาพของสิ่งตัวอย่างว่า “ผ่าน (Good - G) ” หรือ “ ไม่ผ่าน (No Good - NG) ” พร้อมการบันทึกผลในตารางทดสอบ

6. ทำการสุ่มพนักงานมาอีก แล้วดำเนินการเหมือนขั้นตอนที่ 5 ทำเช่นนี้ไปจนครบการระเมินผลจากพนักงานทุกคน

7. ดำเนินการประเมินผลด้วยดัชนีต่าง ๆ ดังนี้

$$\%\ \text{รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

$$\%\ \text{ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

$$\%\text{ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้ของการตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

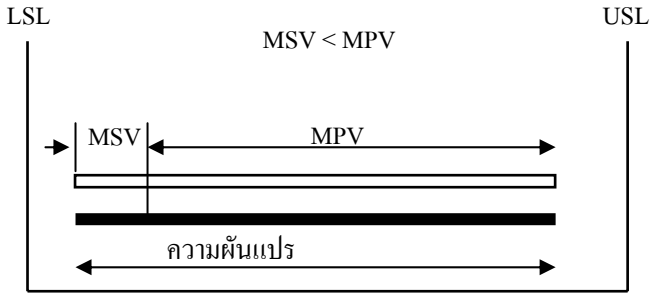
$$\%\text{ประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานตรวจสอบได้ถูกต้องเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

8. ดำเนินการตัดสินใจจากผลการวิเคราะห์ โดยที่ว่า ถ้าหากค่า % รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบ (% Appraiser Score) ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดแล้วให้ทำการอบรมพนักงานใหม่ รวมถึงการประเมินผลพนักงานใหม่เพื่อปรับปรุงรีพีททะบิลิตี้ให้ดีขึ้น และ ถ้า % ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ (% Attribute Score) มีค่าไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหมดแล้วจะต้องปรับปรุงวิธีการตรวจสอบใหม่หรือมิฉะนั้นจะต้องกำหนดให้ชิ้นงานได้รับการตรวจสอบโดยผู้ชำนาญการเท่านั้น

สำหรับ %ประสิทธิผลด้านรีททะบิลิตี้ของการตรวจสอบ (% Screen Effective Score) และ% ประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบ (% Attribute Screen Effective Score) ถ้าหากมีค่าไม่ผ่านเกณฑ์กำหนดแล้วมีความจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุจากดัชนีข้างต้น แล้วทำการแก้ไขให้ถูกต้อง ดังนั้นการวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) จะเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติการวัดจากค่าที่ได้เพื่อแยกแหล่งความผันแปรออกมาเป็นชิ้นงาน (Part-to Part Variation; IV) พนักงานวัด (Appraiser Variation ;

AV) ความผันแปรร่วม (Interaction Variation; IV) และแหล่งผันแปรอื่นๆ ที่ไม่สามารถรวบคุมได้โดยธรรมชาติ ซึ่งโดยปกติมักจะมีแหล่งความผันแปรหลัก ๆ มาจากอุปกรณ์วัด (Equipment Variation; EV) ทั้งนี้การวิเคราะห์ระบบการวัดนี้จะอยู่ภายใต้ค่าที่ได้จากการประเมินผลระบบการวัด (Measurement System Evaluation; MSE)

เมื่อมีการวิเคราะห์ถึงความผันแปรจากระบบการวัด (Measurement SystemVariation - MSV) จะทำการประเมินเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะ (Specification) หรือความผันแปรจากระบวนการผลิต (Manufacturing Process Variation - MPV) ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ต้องพยายามทำให้ความผันแปรจากระบบการวัด มีค่าต่ำกว่าข้อกำหนดเฉพาะและความผันแปรจากกระบวนการผลิตเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แนวความคิดในการประเมินความผันแปร [8]

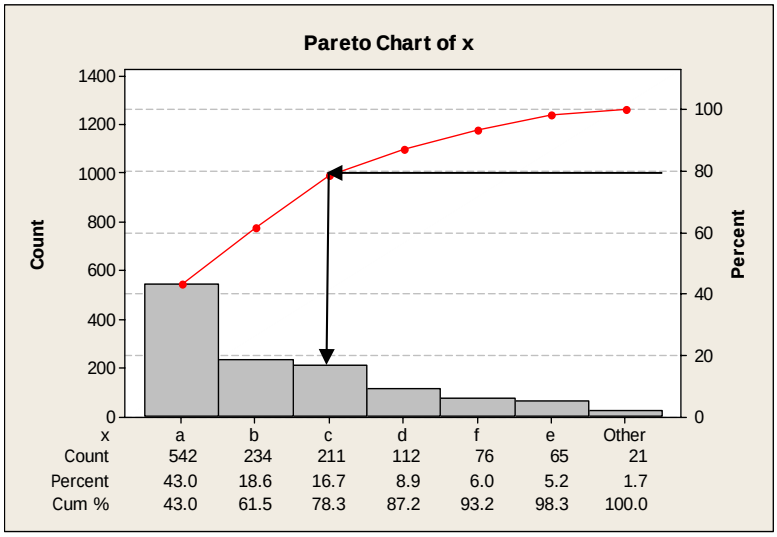
2.6 เครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในการดำเนินการ [9]

การดำเนินโครงการใดๆ จำเป็นต้องอาศัยการคิดอย่างมีระบบ (Systematic Thinking) การตัดสินใจบนข้อมูลที่สามารถเชื่อถือได้ โดยข้อมูลที่เป็นตัวเลขจะถูกนำมาเปลี่ยนเป็นสารสนเทศ (Information) ที่มีประโยชน์ด้วยวิธีทางสถิติ การนำเสนอข้อมูลควรมีการจัดให้อยู่ในรูปของกราฟ ตาราง แผนภูมิ หรือแผนภาพต่างๆ เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจในลักษณะข้อมูล เพื่อการตีความหมายและการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการตัดสินใจ ทั้งนี้ในการเลือกเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลจำเป็นต้องระบุถึงจุดประสงค์ของการตัดสินใจก่อนเสมอ

2.6.1 แผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram)

แผนภูมิพาเรโต เป็นกราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุของปัญหากับปริมาณของปัญหา (หัวข้อของข้อมูลกับปริมาณของข้อมูล)นั้นๆ ใช้สำหรับวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของข้อมูลแบบ

หลายพวกตลอดจนใช้ในการพิจารณาถึงการจำแนกประเภทของข้อมูล เพื่อประกอบการวิเคราะห์โดยมีประเด็นสำคัญในการตรวจสอบความมีเสถียรภาพของข้อมูล คือจะต้องทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในรูปค่าสะสมตามเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงไปเสมอ โดยแผนภาพดังกล่าวนี้จะอาศัยหลักการพาเรโต (Pareto Principle) ที่ว่า “สิ่งที่มีความสำคัญมากมีจำนวนเล็กน้อย (The Vital Few) และสิ่งที่มีความสำคัญน้อยมีจำนวนมาก (The Trivial Many)” ซึ่งตัวเลขประมาณการที่นิยมใช้ในการตัดสินใจคือ 80-20 หรือ 70-30 โดยลักษณะของแผนภาพพาเรโตแสดงดังรูปที่ 2.14

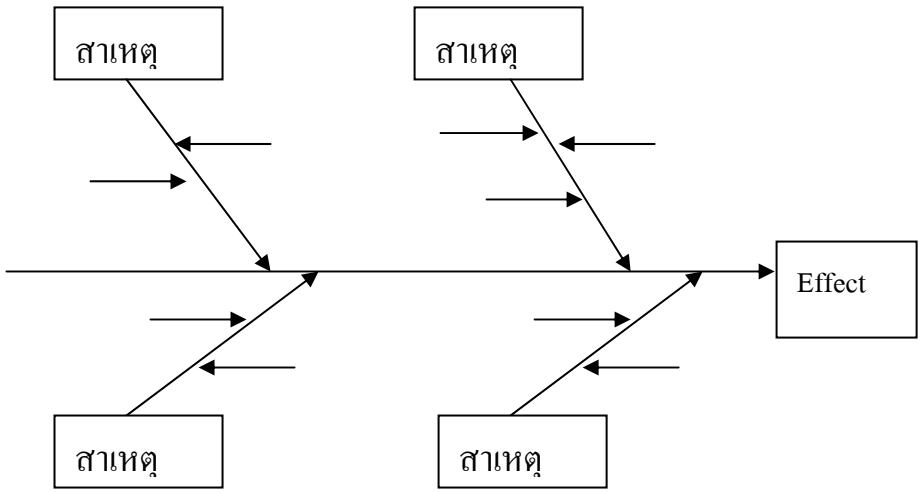


รูปที่ 2.14 ลักษณะของแผนภาพพาเรโต [9]

2.6.2 แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

แผนภาพสาเหตุและผลหรือแผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram) เป็นแผนภาพที่ใช้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลของปัญหาที่พิจารณา โดยแผนภาพดังกล่าวจะได้มาจากการกำหนดหัวข้อของปัญหาที่ชัดเจนแล้วจึงทำการระดมสมองเพื่อหาสาเหตุอย่างเป็นระบบ ภายใต้หลักการ 3 จริงคือ จาก สถานที่จริง ภายใต้สภาวะแวดล้อม โดยอาศัยของจริง ซึ่งต้องใช้ความรู้ทางเทคโนโลยีเฉพาะด้าน (Intrinsic Technology) มาช่วยในการระดมสมอง แผนภาพสาเหตุและผลจำแนกได้เป็น 3 ประเภท คือ การวิเคราะห์ความผันแปร (Dispersion Analysis) การจำแนกตามกระบวนการ (Process Classification) และการกำหนดรายการสาเหตุ (Cause Enumeration) แต่เนื่องจากปัญหาที่นำมาดำเนินการแก้ไขในโครงงานวิจัยนี้เป็นปัญหาเรื้อรัง (Chronic Problem) ซึ่งต้องใช้ความรู้ทางเทคโนโลยีเฉพาะด้าน (Intrinsic Technology) มาช่วยในการระดมสมอง จึงขออธิบายเฉพาะแผนภาพสาเหตุและผลประเภทกำหนดรายการสาเหตุ ดังนี้

- มีลักษณะคล้ายกับแผนภาพสาเหตุและผลประเภทวิเคราะห์ความผันแปร ซึ่งกล่าวถึงอาการหรือสาเหตุของปัญหาในขณะที่แผนภาพสาเหตุและผลประเภทการกำหนดรายการจะมุ่งสู่รายการสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา ดังแสดงในรูปที่ 2.15
- มีประโยชน์คือทำให้ทราบถึงรายการของสาเหตุทั้งหมดเพื่อทำการพิสูจน์หาสาเหตุ
- ต้องทำการทบทวนอยู่เสมอว่าสภาพปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงไปจากที่ศึกษาในตอนแรกหรือไม่ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าสาเหตุหลักๆมิได้ถูกละเลย



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของแผนภาพสาเหตุและผลแบบกำหนดรายการสาเหตุ

2.6.3 แผนภูมิควบคุม (Control chart)

แผนภูมิควบคุมเป็นเครื่องมือทางสถิติที่ช่วยให้ผู้ใช้ทราบถึงความเสถียรภาพของข้อมูลโดยที่ผู้ใช้สามารถใช้ได้กับข้อมูลประเภทเดียว นอกจากนั้นยังใช้เป็นตัวควบคุมค่าที่เราสนใจในกระบวนการอีกด้วย โดยแผนภูมิควบคุมนั้นเหมาะกับข้อมูล 2 กรณีคือ

1. ข้อมูลประเภทนับ เช่น P-chart สำหรับข้อมูลที่มีล็อตไซท์ขนาดต่างกัน, NP-chart สำหรับข้อมูลที่มีขนาดของล็อตไซท์เท่ากัน
2. ข้อมูลแบบวัด เช่น X bar- R chart, C-chart, U-chart

2.6.4 กราฟ (Graph)

กราฟเป็นเครื่องมือและวิธีการที่มีข้อได้เปรียบอย่างดีเยี่ยม ในการถ่ายทอดข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล ใช้สำหรับนำเสนอข้อมูลที่สามารถทำให้ผู้อ่านเข้าใจข้อมูลต่างๆ ได้ดี สะดวกต่อการแปล

ความหมายและสามารถให้รายละเอียดของการเปรียบเทียบได้ดีกว่าการนำเสนอข้อมูลด้วยวิธีอื่น ทั้งนี้เพราะกราฟสามารถมองเห็นถึงลักษณะของข้อมูลต่างๆ ได้ทันที

2.7 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ(FMEA) [1]

การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis; FMEA) เป็นกลวิธีที่ใช้ในการเข้าถึงปัญหาอย่างเป็นระบบ เพื่อใช้ในการศึกษาปัญหาอย่างเป็นระบบ เพื่อใช้ในการศึกษาปัญหาอย่างเป็นระบบ เพื่อใช้ในการศึกษาปัญหาที่เป็นไปได้เพื่อป้องกันปัญหาที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดปรากฏขึ้นมา ซึ่งกลวิธีดังกล่าวนี้ถือว่าเป็นการเสริมทักษะในการแก้ปัญหาให้กับวิศวกรให้มีลำดับทางความคิดที่เป็นระบบมีขั้นตอน และมีการจัดลำดับก่อนหลังของการแก้ปัญหาโดยเน้นไปที่การป้องกันปัญหาที่มีโอกาสเกิด (Most Likely Failure) โดยในที่นี้ถือว่าเป็นการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากลักษณะข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต (Process FMEA)

2.7.1 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ

2.7.1.1 รายละเอียดของกระบวนการ (Process Description/Function)

ในการกำหนดรายละเอียดของกระบวนการนั้นต้องแยกขั้นตอนภายในกระบวนการที่ทำการศึกษาให้เป็นขั้นตอนย่อยก่อนซึ่งจะต้องบรรยายถึงหน้าที่ การใช้งานที่มีที่น่าจะมีผลต่อปัญหาที่สนใจ

2.7.1.2 ระบุถึงปัจจัยที่ป้อนเข้าที่สำคัญต่อกระบวนการ (Key Process Input)

การระบุถึงปัจจัยป้อนเข้าที่สำคัญต่อกระบวนการต้องบอกให้ได้ว่าปัจจัยที่ป้อนเข้าไปนั้นทำไปเพื่ออะไร โดยในที่นี้จะต้องผ่านการระดมสมอง และวิเคราะห์ผ่านแผนภาพสาเหตุและผล

2.7.1.3 ลักษณะข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มว่าจะเกิด (Potential Failure Mode)

การกำหนดลักษณะข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดนั้น ต้องตั้งคำถามในขั้นตอนย่อยๆ ของกระบวนการนั้น ถ้าการทำงานในแต่ละขั้นตอนไม่เป็นไปตามหน้าที่ที่ต้องการแล้วลักษณะข้อบกพร่องจะต้องเป็นอย่างไร

2.7.1.4 ลักษณะผลกระทบของข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มว่าจะเกิด (Potential Failure Effect)

การกำหนดลักษณะผลกระทบของข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดนั้นต้องตอบคำถามให้ได้ว่าถ้าหากลักษณะข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มจะเกิดขึ้นแล้วจะส่งผลกระทบต่อปัญหาที่สนใจอย่างไร

2.7.1.5 ความรุนแรงของผลกระทบ (Severity of the Effect)

ถ้าหากลักษณะข้อบกพร่องนั้น เกิดขึ้นแล้ว จะมีความรุนแรงของผลกระทบมากน้อยเพียงไร ซึ่งต้องมีการให้คะแนนของความรุนแรงที่เกิดขึ้นด้วย

2.7.1.6 สาเหตุที่มีแนวโน้มในการเกิดข้อบกพร่อง

โดยการระบุถึงสาเหตุที่มีแนวโน้มในการเกิดข้อบกพร่อง หรือสาเหตุที่ทำให้ลักษณะข้อบกพร่องเกิดขึ้น

2.7.1.7 โอกาสในการเกิด (Occurrence)

โอกาสในการเกิด หมายถึง อัตราที่แสดงถึงจำนวนความถี่และ/หรือ จำนวนข้อบกพร่องสะสมที่ได้คาดหมายไว้ สำหรับสาเหตุหนึ่งๆ ภายใต้ระบบควบคุมที่มีอยู่ซึ่งเกณฑ์การให้คะแนน

2.7.1.8 การตรวจจับ (Detection)

การตรวจจับ หมายถึง การประเมินถึงโอกาสที่มีการใช้การควบคุมกระบวนการ แล้วจะตรวจพบแนวโน้มของสาเหตุ และกลไกของข้อบกพร่อง (จุดอ่อนของกระบวนการ) หรือ ความน่าจะเป็นในการใช้การควบคุมกระบวนการ แล้วจะตรวจพบลักษณะข้อบกพร่องก่อนที่จะมีชิ้นส่วนประกอบออกมาจากสายการประกอบ หรือจุดปฏิบัติงานผลิต ซึ่งเกณฑ์การให้คะแนนสามารถดูรายละเอียดได้จากภาคผนวก ก ตารางที่ ก4-ก6

2.7.1.9 ตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญของความเสี่ยง

ตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญของความเสี่ยง (RPN) คือ ผลลัพธ์ของความรุนแรง โอกาสในการเกิด และการตรวจจับ เพื่อใช้ในการจัดลำดับความสำคัญในการแก้ไขปัญหา ดังแสดงในสมการที่ 2.1

$$RPN = S * O * D \qquad \text{……..…..(2.1)}$$

เมื่อ S หมายถึง ความรุนแรง (Severity)

O หมายถึง โอกาสในการเกิด (Occurrence)

D หมายถึง การตรวจจับ (Detection)

หมายเหตุ : ค่า RPN จะเป็นไปตามหลักเกณฑ์ของหลักการพาเรโต โดยมีคะแนนระหว่าง 1 ถึง 1,000 โดยค่า RPN ที่มีค่าสูงๆมีความจำเป็นต้องดำเนินการปฏิบัติการแก้ไขเพื่อลดค่า RPN ลง และไม่ว่าค่า RPN จะมีค่าเท่าใดก็ตาม ผู้วิเคราะห์ควรเอาใจใส่เป็นกรณีพิเศษถ้าหากค่าคะแนนความรุนแรง(Severity)มีค่ามากที่สุด

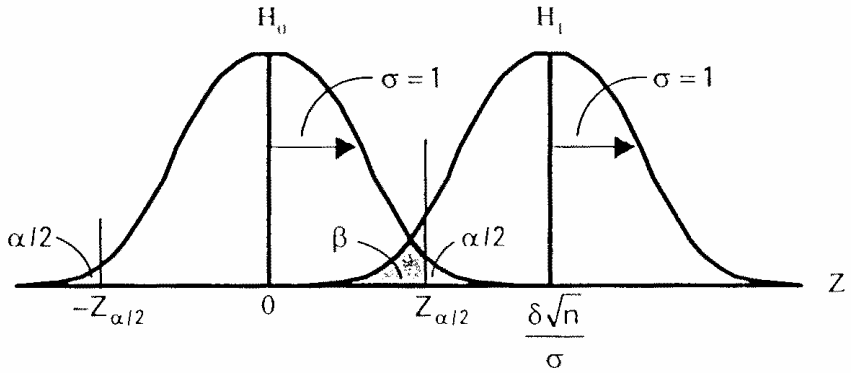
2.8 การทดสอบสมมุติฐาน [10]

การทดสอบสมมุติฐาน (Test of Hypothesis) เป็นกระบวนการตัดสินใจเพื่อยืนยันความเชื่ออย่างใดอย่างหนึ่งเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่อธิบายสภาวะที่เกิดขึ้นจริง และเรียกข้อความที่แสดงถึงการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มที่หมายถึงสภาวะที่เกิดขึ้นจริงว่าสมมุติฐานเชิงสถิติ (Statistical Hypothesis) ได้แก่ สมมุติฐานหลัก(Null Hypothesis ; H_0) และสมมุติฐานอื่น (Alternative Hypothesis ; H_1) โดยสมมุติฐานหลัก คือ สมมุติฐานที่เชื่อว่าเป็นสภาวะที่เกิดขึ้นจริงและต้องทำการทดสอบเพื่อที่จะปฏิเสธสมมุติฐานนี้ ส่วนสมมุติฐานอื่น คือ สภาวะที่ต้องการยืนยันด้วยเหตุผล การตัดสินใจแบบทดสอบสมมุติฐานนี้มีโอกาสในการผิดพลาดได้ 2 ชนิด คือ

- ความผิดพลาดแบบที่ 1 (Type I Error) : การปฏิเสธสมมุติฐานหลักทั้งที่ในความเป็นจริงสมมุติฐานหลักถูกต้องอยู่แล้ว เรียกว่าระดับนัยสำคัญ(Significant Level) แทนด้วยสัญลักษณ์ α
- ความผิดพลาดแบบที่ 2 (Type II Error) : การไม่ปฏิเสธสมมุติฐานหลักทั้งที่ในความเป็นจริงสมมติฐานหลักไม่ถูกต้องแทนด้วยสัญลักษณ์ β และ $1-\beta$ คืออำนาจในการทดสอบ(Power of Test)

ในการทดสอบสมมติฐานนั้นต้องออกแบบวิธีการตัดสินใจให้มีระดับนัยสำคัญคงที่และมีค่าต่ำๆ เช่น 0.05 หรือ 0.1 และให้อำนาจในการทดสอบมีค่าสูงที่สุด ทั้งนี้เพื่อให้การตัดสินใจเลือก H_1 ต้องกระทำอย่างมีเหตุผลรองรับที่ชัดเจนจริงๆ ซึ่งเรียกว่า การตัดสินใจแบบยืนยัน (Strong Conclusion) ซึ่งในการตัดสินใจโดยการทดสอบสมมุติฐานสามารถดำเนินการได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ตั้งสมมุติฐานตามสิ่งที่ต้องการทดสอบ
2. กำหนดวิธีการตัดสินใจ ด้วยการพิจารณาถึงตัวสถิติสำหรับการทดสอบพารามิเตอร์ รวมถึงการแจกแจงของตัวสถิติดังกล่าวซึ่งอธิบายขนาดความผันแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ระหว่างเงื่อนไขของการทดลอง (Reproducibility) และกำหนดช่วงการปฏิเสธและการยอมรับภายใต้ค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด
3. ออกแบบการทดลอง ด้วยการกำหนดขนาดตัวอย่างโดยให้อำนาจในการทดสอบอยู่ในระดับที่ยอมรับได้



รูปที่ 2.16 การแจกแจงของตัวสถิติ X ภายใต้ H_0 และ H_1 [10]

4. ดำเนินการทดลองตามที่ออกแบบไว้

5. ตัดสินใจตามวิธีการตัดสินใจที่กำหนดไว้ โดยหากข้อมูลอยู่ภายในช่วงการยอมรับให้สรุปว่าไม่มีเหตุผลในการปฏิเสธสมมุติฐานเนื่องจากข้อมูลอยู่ภายในช่วงความผันแปรที่เกิดจากสาเหตุธรรมชาติ แต่หากข้อมูลอยู่ในช่วงการปฏิเสธให้ทำการปฏิเสธสมมุติฐาน

2.9 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment; DOE) [11, 12]

ในการตัดสินใจทางวิศวกรรมในบางครั้งนั้น ข้อมูลที่จะนำมาใช้สำหรับการวิเคราะห์และทำการตัดสินใจอาจจะเป็นข้อมูลที่ไม่สามารถเก็บมาจากการปฏิบัติงานในสภาวะจริงได้ เนื่องจากข้อมูลเหล่านั้นไม่มีสาระสนเทศเพียงพอที่จะนำมาใช้ จึงมีความจำเป็นที่ต้องทำการทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถรวบรวมสาระสนเทศที่ผู้ตัดสินใจต้องการใช้ในการวิเคราะห์แต่ก่อนที่จำทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลเหล่านั้นมา ผู้ตัดสินใจจำเป็นที่จะต้องวางแผนการทดลองให้ดีเสียก่อนเพื่อป้องกันการผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นและเข้ามาปะปนกับข้อมูลที่ต้องการ ซึ่งอาจส่งผลต่อการวิเคราะห์ที่ผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องทำการออกแบบการทดลองก่อนเป็นอันดับแรก นั่นก็คือเป็นการกำหนดเงื่อนไขสำหรับการทดลองที่จะทำให้สามารถตีความหมายถึงสาเหตุและผลต่อการตัดสินใจที่ต้องการได้โดยหลักการสำคัญในการออกแบบการทดลองมี 3 ประการคือ

- หลักการสุ่ม (Randomization) วัตถุประสงค์เพื่อทำการเกลี่ยออก (Balance Out) ของอิทธิพลแทรกซ้อน (Noise Effect) ต่างๆ ที่มีต่อข้อมูล โดยแต่ละเงื่อนไขของการทดลองจะมีโอกาสที่จะได้รับการเลือกทำการทดลองก่อนหรือหลังที่เท่าเทียมกัน

- หลักการซ้ำ (Replication) วัตถุประสงค์เพื่อการกำจัดออก (Average Out) ซึ่งอิทธิพลแทรกซ้อนต่างๆที่มีในข้อมูล ซึ่งการทำซ้ำจะสะท้อนถึงแหล่งความผันแปรระหว่างการทดลอง (Between

Condition) และความผันแปรในการทดลอง (Within Condition) โดยวิธีการทำซ้ำนั้นจะทำการทดลองซ้ำภายใต้เงื่อนไขเดียวกันแต่ไม่ใช่การวัดซ้ำในหนึ่งการทดลอง (Repeat)

- หลักการบล็อก (Blocking) วัตถุประสงค์เพื่อลดอิทธิพลแทรกซ้อนออกไปเพื่อสร้างความแม่นยำในข้อมูลให้มากขึ้น

การออกแบบการทดลองในปัจจุบันมีหลายวิธี ซึ่งจะแตกต่างกันบ้างแต่โดยหลีการแล้วจะมีแนวทางที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องเท่านั้นโดยแย่งแยกได้ดังนี้

2.9.1 การทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Experiment) [12]

การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลใช้กันมากในการทดลองที่ต้องการศึกษาถึงผลของปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป และผลของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่างๆ ดังนั้น การทดลองแบบแฟกทอเรียลนี้จึงเป็นการทดลองที่ให้สารสนเทศครบและพื้นฐานที่สำคัญในการออกแบบการทดลองขึ้นสูงต่อไป ในกรณีที่มีปัจจัยอยู่เป็นจำนวนมากสิ่งสำคัญคือปัญหาที่เกี่ยวข้องกับผลของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่างๆ ซึ่งถ้าละเลยหรือไม่สนใจแล้วอาจทำให้การตีความหมายผิดพลาดไปได้แต่การที่ต้องการรู้ถึงผลของปัจจัยจำนวนมากนั้นเป็นเหตุให้การทดลองมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งบางครั้งอาจไปกระทบกับต้นทุนการผลิตหรือการทดลองนั้นยังมีความรู้ในงานที่ต้องการศึกษาไม่สูงนัก มีความจำเป็นที่จะต้องมีการออกแบบเพื่อกรอง (Screening Design) ปัจจัยต่างๆที่สงสัยออกไปก่อน ซึ่งการออกแบบการทดลองแบบนี้เรียกว่า 2^k แฟกทอเรียล (สองกำลังแฟกทอเรียล) ซึ่ง เลข 2 หมายถึง จำนวนระดับ (Level) อักษร K หมายถึง จำนวนปัจจัย (Factor) การทดลองแบบ 2^k แฟกทอเรียล เป็นการทดลองที่มีจำนวนของปัจจัยเท่าไหร่ก็ได้ตามแต่ที่กำหนด แต่จำนวนของระดับที่ใช้ในการทดลองนั้นมีเพียง 2 ระดับเท่านั้นในทุกๆ ปัจจัยที่ทำการศึกษา

ขั้นตอนในการออกแบบการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนด้วยกันคือ

ขั้นตอนที่ 1 การรับรู้และกำหนดหัวข้อปัญหาที่ง่ายและชัดเจนต่อการทำความเข้าใจ ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ปัญหา

ขั้นตอนที่ 2 การเลือกปัจจัยและระดับของปัจจัย ผู้ทดลองจะต้องตัดสินใจว่าปัจจัยตัวใดที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของกระบวนการหรือระบบโดยแยกปัจจัยเหล่านี้ออกเป็นปัจจัยออกแบบที่เป็นไปได้ (Potential Design Factor) และปัจจัยรบกวน (Nuisance Factor) โดยปัจจัยที่ออกแบบที่เป็นไปได้นั้น สามารถแยกออกเป็นปัจจัยที่เลือกมาทำการศึกษาหรือปัจจัยออกแบบ (Design Factor) ปัจจัยที่ควบคุมให้คงที่ (Hold-constant Factors) และปัจจัยที่ยอมเปลี่ยนได้ (Allow-to-Vary Factors) โดยปัจจัยสุดท้ายนี้จะต้องทำการเกลี่ยออกด้วยหลักการสุ่มเพื่อให้มั่นใจว่าทุกเงื่อนไขของการทดลองนี้จะได้รับความผันแปรจากปัจจัยนี้อย่างทั่วถึงและเท่าเทียมกัน ปัจจัยรบกวน ปัจจัยนี้สามารถแบ่งออกได้เป็นปัจจัยรบกวนที่สามารถควบคุมได้ (Controllable Nuisance Factor) เช่น ล๊อตของวัสดุหรือ

วันที่ทำการทดลอง ซึ่งผู้ทดลองสามารถทำการเลือกได้ และปัจจัยรบกวนที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable Nuisance Factor) เช่น ความผันแปรที่เกิดขึ้นภายในล๊อตของวัสดุ เป็นต้น ในการเลือกระดับของปัจจัยนั้น ผู้ทดลองจะต้องมีความรู้ในกระบวนการนั้นหรือทำการปรึกษากับผู้มีประสบการณ์ผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลก่อนที่จะทำการตัดสินใจเลือกระดับของปัจจัยในการทดลอง

ขั้นตอนที่ 3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง ตัวแปรที่ผู้ทดลองเลือกมาต้องเป็นตัวแปรที่ให้สาระสนเทศที่มีประโยชน์ (Useful Information) เกี่ยวกับกระบวนการที่ทำการศึกษา ซึ่งในขั้นตอนนี้ถือว่าการประเมินและการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะถ้าระบบการวัดมีความผันแปรอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สามารถยอมรับได้ นุ่นก็คือเกิดความผันแปรจากระบบการวัดมาก ซึ่งจะส่งผลต่อข้อมูลที่ได้จากการทดลองและอาจทำให้ผลการทดลองมีความถูกต้องน้อยลง

2.9.2 การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (Taguchi Method) [13]

สำหรับในกรณีนี้เป็นชนิดหนึ่งในการประยุกต์การออกแบบการทดลองปัจจัยควบคุม (Control factor) เช่น ขนาดของชิ้นส่วนสามารถควบคุมได้ง่ายโดยผู้ออกแบบปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable factor) หรือ Noise factor เช่น ตัวแปรทางด้านสภาพแวดล้อม การเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ กรรมวิธีการผลิตที่ไม่สมบูรณ์ ฯลฯ ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ยังเป็นแหล่งของความผันแปรอีกด้วย ซึ่งอิทธิพลที่เกิดจากตัวแปรเหล่านี้ไม่สามารถที่จะจำกัดได้ เพราะฉะนั้นหน้าที่หลักของ Robust design (RD) เป็นการลดความแปรของผลิตภัณฑ์ โดยทำการลดความไวของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อแหล่งความแปร โดยทำการควบคุมแหล่งความผันแปรเหล่านี้ หรืออีกนัยหนึ่งคือ Robust design (RD) จะลดความผันแปรของค่าตอบสนอง โดยทำการเลือกปรับตั้งปัจจัยควบคุม (Control factor) เพื่อลดอิทธิพลของตัวแปรที่ควบคุมได้ยาก (Hard - too – Control Noise) นี่คือจุดสำคัญของ off line quality control

จะเห็นว่าจากการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ ต้องทำการพิจารณาถึง Noise factor ด้วย ซึ่งในการทำการวิจัยครั้งนี้ไม่ได้ทำการพิจารณาถึง Noise factor จึงทำการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล

ในกรณีศึกษานี้ข้อมูลของผู้วิจัยนั้นตัวแปรตอบสนองของงานวิจัยนี้มีลักษณะ Good หรือ No Good เนื่องจากตาราง ANOVA นั้นต้องใช้ข้อมูลที่เป็นตัวเลขในการหาดังนั้นเราต้องทำการแปลงข้อมูลที่เป็นลักษณะ Good หรือ No Good ให้เป็นข้อมูลที่เป็นตัวเลขซึ่งมีแนวความคิดในการแปลงลักษณะชิ้นงาน Good ให้มีค่าเท่ากับ 1 หรือสิ่งที่เราสนใจและชิ้นงาน No Good สิ่งที่เราไม่ได้สนใจ ให้มีค่า

เท่ากับ 0 หรือสามารถ กลับความหมายกันได้ จากนั้นก็คำนวณตาราง ANOVA ได้ดังตามสูตรตารางที่ 2.6 ตาราง ANOVA

แนวความคิดในการคำนวณหาตาราง ANOVA ในกรณีที่ข้อมูลมีค่าเป็น 0 และ 1

- ใช้การคำนวณเช่นเดียวกับข้อมูล Variable โดยกำหนด ให้ข้อมูลเป็น 0 และ1
- กรณี balance design (ทำการทดลองเท่ากันตลอด) ให้วิเคราะห์ด้วยสัดส่วนของสิ่งที่สนใจ (number of success)
- กรณี (Unbalance design) ให้วิเคราะห์ด้วยสัดส่วนของสิ่งที่สนใจ (Proportion)

ตารางที่ 2.6 ตาราง ANOVA (สูตร)

แหล่งผันแปร	**SS**	**DF**	**MS**	**F**
A	$\frac{T_A^2}{bn}-\frac{T^2}{N}$	a-1	$\frac{SS_A}{(a-1)}$	$\frac{MS_A}{MS_E}$
B	$\frac{T_B^2}{an}-\frac{T^2}{N}$	b-1	$\frac{SS_B}{(b-1)}$	$\frac{MS_B}{MS_E}$
A×B	$\frac{Y^2}{n}-\frac{T^2}{N}-SS_A-SS_B$	(a-1)(b-1)	$\frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)}$	$\frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Error	$SS_T-SS_A-SS_B-SS_{AB}$	(N-1)-(a-1)-(b-1)-(a-1)-(b-1)		
Total	$T-\frac{T^2}{N}$	N-1		

จากนั้นทำการวิเคราะห์ตาราง ANOVA จากแหล่งผันแปรโดยเทียบกับ ตัว สถิติ F โดยถ้าแหล่งผันแปรตัวไหนที่มีอย่างมีนัยสำคัญผลเมื่อเทียบกับตัวสถิติ F ตัวสถิติ F จะมีค่ามากส่วนตัวแหล่งผันแปร

ตัวไหนที่ไม่มีผลอย่างไม่มีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับตัวสถิติ F ตัวสถิติ F จะมีค่าน้อย ทั้งนี้ต้องพิจารณาค่า α ในการวิเคราะห์ด้วย

บทที่ 3 สภาพปัจจุบันของบริษัทที่เข้าร่วมโครงการ

บริษัทที่เข้าร่วมโครงการคือบริษัท บูรพาเหล็กกล้า จำกัด (โรงงานบางมด) เป็นบริษัทที่ผลิตชิ้นส่วนงานหล่อเหล็กเหนียวทุกชนิด ด้วยประสบการณ์มากกว่า 30 ปี ปัจจุบันมีกำลังการผลิตประมาณ 3,000 ตันต่อปี โดยกระบวนการผลิตเริ่มจากการรับคำสั่งซื้อจากลูกค้า ทำการออกแบบแม่พิมพ์ แล้วจึงหล่อชิ้นงาน เจียรแต่ง อบชุบ กลึง ทำสีและตรวจสอบขั้นสุดท้าย ในบทนี้จะขอกล่าวถึง รายละเอียดของบริษัท ประวัติความเป็นมา ลักษณะการประกอบธุรกิจ โครงสร้างการบริหารงานและสภาพปัญหาของผลิตภัณฑ์ที่ทำการวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 รายละเอียดของบริษัท

ชื่อบริษัท : บริษัท บูรพาเหล็กกล้า จำกัด
(Burapa Steel Company Limited)
ที่ตั้ง : เลขที่ 715 หมู่ 1 ถ.ประชาอุทิศ แขวงบางมด
เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140
ทุนจดทะเบียน : 100 ล้านบาท
จำนวนพนักงาน : 200 คน
พื้นที่โรงงาน : 7 ไร่
การดำเนินธุรกิจ : ผลิตเหล็กกล้าหล่อรูปพรรณ
การรับรองมาตรฐาน : ISO 9001 : 2000

3.2 ประวัติความเป็นมา

พ.ศ.2517 : จัดตั้งบริษัท บูรพาเหล็กกล้า จำกัด (โรงงานบางมด) เพื่อทำการผลิตชิ้นงานหล่อเหล็กเหนียวทุกชนิด

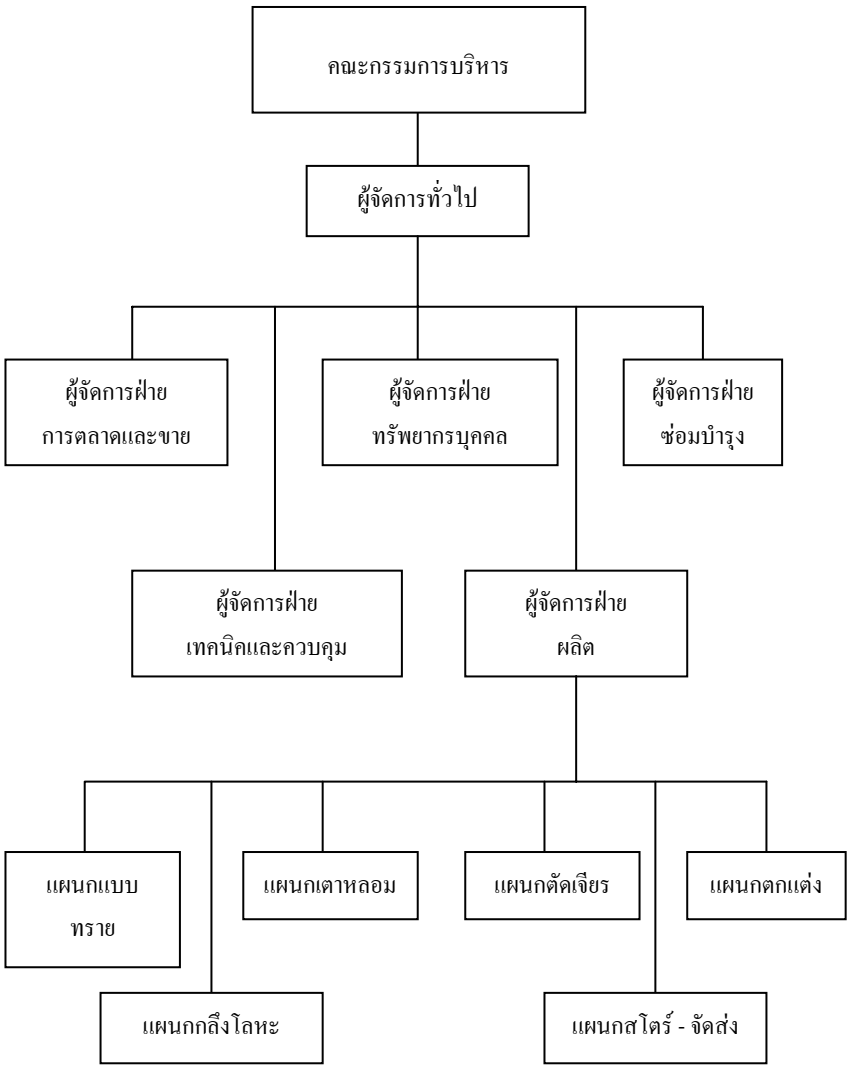
พ.ศ.2533 : จัดตั้งบริษัท บูรพาเหล็กกล้า จำกัด และ บริษัท อินเตอร์ แนชชั่นแนล ไออ้อนเวิร์ค จำกัด ขึ้นที่อำเภอมหาชัยเพื่อทำการผลิตเหล็กหล่อทุกชนิด

3.3 ลักษณะการประกอบธุรกิจ

บริษัท บูรพาเหล็กกล้า จำกัดและบริษัทในเครือ เป็นผู้ประกอบธุรกิจหลักในอุตสาหกรรมยานยนต์ เช่น ชิ้นส่วนประกอบของช่วงล่างรถบรรทุก ชิ้นส่วนประกอบของชุดขุดตักในรถแบ็คโฮ เหล็กสแตนเลสทนความร้อนสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะขอกล่าวถึงชิ้นส่วนประกอบของช่วงล่างรถบรรทุก

3.4 โครงสร้างการบริหารงาน

โครงสร้างการบริหารงาน แสดงถึงระบบการบังคับบัญชาและความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยงานต่างๆ ทั้งหมดในโรงงานว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไรบ้าง ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างขององค์กร

3.5 หน้าที่ของฝ่ายผลิต

ในกระบวนการหล่อขึ้นรูปชิ้นงานหล่อทั้งหมดส่วนใหญ่จะดำเนินการโดยฝ่ายผลิต ซึ่งมีหน้าที่ดังนี้

1) ผลิตสินค้าให้เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานการทำงาน

2) ควบคุมกระบวนการผลิตให้เกิด ประสิทธิผล (Effectiveness) ประสิทธิภาพ (Efficiency) และการเพิ่มผลผลิต (Productivity)

ดังนั้นจะขอกล่าวเฉพาะรายละเอียดของแผนกที่เกี่ยวข้องในฝ่ายผลิต โดยแบ่งส่วนการทำงานออกเป็นแผนกเพื่อแบ่งหน้าที่และความรับผิดชอบ ดังนี้

3.5.1.1 แผนกแบบทราย มีหน้าที่

1) ทำแบบทรายให้มีคุณภาพที่มีมาตรฐานตามข้อกำหนด

3.5.1.2 แผนกตัดเจียร มีหน้าที่

1) เจียรแต่งส่วนที่เกินออกมาจากชิ้นงานเช่น ครีบ และเชื่อมส่วนของชิ้นงานที่ขาดหายไป

2) อบชุบชิ้นงานให้ได้ตามมาตรฐานการทำงานที่กำหนดไว้

3.5.1.3 แผนกตกแต่ง มีหน้าที่

1) เชื่อมและเจียรแต่งชิ้นงานให้เรียบร้อยก่อนส่งงานและใช้เกจในการตรวจสอบชิ้นงานให้ได้คุณภาพตามความต้องการของลูกค้า

3.5.1.4 แผนกกลึง มีหน้าที่

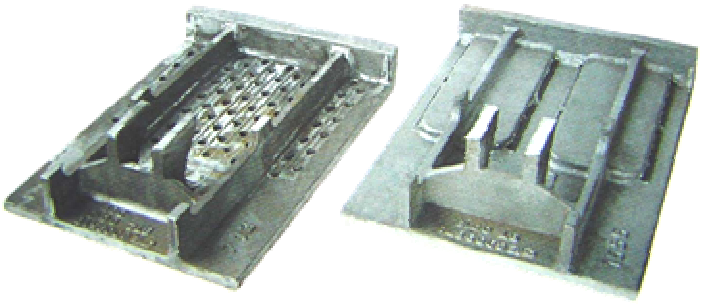
1) กลึงชิ้นงานให้มีขนาดตาม drawing ที่ลูกค้ากำหนด

3.5.1.5 แผนกสโตร์-จัดส่ง มีหน้าที่

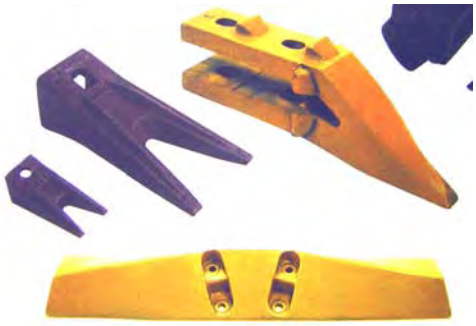
1) จัดเก็บชิ้นงานสำเร็จรูปให้ง่ายต่อการขนถ่ายและส่งสินค้าให้ถึงมือลูกค้าอย่างเรียบร้อย

3.6 ประเภทของสินค้าที่ผลิตในปัจจุบัน

บริษัท บูรพาเหล็กกล้า จำกัด ได้ทำการประกันคุณภาพสินค้าภายใต้ระบบควบคุมคุณภาพ ISO 9001:2000 โดยผลิตภัณฑ์หลัก คือ ชิ้นส่วนช่วงล่างรถบรรทุกและงานหล่อทั่วๆไป ดังรูปที่ 3.2, 3.3 และ 3.4



รูปที่ 3.2 ชิ้นส่วนของโรงปูนซีเมนต์



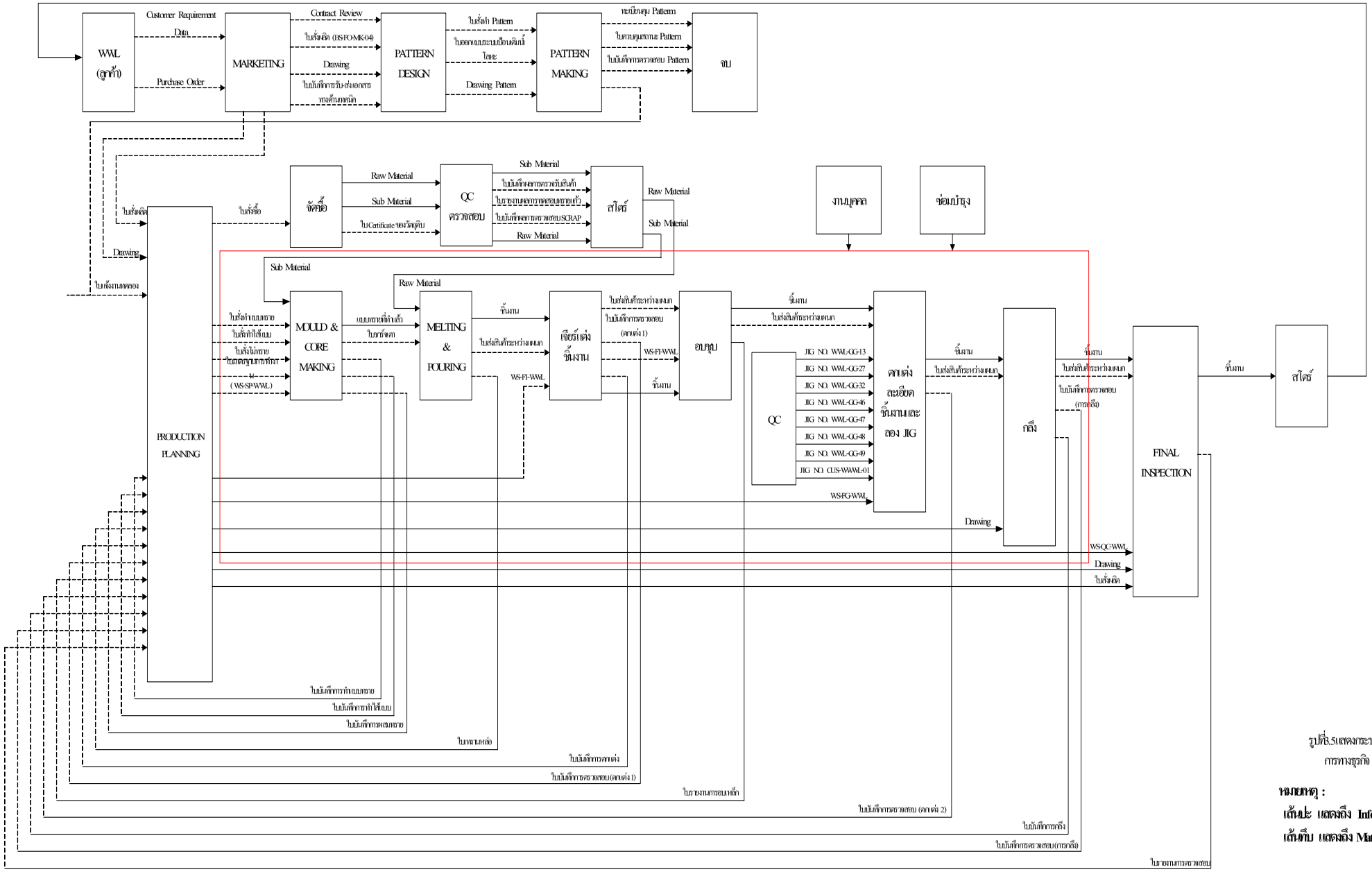
รูปที่ 3.3 ชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมการเกษตร

รูปที่ 3.4 ชิ้นงานช่วงล่างรถบรรทุก

3.7 กระบวนการทางธุรกิจ

การศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการทางธุรกิจ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงการไหลของข้อมูลและวัตถุดิบตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการจนถึงขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการทำงานทั้งหมด รวมถึงจะได้ทราบถึงจุดที่ต้องทำการควบคุมคุณภาพเพื่อให้งานบรรลุตามวัตถุประสงค์ ดังรูปที่ 3.5 พบว่ามีการไหลของข้อมูลโดยเริ่มตั้งแต่ลูกค้ามาถึงฝ่ายขาย และฝ่ายขายส่งข้อมูลความต้องการจากลูกค้าไปให้ฝ่ายต่างๆรับทราบเพื่อนำไปปฏิบัติเพื่อให้ได้งานที่มีคุณภาพตามความต้องการของลูกค้าได้ สำหรับการไหลของวัตถุดิบจะเริ่มตั้งแต่ฝ่ายจัดซื้อได้รับวัตถุดิบ แล้วส่งเข้าไปในโรงงานเพื่อให้ฝ่ายผลิตทำการผลิตชิ้นงานออกมาแล้วจัดส่งให้ลูกค้า ซึ่งกิจกรรมทั้งหมดในกระบวนการธุรกิจของแต่ละฝ่ายจะมีตัวชี้วัดหรือเป้าหมายในการทำงาน ดังตารางที่ 3.1 ที่จะแสดงถึงเป้าหมายคุณภาพของแต่ละหน่วยงานและผลการดำเนินงานเพื่อเปรียบเทียบกับเป้าหมายคุณภาพ

ซึ่งจากตารางที่ 3.1 แสดงให้เห็นว่าหน่วยงานอื่นๆ ในกระบวนการธุรกิจสามารถบรรลุตามเป้าหมายคุณภาพที่กำหนดไว้ มีเพียงฝ่ายผลิตที่มีปัญหาไม่สามารถบรรลุเป้าหมายคุณภาพได้ โดยเฉพาะเรื่องการควบคุมงานซ่อมในโรงงานให้น้อยกว่า 12% ของจำนวนการผลิตทั้งหมด ซึ่งปัจจุบันฝ่ายผลิตมีปริมาณงานซ่อมอยู่ที่ประมาณ 15% ของจำนวนการผลิตทั้งหมด ด้วยเหตุผลดังกล่าวทางบริษัทฯ จึงต้องการให้ฝ่ายผลิตควบคุมปริมาณงานซ่อมให้บรรลุตามเป้าหมายคุณภาพที่กำหนดไว้ ดังนั้นจึงทำการศึกษากระบวนการทำงานแต่ละขั้นตอนในการหล่อชิ้นงานของฝ่ายผลิตเพื่อหาจุดบกพร่องและแนวทางแก้ไข



รูปที่3.5แสดงกระบวน
การทางธุรกิจ

หมายเหตุ :

เส้นปะ แสดงถึง Information Flow

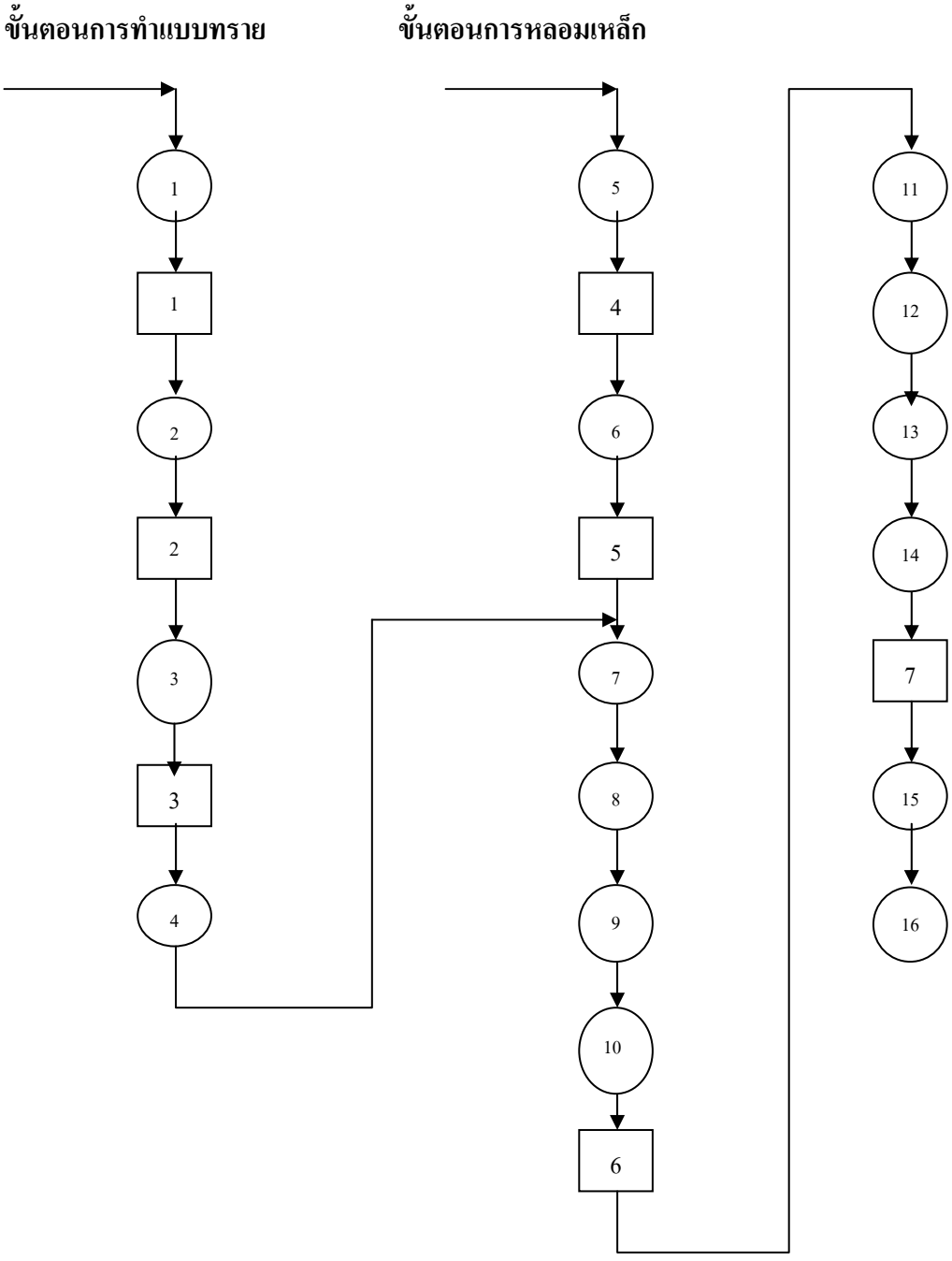
เส้นทึบ แสดงถึง Material Flow

ตารางที่ 3.1 เป้าหมายคุณภาพของแต่ละหน่วยงานในบริษัท บูรพาเหล็กกล้า จำกัด

ปี พ.ศ.2547				ปี พ.ศ.2548		
หน่วยงาน	**รายละเอียด**	**เป้าหมาย**	**ทำได้จริง**	**รายละเอียด**	**เป้าหมาย**	**ทำได้จริง**
MK(ฝ่ายขาย)	ยอดรับงานลูกค้า	> 2,000 ตัน	2,100 ตัน	ยอดรับงานลูกค้า	> 2,200	2,350 ตัน
HR (ฝ่ายบุคคล)	ทำการฝึกอบรมพนักงานตามหลักสูตร	> 85 %	89%	ทำการฝึกอบรมพนักงานตามหลักสูตร	90%	92%
ST(สโตร์)	ควบคุมวัตถุดิบให้เสียหายน้อยที่สุดในแต่ละเดือน	< 0.25 %	0.18%	ควบคุมวัตถุดิบให้เสียหายน้อยที่สุดในแต่ละเดือน	<0.15	0.10%
PN (วางแผนการผลิต)	ส่งสินค้าให้ลูกค้าทันเวลา	> 80 %	82.5%	ส่งสินค้าให้ลูกค้าทันเวลา	>85%	88.8%
MT (ซ่อมบำรุง)	เครื่องจักร Break – down จากชั่วโมงทำงานปกติ	< 2%	1.1%	เครื่องจักร Break – down จากชั่วโมงทำงานปกติ	<1%	0.75%
PU (ฝ่ายจัดซื้อ)	จัดหาวัตถุดิบตรงตามความต้องการของโรงงาน	>95%	95.5%	จัดหาวัตถุดิบตรงตามความต้องการของโรงงาน	>97%	98%
TN (เทคนิคฯ)	1.% Yield - สแตนเลส -เหล็กเหนียว 2.สร้าง Pattern เสร็จตามกำหนด -Pattern ไม้ -Pattern Al	 >45% >58% <60 วัน <90 วัน	 46% 60% 55 วัน 86วัน	1.% Yield - สแตนเลส -เหล็กเหนียว 2.สร้าง Pattern เสร็จตามกำหนด -Pattern ไม้ -Pattern Al	 >48% >60% <55 วัน <85 วัน	 48.3% 62% 54วัน 80วัน
QC (ตรวจสอบคุณภาพ)	ควบคุมงาน Claim โดยน้ำหนักส่งสินค้าในแต่ละเดือน	< 0.5%	0.35%	ควบคุมงาน Claim โดยน้ำหนักส่งสินค้าในแต่ละเดือน	<0.3%	0.20%
PD (ฝ่ายผลิต)	1.หล่อชิ้นงานเฉลี่ย 3เดือน 2.ควบคุมสัดส่วนของเสีย(Reject) ในโรงงาน 3.ควบคุมสัดส่วนงานซ่อม(Rework)ในโรงงาน	>130 ตัน < 1.75 % <12%	131.8 ตัน 1.55% **15.06%**	1.หล่อชิ้นงานเฉลี่ย 3เดือน 2.ควบคุมสัดส่วนของเสีย(Reject) ในโรงงาน 3.ควบคุมสัดส่วนงานซ่อม(Rework)ในโรงงาน	>132 ตัน <1.5% <12%	133 ตัน 1.48% **14.49%**

3.8 กระบวนการผลิตชิ้นงานหล่อ

กระบวนการผลิตชิ้นงานหล่อนั้นมีหลายขั้นตอนโดยเริ่มตั้งแต่การรับวัตถุดิบ ขั้นตอนการผลิตชิ้นงานและสุดท้ายคือการบรรจุสินค้าเพื่อรอส่งลูกค้า ซึ่งกระบวนการผลิตแสดงไว้ดังรูปที่ 3.6 มีรายละเอียดการทำงานดังนี้



รูปที่ 3.6 แผนภูมิกระบวนการผลิตชิ้นงานหล่อ

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของงานหล่อ

การปฏิบัติงาน ◯	รายละเอียดของงาน	การตรวจสอบ □	รายละเอียดของงาน
1	รับทรายแก้ว	1	ตรวจสอบคุณภาพทราย
2	ผสมทรายเพื่อทำแบบ	2	ตรวจสอบส่วนผสมทราย
3	ทำแบบทราย	3	ตรวจสอบความแข็งแบบทราย
4	ประกอบแบบทราย	4	ตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ
5	รับวัตถุดิบ	5	ตรวจสอบค่าเคมีในน้ำเหล็ก
6	หลอมเหล็ก	6	ตรวจสอบคุณภาพงานหล่อ
7	เทน้ำเหล็กลงแบบทราย	7	ตรวจสอบขั้นสุดท้าย
8	แกะทรายแบบออกจากชิ้นงาน		
9	ตัดรูล้นออกจากชิ้นงาน		
10	ยิงทราย		
11	เชื่อม- เจียรแต่งชิ้นงาน		
12	อบชุบ		
13	เจียร-ลองเกจ		
14	กลึงชิ้นงาน		
15	ทำสี		
16	บรรจุชิ้นงานลงลัง		

สำหรับขั้นตอนการผลิตโดยละเอียดแสดงไว้ดังรูปที่ 3.7-3.26

ขั้นตอนที่ 1 ทางบริษัททำการซื้อวัตถุดิบซึ่งประกอบด้วยเศษเหล็ก ทรายแก้วและธาตุผสมต่างๆ ดังรูปที่ 3.7-3.8

รูปที่ 3.7 เศษเหล็กที่นำเข้ามาเพื่อทำการหลอม

รูปที่ 3.8 การนำทรายแก้วไปตรวจสอบคุณภาพ

ขั้นตอนที่ 2 หลังจากที่ได้รับวัตถุดิบแล้วทางแผนก QC ต้องทำการตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบให้ได้คุณภาพก่อนส่งวัตถุดิบเข้าในสายการผลิต สำหรับเศษเหล็กจะทำการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี

ว่าอยู่ในเกณฑ์การยอมรับหรือไม่ และสำหรับทรายแก้วจะตรวจสอบความละเอียดของทรายและปริมาณฝุ่น ดังรูปที่ 3.9-3.10

รูปที่ 3.9 การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีของเศษเหล็ก

รูปที่ 3.10 การตรวจสอบคุณภาพทรายแก้ว

ขั้นตอนที่ 3 หลังจากที่มีการตรวจรับวัตถุดิบเป็นที่เรียบร้อยแล้วทำการนำวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการผลิต เช่นทรายแก้วจะนำไปผสมกับตัวประสาน (Binder) แล้วทำการตรวจสอบคุณสมบัติของทราย เช่น ความชื้นทราย ความโปร่งอากาศและความแข็งแรงของทราย ดังรูปที่ 3.11-3.12

รูปที่ 3.11 การผสมทรายทำแบบ

รูปที่ 3.12 การตรวจสอบคุณภาพของทรายชื้น

ขั้นตอนที่ 4 เมื่อทรายทำแบบผ่านการตรวจสอบคุณสมบัติผ่านแล้วจึงนำไปผลิตแบบทรายได้และเมื่อทำแบบทรายเสร็จแล้วจะต้องมีการสุ่มตรวจความแข็งแรงของแบบทราย ดังรูปที่ 3.13-3.14

รูปที่ 3.13 การทำแบบทราย

รูปที่ 3.14 การตรวจสอบความแข็งแรงของแบบทราย

ขั้นตอนที่ 5 นำเศษเหล็กและธาตุผสมต่างๆที่ผ่านการตรวจสอบคุณสมบัติแล้วทำการหลอมตามสเปคที่ลูกค้ากำหนดมาและเมื่อทำการหลอมน้ำเหล็กจนละลายเข้ากันหมดแล้วจึงทำการตักก้อนเหล็กตัวอย่างไปตรวจสอบค่าเคมีด้วยเครื่อง Spectrometer ดังรูปที่ 3.15-3.16

รูปที่ 3.15 การหลอมเหล็กด้วยเตาหลอมไฟฟ้าแล้ววัดอุณหภูมิ

รูปที่ 3.16 การตรวจสอบค่าเคมีในน้ำเหล็ก

ขั้นตอนที่ 6 เมื่อตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีผ่านแล้วจึงทำการเทน้ำเหล็กลงในแบบทรายโดยทำการควบคุมอุณหภูมิเทให้ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด ดังรูปที่ 3.17

รูปที่ 3.17 การเทน้ำเหล็กลงในแบบทราย

ขั้นตอนที่ 7 หลังจากที่เทน้ำเหล็กแล้วต้องทิ้งแบบทรายไว้ประมาณ 1 ชั่วโมงเพื่อให้เหล็กที่มีอยู่ในแบบทรายแข็งตัวและไม่มีการบิดตัว หลังจากที่ครบ 1 ชั่วโมงแล้วทำการรื้อชิ้นงานออกจากแบบทรายแล้วจึงนำชิ้นงานไปเอาเศษทรายที่ติดอยู่กับชิ้นงานออก ดังรูปที่ 3.18

รูปที่ 3.18 การแคะเศษทรายออกจากชิ้นงาน

ขั้นตอนที่ 8 เมื่อแคะเศษทรายออกจากชิ้นงานหมดแล้ว จึงนำชิ้นงานไปตัดรูล้น (Riser) ออกจนเหลือแต่ชิ้นงานอย่างเดียว แล้วนำชิ้นงานไปยิงทราย (Short blast) เพื่อให้เศษทรายที่ยังมีเหลืออยู่ให้หมดไปก่อนที่จะนำชิ้นงานไปเจียรแต่งในขั้นตอนต่อไป ดังรูปที่ 3.19-3.20

รูปที่ 3.19 การตัดรูล้นออกจากชิ้นงาน

รูปที่ 3.20 การยิงทรายชิ้นงาน

ขั้นตอนที่ 9 หลังจากที่ยิงทรายแล้วทางพนักงานจะทำการเชื่อมชิ้นงานในกรณีที่ชิ้นงานมีโพรงหรือมีทรายตกอยู่ในชิ้นงานและหลังจากที่เชื่อมชิ้นงานแล้วก็เจียรรอยเชื่อมออกจนผิวของชิ้นงานเป็นผิวเดียวกันทั้งหมด ดังรูปที่ 3.21

รูปที่ 3.21 การเจียรแต่งชิ้นงานหลังการเชื่อม

ขั้นตอนที่ 10 หลังจากเจียรแต่งชิ้นงานแล้วต้องทำการอบชุบชิ้นงานเพื่อที่จะปรับโครงสร้างของเหล็กให้มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบและเพิ่มคุณสมบัติทางกลให้กับชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.22

รูปที่ 3.22 การอบชุบชิ้นงาน

ขั้นตอนที่ 11 หลังจากที่ทำการอบชุบชิ้นงานแล้วต้องนำชิ้นงานมาทำการเจียรแต่งละเอียดอีกครั้งซึ่งในการเจียรแต่งละเอียดนั้นจะมีการใช้เกจ (Gauge) เพื่อช่วยในการควบคุมขนาดของชิ้นงานให้ได้ตามแบบงาน (Drawing) ตามที่ลูกค้ากำหนดด้วย ดังรูปที่ 3.23

รูปที่ 3.23 การเจียรละเอียดแล้วใช้ เกจ ในการควบคุมขนาด

ขั้นตอนที่ 12 เมื่อเจียรแต่งชิ้นงานจนได้ขนาดตามเกจ แล้วจึงนำชิ้นงานไปกลึงให้ได้ขนาดตามแบบงานโดยใช้เครื่องกลึง CNC ทำให้สามารถควบคุมค่าต่างๆได้แม่นยำ ดังรูปที่ 3.24

รูปที่ 3.24 การกลึงชิ้นงานโดยใช้เครื่องกลึง CNC

ขั้นตอนที่ 13 หลังจากที่กลึงชิ้นงานเสร็จแล้วทางแผนก QC จะทำการสุ่มชิ้นงานมาตรวจสอบตามแบบงาน โดยใช้ความถี่ตาม AQL 1.5 ซึ่งลูกค้าเป็นผู้กำหนดสเปคมาให้กับทางบริษัทและเมื่อตรวจสอบชิ้นงานแล้วผ่านตามสเปคจึงส่งชิ้นงานต่อให้แผนกสโตร์เพื่อที่จะทำการจุ่มน้ำมันละบรรจุชิ้นงานลงในลังดังรูปที่ 3.25-3.26

รูปที่ 3.25 การวัดขนาดของชิ้นงานที่ผ่านการกลึงแล้ว

รูปที่ 3.26 การบรรจุชิ้นงานลงลัง

3.9 สภาพปัญหาของโรงงาน

จากข้อมูลเป้าหมายคุณภาพของแต่ละหน่วยงานในบริษัท บูรพาเหล็กกล้า จำกัด พบว่าฝ่ายผลิตทำงานได้ไม่ตรงตามเป้าหมายคุณภาพตามที่กำหนด ซึ่งในฝ่ายผลิตมีเป้าหมายคุณภาพที่ต้องรับผิดชอบอยู่ 3 ด้านดังนี้

1. หล่อชิ้นงานเฉลี่ย 3 เดือน ให้ได้ตามเป้าหมาย คือ 132 ตันต่อเดือน
2. ควบคุมของเสีย (Reject) ในโรงงาน ไม่เกิน 1.75%ของงานที่ผลิตทั้งหมด
   นิยามคำว่า"ของเสีย" คืองานที่คุณภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนดและไม่สามารถซ่อมได้
3. ควบคุมงานซ่อม (Rework) ในโรงงาน ไม่เกิน 12%ของงานที่ผลิตทั้งหมด
   นิยามคำว่า"งานซ่อม"คืองานที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดแต่สามารถที่จะทำการซ่อมให้กลับมามีคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนด

จากข้อมูลพบว่าฝ่ายผลิตประสบปัญหาในเรื่องของการควบคุมสัดส่วนงานซ่อมในโรงงาน นั่นคือในปี 2547มี สัดส่วนงานซ่อมอยู่ที่ 15.06% และปี 2548 มีสัดส่วนงานซ่อมอยู่ที่ 14.49% ดังตารางที่ 3.3 ซึ่งมากกว่าเป้าหมายคุณภาพที่กำหนดไว้คือ 12%ของงานที่ผลิตทั้งหมด ดังนั้นต้องทำการลดสัดส่วนงานซ่อม ให้บรรลุตามเป้าหมายคุณภาพของบริษัทฯ คือ 12% ของงานที่ผลิตทั้งหมด

ตารางที่ 3.3 ปริมาณยอดการผลิตและของเสียรวมทุกประเภทของแต่ละเดือนในปี 2547 และ 2548

เดือน	ปี พ.ศ.2547			ปี พ.ศ.2548		
	ยอดผลิต (ชิ้น)	ยอดซ่อม (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์	ยอดผลิต (ชิ้น)	ยอดซ่อม (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์
ม.ค.	28,648	4,065	14.18	28,251	3,999	14.16
ก.พ.	17,162	2,436	14.19	26,739	3,780	14.14
มี.ค.	21,829	3,014	13.80	32,584	4,675	14.35
เม.ย.	24,642	3,675	14.90	19,846	2,987	15.05
พ.ค.	20,827	2,917	14.00	27,820	4,213	15.14
มิ.ย.	19,142	3,100	16.19	19,400	3,003	15.48
ก.ค.	24,845	3,987	16.04	25,326	3,856	15.23
ส.ค.	24,580	3,659	14.88	26,585	3,908	14.70
ก.ย.	30,442	4,998	16.42	20,932	2,897	13.84
ต.ค.	20,496	3,476	16.96	22,029	3,012	13.67

ตารางที่ 3.3 ปริมาณการผลิตและของเสียรวมทุกประเภทของแต่ละเดือนในปี 2547 และ 2548(ต่อ)

เดือน	ปี พ.ศ.2547			ปี พ.ศ.2548		
	ยอดผลิต (ชิ้น)	ยอดซ่อม (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์	ยอดผลิต (ชิ้น)	ยอดซ่อม (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์
พ.ย.	25,862	3,978	15.38	24,890	3,645	14.64
ธ.ค.	20,829	2,767	13.28	47,313	6,656	14.07
รวม/เฉลี่ย	279,304	42,072	15.06	321,715	46,631	14.49

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์และลูกค้าของบริษัทฯ มีจำนวนมาก จึงทำการพิจารณาเลือกลูกค้าที่มีคุณค่า (Value Customer) เพื่อที่บริษัทจะเข้าไปดำเนินกิจกรรมการลดสัดส่วนงานซ่อมให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และส่งผลต่อรายได้หลักของบริษัทโดยจะทำการพิจารณาจาก ความต้องการของลูกค้า (Customer Requirement) คำร้องเรียนจากลูกค้า (Customer Complaint) และปริมาณการสั่งซื้อของลูกค้า

3.9.1 ความต้องการของลูกค้า (Customer Requirement)

ความต้องการของลูกค้าในแต่ละรายที่แตกต่างกันสามารถที่จะบอกให้ทราบได้ว่าทางบริษัทฯจะต้องเตรียมการผลิตสินค้าในแต่ละประเภทอย่างไร จากความต้องการของลูกค้าในแต่ละรายของบริษัทฯ สามารถแสดงความต้องการของลูกค้าดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การเปรียบเทียบความต้องการของลูกค้า

ความต้องการของลูกค้า	ลูกค้าทั่วไป	ลูกค้า Weweler
1. ตรวจวัดขนาด	AQL 2.5 %	AQL 1.5 %
2. ส่วนผสมทางเคมี	ทุกเตา	ทุกเตา
3. คุณสมบัติทางกล	ใน Lot แรก	ทุก Lot
4. ทดสอบแบบไม่ทำลาย	ใน Lot แรก	ทุก Lot
5. ทดสอบแบบทำลาย	ใน Lot แรก	ทุก Lot
6. กำหนดการส่งสินค้า	ทางบริษัทฯกำหนด	ทางลูกค้ากำหนด
7. ทบทวนแบบงาน(Drawing)	มากกว่า 1 ปี	ทุก 6 เดือน
8. ข้อกำหนดโพรงหดตัว	ไม่กำหนด	กำหนดขนาด

จากตารางที่ 3.4 จะเห็นว่าลูกค้า Weweler Netherland มีความต้องการในด้านคุณภาพที่สูงกว่าลูกค้ารายอื่น

3.9.2 คำร้องเรียนจากลูกค้า (Customer Complaint)

คำร้องเรียนจากลูกค้าย่อมแสดงลูกค้าเกิดความไม่พอใจในคุณภาพของสินค้า ซึ่งในรอบสองปีที่ผ่านมา มีรายการร้องเรียน (Complaint) ในเรื่องคุณภาพมาจากลูกค้าหลายรายดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 จำนวนครั้งที่ลูกค้าร้องเรียนในแต่ละปี

รายชื่อลูกค้า	**จำนวนครั้งที่ลูกค้าร้องเรียนในแต่ละปี**	
	ปี พ.ศ.2547	**ปี พ.ศ.2548**
TTI	1	0
SFC	3	2
WWL	**7**	**11**
FMT	1	0
KNI	1	0
ASZ	1	0
KOS	0	1
PSE	1	1
PKC	0	1
NKC	0	1
KMK	1	1

ซึ่งจากตารางที่ 3.5 จะเห็นว่า บริษัท Weweler Netherlandsมีการร้องเรียนมากที่สุดและเป็นลูกค้าต่างประเทศเพียงรายเดียวเท่านั้นที่มีการร้องเรียนในรอบ 2 ปี ซึ่งทั้งหมดที่ถูกร้องเรียนมานั้นมีสาเหตุมาจากเรื่องคุณภาพ

หลังจากได้รับใบร้องเรียนจากลูกค้ามาแล้ว ทางบริษัทจะต้องดำเนินการดังนี้

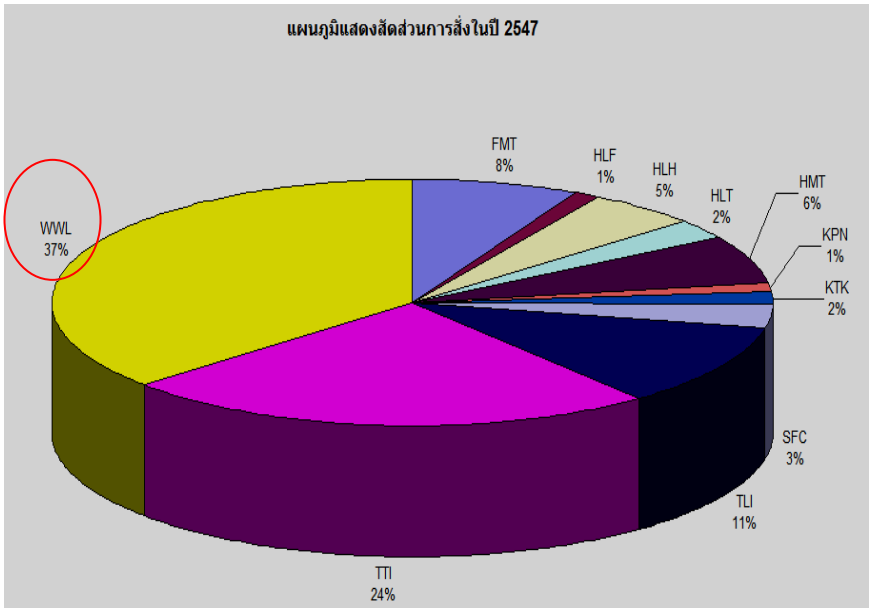
1. ทำรายงานแจ้งกลับต่อลูกค้าเพื่อให้ทราบถึงปัญหาที่เกิด แนวทางแก้ไขและแนวทางป้องกัน
2. คัดแยกงานที่มีปัญหาออกจากงานที่ไม่มีปัญหา
3. สร้างอุปกรณ์การตรวจสอบชิ้นงาน (Jig) ที่ต้องทำเพิ่มขึ้นและใช้ตรวจสอบในกระบวนการ 100% เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาซ้ำขึ้นมาอีก

4. ผลิตชิ้นงานใหม่เพื่อที่จะชดเชยงานที่ลูกค้าใช้การไม่ได้

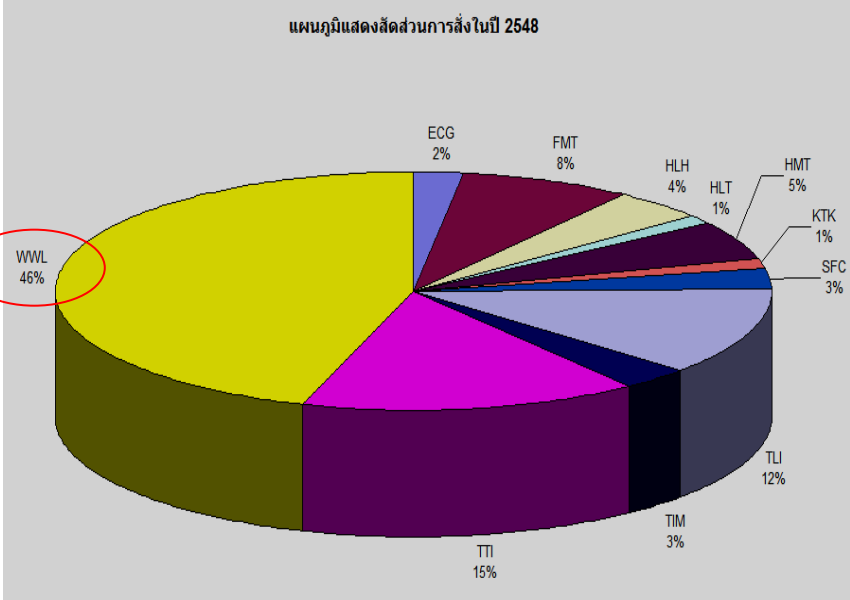
ส่วนลูกค้ารายอื่นๆที่มีการร้องเรียนนั้นจะเป็นลูกค้าภายในประเทศทั้งหมดซึ่งแนวทางแก้ไขจะเหมือนๆกันหมดคือเมื่อมีการร้องเรียนมา ทางบริษัทก็จะทำการส่งชิ้นงานใหม่ไปให้ก็จะถือว่าสิ้นสุดหรือถ้าทำการซ่อมได้ก็จะทำการซ่อมแล้วจึงส่งงานคืนให้ลูกค้า

3.9.3 ปริมาณการสั่งซื้อ

จากการเก็บข้อมูลปริมาณการสั่งซื้อในปี พ.ศ. 2547 -2548 ที่ได้แสดงถึงสัดส่วนการสั่งซื้อของลูกค้าแต่ละราย ทำให้ทราบว่าลูกค้ารายใดเป็นลูกค้าที่มีคุณค่าสามารถสรุปข้อมูลปริมาณการสั่งซื้อแต่ละปีจำแนกได้ดังรูปที่ 3.27-3.28



รูปที่ 3.27 แผนภูมิสัดส่วนการสั่งซื้อของลูกค้าที่มีต่อ บ. บูรพาเหล็กกล้าในปีพ.ศ. 2547



รูปที่ 3.28 แผนภูมิสัดส่วนการสั่งซื้อของลูกค้าที่มีต่อ บ. บูรพาเหล็กกล้าในปีพ.ศ.2548

จากกราฟจะเห็นว่าในปีพ.ศ.2547และปีพ.ศ.2548 บริษัท Weweler มีการสั่งซื้อเป็นสัดส่วนมากที่สุดเมื่อเทียบกับบริษัทอื่น

จากปัจจัยข้างต้นดังกล่าวทำให้พบว่าบริษัทWewelerเป็นลูกค้าที่มีคุณค่าควรนำมาทำการศึกษา และควรนำผลิตภัณฑ์ของลูกค้า Weweler มาทำการวิจัยต่อไป

3.10 การเลือกผลิตภัณฑ์ที่จะไปทำการวิจัย

เนื่องด้วยลูกค้า Weweler มีผลิตภัณฑ์ที่สั่งผลิตอยู่ประมาณ 10 รายการ ดังนั้นจึงได้ทำการพิจารณาเพื่อเลือกผลิตภัณฑ์จาก การร้องเรียนจากลูกค้า ปริมาณการสั่งซื้อและสัดส่วนการซ่อมชิ้นงาน ดังต่อไปนี้

3.10.1 พิจารณาจากคำร้องเรียนจากลูกค้า

คำร้องเรียนจากลูกค้าในปี พ.ศ. 2547และปี พ.ศ. 2548 สามารถแสดงค่าดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 จำนวนครั้งที่ลูกค้าร้องเรียนในแต่ละปีของลูกค้า Weweler

รายชื่อสินค้าของ Weweler	**จำนวนครั้งที่ลูกค้าร้องเรียนในแต่ละปี**			
	ปี พ.ศ. 2547	**นน.สั่ง (ตัน)**	**ปี พ.ศ.2548**	**นน.สั่ง (ตัน)**
U-Bolt Plate UT005A33A	0	102.55	0	359.42
U-Bolt Plate UT005A40A	**7**	**761.736**	**6**	**640.03**
UT996A07A Bracing	0	3.25	3	13.0
UT016A39B Ear	0	0.408	1	5.35
UT999A14B Bump stop	0	8.4	0	40.2
UT005L24A	0	10.2	0	30.6
UT005R24A	0	10.2	0	30.6
UT005L18A	0	9.8	1	29.4
UT005R18A	0	9.8	0	29.4
U-Bolt Plate UT005A28A	0	1.0	0	10.0

จากตารางที่ 3.6 จะเห็นว่างาน U-Bolt Plate UT005A40A มีการถูกร้องเรียนมากที่สุดคือ 7 ครั้งและ 6 ครั้ง ตามลำดับโดยปัญหาที่ลูกค้าพบและร้องเรียนมาสรุปได้ในตารางที่ 3.7

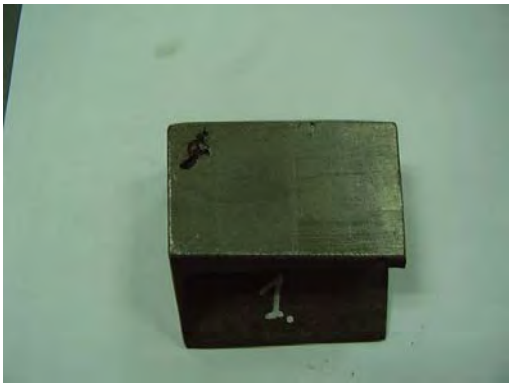
ตารางที่ 3.7 ปัญหาของงาน U-Bolt Plate UT005A40A ที่ลูกค้าพบและร้องเรียนมา

ปัญหาที่พบ	**จำนวนครั้งที่ถูกร้องเรียน**	
	ปี พ.ศ.2547	**ปี พ.ศ. 2548**
1. ตัดชิ้นงานแล้วพบโพรงในชิ้นงาน	5	4
2. ชิ้นงานเป็นสนิม	1	0
3. ชิ้นงานประกอบใส่รถไม่ได้	1	2

จากปัญหาที่ลูกค้าร้องเรียนมาพบว่าปัญหาการมีโพรงในชิ้นงานนั้นมีการร้องเรียนมากที่สุด แต่การที่ลูกค้ายอมให้ทางบริษัทส่งสินค้าได้อยู่ก็เพราะว่าลักษณะโพรงในชิ้นงานที่ลูกค้าพบนั้นยังอยู่ในค่าการยอมรับได้ดังรูปที่ 3.29ก แต่ถ้าลูกค้าตรวจพบโพรงในชิ้นงานที่เกินกว่าเกณฑ์การยอมรับ ดังรูปที่

3.29 ข ทางลูกค้าจะทำการคืนสินค้าทั้งตู้คอนเทนเนอร์ ซึ่งจะส่งผลกับทางบริษัทเป็นอย่างมากเพราะต้องมีค่าใช้จ่ายในการรับของคืนและผลิตงานชดเชยให้ลูกค้ารวมถึงค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่างๆ ซึ่งการที่จะให้ลูกค้ายอมรับงานที่ส่งไปทั้งหมดนั้น ทางฝ่ายผลิตต้องซ่อมชิ้นงานทั้งหมดที่มีโพรงหดตัวภายหลังการหล่อโดยที่วิธีการซ่อมต้องยุ่งยากมากกว่าสินค้าของลูกค้ารายอื่นดังแสดงในรูปที่3.30และ 3.31

ก. ลักษณะงานที่ลูกค้ายอมรับได้



ข. ลักษณะงานที่ลูกค้าไม่ยอมรับ

รูปที่ 3.29 โพรงหดตัวที่ลูกค้ายอมรับได้และไม่ยอมรับ

(ก) ชิ้นงานทั่วไปที่มีโพรงหดตัว

(ข) ทำการเชื่อมซ่อมชิ้นงานได้เลย

รูปที่ 3.30 วิธีการซ่อมชิ้นงานที่มีโพรงหดตัวของลูกค้าทั่วไป

จากการซ่อมข้อบกพร่องของงานลูกค้าทั่วไปจะเห็นว่าเป็นการซ่อมที่ไม่ยุ่งยากและมีต้นทุนการใช้วัสดุสิ้นเปลืองอยู่ที่16.73บาท/กิโลกรัม แต่เมื่อเปรียบเทียบกับลูกค้า Weweler ที่มีข้อจำกัดเรื่องโพรง

หดตัวทำให้ในกระบวนการผลิตต้องมีการทำงานที่ยากขึ้นกว่างานของลูกค้ารายอื่นๆ และการที่จะควักเนื้อเหล็กออกนั้นต้องมีการใช้ลวดเชื่อมคาร์บอน ซึ่งมีราคาแพงกว่าลวดเชื่อมธรรมดาถึง 5 เท่า และต้องเสียพนักงานเพื่อเข้าไปทำการควักเนื้อเหล็กอีก 1 คน ดังรูปที่ 3.31

(ก) ชิ้นงาน U-Bolt Plate ที่มีโพรงหดตัว

(ข) ต้องทำการควักเนื้อเหล็กออก จนกว่า จะถึงรากของโพรงหดตัว

(ค) ทำการเชื่อมพอกในโพรงหดตัวขึ้นมาจนเต็ม

(ง) ทำการเจียรแต่งผิวชิ้นงานให้เรียบ

รูปที่ 3.31 วิธีการซ่อมชิ้นงานที่มีโพรงหดตัวของลูกค้า Weweler

จากรูปที่ 3.31 จะเห็นว่าการซ่อมงานจะมีความยุ่งยากมากขึ้นและมีต้นทุนการใช้วัสดุสิ้นเปลืองอยู่ที่ 23.75 บาท/กิโลกรัม ดังนั้นถ้าทางบริษัทสามารถที่จะลดโพรงหดตัวในชิ้นงานของลูกค้า Weweler ลงได้ก็จะทำให้การทำงานในกระบวนการผลิตมีความง่ายขึ้นเพราะว่าไม่ต้องทำการควักเนื้อชิ้นงานและเชื่อมซ่อมชิ้นงาน รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแสดงในตารางที่ ก3 ภาคผนวก

3.10.2 พิจารณาจากปริมาณการผลิต

ปริมาณการผลิตในปี พ.ศ. 2547 และปี พ.ศ. 2548 ที่ทางบริษัทฯทำการผลิตโดยในตารางที่ 3.8 จะแสดงข้อมูลการผลิตระหว่าง น้ำหนักงานทั้งหมดที่ทำการผลิต น้ำหนักงานทั้งหมดที่ลูกค้า Weweler สั่งโดยเฉพาะและน้ำหนักงาน U-Bolt Plate UT005A40A ที่ทำการผลิต

ตารางที่ 3.8 ข้อมูลการผลิตของบริษัท บูรพาเหล็กกล้า จำกัด เทียบกับงาน U-Bolt Plate UT005A40A

ปี	น้ำหนักที่ผลิตทั้งหมดในทุกๆ ลูกค้า(ตัน)	น้ำหนักงานทั้งหมดที่ลูกค้า Weweler สั่ง (ตัน)	น้ำหนักงาน U-Bolt Plate (ตัน)	จำนวนชิ้นงาน U-Bolt Plate (ชิ้น)	ร้อยละเมื่อเทียบกับงานของ Weweler
2547	2,733.322	917.344	761.736	108,819	83.04
2548	2,888.037	1,188	640.03	91,433	53.87

จากตารางที่ 3.8 จะเห็นว่างาน U-Bolt Plate UT005A40Aมียอดการผลิตสูงมากที่สุดโดยสูงถึง 83.04% ของงานของลูกค้า Weweler ที่ผลิตทั้งหมด ในปี 2547 และ 53.87%ของงานของลูกค้า Weweler ที่ผลิตทั้งหมด ในปี 2548

3.10.3 พิจารณาจากสัดส่วนงานซ่อม

สัดส่วนงานซ่อมของผลิตภัณฑ์ต่างๆในปีพ.ศ.2547และปีพ.ศ.2548 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.9

ตารางที่3.9 สัดส่วนงานซ่อมของลูกค้า Weweler ในปี 2547 และ 2548

รายชื่อสินค้าของ Weweler	**ปี พ.ศ.2547**		**ปี พ.ศ.2548**	
	จำนวนที่ผลิต (ชิ้น)	**จำนวนที่ต้องซ่อม** (ชิ้น)	**จำนวนที่ผลิต** (ชิ้น)	**จำนวนที่ต้องซ่อม** (ชิ้น)
U-Bolt Plate UT005A33A	14,650	1,249	51,346	3,354
U-Bolt Plate UT005A40A	**108,819**	**20,918**	**91,433**	**16,585**
UT996A07A Bracing	1,413	63	5,652	143
UT016A39B Ear	255	6	3,344	49
UT999A14B Bump stop	11,200	75	53,600	367
UT005L24A	1,000	48	3,000	97
UT005R24A	1,000	54	3,000	109
UT005L18A	1,000	37	3,000	124
UT005R18A	1,000	42	3,000	89
U-Bolt Plate UT005A28A	500	50	5,000	349

จากตารางที่ 3.9 แสดงให้เห็นว่างาน U-Bolt Plate UT005A40Aมีจำนวนสั่งผลิตมากที่สุดและมีจำนวนงานที่ต้องซ่อมมากที่สุดเช่นกันเมื่อเทียบเป็นสัดส่วนกับงานอื่น

จากการพิจารณาข้อมูลของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ประเภท สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) จากคำร้องเรียนจากลูกค้าพบว่างาน U-Bolt Plate UT005A40A มีการร้องเรียนมากที่สุดคือ 7 ครั้งในปี พ.ศ.2547 และ6 ครั้งในปีพ.ศ. 2548

2) จากยอดการสั่งซื้อ พบว่ามีการสั่งซื้องาน U-Bolt Plate UT005A40A มากที่สุดประมาณ 83% ในปีพ.ศ. 2547 และ 53.87% ในปีพ.ศ. 2548
3) จากสัดส่วนงานซ่อม พบว่างาน U-Bolt Plate UT005A40A มีสัดส่วนงานซ่อมมากที่สุดประมาณ 19.2% ในปีพ.ศ. 2547 และ 18.14% ในปีพ.ศ. 2548

เมื่อพิจารณาจาก 3 ปัจจัยดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ U-Bolt Plate UT005A40A เป็นผลิตภัณฑ์ที่สำคัญที่สุดจึงควรนำมาทำการวิจัย เพื่อหาสาเหตุของสัดส่วนงานซ่อมและทำการปรับปรุงเพื่อลดปัญหาด้านงานซ่อมให้ลดลงให้ได้

3.11 รายละเอียดผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา

ชื่อสินค้า U-BOLT PLATE UT005A40A สินค้ารุ่นนี้เป็นเพียง 1 ใน 10 ชนิดสินค้าที่ทางบริษัท Weweler Netherland สั่งให้ทางบริษัท บูรพาเหล็กกล้าผลิต ซึ่งลักษณะของผลิตภัณฑ์จะเป็นชิ้นส่วนประกอบของช่วงล่างรถบรรทุกโดยจะเริ่มการผลิตตั้งแต่การหล่อขึ้นรูป เจียรแต่ง อบชุบ เจียรลองเกจ กลึงและจุ่มน้ำมันกันสนิมก่อนที่จะบรรจุลงลังเพื่อส่งลูกค้า ลักษณะรูปร่างของชิ้นงานดังรูปที่ 3.32

รูปที่ 3.32 ชิ้นงาน U-BOLT PLATE UT005A40A

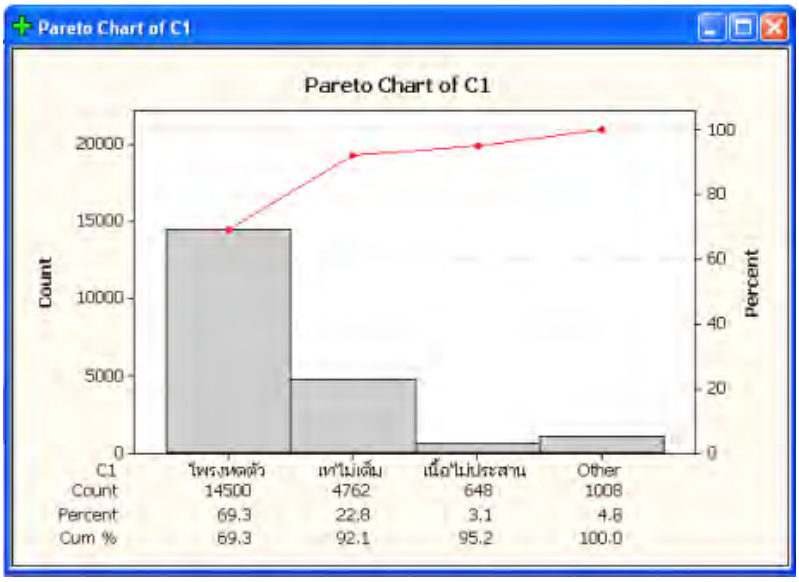
3.12 สภาพการซ่อมชิ้นงานในปัจจุบัน

ในสภาพการทำงานจริงของการผลิตชิ้นงาน U-Bolt Plate UT005A40A พบว่าเมื่อมีการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานแล้วพบว่าชิ้นงานมีข้อบกพร่องเกิดขึ้นก็จะส่งไปทำการซ่อมที่แผนกตัดเจียร ซึ่งจากการเก็บข้อมูลในแผนกตัดเจียร (ตัวอย่างใบบันทึกแสดงในตารางก.2 ภาคผนวก ก) พบว่าอาการข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน U-Bolt Plate UT005A40A แล้วต้องทำการซ่อมมีประมาณ 6 อาการข้อบกพร่อง ซึ่งสามารถสรุปปริมาณชิ้นงานและอาการข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นได้ดังตารางที่ 3.10

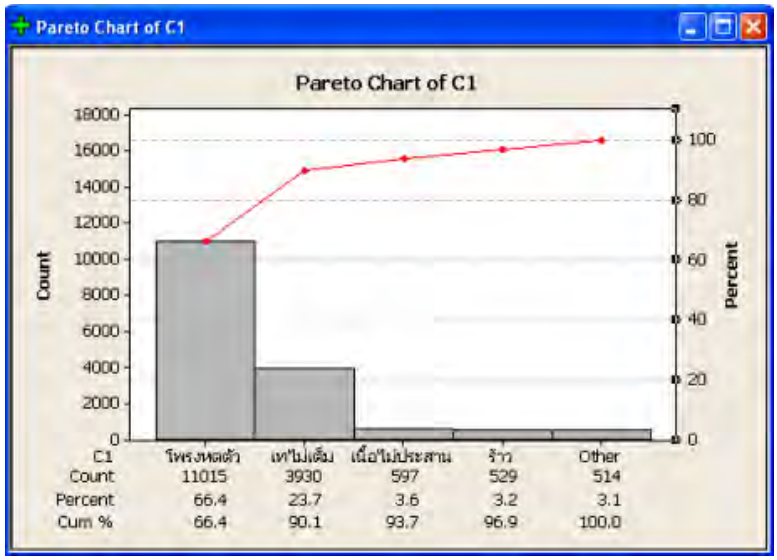
ตารางที่ 3.10 ลักษณะบกพร่องของงาน U-Bolt Plate UT005A40Aที่ต้องซ่อมแซม

ปี		**พ.ศ.2547**		**พ.ศ.2548**	
จำนวนที่ผลิต (ชิ้น)		108,819		91,433	
รายละเอียด		**จำนวนข้อบกพร่อง (ชิ้น)**	**สัดส่วนเทียบกับจำนวนที่ผลิต**	**จำนวนข้อบกพร่อง (ชิ้น)**	**สัดส่วนเทียบกับจำนวนที่ผลิต**
อาการข้อบกพร่องที่นำมาซ่อม	**เหลื่อม**	295	0.27%	315	0.34%
	ร้าว	409	0.38%	529	0.58%
	โพรงหดตัว	14,500	13.32%	11,015	12.04%
	ทรายตก	304	0.28%	199	0.22%
	วิ่งไม่เต็มแบบ	4,762	4.38%	3,930	4.30%
	เนื้อไม่ประสาน	648	0.60%	597	0.65%

จากข้อมูลในตารางที่ 3.10 ทางผู้วิจัยวิเคราะห์ว่าจากจำนวนงานที่ต้องซ่อมทั้งหมดนั้นปัญหาใดส่งผลมากที่สุดต่อการเกิดของเสียเป็นปัญหาแรกเพื่อที่จะได้สารสนเทศว่า ข้อมูลที่มีความสำคัญมากจะมีเพียงเล็กน้อย (Vital Few) ในขณะที่ข้อมูลที่มีความสำคัญเพียงเล็กน้อยจะมีจำนวนมากมาย (Trivial Many) ผ่านทางแผนภาพ พาเรโตดังรูปที่ 3.33 และ 3.34



รูปที่ 3.33 พาเรโตแสดงมีเสถียรภาพของอาการของเสียที่ต้องซ่อมของ ยอดงาน U-Bolt Plate UT005A40A ที่ต้องซ่อมทั้งหมด ปี พ.ศ.2547



รูปที่ 3.34 พาเรโตแสดงมีเสถียรภาพของอาการของเสียที่ต้องซ่อมของ ยอดงาน U-Bolt Plate UT005A40A ที่ต้องซ่อมทั้งหมด ปีพ.ศ. 2548

จากหลักของ พาเรโตพบว่าอาการของเสียประเภท โพรงหดตัวนั้น เป็นสาเหตุหลักอันดับหนึ่งของอาการเกิดปัญหาคิดเป็น 69.3% และ 66.4% ของงานที่ต้องซ่อมทั้งหมด ในปีพ.ศ. 2547 และ พ.ศ.2548 ตามลำดับ

3.13 ตัวชี้วัดของโครงงาน

จากเปอร์เซ็นต์งานซ่อมรวมทั้งหมดที่ไม่สามารถบรรลุตามเป้าหมายคุณภาพ จึงกำหนดตัววัดผลของโครงงานนี้คือ เปอร์เซ็นต์รวมของการซ่อมงานทั้งหมดของกระบวนการหล่อขึ้นรูปซึ่งงานซ่อมรวมทั้งหมด ณ ปัจจุบันอยู่ที่ 15.06%ของงานที่ผลิตทั้งหมด ในปี พ.ศ. 2547 และ 14.49% ในปีพ.ศ. 2548 ในขณะที่ทางโรงงานมีเป้าหมาย คือ เปอร์เซ็นต์งานซ่อมรวมทั้งหมดต่อเดือนไม่เกิน 12%ของงานที่ผลิตทั้งหมด อย่างไรก็ตามปัญหาที่เกิดจากข้อบกพร่องที่ส่งผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์งานซ่อมทั้งหมดมากที่สุดคือข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวที่เกิดจากชิ้นงาน U-Bolt Plate UT005A40A นั้นส่งผลทำให้เกิดงานซ่อมประเภทโพรงหดตัวมากที่สุดทั้งด้วยปริมาณการผลิตและสัดส่วนงานซ่อมดังนั้นถ้าสามารถลดอาการโพรงหดตัวของชิ้นงาน U-Bolt Plate UT005A40A ที่ ปัจจุบันมีประมาณ 13 % ของงาน U-Bolt Plate UT005A40A ที่ผลิตทั้งหมด ให้ลดลงเหลือไม่เกิน 5%ของงาน U-Bolt Plate UT005A40Aที่ผลิตทั้งหมด ก็จะทำให้เปอร์เซ็นต์งานซ่อมโดยรวมทั้งหมดมีค่าไม่เกิน 12%ของงานที่ผลิตทั้งหมด ที่มาของตัวชี้วัดดูได้จากตารางที่ ก1 ภาคผนวก ก

บทที่ 4 การดำเนินงาน

ในบทนี้จะดำเนินการแก้ไขในผลิตภัณฑ์ U-Bolt Plate UT005A40A ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ระบบการวัดของพนักงาน วิเคราะห์หาสาเหตุรากเหง้าที่ส่งผลกระทบต่ออาการของปัญหาพร้อมทั้งทำการวิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้เกิดโพรงหดตัวและทำการทดลองโดยใช้ปัจจัยที่ผ่านการวิเคราะห์มา แล้วจึงจัดทำเป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานที่ถูกต้องในการควบคุมคุณภาพงานต่อไปและเพื่อยืนยันปัญหางานซ่อมแซม (Rework) เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตจริง ไม่ได้เกิดจากการผิดพลาดของพนักงานตรวจสอบในสายการผลิต (QC in Process) จึงมีความจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ระบบการวัดของกระบวนการ

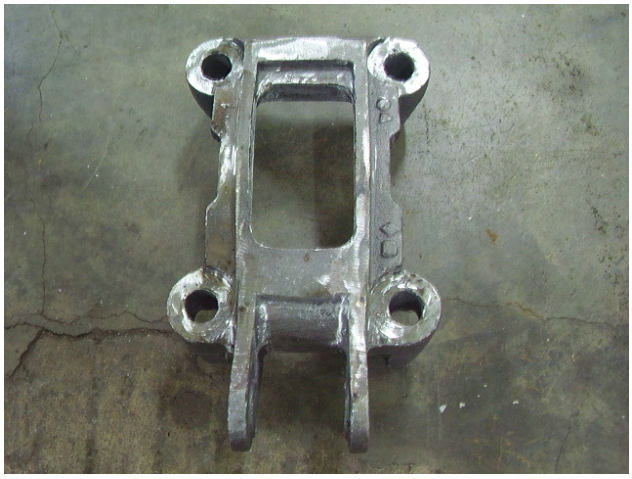
รูปที่ 4.1ชิ้นงาน U-Bolt Plate UT005A40A

4.1 การวิเคราะห์ระบบการวัด

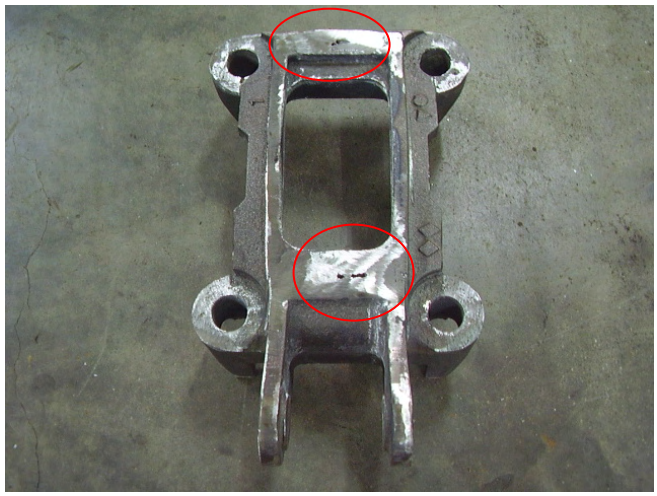
ระบบการวัดเป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งก่อให้เกิดความผันแปรของระบบการผลิต ดังนั้นการวิเคราะห์ระบบการวัดมีจุดประสงค์สำคัญเพื่อการวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนของระบบการวัด เช่น พนักงาน เครื่องมือวัด ชิ้นงานที่ทำการวัดและวิธีการวัด ในการที่จะนำข้อมูลที่มีอยู่มาทำการวิเคราะห์ด้วยสถิติหรือการทดสอบสมมติฐานนั้น จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์และปรับปรุงระบบการวัดให้มีประสิทธิภาพเพียงพอแก่การยอมรับทางสถิติเสียก่อน เพื่อลดความผันแปรของระบบให้มีสาเหตุมาจากกระบวนการผลิตเท่านั้น

ในการทำโครงงานครั้งนี้ ระบบการตรวจสอบ และการลงบันทึกของปัญหาข้อบกพร่อง ประเภทโพรงหดตัวนั้นเป็นระบบที่ใช้สายตาเป็นหลัก และเนื่องจากข้อมูลของปัญหาเป็นข้อมูลนับ ดังนั้นต้องทดสอบระบบการวัดแบบข้อมูลนับ (Gauge Repeatability and Reproducibility for Attribute Data) โดยมีข้อกำหนดดังต่อไปนี้ [4]

1. ทำการสร้างชิ้นงานทดสอบ (Test piece) โดยผู้จัดการฝ่ายผลิตคัดเลือกชิ้นงานมาจำนวน 20 ชิ้นโดยแบ่งออกเป็นชิ้นงานดี 9 ชิ้น ชิ้นงานเสีย 11 ชิ้น ซึ่งงานดี (ดังรูปที่ 4.2) คือ เมื่อตัดรูล้นแล้วไม่พบโพรงหดตัว แต่ถ้าเป็นงานเสีย (ดังรูปที่ 4.3) คือ เมื่อตัดรูล้นแล้วพบโพรงหดตัว ดังนั้นในการทดสอบนี้จึงไม่มีค่าก้ำกึ่ง



รูปที่ 4.2 รูปงานดีของงาน U-Bolt Plate UT005A40A



รูปที่ 4.3 รูปงานเสียของงาน U-Bolt Plate UT005A40A

2. ทำการเลือกพนักงานทั้งหมด 2 คน จากแผนกตรวจสอบเป็นพนักงานตรวจสอบขั้นสุดท้าย

3. กำหนดชิ้นงานตัวอย่าง 20 ชิ้น และจำนวนในการทดสอบซ้ำคนละ 2 ซ้ำ

4. ทำการออกแบบแผนการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ ข.1 ภาคผนวก ข โดยให้พนักงานในแผนก QC แต่ละคนทำการตรวจสอบซ้ำ 2 ครั้งและทดสอบในสถานที่จริงด้วยเวลาการตัดสินใจใกล้เคียงกับสถานการณ์จริง

5. บันทึกผลการทดสอบของพนักงานแผนก QC ให้ละเอียด ดังแสดงในตารางที่ 4.1

6. ดำเนินการประเมินผลด้วยดัชนีต่างๆ (ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2)

7. วิเคราะห์และสรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัด

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบระบบการวัดของพนักงาน

สิ่งตัวอย่าง	คุณภาพงานแท้จริง	วิษณุ		เกษมสันต์	
		1	2	1	2
1	NG	NG	NG	NG	NG
2	NG	NG	NG	NG	NG
3	G	G	G	G	G
4	G	G	G	G	G
5	NG	NG	NG	NG	NG
6	NG	NG	NG	NG	NG
7	NG	NG	NG	NG	NG
8	G	G	G	G	G
9	G	G	G	G	G
10	G	G	G	G	G
11	G	G	G	G	G
12	G	G	G	G	G
13	NG	NG	NG	NG	NG
14	NG	NG	NG	NG	NG
15	NG	NG	NG	NG	NG
16	G	G	G	G	G
17	G	G	G	G	G
18	NG	NG	NG	NG	NG
19	NG	NG	NG	NG	NG
20	NG	NG	NG	NG	NG

หมายเหตุ

G เป็นค่าตอบสนองที่ใช้ในการทดลองซึ่งหมายถึง สิ่งตัวอย่างงานที่มีคุณภาพดี คือเมื่อตัดรูล้นแล้วไม่พบโพรงหดตัว

NG เป็นค่าตอบสนองที่ใช้ในการทดลองซึ่งหมายถึง สิ่งตัวอย่างงานที่มีคุณภาพไม่ดี คือเมื่อตัดรูล้นแล้วพบโพรงหดตัว

การประเมินผลด้วยดัชนีต่างๆ จากตารางที่ 4.1 จะทำการประเมินเปอร์เซ็นต์รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบแต่ละคนได้โดยการพิจารณาจากความสามารถในการตรวจสอบได้ผลเหมือนกันของพนักงานแต่ละคน โดยไม่สนใจว่าการตรวจสอบที่ได้จะถูกต้องหรือไม่

% รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบ A (วิษณุ) 20/20*100 = 100%
% รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบ B (เกษมสันต์) 20/20*100 = 100%

จากนั้นทำการประเมินเปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบแต่ละคนได้โดยการพิจารณาจากความสามารถในการตรวจสอบได้ผลเหมือนกัน และถูกต้องตามคุณภาพแท้จริง ได้ดังนี้

% ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ A (วิษณุ) 20/20*100 = 100%
% ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ B (เกษมสันต์) 20/20*100 = 100%

% ประสิทธิภาพทางด้านรีพีททะบิลิตี้ 20/20*100 = 100%
% ประสิทธิผลทางด้านไบอัส 20/20*100 = 100%

หลังจากที่ได้มีการวิเคราะห์ระบบการวัด พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์รีพีททะบิลิตี้ และเปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบทั้ง 2 คนมีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะส่งผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพทางด้านรีพีททะบิลิตี้และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลทางด้านไบอัสของระบบการตรวจสอบจะมีค่าเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ด้วย อาจเป็นผลเนื่องมาจากว่าพนักงานที่ทำการวัดได้ผ่านการฝึกอบรมมาแล้วประกอบกับวิธีการวัดที่ชัดเจนโดยลักษณะของเสียสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจากที่ได้กล่าวมาแล้ว ในการประเมินความสามารถของระบบการวัดเมื่อข้อมูลที่ได้เป็นค่านับ ค่าดัชนีต่างๆ จะต้องมีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ระบบการวัดจึงจะมีขีดความสามารถเพียงพอที่จะนำไปวัดผลจากกระบวนการที่ทำการศึกษา ดังนั้นจากผลการประเมินพบว่าระบบการวัดนี้มีความพร้อมที่จะนำไปวัดผลจากกระบวนการที่ทำการศึกษาเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

หลังจากที่พนักงานทำการทดสอบชิ้นงานได้ตรงตามตัวอย่างที่เลือกไว้ทั้ง 20 ชิ้น (ดังตารางที่ 4.1) จึงทำการผ่าชิ้นงานที่นำมาทดสอบทั้งหมด 20 ชิ้น เพื่อเป็นการยืนยันผลในการเลือกชิ้นงานมาให้

พนักงานทำการทดสอบของผู้จัดการฝ่ายผลิตว่ามีความถูกต้องจริงหรือไม่เมื่อเทียบกับผลที่พนักงานเลือกมา ซึ่งหลังจากผ่าชิ้นงานสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. จากชิ้นงานดีในรูปที่ 4.2 ที่พนักงานแผนกตรวจสอบเลือกว่าเป็นของดี เมื่อทำการผ่าดูแล้วพบว่าไม่มีข้อบกพร่องใดๆในชิ้นงาน ดังรูปที่ 4.4

รูปที่ 4.4 สภาพหลังจากผ่าของชิ้นงานที่สภาพภายนอกเป็นของดี

2. จากรูปชิ้นงานเสียในรูปที่ 4.3 ที่พนักงานแผนกตรวจสอบเลือกว่าเป็นของเสีย เมื่อทำการผ่าดูแล้วพบว่ามีโพรงหดตัวอยู่ในชิ้นงาน ดังรูปที่ 4.5

รูปที่ 4.5 สภาพหลังจากผ่าของชิ้นงานที่สภาพภายนอกเป็นของเสีย

จากรูปที่ 4.4และ4.5 จึงสรุปได้ว่าชิ้นงานดีและชิ้นงานเสียที่ผู้จัดการฝ่ายผลิตเลือกมาให้พนักงานแผนกตรวจสอบทำการทดสอบโดยดูจากสภาพงานภายนอก (ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3) เมื่อทำการผ่าดูแล้วก็พบข้อบกพร่องตรงกับการดูจากสภาพภายนอก

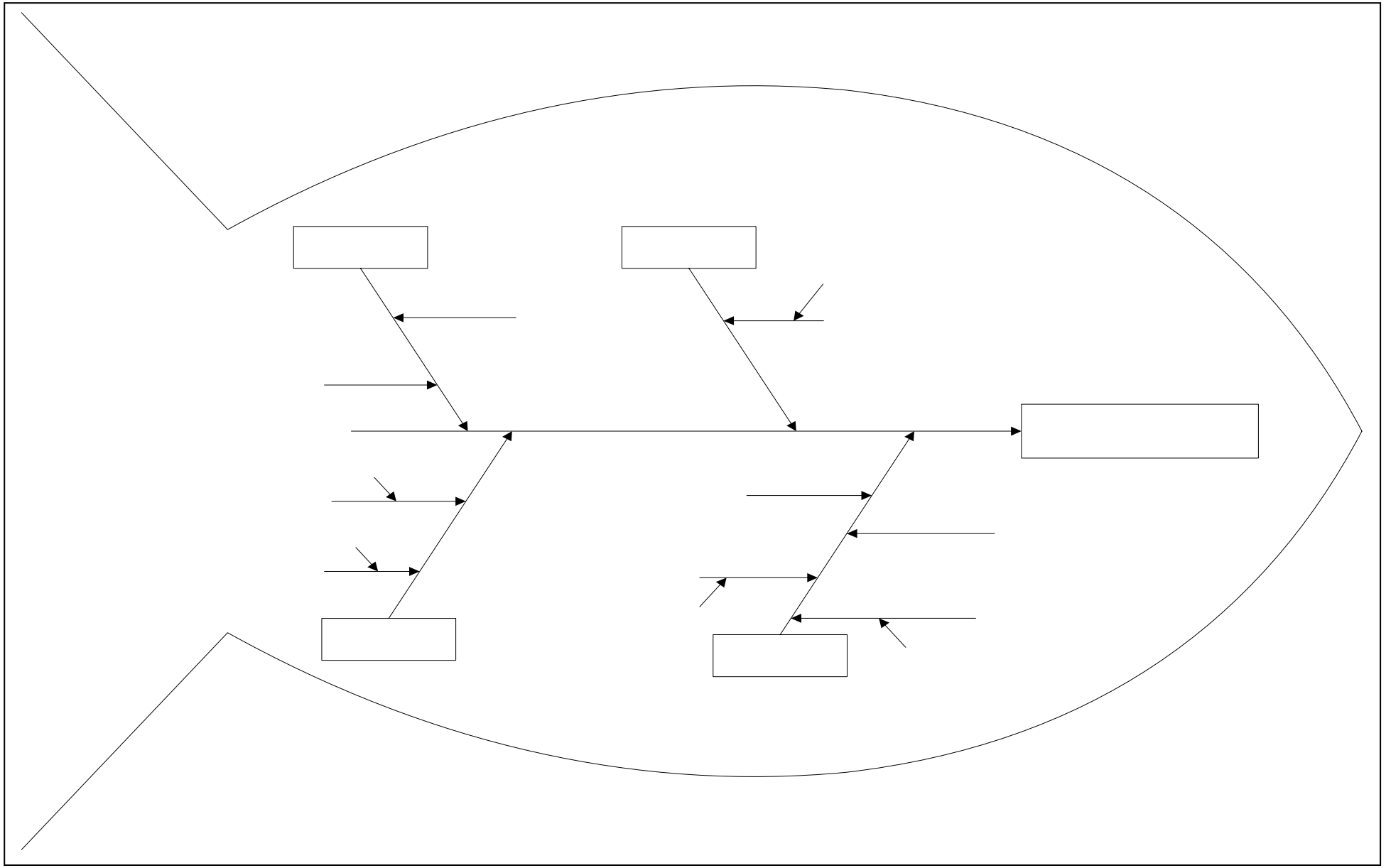
4.2 การศึกษาและวิเคราะห์เพื่อระบุปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาที่ต้องการศึกษา

จากการที่ต้องมีการซ่อมชิ้นงานในกระบวนการผลิตของสินค้านี้เนื่องจากการผลิตสินค้าที่มีข้อบกพร่องประเภท"โพรงหดตัว"ในชิ้นงานนั้น จากที่ได้ศึกษากระบวนการทำงานแล้ว การหาแนวทางแก้ไขปัญหาในเบื้องต้นได้มีการประชุมระดมความคิด จากผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งฝ่ายเทคนิค และฝ่ายผลิต เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) หรือแผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram) ในการวิเคราะห์ความผันแปร เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลนั้น โดยมีการระดมสมองจากผู้มีความรู้เฉพาะทาง (Expertise) และมาจากเทคโนโลยีเฉพาะด้าน (Intrinsic technology) เพื่อให้ได้มาซึ่งสาเหตุของปัญหาที่เป็นไปได้ทั้งหมด แล้วทำการพิสูจน์ตามข้อเท็จจริงสำหรับการแก้ไขต่อไป ในขั้นตอนการระดมสมองนั้นจะให้ผู้ที่มีส่วนร่วมในกระบวนการผลิตเสนอความคิดเห็น โดยผู้ร่วมแสดงความคิดนั้นจะเป็น หัวหน้างาน และผู้ชำนาญการปฏิบัติงาน ซึ่งมีความรู้ในกระบวนการที่ทำการศึกษา ซึ่งในการเสนอความคิดเห็นนั้นจะไม่จำกัดปริมาณและคุณภาพของความคิดเห็น เพื่อป้องกันการตกหล่นของสาเหตุที่มีผลกระทบต่อปัญหา สุดท้ายก็จะนำความคิดเห็นที่ได้มาจัดเป็นหมวดหมู่ด้วยแผนภาพสาเหตุและผลเพื่อให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ของสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ โดยมีขั้นตอนดำเนินงานดังต่อไปนี้

4.3 ขั้นตอนการระดมสมองเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

1.ทำการระบุปัญหาที่ต้องการศึกษาให้ชัดเจนซึ่งก็ คือ การเกิดโพรงหดตัวขึ้นในชิ้นงาน

2.ให้ระดมสมาชิกที่เกี่ยวข้องเขียนสาเหตุที่น่าจะทำให้เกิดโพรงหดตัวในชิ้นงานโดยประกอบไปด้วย พนักงานหน้างานจำนวน 4 คน ผู้จัดการฝ่ายการผลิต ผู้จัดการฝ่ายเทคนิคและควบคุมคุณภาพ วิศวกรในการออกแบบ วิศวกรในฝ่ายผลิต และที่ปรึกษาฝ่ายเทคนิคของบริษัทฯ รวมถึงตัวผู้วิจัยด้วย และจากการระดมสมองได้ปัจจัยต่างๆ ที่คาดว่าจะส่งผลต่อการเกิดโพรงหดตัวในชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 4.6 ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดของปัจจัยที่จะเลือกมาพอสังเขปดังนี้ ปัจจัยจากพนักงาน จะพิจารณาจากประสบการณ์ในการเทน้ำเหล็กของพนักงาน ปัจจัยจากเครื่องจักร จะพิจารณาเกี่ยวกับความแม่นยำของเครื่องมือวัด ปัจจัยจากวัตถุดิบ จะพิจารณาลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานภายหลังการเทน้ำเหล็กและปัจจัยจากวิธีการทำงาน จะพิจารณาถึงปัจจัยที่เกิดขึ้นในกระบวนการหล่อขึ้นรูปที่น่าจะมีผลต่อการเกิดโพรงหดตัว



รูปที่ 4.6 แผนภาพก้างปลาแสดงเหตุและผลของการเกิดโพรงหดตัวในชิ้นงาน

4.4 การวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่น่าจะส่งผลต่อการเกิดโพรงหดตัวในชิ้นงาน

การแยกปัจจัยต่าง ๆ ว่าส่งผลต่อการเกิดโพรงหดตัวในชิ้นงานหล่อหรือไม่นั้น ในขั้นต้นได้ปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญและมีประสบการณ์ทำงานในกระบวนหล่อขึ้นรูป ทำให้ทราบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อชิ้นงาน แล้วทำให้เกิดโพรงหดตัวนั้นมีหลายปัจจัยดังนี้ อุณหภูมิการเทน้ำเหล็ก(Pouring Temperature) ขนาดของรูล้น (Riser's volume) เวลาการเทน้ำเหล็กลงในแบบทราย ซึ่งการออกแบบวิธีการทำงานจะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลักนี้แล้วจึงกำหนดลงในมาตรฐานการทำงาน (Work Standard) แต่ปัจจัยอื่นๆนั้นก็ต้องทำการวิเคราะห์ต่อไปอีกเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถกรองปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโพรงหดตัวได้ครบทั้งหมด โดยจะทำการวิเคราะห์ปัจจัยผ่านการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ [Failure Mode and Effect Analysis; (FMEA)]

4.5 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ(FMEA)

การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis; FMEA) เป็นกลวิธีที่ใช้ในการเข้าถึงปัญหาอย่างเป็นระบบ เพราะว่าเป็นการวิเคราะห์หาสาเหตุที่เกี่ยวข้องกับข้อบกพร่องโพรงหดตัวโดยระบุสาเหตุจากทุกกระบวนการที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะแตกต่างจากแผนภาพก้างปลาที่ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุโดยไม่ระบุกระบวนการผลิต และใช้ในการศึกษาปัญหาที่เป็นไปได้เพื่อป้องกันปัญหาที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดปรากฏขึ้นมา กลวิธีดังกล่าวนี้ถือว่าเป็นการเสริมทักษะในการแก้ปัญหาให้กับวิศวกรให้มีลำดับทางความคิดที่เป็นระบบมีขั้นตอน และมีการจัดลำดับก่อนหลังของการแก้ปัญหาโดยเน้นไปที่การป้องกันปัญหาที่มีโอกาสเกิดมากที่สุด (Most Likely Failure)โดยในที่นี้ ถือว่าเป็นการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากลักษณะข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต (Process FMEA)

ผลการระดมสมอง เพื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากลักษณะข้อบกพร่องสามารถสรุปถึงลำดับความสำคัญในการเข้าไปแก้ไขได้ดังตารางที่ 4.2

เมื่อได้ผลของการวิเคราะห์จากตารางที่ 4.2 แล้วได้ทำการสรุปค่าตัวเลขลำดับความสำคัญของความเสี่ยงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ [Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)] อันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการผลิต

กระบวนการ	Key process input	Potential failure Mole แนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง	Potential effect (s) of failure แนวโน้มของผลจากข้อบกพร่อง	Severity	Potential Cause(s)of Failure แนวโน้มของสาเหตุ/กลไก	Occurrence	Current Process Control การควบคุมในปัจจุบัน	Detection	RPN
ปัจจัยจากกระบวนการออกแบบ	ขนาดรูล้น	ขนาดรูล้นไม่เหมาะสมกับชิ้นงาน	ชิ้นงานมีโพรงหดตัว	7	การคำนวณหาขนาดของรูล้นไม่เหมาะสมเพียงพอ	7	ตรวจสอบขนาดทุก 6 เดือน	5	245
	การหดตัวของน้ำโลหะ	การหดตัวของน้ำโลหะไม่ได้สัดส่วนตามที่กำหนดไว้	ชิ้นงานมีโพรงหดตัว	5	การออกแบบ Pattern มีขนาดไม่เหมาะสมกับ Spec ของน้ำเหล็ก	4	ตรวจสอบขนาด Pattern ทุก 1000 ชิ้น	3	60
ปัจจัยจากกระบวนการทำแบบทราย	การวัดความแน่นทรายทำแบบ	การวัดความแน่นของทรายแบบเกิดความคลาดเคลื่อน	ชิ้นงานมีลักษณะผิวหยาบหรือเกิดโพรงหดตัว	4	ช่วงเวลาในการสอบเทียบไม่เหมาะสม	2	สอบเทียบทุก 6 เดือน	3	24
	ความชื้นทรายทำแบบ	ความชื้นทรายทำแบบต่ำหรือสูงเกินกว่ามาตรฐาน	ชิ้นงานมีโพรงหดตัวหรือมี gas ที่ชิ้นงาน	5	พนักงานไม่ได้ผสมทรายตามมาตรฐานที่กำหนด	5	ตรวจค่าความชื้นวันละ 3 ครั้ง	6	150
	ตำแหน่งรูล้น	ตำแหน่งของรูล้นอยู่ไม่ตรงตำแหน่งที่กำหนด	ชิ้นงานมีโพรงหดตัว	5	การไม่มีการกำหนดตำแหน่งการวางรูล้นที่ชัดเจน	3	Work Standard	3	45

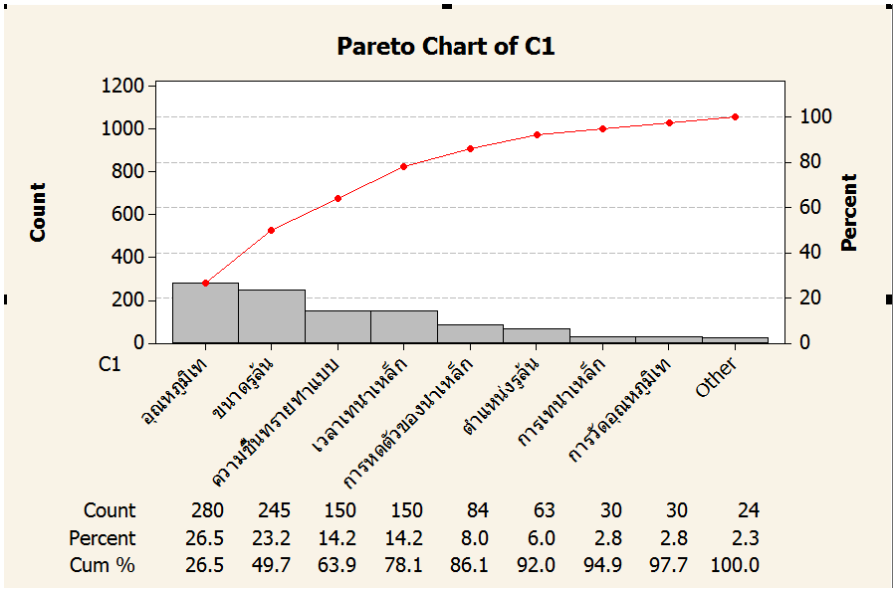
ตาราง 4.2 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ [Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)] อันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการผลิต (ต่อ)

กระบวนการ	Key process input	Potential failure Mole แนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง	Potential effect (s) of failure แนวโน้มของผลจาข้อบกพร่อง	Severity	Potential Cause(s)of Failure แนวโน้มของสาเหตุ/กลไก	Occurrence	CurrenProcess Control การควบคุมในปัจจุบัน	Detection	RPN
ปัจจัยจากกระบวนการหล่อขึ้นรูป	อุณหภูมิที่ใช้เทน้ำเหล็ก	อุณหภูมิที่ใช้เทน้ำเหล็กสูงเกินไป	ชิ้นงานเกิดโพรงหดตัว	7	กำหนดอุณหภูมิเทน้ำเหล็กไม่สอดคล้องกับขนาดชิ้นงาน	8	Work Standard	5	280
	เวลาเทน้ำเหล็กลงในแบบทราย	ใช้เวลาเทน้ำเหล็กลงในแบบทรายนานเกินไป	ชิ้นงานเกิดโพรงหดตัวหรือมีลักษณะเทไม่เต็ม	5	การกำหนดวิธีการเทน้ำเหล็กไม่เหมาะสม	6	Work Standard	5	150
	การวัดอุณหภูมิเทน้ำเหล็ก	การวัดอุณหภูมิน้ำเหล็กเกิดความตลาดเคลื่อน	ชิ้นงานมีลักษณะเทไม่เต็มถ้าอุณหภูมิต่ำหรือเป็นโพรงหดตัวถ้าอุณหภูมิสูง	5	ช่วงเวลาในการสอบเทียบไม่เหมาะสม	2	สอบเทียบทุก 1 ปี	3	30
	การเทน้ำเหล็กของพนักงาน	เทน้ำเหล็กลงแบบทรายไม่ได้ตามเวลาที่เหมาะสม	ชิ้นงานมีลักษณะเทไม่เต็มหรืออาจเกิดโพรงหดตัว	5	จัดให้พนักงานที่ไม่มีประสบการณ์ในการเทน้ำเหล็กมาทำการเทน้ำเหล็ก	2	Job Description	3	30

ตารางที่ 4.3 ค่าตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญของความเสี่ยง

Key Process Input list	RPN
1.ขนาดรูล้น	245
2.การหดตัวของน้ำโลหะ	84
3.การวัดความแน่นทรายทำแบบ	24
4.ความชื้นทรายทำแบบ	150
5.ตำแหน่งรูล้น	63
6.อุณหภูมิที่ใช้เทน้ำเหล็ก	280
7.เวลาเทน้ำเหล็กลงในแบบทราย	150
8.การวัดอุณหภูมิเทน้ำเหล็ก	30
9.การเทน้ำเหล็กของพนักงาน	30

จากตารางที่ 4.3 ได้นำค่า RPN ไปพล็อตกราฟ พาเรโตดังแสดงตามรูปที่ 4.7 ซึ่งหลักการของพาโรโต (80-20) คือสิ่งสำคัญมากมีน้อยส่วนสิ่งที่สำคัญน้อยมีมาก (Vital Few and Trivial Many) ซึ่งจากพาเรโตพบหลังจากการทำ FMEA พบว่าปัจจัยทั้งสี่ปัจจัยนี้ส่งผลอย่างมากต่อการเกิดของข้อบกพร่องโพรงหดตัวซึ่งได้แก่ อุณหภูมิเท ความชื้นทรายทำแบบ ขนาดรูล้น เวลาในการเท



รูปที่ 4.7 แผนภาพพาเรโตค่าตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญของความเสี่ยงของปัจจัย

จากการวิเคราะห์ผ่าน FMEA พบว่าปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดโพรงหดตัวนั้นนั้นมีสาเหตุมาจากเหตุดังต่อไปนี้คือ 1 4 6 และ7 โดยปัจจัยทั้ง 4 มีระดับของพิกัดควบคุมของปัจจัยป้อนเข้าของกระบวนการหล่อขึ้นรูป ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดโพรงหดตัว

ปัจจัยที่ป้อนเข้า	**พิกัดควบคุมทางวิศวกรรม**	**ระดับพารามิเตอร์ในการทดลอง (Level)**	
		Low	**High**
1.อุณหภูมิเทน้ำเหล็ก	องศาเซลเซียส	1560	1600
2.ความชื้นของทรายทำแบบ	เปอร์เซ็นต์	2	4
3.ขนาดของรูล้น	ลูกบาศก์เซนติเมตร	220.5	271.3
4.เวลาในการเทน้ำเหล็ก	วินาที	5	9

รายละเอียดพารามิเตอร์ของแต่ละปัจจัยมีดังนี้

1.อุณหภูมิเทน้ำเหล็ก เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องโพรงหดตัว ร้าว วิ่งไม่เต็มแบบและอื่นๆ [14] ซึ่งในการทำงานจริงในปัจจุบันได้กำหนดค่าอุณหภูมิเทไว้ที่ 1560-1600 องศาเซลเซียสเพราะว่าช่วงห่างของอุณหภูมิอยู่ที่ 40 องศาเซลเซียสนั้นสามารถที่จะควบคุมการทำงานได้ง่าย และค่าความต่างของอุณหภูมิอยู่ที่ 40 องศาเซลเซียสนั้นสามารถที่จะเห็นผลการทดลองที่ชัดเจน

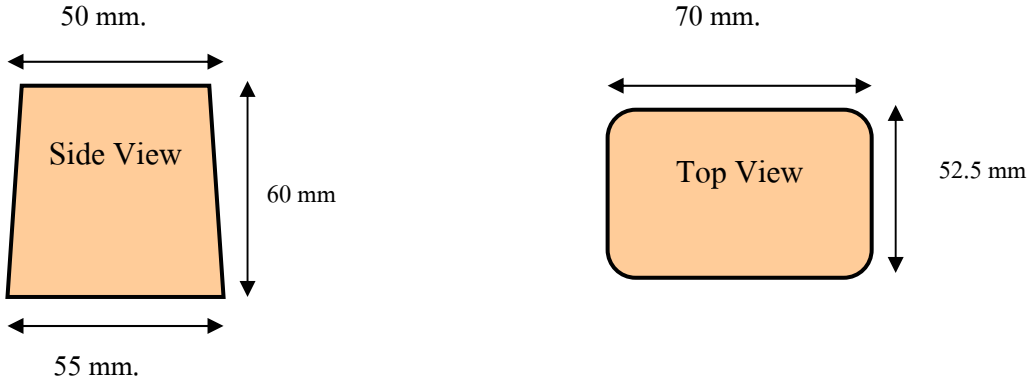
2. ความชื้นของทรายทำแบบ เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดแก๊สในชิ้นงานและโพรงหดตัว [14] ซึ่งในการทำงานจริงนั้นทางฝ่ายผลิตควบคุมความชื้นของแบบทรายให้อยู่ในช่วง 2-4 % ตามมาตรฐานงานหล่อ [6] ดังนั้นจึงนำค่าที่ควบคุมได้อยู่แล้วมาใช้ในการทดลอง ซึ่งในการทดลองจริงได้ทำการตรวจสอบความชื้นทรายก่อนที่จะผสมก่อนว่ามีความชื้นเท่าใดแล้วจึงเติมน้ำให้ได้ความชื้นที่ 2% และ 4 %

3. ขนาดของรูล้น เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องโพรงหดตัว เนื่องจากมีผลต่อการเย็นตัวของน้ำโลหะ [14] จากขนาดของรูล้นแบบเก่านั้น ทางบริษัทพิจารณาแล้วลงความเห็นว่าเล็กเกินกว่าที่กำหนดไว้ [14] จึงพิจารณาว่าควรมีการปรับเปลี่ยนขนาดของรูล้นให้เหมาะสมยิ่งขึ้นโดยจะพิจารณาตั้งแต่ระบบป้อนเติมน้ำโลหะ (Gating System) และขนาดรูล้นเข้าด้วยกันแล้วจึง นิยามเป็นแบบเก่าและใหม่ ดังนี้

3.1 แบบเก่ามีลักษณะดังนี้

สัดส่วนของระบบป้อนเติมน้ำโลหะ (Gating System) Sprue Area: Runner Area: Gating Area = 1:1:1.5 ซึ่งเป็นไปตามหลักการการออกแบบระบบป้อนเติมน้ำโลหะ (Gating System) ของเหล็กกล้า [14]

หลังจากนั้นจึงทำการพิจารณาที่ขนาดของรูล้น"แบบเก่า"ซึ่งมีปริมาตรเท่ากับ 220.5 ซม^{3}ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงขนาดของรูล้นแบบเก่า

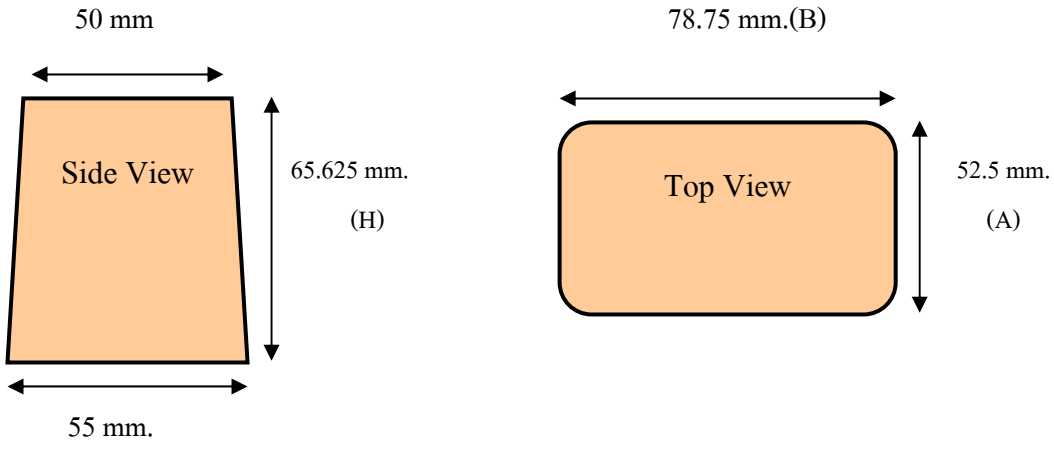
3.2 แบบใหม่มีลักษณะดังนี้ [14]

สัดส่วนของระบบป้อนเติมน้ำโลหะ (Gating System) Sprue Area: Runner Area: Gating Area = 1:1:1.5 แต่เปลี่ยนแปลงขนาดของรูล้นเป็นแบบใหม่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะให้รูล้นรักษาอุณหภูมิของน้ำเหล็กให้มีการเย็นตัวเป็นลำดับสุดท้าย (ภายหลังจากชิ้นงานเย็นตัวแล้ว) จึงต้องทำการขยายขนาดของรูล้นให้ใหญ่ขึ้นโดยใช้สมการการหาขนาดรูล้นดังนี้ [14]

$$B = 1.5A \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.1)$$

$$H = (A+B)/2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.2)$$

เมื่อทำการแก้ไขขนาดของรูล้น"แบบใหม่"ตามสมการได้ปริมาตรเท่ากับ 271.3 ซม^{3}ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงขนาดของรูล้นแบบใหม่

4. เวลาในการเทน้ำเหล็ก คือระยะเวลาตั้งแต่เริ่มเทน้ำเหล็กลงในชิ้นงานจนน้ำเหล็กล้นบนปากรูล้น เป็นปัจจัยหลักในการเกิดของเสียวิ่งไม่เต็มแบบ (Miss run) เนื้อไม่ประสาน (Cold shut) [14] แต่อาจจะมีผลบ้างกับการเกิดโพรงหดตัว ซึ่งจากการวิเคราะห์ผ่าน FMEA ทำให้ต้องทำการทดลองเพื่อให้ทราบว่ามีผลต่อการเกิดโพรงหดตัวหรือไม่ โดยกำหนดระดับของปัจจัยมาจากวิธีการทำงานในปัจจุบันคืออยู่ที่ 2 ระดับคือ 5 วินาทีเป็นเวลาที่เทน้ำเหล็กลงในแบบทรายเร็วที่สุดและ 9 วินาทีเป็นเวลาที่เทน้ำเหล็กลงในแบบทรายช้าที่สุด

จากการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ (FMEA) โดยเป็นการวิเคราะห์จากผู้เชี่ยวชาญด้านงานหล่อ ผู้จัดการฝ่ายผลิต ผู้จัดการฝ่ายเทคนิคและวิศวกร หัวหน้าแผนกจากทางโรงงานแล้วพบว่าสาเหตุนั้นมาจาก 4 ปัจจัยดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และการวิเคราะห์ปัจจัยทั้ง 4 นี้เป็นเพียงการวิเคราะห์อย่างมีระบบเท่านั้น จะมีก็แต่เพียงปัจจัย อุณหภูมิเทน้ำเหล็กเท่านั้นที่สามารถอธิบายได้โดยทฤษฎีว่ามีผลต่อการเกิดโพรงหดตัวในชิ้นงาน [7] เนื่องจากอุณหภูมิเทน้ำเหล็กมีผลต่อการเย็นตัวของน้ำเหล็กถ้าเกิดการเย็นตัวอย่างไม่มีทิศทางก็จะทำให้ไปปิดกั้นการป้อนเติมระหว่างน้ำเหล็กกับชิ้นงาน แต่ปัจจัยอื่นยังไม่สามารถยืนยันได้ว่ามีผลต่อการเกิดโพรงหดตัว ดังนั้นการวิเคราะห์จึงเริ่มจากการกรองปัจจัยเพื่อพิสูจน์ว่าปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการเกิดโพรงหดตัว แล้วจึงนำไปสู่การทดลองเพื่อวิเคราะห์ดูว่าปัจจัยไหนมีผลและระดับไหนของแต่ละปัจจัยที่มีผลที่ให้ค่าของดีมากที่สุดเพื่อที่จะได้ไปทำการปรับแต่งค่าใหม่เพื่อให้ได้ตามผลการทดลอง

4.6 การทดสอบกรองปัจจัย (Screening factors)

การทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพิสูจน์ว่าปัจจัยต่างๆที่สงสัยมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงต่อค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องหรือไม่ โดยการกรองปัจจัยนั้นมีได้หลายวิธีด้วยกัน โดยในที่นี้ผู้วิจัยเลือกใช้การทดสอบแบบ Proportions ซึ่งสามารถใช้ได้ในกรณีที่ต้องการทดสอบสมมุติฐานทีละหนึ่งปัจจัย และมีระดับของปัจจัยเท่ากับสองระดับเท่านั้น และการออกแบบการทดลองเพื่อกรองปัจจัยนั้นควรทำการทดลองแบบ OFAT (One Factor at A Time) คือเป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยทีละหนึ่งปัจจัยซึ่งในการทดลองจะทำการปรับตั้งค่าของปัจจัยนั้นๆเพียงชนิดเดียวส่วนปัจจัยอื่นๆเราจะตั้งไว้ที่ค่ากลางของค่าปรับตั้งของแต่ละปัจจัย เพื่อให้เกิดผลกระทบต่อพารามิเตอร์ที่ศึกษาน้อยที่สุด โดยทำการทดสอบด้วยวิธีการทดสอบความมีนัยสำคัญของสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องของประชากรสองกลุ่ม ซึ่งเป็นการทดสอบข้อมูลในลักษณะเชิงคุณภาพที่เป็นตัวแปรสุ่มแบบไบโนเมียล การทดลองเพื่อทำการกรองปัจจัยนั้นต้องหาสิ่งตัวอย่างของการทดสอบความมีนัยสำคัญของสัดส่วนบกพร่องในจำนวนที่เหมาะสมเพื่อที่จะได้ใช้อธิบายประชากรได้อย่างแม่นยำ ซึ่งจะหาสิ่งตัวอย่างตามวิธีดังต่อไปนี้ผ่านโปรแกรม Minitabได้ผลดังรูปที่ 4.10 ภายใต้เงื่อนไขการกำหนดค่าต่างๆดังต่อไปนี้

1. กำหนดค่าความผิดพลาดชนิดที่ 1(α) คือค่าที่ทางโรงงานเข้าใจว่าชิ้นงานเป็นของเสียทั้งที่จริงเป็นของดี โดยกำหนดไว้ที่ 5%

2. พิจารณาสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง (proportion) โดยดูจากข้อมูลสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องกลุ่มแรก ณ ช่วงเวลาทดสอบเท่ากับ 0.13 (สัดส่วนข้อบกพร่องโพรงหดตัวที่พบในปัจจุบัน) และสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องของประชากรอีกกลุ่มคือสัดส่วนที่ต้องการตรวจจับ0.05 (เป้าหมายที่จะลดสัดส่วนข้อบกพร่องโพรงหดตัวให้ได้)

3. กำหนดค่าความผิดพลาดชนิดที่ 2 (β) คือค่าที่ทางโรงงานเข้าใจว่าชิ้นงานเป็นของดีทั้งที่จริงเป็นของเสียโดยกำหนดไว้ไม่เกิน 20% (ค่าที่ทางโรงงานยอมรับได้) ดังนั้นค่าอำนาจแห่งการตรวจสอบ (Power of the test) จะมีค่ามากกว่า 0.80 จากสมการ (1-β) = Power of the test

ผลการคำนวณหาสิ่งตัวอย่างได้ผลดังรูปที่ 4.10

Power and Sample Size

Test for Two Proportions

Testing proportion 1 = proportion 2 (versus not =)

Calculating power for proportion 2 = 0.05

Alpha = 0.05 Sample

Proportion 1	Size	Power
0.13	25	0.164684
0.13	50	0.285425
0.13	75	0.401173
0.13	100	0.506764
0.13	125	0.599683
0.13	150	0.679224
0.13	200	0.800595

The sample size is for each group.

รูปที่ 4.10 ผลการคำนวณหาสิ่งตัวอย่างผ่านโปรแกรม Minitab

จากรูปที่ 4.10 จะได้ขนาดสิ่งตัวอย่างที่ 200 ชิ้นและค่าอำนาจแห่งการตรวจสอบอยู่ที่ 0.800595 ซึ่งอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้ข้างต้นและเมื่อได้ขนาดสิ่งตัวอย่างแล้วขั้นตอนต่อไปจะทำการทดสอบทีละปัจจัย (OFAT) เพื่อทำการทดลองว่าปัจจัยที่ผ่านการทำ FMEA มาแล้วนั้นมีผลต่อการเกิดโพรงหดตัวหรือไม่โดยวิเคราะห์ผ่านการตั้งสมมุติฐาน

4.6.1 การทดสอบกรองปัจจัยความชื้นทรายทำแบบ

ทำการทดลองโดยควบคุมสภาวะในการทดลองของปัจจัยอื่น ดังนี้

1. อุณหภูมิเทน้ำเหล็กควบคุมที่ 1580 ± 5 องศาเซลเซียส
2. ขนาดของรูล้นควบคุมที่ปริมาตร 220.5 ซม^3
3. เวลาในการเทน้ำเหล็กควบคุมที่ 7 ± 1 วินาที

ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองจากการปรับค่าความชื้นแบบทรายสองค่า

ระดับของความชื้นแบบทราย	จำนวนที่ตรวจสอบ (ชิ้น)	ผลิตภัณฑ์บกพร่องโพรงหดตัว (ชิ้น)
2%±0.25%	200	35
4%±0.25%	200	30

4.6.1.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดสอบค่าความชื้นของทรายทำแบบที่ 2 %และ4 % จะใช้วิธีการทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องจากสิ่งตัวอย่างทั้งสองกลุ่ม เนื่องจากข้อมูลที่ใช้วัดจะอยู่ในรูปคุณลักษณะเชิงคุณภาพ ซึ่งแบ่งออกเป็นสิ่งที่ให้ความสนใจ (Success) และสิ่งที่ไม่ให้ความสนใจ (Failure) โดยกำหนดให้สิ่งที่ให้ความสนใจคือสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทโพรงหดตัวที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถตั้งสมมติฐานของการทดสอบได้ดังต่อไปนี้ว่า

H_0 : สัดส่วนของผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทโพรงหดตัวที่เกิดจากค่าความชื้นของทรายทำแบบที่ 2 %และ4 % มีค่าไม่แตกต่างกัน

H_1 : สัดส่วนของผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทโพรงหดตัวที่เกิดจากค่าความชื้นของทรายทำแบบที่ 2 %และ4 % มีค่าแตกต่างกัน

จากข้อมูลทำการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Minitab ได้ผลดังรูปที่ 4.11

Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	35	200	0.175000
2	30	200	0.150000

Difference = p (1) - p (2)

Estimate for difference: 0.025

95% CI for difference: (-0.0472633, 0.0972633)

Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 0.68 P-Value = 0.498

รูปที่ 4.11 แสดงผลการทดลองหาความมีนัยสำคัญของสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องเนื่องจากค่าความชื้นของทรายทำแบบ

จากการประมวลผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab พบว่า P-value มีค่ามากแสดงว่าค่าสถิติทดสอบ Z มีค่าน้อย นั่นหมายความว่ายอมรับ H_0 สามารถสรุปผลได้ว่าจำนวนข้อบกพร่องโพรงหดตัวที่เกิดจากการปรับค่าความชื้นของทรายทำแบบที่ 2% และจำนวนข้อบกพร่องโพรงหดตัวที่เกิดจากการปรับค่าความชื้นของทรายทำแบบที่ 4% นั้นมีจำนวนข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

4.6.2 การทดสอบกรองปัจจัยขนาดของรูล้น

ทำการทดลองโดยควบคุมสภาวะในการทดลองของปัจจัยอื่น ดังนี้

1. อุณหภูมิเทน้ำเหล็กควบคุมที่ 1580 ± 5 องศาเซลเซียส
2. ความชื้นของทรายทำแบบควบคุมที่ 3 ± 0.25 %
3. เวลาในการเทน้ำเหล็กควบคุมที่ 7 ± 1 วินาที

ผลการทดลองได้แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองจากการปรับขนาดของรูล้นสองค่า

ระดับของขนาดรูล้น ($ซม^3$)	จำนวนที่ตรวจสอบ (ชิ้น)	ผลิตภัณฑ์บกพร่องโพรงหดตัว (ชิ้น)
220.5	200	37
271.3	200	22

4.6.2.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดสอบขนาดของรูล้นทั้งแบบ 220.5 $ซม^3$และแบบ 271.3 $ซม^3$ จะใช้วิธีการทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องจากสิ่งตัวอย่างทั้งสองกลุ่ม เนื่องจากข้อมูลที่ใช้วัดจะอยู่ในรูปคุณลักษณะเชิงคุณภาพ ซึ่งแบ่งออกเป็นสิ่งที่ให้ความสนใจ (Success) และสิ่งที่ไม่ให้ความสนใจ (Failure) โดยกำหนดให้สิ่งที่ให้ความสนใจคือสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทโพรงหดตัวที่เกิดขึ้น สามารถตั้งสมมติฐานของการทดสอบได้ดังต่อไปนี้ว่า

H_0 : สัดส่วนของผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทโพรงหดตัวที่เกิดจากขนาดของรูล้นที่ 220.5 $ซม^3$ และที่ 271.3 $ซม^3$ มีค่าไม่แตกต่างกัน

H_1 : สัดส่วนของผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทโพรงหดตัวที่เกิดจากขนาดของรูล้นที่ 220.5 $ซม^3$ และที่ 271.3 $ซม^3$ มีค่าแตกต่างกัน

จากข้อมูลทำการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Minitab ได้ผลดังรูปที่ 4.12

Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	37	200	0.185000
2	22	200	0.110000

Difference = p (1) - p (2)

Estimate for difference: 0.075

95% CI for difference: (0.00588868, 0.144111)

Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 2.13 P-Value = 0.033

รูปที่ 4.12 แสดงผลการหาความมีนัยสำคัญของสัดส่วน ผลิตภัณฑ์บกพร่องเนื่องจากขนาดของรูล้น

จากการประมวลผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab พบว่า P-value มีค่าน้อยแสดงว่าค่าสถิติทดสอบ Z มีค่ามาก นั่นหมายความว่าปฏิเสธ H_0 สามารถสรุปผลได้ว่าจำนวนงานบกพร่องประเภทโพรงหดตัวที่ขนาดรูล้นที่ 220.5 ซม^3 และ จำนวนงานบกพร่องประเภทโพรงหดตัวที่ขนาดรูล้นที่ 271.3 ซม^3 นั้นมีปริมาณจำนวนงานบกพร่องประเภทโพรงหดตัว นั้นมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.6.3 การทดสอบกรองปัจจัยเวลาในการเท

ทำการทดลองโดยควบคุมสภาวะในการทดลองของปัจจัยอื่น ดังนี้

1. อุณหภูมิเทน้ำเหล็กควบคุมที่ 1580 ± 5 องศาเซลเซียส
2. ความชื้นของทรายทำแบบควบคุมที่ 3 ± 0.25 %
3. ขนาดของรูล้นควบคุมที่ปริมาตร 220.5 ซม^3

ผลการทดลองได้แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองจากการปรับเวลาในการเทสองค่า

ระดับของเวลาในการเท (วินาที)	จำนวนที่ตรวจสอบ (ชิ้น)	ผลิตภัณฑ์บกพร่องโพรงหดตัว (ชิ้น)
5±1	200	26
9±1	200	30

4.6.3.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดสอบเวลาในการเทน้ำเหล็กที่ 5 วินาทีและ 9 วินาที จะใช้วิธีการทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องจากสิ่งตัวอย่างทั้งสองกลุ่ม เนื่องจากข้อมูลที่ใช้วัดจะอยู่ในรูปคุณลักษณะเชิงคุณภาพ ซึ่งแบ่งออกเป็นสิ่งที่ให้ความสนใจ (Success) และสิ่งที่ไม่ให้ความสนใจ (Failure) โดยกำหนดให้สิ่งที่ให้ความสนใจคือสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทโพรงหดตัวที่เกิดขึ้น สามารถตั้งสมมติฐานของการทดสอบได้ดังต่อไปนี้ว่า

H_0 : สัดส่วนของผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทโพรงหดตัวที่เกิดจากเวลาในการเทน้ำเหล็กที่ 5 วินาที และ9 วินาที มีค่าไม่แตกต่างกัน

H_1 : สัดส่วนของผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทโพรงหดตัวที่เกิดจากเวลาในการเทน้ำเหล็กที่ 5 วินาที และ9 วินาที มีค่าแตกต่างกัน

จากข้อมูลทำการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Minitab ได้ผลดังรูปที่ 4.13

Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	26	200	0.130000
2	30	200	0.150000

Difference = p (1) - p (2)

Estimate for difference: -0.02

95% CI for difference: (-0.0879800, 0.0479800)

Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = -0.58 P-Value = 0.564

รูปที่ 4.13 แสดงผลการทดลองหาความมีนัยสำคัญของสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องเนื่องจากเวลาในการเท

จากการประมวลผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab พบว่า P-value มีค่ามากแสดงว่าค่าสถิติทดสอบ Z มีค่าน้อยนั่นหมายความว่ายอมรับ H_0 สามารถสรุปผลได้ว่าจำนวนข้อบกพร่องโพรงหดตัวที่เกิดจากการปรับเวลาการเทน้ำเหล็กที่ 5 วินาที และจำนวนข้อบกพร่องโพรงหดตัวที่เกิดจากการปรับเวลาการเทน้ำเหล็กที่ 9 วินาที นั้นมีจำนวนข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

หลังจากการผ่านการทำ OFAT แล้วนั้นพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทโพรงหดตัวนั้นมีสาเหตุมาจากปัจจัย 2 ปัจจัยคือ อุณหภูมิเทน้ำเหล็ก, ขนาดของรูล้น ซึ่งแสดงค่าระดับปัจจัยดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ระดับของปัจจัยและปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัยที่ป้อนเข้า	พิกัดควบคุมทางวิศวกรรม	ระดับพารามิเตอร์ในการทดลอง (Level)	
		Low	**High**
1.อุณหภูมิเทน้ำเหล็ก	องศาเซลเซียส	1560	1600
2.ขนาดของรูล้น	ลูกบาศก์เซนติเมตร	220.5	271.3

4.7 ดำเนินการการทดลองและวิเคราะห์ผลออกแบบการทดลอง

ในการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยสำหรับในงานวิจัย ผลลัพธ์ที่ต้องการคือพบข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว ของผลิตภัณฑ์ U-Bolt Plate UT005A40A น้อยที่สุดหรือไม่เกิดขึ้นเลยในกระบวนผลิต จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.7 จึงนำปัจจัยทั้ง 2 คือ อุณหภูมิเทน้ำเหล็กและขนาดของรูล้น มาทำการทดลองและวิเคราะห์ผลเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ที่ทำให้ข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวให้เกิดขึ้นน้อยที่สุดโดยใช้การทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล เนื่องจากปัจจัยที่เลือกมานั้นมีระดับปัจจัยเพียง 2 ค่าคือต่ำและสูง และค่าตัวแปรตอบสนองคือ ดี และ เสีย ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงพรรณนา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแปลงผลที่ได้มาเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข งานวิจัยนี้จะทำการออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล เพื่อจะได้ผลการทดลองที่สุ่มและซ้ำ ตามหลักการทดลองแต่จะใช้การวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนอง[13]ได้กล่าวแนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลในกรณีที่ข้อมูลเป็นข้อมูลนับดังต่อไปนี้

4.7.1 การออกแบบการทดลองกรณี 2 ปัจจัย 2 ระดับ

หลังจากที่ได้ทำการทดลองกรองปัจจัยที่ผ่านการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบว่ามีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องโพรงหดตัวแล้วจึงนำทั้ง 2 ปัจจัยที่ได้กล่าวข้างต้นมาทำการการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab โดยมีการแบ่งประเภทของปัจจัยได้ 2 แบบดังนี้

1. ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้และทำการกำหนดค่าไว้ในช่วงได้แก่ ความชื้นของทรายทำแบบและเวลาในการเทน้ำเหล็กลงแบบ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะกำหนดค่าการทำงานดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าของปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ และทำการกำหนดค่าไว้

ปัจจัยที่ป้อนเข้า	หน่วย	ค่าที่ใช้ทำงานปัจจุบัน
1. ความชื้นของทรายทำแบบ	เปอร์เซ็นต์	2-4%
2. เวลาในการเทน้ำเหล็กลงแบบ	วินาที	5-9

2. ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ และทำการปรับเปลี่ยนค่าการทำงาน ได้แก่ ปัจจัยที่ผ่านการพิสูจน์แล้วว่ามีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องโพรงหดตัวได้แก่ อุณหภูมิเทน้ำเหล็กลงแบบและขนาดของรูล้น ซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะกำหนดค่าการทำงานดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าของปัจจัยที่สามารถควบคุมได้และทำการปรับเปลี่ยนค่าการทำงาน

ปัจจัยที่ป้อนเข้า	หน่วย	ระดับพารามิเตอร์ในการทดลอง (Level)	
		Low	High
1.อุณหภูมิเทน้ำเหล็กลงแบบ	องศาเซลเซียส	1560±5	1600±5
2.ขนาดของรูล้น	ลูกบาศก์เซนติเมตร	220.5	271.3

ทำการออกแบบการทดลองทั้ง 2 ปัจจัยที่ได้กล่าวข้างต้นโดยใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการออกแบบการทดลองโดยในการทดลองครั้งนี้ได้กำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่างไว้ที่ 50 ชิ้น เพื่อให้ผลการทดลองออกมาได้ใกล้เคียงการทำงานจริงมากที่สุด ดังแสดงการออกแบบการทดลองและผลการทดลองในภาคผนวก ข ตารางที่ ข 2

4.7.2 ผลการทดลอง2 ปัจจัย 2 ระดับ

เมื่อได้ตารางการทดลองจากโปรแกรม Minitab ตามดัง ตารางที่ ข2 ภาคผนวก ข แล้วใส่ค่าตัวแปรตอบสนอง ลงไปในช่องที่มีตัวอักษร Y ในตารางที่ ข 2 ภาคผนวก ข การนิยามการให้ค่าตัวแปรตอบสนองในกรณีที่เป็นข้อมูลนับ [11] ได้ค่า 1 และ 0 โดย 1 หมายถึงงานที่เราสนใจคืออาการโพรงหดตัว และ 0 หมายถึงงานที่เราไม่ได้สนใจคืออาการชิ้นงานเต็มหรือว่าอาการอื่นที่ไม่ใช่อาการโพรงหดตัว จากนั้นทำการทดลองตามตารางที่ ข2 ภาคผนวก ข ได้ค่าผลการทดลองทั้งหมดแล้วจึงนำค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้มาคำนวณหา ตาราง ANOVA ผ่านโปรแกรม Minitab และเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ จึงได้สรุปผลการทดลองไว้ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลอง 2 ปัจจัย 2 ระดับสรุปมาจากตารางที่ ข 1ภาคผนวก ข

ขนาดของรูล้น ($ซม^3$)	**อุณหภูมิเทน้ำเหล็ก ($^{\circ}C$)**	
	1560	**1600**
เก่า (220.5)	1111111111	1111111100
	1111111111	0000000000
	1111111111	0000000000
	1111111111	0000000000
	1111111110	0000000000
ใหม่ (271.3)	1111111111	1000000000
	1111111111	0000000000
	1111111111	0000000000
	1111111111	0000000000
	1111111000	0000000000

หมายเหตุ ผล คือตัวแปรตอบสนอง
1 หมายถึงชิ้นงานที่มีโพรงหดตัว
0 หมายถึงชิ้นงานที่ไม่มีโพรงหดตัวหรือมีลักษณะอื่นที่ไม่ใช่โพรงหดตัว

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.11 จะนำข้อมูลที่ได้มาทำการหาตาราง ANOVA เพื่อหาแหล่งความผันแปรแต่ละปัจจัย โดยผ่านการประมวลผลการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Minitab พร้อมทั้งวิเคราะห์ผลการทดลองว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลและระดับปัจจัยใดที่ให้ค่าเหมาะสมที่สุด

4.7.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 2 ปัจจัย 2 ระดับ

จากผลการทดลองตารางที่ ข 2 ภาคผนวก ข ได้นำผลการทดลองนี้มาวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Minitab ได้ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.14

General Linear Model: ผล versus อุณหภูมิ, ขนาดรูล้น

Factor	Type	Levels	Values
อุณหภูมิ	Fixed	2	1560, 1600
ขนาดรูล้น	Fixed	2	เก่า, ใหม่

Analysis of Variance for ผล, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
อุณหภูมิ	1	36.980	36.980	36.980	582.64	0.000
ขนาดรูล้น	1	0.320	0.320	0.320	5.04	0.026
อุณหภูมิ*ขนาดรูล้น	1	0.080	0.080	0.080	1.26	0.263
Error	196	12.440	12.440	0.063		
Total	199	49.820				

S = 0.251931 R-Sq = 75.03% R-Sq (adj) = 74.65%

รูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลอง 2 ปัจจัย 2 ระดับ

จากผลการทดลองตารางที่ ข.2 ภาคผนวก ข ก่อนที่จะไปสู่การวิเคราะห์ต้องทำการตรวจสอบการออกแบบตัวแบบการทดลอง (Design Model) โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 เพื่อพิจารณาว่าความผันแปรของค่าตัวแปรตอบสนองจากข้อมูลที่เก็บมานั้น สามารถอธิบายได้จากความผันแปรของปัจจัยที่ทำการทดสอบมากน้อยเพียงใดก่อนที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ต่อได้ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความผันแปร ซึ่ง R^2 ไม่สูงหนักจำเป็นต้องทำการทบทวนและวิเคราะห์ความรู้ในเชิงวิศวกรรมใหม่ ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลการทดลองผ่านโปรแกรม Minitab พบว่าความแตกต่างของข้อบกพร่องประเภทประเภทโพรงหดตัว มีค่า R^2 เท่ากับ 75.03% หมายความว่าความผันแปรของข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวจากการทดลองมีค่า 100 หน่วย² สามารถอธิบายได้ด้วยความผันแปรของปัจจัยที่ทำการทดสอบเท่ากับ 75.03 หน่วย² ส่วนความผันแปรที่เหลือไม่สามารถอธิบายได้เนื่องจากสาเหตุด้าน รีพีททะบิลิตี้ ซึ่งสัมประสิทธิ์การตัดสินใจจากการทดลองครั้งนี้อยู่ในระดับที่ดี คือ เมื่อพิจารณาค่า R-Sq (adj) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 74.65% มีค่าใกล้เคียงกับ ค่า R-Sq จึงพบว่าจำนวนข้อมูล

เพียงพอ จากการวิเคราะห์พบว่าการออกแบบการทดลองดี ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไป

จากการวิเคราะห์ผลลัพธ์ด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม Minitab ดังรูปที่ 4.16 จะเริ่มพิจารณาจากความมีนัยสำคัญของอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย (2-Way Interaction Effect) ดังนั้นจึงพิจารณาผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่าง อุณหภูมิเทน้ำเหล็กและขนาดของรูล้นพบว่า P-Value มาก(P-Value=0.263) นั้นคือตัวสถิติ F มีค่าน้อย (F=1.26) สรุปได้ว่าปัจจัยร่วมทั้งสองมีค่าต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวอย่างไม่มีนัยสำคัญ ที่ระดับความมีนัยสำคัญที่ 0.05 จากนั้นจึงทำการลดรูปปัจจัยร่วมทั้งสองนี้ที่ไม่มีนัยสำคัญต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว เพื่อเพิ่มองศาความอิสระ (Degree of freedom) ซึ่งได้ผลลัพธ์ใหม่ของตาราง ANOVA ที่ลดรูปและผ่านการประมวลผลผ่านโปรแกรม Minitab ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.15

General Linear Model: ผล versus อุณหภูมิ, ขนาดรูล้น

Factor	**Type**	**Levels**	**Values**
อุณหภูมิ	Fixed	2	1560, 1600
ขนาดรูล้น	Fixed	2	เก่า, ใหม่

Analysis of Variance for ผล, using Adjusted SS for Tests

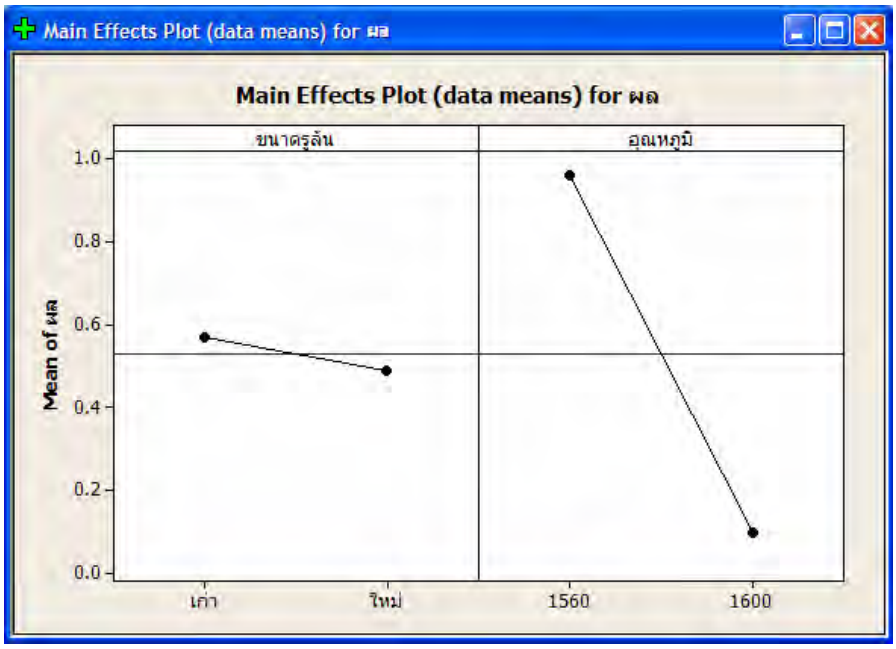
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
อุณหภูมิ	1	36.980	36.980	36.980	581.87	0.000
ขนาดรูล้น	1	0.320	0.320	0.320	5.04	0.026
Error	197	12.520	12.520	0.064		
Total	199	49.820				

S = 0.252098 R-Sq = 74.87% R-Sq (adj) = 74.61%

รูปที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลอง 2 ปัจจัย 2 ระดับ

จากผลลัพธ์ที่ทำการลดรูปแล้ว ดังรูปที่ 4.15 พิจารณาที่อิทธิพลหลัก พบว่าค่า P-Value ของอุณหภูมิเทน้ำเหล็กมีค่าน้อย (P-Value=0.000) นั้นคือตัวสถิติ F มีค่ามาก (F=581.87) หมายความว่าอุณหภูมิเทน้ำเหล็กมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความมีนัยสำคัญที่ 0.05 และปัจจัยหลักอีกหนึ่งตัวก็คือ ขนาดรูล้นพบว่าค่า P-Value ของขนาดรูล้นมีค่าน้อย (P-

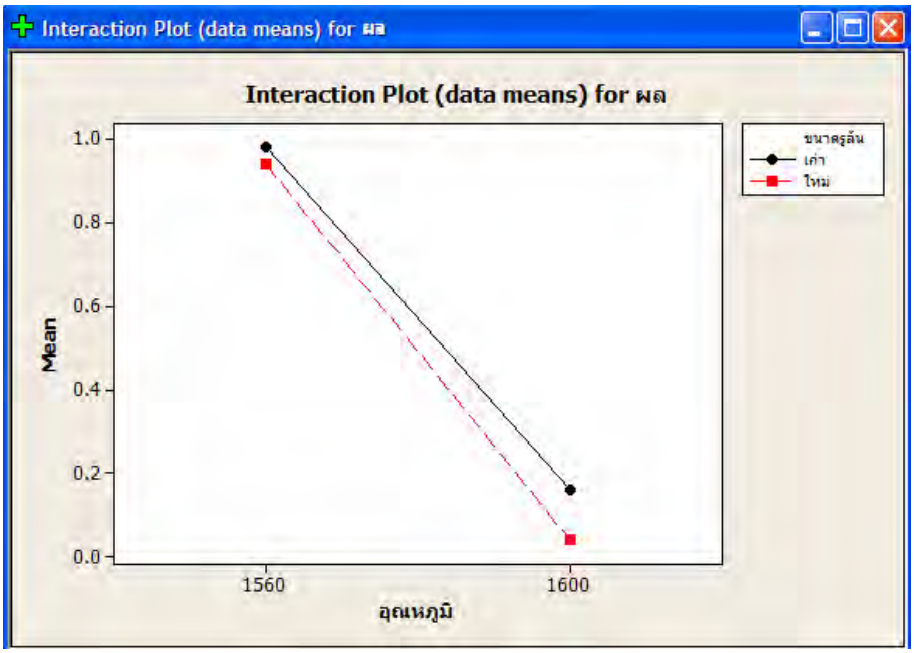
Value=0.026) นั้นคือตัวสถิติ F มีค่ามาก (F=5.04) ซึ่ง หมายความว่าขนาดรูล้นมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความมีนัยสำคัญที่ 0.05จากนั้นทำการพิจารณาอิทธิพลหลักดังรูปที่ 4.16 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยสัดส่วนของข้อบกพร่องโพรงหดตัว พบว่า ขนาดของรูล้นแบบเก่า (220.5ซม^3)นั้นมีข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวเฉลี่ยอยู่ที่ 0.57 และขนาดรูล้นแบบใหม่ (271.3ซม^3)พบว่าข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.49 และที่ อุณหภูมิเทน้ำเหล็ก 1560 องศาเซลเซียสพบว่าข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.96 และที่อุณหภูมิเทน้ำเหล็ก 1600 องศาเซลเซียสพบว่าข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.1 ดังนั้นระดับปัจจัยที่ดีที่สุดของขนาดรูล้นคือแบบใหม่ (271.3ซม^3) และระดับปัจจัยที่ดีที่สุดของอุณหภูมิเทน้ำเหล็กอยู่ที่ 1600 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงผลการค่าเฉลี่ยของปัจจัยหลักของสัดส่วนของเสียแต่ละระดับปัจจัย

จากรูปที่ 4.16 หากมองแต่กราฟของอิทธิพลหลักก็จะทราบเพียงระดับปัจจัยใดที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวมากที่สุด หากระดับปัจจัยใดมีค่าเฉลี่ยสัดส่วนของเสียเข้าใกล้ 1 ก็หมายระดับปัจจัยนั้นส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวมาก แต่ในการทดลองนี้ตัวที่ส่งผลทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว คือ ขนาดของรูล้นและอุณหภูมิเทน้ำเหล็ก ซึ่ง ณ ระดับปัจจัยที่ดีจากรูปที่ 4.16 จะทำการพิจารณาต่อไปว่า ระดับคู่ปัจจัยที่ดีมีแนวโน้มการเกิดข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวอย่างไรและ คู่ระดับปัจจัยอื่นมีลักษณะแนวโน้มการเกิดข้อบกพร่อง

ประเภทโพรงหดตัวเป็นอย่างไร สามารถแสดงผลผ่านกราฟอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย ขนาดของรูล้น และอุณหภูมิเทน้ำเหล็ก ผ่านการประมวลผลจากโปรแกรม Minitab ซึ่งได้ผลดัง รูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงผลของสัดส่วนของเสียของปัจจัยร่วม

จะเห็นว่า ระดับปัจจัยที่ดี ที่ได้จากการอ่านกราฟอิทธิพลหลัก คือ ขนาดรูล้นใหม่ (271.3ซม^3) และอุณหภูมิเทน้ำเหล็กที่ 1600 องศาเซลเซียส กล่าวคือ ปัจจัยทั้ง 2 ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวน้อยที่สุดจากคู่อันดับทั้ง 4 คู่จากกราฟแสดงผลสัดส่วนของเสียของปัจจัยร่วม ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.04 จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ 4.11 จะพบว่าจากจำนวนสิ่งตัวอย่าง 50 ตัวพบข้อบกพร่องโพรงหดตัวเพียง 1 ตัวเท่านั้น ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดของระดับปัจจัยทั้งสอง และในตารางที่ 4.12 จะเป็นการสรุปข้อบกพร่องในแต่ละประเภทให้เห็นว่าในการทดลองครั้งนี้มีข้อบกพร่องใดเกิดขึ้นบ้าง ซึ่งจะเห็นว่าไม่มีข้อบกพร่องอื่นเกิดขึ้นในการทดลอง ทำให้มั่นใจว่าถ้าทำการควบคุมปัจจัยต่างๆในการผลิตเพื่อไม่ให้เกิดข้อบกพร่องโพรงหดตัวแล้วจะไม่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องอื่น

ตารางที่ 4.12 สรุปการจำแนกของเสียแต่ละระดับคู่ปัจจัยจากผลการทดลอง

ระดับปัจจัย ขนาดรูล้น, อุณหภูมิเทน้ำเหล็ก	จำนวนการทดลอง (ชิ้น)	ข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว	ของเสียประเภทเหลื่อม	ของเสียประเภทเทไม่เต็ม	ของเสียประเภทอื่นๆ	จำนวนของดีที่สามารถส่งให้ลูกค้า	%ของดีที่สามรถส่งมอบลูกค้า
เก่า,1560	50	49	0	0	0	1	2%
เก่า,1600	50	8	0	0	0	42	84%
ใหม่,1560	50	47	0	0	0	3	6%
ใหม่,1600	50	1	0	0	0	49	98%

4.7.4 สรุปผลการทดลอง 2 ปัจจัย 2 ระดับ

จากการทดลองสรุปได้ว่าการเปลี่ยนขนาดของรูล้นเป็นแบบใหม่ (271.3ซม^3) และใช้อุณหภูมิเทน้ำเหล็กที่ 1600 องศาเซลเซียส สามารถทำให้จำนวนชิ้นงานที่มีข้อบกพร่องโพรงหดตัวเหลือน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการทดลองในระดับปัจจัยอื่น ซึ่งจากผลการทดลองที่เป็นเช่นนี้สามารถอธิบายได้ด้วยหลักการเย็นตัวของน้ำโลหะคือ จะต้องออกแบบการเย็นตัวของน้ำโลหะให้เย็นตัวอย่างมีทิศทาง โดยให้เริ่มเย็นตัวจากชิ้นงานแล้วมีทิศทางการเย็นตัวเข้าหารูล้นโดยให้รูล้นเป็นตำแหน่งที่เย็นตัวเป็นตำแหน่งสุดท้าย [14] ซึ่งการที่จะทำให้การเย็นตัวของน้ำโลหะมีทิศทางตามที่กล่าวไว้ ก็จะต้องอยู่ในสภาวะขนาดของรูล้นและอุณหภูมิเทน้ำเหล็กที่เหมาะสม สำหรับการทดลองที่ระดับปัจจัยอื่นๆที่ผลการทดลองออกมาแล้วพบว่ามีจำนวนข้อบกพร่องโพรงหดตัวมาก คือ ในสภาวะการทดลองที่อุณหภูมิเทน้ำเหล็ก 1560 องศาเซลเซียสและขนาดรูล้นแบบเก่า (220.5ซม^3) พบจำนวนชิ้นงานที่โพรงหดตัว 49 ชิ้นจากการทดลอง 50 ชิ้น และที่อุณหภูมิเดียวกันแต่ขนาดรูล้นแบบใหม่พบจำนวนชิ้นงานที่โพรงหดตัว 47 ชิ้นจากการทดลอง 50 ชิ้น ซึ่งสาเหตุที่มีจำนวนข้อบกพร่องสูงในการทดลองข้างต้นคือการใช้อุณหภูมิเทน้ำเหล็กต่ำเกินไปคือ 1560 องศาเซลเซียส เพราะว่าเมื่อทำการเทน้ำเหล็กลงในแบบแล้ว น้ำเหล็กจะเกิดการเย็นตัวก่อนที่จะมีการเย็นตัวอย่างมีทิศทางจากชิ้นงานไปหารูล้นเพราะว่าอุณหภูมิเทน้ำเหล็กใกล้เคียงกับอุณหภูมิการแปรสภาพจากของเหลวเป็นของแข็ง (Liquidus) ที่ 1539 องศาเซลเซียส [5] ดังนั้นอุณหภูมิเทน้ำเหล็กจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการทดลองครั้งนี้และประกอบกับมีการเปลี่ยนขนาดของรูล้นให้มีขนาดที่เหมาะสมขึ้นจึงทำให้การทดลองครั้งนี้ได้ผลการทดลองที่ดีคือมีจำนวนชิ้นงานที่เป็นโพรงหดตัว 1 ชิ้นจากการทดลอง 50 ชิ้น จากตารางที่ 4.13 จะแสดงให้เห็นระดับการปรับตั้งค่าของปัจจัยก่อนและหลังการปรับปรุง

ตารางที่ 4.13 ระดับการปรับตั้งของแต่ละปัจจัยก่อนและหลังการปรับปรุง

ปัจจัยที่ใช้ควบคุม	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
1.อุณหภูมิเทน้ำเหล็กลงแบบ	1560-1600	**1600±5**
2.ขนาดของรูล้น	เก่า (220.5 ซม^3)	**ใหม่ (271.3ซม^3)**

หลังจากที่ได้ค่าที่เหมาะสมในตารางที่ 4.13 แล้วขั้นตอนต่อไปจะทำการทดสอบสัดส่วนข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว ก่อนที่จะนำค่าเหล่านี้ไปทำการผลิตจริงในกระบวนการ เพราะว่าถ้าหากไม่ทำการทดสอบแล้วนำผลการทดลองไปผลิตจริงเลยอาจจะทำให้สัดส่วนงานซ่อมโดยรวมไม่ลดลงก็ได้ ดังนั้นจึงต้องทำการทดสอบสัดส่วนบกพร่องก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงดังหัวข้อต่อไปนี้

4.8 การทดลองเพื่อยืนยันผลการปรับปรุง

จากผลการทดลอง ทำให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของทั้ง 2 ปัจจัยในช่วงปัจจุบันเพื่อที่จะทำให้เกิดข้อบกพร่องโพรงหดตัวน้อยที่สุด โดยก่อนที่จะทำการทดสอบต้องหาขนาดสิ่งตัวอย่างก่อนโดยหลักการประมาณการแจกแจงแบบปกติ (Normal) ด้วยไบโนเมียล (Binomial) กำหนดไว้ว่า np>5 [16] ซึ่งในการทดสอบครั้งนี้มีค่า p อยู่ที่ 0.05 และจะต้องมีจำนวนสิ่งตัวอย่าง อย่างน้อย 101 ชิ้น ดังนั้นการทดสอบครั้งนี้จึงกำหนดขนาดสิ่งตัวอย่างไว้ที่ 150 ชิ้น เมื่อได้ขนาดสิ่งตัวอย่างแล้วจึงทำการปรับตั้งค่าตามค่าดังกล่าว (ดังตารางที่ 4.13) และทำการทดสอบด้วยการเปรียบเทียบสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทโพรงหดตัวระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงโดยตั้งสมมติฐานการทดสอบครั้งนี้ว่า

H_0 : สัดส่วนข้อบกพร่องโพรงหดตัวก่อนและหลังการปรับปรุงไม่มีความแตกต่างกัน

H_1 : สัดส่วนข้อบกพร่องโพรงหดตัวภายหลังการปรับปรุงเกิดขึ้นน้อยกว่าก่อนการปรับปรุง

ผลการทดสอบการปรับปรุงแสดงไว้ในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบการปรับปรุง

กระบวนการ	จำนวนตรวจสอบ	ผลิตภัณฑ์บกพร่อง
ก่อนการปรับปรุง	150	21
หลังการปรับปรุง	150	4

เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ จะได้ผลดังรูปที่ 4.18

Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	21	150	0.140000
2	4	150	0.026667

Difference = p (1) - p (2)

Estimate for difference: 0.113333

95% lower bound for difference: 0.0619543

Test for difference = 0 (vs > 0): Z = 3.63 P-Value = 0.000

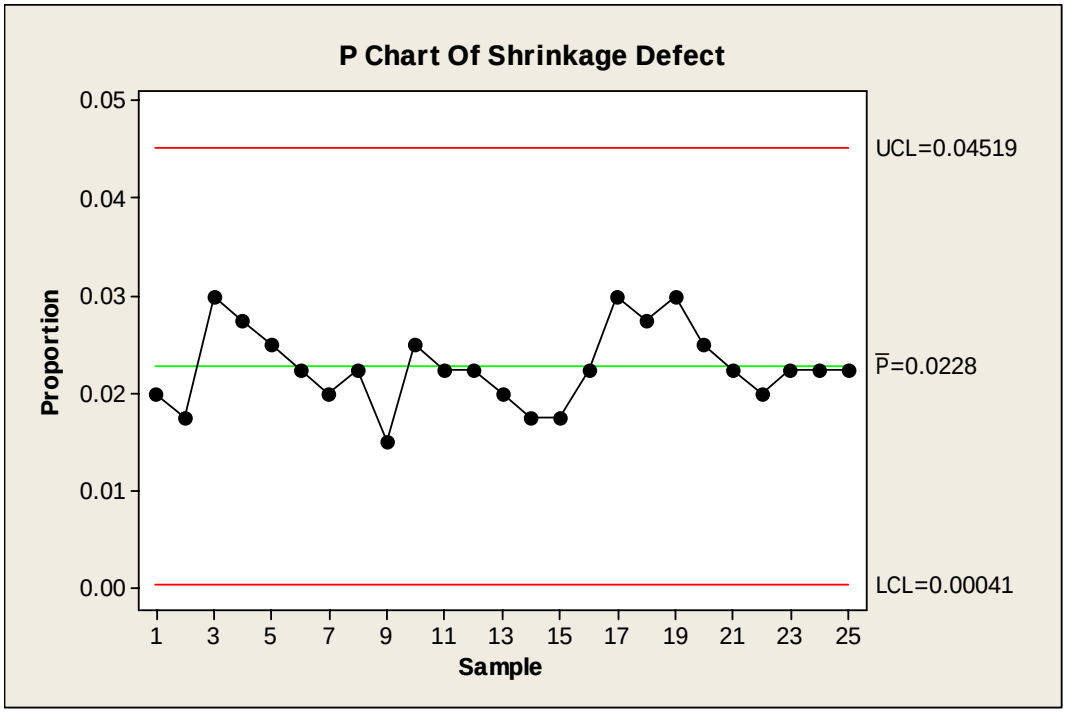
รูปที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์หลังปรับปรุงและก่อนปรับปรุง

จากรูปที่ 4.18 พบว่า P-value มีค่าน้อยแสดงว่าค่าสถิติทดสอบ Z มีค่ามาก นั่นหมายความว่าปฏิเสธ H_0 สามารถสรุปผลได้ว่า สัดส่วนผลิตภัณฑ์ข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวหลังการปรับปรุงมีค่าน้อยกว่าก่อนทำการปรับปรุง หรือกล่าวได้ว่าหลังกระบวนการปรับปรุงทำให้จำนวนข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวลดลง

4.9 การติดตามผลการทดลอง

จากที่ได้ทดสอบสัดส่วนข้อบกพร่องก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงแล้วพบว่าจำนวนผลิตภัณฑ์ที่เป็นของดีนั้นหลังปรับปรุงให้ปริมาณจำนวนของดีมากกว่า ดังนั้นจากผลการทดลองจึงนำค่าที่ได้จากการปรับปรุงกระบวนการมาทำการติดตามผลเป็นระยะเวลา 25 วันทำงาน เพื่อดูว่าค่าการปรับปรุงจากผลการทดลองสามารถที่จะนำไปใช้กับงานจริงแล้วเป้าหมายลดลงมากเพียงใด ซึ่งผลการเก็บชิ้นงาน U-Bolt Plate UT005A40A พบว่ามีข้อบกพร่องโพรงหดตัวจำนวน 228 ชิ้นจากยอดการผลิต 10,000 ชิ้น คิดเป็น 2.28% ดังแสดงในตารางที่ ข3 ภาคผนวก ข

จากข้อมูลในตารางที่ ข3 ภาคผนวก ข จะได้แผนภูมิควบคุมประเภท p Chart ของข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวของงาน U-Bolt Plate UT005A40A หลังการปรับปรุงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 แผนภูมิควบคุมประเภท p Chart ของการเกิดข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว

จากการยืนยันผลการทดลองนี้ในงาน U-Bolt Plate UT005A40A แสดงได้ว่าทำให้ค่าสัดส่วนโดยเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์บกพร่อง (p) โดยในที่นี้คือข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวลดลงโดย p ก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 0.13 (ตารางที่ 3.9) และ p หลังการปรับปรุงเท่ากับ 0.0228 ดังนั้นจะเห็นว่า เมื่อทำการปรับค่าของปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนผลิตภัณฑ์ที่เป็นของดี จะสามารถลดข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว ได้เกินเป้าหมาย แต่เป้าหมายหลักของงานวิจัยนี้ คือเป็นการมองสัดส่วนงานซ่อมรวมทั้งบริษัท แต่จำเป็นต้องมองสัดส่วนงานซ่อมที่ลดลงในชิ้นงาน U-Bolt Plate UT005A40A เพราะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีจำนวนการผลิตมากที่สุด ซึ่งในตารางที่ 4.15 จะแสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนงานซ่อมรวมของบริษัทฯ ก่อนและหลังการปรับปรุง

ตารางที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนงานซ่อมรวมของบริษัทฯ ก่อนและหลังการปรับปรุง

รายละเอียดของข้อมูลที่ตรวจวัด	**ก่อนการปรับปรุง**		**หลังการปรับปรุง (18 ธ.ค. 49-20 ม.ค. 50)**	
	ปี พ.ศ. 2547	**ปี พ.ศ. 2548**	**รายละเอียด**	**จำนวน (ชิ้น)**
1.สัดส่วนงานซ่อมข้อบกพร่องโพรงหดตัวของ U-Bolt Plate UT005A40A	13.32 %	12.04 %	โพรงหดตัว	228
			จำนวนที่ผลิต	10,000
			คิดเป็นสัดส่วน	**2.28 %**
2. สัดส่วนงานซ่อมทั้งหมดของทุกงานที่ทำการผลิตในโรงงาน	15.06 %	14.49 %	เหลื่อม	243
			ร้าว	343
			โพรงหดตัว	1,103
			ทรายตก	199
			วิ่งไม่เต็มแบบ	832
			เนื้อไม่ประสาน	247
			รวม	2,967
			จำนวนที่ผลิต	28,000
			คิดเป็นสัดส่วน	**10.6 %**
3. คำร้องเรียนจากลูกค้า	7 ครั้ง	6 ครั้ง	0 ครั้ง	
4. ต้นทุนโสหุ้ย	16.75 บาท/กิโลกรัม		14.04 บาท/กิโลกรัม	

หลังจากที่มีการติดตามผลการทดลองหลังปรับปรุง เปรียบเทียบกับก่อนปรับปรุง พบว่าสัดส่วนงานซ่อมข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวของงาน U-Bolt Plate UT005A40Aลดลงอยู่ที่ 2.28 %ของงาน U-Bolt Plate UT005A40Aที่ผลิตทั้งหมด และสัดส่วนงานซ่อมทุกงานที่ผลิตลดลงอยู่ที่ 10.6 %ของงานที่ผลิตทั้งหมด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการจัดทำมาตรฐานการทำงาน (Work standard) เพื่อเป็นการสื่อสารให้พนักงานหน้างานทราบถึงสภาวะของปัจจัยในการทำงานที่ต้องทำการวัดและควบคุม เพื่อไม่ให้เกิดโพรงหดตัวดังรูปที่ 4.20 และทำการวางแผนการควบคุม (Control Plan) เพื่อที่จะได้ควบคุมระดับปัจจัยในการทำงานให้คงที่และหากมีปัญหาก็จะสามารถแก้ไขได้ตามแผนการควบคุม

4.10 การวางแผนควบคุมระดับปัจจัย

เพื่อเป็นการควบคุมและรักษาเสถียรภาพของกระบวนการ จึงต้องกำหนดแผนควบคุม กระบวนการ เพื่อให้เกิดมาตรฐานในการทำงาน และเป็นการควบคุมปัจจัยป้อนเข้า เพื่อให้ได้ ผลลัพธ์ของกระบวนการตามที่ต้องการ ซึ่งจะเป็นแนวทางในการควบคุมเชิงป้องกัน (Proactive) ก่อนที่ปัญหาจะเกิดขึ้น จึงต้องมีการกำหนดแผนการควบคุมกระบวนการ (Control Plan) ในการผลิตชิ้นงานตัวอย่าง ซึ่งจะมีกระบวนการควบคุมตั้งแต่การรับข้อมูลจากลูกค้า ขั้นตอนการรับวัตถุดิบจากผู้ส่งมอบ กระบวนการผลิตและการจัดเก็บ (รายละเอียดในภาคผนวก ก ตารางที่ ก.7) โดยในเนื้อหาส่วนนี้จะกล่าวถึงเฉพาะมาตรฐานการทำงาน (Work Standard) ดังรูปที่ 4.20 และแผนการควบคุมกระบวนการในส่วนของการหล่อขึ้นรูปชิ้นงานดังแสดงในตารางที่ 4.16โดยจะเน้นในหัวข้อที่ 2 เรื่องการผสมทราย (Green Sand Mixing) หัวข้อที่ 3 เรื่องการตรวจสอบกระสวน (Pattern Inspection) หัวข้อที่ 5 เรื่องการหลอมเหล็ก (Melting) และหัวข้อที่ 6 เรื่องการเทน้ำเหล็ก (Pouring) เป็น 4 หัวข้อการควบคุมการทำงานในกระบวนการผลิตชิ้นงาน U-Bolt Plate UT005A40A แล้วไม่ให้เกิดข้อบกพร่องโพรงหดตัว ซึ่งพนักงานต้องปฏิบัติตามเอกสารอย่างเคร่งครัดแต่ถ้าเกิดปัญหาขึ้นในกระบวนการผลิต ต้องแจ้งผู้บังคับบัญชาที่รับผิดชอบทันทีและแต่ละขั้นตอนได้มีการจัดทำเอกสารเพื่อใช้ในการบันทึกผลดังตารางที่ ก.8-ก.10 ภาคผนวก ก

BPS BURAPA STEEL

WORKING STANDARD(แบบทราย) (เลขที่เอกสาร WS - SP - WWL - 0036)

ผู้จัดทำ	หัวหน้าแผนกเทคนิค	หัวหน้าแผนก SP.	ผู้จัดการฝ่ายเทคนิค	ผู้จัดการฝ่ายผลิต

ชื่อลูกค้า บริษัท WEWELER | รหัสลูกค้า WWL | วัสดุ AS2074/C3 | EFF.DATE; 1/2/2007

ชื่อสินค้า UT005A40 U - BOLT PLATE | รหัสสินค้า WWL - 0036 | นน.ชิ้นงาน 7.0 Kg. | REV. C PAGE NC 1 OF 1

การทำไส้แบบ ปฏิบัติงานตาม BS-WI-PD-02

ชนิดของกระสวน

☐ ไม้ - ☐ อลูมิเนียม -

☐ เหล็ก - ☐ อื่นๆ -

ชนิดของทรายทำไส้แบบ

☐ ทรายSHELL - ☐ ฉีด -

☐ ทรายCO_2 - ☐ ตำ -

☐ อื่นๆ - ☐ กรอก -

การผสมทราย ปฏิบัติงานตาม BS-WI-PD-01

ควบคุมความชื้นทราย 2-4 %

การทำแบบทราย ปฏิบัติงานตาม BS-WI-PD-03

ชนิดของกระสวน

☐ ไม้ ☒ อลูมิเนียม ☐ เหล็ก

☐ ตัว ☒ เพลท ☐ กวาด

ชนิดของทรายทำแบบ

☒ ทรายชื้น ☐ ทรายCO_2 ☐ ทรายแร่

ขนาดหีบแบบ - 370 X 430 X 75 มม ฝาบน

- 370 X 430 X 100 มม ฝาล่าง

น.น.ทรายที่ใช้ทำแบบฝาบน 14.7 Kg. น.น.ทรายที่ใช้ทำแบบฝาล่าง 20.4 Kg.

ชนิดของสีทาแบบ -

เวลามาตรฐาน 3 นาที / 1 ฝาแบบทราย

ข้อควรระวัง - ตำทรายไม่แน่น

หมายเหตุ วางตะปูขนาด 1 นิ้ว ครึ่ง เป็น Chill ที่แบบทรายฝาล่าง 2 ตัว

การประกอบแบบทราย ปฏิบัติงานตาม BS-WI-PD-04

จำนวนไส้แบบ -

น้ำหนักเหล็กทับแบบไม่น้อยกว่า 80.0 Kg.

การหมันแบบ ทราย CO_2

ข้อควรระวัง - ปิดแบบไม่สนิท - ทรายตกภายในโพรงแบบ

หมายเหตุ

การเทน้ำเหล็ก ปฏิบัติงานตาม BS-WI-PD-06

การควบคุมเวลาเทน้ำเหล็กลงแบบที่ 5-9 วินาที

ภาพประกอบ อุณหภูมิเท เทลงแบบ 1600 ± 5° °C

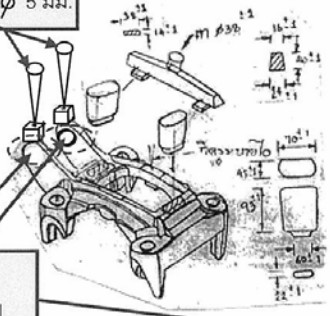
น้ำหนัก RISER 5.2 Kg.

น้ำหนักรวม RISER 12.2 Kg. %Yield 57.4 %

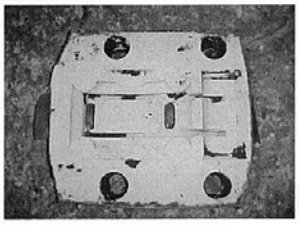
น้ำหนักทรายที่ใช้ทั้งหมด 35.3 Kg.

จำนวน CAVITY 1 ตัว

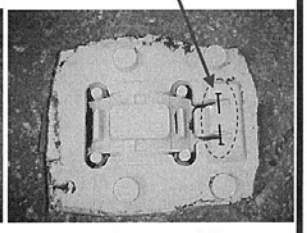
- ให้เจาะรูระบายไอแก๊สที่ Ø 5 มม.



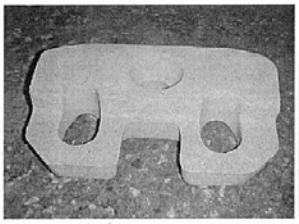
- วางตะปู 1นิ้วครึ่ง - ที่บ่าแหวนของหูทั้งสองข้าง ดังรูป



รูปแบบทรายฝาบน



รูปแบบทรายฝาล่าง



รูปกล่องรูเท

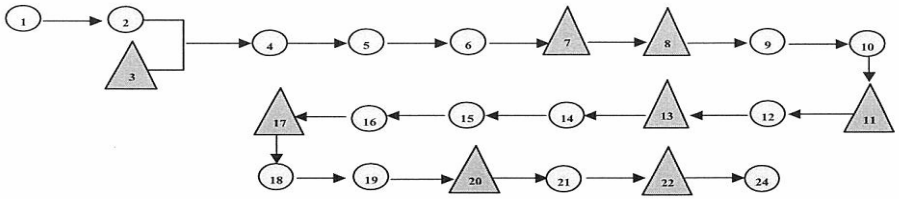
รูปการปิดแบบทราย

รูปที่ 4.20 มาตรฐานการทำงาน

ตารางที่ 4.16 แผนการควบคุมกระบวนการ (Control Plan)

CONTROL PLAN

Client	Coding No.
Weweler	WWL - 0036
Part Name	**Material**
U - Bolt Plate UT005A40A	AS2074 / C3
Drawing Revision No.	**Wt. / Pcs. Drawing**
Rev. C	**7.0 Kgs.**



Item	Process Description	M/C Name	Characteristic			Methods				
			No.	Product / Material	Process / Control Point	Control Level	Evaluation Measurement Technique	Frequency / Sample	Control Method	Reaction Plan
1	**Raw material Receiving**			1.1 Steel Scrap		BS-WI-QC-06	Spectrometer	Every Lot	BS-FO-QC-24	QC Supervisor
				1.2 Bentonite			Certificate		BS-FO-QC-21	
				1.3 Alloy					BS-FO-QC-22	
				1.4 Silica Sand						
				1.5 Sodium Silicate						
				1.6 Dextrin						
2	**Green Sand Mixing**	MX1			2.1 Sand Mixing	Moisture 4 ± 0.7% By Wt	Scales	Every Batch	BS-FO-PD-03	SP Supervisor
3	**Pattern Inspection**				3.1 Filler	WS-WWL-0036	Visual & Measuring Equipment	Before Molding	BS-FO-TN-25	TN Supervisor
					3.2 Riser & Gating					
					3.3 Marking					
4	**Molding**				Hand Molding	Hardness 70 ± 7	Visual	Every Mold	BS-FO-TN-05 BS-FO-TN-24 BS-FO-PD-02	SP Supervisor
5	**Melting**	IF1-IF4			5.1 Charge Ratio	SPC-BS-0002	Scales	Every Batch	BS-FO-QC-26	ME Supervisor Or Production Manager
					5.2 Tapping Temp	1630 ± 7°C	Thermocouple			
					5.3 Chemical Composition		Spectrometer			
					C	0.22 ± 0.02% By Wt				
					Si	0.45 ± 0.13% By Wt				
					Mn	0.75 ± 0.13% By Wt				
					P	0.02 ± 0.02% By Wt				
					S	0.02 ± 0.02% By Wt				
					Cr	0.15 ± 0.10% By Wt				

Remark : FG = FINISHING AND GAUGING DEPARTMENT FI = FINISHING DEPARTMENT ME = MELTING DEPARTMENT MM = MACHINING DEPARTMENT
QC = INSPECTION AND QUALITY CONTROL DEPARTMENT SP = SAND PROCESSING DEPARTMENT ST = STORE AND DELIVERY DEPARTMENT TN = TECHNIQUE DEPARTMENT

ตารางที่ 4.16 แผนการควบคุมกระบวนการ (Control Plan) (ต่อ)

CONTROL PLAN										
Item	Process Description	M/C Name	Characteristic			Methods				
			No.	Product / Material	Process / Control Point	Control Level	Evaluation Measurement Technique	Frequerrcy / Sample	Control Method	Reaction Plan
6	Pouring				Pouring Temp	1600 ± 4°C	Thermocouple	Every Batch	BS-FO-PD-04	SP Supervisor
					Pouring Time	7 ± 1.4 Sec.				
					Al - Degassing	0.1 ± 0.01% By Wt.	Scale	Every Laddle	BS-FO-QC-26	
7	Properties Inspection				Chemical Composition		Spectrometer	Every Batch		QC Supervisor Or Production Manager
					C	0.22 ± 0.02% By Wt				
					Si	0.45 ± 0.13% By Wt				
					Mn	0.75 ± 0.13% By Wt				
					P	0.02 ± 0.02% By Wt			BS-FO-QC-20	
					S	0.02 ± 0.02% By Wt			BS-FO-QC-26	
					Cu	0.10 ± 0.10% By Wt				
					Ni	0.15 ± 0.10% By Wt				
					Cr	0.15 ± 0.10% By Wt				
					Mo	0.10 ± 0.10% By Wt				
8	Inprocess Inspection				8.1 Appearance Inspection	WS-WWL-0036 & Class 1(Jis G0588)	Visual	Every Pcs.	BS-FO-QC-29	FI Supervisor Or Production Manager
					- Crack					
					- Cold Shut					
					- Burr					
					- Mismatch					
					- Misrun					
					- Etc.					
9	Riser And Gate Cutting				Cutting Riser	WS-WWL-0036	Visual	Every Pcs.	BS-FO-TN-05	FI Supervisor
					Shrinkage	No Defect			BS-FO-TN-24	
									BS-FO-FI-04	
10	Shot Blasting	SB7			Blast Cleaning	20 ± 2 Min	Visual	Every Pcs.	BS-FO-FI-04	FI Supervisor
						WS-WWL-0036				

Remark : FG = FINISHING AND GAUGING DEPARTMENT FI = FINISHING DEPARTMENT ME = MELTING DEPARTMENT MM = MACHINING DEPARTMENT
QC = INSPECTION AND QUALITY CONTROL DEPARTMENT SP = SAND PROCESSING DEPARTMENT ST = STORE AND DELIVERY DEPARTMENT TN = TECHNIQUE DEPARTMENT

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลสรุปของการดำเนินงานครั้งนี้ ตลอดจนข้อเสนอแนะ และแนวทางในการแก้ปัญหา สำหรับการนำข้อมูลทั้งหมดไปประยุกต์ใช้เพื่อการดำเนินงานต่อในอนาคต ซึ่งหัวข้อที่กล่าวในบทนี้มีดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

สำหรับโครงงานนี้เริ่ม จากการพิจารณาเป้าหมายคุณภาพของบริษัทฯ ซึ่ง พบว่าในฝ่ายผลิตประสบปัญหาสัดส่วนงานซ่อมในกระบวนการผลิตมีมากกว่าเป้าหมายคุณภาพที่กำหนดไว้คือไม่เกิน 12% ของงานที่ผลิตทั้งหมดโดยสัดส่วนงานซ่อมอยู่ที่ 15.06% ในปี 2547 และ 14.49% ในปี 2548

เมื่อทราบสัดส่วนงานซ่อมที่สูงเกินกว่าเป้าหมายคุณภาพ จึงต้องหาวิธีการที่จะลดสัดส่วนงานซ่อมให้บรรลุตามเป้าหมาย โดยทำการหาลูกค้าที่มีคุณค่า (Value Customer) เพื่อที่จะทำให้การลดของเสียเกิดประสิทธิภาพมากที่สุด และพบว่าบริษัท Weweler Netherland ซึ่งเป็นลูกค้าที่มียอดการสั่งซื้อมากเป็นอันดับหนึ่งของโรงงานในปี 2547และ 2548 เป็นลูกค้าที่มีคุณค่าควรที่จะเลือกมาทำงานวิจัย

เมื่อได้ลูกค้า Weweler มาทำการศึกษาแล้ว พบว่าลูกค้ารายนี้มีการสั่งผลิตภัณฑ์หลายประเภทจึงต้องทำการเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่ามากที่สุดโดยพิจารณาจาก ปริมาณการสั่งซื้อ การร้องเรียนจากลูกค้าและสัดส่วนงานซ่อม จึงได้ผลิตภัณฑ์ U-Bolt Plate UT005A40A มาทำการวิจัย และเริ่มจากการวิเคราะห์ระบบการวัดของพนักงานเพื่อให้มั่นใจว่าในการทดลองนี้จะไม่มีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากพนักงาน

หลังจากวิเคราะห์ระบบการวัดได้ผลเป็นที่ยอมรับแล้ว จึงทำการหาสาเหตุที่ทำให้เกิดโพรงหดตัวด้วยวิธีการระดมสมอง (Brain storming) และยืนยันสาเหตุของการเกิดโพรงหดตัวที่ได้มา ด้วยหลักการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) จึงได้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องมา 4 ปัจจัย คือ อุณหภูมิเทน้ำเหล็ก ความชื้นแบบทราย ขนาดของรูล้นและเวลาในการเทน้ำเหล็ก มาทำการกรองปัจจัยทีละปัจจัย (OFAT) และสรุปได้ว่า อุณหภูมิเทน้ำเหล็กและขนาดของรูล้น มีผลต่อการเกิดโพรงหดตัวอย่างมีนัยสำคัญ จึงนำทั้ง 2 ปัจจัยไปทำการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial Designและได้สภาวะของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดจำนวนชิ้นงานที่มีโพรงหดตัวน้อยที่สุดดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สภาวะของปัจจัยที่ทำให้เกิดโพรงหดตัวน้อยที่สุด

ปัจจัยที่ใช้ควบคุม	สภาวะที่เหมาะสม
1.อุณหภูมิเทน้ำเหล็กลงแบบ	1600±5 ºC
2.ขนาดของรูล้น	ใหม่ (271.3ซม^3)

ซึ่งจากปัจจัยดังกล่าวเกิดชิ้นงานที่มีโพรงหดตัว 1 ชิ้นจากการทดลอง 50 ชิ้น และเมื่อทำการยืนยันผลการทดลองที่ได้โดยการนำสภาวะของปัจจัยดังกล่าวมาทำการติดตามผล โดยผลิตวันละ 400 ชิ้นเป็นเวลา 25 วันทำงาน พบว่าสัดส่วนงานซ่อมลดลงดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบสัดส่วนงานซ่อมโพรงหดตัวก่อนและหลังปรับปรุง

รายละเอียด	ก่อนการปรับปรุง		หลังการปรับปรุง
	ปี พ.ศ. 2547	ปี พ.ศ. 2548	18 ธ.ค. 49-20 ม.ค. 50
สัดส่วนงานซ่อมโพรงหดตัวของงาน U-Bolt Plate UT005A40A	13.32%	12.04%	2.28%

จากตารางที่ 5.2 สัดส่วนงานซ่อมโพรงหดตัวที่ลดลงหลังการปรับปรุงได้ส่งผลให้สัดส่วนงานซ่อมรวมทั้งหมดในโรงงานลดลง ต้นทุนโสหุ้ยในการผลิตชิ้นงานลดลงและจำนวนการร้องเรียนจากลูกค้าก็ไม่มีการร้องเรียนด้วยเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 สัดส่วนงานซ่อมรวมและต้นทุนโสหุ้ยก่อนและหลังการปรับปรุง

รายละเอียด	ก่อนการปรับปรุง		หลังการปรับปรุง
	ปี พ.ศ. 2547	ปี พ.ศ. 2548	18 ธ.ค. 49-20 ม.ค. 50
1. สัดส่วนงานซ่อมรวมทั้งหมดในโรงงาน	15.06%	14.49%	10.6%
2. ต้นทุนโสหุ้ย	16.75 บาท/กิโลกรัม		14.04 บาท/กิโลกรัม
3. จำนวนการร้องเรียน	7 ครั้ง	6 ครั้ง	0 ครั้ง

จากข้อมูลในตารางที่ 5.2 และ 5.3 สรุปได้ว่าเมื่อทำการลดสัดส่วนงานซ่อมโพรงหดตัวของงาน U-Bolt Plate UT005A40A ลงมาเหลือ 2.28% ทำให้สัดส่วนงานซ่อมรวมในโรงงานทั้งหมดลดลงมาเหลือ 10.6%ของงานที่ผลิตทั้งหมด ซึ่งบรรลุตามเป้าหมายคุณภาพของโรงงานที่กำหนดไว้ที่ 12%ของงานที่ผลิตทั้งหมด และต้นทุนโสหุ้ยก็ลดลงมาเช่นเดียวกับจำนวนการร้องเรียนจากลูกค้าที่ไม่มีการร้องเรียนมาหลังจากที่ทำการปรับปรุงกระบวนการทำงาน

ขั้นตอนสุดท้ายเป็นขั้นตอนของการควบคุมโดยได้จัดทำแผนควบคุมกระบวนการ(Control Plan) เพื่อควบคุมปัจจัยป้อนเข้า และเมื่อทำการทดลอง และประเมินความสามารถของกระบวนการผลิตเปรียบเทียบก่อนและหลัง เพื่อประเมินผลการปรับปรุง และเพื่อให้ผลของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีประโยชน์ต่อโรงงานมากที่สุด ดังนั้นก่อนที่จะทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ นั้น ต้องมีการให้ความรู้เกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพแก่พนักงาน เพื่อทำความเข้าใจร่วมกันผ่านหัวหน้างานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการประเมินผลการดำเนินงาน

1) ทำการประเมินโดยการนำข้อมูลของผลิตภัณฑ์บกพร่องหลังการแก้ปัญหามาพิจารณา หากพบว่าข้อบกพร่องลดลง แสดงว่าวิธีการควบคุมคุณภาพที่เสนอแนะนั้นถูกต้อง

2) ทำการประเมินโดยให้มีการตรวจสอบและเฝ้าพินิจ ว่าพนักงานได้ปฏิบัติงานตามข้อกำหนดที่ได้แนะนำไว้อย่างเคร่งครัดหรือไม่

เมื่อผลการประเมินแสดงให้เห็นว่าแผนการควบคุมดังกล่าวนั้นสร้างผลประโยชน์ให้กับทางโรงงานและเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องน้อยลง จากนั้นก็กำหนดเป็นมาตรฐานให้รัดกุมยิ่งขึ้นและพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยหาทางแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน และป้องกันปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตต่อไป

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพในอนาคต

ในปัจจุบันนี้พบว่าเกณฑ์การซ่อมชิ้นงาน (Limit Sample) ยังมีไม่ครบทุกงาน ทำให้งานบางชิ้นต้องทำการซ่อมมากเกินความจำเป็นและการวิเคราะห์งานเสียในโรงงานส่วนมากจะใช้ความรู้เฉพาะทางด้านงานหล่อแล้วทำการแก้ไขปัญหาทันที ซึ่งบางครั้งทำให้ปัญหานั้นไม่หายขาด จึงเห็นว่าควรจะทำการเพิ่มเติมวิธีการทำงานเข้าไปดังนี้

1) ควรกำหนดเกณฑ์การซ่อมชิ้นงานให้ครบทุกงานเพื่อที่จะได้ลดเวลาในการซ่อมงานที่เกินความจำเป็นและป้องกันความผิดพลาดในการซ่อมชิ้นงานด้วย

2) ควรจัดการประชุมระดมสมองร่วมกันในการแก้ปัญหาของเสียอย่างสม่ำเสมอ

3) ควรจัดให้มีการส่งเสริมการควบคุมและปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง เพื่อส่งเสริมให้ทุกคนมีจิตสำนึก

5.4 ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นของการทำโครงงาน

1) หลังจากที่ผ่านการทำ FMEA ไปแล้วนำค่า RPN ไปทำการสร้างพาเรโตแล้วนั้นพบว่าตามหลักการ 80 - 20 ของพาเรโต ได้ปัจจัยที่มีค่า RPN สูงสุดสี่ลำดับคือ อุณหภูมิเทน้ำเหล็ก ขนาดของรูล้น ความชื้นทรายทำแบบและเวลาเทน้ำเหล็กลงในแบบทรายแต่หลังจากผ่านการทำ OFAT แล้วพบเพียงว่าอุณหภูมิเทน้ำเหล็กและขนาดของรูล้นเท่านั้น ที่ส่งผลกระทบ แต่อีกสองปัจจัยที่เหลือกลับไม่มีผล แสดงให้เห็นว่าในการให้คะแนน ค่า RPN นั้นอาจยังไม่ถูกต้องนัก

2) เนื่องจากค่าที่ได้เป็นค่าที่ดี แต่ยังไม่ใช่ค่าที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากยังมีข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวเกิดอยู่บ้าง หากต้องการค่าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อที่จะให้ได้ของเสียเกิดน้อยที่สุดหรือไม่เกิดขึ้นเลยอาจต้องใช้แนวการออกแบบการทดลองแบบ RSM เพื่อที่จะได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด

3) ในกรณีที่ชิ้นงานมีลักษณะคล้ายกับชิ้นงานตัวอย่าง ควรจะมีการศึกษาเรื่องการเกิดโพรงหดตัว เพื่อที่จะได้ทำการออกแบบระบบป้อนเติมน้ำโลหะและอุณหภูมิที่เหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

1. เสกสรร พลสุวรรณ, 2544, **การลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เกิดจากปัญหาเม็ดผงในกระบวนการพ่นสีรถยนต์**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 37-85.

2. ณัฐพล สินตระการผล, 2543, **การลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องของเพลาข้างรถยนต์ในกระบวนการตีขึ้นรูป**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 1-99.

3. ธนพงศ์ เวชพงศ์, 2543, **การศึกษาสาเหตุและปรับปรุงกระบวนการเจาะเพื่อลดการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องเนื่องจากรูเจาะเกินขนาด**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 1-129.

4. Whitcomb, P.J., 1998, **Make Breakthrough Improvements with Design of Experiments**, **Journal of Quality Technology**, Vol. 34, No. 4, pp. 1-9.

5. มนัส สถิรจินดา, 2538, **เหล็กกล้า,** พิมพ์ครั้งที่ 4, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, หน้า 1-10.

6. สุภชัย ประเสริฐสกุล, **เทคโนโลยีงานหล่อโลหะ เล่ม 1**, ไซน์ แอนด์ เอ็นจีเนียริ่ง, อุบลราชธานี, หน้า 48-97.

7. สุภชัย ประเสริฐสกุล, **เทคโนโลยีงานหล่อโลหะ เล่ม 2**, ไซน์ แอนด์ เอ็นจีเนียริ่ง, อุบลราชธานี, หน้า 197-282.

8. กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2543, **การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA)**, พิมพ์ครั้งที่ 2, สมาคมส่งเสริม เทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, หน้า 185-204.

9. กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2543, **ระบบการควบคุมคุณภาพที่หน้างาน ดิวซีเซอร์เคิล**, พิมพ์ครั้งที่ 3, บริษัท เทคนิคอล แอพโพรช เคาน์เซลลิ่ง แอนด์ เทรนนิ่ง จำกัด, กรุงเทพฯ, หน้า 293-359.

10. กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2545, **สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 2 (ประมวลผลด้วย MINITAB)**, พิมพ์ครั้งที่ 4, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, หน้า 157-332.

11. ปารเมศ ชุติมา, 2545, **การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม**, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์, จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, หน้า 51-250.

12. กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2548, **การออกแบบการทดลอง**, เอกสารประกอบสัมมนา, บริษัท เทคนิคอล แอพโพรช เคาน์เซลลิ่ง แอนด์ เทรนนิ่ง จำกัด ,กรุงเทพฯ, หน้า 2-30.

13. Taguchi, G., 1986, **Introduction to Quality Engineering,** Asian Productivity Organization, UNIPUB, New York, pp. 120-150.

14. ASM International, 1992, **ASM HANDBOOK Volume 15 Casting**, ASM International, United States Of America, pp. 575-614.

15. Phillip, J. Ross., 1989, **Taguchi Techniques for Quality Engineering**, McGraw- Hill Book, New York, pp. 151-164.

16. กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2547, **สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 1 (ประมวลผลด้วย MINITAB)**, พิมพ์ครั้งที่ 5, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, หน้า 221-246.

17. กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2548, **การแก้ไขปัญหาธุรกิจด้วยวิธีทางสถิติ (SPS)**, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, หน้า 135-300.

ภาคผนวก ก

รายละเอียดในการดำเนินการผลิต

ตารางที่ ก.1 การหาที่มาของตัวชี้วัด

ข้อ	รายละเอียด	ปี พ.ศ. 2547	ปี พ.ศ. 2548
1.	งานที่ผลิตทั้งปี	279,304	321,715
2.	จำนวนงานซ่อมทั้งปี	42,072	46,631
3.	คิดเป็นสัดส่วน [(2)/(1)*100]	15.06%	14.49%
4.	เป้าหมายคุณภาพที่กำหนดงานซ่อม	< 12%	< 12%
5.	จำนวนงานที่ซ่อมแล้วบรรลุเป้าหมาย [12/100*(1)]	33,517	38,606
6.	ผลต่างของงานซ่อม [(2)-(5)]	8,555	8,065
7.	จำนวนงานซ่อมโพรงหดตัวของงาน U-Bolt Plate UT005A40A	14,500	11,015
8.	จำนวนงาน U-Bolt Plate UT005A40Aที่ผลิต	108,819	91,433
9.	คิดเป็นสัดส่วน [(7)/(8)*100]	13.32%	12.04%
10	จำนวนงานซ่อมโพรงหดตัวที่อนุญาตให้มีได้แล้วบรรลุเป้าหมาย [(7)-(6)]	5945	2950

ผลรวมในข้อ 10 รวม 2 ปี เท่ากับ 8,895 ชิ้น
ผลรวมงาน U-Bolt Plate UT005A40A ที่ผลิตรวม 2 ปี เท่ากับ 200,252 ชิ้น
คิดเป็นเป้าหมายในการกำหนดตัวชี้วัด (จากการคำนวณ) 8,895/200,252*100 = 4.5%

ในปี 2550 ชิ้นงานรุ่นนี้มีจำนวนสั่งถึง 120,000ชิ้นจากยอดที่จะผลิตงาน 300,000 ชิ้น ซึ่งจากจำนวนสั่งที่มากถึง 40%ของงานที่ผลิตทั้งหมด จึงกำหนดตัวชี้วัดของข้อบกพร่องโพรงหดตัวของงาน U-Bolt Plate UT005A40A ใหม่คือไม่เกิน 5%ของงาน U-Bolt Plate UT005A40A จึงจะสามารถบรรลุเป้าหมายคุณภาพของงานซ่อมรวมของบริษัทฯได้

ตารางที่ ก.2 ตัวอย่างใบบันทึกงานซ่อมประจำวัน

ใบบันทึกงานซ่อมประจำวัน							
รายชื่อผลิตภัณฑ์ ……..							
วันที่	**ลักษณะของข้อบกพร่องที่ทำการซ่อม**						
	เหลื่อม	**ร้าว**	**โพรงหดตัว**	**ทรายตก**	**วิ่งไม่เต็ม**	**เนื้อไม่ประสาน**	**อื่นๆ**

…….. **……**

ผู้บันทึก **หัวหน้าแผนก**

ตารางที่ ก.3 ต้นทุนโสหุ้ยที่ใช้ในการผลิตงาน U-Bolt Plate UT005A40A

ลำดับ	กิจกรรม	ราคา(บาท)/ชิ้น งาน U-Bolt Plate (เดิม)	ราคา(บาท)/ชิ้น งาน U-Bolt Plate (ใหม่)
1	วัสดุ-แบบทราย	3.22	3.22
2	วัสดุ-เตาหลอม	11.1	11.1
3	**ของใช้สิ้นเปลือง**	**23.73**	**5.91**
4	ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	8.15	8.15
5	ค่าแบบไม้	1.82	1.82
6	ค่าภาชนะหีบห่อ	6.16	6.16
7	ค่าอะไหล่ประกอบงาน	0.14	0.14
8	เงินเดือนสำนักงาน	20.15	20.15
9	ค่ารักษาความปลอดภัย	1.33	1.33
10	เงินเดือนโรงงาน	19.67	19.67
11	ค่าซ่อมบำรุง	4.62	4.62
12	ค่าไฟฟ้า	40.0	38.9
13	ค่าน้ำประปา	0.49	0.49
14	ค่าซ่อมรถยก	2.66	2.66
15	ค่าซ่อมเครื่องยิงทราย	0.21	0.21
16	ค่าซ่อมเครื่องเจียร	4.34	4.34
17	ค่ารับรอง	3.71	3.71
18	ค่าโฆษณา	0.56	0.56
19	เครื่องเขียน	0.98	0.98
20	ค่าใช้จ่ายเบ็ดเตล็ด	0.77	0.77
21	ค่าโทรศัพท์	1.4	1.4
22	ค่ายานพาหนะ	3.5	3.5
23	ค่าธรรมเนียมธนาคาร	0.28	0.28
24	สวัสดิการ	3.43	3.43
25	ค่าใช้จ่ายส่งออก	6.3	6.3

26	ค่าประกันสังคม	3.08	3.08
27	ค่าธรรมเนียมอื่นๆ	0.21	0.21
28	ค่าเบี้ยประกันภัย	0.91	0.91
29	ค่าที่ปรึกษา	2.8	2.8
30	ค่าอบรมสัมมนา	0.07	0.07
31	กองทุนเงินทดแทน	1.26	1.26
32	ภาษีเงินได้บุคคลหัก ณ ที่จ่าย	6.72	6.72
33	ซื้อเครื่องมือเครื่องใช้	1.05	1.05
34	ค่า X-Ray	0.07	0.07
35	ค่าสมาชิก	0.07	0.07
36	ค่าเบี้ยปรับภาษี	1.19	1.19
37	ค่าภาษีอากรอื่น	3.43	3.43
38	ขาดทุนจากอัตราแลกเปลี่ยน	2.52	2.52
39	ค่าตรวจสอบ ISO	0.28	0.28
40	ค่าแรงนักศึกษาฝึกงาน	0.14	0.14
41	ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง	3.5	3.5
42	ค่าการกุศล	0.49	0.49
43	ค่าชดเชยความเสียหาย	0.7	0.7
44	ค่าตรวจสอบบัญชี	0.28	0.28
45	ค่าเช่าที่ดิน	1.68	1.68
46	ค่าขนส่ง	0.49	0.49
47	ค่ารักษาหน้าดิน	3.57	3.57
48	ดอกเบี้ยจ่าย O/D	0.07	0.07
49	ดอกเบี้ยจ่าย	0.42	0.42
50	ดอกเบี้ยจ่าย IRP	1.61	1.61
รวม		**117.23**	**98.31**
	ราคา บาท/กิโลกรัม	**16.75**	**14.04**

ตารางเกณฑ์การให้คะแนนสำหรับการวิเคราะห์ถึงผลกระทบ อันเนื่องมาจากลักษณะข้อบกพร่อง

ตารางเกณฑ์การให้คะแนน สำหรับการวิเคราะห์ถึงผลกระทบ อันเนื่องมาจากลักษณะข้อบกพร่อง หรือความผิดพลาดในกระบวนการจะแบ่งออกเป็นสามหมวด ดังต่อไปนี้ คือ

เกณฑ์การประเมินการให้คะแนน ในการกำหนดอัตราของความรุนแรง (Severity) ของผลกระทบของข้อบกพร่อง ดังแสดงในตารางที่ ก.4

เกณฑ์การประเมินการให้คะแนน ในการกำหนดโอกาสในการเกิด(Occurrence)
ข้อบกพร่อง ดังแสดงในตารางที่ ก.5

เกณฑ์การประเมินการให้คะแนน ในการกำหนดโอกาสในการตรวจจับ(Detection)
ข้อบกพร่องด้วยระบบการควบคุมกระบวนการ ดังแสดงในตารางที่ ก.6

ตารางที่ ก.4 เกณฑ์การประเมินการให้คะแนน ในการกำหนดอัตราของความรุนแรง (Severiity : S) ของผลกระทบ

ผลจากข้อบกพร่อง	ความรุนแรงของผลจากข้อบกพร่อง	คะแนน
1. ก่อให้เกิดอันตรายโดยไม่มีการเตือน	อาจทำให้เกิดอันตรายต่อเครื่องจักรหรือพนักงาน ความรุนแรงจะถือว่าสูงมาก ถ้าหากทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยในการใช้งานหรือขัดต่อกฎหมายข้อบกพร่องเกิดขึ้นโดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า	10
2. ก่อให้เกิดอันตรายโดยมีการเตือน	อาจทำให้เกิดอันตรายต่อเครื่องจักรหรือพนักงาน ความรุนแรงจะถือว่ามีค่าสูงมาก ถ้าหากทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยในการใช้งานหรือขัดต่อกฎหมายข้อบกพร่องเกิดขึ้นโดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า	9
3. สูงมาก	มีผลต่อสายการผลิตมาก ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด(100%) อาจจะต้องได้รับการกำจัดทิ้ง เพราะความไม่มีคุณภาพ ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถรับการนำไปใช้งานได้ มีความสูญเสียในสภาวะหน้าที่หลัก ลูกค้ามีความไม่พอใจมาก	8
4. สูง	มีผลต่อการผลิตน้อย ผลิตภัณฑ์อาจต้องผ่านการตรวจสอบแบบคัดเลือก(Sorting) และอาจมีผลิตฑ์บกพร่องบางส่วน (น้อยกว่า 100%) ได้รับการกำจัดทิ้งเพราะไม่มีคุณภาพ ผลิตภัณฑ์สามารถได้รับการนำไปใช้งานได้ด้วยความสามารถที่ลดลง ลูกค้ามีความไม่พอใจ	7
5. ปานกลาง	มีผลต่อการผลิตเล็กน้อย ผลิตภัณฑ์บางส่วน อาจจะต้องได้รับการกำจัดทิ้งเพราะความไม่มีคุณภาพ (โดยไม่มีการคัดเลือก) ผลิตภัณฑ์สามารถได้รับการนำไปใช้งาน แต่ความสะดวกสบายลดน้อยลง ลูกค้าขาดความสะดวก	6
6. ต่ำ	มีผลต่อสายการผลิตเล็กน้อย ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด(100%) อาจต้องได้รับการนำมาทำ(Rework) ผลิตภัณฑ์สามารถได้รับการนำมาใช้งานได้ดี แต่ด้านความสะดวกสบายสามารถได้ด้วยสมรรถนะต่ำลง ลูกค้าไม่ค่อยพอใจ	5
7. ต่ำมาก	มีผลต่อสายการผลิตเล็กน้อย ผลิตภัณฑ์อาจต้องได้รับการคัดเลือก และผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) อาจต้องได้รับการนำมาทำใหม่(Rework)ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์	4

ตารางที่ ก.4 เกณฑ์การประเมินการให้คะแนน ในการกำหนดอัตราของความรุนแรง (Severiity : S) ของผลกระทบ (ต่อ)

ผลจากข้อบกพร่อง	ความรุนแรงของผลจากข้อบกพร่อง	คะแนน
8. เล็กน้อย	มีผลต่อสายการผลิตเล็กน้อย ส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์ (น้อยกว่า 100%)	3
9. เล็กน้อยมาก	มีผลต่อสายการผลิตเล็กน้อย ส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์ (น้อยกว่า 100%)	2
10. ไม่มี	ไม่มีผลกระทบ	1

ตารางที่ ก.5 เกณฑ์การประเมินการให้คะแนน ในการกำหนดโอกาสในการเกิด (Occurrence : O) ข้อบกพร่อง

โอกาสในการเกิดข้อบกพร่อง	อัตราของข้อบกพร่องที่อาจเป็นไปได้	คะแนน
1. สูงมาก : เกิดข้อบกพร่องเสมอ ไม่สามารถหลีกเลี่ยงข้อบกพร่องได้ เป็นส่วนใหญ่	มากกว่า 1 ใน	10
2. สูง : กระบวนการที่คล้ายคลึงกัน มีข้อบกพร่องบ่อย	1 ใน 8	9
	1 ใน 20	8
3. ปานกลาง : กระบวนการ ที่คล้ายคลึงกัน มีข้อบกพร่อง แต่ไม่ถึงกับเกิดขึ้นบ่อยๆ	1 ใน 80	7
	1 ใน 400	5
	1 ใน 2,000	4
4. ต่ำ : มีข้อบกพร่องที่ไม่คุ้นเคย (นานๆเกิดครั้งกับกระบวนการที่คล้ายคลึงกัน	1 ใน 50,000	3
5. ต่ำมาก : มีข้อบกพร่องที่ไม่คุ้นเคยเกิดขึ้นกับกระบวนการ ที่เกือบจะเหมือนกัน	1 ใน 150,000	2
6. ห่างไกล : ไม่มีแนวโน้มของข้อบกพร่อง ไม่เคยเกิดข้อบกพร่องใดๆ กับกระบวนการที่เกือบจะเหมือนกันเลย	น้อยกว่า 1 ใน 1,500,000	1

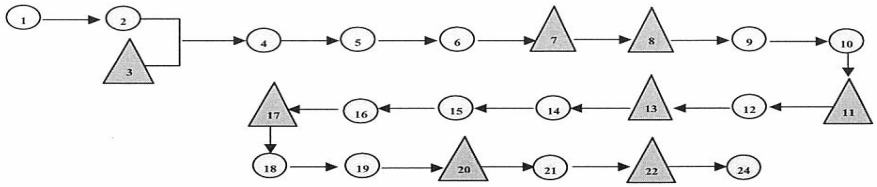
ตารางที่ ก.6 เกณฑ์การประเมินการให้คะแนน ในการกำหนดโอกาสในการตรวจจับ (Detection : D) ข้อบกพร่องด้วยระบบการควบคุมกระบวนการ

การตรวจจับ	**กฎเกณฑ์: โอกาสในการตรวจจับข้อบกพร่องด้วยระบบการควบคุมกระบวนการก่อนที่จะส่งมอบผลิตภัณฑ์ หรือก่อนที่ผลิตภัณฑ์จะออกจากสายการผลิต หรือสายการประกอบ**	**คะแนน**
1. เกือบเป็นไปไม่ได้	ไม่ทราบถึงวิธีการควบคุม ที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง	10
2. ห่างไปมาก	มีโอกาสห่างไกลมาก ที่วิธีการควบคุมจะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง	9
3. ห่างไกล	มีโอกาสห่างไกล ที่วิธีการควบคุมจะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง	8
4. น้อยมาก	มีโอกาสน้อยมาก ที่วิธีการควบคุมจะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง	7
5. น้อย	มีโอกาส ที่วิธีการควบคุมจะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง	6
6. ปานกลาง	มีโอกาสพอสมควร ที่วิธีการควบคุมจะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง	5
7. ค่อนข้างสูง	มีโอกาสค่อนข้างสูงมาก ที่วิธีการควบคุมจะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง	4
8. สูง	มีโอกาสสูง ที่วิธีการควบคุมจะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง	3
9. สูง	มีโอกาสสูงมาก ที่วิธีการควบคุมจะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง	2
10. เกือบแน่นอน	มีโอกาสเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่วิธีการควบคุมจะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง โดยวิธีการที่น่าไว้วางใจนี้จะรับทราบจากกระบวนการที่คล้ายคลึงกัน	1

ตารางที่ ก.7 แผนการควบคุมกระบวนการ (Control Plan)

CONTROL PLAN

Client	Coding No.
Weweler	WWL - 0036
Part Name	**Material**
U - Bolt Plate UT005A40A	AS2074 / C3
Drawing Revision No.	**Wt. / Pcs. Drawing**
Rev. C	7.0 Kgs.



Item	Process Description	M/C Name	Characteristic			Methods				
			No.	Product / Material	Process / Control Point	Control Level	Evaluation Measurement Technique	Frequency / Sample	Control Method	Reaction Plan
1	Raw material Receiving			1.1 Steel Scrap		BS-WI-QC-06	Spectrometer	Every Lot	BS-FO-QC-24	QC Supervisor
				1.2 Bentonite			Certificate		BS-FO-QC-21	
				1.3 Alloy					BS-FO-QC-22	
				1.4 Silica Sand						
				1.5 Sodium Silicate						
				1.6 Dextrin						
2	Green Sand Mixing	MX1			2.1 Sand Mixing	Moisture 4 ± 0.7% By Wt	Scales	Every Batch	BS-FO-PD-03	SP Supervisor
3	Pattern Inspection				3.1 Filler	WS-WWL-0036	Visual & Measuring Equipment	Before Molding	BS-FO-TN-25	TN Supervisor
					3.2 Riser & Gating					
					3.3 Marking					
4	Molding				Hand Molding	Hardness 70 ± 7	Visual	Every Mold	BS-FO-TN-05 BS-FO-TN-24 BS-FO-PD-02	SP Supervisor
5	Melting	IF1-IF4			5.1 Charge Ratio	SPC-BS-0002	Scales	Every Batch	BS-FO-QC-26	ME Supervisor Or Production Manager
					5.2 Tapping Temp	1630 ± 7°C	Thermocouple			
					5.3 Chemical Composition		Spectrometer			
					C	0.22 ± 0.02% By Wt				
					Si	0.45 ± 0.13% By Wt				
					Mn	0.75 ± 0.13% By Wt				
					P	0.02 ± 0.02% By Wt				
					S	0.02 ± 0.02% By Wt				
					Cr	0.15 ± 0.10% By Wt				

Remark : FG = FINISHING AND GAUGING DEPARTMENT FI = FINISHING DEPARTMENT ME = MELTING DEPARTMENT MM = MACHINING DEPARTMENT
QC = INSPECTION AND QUALITY CONTROL DEPARTMENT SP = SAND PROCESSING DEPARTMENT ST = STORE AND DELIVERY DEPARTMENT TN = TECHNIQUE DEPARTMENT

ตารางที่ ก.7 แผนการควบคุมกระบวนการ (Control Plan) (ต่อ)

CONTROL PLAN										
Item	Process Description	M/C Name	Characteristic			Methods				
			No.	Product / Material	Process / Control Point	Control Level	Evaluation Measurement Technique	Frequerrcy / Sample	Control Method	Reaction Plan
6	Pouring				Pouring Temp	1600 ± 4°C	Thermocouple	Every Batch	BS-FO-PD-04	SP Supervisor
					Pouring Time	7 ± 1.4 Sec.				
					Al - Degassing	0.1 ± 0.01% By Wt.	Scale	Every Laddle	BS-FO-QC-26	
7	Properties Inspection				Chemical Composition		Spectrometer	Every Batch		QC Supervisor Or Production Manager
					C	0.22 ± 0.02% By Wt				
					Si	0.45 ± 0.13% By Wt				
					Mn	0.75 ± 0.13% By Wt				
					P	0.02 ± 0.02% By Wt			BS-FO-QC-20	
					S	0.02 ± 0.02% By Wt			BS-FO-QC-26	
					Cu	0.10 ± 0.10% By Wt				
					Ni	0.15 ± 0.10% By Wt				
					Cr	0.15 ± 0.10% By Wt				
					Mo	0.10 ± 0.10% By Wt				
8	Inprocess Inspection				8.1 Appearance Inspection	WS-WWL-0036 & Class 1(Jis G0588)	Visual	Every Pcs.	BS-FO-QC-29	FI Supervisor Or Production Manager
					- Crack					
					- Cold Shut					
					- Burr					
					- Mismatch					
					- Misrun					
					- Etc.					
9	Riser And Gate Cutting				Cutting Riser	WS-WWL-0036	Visual	Every Pcs.	BS-FO-TN-05	FI Supervisor
					Shrinkage	No Defect			BS-FO-TN-24	
									BS-FO-FI-04	
10	Shot Blasting	SB7			Blast Cleaning	20 ± 2 Min	Visual	Every Pcs.	BS-FO-FI-04	FI Supervisor
						WS-WWL-0036				

Remark : FG = FINISHING AND GAUGING DEPARTMENT FI = FINISHING DEPARTMENT ME = MELTING DEPARTMENT MM = MACHINING DEPARTMENT
QC = INSPECTION AND QUALITY CONTROL DEPARTMENT SP = SAND PROCESSING DEPARTMENT ST = STORE AND DELIVERY DEPARTMENT TN = TECHNIQUE DEPARTMENT

ตารางที่ ก.7 แผนการควบคุมกระบวนการ (Control Plan) (ต่อ)

CONTROL PLAN										
Item	Process Description	M/C Name	Characteristic			Methods				
			No.	Product / Material	Process / Control Point	Control Level	Evaluation Measurement Technique	Frequerrcy / Sample	Control Method	Reaction Plan
11	Appearance Inspection				- Crack	WS-WWL-0036 & Class 1(Jis G0588)	Visual	Every Pcs.	BS-FO-QC-29	FI Supervisor Or Production Manager
					- Cold Shut					
					- Burr					
					- Mismatch					
					- Misrun					
					- Shrinkage					
					- Etc.					
12	1 st Grinding And Welding	GR XX			Defective Area	WS-WWL-0036 & Class 1(Jis G0588)	Visual	Every Pcs.	BS-FO-TN-05 BS-FO-TN-24 BS-FO-FI-04	FI Supervisor
		WD XX								
13	Inprocess				- Crack	WS-WWL-0036 & Class 1(Jis G0588)	Visual	Every Pcs.	BS-FO-QC-29	FI Supervisor Or Production Manager
	Inspection (Grinding)				- Cold Shut					
					- Burr					
					- Mismatch					
					- Misrun					
					- Shrinkage					
					- Etc.					
14	Heat Treatment	HT1,HT2			14.1 Temperature	925 ± 20°C	Thermocouple	Every Batch	BS-FO-FI-02 BS-FO-TN-05 BS-FO-TN-24	FI Supervisor
					14.2 Holding Period	3 Hrs.± 15 Min				
15	Shot Blasting	SB6			Blast Cleaning	20 ± 2 Min	Visual	Every Pcs.	BS-FO-FI-04	FG Supervisor
						WS-WWL-0036				
16	2 nd Grinding And Welding	GR XX			Defective Area	BS-WI-PD-09 WT-WWL-0036	Visual	Every Pcs.	BS-FO-TN-05 BS-FO-TN-24 BS-FO-FG-01	FG Supervisor
		WD XX								

Remark : FG = FINISHING AND GAUGING DEPARTMENT FI = FINISHING DEPARTMENT ME = MELTING DEPARTMENT MM = MACHINING DEPARTMENT
QC = INSPECTION AND QUALITY CONTROL DEPARTMENT SP = SAND PROCESSING DEPARTMENT ST = STORE AND DELIVERY DEPARTMENT TN = TECHNIQUE DEPARTMENT

ตารางที่ ก.7 แผนการควบคุมกระบวนการ (Control Plan) (ต่อ)

CONTROL PLAN										
Item	Process Description	M/C Name	Characteristic			Methods				
			No.	Product / Material	Process / Control Point	Control Level	Evaluation Measurement Technique	Frequerrcy / Sample	Control Method	Reaction Plan
17	Inprocess Inspection				- Crack	WS-WWL-0036 & Class 1(Jis G0588)	Visual & Gauge	Every Pcs.	BS-FO-FG-01 BS-FO-TN-05 BS-FO-TN-24	FG Supervisor Or Production Manager
					- Cold Shut					
					- Burr					
					- Mismatch					
					- Misrun					
					- Shrinkage					
					- Etc.					
18	Pressing (If neccesary)	OT10,OT11			Functional No.17	37 ± 0.7°	Dimension Measuring Equipment Jig(Mass Production)	Every Pcs.		FG Supervisor
					Functional No.22	1.2 ± 0.6 mm.				
19	Machining	CNC1,CNC2			Functional No.12	16.43 ± 0.10 mm.	Dimension Measuring Equipment	Every 10 Pcs.	BS-FO-MM-04	MM Supervisor
					Functional No.13	58.18 ± 0.07 mm.			Control Chart	
20	Final Inspection				20.1 Dimension Check	Drawing	Dimension Measuring Equipment	BS-WI-QC-03	BS-FO-QC-05	QC Supervisor Or Production Manager
					20.2 Chemical	AS2074/C3	Spectrometer		BS-FO-QC-20	
					20.3 Mechanical	Up to Customer Requirement	3rd Party.	To be agreed	Certificate	
					20.4 Radiography					
					20.5 Ultrasonic					
					20.6 Magnatic					
					20.7 Penetant					
21	Coating				Oil Dipping	WS-WWL-0036	Visual	Every Pcs.	-	ST Supervisor
22	Coating Inspection				To be Agreed	-	-	-	-	ST Supervisor
23	Store				Packing	80 Pcs./Case	Visual	Every Pcs.	-	ST Supervisor

Remark : FG = FINISHING AND GAUGING DEPARTMENT FI = FINISHING DEPARTMENT ME = MELTING DEPARTMENT MM = MACHINING DEPARTMENT
QC = INSPECTION AND QUALITY CONTROL DEPARTMENT SP = SAND PROCESSING DEPARTMENT ST = STORE AND DELIVERY DEPARTMENT TN = TECHNIQUE DEPARTMENT

ตารางที่ ก.8 แบบฟอร์มใบบันทึกการผสมทราย

BPS BURAPA STEEL	ใบบันทึกการผสมทราย							วันที่...../...../.....	โม่เบอร์.....
โม่ที่	ทรายแก้ว	น้ำแก้ว	แป้งเหลือง	เบนโทไนต์	น้ำ	เวลาโม่		COMPACT.	ผู้โม่
						เริ่ม	เสร็จ		

EFF. DATE : 16/08/46 BS-FO-PD-03

REV. : 0

BPS BURAPA STEEL	ใบบันทึกการผสมทราย							วันที่...../...../.....	โม่เบอร์.....
โม่ที่	ทรายแก้ว	น้ำแก้ว	แป้งเหลือง	เบนโทไนต์	น้ำ	เวลาโม่		COMPACT.	ผู้โม่
						เริ่ม	เสร็จ		

EFF. DATE : 16/08/46 BS-FO-PD-03

REV. : 0

ตารางที่ ก.9 ใบบันทึกการตรวจสอบกระสวน

BPS
BURAPA STEEL

ผลการตรวจสอบ PATTERN จากผู้ส่งมอบ

วันที่.....เดือน.....ปี.....

ชื่อผู้ส่งมอบ ..... ชื่อชิ้นงาน ..... O/D .....

ชื่อลูกค้า ..... รหัส ..... DWG.No. ..... REV. .....

ชนิด Pattern / วัสดุ	กล่องไส้แบบ / วัสดุ	กำหนดส่งจากผู้ส่งมอบ
☐ เป็นตัว ☐ ไม้	☐ มี ☐ ไม่มี	กำหนดส่ง .....
☐ ติดเพลท ☐ อลูมิเนียม	☐ ไม้ ☐ อลูมิเนียม	ส่งจริง .....
☐ อื่นๆ ..... ☐ อื่นๆ	☐ อื่นๆ	หมายเหตุ .....
จำนวน ..... ชิ้น / ชุด	จำนวน ..... ชิ้น / ชุด	.....

ผลการตรวจสอบ

☐ ไม่ต้องแก้ไข ☐ แก้ไขโดยผู้ส่งมอบ ระยะเวลาในการแก้ไข ..... วัน

☐ ต้องแก้ไข ☐ แก้ไขโดยบูรพาเหล็กกล้า แรงงาน ..... คน เสร็จ ...../...../.....

หมายเหตุ .....

.....

รายละเอียดการแก้ไข

ผู้ตรวจสอบ	แผนกเทคนิคการผลิต	แผนกจัดซื้อรับสำนา
(.....)	(.....)	(.....)
...../...../.....	...../...../.....	...../...../.....

EFF.DATE : 26/08/49
REV. : 0

BS-FO-TN-25

ตารางที่ ก.10 ใบบันทึกการหลอมเหล็ก

BPS
BURAPA STEEL

FURNACE OPERATION SHEET

Specification..... **Date**...../...../.....

Furnace No. .....**Heat No.** .....

Charge	Raw Material	WT. Kgs.	A.J.	Time of Charing
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
TOTAL				**End**

Power Consumption

Power.....Kw / hr.

Tapping Temp.....C

Chemical Composition

Element	# 1	# 2	# 3	
% C				
% Si				
% Mn				
% P				
% S				
% Ni				
% Cr				
% Mo				
% Cu				

Remarks

(LAB INSPECTOR) (CHIEF OF QC.)

EFF. DATE : 16/08/46 BS-FO-QC-26

REV.: 0

ภาคผนวก ข

ตารางการออกแบบทดลองและผลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 ตารางแผนการทดลองการทดสอบการวัด

ลำดับการทดลอง	หมายเลขชิ้นงาน	พนักงาน	ลำดับการทดลอง	หมายเลขชิ้นงาน	พนักงาน
1	15	วิษณุ	41	3	เกษมสันต์
2	15	เกษมสันต์	42	15	เกษมสันต์
3	4	วิษณุ	43	2	วิษณุ
4	20	เกษมสันต์	44	5	เกษมสันต์
5	2	วิษณุ	45	9	เกษมสันต์
6	10	เกษมสันต์	46	3	วิษณุ
7	6	วิษณุ	47	13	เกษมสันต์
8	3	วิษณุ	48	1	วิษณุ
9	14	เกษมสันต์	49	12	วิษณุ
10	16	วิษณุ	50	10	เกษมสันต์
11	1	เกษมสันต์	51	14	วิษณุ
12	5	วิษณุ	52	6	เกษมสันต์
13	16	เกษมสันต์	53	16	วิษณุ
14	12	เกษมสันต์	54	2	เกษมสันต์
15	3	เกษมสันต์	55	7	เกษมสันต์
16	4	วิษณุ	56	13	วิษณุ
17	8	วิษณุ	57	9	วิษณุ
18	1	เกษมสันต์	58	4	เกษมสันต์
19	14	เกษมสันต์	59	11	เกษมสันต์
20	11	เกษมสันต์	60	19	วิษณุ
21	7	วิษณุ	61	16	เกษมสันต์
22	17	เกษมสันต์	62	17	วิษณุ
23	19	วิษณุ	63	1	วิษณุ
24	10	เกษมสันต์	64	9	เกษมสันต์
25	2	เกษมสันต์	65	5	เกษมสันต์
26	4	วิษณุ	66	8	เกษมสันต์
27	13	วิษณุ	67	15	วิษณุ

ตารางที่ ข.1 ตารางแผนการทดลองการทดสอบการวัด (ต่อ)

ลำดับการทดลอง	หมายเลขชิ้นงาน	พนักงาน	ลำดับการทดลอง	หมายเลขชิ้นงาน	พนักงาน
28	8	เกษมสันต์	68	7	เกษมสันต์
29	6	เกษมสันต์	69	20	วิษณุ
30	20	วิษณุ	70	13	เกษมสันต์
31	12	เกษมสันต์	71	12	วิษณุ
32	17	วิษณุ	72	17	เกษมสันต์
33	18	เกษมสันต์	73	10	วิษณุ
34	9	วิษณุ	74	18	เกษมสันต์
35	7	วิษณุ	75	11	วิษณุ
36	20	เกษมสันต์	76	14	วิษณุ
37	18	วิษณุ	77	19	เกษมสันต์
38	5	วิษณุ	78	8	วิษณุ
39	19	เกษมสันต์	79	6	วิษณุ
40	11	วิษณุ	80	18	วิษณุ

ตารางที่ ข.2 ตารางการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab และผลการทดลองระหว่างขนาดของรูล้น (ที่ระดับ เก่า และ ใหม่) และอุณหภูมิในการเทน้ำเหล็ก (ที่ระดับ 1560 และ 1600 องศาเซลเซียส) กรณี สองปัจจัยและสองระดับ

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	อุณหภูมิ	ขนาดรูล้น	ผล
92	1	1	1	1600	ใหม่	0
104	2	1	1	1600	ใหม่	0
28	3	1	1	1600	ใหม่	0
43	4	1	1	1600	เก่า	0
96	5	1	1	1600	ใหม่	0
182	6	1	1	1560	ใหม่	1
42	7	1	1	1560	ใหม่	1
29	8	1	1	1560	เก่า	1
145	9	1	1	1560	เก่า	1
103	10	1	1	1600	เก่า	0
196	11	1	1	1600	ใหม่	0
44	12	1	1	1600	ใหม่	0
6	13	1	1	1560	ใหม่	1
142	14	1	1	1560	ใหม่	1
33	15	1	1	1560	เก่า	1
117	16	1	1	1560	เก่า	1
67	17	1	1	1600	เก่า	0
27	18	1	1	1600	เก่า	1
70	19	1	1	1560	ใหม่	1
61	20	1	1	1560	เก่า	1
143	21	1	1	1600	เก่า	0
187	22	1	1	1600	เก่า	0
22	23	1	1	1560	ใหม่	0
48	24	1	1	1600	ใหม่	0
110	25	1	1	1560	ใหม่	0
152	26	1	1	1600	ใหม่	0

ตารางที่ ข.2 ตารางการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	อุณหภูมิ	ขนาดรูล้น	ผล
133	27	1	1	1560	เก่า	1
129	28	1	1	1560	เก่า	1
183	29	1	1	1600	เก่า	0
189	30	1	1	1560	เก่า	1
119	31	1	1	1600	เก่า	0
171	32	1	1	1600	เก่า	0
12	33	1	1	1600	ใหม่	0
73	34	1	1	1560	เก่า	1
130	35	1	1	1560	ใหม่	1
132	36	1	1	1600	ใหม่	0
100	37	1	1	1600	ใหม่	0
191	38	1	1	1600	เก่า	0
63	39	1	1	1600	เก่า	0
169	40	1	1	1560	เก่า	1
164	41	1	1	1600	ใหม่	0
98	42	1	1	1560	ใหม่	1
158	43	1	1	1560	ใหม่	1
55	44	1	1	1600	เก่า	0
149	45	1	1	1560	เก่า	1
168	46	1	1	1600	ใหม่	0
47	47	1	1	1600	เก่า	0
87	48	1	1	1600	เก่า	0
121	49	1	1	1560	เก่า	1
18	50	1	1	1560	ใหม่	1
50	51	1	1	1560	ใหม่	1
157	52	1	1	1560	เก่า	1
194	53	1	1	1560	ใหม่	0
45	54	1	1	1560	เก่า	1

ตารางที่ ข.2 ตารางการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	อุณหภูมิ	ขนาดรูล้น	ผล
198	55	1	1	1560	ใหม่	1
35	56	1	1	1600	เก่า	0
154	57	1	1	1560	ใหม่	1
16	58	1	1	1600	ใหม่	0
136	59	1	1	1600	ใหม่	0
188	60	1	1	1600	ใหม่	0
39	61	1	1	1600	เก่า	0
74	62	1	1	1560	ใหม่	1
3	63	1	1	1600	เก่า	0
147	64	1	1	1600	เก่า	0
116	65	1	1	1600	ใหม่	0
135	66	1	1	1600	เก่า	0
8	67	1	1	1600	ใหม่	0
83	68	1	1	1600	เก่า	0
185	69	1	1	1560	เก่า	1
195	70	1	1	1600	เก่า	0
9	71	1	1	1560	เก่า	1
118	72	1	1	1560	ใหม่	1
82	73	1	1	1560	ใหม่	1
71	74	1	1	1600	เก่า	0
91	75	1	1	1600	เก่า	0
80	76	1	1	1600	ใหม่	0
7	77	1	1	1600	เก่า	1
11	78	1	1	1600	เก่า	0
174	79	1	1	1560	ใหม่	1
165	80	1	1	1560	เก่า	1
139	81	1	1	1600	เก่า	0
81	82	1	1	1560	เก่า	1

ตารางที่ ข.2 ตารางการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	อุณหภูมิ	ขนาดรูล้น	ผล
93	83	1	1	1560	เก่า	1
75	84	1	1	1600	เก่า	0
23	85	1	1	1600	เก่า	0
94	86	1	1	1560	ใหม่	1
109	87	1	1	1560	เก่า	1
84	88	1	1	1600	ใหม่	0
26	89	1	1	1560	ใหม่	1
175	90	1	1	1600	เก่า	0
4	91	1	1	1600	ใหม่	0
144	92	1	1	1600	ใหม่	0
40	93	1	1	1600	ใหม่	0
52	94	1	1	1600	ใหม่	0
172	95	1	1	1600	ใหม่	0
176	96	1	1	1600	ใหม่	0
193	97	1	1	1560	เก่า	1
127	98	1	1	1600	เก่า	0
95	99	1	1	1600	เก่า	0
53	100	1	1	1560	เก่า	1
46	101	1	1	1560	ใหม่	1
179	102	1	1	1600	เก่า	1
101	103	1	1	1560	เก่า	1
34	104	1	1	1560	ใหม่	1
79	105	1	1	1600	เก่า	0
86	106	1	1	1560	ใหม่	1
41	107	1	1	1560	เก่า	1
1	108	1	1	1560	เก่า	1
166	109	1	1	1560	ใหม่	1
24	110	1	1	1600	ใหม่	0

ตารางที่ ข.2 ตารางการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	อุณหภูมิ	ขนาดรูล้น	ผล
60	111	1	1	1600	ใหม่	0
13	112	1	1	1560	เก่า	1
200	113	1	1	1600	ใหม่	0
68	114	1	1	1600	ใหม่	0
31	115	1	1	1600	เก่า	1
59	116	1	1	1600	เก่า	0
107	117	1	1	1600	เก่า	0
69	118	1	1	1560	เก่า	1
156	119	1	1	1600	ใหม่	0
106	120	1	1	1560	ใหม่	1
184	121	1	1	1600	ใหม่	0
124	122	1	1	1600	ใหม่	1
58	123	1	1	1560	ใหม่	1
54	124	1	1	1560	ใหม่	1
32	125	1	1	1600	ใหม่	0
89	126	1	1	1560	เก่า	1
162	127	1	1	1560	ใหม่	1
150	128	1	1	1560	ใหม่	1
17	129	1	1	1560	เก่า	1
180	130	1	1	1600	ใหม่	0
138	131	1	1	1560	ใหม่	1
78	132	1	1	1560	ใหม่	1
140	133	1	1	1600	ใหม่	0
123	134	1	1	1600	เก่า	0
57	135	1	1	1560	เก่า	1
155	136	1	1	1600	เก่า	1
131	137	1	1	1600	เก่า	0
141	138	1	1	1560	เก่า	1

ตารางที่ ข.2 ตารางการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	อุณหภูมิ	ขนาดรูล้น	ผล
177	139	1	1	1560	เก่า	1
77	140	1	1	1560	เก่า	0
38	141	1	1	1560	ใหม่	1
120	142	1	1	1600	ใหม่	0
125	143	1	1	1560	เก่า	1
115	144	1	1	1600	เก่า	0
30	145	1	1	1560	ใหม่	1
102	146	1	1	1560	ใหม่	1
167	147	1	1	1600	เก่า	0
170	148	1	1	1560	ใหม่	1
146	149	1	1	1560	ใหม่	1
128	150	1	1	1600	ใหม่	0
65	151	1	1	1560	เก่า	1
114	152	1	1	1560	ใหม่	1
20	153	1	1	1600	ใหม่	0
178	154	1	1	1560	ใหม่	1
49	155	1	1	1560	เก่า	1
64	156	1	1	1600	ใหม่	0
134	157	1	1	1560	ใหม่	1
197	158	1	1	1560	เก่า	1
14	159	1	1	1560	ใหม่	1
21	160	1	1	1560	เก่า	1
186	161	1	1	1560	ใหม่	1
151	162	1	1	1600	เก่า	0
199	163	1	1	1600	เก่า	0
76	164	1	1	1600	ใหม่	0
15	165	1	1	1600	เก่า	1
160	166	1	1	1600	ใหม่	0

ตารางที่ ข.2 ตารางการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	อุณหภูมิ	ขนาดรูล้น	ผล
108	167	1	1	1600	ใหม่	0
19	168	1	1	1600	เก่า	1
161	169	1	1	1560	เก่า	1
10	170	1	1	1560	ใหม่	1
190	171	1	1	1560	ใหม่	1
181	172	1	1	1560	เก่า	1
192	173	1	1	1600	ใหม่	0
25	174	1	1	1560	เก่า	1
85	175	1	1	1560	เก่า	1
112	176	1	1	1600	ใหม่	0
2	177	1	1	1560	ใหม่	1
126	178	1	1	1560	ใหม่	1
153	179	1	1	1560	เก่า	1
111	180	1	1	1600	เก่า	0
36	181	1	1	1600	ใหม่	0
173	182	1	1	1560	เก่า	1
159	183	1	1	1600	เก่า	0
137	184	1	1	1560	เก่า	1
66	185	1	1	1560	ใหม่	1
90	186	1	1	1560	ใหม่	1
97	187	1	1	1560	เก่า	1
122	188	1	1	1560	ใหม่	1
148	189	1	1	1600	ใหม่	1
163	190	1	1	1600	เก่า	0
88	191	1	1	1600	ใหม่	0
113	192	1	1	1560	เก่า	1
51	193	1	1	1600	เก่า	1
37	194	1	1	1560	เก่า	1

ตารางที่ ข.2 ตารางการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	อุณหภูมิ	ขนาดรูล้น	ผล
56	195	1	1	1600	ใหม่	0
99	196	1	1	1600	เก่า	0
5	197	1	1	1560	เก่า	1
62	198	1	1	1560	ใหม่	1
72	199	1	1	1600	ใหม่	0
105	200	1	1	1560	เก่า	1

หมายเหตุ ผล คือตัวแปรตอบสนอง

1 หมายถึง ชิ้นงานที่มีโพรงหดตัว

0 หมายถึง ชิ้นงานที่ไม่มีโพรงหดตัวหรือมีลักษณะอื่นที่ไม่ใช่โพรงหดตัว

ตารางที่ ข.3 การติดตามผลข้อมูลของชิ้นงาน U-Bolt Plate UT005A40A ในข้อบกพร่องโพรงหดตัว

วัน/เดือน/ปี	กลุ่มย่อยที่	ขนาดกรุ๊ป	จำนวนของเสีย	P
18/12/2549	1	400	8	0.02
19/12/2549	2	400	7	0.018
20/12/2549	3	400	12	0.03
21/12/2549	4	400	11	0.028
22/12/2549	5	400	10	0.025
23/12/2549	6	400	9	0.023
25/12/2549	7	400	8	0.02
26/12/2549	8	400	9	0.023
27/12/2549	9	400	6	0.015
3/1/2550	10	400	10	0.025
4/1/2550	11	400	9	0.023
5/1/2550	12	400	9	0.023
6/1/2550	13	400	8	0.02
8/1/2550	14	400	7	0.018
9/1/2550	15	400	7	0.018
10/1/2550	16	400	9	0.023
11/1/2550	17	400	12	0.03
12/1/2550	18	400	11	0.028
13/1/2550	19	400	12	0.03
15/1/2550	20	400	10	0.025
16/1/2550	21	400	9	0.023
17/1/2550	22	400	8	0.02
18/1/2550	23	400	9	0.023
19/1/2550	24	400	9	0.023
20/1/2550	25	400	9	0.023
รวม		**10,000**	**228**	**0.0228**

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นายสุรธวัช จินาพันธ์
วัน เดือน ปีเกิด	14 มีนาคม 2522
ประวัติการศึกษา	
ระดับมัธยมศึกษา	ประโยคมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนพิจิตรพิทยาคม พ.ศ. 2539
ระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พ.ศ. 2543
ระดับปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคุณภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2549
ประวัติการทำงาน	วิศวกรโรงงาน บริษัท บูรพาเหล็กกล้า จำกัด พ.ศ. 2543 – 2545
	ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่ายผลิต บริษัท บูรพาเหล็กกล้า จำกัด พ.ศ. 2545 – 2547
	ผู้จัดการฝ่ายผลิต บริษัท บูรพาเหล็กกล้า จำกัด พ.ศ. 2547 - ปัจจุบัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ข้อตกลงว่าด้วยการโอนลิขสิทธิ์ในโครงงานวิจัยอุตสาหกรรม

วันที่…**30**……เดือน……**เมษายน**……พ.ศ……**2550**……

ข้าพเจ้า(นาย/~~นาง/นางสาว~~)…….**สุรธวัช จินาพันธ์**……. รหัสประจำตัว ……**47431018**…….
เป็นนักศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ระดับปริญญา ☑ โท ☐ เอก
หลักสูตร… ….**วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**……สาขาวิชา……..…..**วิศวกรรมคุณภาพ**..……....
คณะ…....**วิศวกรรมศาสตร์**.....…อยู่บ้านเลขที่….**170/5**….หมู่ที่….**1**…..ตรอก/ซอย…-…ถนน.....**กาญจนาภิเษก**……...….
ตำบล/แขวง.....**บางไผ่**…..อำเภอ/เขต….**บางแค**….จังหวัด….**กรุงเทพมหานคร**.....รหัสไปรษณีย์.…**10160**.....ขอโอนลิขสิทธิ์
ในโครงงานวิจัยอุตสาหกรรมให้ไว้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีโดยมี....**รศ.ดร.เอก ไชยสวัสดิ์**…….
ตำแหน่ง…….**คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์**….....เป็นผู้รับโอนลิขสิทธิ์และมีข้อตกลงดังนี้

1. ข้าพเจ้าได้จัดทำวิทยานิพนธ์เรื่อง.....**การลดข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวในชิ้นส่วนงานหล่อของช่วงล่างรถบรรทุก**...ซึ่งในความควบคุมของ **ผศ.พจมาน เตียวัฒนรัฐติกาล ตามมาตรา** 14 แห่ง พ.ร.บ. ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 และถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

2. ข้าพเจ้าตกลงโอนลิขสิทธิ์จากผลงานทั้งหมดที่เกิดจากการสร้างสรรค์ของข้าพเจ้าในโครงงานวิจัยอุตสาหกรรมให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตลอดอายุแห่งการคุ้มครองลิขสิทธิ์ตามมาตรา 23 แห่งพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ตั้งแต่วันที่ได้รับอนุมัติโครงร่างวิทยานิพนธ์จากมหาวิทยาลัย

3. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำโครงงานวิจัยอุตสาหกรรมไปใช้ในการเผยแพร่ในสื่อใด ๆ ก็ตาม ข้าพเจ้าจะต้องระบุว่าเป็นโครงงานวิจัยอุตสาหกรรมเป็นผลงานของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีทุก ๆ ครั้งที่มีการเผยแพร่

4. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำโครงงานวิจัยอุตสาหกรรมไปเผยแพร่หรืออนุญาตให้ผู้อื่นทำซ้ำหรือดัดแปลงหรือเผยแพร่ต่อสาธารณชนหรือกระทำการอื่นใดตามมาตรา 27, มาตรา 28 และมาตรา 29 และมาตรา 30 แห่งพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดยมีค่าตอบแทนในเชิงธุรกิจ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ลงชื่อ…….…… ผู้โอนลิขสิทธิ์
(นายสุรธวัช จินาพันธ์)

ลงชื่อ…… ผู้รับโอนลิขสิทธิ์
(รศ.ดร.เอก ไชยสวัสดิ์)

ลงชื่อ……พยาน
(รศ.ดร.บวรโชค ผู้พัฒน์)

ลงชื่อ…...……พยาน
(ผศ.พจมาน เตียวัฒนรัฐติกาล)

21 พ.ค. 2550

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ข้อตกลงว่าด้วยการโอนลิขสิทธิ์ในโครงงานวิจัยอุตสาหกรรม

วันที่...30.....เดือน.....เมษายน.....พ.ศ.....2550.....

ข้าพเจ้า(นาย/~~นาง/นางสาว~~).....**สุรธวัช จินาพันธ์**..... รหัสประจำตัว .....**47431018**.....
เป็นนักศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ระดับปริญญา ☑ โท ☐ เอก
หลักสูตร... ....**วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**.....สาขาวิชา.....**วิศวกรรมคุณภาพ**.....
ะ.....**วิศวกรรมศาสตร์**.....อยู่บ้านเลขที่....**170/5**....หมู่ที่....**1**.....ตรอก/ซอย...-...ถนน.....**กาญจนาภิเษก**.....
บล/แขวง.....**บางไผ่**.....อำเภอ/เขต....**บางแค**....จังหวัด....**กรุงเทพมหานคร**.....รหัสไปรษณีย์.....**10160**.....**ขอโอนลิขสิทธิ์**
โครงงานวิจัยอุตสาหกรรมให้ไว้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีโดยมี....**รศ.ดร.เอก ไชยสวัสดิ์**.....
แหน่ง.....**คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์**.....เป็นผู้รับโอนลิขสิทธิ์และมีข้อตกลงดังนี้

1. ข้าพเจ้าได้จัดทำวิทยานิพนธ์เรื่อง.....**การลดข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวในชิ้นส่วนงานหล่อของช่วงล่าง**
บรรทุก...ซึ่งในความควบคุมของ **ผศ.พจมาน เตียวัฒนรัฐติกาล ตามมาตรา** 14 แห่ง พ.ร.บ. ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 และถือว่า
นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

2. ข้าพเจ้าตกลงโอนลิขสิทธิ์จากผลงานทั้งหมดที่เกิดจากการสร้างสรรค์ของข้าพเจ้าในโครงงานวิจัยอุตสาหกรรม
กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตลอดอายุแห่งการคุ้มครองลิขสิทธิ์ตามมาตรา 23 แห่งพระราชบัญญัติ
ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ตั้งแต่วันที่ได้รับอนุมัติโครงร่างวิทยานิพนธ์จากมหาวิทยาลัย

3. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำโครงงานวิจัยอุตสาหกรรมไปใช้ในการเผยแพร่ในสื่อใด ๆ ก็ตาม ข้าพเจ้าจะต้อง
ระบุว่าเป็นโครงงานวิจัยอุตสาหกรรมเป็นผลงานของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีทุก ๆ ครั้งที่มีการเผยแพร่

4. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำโครงงานวิจัยอุตสาหกรรมไปเผยแพร่หรืออนุญาตให้ผู้อื่นทำซ้ำหรือดัดแปลงหรือ
เผยแพร่ต่อสาธารณชนหรือกระทำการอื่นใดตามมาตรา 27, มาตรา 28 และมาตรา 29 และมาตรา 30 แห่งพระราชบัญญัติ
ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดยมีค่าตอบแทนในเชิงธุรกิจ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ลงชื่อ..... ผู้โอนลิขสิทธิ์
(นายสุรธวัช จินาพันธ์)

ลงชื่อ..... ผู้รับโอนลิขสิทธิ์
(รศ.ดร.เอก ไชยสวัสดิ์)

ลงชื่อ.....พยาน
(รศ.ดร.บวรโชค ผู้พัฒน์)

ลงชื่อ.....พยาน
(ผศ.พจมาน เตียวัฒนรัฐติกาล)