

การลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นสำหรับโครงหลังคาเหล็กถาวรกระเบื้อง

นางสาวชมพูนุท เต็มสายทอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR) are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

Defective Reduction in Metal Sheet Forming Process for Pick Up Metal Roof

Miss Chompunoot Termsaithong

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

Department of Industrial Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นสำหรับ
โครงหลังคาเหล็กถาวร

โดย

นางสาวชมพูนุท เต็มสายทอง

สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสดวงศ์ โรจนโรวรรณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้ฉันวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรฤกษ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมภรณ์พิลาศ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสดวงศ์ โรจนโรวรรณ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพ็ชร์)

ชมพูนุท เต็มสายทอง : การลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นสำหรับโครงหลังคาเหล็กถาวรกระบะ. (Defective Reduction in Metal Sheet Forming Process for Pick Up Metal Roof) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ศศ.ดร.นภัสดวงศ์ โรจนโรวรรณ, 214 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการลดสัดส่วนของเสีย และมูลค่าความสูญเสียที่เกิดจากการแก้ไขและกำจัดชิ้นงานที่เกิดจากข้อบกพร่อง 2 ชนิด ได้แก่ ครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว ซึ่งข้อบกพร่องทั้งสองมีสัดส่วนของเสียเท่ากับ 71.80 % และ 77.11 % ตามลำดับ โดยการดำเนินงานได้ใช้หลักการซิกซ์ ซิกม่าในการปรับปรุงกระบวนการ โดยมีเป้าหมายที่จะลดสัดส่วนของเสียอย่างน้อย 50 % จากการผลิตปัจจุบัน

ในการดำเนินงานวิจัยด้วยวิธีซิกซ์ ซิกม่าประกอบด้วย 5 ขั้นตอน เริ่มจากระยะการนิยามปัญหาได้ศึกษาสภาพปัญหา กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตการปรับปรุง ในระยะการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ได้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับข้อมูลเชิงคุณลักษณะ ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ความมั่นคงและความเที่ยงของระบบการวัด และการวัดประสิทธิผลของระบบการวัด แล้ววิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตในปัจจุบัน จากนั้นทำการระดมสมองหาปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลต่อข้อบกพร่องครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว โดยใช้แผนภาพและตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล และการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาได้ทำการออกแบบการทดลองในปัจจัยคุณลักษณะ จากนั้นในระยะการปรับปรุงแก้ไขปัญหาได้ทำการปรับปรุงปัจจัยแปรผัน เพื่อให้ค่าสัดส่วนของเสียมีค่าน้อยที่สุด และระยะสุดท้าย คือ ระยะการทดสอบยืนยันผลและติดตามควบคุม ได้ทำการทดสอบยืนยันผลเป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยได้จัดทำแผนควบคุมและมาตรฐานการปฏิบัติงานเพื่อควบคุมกระบวนการหลังการปรับปรุงหลังจากการปรับปรุงสามารถลดสัดส่วนของเสียในข้อบกพร่องครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวเหลือ 20 % และ 11 % จากสัดส่วนของเสียเดิม 71.80 % และ 77.11 % ตามลำดับ และสามารถลดมูลค่าความสูญเสียได้ 462,135 บาท ต่อการผลิต 12,798 ชิ้น หรือคิดเป็น 554,562 บาทต่อปี

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหกรรม..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมอุตสาหกรรม..... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา.....2554.....

5270745021 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: SIX SIGMA/ ATTRIBUTE DATA/ METAL SHEET FORMING/ WRINKLING/
OUT OF STANDARD

CHOMPUNOOT TERMSAITHONG: DEFECTIVE REDUCTION IN METAL SHEET
FORMING FOR PICK UP METAL ROOF. ADVISOR: ASST. PROF.
NAPASSAVONG ROJANAROWAN, PhD., 214 pp.

The objective of this thesis is to reduce defective rate and total defective cost due to wrinkling and out of standard defects, which have 71.80 % and 77.11 % defective rate respectively. This thesis applies the Six Sigma approach with the aim to reduce 50 % of defective rate.

This thesis applied Six Sigma approach, which consisted of 5 phases. In the define phase, the problem, objective and scope were defined. Next, in the measure phase, attribute agreement analysis was evaluated for accuracy, precision and effectiveness of the measurement system. Then, process capability analysis was performed and possible causes of wrinkling and out of standard were brainstormed and analyzed in the cause and effect diagram, cause and effect matrix and failure mode and effects analysis (FMEA). In the analysis phase, the design of experiment was applied to test significant attribute factors affecting the defective. Next, in the improvement phase, variable factors were improved to yield the smallest proportion of defective. Finally, in control phase, confirmatory experiment was performed for 2 weeks. Moreover, the new control plan and work instruction were developed in order to control the process after improvement.

The improvement result was the defective rate of wrinkling and out of standard was decreased from 71.80 % and 77.11 % to 20 % and 11 % respectively. This reduction led to the net saving of 462,135 baht from 12,798 produced pieces or equivalent to 554,662 baht per year.

Department: INDUSTRIAL ENGINEERING..

Student's Signature:.....

Field of study: INDUSTRIAL ENGINEERING

Advisor's Signature:.....

Academic Year:..... 2011

กิติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องด้วยความช่วยเหลือ และการเสียสละเวลาในการฝึกฝน รวมถึงการให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสดวงศ์ โรจนโรวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอถือโอกาสนี้กราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมภรณ์พิลาศ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย และรองศาสตราจารย์สมชาย พวงเพิกศรี กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณโรงงานกรณีศึกษาสำหรับความกรุณาให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ ความร่วมมือในการทำแบบสอบถามต่าง ๆ และการสัมภาษณ์ ซึ่งขณะทำงานได้ให้ข้อคิดเห็นเพื่อทำการระดมสมองและร่วมสนับสนุนการทดลองเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและญาติพี่น้องที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจ โดยเฉพาะแรงบันดาลใจจากบิดา ซึ่งทำให้ผู้วิจัยมีความอดทนและไม่ย่อท้อต่อการทำวิจัยนี้และขอขอบคุณสำหรับกำลังใจจากเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่ไม่ได้กล่าวถึงมา ณ ที่นี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ประวัติความเป็นมาและรายละเอียดโรงงานที่ศึกษา.....	2
1.2.1 ข้อมูลทั่วไปของบริษัท.....	2
1.2.2 ผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตของโรงงานตัวอย่างที่ศึกษา.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	6
1.4 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย.....	6
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	6
1.6 เวลาที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย.....	9
1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	10
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	10
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.1 ชิکشชิกม่า (Six Sigma).....	11
2.1.1 ประวัติของ Six Sigma.....	11
2.1.2 ความหมายของชิکشชิกม่า.....	12
2.1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากระบบชิکشชิกม่า.....	14
2.1.4 การปรับปรุงคุณภาพการผลิตด้วยวิธีการของชิکشชิกม่า.....	16
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับโลหะ.....	31

	หน้า
2.2.1 คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ	32
2.2.2 คุณสมบัติของธาตุต่าง ๆ ที่ผสมในเหล็ก	35
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการขึ้นรูปโลหะแผ่น	36
บทที่ 3 การนิยามปัญหา	48
3.1 การกำหนดทีมงานในการทำงาน	48
3.2 การศึกษากระบวนการผลิต	49
3.3 สภาพปัญหาในปัจจุบัน	52
3.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	66
3.5 ขอบเขตของการวิจัย	66
3.6 สรุปผลขั้นตอนการนิยามปัญหา	66
3.7 Project Charter	67
บทที่ 4 การวัดและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัญหา	68
4.1 การวิเคราะห์ความมั่นคงและความเที่ยงของระบบการวัด	68
4.1.1 การตรวจสอบชิ้นงานและมาตรฐานการตรวจสอบ	68
4.1.2 การวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ	71
4.2 การประเมินความสามารถของกระบวนการ	88
4.2.1 ความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องครีบย่น	88
4.2.1 ความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่อง ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว	89
4.3 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า (Key ProcessInputVariable)	98
4.3.1 การระดมความคิดจากผังก้างปลาหรือผังสาเหตุและผล (Fish Bone Diagrame or Cause andEffectDiagram)	99
4.4 การวิเคราะห์ปัญหาจากตารางแสดงความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause andEffect Matrix)	102
4.5 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and EffectsAnalysis)	117
4.6 สรุประยะการวัดและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัญหา	125

บทที่ 5 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา.....	128
5.1 การกำหนดปัจจัยนำเข้าที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง.....	128
5.2 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง.....	132
5.2.1 การกำหนดจุดประสงค์ในการทดลอง.....	133
5.2.2 ตัวแปรตอบสนองและการแปลงค่า.....	134
5.2.3 การเลือกรูปแบบในการทดลอง.....	135
5.2.4 การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าในการออกแบบการทดลอง.....	135
5.2.5 การออกแบบการทดลอง.....	140
5.2.6 การกำหนดขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง.....	141
5.3 ขั้นตอนการทำการทดลอง.....	146
5.4 ผลการทดลอง.....	148
5.5 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง.....	149
5.6 การวิเคราะห์ผล.....	150
5.7 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา.....	153
บทที่ 6 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ.....	155
6.1 การออกแบบการทดลองเพิ่มเติม.....	155
6.1.1 การกำหนดจุดประสงค์ของการทดลอง.....	155
6.1.2 การกำหนดตัวแปรตอบสนอง.....	156
6.1.3 การเลือกรูปแบบการทดลองและการออกแบบการทดลองเพิ่ม.....	159
6.1.4 การกำหนดระดับปัจจัยนำเข้าในการออกแบบการทดลอง.....	162
6.2 ขั้นตอนการทำการทดลอง.....	164
6.3 ผลการทดลอง.....	166
6.4 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	167
6.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	171
6.5.1 กรณีสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องกรีบยื่น.....	171
6.5.2 กรณีสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว.....	174
6.5.3 กรณีต้นทุนของเสียรวม.....	178

6.6 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ.....	181
6.7 การออกแบบการทดลองเพิ่มของปัจจัยการทดลองแม่พิมพ์.....	187
6.8 สูตรระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ.....	191
บทที่ 7 การทดสอบยืนยันผลและการตรวจติดตามควบคุม.....	193
7.1 การทดสอบยืนยันผล.....	194
7.2 ขั้นตอนในการทดลอง.....	194
7.3 ผลการทดสอบยืนยันผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	193
7.4 การคำนวณมูลค่าความสูญเสียที่ลดได้.....	200
7.5 การตรวจติดตามควบคุม.....	200
7.5.1 แผนการควบคุม.....	200
7.5.2.มาตรฐานการทำงานสำหรับการติดตั้งแม่พิมพ์และการปฏิบัติงาน.....	203
7.5.3 การประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม.....	204
7.6 สูตรระยะการทดสอบยืนยันผลและการตรวจติดตามควบคุม.....	205
บทที่ 8 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	205
8.1 สูตรระยะนิยามปัญหา.....	205
8.2 สูตรระยะการวัดและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัญหา.....	206
8.3 สูตรระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา.....	207
8.4 สูตรระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ.....	208
8.5 สูตรระยะการทดสอบยืนยันผลและการตรวจติดตามควบคุม.....	209
8.6 ข้อจำกัดในงานวิจัย.....	209
8.7 ข้อเสนอแนะ.....	210
รายการอ้างอิง.....	212
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	214

สารบัญญัตินำ

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ประโยชน์ที่ได้รับในการผลิตโดยใช้วิธีของซิกซ์ซิกม่า.....	15
ตารางที่ 2.2 เทคนิคในการปรับปรุงกระบวนการผลิตที่นิยมใช้มากที่สุด.....	16
ตารางที่ 2.3 ขนาดสิ่งตัวอย่างในการประเมินผลระบบการตรวจสอบข้อมูลแบบนับ.....	20
ตารางที่ 2.4 เกณฑ์การตัดสินใจดัชนีแสดงประสิทธิผลจาก AIAG.....	22
ตารางที่ 2.5 สมการแปลงข้อมูลด้วยวิธีมาตรฐานและวิธีของ Freeman และ Turkey เมื่อผลตอบเป็นสัดส่วนของเสียหรือรอยตำหนิ.....	27
ตารางที่ 2.6 การกำหนดระยะ Clearance ที่เหมาะสมด้วยวิธีของชาอูซัย ทรัพย์ากร และคณะ.....	41
ตารางที่ 3.1 จำนวนของเสียและปริมาณการผลิตที่เกิดขึ้นในเดือนมกราคม-กรกฎาคม 2554 แยกตามข้อบกพร่อง.....	54
ตารางที่ 3.2 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากชิ้นงานที่สามารถกลับมาแก้ไขได้ ในข้อบกพร่องครีบยันต่อชิ้น.....	57
ตารางที่ 3.3 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากชิ้นงานที่สามารถกลับมาแก้ไขได้ ในข้อบกพร่องบุบ นูนต่อชิ้น.....	57
ตารางที่ 3.4 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากชิ้นงานที่สามารถกลับมาแก้ไขได้ ในข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวต่อชิ้น.....	58
ตารางที่ 3.5 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากชิ้นงานที่สามารถกลับมาแก้ไขได้ ในข้อบกพร่องแตกต่อชิ้น.....	58
ตารางที่ 3.6 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากชิ้นงานที่สามารถกลับมาแก้ไขได้ ในข้อบกพร่องสนิม ถลอกต่อชิ้น.....	59
ตารางที่ 3.7 ผลสรุปจากแผนภาพพาเรโตในเรื่องปริมาณการผลิต สัดส่วนของเสีย มูลค่าความสูญเสียต่อปริมาณการผลิต และสัดส่วนมูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นแยกตามชิ้นงาน.....	64
ตารางที่ 3.8 สัดส่วนของเสียและปริมาณการผลิตที่เกิดขึ้นของชิ้นงาน Frame Side PNL OTR.....	65
ตารางที่ 4.1 เกณฑ์การยอมรับของระบบการวัดในข้อบกพร่องครีบยัน.....	72
ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ระบบการวัดในข้อบกพร่องครีบยัน.....	73
ตารางที่ 4.3 เกณฑ์การยอมรับของระบบการวัดในข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว.....	78

ตารางที่ 4.4	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ระบบการวัดในข้อบกพร่อง ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว.....	79
ตารางที่ 4.5	เกณฑ์การตัดสินใจจากดัชนีแสดงประสิทธิผลจาก AIAG.....	84
ตารางที่ 4.6	สรุปผลการทดลองความเห็นพ้องระหว่างพนักงานกับมาตรฐาน ในข้อบกพร่องครีบย่น.....	84
ตารางที่ 4.7	สรุปผลการทดลองความเห็นพ้องระหว่างพนักงานกับมาตรฐาน ในข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว.....	85
ตารางที่ 4.8	ดัชนีแสดงประสิทธิผลของพนักงานแต่ละคน.....	86
ตารางที่ 4.9	เกณฑ์การให้คะแนนการประเมินความสำคัญระหว่างสาเหตุและผล.....	102
ตารางที่ 4.10	แสดงคะแนนจากแบบสอบถามครีบย่น.....	103
ตารางที่ 4.11	แสดงคะแนนจากแบบสอบถามขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว.....	106
ตารางที่ 4.12	การประเมินด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล.....	109
ตารางที่ 4.13	สรุปปัจจัยนำเข้าที่มีคะแนนสูงสุด 80 % แรก.....	113
ตารางที่ 4.14	เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของผลกระทบ.....	119
ตารางที่ 4.15	เกณฑ์การประเมินความถี่.....	120
ตารางที่ 4.16	เกณฑ์การประเมินการตรวจจับ.....	121
ตารางที่ 4.17	การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ.....	122
ตารางที่ 5.1	ปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง.....	128
ตารางที่ 5.2	การกำหนดระยะ Clearance ที่เหมาะสม ด้วยวิธีของชาลชุย ทรัพย์ากร และคณะ.....	130
ตารางที่ 5.3	ระยะ Clearance ที่คำนวณด้วยวิธีต่าง ๆ และความเหมาะสมในการออกแบบของโรงงาน.....	132
ตารางที่ 5.4	สมการแปลงข้อมูลด้วยวิธีมาตรฐานและวิธีของ Freeman และ Turkey เมื่อตัวแปรตอบสนองเป็นสัดส่วนของเสีย.....	134
ตารางที่ 5.5	ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่นำมาทำการทดลอง.....	136
ตารางที่ 5.6	เมทริกซ์การออกแบบ.....	140
ตารางที่ 5.7	จำนวนตัวอย่างที่ใช้ด้วยวิธีการทดสอบแบบต่าง ๆ.....	145
ตารางที่ 5.8	ผลการทดลองและการแปลงข้อมูลด้วยวิธีมาตรฐาน และวิธีของ Freeman และ Turkey.....	149

ตารางที่ 6.1	ต้นทุนในการจัดการของเสียจากการแก้ไขและกำจัดชิ้นงาน ในข้อบกพร่องครีบย่น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว.....	159
ตารางที่ 6.2	เมทริกซ์การออกแบบ.....	161
ตารางที่ 6.3	ระดับที่เหมาะสมสำหรับปัจจัยคุณลักษณะ.....	162
ตารางที่ 6.4	ค่าที่ใช้ในการปรับตั้งแต่ละระดับสำหรับการออกแบบการทดลอง Box-Benhken Design.....	162
ตารางที่ 6.5	ตารางการออกแบบการทดลอง และผลการทดลองของตัวแปร ตอบสนองทั้ง 3 ชนิด.....	166
ตารางที่ 6.6	สรุปปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ทั้ง 3 ประเภท.....	181
ตารางที่ 6.7	ระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมทั้ง 3 ปัจจัย.....	186
ตารางที่ 6.8	ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่นำมาทำการทดลอง.....	187
ตารางที่ 6.9	ผลการทดลองและการแปลงข้อมูลด้วยวิธีมาตรฐาน และวิธีของ Freeman และ Turkey.....	187
ตารางที่ 7.1	ระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดสอบยืนยันผล.....	193
ตารางที่ 7.2	ผลการทดสอบยืนยันผล.....	195
ตารางที่ 7.3	การเปรียบเทียบก่อน-หลังปรับปรุงกระบวนการ ในขั้นตอนการยืนยันผลการทดลอง.....	199
ตารางที่ 7.4	แผนควบคุมการทำงานของกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น.....	202

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1	โครงสร้างหลักกลุ่ม SUV-Plus..... 4
ภาพที่ 1.2	กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น..... 5
ภาพที่ 2.1	เส้นโค้งปกติ..... 13
ภาพที่ 2.2	การกระจายแบบปกติ และการเคลื่อนตัวออกจากค่าเฉลี่ย..... 13
ภาพที่ 2.3	ลักษณะของ Process Map..... 17
ภาพที่ 2.4	ประเภทความผันแปรของระบบการวัด..... 19
ภาพที่ 2.5	ลักษณะของแผนภูมิแก๊งปลา..... 23
ภาพที่ 2.6	ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง..... 31
ภาพที่ 2.7	แรงกระทำจากความเค้นดึง ความเค้นอัด และความเค้นเฉือน..... 33
ภาพที่ 2.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด..... 35
ภาพที่ 2.9	การพับขึ้นรูป..... 38
ภาพที่ 2.10	องค์ประกอบหลักของแม่พิมพ์ลากขึ้นรูป..... 40
ภาพที่ 2.11	ระยะระหว่างช่องว่างแม่พิมพ์ รัศมีพันซ์ และรัศมีตาย..... 41
ภาพที่ 2.12	การกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการหาขนาดแผ่นเหล็ก..... 43
ภาพที่ 2.13	การหาพื้นที่ส่วนเกินที่ต้องตัดทิ้ง..... 44
ภาพที่ 2.14	ขนาดแผ่นเหล็กที่คำนวณได้ จากวิธีของชาญชัย ทรัพยากรและคณะ..... 45
ภาพที่ 2.15	สาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องระหว่างขึ้นรูป..... 46
ภาพที่ 3.1	กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น..... 49
ภาพที่ 3.2	แผ่นเหล็กวัดดูดียบ..... 50
ภาพที่ 3.3	การนำแผ่นเหล็กเข้าเครื่องปั๊มโลหะ..... 50
ภาพที่ 3.4	การขึ้นรูปแผ่นเหล็ก..... 51
ภาพที่ 3.5	ตัวอย่างของชิ้นงานที่ถูกตรวจพบข้อบกพร่องครีบก้น..... 51
ภาพที่ 3.6	ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ถูกเก็บไว้ในคลังสินค้า..... 52
ภาพที่ 3.7	กราฟสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในเดือนมกราคม-กรกฎาคม 2554..... 54
ภาพที่ 3.8	กราฟพาเรโตสัดส่วนของเสียแต่ละประเภทชิ้นงานต่อปริมาณการผลิตทั้งหมด..... 55
ภาพที่ 3.9	กราฟสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องแต่ละประเภทแยกตามประเภทของ ชิ้นงาน..... 55
ภาพที่ 3.10	มูลค่าความสูญเสียต่อชิ้นงานที่ผลิตแยกชิ้นงานตามข้อบกพร่อง..... 60

ภาพที่ 3.11	พารามิเตอร์มูลค่าความสูญเสียต่อหน่วยแยกตามชิ้นงานและข้อบกพร่อง	61
ภาพที่ 3.12	กราฟมูลค่าความสูญเสียแยกตามชิ้นงานและข้อบกพร่อง	62
ภาพที่ 3.13	พารามิเตอร์สัดส่วนมูลค่าความสูญเสียแยกตามชิ้นงานกับมูลค่า ความสูญเสียทั้งหมด	63
ภาพที่ 3.14	สัดส่วนของเสียและปริมาณการผลิตที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน Frame Side PNL	65
ภาพที่ 4.1	การวัดที่ตำแหน่ง Q-Point	69
ภาพที่ 4.2	การวัดด้านลึก	70
ภาพที่ 4.3	ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดในข้อบกพร่องครีbynด้วยโปรแกรม Minitab16	76
ภาพที่ 4.4	ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดในข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว ด้วยโปรแกรม Minitab 16	82
ภาพที่ 4.5	การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องครีbyn	88
ภาพที่ 4.6	การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่อง ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว	89
ภาพที่ 4.7	การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจากค่าวัดของคน ที่ 1 ตำแหน่งที่ 1 ครั้งที่ 1	90
ภาพที่ 4.8	การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจากค่าวัดของคน ที่ 1 ตำแหน่งที่ 2 ครั้งที่ 1	91
ภาพที่ 4.9	การแปลงค่าด้วยวิธีของ Johnson ของคนที่ 1 ตำแหน่งที่ 2 ครั้งที่ 1	92
ภาพที่ 4.10	การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจากค่าวัดของคน ที่ 1 ตำแหน่งที่ 2 ครั้งที่ 1 หลังจากใช้วิธี Johnson Transformation แล้ว	93
ภาพที่ 4.11	การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจากค่าวัดของคน ที่ 1 ตำแหน่งที่ 3 ครั้งที่ 1	94
ภาพที่ 4.12	การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจากค่าวัดของคน ที่ 1 ตำแหน่งที่ 4 ครั้งที่ 1	95
ภาพที่ 4.13	การแปลงค่าด้วยวิธีของ Johnson ของคนที่ 1 ตำแหน่งที่ 4 ครั้งที่ 1	96
ภาพที่ 4.14	การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจากค่าวัดของคน ที่ 1 ตำแหน่งที่ 4 ครั้งที่ 1 หลังจากใช้วิธี Johnson Transformation แล้ว	97

ภาพที่ 4.15	แผนภูมิแก๊งปลาของข้อบกพร่องครีบก้น.....	100
ภาพที่ 4.16	แผนภูมิแก๊งปลาของข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว.....	101
ภาพที่ 4.17	แผนภูมิเรียงลำดับคะแนนจากการวิเคราะห์ตารางความสัมพันธ์ ของสาเหตุและผล.....	112
ภาพที่ 4.18	แผนภูมิเรียงลำดับคะแนนจากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและ ผลกระทบ.....	125
ภาพที่ 5.1	การกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการหาขนาดแผ่นเหล็ก.....	137
ภาพที่ 5.2	การหาพื้นที่ส่วนเกินที่ต้องตัดทิ้ง.....	138
ภาพที่ 5.3	ขนาดแผ่นเหล็กที่คำนวณได้ จากวิธีของชาอูซัย ทรัพย์ากรและคณะ.....	139
ภาพที่ 5.4	การบันทึกค่าต่าง ๆ ในโปรแกรม Minitab ของข้อบกพร่องครีบก้น.....	142
ภาพที่ 5.5	การบันทึกค่าต่าง ๆ ในโปรแกรม Minitab ของข้อบกพร่อง ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว.....	143
ภาพที่ 5.6	การวางแผ่นเหล็กแบบตรง.....	147
ภาพที่ 5.7	การวางแผ่นเหล็กแบบเอียง.....	147
ภาพที่ 5.8	การปรับปรุงอุปกรณ์ประกอบแม่พิมพ์.....	148
ภาพที่ 5.9	การทดสอบการแจกแจงปกติของผลการทดลองที่แปลงค่า ด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey.....	150
ภาพที่ 5.10	ผลของปัจจัยหลักที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง.....	152
ภาพที่ 5.11	ผลของอันตรกิริยาที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง.....	152
ภาพที่ 6.1	วิธีการจัดการกับชิ้นงานเมื่อไม่ได้รับการตรวจสอบ.....	158
ภาพที่ 6.2	การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design.....	160
ภาพที่ 6.3	การปรับตั้งความเร็วการขึ้นรูปที่ 85 fpm.....	164
ภาพที่ 6.4	การปรับตั้งความดันลมคู่ชั้นที่ 4 kg/cm ²	165
ภาพที่ 6.5	ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองจากตัวแปรตอบสนอง กรณีสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องครีบก้น หลังจากแปลงข้อมูลด้วยวิธี ของFreeman และ Turkey.....	168
ภาพที่ 6.6	ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองจากตัวแปรตอบสนอง กรณีสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องครีบก้น หลังจากแปลงข้อมูลด้วยวิธี ของ Freeman และ Turkey.....	169

ภาพที่ 6.7	ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองจากตัวแปรตอบสนอง กรณีสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องครีbyn หลังจากแปลงข้อมูลด้วยวิธี ของFreeman และ Turkey.....	171
ภาพที่ 6.8	ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองจากข้อบกพร่องครีbyn	173
ภาพที่ 6.9	ผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองจากข้อบกพร่องครีbyn	173
ภาพที่ 6.10	ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองจากข้อบกพร่อง ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว	176
ภาพที่ 6.11	ผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองจากข้อบกพร่อง ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว	176
ภาพที่ 6.12	ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองจากต้นทุนของเสียรวม	178
ภาพที่ 6.13	ผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองจากต้นทุนของเสียรวม	180
ภาพที่ 6.14	Optimization Plot จากการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Minitab	184
ภาพที่ 6.15	พื้นผิวผลตอบของอิทธิร่วมระหว่างแรงกำหนดและความเร็วในการขึ้นรูป	184
ภาพที่ 6.16	กราฟพื้นที่ระหว่างแรงกำหนดและความเร็วในการขึ้นรูป	185
ภาพที่ 6.17	Optimization plot จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab	186
ภาพที่ 6.18	การทดสอบการแจกแจงปกติของผลการทดลองที่แปลงค่าด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey.....	188
ภาพที่ 6.19	ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองสำหรับปัจจัยทดลองแม่พิมพ์	180
ภาพที่ 6.20	ผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองสำหรับปัจจัยทดลองแม่พิมพ์	180
ภาพที่ 7.1	แผนภูมิควบคุม p สำหรับกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น	196

บทที่ 1

บทนำ

อุตสาหกรรมยานยนต์เป็นอุตสาหกรรมที่มีการเจริญเติบโตสูงในประเทศไทย ซึ่งก่อให้เกิดอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์มากมายในประเทศ ปัจจุบันเกิดจากรัฐบาลได้ส่งเสริมให้ใช้ชิ้นส่วนในประเทศอย่างน้อย 51 % ของรถที่ผลิตขึ้น โดยอุตสาหกรรมตกแต่งรถยนต์ก็เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจจากผู้บริโภคภายในประเทศด้วยเช่นกัน บริษัทที่ศึกษาเป็นบริษัทที่ประกอบธุรกิจผลิตชิ้นส่วนตัวถังรถยนต์และรถบรรทุก แม่พิมพ์ขึ้นรูป และอุปกรณ์จับยึดสำหรับโรงงานผู้ประกอบรถยนต์ และขยายสายการผลิตเพิ่มเติมในการลงทุนในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องอย่างเป็นระบบ โดยได้ทดลองศึกษาวิจัยโครงหลังคาเหล็กสำหรับรถปิคอัพขึ้นมาเป็นรายแรกในประเทศไทย แต่ในการผลิตย่อมไม่สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งในโรงงานที่ศึกษามีอยู่หลายปัญหาซึ่งเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยยังไม่ได้รับการแก้ไขอย่างจริงจัง ซึ่งต้องอาศัยความร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายเพื่อให้แก้ไขได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผู้ศึกษามีความสนใจที่จะศึกษาเรื่องการปรับปรุงคุณภาพโครงหลังคาเหล็ก ซึ่งต้องเริ่มตั้งแต่การขึ้นรูปชิ้นส่วนโลหะในรูปแบบต่าง ๆ มาประกอบกันเป็นโครงหลังคา ฟันสี และทดสอบการรั่วซึมของน้ำและอื่น ๆ ซึ่งในสายการประกอบโครงหลังคาเหล็กมีชิ้นส่วนจำนวนมากและมีความหลากหลายในกระบวนการผลิตชิ้นงานแต่ละชิ้น จึงจำเป็นต้องนำหลักการและเทคนิคทางด้านวิศวกรรมอุตสาหกรรมมาใช้เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ควบคุมของเสียได้ตั้งแต่ต้นเหตุ ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตควบคู่ไปกับการรักษาคุณภาพ โดยต้องหาสาเหตุ มาตรการในการแก้ไข และการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่อไป

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การแข่งขันกัน ในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์ ทุกบริษัทต่างต้องปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้นตลอดเวลา เนื่องจากเงื่อนไขทางการค้าที่ได้รับมาจากบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ในแต่ละยี่ห้อ บริษัทที่ศึกษานอกจากจะทำโครงหลังคาเหล็กแล้ว ยังผลิตชิ้นส่วนอื่น ๆ เช่น แม่พิมพ์ปั๊มและขึ้นรูปชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์จับยึดเพื่อการประกอบรถยนต์ ชิ้นส่วนขึ้นรูปโลหะ เป็นต้น จากการเข้าไปตรวจสอบข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในสายการผลิต พบว่าส่วนใหญ่มูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นจะอยู่ใน

กระบวนการการพับสี่ ซึ่งเมื่อย้อนกลับไปดูที่ต้นเหตุ พบว่าเกิดข้อบกพร่องตั้งแต่กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet-Metal Forming) และมีการแก้ไขข้อบกพร่องในกระบวนการต่าง ๆ เรื่อยมา โดยการแก้ไขลำดับสุดท้ายคือในกระบวนการพับสี่ ซึ่งเป็นการแก้ไขปัญหาที่ปลายเหตุผู้ศึกษาจึงเลือกสายการผลิตชิ้นส่วนขึ้นรูปโลหะ เนื่องจากหากแก้ไขการขึ้นรูปโลหะแผ่นในสายการผลิต โครงหลังคาเหล็กได้ ย่อมแก้ไขสายการผลิตการขึ้นรูปโลหะแผ่นชนิดอื่น ๆ และยังสามารถลดมูลค่าความสูญเสียที่เกิดจากการซ่อมในกระบวนการพับสี่อีกด้วย

1.2 ประวัติความเป็นมา และรายละเอียดของโรงงานกรณีศึกษา

1.2.1 ข้อมูลทั่วไปของบริษัท

บริษัทที่ศึกษาเป็นบริษัทประกอบธุรกิจผลิตชิ้นส่วนตัวถังรถยนต์และรถบรรทุกแม่พิมพ์ขึ้นรูป และอุปกรณ์จับยึดสำหรับ โรงงานผู้ประกอบรถยนต์ จัดทะเบียนจัดตั้งเป็นบริษัทจำกัด เมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม 2510 ด้วยทุนจดทะเบียนเริ่มต้น 3 ล้านบาท เพื่อประกอบธุรกิจผลิตชิ้นส่วนตัวถังรถยนต์และรถบรรทุกก่อนที่จะขยายสายการผลิตในการลงทุนในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องอย่างเป็นระบบ มีพนักงานทั้งสิ้นประมาณ 1,600 คน ต่อมาบริษัทฯ ได้มีการปรับเปลี่ยนพัฒนารูปแบบการดำเนินธุรกิจจากเดิมที่เป็นเพียงผู้ผลิตชิ้นส่วนสำหรับ โรงงานผู้ประกอบรถยนต์ (OEM) มาสู่การผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์ภายใต้แบรนด์ของตนเอง โดยอาศัยการพัฒนาบุคลากรและเทคโนโลยีการผลิตตลอดจนการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันผลิตภัณฑ์หลักได้แก่ รถดั้มพ์ รถพ่วง รถกึ่งพ่วงรถบรรทุกออกแบบพิเศษสำหรับใช้งานเฉพาะด้านและหลังคาเหล็กและอุปกรณ์ตกแต่งสำหรับรถปิคอัพ

นอกจากนี้ บริษัท ฯ ยังผลิตเพลาล้อและชุดกระบอกยกไฮดรอลิกพร้อมระบบกลไกเพื่อการใช้งานซึ่งเป็นชิ้นส่วนสำคัญสำหรับใช้ในรถดั้มพ์ รถพ่วง และรถกึ่งพ่วงของบริษัท ฯ และจำหน่ายให้แก่ผู้ประกอบการรายอื่นด้วย ทั้งนี้ บริษัท ฯ ได้อาศัยเทคโนโลยีที่ได้เรียนรู้และสั่งสมมาจากบริษัทผู้ประกอบรถยนต์ต่างชาติดูแลการที่มีความสามารถและประสบการณ์ตลอดจนการใช้ประโยชน์จากเครื่องมือและเครื่องจักรที่ได้ลงทุนไว้แล้ว อาทิ เครื่องปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนตัวถังรถยนต์ เครื่องทดสอบต่าง ๆ ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ตลอดจนระบบห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain) ที่แข็งแกร่ง ทำให้ผลิตภัณฑ์ของบริษัท ฯ มีความได้เปรียบคู่แข่งทั้งในแง่ของมาตรฐานและคุณสมบัติ

ของสินค้าและต้นทุนการผลิตในปัจจุบันธุรกิจของบริษัท ฯและบริษัทในเครือสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มธุรกิจหลัก ได้แก่

- การขึ้นรูปโลหะ
 1. แม่พิมพ์สำหรับปั๊มขึ้นรูปขึ้นส่วนรถยนต์
 2. อุปกรณ์จับยึดเพื่อการประกอบรถยนต์และตรวจสอบคุณภาพ
 3. ชิ้นส่วนขึ้นรูปโลหะ
 4. หลังคาเหล็กและอุปกรณ์ตกแต่งสำหรับรถปิคอัพ

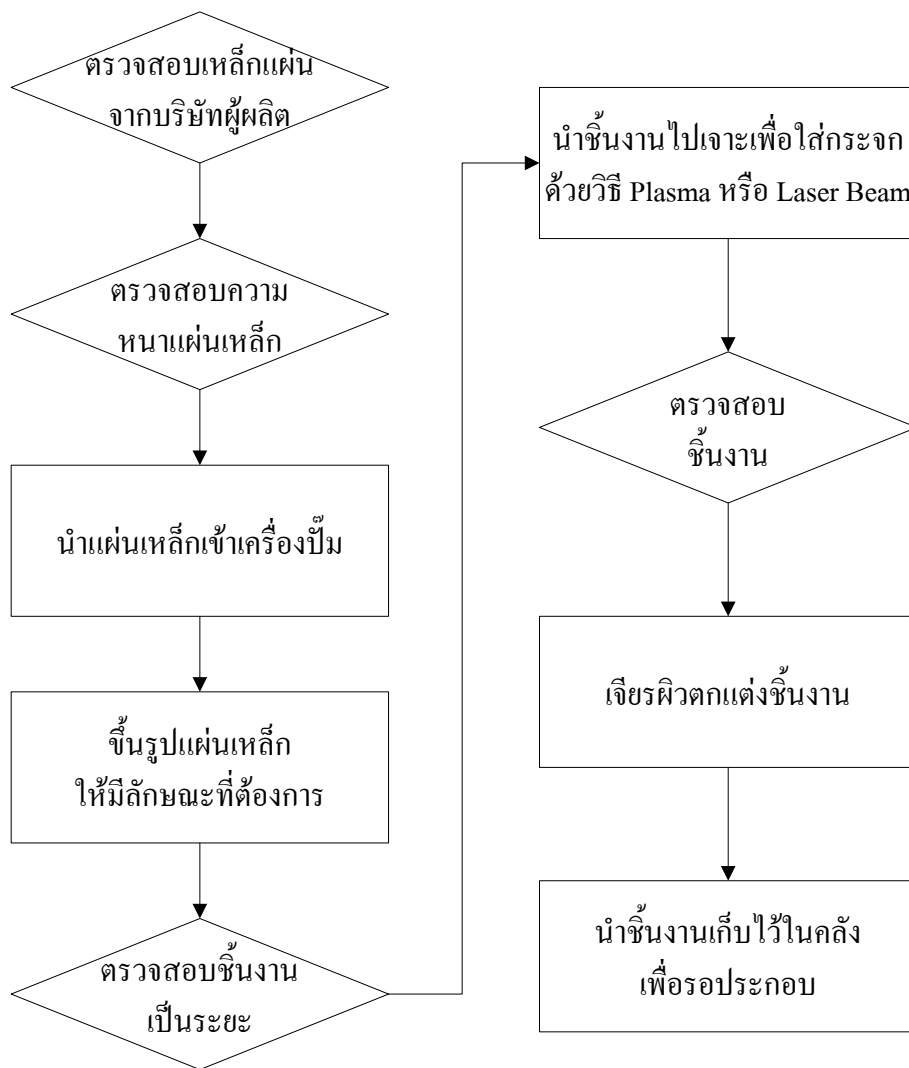
- รถบรรทุก
 - 1.รถดั้มพ์และรถพ่วง
 2. เพลาล้อและกระบอกลูกไฮดรอลิก
 3. พาหนะและเครื่องจักรกลการเกษตร

- รถเครื่องยนต์เอ็นจีวี
 1. รถบรรทุกเอ็นจีวี
 2. รถบรรทุกอเนกประสงค์เพื่อการเกษตรใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซล ปี 100
 3. บริการรับตัดแปลงและติดตั้งเครื่องยนต์เอ็นจีวี

ปัจจุบันบริษัท ฯ มีโรงงานผลิตสินค้าและผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ จำนวนทั้งสิ้น 13 โรงงาน โดยตั้งอยู่ในประเทศไทย 11 โรงงาน และในสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนจีน 2 โรงงาน

1.2.2 ผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตของโรงงานตัวอย่างที่ศึกษา

โรงงานผลิตโครงหลังคาเหล็กที่ศึกษาตั้งอยู่ที่จังหวัดสมุทรสาคร ซึ่งจะศึกษาเฉพาะในสายการผลิตโครงหลังคาเหล็กเท่านั้น



ภาพที่ 1.2 กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น

พนักงานจะตรวจสอบเหล็กแผ่นที่รับมาจากบริษัทผู้ผลิต จากนั้นเมื่อมีคำสั่งผลิต พนักงานจะตรวจสอบความหนาและขนาดของแผ่นเหล็ก และนำไปเข้าเครื่อง Feeding เพื่อนำเข้าเครื่องปั๊มด้วยแม่พิมพ์ให้ได้ตามลักษณะที่ต้องการ โดยมีการหยุดเครื่องจักรเพื่อตรวจสอบชิ้นงาน เช่น ลอตนั้นมี 60 ชิ้นจะตรวจสอบชิ้นงานต้น กลาง และปลายลอตคือชิ้นงานที่ 1-3, 29-31 และ 57-60 ตามลำดับ เมื่อชิ้นงานผ่านการตรวจสอบก็จะนำไปเจาะเพื่อทำหน้าต่างใส่กระจกด้วย Laser Beam จากนั้นนำมาตรวจสอบความเรียบร้อยและเจียรผิวเพื่อทำให้ชิ้นงานเรียบ แล้วเก็บเข้าคลังรอประกอบต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อลดสัดส่วนของเสีย และต้นทุนของเสีย ในกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น สำหรับโครงหลังคาเหล็กถดถดระบะ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. การวิจัยนี้จะศึกษาเฉพาะสายการผลิตการขึ้นรูปเหล็กแผ่นสำหรับการผลิตชิ้นส่วนโครงหลังคาถดถดในข้อบกพร่องประเภทครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว ของชิ้นงาน Frame Side PNL OTR รุ่น SUV-Plus
2. ศึกษาทฤษฎีและประยุกต์แนวทางของซิกซ์ ซิกมา ในการปรับปรุงคุณภาพและลดของเสียที่เกิดขึ้นในสายการผลิต
3. วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้วิธีการทางสถิติและ โปรแกรมคอมพิวเตอร์เช่น โปรแกรมMinitab ในการประมวลผล

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยโดยวิธีซิกซ์ ซิกมา มีขั้นตอนในการดำเนินงานทั้งหมด 5 ขั้นตอนคือ

1. ระยะเวลาข้อมูล (Define Phase)
 - 1.1 ศึกษางานวิจัย ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพตามแนวทางของซิกซ์ ซิกมา และงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นรูปเหล็กแผ่น
 - 1.2 เก็บข้อมูลเบื้องต้น สํารวจสภาพปัญหาหาวิเคราะห์ด้วยแผนภาพพาเรโต เพื่อกำหนดปัญหา เป้าหมาย ขอบเขต ข้อจำกัดต่าง ๆ ของโครงการ
 - 1.3 จัดตั้งคณะทำงานเพื่อเข้าร่วมทีมในการปรับปรุงคุณภาพ โดยพิจารณาจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในสายการผลิตการขึ้นรูปเหล็กแผ่น
2. ระยะเวลาวิเคราะห์ระบบการวัด (Measure Phase)
 - 2.1 วิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดในการตรวจสอบปัญหาครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวด้วยสายตา

2.2 เก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ข้อบกพร่อง และหาความสามารถของกระบวนการผลิตในปัจจุบัน

2.3 ระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า (KPIVs) ด้วยการใช้แผนภาพก้างปลา จากนั้นใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลด้วย Cause and Effect Matrix โดยการให้คะแนนเพื่อเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าโดยให้ทีมงานลงคะแนน จากนั้นนำมาให้คะแนนเรียงลำดับด้วยแผนภาพพาเรโตหาปัจจัยนำเข้าที่จะนำมาทำการทดลอง เพื่อพิสูจน์ปัจจัยสำคัญของสาเหตุของปัญหาในระยะต่อไปด้วยวิธีการทางสถิติ

3. ระยะวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)

3.1 นำปัจจัยนำเข้าจากการวิเคราะห์ด้วยพาเรโตที่มีผลในอัตราส่วน 80 % มาทดลองและทดสอบความมีนัยสำคัญต่อจำนวนของเสียโดยวิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) โดยวางแผนการทดลอง กำหนดระดับปัจจัยนำเข้าที่คาดว่าจะครอบคลุมกับค่าปรับตั้งที่คิดว่าจะสามารถแก้ไขปัญหาคงคุณภาพได้ ซึ่งต้องเป็นค่าที่โรงงานสามารถกระทำได้ โดยไม่กระทบต่อปัญหาภายในอื่น ๆ

3.2 ทำการทดลอง และวิเคราะห์ผลเพื่อสรุปถึงปัจจัยที่มีนัยสำคัญเพื่อนำไปหาค่าปรับตั้งที่ดีที่สุดต่อไป

4. ระยะปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

4.1 ออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ที่จะทำให้ค่าตัวแปรตอบสนองคือจำนวนของเสียลดลงตามเป้าหมาย

4.2 ทำการทดลองตามแผนการทดลองที่ออกแบบไว้

4.3 วิเคราะห์และสรุปค่าปรับตั้งที่ทำให้จำนวนของเสียลดลงได้ตามเป้าหมาย

5. ระยะตรวจติดตาม และปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Control Phase)

5.1 ทดสอบยืนยันผลการทดลองจากการใช้ระดับของปัจจัยที่ได้วิเคราะห์ว่าเหมาะสมที่สุด เพื่อใช้วัดผลหลังการปรับปรุงคุณภาพ

5.2 ทำแผนควบคุม (Control Plan) และกำหนดไว้ในวิธีการในการควบคุมคุณภาพ คู่มือการปฏิบัติงาน (WI) ของสายการผลิตการขึ้นรูปโลหะแผ่น

6. สรุปผลการปรับปรุง โดยเปรียบเทียบกับก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง โดยเปรียบเทียบสัดส่วนของเสีย และมูลค่าความสูญเสียต่อจำนวนการผลิตที่ลดลง

7. สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ และจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 เวลาที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	ระยะเวลา								
	มี.ย.-54	ก.ค.-54	ส.ค.-54	ก.ย.-54	ต.ค.-54	ม.ค.-55	ก.พ.-55	มี.ค.-55	เม.ย.55
1. สํารวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง									
2. รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสภาพปัญหาทั่วไปของโรงงานตัวอย่างและกำหนดนิยามปัญหา (define Phase)									
3. เก็บรวบรวมข้อมูลสภาพปัญหาและการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุปัญหา (Measure Phase)									
4. วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาคำเนินการทดลองตามสาเหตุของปัญหาจากระยะก่อนหน้า (Analyze Phase)									
5. วิเคราะห์ปรับปรุงแก้ไขปัญหา (Improve Phase)									
6. ตรวจสอบติดตามควบคุม และปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Control Phase)									
7. สรุปผลการวิจัยประเมินผลโดยใช้หลักการของต้นทุนคุณภาพ									
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์									

1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

มาตรฐานการปฏิบัติงานใหม่ ที่ลดสัดส่วนของเสีย และต้นทุนของเสีย ในข้อบกพร่องครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทครีบก้นและขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวในกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น
2. ปริมาณของเสียที่เกิดจากปัญหาครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวของสายการผลิตโครงหลังคาเหล็กมีค่าลดลง
3. สามารถประยุกต์ใช้ลดของเสียที่เกิดจากปัญหาครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวของกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นของสายการผลิตอื่น ๆ
4. ลดต้นทุนของเสียที่เกิดจากปัญหาชิ้นงานเสียโดยยังสามารถนำกลับมาแก้ไขได้ (Rework) และ ชิ้นงานเสียที่ไม่สามารถนำกลับมาแก้ไขได้ (Scrap) ได้อย่างต่อเนื่องให้กับบริษัทที่ศึกษา
5. ใช้เป็นแนวทางในการศึกษาในอุตสาหกรรมที่ใช้การขึ้นรูปโลหะแผ่นอื่น ๆ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ซิกซ์ ซิกม่า(Six Sigma)

2.1.1 ประวัติของ Six Sigma

ประวัติของ ซิกซ์ซิกม่า เริ่มขึ้น โดยบริษัท โมโตโรล่า ได้พัฒนาและสร้างโครงการเพื่อปรับปรุงคุณภาพสินค้า โดย มิเกล เจ แฮร์รี่ (Mikel J. Harry) ในปี 1990 ซึ่งได้ทำการเผยแพร่วิธีปรับปรุงคุณภาพของสินค้าวิธีใหม่ที่ชื่อว่าซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma) ต่อมาแนวคิดนี้ก็ได้ถูกเผยแพร่ไปยังบริษัทต่างๆ เช่น General Electric, AlliedSignal, และ Sony ในการลดของเสียด้วยวิธีของ Six Sigma มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงวัฒนธรรมขององค์กรการบริหารงานคุณภาพ ซึ่งเปลี่ยนเป็นลักษณะการทำงานจากระดับล่างขึ้นสู่ระดับบน โดยผู้บริหารจะเป็นผู้ให้ความสนับสนุนเพื่อให้เกิดความสำเร็จ และทำให้ช่วยลดต้นทุนให้กับบริษัทเป็นอย่างมาก

Sigma (σ) หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ซึ่งเป็นตัวเลขที่ใช้ในการบ่งบอกถึงการกระจายของข้อมูลซึ่งได้รับการตั้งชื่อ โดยนายคาลเพิธรัล ในปีค.ศ.1893 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือ Sigma เริ่มมามีบทบาทในวงการของการปรับปรุงและรักษาคุณภาพในปีค.ศ.1931 เมื่อ Walter A. Shewhart ได้แนะนำว่าในกระบวนการใดๆ ถ้าค่าเฉลี่ยของคุณภาพของผลผลิตหรือของผลลัพธ์ที่ได้ห่างจากค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้มากกว่าสามเท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกระบวนการนั้นก็ควรจะถูกรับปรุงและแก้ไขใหม่ (Shewhart, 1931) ปัจจุบัน Six Sigma ได้ถูกจัดให้เป็นเครื่องหมายการค้าของบริษัท โมโตโรล่า (Nimkar and Dhargawe, 1987)

ซิกซ์ซิกม่า คือกระบวนการเพื่อลดความสูญเสีย (Defect) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการต่าง ๆ โดยมุ่งเน้นให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุดและมีความสูญเสียได้ไม่เกิน 3.4 หน่วยในล้านหน่วย หรือเรียกอีกอย่างว่า โอกาสความสูญเสียลงให้เหลือเพียงแค่ 3.4 หน่วย (Defect per Million Opportunities)

ซิกซ์ ซิกม่า เป็นเครื่องมือที่ใช้พัฒนาผลิตภัณฑ์ขององค์กร การบริการ และลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง โดยเน้นในเรื่องของระบบธุรกิจความต้องการของลูกค้า การลดมูลค่าความสูญเสีย และผลผลิตเมื่อวิธีการซิกซ์ซิกม่าได้นำมาใช้ในกระบวนการผลิตและขยายไปในอุตสาหกรรมอื่น ๆ อย่างรวดเร็ว เช่น ด้านวิศวกรรมการตลาด การจัดซื้อ และระบบบริการต่าง ๆ เพราะซิกซ์ซิกม่า สามารถแสดงต้นทุนที่ลดได้อย่างชัดเจนจากการลดของเสียในกระบวนการผลิต (Kwak and Anbari, 2006)

2.1.2 ความหมายของซิกซ์ ซิกม่า

ความหมายของซิกซ์ซิกม่า สามารถให้ความหมายได้หลายนัย ดังนี้

ความหมายเชิงทฤษฎี Six Sigma คือความพยายามในการลดความแปรผันของกระบวนการ โดยพยายามบีบให้ความผันแปรทั้งหมดของกระบวนการตกอยู่ภายในขีดจำกัดของข้อกำหนดด้านคุณภาพ (Upper Spec Limit และ Lower Spec Limit) และยอมให้มีของเสีย (หรือการ Out of Spec) ได้ไม่เกิน 3.4 ครั้งใน 1 ล้านครั้ง (3.4 Parts Per Million)

ความหมายเชิงปฏิบัติเป็นการใช้หลักสถิติในการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการ โดยใช้ควบคู่กับการบริหารโครงการและเน้นผลสำเร็จในรูปของมูลค่าการลดต้นทุน และของเสียจากการดำเนินโครงการ

ความหมายเชิงสถิติ ระดับของซิกม่าที่สูงขึ้นวัดจากอัตราของเสียที่ลดลงและประสิทธิภาพของกระบวนการที่สูงขึ้นภายใต้เส้นโค้งปกติ (Normal Curve) ดังภาพที่ 2.1

กิจการมากกว่าที่จะเป็นวิธีการควบคุมคุณภาพในกระบวนการหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ชิกซ์ ชิคม่าคือ การประยุกต์ใช้กลวิธีทางสถิติในองค์กรเพื่อที่จะช่วยให้องค์กรสามารถเพิ่มผลผลิตและทำกำไรได้เพิ่มมากขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในภาคการผลิตสินค้าและบริการ

Evan and Lindsay (2005) กล่าวว่าชิกซ์ ชิคม่า เป็นวิธีการปรับปรุงกระบวนการทางธุรกิจ เพื่อหาหนทางและกำจัดต้นเหตุของปัญหาในการเกิดของเสียและความผิดพลาดลดรอบเวลาการผลิตและต้นทุนการผลิต โดยทำการปรับปรุงการผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าโดยการเพิ่มการใช้ประโยชน์ในทรัพย์สินผลตอบแทนในกระบวนการผลิตและการบริหาร โดยปรับปรุงบนพื้นฐานกระบวนการแก้ปัญหาทั้ง 5 ระยะในกระบวนการของ ชิกซ์ชิคม่า คือ ระบุนิยามปัญหา (Define Phase) ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase) ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase) และระยะการติดตามควบคุม (Control Phase) ที่ได้มีการรวบรวมเครื่องมือทางสถิติและเครื่องมือในการปรับปรุงการผลิตเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้

Harry and Schroeder (2000) กล่าวว่าชิกซ์ชิคม่าเป็นกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพในการบริหาร โดยมีเป้าหมายอยู่ที่ความผิดพลาดหรือของเสียที่น้อยกว่า 4 ใน 1 ล้านครั้งของการทำงานโดยรวมเอาวิธีทางแห่งระบบคุณภาพแบบหลายแบบ ซึ่งประกอบด้วยรูปแบบที่เป็นมาตรฐานการการตอบสนองภารกิจขององค์กรและจัดการที่เหมาะสมซึ่งทำให้ลูกค้าและผู้ผลิตได้ผลตอบแทนทั้งสองฝ่าย คือการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2.1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากระบบชิกซ์ชิคม่า (กาญจพงษ์ เพิ่มพิมล; 2554)

ในด้านผลิตภัณฑ์

- ลดระยะเวลาในการเสนอผลิตภัณฑ์ใหม่เข้าสู่ตลาดการแข่งขัน
- เป็นผู้นำทางเทคโนโลยี
- การมีพัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง
- ต้นทุนผลิตภัณฑ์ลดลง

ในด้านกระบวนการผลิต

- กระบวนการผลิตมีคุณภาพสูง
- ของเสียหรือข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตเข้าใกล้ศูนย์

ตารางที่ 2.2 เทคนิคในการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยได้ค่าตัวแปรตอบสนองที่เหมาะสม
ที่นิยมใช้มากที่สุด (Dusharm, 2006)

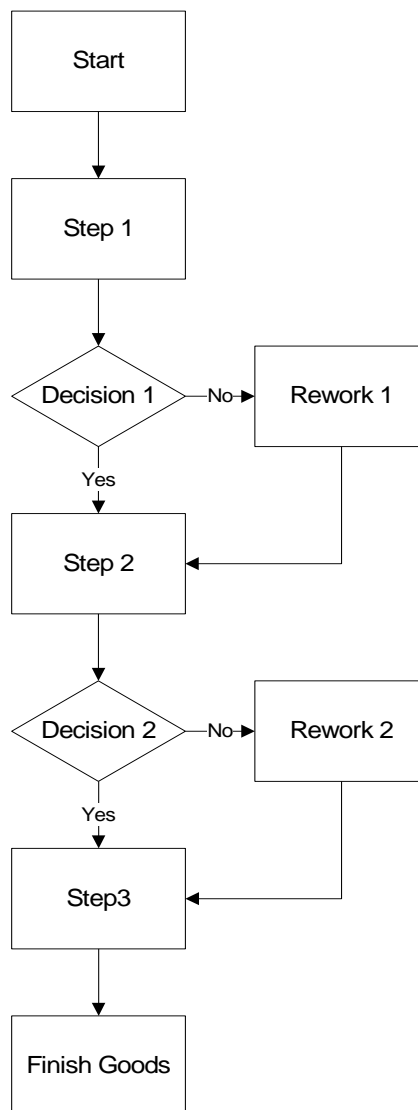
Process Improvement Tool	Impact (%)
Six Sigma	53.60
Process Mapping	35.30
Root Cause Analysis	33.50
Cause and Effect Analysis	31.30
ISO 9001	21.00
Statistical Process Control	20.10
Total quality management	10.30
Malcolm Baldrige criteria	9.80
Knowledge management	5.80

2.1.4 การปรับปรุงคุณภาพการผลิตด้วยวิธีการของซิกซ์ซิกม่า

ใช้หลักการที่เรียกว่าดีเมอิก (DMAIC) ซึ่งย่อมาจาก Define, Measure, Analyze, Improve และ Control ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการที่เห็นว่าสามารถปรับเปลี่ยนหรือควบคุมตัวแปรบางอย่างเพื่อให้ผลที่ได้เป็นไปตามความต้องการของลูกค้าอย่างสม่ำเสมอ หรือหมายถึงการประยุกต์ตัวแบบเพื่อปรับปรุงแก้ไขกระบวนการและการออกแบบหรือแก้ไขแบบกระบวนการใหม่ โดยมีรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้

- **Define Phase (D) หรือระยะนิยามปัญหา** เป็นการกำหนดรายละเอียดและขั้นตอนของโครงการรวมถึงการหาความต้องการของลูกค้าเป็นขั้นตอนแรกของการทำ Six Sigma คือการกำหนดหัวข้อและขอบเขตว่า โครงการนี้จะทำการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงในเรื่องใดและมีเป้าหมายอย่างไร

นอกจากนี้จะต้องกำหนดขอบเขตของโครงการเพื่อให้มีทิศทางและขนาดที่เหมาะสมภายในกรอบระยะเวลาที่กำหนดตลอดจนกำหนดขั้นตอนของกระบวนการที่จะทำการปรับปรุงโดยเขียนในรูปของแผนผังกระบวนการ ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ลักษณะของแผนผังกระบวนการ

โดยในการเขียนแผนผังกระบวนการ เพื่อให้เกิดความชัดเจนว่าโครงการนี้จะเข้าไปเกี่ยวข้องกับกระบวนการทำงานในขั้นตอนใดบ้าง โดยทำให้ทราบถึงจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของกระบวนการ เนื่องจากการทำโครงการ Six Sigma ต้องใช้เวลาในการดำเนินงานอย่างน้อย 6 เดือน และมีผู้ร่วมโครงการ หรือผู้ร่วมดำเนินงานหลายคน ซึ่งมาจากหน่วยงานที่หลากหลาย จึงจำเป็นต้องกำหนดกรอบของโครงการเพื่อให้เกิดความเข้าใจไปในแนวทางเดียวกัน โดยมีเป้าหมายให้ผู้ร่วมดำเนินงานสามารถร่วมมือกันทำงานได้อย่างลุล่วง

● **Measure Phase (M)** หรือระยะการวัดเพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา เริ่มจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Gage R&R) เพื่อตรวจสอบเครื่องมือหรืออุปกรณ์ในการทำงานและพนักงานว่ามีความผิดปกติหรือไม่ก่อนจะลงมือปฏิบัติงานและยืนยันความน่าเชื่อถือของผลข้อมูล เพราะหากการวัดค่าไม่มีประสิทธิภาพหรือมีค่า Gage Error สูงเราก็ไม่อาจทราบค่าตัวเลขตรงกับความเป็นจริงได้ สายการผลิตที่ผู้ศึกษาเข้าไปวิจัยจะมีการวัดด้วยข้อมูลแบบนับซึ่งต้องใช้พารามิเตอร์เชิงผันแปรที่มีการตัดสินใจด้วยข้อกำหนดเฉพาะหรือสเปคเพื่อให้ได้ข้อมูลว่าผ่านหรือไม่ผ่าน (Good or No Good)

การวิเคราะห์ผลระบบการวัดมีดัชนีสำคัญที่ต้องพิจารณา 3 ประการคือ

1. ความไว (Sensitivity) ของระบบการวัดคืออินพุตที่เล็กที่สุดที่ทำให้เกิดสัญญาณเอาต์พุตที่สามารถตรวจจับได้หรือสามารถใช้ได้โดยการพิจารณาความไวว่ามีความเพียงพอหรือไม่

2. ความเสถียร (Stable) คือความแตกต่างของค่าความผันแปรตลอดช่วงการใช้งานของเกจวัดโดยถือเป็นค่ารีพีทเทบิลิตีตลอดขนาดชิ้นงาน (Repeatability Over Size)

3. ความสม่ำเสมอ (Consistent) หมายถึงความคลาดเคลื่อนของข้อมูลจากระบบการวัดต้องสม่ำเสมอตลอดช่วงที่คาดหวัง (Expected Range) และมีความผันแปรอย่างเพียงพอต่อการควบคุมผลิตภัณฑ์และกระบวนการหรือความแตกต่างของค่าความผันแปรตลอดช่วงการใช้งานของเกจวัด โดยถือเป็นค่ารีพีทเทบิลิตีตลอดเวลา (Repeatability Over Time)

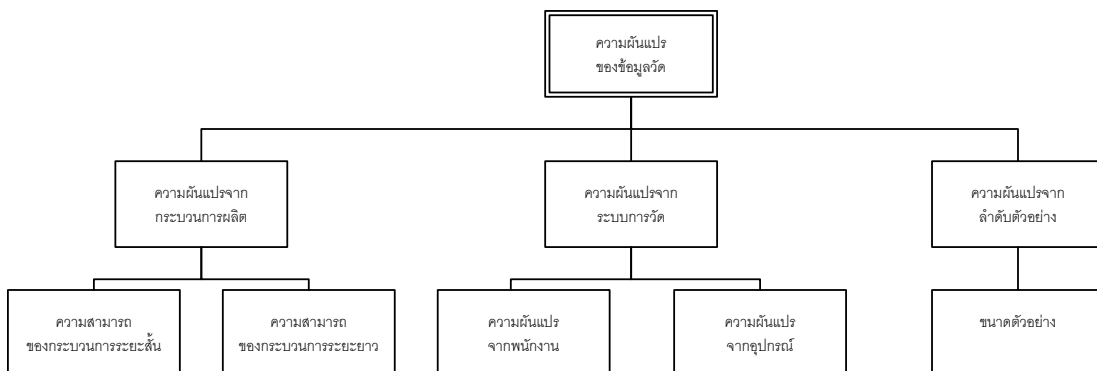
ความผันแปรของระบบการวัดประกอบด้วย

1. ความผันแปรของตำแหน่ง (Location Variation) เป็นคุณสมบัติของการเข้าใกล้ของค่าเฉลี่ยจากผลจากการวัดหลายๆครั้งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง (Reference Value) สามารถกำหนดได้ด้วยค่าความผันแปรดังนี้

ไบอัส (Bias) หมายถึงความแตกต่างระหว่างค่าจริง (หรือค่าอ้างอิง) กับค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่วัดได้บนคุณลักษณะและชิ้นงานวัดเดียวกัน ซึ่งจะเป็นตัววัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบของระบบการวัด

ความเสถียร (Stability) หมายถึงความผันแปรทั้งหมดในการวัดที่ได้จากกระบวนการวัดหนึ่ง โดยอาศัยชิ้นงานหรือค่ามาสเตอร์เดียวกันในการวัดคุณลักษณะประการหนึ่งตลอดช่วงเวลาที่ยาวนานขึ้น

เชิงเส้นตรง (Linearity) หมายถึงความแตกต่างของค่าไบอัสตลอดช่วงการใช้งานของอุปกรณ์วัดหรือค่าความแตกต่างของไบอัสเมื่อมีการเปลี่ยนย่านวัดไป



ภาพที่ 2.4 ประเภทความผันแปรของระบบการวัด (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2546)

ความผันแปรของความกว้าง (Width Variation) โดยทั่วไปเรียกความผันแปรของความกว้างของระบบการวัดว่าความแม่นยำ (Precision) ซึ่งหมายถึงอิทธิพลโดยรวมของความสามารถในการแยกความแตกต่าง (Dis-crimination) ความไว (Sensitivity) และความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) ตลอดช่วงการใช้งานของระบบการวัดซึ่งค่าของความแม่นยำจะเป็นตัววัดความผันแปรของระบบการวัดในรูปความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของระบบการวัดสามารถแบ่งความผันแปรออกเป็น

รีพีทอะบิลิตี (Repeatability) หมายถึงความผันแปรของค่าวัดรอบค่าที่ควรจะเป็น (Expected Value) ของระบบการวัดที่ทำการวัดโดยการใช้พนักงานวัดคนเดียวกัน อุปกรณ์วัดเดียวกัน ในการวัดงานชิ้นเดียวกันซ้ำๆซึ่ง โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมหมายถึงความผันแปรของอุปกรณ์ (Equipment Variation:EV) ทั้งนี้เพราะความผันแปรภายในเงื่อนไขเดียวกันของระบบการวัดมักจะมีผลมาจากตัวอุปกรณ์

รีโพรดิวซิบิลิตี (Reproducibility) หมายถึงความผันแปรที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากการใช้อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกันซึ่งในอุตสาหกรรมทั่วไปมักจะหมายถึงความแตกต่างระหว่างพนักงานวัดการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความผันแปรของความกว้างของระบบการวัดซึ่งหมายถึงความผันแปรจากความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของระบบการวัด

ในระะยะการวัดเพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ประกอบด้วย

1. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) สำหรับข้อมูลนับ (Attribute)

การประเมินผลและวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบเมื่อข้อมูลเป็นข้อมูลนับเป็นการประเมินผลในลักษณะเชิงคุณภาพคือเป็นเรื่องของความเรียบร้อยความสวยงามรสชาติหรือบางครั้งพารามิเตอร์อาจเป็นลักษณะเชิงผันแปรแต่ทำการนับเนื่องจากการเอาไปเปรียบเทียบกับ

ข้อกำหนดเฉพาะหรือ Go/No Go Gauge ดังนั้นในการศึกษากระบวนการวัดแบบอาศัยข้อมูลนับจะเป็นการประเมินโดยการเปรียบเทียบชิ้นงานที่ทำการตรวจสอบข้อกำหนดเฉพาะซึ่งจะทำให้สามารถประเมินผลของข้อมูลออกมาเป็นที่ยอมรับหรือปฏิเสธและผ่านหรือไม่ผ่านจึงไม่สามารถประเมินผลได้ว่าคุณภาพของงานที่ตรวจสอบนั้นดีหรือไม่ การศึกษาความสามารถของกระบวนการวัดมีขั้นตอนดังนี้

1. เลือกผู้ชำนาญการซึ่งเป็นบุคคลที่มีความสามารถพิเศษในการแยกแยะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีหรือเสียและลูกค้าให้การยอมรับในผลการตรวจสอบดังกล่าว
2. กำหนดลือตมาตรฐานสำหรับการตรวจสอบเพื่อประเมินความสามารถของระบบการวัดโดยลือตดังกล่าวควรประกอบด้วยสิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพดีสิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพไม่ดีและสิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพก้ำกึ่งอย่างละ 1 ใน 3 ของสิ่งตัวอย่างทั้งหมดโดยงานก้ำกึ่งควรประกอบด้วยงานดีก้ำกึ่งและงานไม่ดีก้ำกึ่งอย่างละครึ่ง (Fasser and Brettner, 1992)
3. เลือกพนักงานวัดหรือพนักงานตรวจสอบ 2-4 คนโดยพนักงานที่เลือกมาต้องเป็นพนักงานที่มีหน้าที่ประจำในการตรวจสอบคุณภาพและได้ผ่านการฝึกอบรมมาอย่างดีรวมทั้งผ่านการประเมินผลแล้วโดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจสอบที่อาศัยความรู้สึก
4. กำหนดจำนวนชิ้นงานตัวอย่างและจำนวนครั้งในการทดสอบซ้ำโดยจำนวนดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับจำนวนของพนักงานทดสอบดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ขนาดสิ่งตัวอย่างในการประเมินผลระบบการตรวจสอบข้อมูลนับ

(Fasser and Brettner, 1992)

จำนวนพนักงาน ตรวจสอบ	จำนวน อุปกรณ์วัด	จำนวนชิ้นงาน ตัวอย่างที่ต่ำสุด	จำนวนทดสอบซ้ำที่ ต่ำสุด
1	1	10	5
1	2	15	3
2	1	15	3
2	2	10	2
1 หรือ 2	3 หรือมากกว่า	10	2
3 หรือมากกว่า	1 หรือ 2	10	2
3 หรือมากกว่า	3 หรือมากกว่า	10	2

5. สุ่มพนักงานตรวจสอบขึ้นมาหนึ่งคน แล้วตรวจสอบตัวอย่างแบบสุ่มเพื่อประเมินผลคุณภาพของสิ่งตัวอย่างว่าผ่าน (Good-G) หรือไม่ผ่าน (No Good-NG) และทำเช่นนี้จนครบจำนวนพนักงานที่จะทำการทดสอบ

6. ทำการวิเคราะห์ความเห็นพ้องของระบบการวัด โดยประเมินผลด้วยดัชนี 4 ประการ ดังนี้

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

$$\% \text{ ความไม่ไปอัสของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบเหมือนกัน และถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

$$\% \text{ ด้านประสิทธิผลด้านรัฟฟิทัะบิลิตี๊} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบทุกคนเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

$$\% \text{ ด้านประสิทธิผลด้านไปอัสของการตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานทุกคนตรวจสอบ ได้ถูกต้องเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

ค่าเปอร์เซ็นต์รัฟฟิทัะบิลิตี๊ของพนักงานตรวจสอบที่ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดแล้วให้ทำการอบรมพนักงานใหม่รวมทั้งประเมินผลของพนักงานใหม่เพื่อปรับปรุงค่ารัฟฟิทัะบิลิตี๊ให้ดีขึ้น

ค่าเปอร์เซ็นต์ความไปอัสของพนักงานตรวจสอบ (% Attribute Score) ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดแล้วจะต้องปรับปรุงวิธีการตรวจสอบใหม่หรือต้องกำหนดให้ชิ้นงานได้รับการตรวจสอบโดยผู้ชำนาญการเฉพาะเท่านั้น

ค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านไปอัสของการตรวจสอบ (% Attribute Effective Score) ถ้าไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดแล้วมีความจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุจากดัชนีข้างต้นเพื่อปรับปรุงให้ได้ค่าที่ดีขึ้น

7. ทำการวิเคราะห์ประสิทธิผลของการวัด ซึ่งจะต้องคำนึงถึงคุณภาพที่แท้จริงของชิ้นงานตัวอย่างที่ทำการวัด จากนั้นจึงศึกษาความพ้องกันระหว่างพนักงานแต่ละคนกับมาตรฐานโดยมีวิธีในการคำนวณดังนี้

ความป้องกันระหว่างพนักงานกับมาตรฐาน
สามารถวิเคราะห์ได้จากคะแนนของค่าแอตทริบิวต์ (% attributes score) (กิตติศักดิ์
พลอยพานิชเจริญ, 2553)

$$\% \text{ ของค่าแอตทริบิวต์} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}}$$

ประเมินความสามารถของพนักงานแต่ละคนกับมาตรฐาน
สามารถวิเคราะห์ได้จาก ดัชนีความมีประสิทธิภาพผลของพนักงานแต่ละคน (operator
effectiveness index: O_E) ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด (false alarm index: I_{FA}) และ
ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด (index of a miss: I_{MISS}) (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ,
2553)

$$O_E = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตัดสินใจได้ถูกต้อง}}{\text{โอกาสทั้งหมดของการตัดสินใจ}}$$

$$I_{FA} = \frac{\text{จำนวนที่ปฏิเสธผิดพลาด}}{\text{โอกาสทั้งหมดที่จะปฏิเสธผิดพลาด}}$$

$$I_{MISS} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ยอมรับผิดพลาด}}{\text{โอกาสทั้งหมดที่ยอมรับผิดพลาด}}$$

โดยได้กำหนดเกณฑ์การตัดสินใจของการวิเคราะห์ประสิทธิภาพจาก AIAG (2002, p. 132)
ได้ดังนี้

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์การตัดสินใจดัชนีแสดงประสิทธิภาพจาก AIAG

การตัดสินใจ	O_E	I_{FA}	I_{MISS}
ยอมรับได้	$\geq 90\%$	$\leq 5\%$	$\leq 2\%$
ยอมรับแบบกำกึ่ง	$\geq 80\%$	$\leq 10\%$	$\leq 5\%$
ไม่สามารถยอมรับได้	$< 80\%$	$> 10\%$	$> 5\%$

D = Detection คือ ระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหานั้นก่อนที่จะส่งมอบงานหรือผลิตภัณฑ์ไปให้ลูกค้า

ค่า O, S และ D จะใช้เป็นตัวเลขที่มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 หากค่า RPN น้อย แสดงว่าความถี่ของการเกิดปัญหานั้นมีน้อยมาก ความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานั้นมีน้อย และสามารถตรวจจับปัญหานั้นได้ก่อนส่งมอบให้ลูกค้าอย่างสมบูรณ์ หากค่า RPN มาก แสดงว่าความถี่ของการเกิดปัญหานั้นมีมาก ความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหามีมาก และยังไม่มียุทธศาสตร์การตรวจจับปัญหานั้นก่อนส่งมอบให้ลูกค้า

โดยคะแนนเหล่านี้จะให้พนักงานและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องร่วมลงคะแนน หลังจากนั้นจะเขียนแผนภาพพาเรโตหาปัจจัยนำเข้าไปที่จะนำมาทำการทดลอง เพื่อพิสูจน์ปัจจัยสำคัญของสาเหตุของปัญหาในระยะต่อไปด้วยวิธีการทางสถิติ

3. การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ หมายถึง การประเมินความผันแปรของกระบวนการ ในโรงงานที่ผู้ศึกษาได้เข้าไปวิจัยจะใช้แผนภูมิควบคุมที่เป็นข้อมูลแบบนับ (attribute data) ซึ่งมีแนวคิดเช่นเดียวกับการประเมินความสามารถของกระบวนการด้วยข้อมูลแบบวัด คือ ให้ทำการประเมินความผันแปรของกระบวนการเปรียบเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะเพื่อทำการกำหนดสัดส่วนของผลิตภัณฑ์บกพร่องจากการบวนการที่ศึกษา แต่เนื่องจากข้อมูลแบบนับเป็นข้อมูลที่ไม่มีความสัมพันธ์อธิบายความผันแปร จึงมีความจำเป็นต้องกำหนดข้อมูลนับให้อยู่ในรูปของสัดส่วนของข้อบกพร่อง เพื่อการเทียบให้อยู่ในรูปของสเกลของการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน (Z) ในการประเมินความสามารถของกระบวนการสำหรับข้อมูลแบบนับนี้จะต้องหาค่า \bar{p} (กิตติศักดิ์พลอยพานิชเจริญ, 2553 : 206) โดย

$$\bar{p} = \frac{\text{จำนวนหน่วยตัวอย่างที่มีลักษณะที่สนใจ} (\sum x)}{\text{จำนวนหน่วยตัวอย่างทั้งหมด} (n)}$$

โดยจะหาค่าขอบเขตบน (UCL) ค่ากลางของแผนภูมิควบคุม (CL) และขอบเขตล่าง (LCL) จากแผนภูมิควบคุม \bar{p} ได้ดังนี้

$$UCL = \bar{p} + 3 \frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{n}$$

$$CL = \bar{p}$$

$$LCL = \bar{p} - 3 \frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{n}$$

แผนภูมิควบคุม p และ np เป็นที่นิยมมากในอุตสาหกรรมและระบบบริการต่าง ๆ เพื่อการติดตามตรวจสอบกระบวนการที่มีตัวแปรเป็นสัดส่วนของงานที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน ซึ่งการควบคุมกระบวนการด้วยข้อมูลแบบนี้จะยากในการหาจำนวนตัวอย่าง ซึ่งข้อมูลนับจะใช้จำนวนตัวอย่างมากกว่าข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น แผนภูมิ p ใช้จำนวนตัวอย่าง 50 ขึ้น แต่แผนภูมิ \bar{X} -bar จะใช้จำนวนตัวอย่างเพียง 5 ขึ้นเท่านั้น ซึ่งหากใช้ข้อมูลแบบนี้มาวิเคราะห์ก็จะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายมากกว่า (Kaya and Engin, 2007)

- **Analyze Phase (A) หรือระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา**เป็นการหาสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความผิดพลาดหรือของเสีย ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้ค่าเป้าหมายหรือ Yield ของกระบวนการไม่เป็นไปตามที่กำหนดซึ่งมาจากปัจจัยของปัญหา หรือสาเหตุของปัญหา โดยทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางสถิติ ซึ่งต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับข้อมูลและกระบวนการทำงานเพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความแม่นยำสามารถเชื่อถือได้เป็นการเอาข้อมูลทางตัวเลขที่ได้จากการวิเคราะห์ เพื่อหาสาเหตุที่มีนัยสำคัญต่อปัญหาโดยใช้การทำการทดลอง และนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ทางสถิติ เช่น การตรวจสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) และการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เป็นต้น

การออกแบบทดลองเชิงสถิติ

การออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment) เป็นกระบวนการวางแผนการทดลองและนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ด้วยหลักการทางสถิติและวิเคราะห์ว่าปัจจัยนำเข้า (Input Variable) ใดมีผลต่อสิ่งที่ให้ความสนใจ (Response) โดยทั่วไปการทดลองจะถูกใช้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการหรือระบบโดยส่วนใหญ่ลักษณะของกระบวนการเริ่ม

จากการรวมกันของปัจจัยนำเข้า (Input) ซึ่งประกอบด้วยเครื่องจักรคนวิธีการวัตถุดิบและทรัพยากรอื่นๆผ่านเข้าไปยังกระบวนการและปัจจัยนำเข้าเหล่านั้นจะเปลี่ยนรูปออกมาเป็นผลลัพธ์ (Output)

การเลือกแบบการทดลอง

1. แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) เป็นแผนการทดลองที่ง่ายที่สุดเหมาะกับการทดลองที่แยกได้ว่าหน่วยทดลองที่นำมาใช้นั้นมีลักษณะแตกต่างกันอย่างไรก่อนการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยแผนการทดลองนี้จะแยกสาเหตุความผันแปรผันของข้อมูลทั้งหมดว่าเนื่องมาจากอิทธิพลของทริทเมนต์อย่างเดียวไม่มีสาเหตุของปัจจัยอื่นจึงเรียกข้อมูลนี้ว่าข้อมูลแจกแจงทางเดียว (One-Way Classification)

2. การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design) ในบางการทดลองอาจเกิดปัญหาเกี่ยวกับหน่วยการทดลองที่ใช้ไม่มีความสม่ำเสมอทำให้แผนการใช้การทดลองแบบสุ่มตลอดไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรจะเป็นเนื่องจากความผันแปรที่เกิดจากหน่วยทดลองรวมข้อมูลจะไม่ใช่ผลของทริทเมนต์เพียงอย่างเดียวแต่อาจมีความผันแปรที่เกิดจากหน่วยทดลองรวมอยู่ด้วยซึ่งความแปรผันส่วนหลังนี้จะไปรวมอยู่กับความคลาดเคลื่อนของการทดลองทำให้ยอดรวมของผลบวกกำลังสองมีความคลาดเคลื่อนสูงซึ่งมีผลต่อการทดสอบทำให้ผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องพยายามแยกผลที่เกิดจากอิทธิพลอื่นที่ไม่ใช่ทริทเมนต์ออกจากความแปรปรวนทั้งหมดเพื่อให้แน่ใจว่าผลที่นำมาวิเคราะห์เป็นอิทธิพลของทริทเมนต์ (Treatment Effect) แต่เพียงอย่างเดียว

3. แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design) การทดลองแบบแฟคทอเรียลเป็นการศึกษาผลที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนองในทุกๆระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (Treatment Combination) ที่มีจำนวน 2 ปัจจัยขึ้นไปทุกๆ Treatment Combination ของปัจจัยนำเข้าทุกตัวจะได้รับการศึกษาไปพร้อมๆกันผลกระทบจากปัจจัยนำเข้าจะนิยามด้วยการตรวจสอบค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองที่ศึกษาที่เกิดขึ้น โดยการเปลี่ยนระดับของปัจจัยนำเข้านี้เรียกว่าอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction) จะหมายถึงค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองในระดับปัจจัยนำเข้าตัวหนึ่งจะมีค่าไม่เท่ากันในระดับต่างๆของปัจจัยนำเข้าตัวอื่นๆ ซึ่งแสดงได้โดยพิจารณาจากแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง

การแปลงค่าตัวแปรตอบสนองและการหาขนาดตัวอย่าง

ในโรงงานที่ศึกษาได้เก็บข้อมูลแบบสัดส่วนของเสีย ซึ่ง Bisgaard and Fuller (1994) ได้เสนอการแปลงข้อมูลที่เกิดจากจำนวนของเสีย เนื่องจากหากนำมาวิเคราะห์โดยตรงจะทำให้ข้อมูลไม่เป็นไปตามสมมุติฐานความแปรปรวนคงที่ (Constant Variation) จึงต้องแปลงข้อมูล

ก่อนนำไปวิเคราะห์ ซึ่ง Bisgaard และ Fuller ได้เสนอการแปลงข้อมูลไว้สองวิธี คือ การแปลงข้อมูลแบบมาตรฐาน (Standard Transformation) และการแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey (Freeman and Turkey's (F & T) Modifications) ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สมการการแปลงข้อมูลด้วยวิธีมาตรฐานและวิธีของ Freeman และ Turkey เมื่อผลตอบเป็นสัดส่วนของเสียหรือจำนวนรอยตำหนิ

ชนิดของข้อมูล	ลักษณะการกระจายของข้อมูล	การแปลงรูป	การปรับปรุงด้วยวิธีของ F&T
สัดส่วนของเสีย (\hat{p}) จำนวนของเสียในตัวอย่างที่สนใจ	แบบทวินาม	$\arcsin\sqrt{\hat{p}}$	$(\arcsin\sqrt{\frac{n\hat{p}}{n+1}} + \arcsin\sqrt{\frac{n\hat{p}+1}{n+1}})$
จำนวนรอยตำหนิ (\hat{c}) จำนวนข้อบกพร่องต่อหน่วย	แบบปัวส์ซอง	$\sqrt{\hat{c}}$	$\frac{(\sqrt{\hat{c}} + \sqrt{\hat{c}+1})}{2}$

ในการหาขนาดตัวอย่างของข้อมูลแบบสัดส่วนของเสีย โดยจะพิจารณาว่าชิ้นงานที่ได้ผลดีออกมา เกิดข้อบกพร่องหรือไม่ ซึ่งจะมีการบันทึกข้อมูลเพียง ผ่าน หรือไม่ผ่าน ซึ่ง Bisgaard and Fuller (1995) ได้เสนอว่าหากเป็นไปได้ควรใช้ข้อมูลประเภทอื่นแทนการเก็บข้อมูลแบบนี้

หากค่าในตารางไม่ครอบคลุมเงื่อนไขที่ต้องการหาสามารถคำนวณขนาดตัวอย่างโดยมีเงื่อนไข 2 ประการคือ

1. การผลิตในปัจจุบันอยู่ที่กึ่งกลาง (Center in the space) ของการออกแบบซึ่งต้องใช้การทดสอบแบบสองหาง (Two-sided Test)

โดย n คือ ขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้

N คือ จำนวนการทดลองเชิงแฟลททอเรียลที่ทำการทดลอง

δ คือ ค่าความแตกต่างของข้อบกพร่องที่ได้แปลงค่าแล้ว สามารถหาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\delta = \arcsin \left(\sqrt{p_0 + \frac{\Delta}{2}} \right) - \arcsin \left(\sqrt{p_0 - \frac{\Delta}{2}} \right)$$

2. การผลิตในปัจจุบันอยู่ที่จุดยอด (Vertex)ของการออกแบบ ซึ่งต้องใช้การทดสอบแบบด้านเดียว (One Side Test) จะได้ความแตกต่างของค่าที่ได้รับการแปลงข้อมูลดังนี้

$$\delta = \arcsin \sqrt{p_0} - \arcsin (\sqrt{p_0 - \Delta})$$

และสามารถนำไปหาขนาดตัวอย่างได้จากสูตร

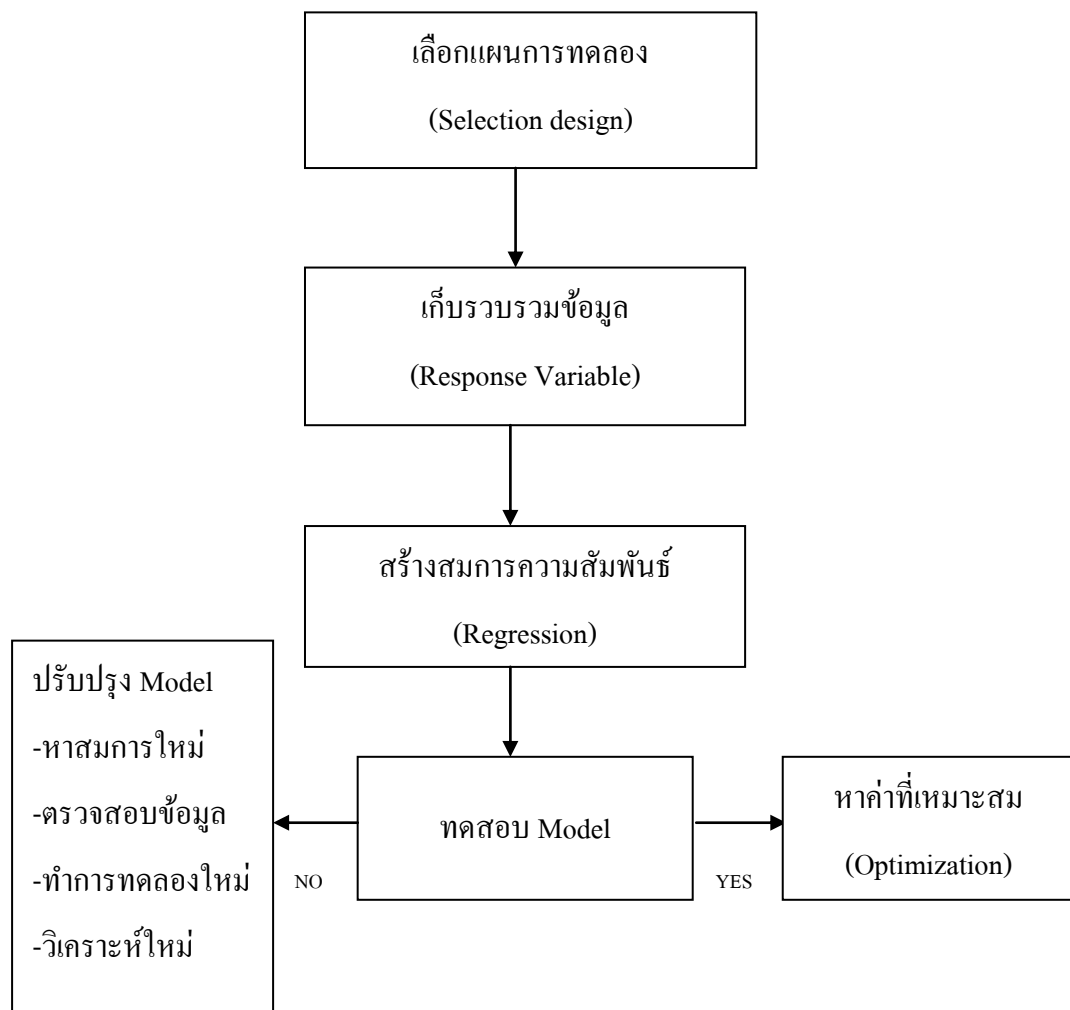
$$n = \frac{(Z_{1-\alpha/2} + Z_{1-\beta})^2}{N\delta^2}$$

- **ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ หรือ Improve Phase (I)** หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุจนทราบถึงสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องแล้วในขั้นตอนนี้จะกำหนดแผนงานในการปรับปรุงกระบวนการทำงานโดยมุ่งเน้นไปที่การกำจัดหรือลดสิ่งทำให้เกิดปัญหาหลักนั้นๆ ซึ่งการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีของ Six Sigma นี้จะมีประโยชน์ในด้านการศึกษา ความคุ้มค่า เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยนำเข้าบางอย่างจำเป็นต้องอาศัยการลงทุนเพิ่ม ดังนั้นเมื่อค้นคว้าหาวิธีการปรับปรุงกระบวนการด้วยวิธีต่าง ๆ แล้วจึงนำมาประเมินหาแนวทางที่เหมาะสมที่สุดหรือนำมาเรียงลำดับว่าควรจะต้องเลือกดำเนินการตามแนวทางใดก่อน-หลังจึงจะเหมาะสมตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ของผู้ผลิตเช่น ผลกระทบที่เกิดขึ้นการยอมรับจากผู้ที่เกี่ยวข้อง หรืองบประมาณที่ได้รับเพื่อใช้ในการปรับปรุงกระบวนการ เป็นต้นแล้วจึงเริ่มดำเนินการปรับปรุงกระบวนการทำงานตามแผนงานที่กำหนดเป็นขั้นตอนของการดำเนินการปรับปรุงการดำเนินงานตามที่วิเคราะห์เอาไว้เพื่อให้ได้คำตอบสนองจากตัวชี้วัดที่ดีขึ้น ทำให้เราได้ทราบสาเหตุหลักหรือ KPIV ของกระบวนการ ซึ่งเป็นการปรับตั้งค่า KPIV โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ผลลัพธ์ของกระบวนการเป็นไปตามต้องการโดยใช้เทคนิคดังนี้ (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2544: 203)

1. เทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) การกำหนดขั้นตอนสำหรับการดำเนินการทดลองที่ได้มาจากกฎเกณฑ์ทางสถิติที่ดำเนินมาจากขั้นวิเคราะห์ขั้นตอนดังกล่าวจะทำให้ได้ข้อมูลมากที่สุดจากผลการทดลองแต่ละครั้ง

2. เทคนิคขั้นสูงและมีความซับซ้อน (Response Surface Methodology: RSM) เป็นเทคนิคทางสถิติ ในการตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรที่สนใจที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยการออกแบบการทดลองก่อนหน้า สามารถหาจุดที่เหมาะสม (Optimization) จากความสัมพันธ์ของตัวแปรเหล่านั้นได้

การออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) และการทดลองแบบบ็อก-เบนเคน (Box-Behnken design) เป็นแบบการทดลองที่ใช้หาสมการพื้นผิวผลตอบ และสามารถนำไปสู่การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้ (ปารเมศ ชูติมา, 2545)



ภาพที่ 2.6 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ในการออกแบบการทดลองส่วนใหญ่มักตั้งสมมติฐานในการวิเคราะห์จากการที่ตัวแปร y มีการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ดังนั้น y จะมีการกระจายแบบปกติได้ต้องให้ ϵ มีการกระจายแบบปกติและต้องเป็นการกระจายที่เป็นอิสระ $\epsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง มี 3 ขั้นตอนคือ

1. การตรวจสอบการกระจายว่าเป็นแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) หรือไม่โดยใช้วิธีการดังนี้

- 1.1 การทดสอบแบบไคร์สแควร์
- 1.2 การทดสอบแบบโคโคโมรอฟ-สเมอร์นอฟ
- 1.3 การทดสอบโดยใช้การตรวจสอบการแจกแจงปกติ

2. การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) แล้วคุณลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิว่าเป็นรูปแบบอิสระหรือไม่

3. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจายค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ในแต่ละระดับของปัจจัยตัวรูปร่าง ของการกระจายของข้อมูลที่ออกมาไม่เป็นลักษณะของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแปรปรวน แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

- **ระยะการทดสอบยืนยันผล และติดตามควบคุม หรือ Control Phase (C)** เป็นการคงสภาพและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจัดเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการทำโครงการ Six Sigma แต่เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญในการดำเนินโครงการ เนื่องจาก หลังจากที่ได้มีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงกระบวนการทำงานในระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ จะต้องวางระบบการควบคุมเพื่อให้ความเปลี่ยนแปลงนั้นยังคงอยู่ในกระบวนการผลิต มิฉะนั้นกระบวนการจะค่อย ๆ ปรับกลับไปสู่รูปแบบเดิมจากความเคยชินของผู้ปฏิบัติงานในการควบคุมจึงจำเป็นต้องอาศัยการยอมรับหรือเห็นคุณค่าของกระบวนการที่ได้ทำการปรับปรุงใหม่และการติดตามประเมินผลของปัจจัยที่ได้ทำการปรับแก้ด้วยแผนภูมิควบคุมประเภทต่าง ๆ

ในระยะนี้ต้องมีการจัดทำแผนควบคุม (Control Plan) มีการฝึกอบรมพนักงานให้เกิดความเข้าใจสำหรับการทำงานใหม่ที่ได้จากการทดลอง โดยอาจกำหนดในคู่มือการทำงาน หรือ Work Instruction เพื่อเฝ้าติดตามและตรวจสอบคุณภาพของกระบวนการและการใช้แผนภูมิควบคุม (Control Charts) ในการควบคุมกระบวนการ สำหรับงานวิจัยนี้จะควบคุมสัดส่วนของเสีย นั่นคือใช้ p chart โดยมีสมมุติฐานที่ว่า ตัวอย่างจะถูกเลือกโดยใช้เทคนิคการสุ่ม (Jozani and Mirkamari, 2011)

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับโลหะ

การเลือกใช้วัสดุในงานวิศวกรรม สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นลำดับแรกคือ สมบัติทางกล ซึ่งวัสดุที่เลือกใช้ต้องมีความแข็ง (Hardness) ความแข็งแรง (Strength) ความเหนียว (Ductility) ฯลฯ โดยค่าของสมบัติทางกลเหล่านี้จะถูกบันทึกไว้ในคู่มือ เอกสาร หรือหนังสือตารางโลหะต่าง ๆ ซึ่งทำให้สามารถเลือกวัสดุให้เหมาะสมกับชิ้นงานได้ ซึ่งข้อมูลของสมบัติทางกลเหล่านี้จะได้จาก

การทดสอบด้วยเครื่องมือและวิธีการต่าง ๆ ที่มีมาตรฐานสามารถเชื่อถือได้ โดยในการทดสอบทางกลสามารถแบ่งแรงที่ใช้ในการทดสอบได้ 3 แรงดังนี้

แรงสถิต (Static Load) หมายถึง แรงที่ทำต่อวัสดุขณะที่วัสดุอยู่นิ่ง เช่น การทดสอบแรงดึง

แรงสลับ (Cyclic Load) หมายถึง แรงกระทำต่อวัสดุที่มีขนาดแตกต่างกันและทำซ้ำ ๆ

แรงกระแทก (Dynamic หรือ Impact Load) หมายถึง แรงกระทำต่อวัสดุอย่างรวดเร็วทันทีทันใด เช่นการทดสอบแรงกระแทก

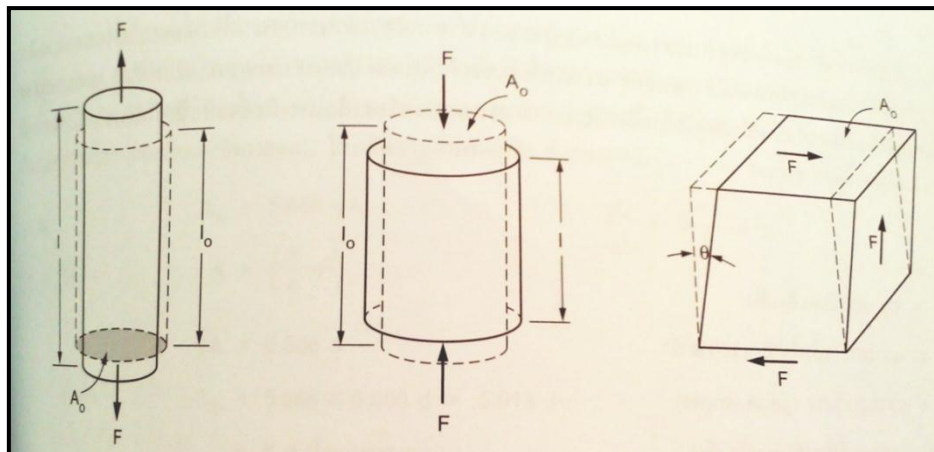
วัสดุเมื่อถูกแรงภายนอกมากระทำ จะทำให้วัสดุเปลี่ยนรูปโดยมีรูปร่าง 2 แบบ คือ

1. การเปลี่ยนรูปแบบถาวร (**Plastic Deformation**) เกิดจากเมื่อวัสดุรับแรงภายนอกแล้วเกิดการเปลี่ยนรูป หรือเปลี่ยนขนาดจากเดิม โดยเมื่อปล่อยแรงกระทำออกแล้ววัสดุจะไม่กลับสภาพเดิม เช่น การงอหรือตัดลวด

2. การเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น (**Elastic Deformation**) เกิดจากเมื่อวัสดุได้รับแรงภายนอกแล้วเกิดการเปลี่ยนรูป แต่เมื่อเราปล่อยแรงกระทำออกแล้ว วัสดุจะกลับสู่สภาพเดิมหรือกลับสู่สภาพปกติ เช่น การยืดหรือหดหนังยาง

2.2.1 คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ

ความเค้น (Stress) หมายถึง แรงต้านภายในเนื้อวัสดุที่พยายามต้านทานแรงภายนอกที่มากระทำ เพื่อให้มีการเปลี่ยนรูปไปจากเดิม โดยแรงที่มากระทำจะถูกกระจายไปทั่วพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ ซึ่งแรงที่กระทำกับวัสดุจะทำให้เกิดความเค้น 3 แบบ คือ ความเค้นดึง (tensile stress) ความเค้นอัด (compressive stress) ความเค้นเฉือน (Shear stress) โดยความเค้นดึงและความเค้นอัดจะรับแรงที่มีขนาดตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด แต่ความเค้นเฉือนจะรับแรงที่ขนานกับพื้นที่หน้าตัด



ภาพที่ 2.7 แรงกระทำจากความเค้นดึง ความเค้นอัด และความเค้นเฉือน

จากลักษณะของแรงกระทำสามารถหาความเค้นดึง และความเค้นอัดได้จาก

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

โดยที่ σ คือ ความเค้น มีหน่วยเป็น lb/in², N/m² และ kgf/mm²
 F คือ แรงกระทำตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด มีหน่วยเป็น lb, N และ kgf
 A คือ พื้นที่หน้าตัดขวางที่ถูกแรงกระทำ มีหน่วยเป็น in², m² และ mm²

สามารถหาความเค้นแรงเฉือนได้จาก

$$\tau = \frac{F}{A}$$

โดยที่ τ คือ ความเค้นเฉือน มีหน่วยเป็น lb/in², N/m² และ kgf/mm²
 F คือ แรงกระทำขนานกับพื้นที่หน้าตัด มีหน่วยเป็น lb, N และ kgf
 A คือ พื้นที่หน้าตัดที่ขนานกับแรงกระทำ มีหน่วยเป็น in², m² และ mm²

ความเครียด (strain) คือการเปลี่ยนรูปร่าง (deformation) ของวัสดุเมื่อมีแรงมากระทำ แบ่งเป็นความเครียดแบบยืดหยุ่น และความเครียดแบบถาวร โดยการหาความเครียดทางวิศวกรรม (engineering strain) ซึ่งจะหาได้จากขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปของชิ้นงาน โดยแบ่งตามแรงกระทำได้ 2 แบบ คือ ความเครียดเชิงเส้น ซึ่งจะเกิดเมื่อวัสดุได้รับแรงดึงหรือแรงกด และความเครียดเฉือน จะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุได้รับแรงดึงหรือแรงกดแบบไม่ตั้งฉากกัน

ความเครียดเชิงเส้นหาได้จากสมการ

$$\epsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

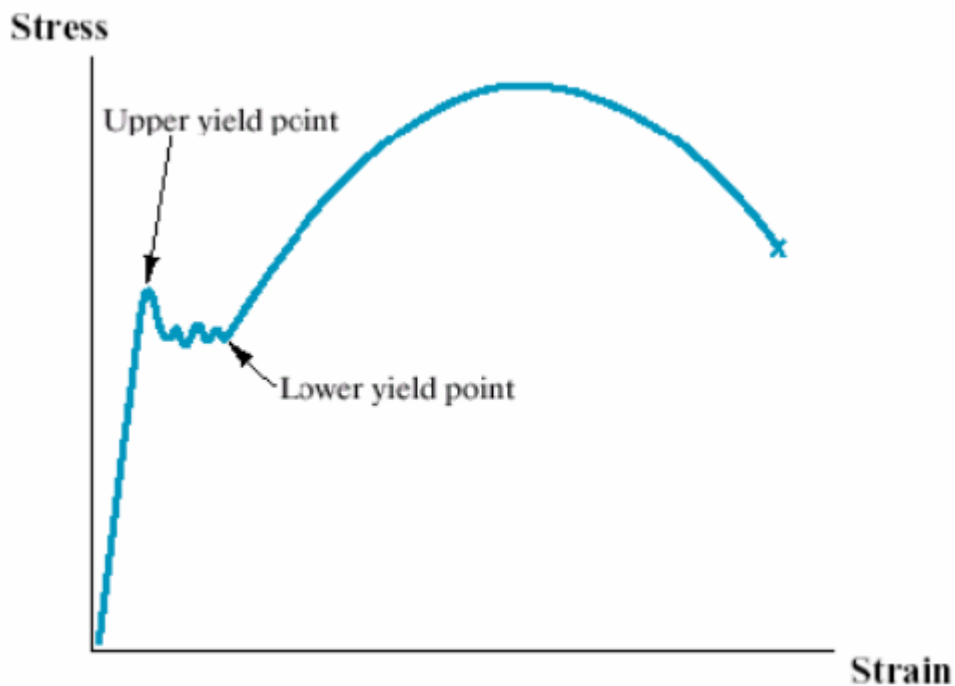
โดยที่ ϵ คือ ความเครียดเชิงเส้น
 l คือ ความยาวเมื่อได้รับแรงกระทำ
 l_0 คือ ความยาวเกจ

ความเครียดเฉือนหาได้จากสมการ

$$\gamma = \tan \theta$$

โดยที่ γ คือ ความเครียดเฉือน
 θ คือ มุมที่เปลี่ยนไป

โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดได้ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

2.2.2 คุณสมบัติของธาตุต่าง ๆ ที่ผสมในเหล็ก ซึ่งแผ่นเหล็กที่ใช้ทำการวิจัย ประกอบด้วย ธาตุต่อไปนี้

คาร์บอน (Carbon) สัญลักษณ์ทางเคมี คือ C มีคุณสมบัติทำให้เหล็กแข็งเพิ่มขึ้น มักนำไปอบชุบ (Heat Treatment) ซึ่งคาร์บอนจะรวมตัวกับเนื้อเหล็ก จะเกิดคาร์บอนผสมเรียกว่า มาร์เทนไซต์ (Martensite) และซีเมนไตต์ (Cementite) นอกจากนี้ คาร์บอนยังสามารถรวมตัวกับเหล็กและธาตุอื่น ๆ กลายเป็นคาร์ไบด์ (Carbide) โดยจะมีคุณสมบัติช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการสึกหรอของเหล็ก แต่คาร์บอนจะมีผลให้เหล็กถูกลดความยืดหยุ่น (Elasticity) ความสามารถในการตีขึ้นรูป (Forging) และความสามารถในการเชื่อม (Welding) แต่ไม่มีผลต่อความต้านทานการกัดกร่อน

แมงกานีส (Manganese) สัญลักษณ์ทางเคมี คือ Mn ใช้เป็นตัวไล่กำมะถัน (Sulfur) ซึ่งเป็นสารที่ไม่ต้องการในเนื้อเหล็ก โดยจะถูกกำจัดออกในขณะหลอม ทำให้เหล็กอบชุบแข็งง่ายขึ้น เนื่องจากเป็นตัวลดอัตราการเย็นตัววิกฤต (Critical Cooling Rate) ทำให้เหล็กทนทานต่อแรงดึงได้มากขึ้น เพิ่มสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเหล็กเมื่อถูกความร้อน แต่จะลดคุณสมบัติในการเป็นตัวนำไฟฟ้า และความร้อน นอกจากนี้แมงกานีสยังมีอิทธิพลต่อการขึ้นรูปหรือเชื่อมเหล็กกล้า โดยคาร์บอนที่มีปริมาณแมงกานีสเพิ่มขึ้น จะทนต่อการเสียดสีได้ดีขึ้น

ฟอสฟอรัส (Phosphorus) และกำมะถัน (Sulphur) สัญลักษณ์ทางเคมี คือ P และ S ตามลำดับเป็นตัวทำลายคุณสมบัติของเหล็ก โดยต้องทำให้มีอยู่ในเนื้อเหล็กให้น้อยที่สุด ซึ่งจะเรียกสารเหล่านี้ว่า สารมลทิน (Impurities) เหล็กเกรดสูงจะต้องมีฟอสฟอรัสไม่เกิน 0.03 - 0.05 % ส่วนกำมะถันจะทำให้เหล็กเกิด Red Shortness จึงแตกเปราะง่าย โดยทั่วไปจึงจำกัดปริมาณกำมะถันในเหล็กไม่เกิน 0.025 หรือ 0.03 % ยกเว้น เหล็กฟรีแมชชีนนิ่ง (Free Machining) ที่เติมกำมะถันถึง 0.30 % เพื่อให้เกิดซัลไฟด์ขนาดเล็กกระจายทั่วเนื้อเหล็ก ทำให้ชักลึงขาดง่าย จึงตัดแต่งด้วยเครื่องมือกลได้ง่าย

ซิลิคอน (Silicon) สัญลักษณ์ทางเคมี คือ Si ซิลิคอนจะปรากฏในเหล็กทุกชนิด เนื่องจากสินแร่เหล็กมักมีซิลิคอนผสมอยู่ด้วย ใช้เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิไดซิ่ง (Oxidizing) ทำให้เหล็กแข็งแรงและทนทานต่อการเสียดสีได้ดี เพิ่มค่าแรงดึงที่จุดคราก (Yield Point) ของเหล็กให้สูงขึ้น จึงใช้ผสมในการทำเหล็กสปริง (Spring Steels) ช่วยทำให้เหล็กทนทานต่อการตกระเบื้อง (Scale) ที่อุณหภูมิสูงได้ดี จึงใช้ผสมในเหล็กทนความร้อน

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการขึ้นรูปโลหะแผ่น

โลหะแผ่น (sheet metal) ถูกนิยามด้วยอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อความหนา ถ้าความหนามากกว่า 6 มิลลิเมตร จะเรียกว่าเพลท (plate) โลหะแผ่นมีอัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง ดังนั้นชิ้นส่วนที่ทำจากโลหะแผ่นจะมีน้ำหนักเบาและแข็งแรง การขึ้นรูปโลหะแผ่นจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูป (deformation) ด้วยการพับหรือดัด (bending) และ/หรือการยืด (stretching) การปั๊ม (stamping) ซึ่งเป็นวิธีการขึ้นรูปเย็น (cold-working) ของโลหะแผ่นด้วยแม่พิมพ์และเครื่องกด (press) แม่พิมพ์จะเป็นตัวกำหนดรูปร่างและขนาดของชิ้นงานสำเร็จ ซึ่งประกอบด้วยสองส่วนคือ 펀ช์ (punch) หรือแม่พิมพ์ และคาย (die) หรือแม่พิมพ์ตัวเมีย โดยปกติ 펀ช์จะอยู่ด้านบน มีขนาดเล็กกว่าคาย มีรูปร่างคล้ายคายและจะเป็นตัวเคลื่อนที่เข้าหาคาย เมื่อ 펀ช์และคายประกบกันจะมีช่องว่างเกิดขึ้น ช่องว่างนี้จะถูกกำหนดโดยชนิดและความหนาของแผ่นโลหะชิ้นงานและวิธีการขึ้นรูป 펀ช์และคายจะถูกติดตั้งในคายเซต (die set) โดยคายจะติดอยู่ที่ฐานล่าง (lower die shoe) และ 펀ช์ติดอยู่กับฐานบน (upper die shoe) คายเซตทำหน้าที่นำ

พื้นซ์และคายให้เคลื่อนที่เข้าประกบกันอย่างถูกต้อง คายเซ็ทจะถูกนำไปติดตั้งบนเครื่องกด (press machine) โดยส่วนของคายจะยึดติดอยู่ด้านล่างและพื้นซ์จะยึดติดอยู่ด้านบน

2.3.1 กรรมวิธีขึ้นรูปโลหะ (Fabrication of Metals)

ความหมายของคำว่า Fabrication นั้นมีความหมายครอบคลุมไปถึงกรรมวิธีการผลิตโลหะสำเร็จรูปทุกประเภท การขึ้นรูปขึ้นงานอาจจะทำที่อุณหภูมิสูงหรืออุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะรวมเรียกว่า Fabrication เช่น การผลิตเฟืองเกียร์ โดยเริ่มตั้งแต่การหลอมโลหะและหล่อให้เป็นรูปร่างหยาบ ๆ จากนั้นนำมาผ่านเครื่องกลึงเพื่อกึงให้ได้ขนาดที่ต้องการ และนำมาตัดเป็นพื้นเฟือง และนำไปทำการชุบแข็งเพื่อให้ได้ความแข็งสูงใช้งานได้ทนทาน กรรมวิธีดังกล่าวจะเรียกว่า Fabrication สามารถแบ่งได้ 4 ประเภท คือ

1. การหล่อ (Casting)
2. การแปรรูปหรือขึ้นรูปในสภาพร้อน (Hot Working)
3. การแปรรูปหรือขึ้นรูปในสภาพเย็น (Cold Working)
3. กรรมวิธีโลหะผง (Powder Metallurgy)

ซึ่งในงานวิจัยที่ศึกษา ได้ใช้การแปรรูปหรือขึ้นรูปในสภาพเย็น (Cold Working) มีรายละเอียดดังนี้

- การแปรรูปหรือขึ้นรูปในสภาพเย็น เป็นกรรมวิธีขึ้นรูปโลหะที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งโลหะจะมีความแข็งแรงอยู่ในเกณฑ์ปกติ ดังนั้นจะต้องใช้กำลังในการขึ้นรูปสูงมาก เพื่อให้เกิดความเค้น (Stress) ในโลหะจนเลยจุด Elastic limit หรือ Yield point ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปถาวรได้ การขึ้นรูปเย็นมีข้อดีและข้อเสียดังนี้

ข้อดีของขบวนการขึ้นรูปแบบเย็น

1. ใช้อุณหภูมิต่ำในการขึ้นรูป (ประมาณ 20 – 25 องศาเซลเซียส)
2. มีความสวยที่ผิว เรียบ สะอาด และเงางามของชิ้นงาน

3. ชิ้นงานที่ได้มีขนาดที่เที่ยงตรง และแน่นอนดีมาก

4. ได้ความแข็งแรง และแข็งมากขึ้นกว่าเดิม

ข้อเสียของขบวนการขึ้นรูปแบบเย็น

1. เกิดความเค้น (Stress) มาก

2. เกิดความเครียด (Strain) มาก

3. เกรนของโลหะเกิดการแตกหักได้ง่าย

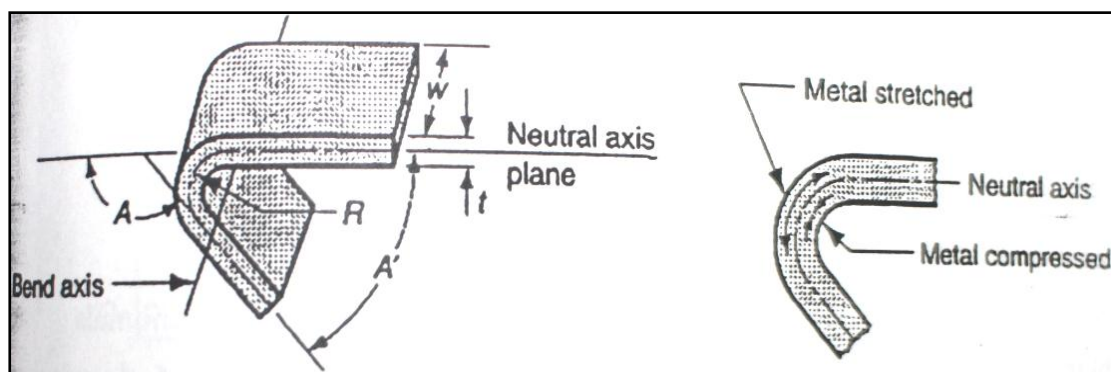
4. ต้องลงทุนมากในการติดตั้งเครื่องจักรที่มีกำลังมาก ๆ และขนาดใหญ่ ๆ

2.3.2 ลักษณะของการขึ้นรูป

ชิ้นงานที่ทำการศึกษา มีการขึ้นรูป 2 แบบ คือ การพับหรือดัด (bending) และการลากขึ้นรูปลึก (Deep Drawing) ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. การพับ (Bending) การพับขึ้นรูปในงานโลหะแผ่น จะเกิดความเครียด

โดยรอบแนวแกนตรงบริเวณที่พับงอ ส่วนโค้งด้านในจะเกิดการอัดตัว (Compressed) และส่วนโค้งด้านนอกจะเกิดการยืดออก (Stretched) ดังภาพที่ 13 ลักษณะการพับทั่วไปมี 2 แบบคือ



ภาพที่ 2.9 การพับขึ้นรูป

1.1 การพับมุมวี (V-Bending) แม่พิมพ์ที่เป็นรูปตัววี ซึ่งสามารถกำหนดมุมได้ตามความต้องการ การพับวิธีนี้เหมาะกับงานที่มีปริมาณไม่มาก ต้นทุนราคาถูก

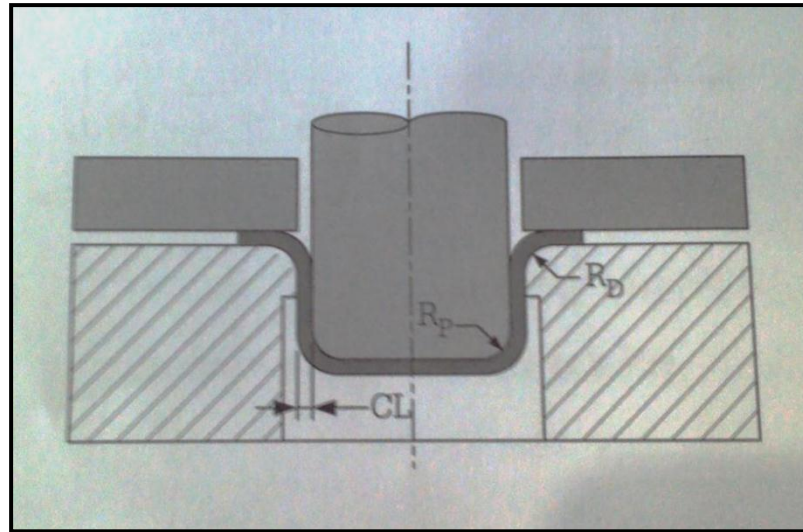
1.2 การพับขอบ (Edge-Bending) เหมาะกับงานที่มีกำลังการผลิตมาก ๆ แต่มีขั้นตอนที่ยู่ยากซับซ้อนในการออกแบบแม่พิมพ์ ด้านหนึ่งของงานต้องถูกค้ำให้แน่น

วัสดุส่วนมากมีค่าสัมประสิทธิ์ของการยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ภายหลังการขึ้นรูปและปล่อยแรงกดแล้ววัสดุดังกล่าวมักจะคืนตัวกลับ เนื่องจากพลังงานของการยืดตัว (Elastic Energy) ที่ตกค้างอยู่พยายามทำให้วัสดุกลับคืนสู่สภาพเดิม ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Spring back ดังนั้นการออกแบบแม่พิมพ์ ต้องมีการเผื่อมุมพับให้มากกว่าปกติ และมีการทิ้งช่วงเวลาในการกดพับเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนรูป (Deformation) อย่างสมบูรณ์

2. การขึ้นรูปลึก (Deep Drawing) กระบวนการนี้เป็นการนำโลหะแผ่นมาขึ้นรูปด้วย กล่อง หลุม หรือรวมกันหลายแบบ โดยการนำแผ่นงาน (Blank) มากดด้วยแม่พิมพ์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องใช้เทคนิค และความชำนาญของผู้ออกแบบแม่พิมพ์และผู้ปฏิบัติงานสูง ระยะเพื่อ (Clearance) รัศมีมุมของ punch และ die ตลอดจนแรงกดแผ่นงานต้องพอเหมาะ การขึ้นรูปครั้งเดียวแล้วได้ชิ้นงานสำเร็จทำได้ยาก การใช้แรงกดต้องกระทำอย่างสม่ำเสมอ (ชลิตต์ มธุรสมนตรี, 2544: 178)

แม่พิมพ์ที่ออกแบบเพื่อขึ้นรูปโลหะแผ่นอาจทำเป็นแม่พิมพ์เดี่ยว แม่พิมพ์ผสมแม่พิมพ์ต่อเนื่อง หรือแม่พิมพ์ส่งผ่านก็ได้ ขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นงาน ขนาดของเครื่องปั๊ม ปริมาณการผลิต หรือองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ส่งผลกับอัตราการผลิต ความเป็นไปได้ในการทำงาน ต้นทุนการผลิต และความยาก-ง่ายในการทำงาน

2.1 พฤติกรรมการไหลตัวของโลหะแผ่น ส่วนที่สัมผัสโดยตรงกับแผ่นโลหะเปล่า มี 3 ส่วน คือ พันช์ (Punch) ดาย (Die) และแผ่นจับชิ้นงาน (Blank Holder Plate) แรงจากเครื่องปั๊มจะถูกส่งผ่านพันช์ เพื่อให้โลหะไหลตัวเข้าไปในดาย โดยที่มีแรงกดอยู่บนที่จับชิ้นงาน เพื่อควบคุมการไหลตัวของโลหะแผ่น (วารุณี เปรมานนท์, 2553)



ภาพที่ 2.11 ระยะระหว่างช่องว่างแม่พิมพ์ รัศมีพินซ์ และรัศมีคาย

ซึ่งมีผู้เสนอวิธีการคำนวณไว้ดังนี้

1. วิธีของชาอูซึชิ ทรุฟยากร และคณะ (2526) เป็นหลักการที่ใช้ความหนาของชิ้นงานเข้ามามีส่วนร่วมในการคำนวณ โดยยึดหลักการป้องกันไม่ให้เกิดแรงต้านทานที่ผิวของแม่พิมพ์ และต้องใช้ช่องห่างระหว่าง Punch กับ Die ที่มีค่ามากกว่าความหนาของโลหะ ประมาณ 7-20 % โดยจะขึ้นอยู่กับความหนาและประเภทของการขึ้นรูป จากตารางที่ 5.2 เป็นค่า Clearance สำหรับการขึ้นรูปแบบกล่อง (Rectangular Shell) ที่บริเวณมุม ซึ่งมุมทั้ง 4 ด้านของชิ้นงานจะต้องมีค่า Clearance มาก ส่วนด้านตรงหรือด้านผนังของชิ้นงาน จะใช้ค่า Clearance น้อยกว่า

ตารางที่ 2.6 การกำหนดระยะ Clearance ที่เหมาะสม ด้วยวิธีของชาอูซึชิ ทรุฟยากร และคณะ

Metal Thickness (mm.)	Clearance on a Side		
	First Draws	Redraws	Sizing Draw 2
Up to 0.015	1.07t-1.09t	1.08t-1.1t	1.04t-1.05t
0.016-0.050	1.08t-1.1t	1.09t-1.12t	1.05t-1.06t
0.051-0.125	1.1t-1.12t	1.12t-1.14t	1.07t-1.09t
0.126 and up	1.12t-1.14t	1.15t-1.12t	1.08t-1.1t

โดยที่ t คือ ความหนาของแผ่นเหล็ก

2. วิธีของวารุณี เปรมาณนท์ และพงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์ (2552) ซึ่งเสนอว่า Clearance จะต้องมีความกว้างกว่าความหนาเริ่มต้นของแผ่นโลหะเล็กน้อยเนื่องจาก Clearance ที่มากเกินไปจะทำให้รูปร่างบริเวณปากขยายออก ในขณะที่การใช้ Clearance ที่น้อยเกินไปจะทำให้เกิดการรีดเพื่อลดความหนาของแผ่นเหล็ก ซึ่งทำให้ต้องใช้แรงเพิ่มในการขึ้นรูป และอาจเกิดการฉีกขาดของชิ้นงาน โดยได้เสนอ Clearance เหมาะสมซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาของเหล็กและชนิดของวัสดุไว้ดังนี้

$$\begin{aligned} CL &= T + 0.07 \sqrt{10T} && \text{สำหรับแผ่นเหล็ก} \\ CL &= T + 0.02 \sqrt{10T} && \text{สำหรับแผ่นอะลูมิเนียม} \\ CL &= T + 0.04 \sqrt{10T} && \text{สำหรับแผ่นโลหะนอกกลุ่มเหล็ก} \\ CL &= T + 0.20 \sqrt{10T} && \text{สำหรับโลหะผสมอุณหภูมิสูง} \end{aligned}$$

โดยที่ T คือ ความหนาของแผ่นเหล็ก มีหน่วยเป็น มม.

การคำนวณหา Clearance ที่ได้เสนอไว้นี้ ใช้สำหรับงานด้วยทรงกระบอกที่มีลักษณะสมมาตรสำหรับงานรูปทรงอื่น ๆ เช่น ถ้วยสี่เหลี่ยม บริเวณมุมรัศมีควรมี Clearance มากกว่าบริเวณที่เป็นแนวตรง โดยรัศมีพันซ์ต้องมีค่ามากกว่ารัศมีตายประมาณ 3-5 เท่า

3. วิธีของบรรเลง ศรีนิล และประเสริฐ ก๊วยสมบุญ (2553) เสนอว่า ระยะ Clearance จะมีค่า 2-6 % ของความหนาของชิ้นงาน และใช้สูตรการคำนวณดังนี้

$$Sp = \frac{\text{ขนาดของคาย (Die) - ขนาดของพันซ์ (Punch)}}{2}$$

2.4 การหาขนาดของแผ่นโลหะเปล่า (Blank Size) หลักการในการหาขนาดแผ่นโลหะเปล่าควรมีขนาดเล็กที่สุดที่สามารถขึ้นรูปได้ตามรูปร่างที่ต้องการ เนื่องจากการประหยัดวัสดุ และขนาดแผ่นโลหะที่มีขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้มีค่าอัตราส่วนในการขึ้นรูปสูง สามารถทำให้เกิดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานได้ ซึ่ง ชาญชัย ทรัพย์ากร และคณะ (2526) โดยแบ่งการขึ้นรูปเป็น 2 ส่วน คือ ที่บริเวณมุมทั้ง 4 ด้าน โดยใช้หลักการขึ้นรูปลึก และที่บริเวณผนังทั้ง 4 ด้าน โดยใช้หลักการขึ้นรูปแบบพับ (Bending) ซึ่งชิ้นงานที่ศึกษามีลักษณะการขึ้นรูปแบบกล่อง

2.5 ประเภทของแม่พิมพ์ลากขึ้นรูป ลึงแม่พิมพ์ที่ใช้ผลิตชิ้นงานที่ศึกษาเป็นแม่พิมพ์เดี่ยวแบบจังหวะเดียว (Single Action Single Die) ซึ่งเป็นแม่พิมพ์ที่มีโครงสร้างง่ายที่สุด ประกอบด้วย punches และ dies

2.6 เทคนิคการขึ้นรูป (Technique of Drawing)

การขึ้นรูปโดยไม่ให้เกิดรอยย่น (Wrinkle หรือ puckering) หรือนึกขาค้นั้นจะต้องระมัดระวังและควบคุมองค์ประกอบต่าง ๆ ทั้งก่อนการขึ้นรูปและในขณะที่ขึ้นรูป องค์ประกอบเหล่านั้น ได้แก่

1. รูปร่างของ blank (Blank outline)
2. การลดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของการขึ้นรูปในแต่ละครั้ง (reduction per draw)
3. รัศมีของ punch และ die รัศมี die ไม่ควรต่ำกว่า 4 เท่าของความหนาโลหะและไม่ควรเกิน 15 เท่าของความหนาโลหะเนื่องจากถ้ารัศมีของ die ยิ่งแหลมเท่าใดก็จะทำให้ความต้านทานในการไหลของโลหะมีมากขึ้นเท่านั้น และมีโอกาสที่ชิ้นงานจะแตกได้ง่าย หากรัศมีใหญ่เกินไป โลหะก็จะถูกปลดปล่อยตัวจากการจับของ blank holder เร็วเกินไป ทำให้เกิดการย่นได้ (ชาอุทัย ทรัพย์ากร, 2535: 32)

2. เกิดรอยย่น (wrinkle) ที่บริเวณขอบ มีสาเหตุมาจาก

2.1 แรงกดของ blank holder น้อยเกินไป

2.2 draw radius ใหญ่เกินไป

2.3 แรงกดที่ blank Holder ไม่สม่ำเสมอ

3. เกิดการฉีกขาดบริเวณขอบ มีสาเหตุมาจาก

3.1 ผิวหน้าของแผ่น blank ไม่ดี แต่ไม่ทำให้เกิดปัญหาในการขึ้นรูปครั้งแรก หรือ ขนาด grain ของโลหะไม่เท่ากัน

3.2 ระยะเผื่อ (clearance) ระหว่าง punch กับ die น้อยเกินไป

4. มีโลหะเหลือ (excess material) ที่บริเวณด้านบนของรูปถ้วยที่ขึ้นรูปใหม่ มีสาเหตุจาก

4.1 ความหนาของโลหะมากเกินไป หรือช่องว่าง (clearance) ระหว่าง punch กับ die น้อยเกินไปหรือไม่สม่ำเสมอ ผนังของรูปถ้วยจะถูกรัดตัว (ironed) และโลหะส่วนนั้นจะไปรวมกันอยู่ตรงบริเวณรัศมีด้านบนหรือตรงบริเวณขอบของรูปถ้วย

4.2 รัศมีของ punch nose ใหญ่กว่ารัศมีด้านล่างของรูปถ้วย

4.3 ขนาดของรูปถ้วยยาวมาก ทำให้ punch ของแม่พิมพ์ขึ้นรูปใหม่ (redraw punch) ถึงจุดลึกสุดของการขึ้นรูปใหม่ก่อนที่ผนังด้านข้างจะไหลเข้าไปใน die (ชาญชัย ทรัพย์ากร, 2535: 48)

บทที่ 3

ระยษณียามปัญห (Define Phase)

ระยษณียามปัญหเป็นระยษที่ทำการค้นหาปัญหเพื่อหาจุดเริ่มต้นของปัญหและกำหนดทิศทางในการแก้ปัญหว่าจะเป็นไปในทิศทางใด โดยเริ่มจากการกำหนดทีมงานในการดำเนินงาน การศึกษากระบวนการผลิตและสภาพปัญหปัจจุบันของโรงงาน เพื่อกำหนดปัญหที่จะทำการปรับปรุง กำหนดวัตถุประสงค์ และขอบเขตของการวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การกำหนดทีมงานในการดำเนินงาน

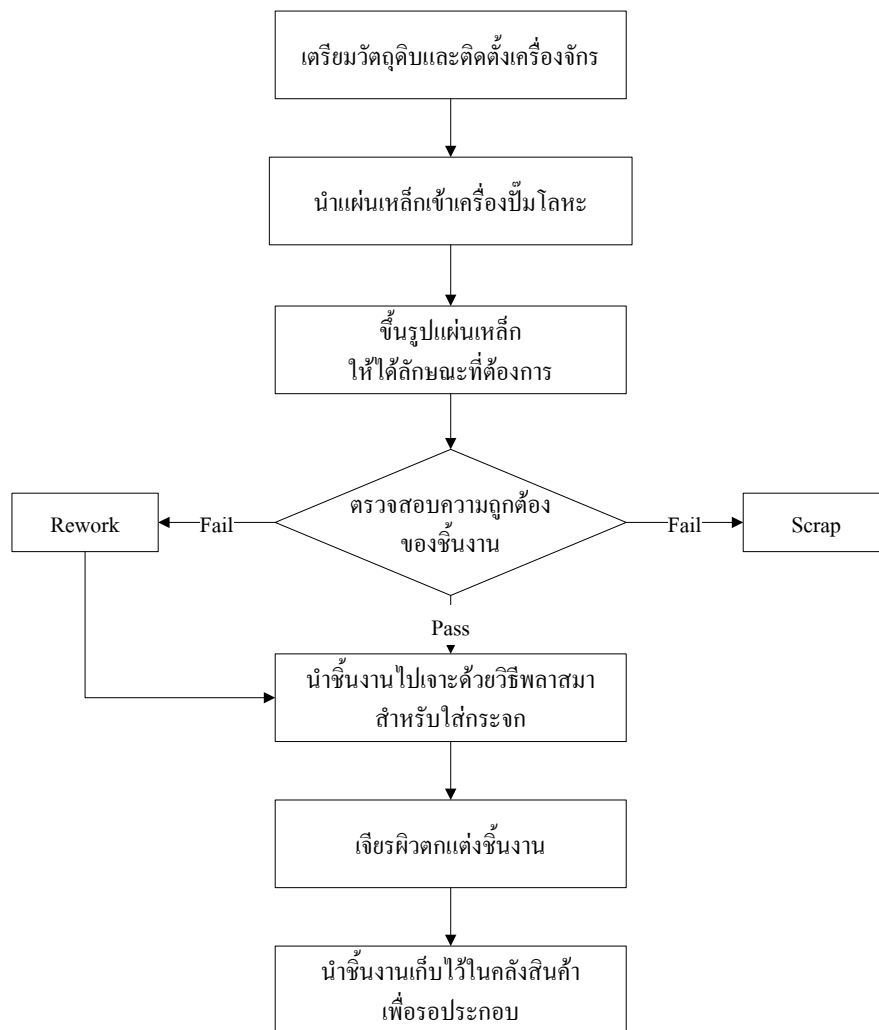
ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกผู้ชำนาญการในกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet Metal Forming) รวม 15 คน โดยมีส่วนร่วมในการระดมความคิดในการแก้ไขปัญหา และสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยเป็นอย่างดี ประกอบด้วย

- ผู้จัดการโรงงานฝ่ายรถเล็ก 1 คน
- ผู้จัดการฝ่ายรับประกันคุณภาพ 1 คน
- ผู้จัดการฝ่ายพัฒนาและปรับปรุงรถเล็ก 1 คน
- หัวหน้าส่วนฝ่ายโครงหลังคาเหล็ก 1 คน
- หัวหน้าส่วนฝ่ายรับประกันคุณภาพ 1 คน
- วิศวกรฝ่ายโครงหลังคาเหล็ก 2 คน
- วิศวกรฝ่ายรับประกันคุณภาพ 2 คน
- วิศวกรฝ่ายผลิต 2 คน
- ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่ายจัดซื้อ 1 คน
- หัวหน้างานฝ่ายผลิต 1 คน
- หัวหน้างานฝ่ายรับประกันคุณภาพ 1 คน
- ผู้ดำเนินงานวิจัย

นอกจากนี้ ยังมีพนักงานระดับปฏิบัติการในสายการผลิตโลหะแผ่น ประกอบด้วย พนักงานควบคุมแม่พิมพ์ พนักงานขึ้นรูปโลหะ พนักงานตรวจสอบ (Inspector) และช่างเทคนิค (Technician) ซึ่งต้องเป็นชุดเดียวกันตลอดการทดลอง

3.2 การศึกษากระบวนการผลิต

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet Metal Forming) ซึ่งเป็นกระบวนการเริ่มต้นของการสายการประกอบโครงหลังคาเหล็ก โดยการขึ้นรูปโลหะแผ่นมีเส้นทางการไหล (Flow Chart) ดังนี้



ภาพที่ 3.1 กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet Metal Forming)

คุณภาพ รวมถึงหามาตรการในการแก้ไขอย่างยั่งยืนข้อบกพร่องประเภทต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในโรงงาน มี 5 ประเภทโดยมีคำนิยาม (Operation Definitions) ของข้อบกพร่องแต่ละประเภทดังนี้

1. ครีบก้น คือ สภาพการเกิดเป็นคลื่นของชิ้นงานระหว่างขึ้นรูป
2. บวม นูน คือ สภาพการเกิดรอยยุบลงไป หรือบวมขึ้นของชิ้นงานระหว่างขึ้นรูป
3. ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว คือ ชิ้นงานที่หลังจากนำมาขึ้นรูปแล้วมีขนาดสั้นหรือยาวเกินมาตรฐานที่ได้ออกแบบไว้ในพิมพ์เขียว (Drawing)
4. แตก คือ ชิ้นงานที่หลังจากนำมาขึ้นรูปแล้วแผ่นเหล็กมีลักษณะแยกออกจากกันภายในชิ้นงาน
5. สนิม ชุด ถลอก คือ สภาพชิ้นงานที่เกิดรอยขีดข่วนระหว่างการขึ้นรูป และชิ้นงานที่เกิดการแปรสภาพของพื้นผิวของจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของเหล็ก น้ำ และอากาศ

งานวิจัยนี้ได้ใช้เกณฑ์ในการพิจารณาเลือกชิ้นงานและข้อบกพร่องที่จะวิเคราะห์ ดังนี้

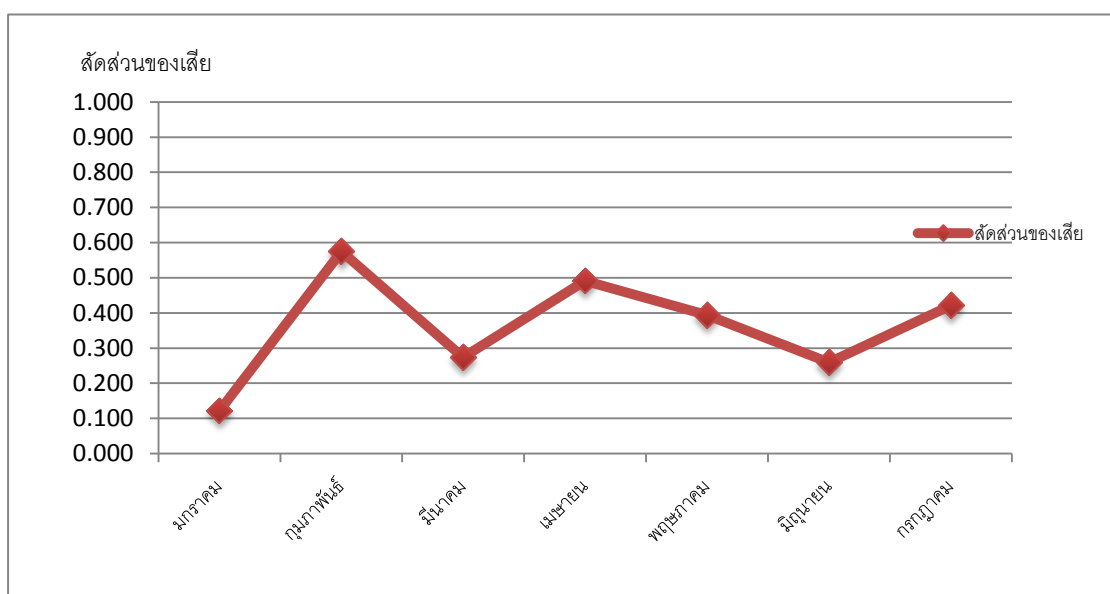
1. สัดส่วนของเสีย ซึ่งขึ้นอยู่กับ จำนวนของเสียที่เกิดและปริมาณการผลิต
2. มูลค่าความสูญเสีย ซึ่งขึ้นอยู่กับ สัดส่วนของเสีย ค่าใช้จ่ายในการแก้ไขชิ้นงานที่สามารถนำกลับมาแก้ไขได้ (Rework) มูลค่าความสูญเสียจากงานที่ต้องกำจัดทิ้ง (Scrap) ซึ่งคิดจากต้นทุนการผลิตต่อชิ้น
3. มูลค่าความสูญเสียต่อชิ้นที่ผลิตซึ่งขึ้นอยู่กับ ค่าใช้จ่ายในการแก้ไขชิ้นงานที่สามารถนำกลับมาแก้ไขได้ (Rework) ต่อชิ้นมูลค่าความสูญเสียจากงานที่ต้องกำจัดทิ้ง (Scrap) และปริมาณการผลิต
4. ความต่อเนื่องในการผลิตชิ้นงาน
5. ความต่อเนื่องในการเกิดข้อบกพร่องแต่ละประเภท

ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลดังกล่าวข้างต้นจากรายงานชิ้นงานที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน (Non Conforming Record: NCR) และรายงานอื่นๆที่เกี่ยวข้อง โดยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม-กรกฎาคม 2554 โรงงานกรณีศึกษามีของเสียรวม 40.03 % จำนวนของเสียที่เกิดขึ้น

สามารถแยกเป็นข้อบกพร่องต่างๆที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือนได้ดังตารางที่ 3.1 และคิดเป็นสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องทุกประเภทในแต่ละเดือนได้ดังภาพที่ 3.7

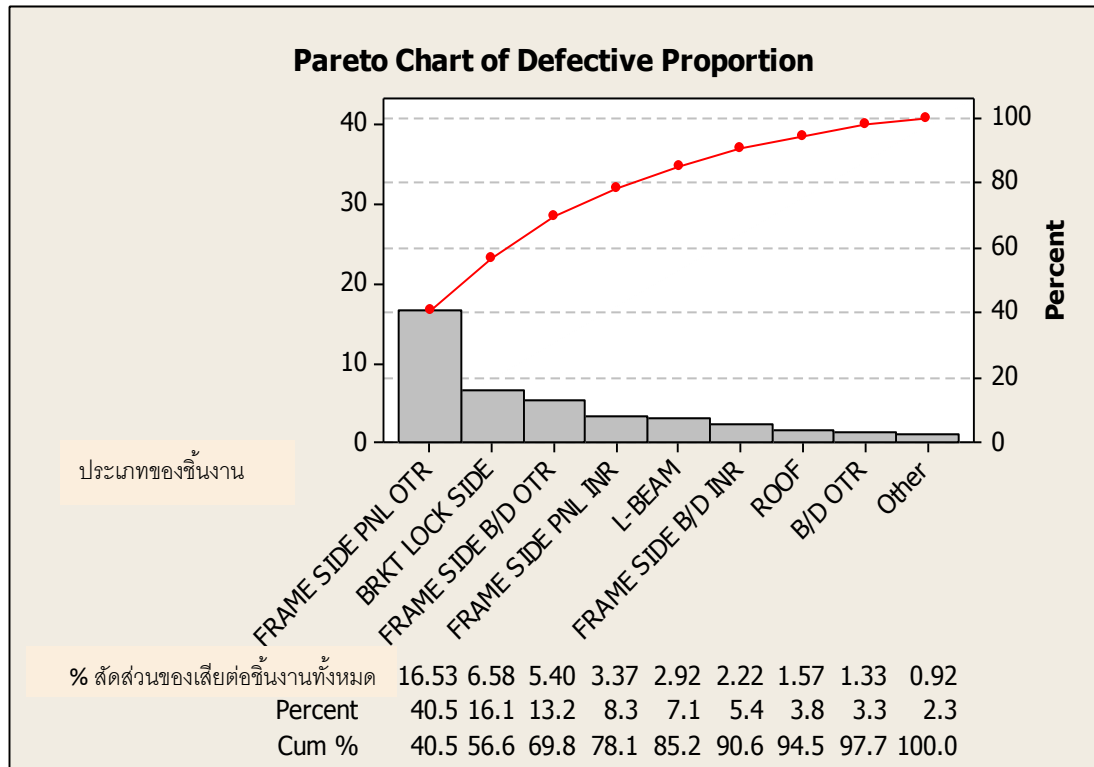
ตารางที่ 3.1 จำนวนของเสียและปริมาณการผลิตที่เกิดขึ้นในเดือนมกราคม-กรกฎาคม 2554
ตามข้อบกพร่อง

ชนิดข้อบกพร่อง	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	รวม
ครีบก้น	0	162	45	277	259	5	454	1202
ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว	76	132	0	0	16	1	25	250
แตก	0	560	131	0	182	93	30	996
สนิม ถลอก	25	0	0	198	1	50	57	331
บุบ บูน	0	0	0	200	60	0	0	260
รวม	101	854	176	675	518	149	566	3039
ปริมาณการผลิต	831	1485	643	1375	1278	634	1345	7591



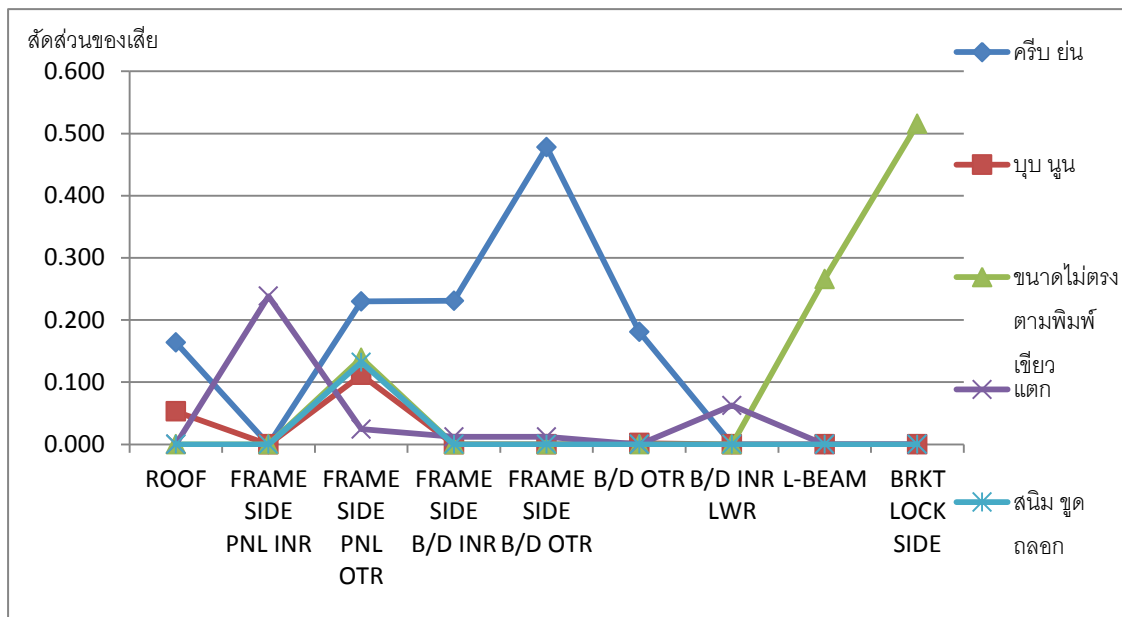
ภาพที่ 3.7 กราฟสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในเดือนมกราคม-กรกฎาคม 54

จากภาพที่ 3.7 จะเห็นว่ามิของเสียเกิดขึ้นต่อเนื่องในทุกเดือน โดยสัดส่วนของเสียจะขึ้นอยู่กับปริมาณการผลิตและจำนวนของเสียในแต่ละเดือน จากนั้นวิเคราะห์ประเภทของชิ้นงานที่มีสัดส่วนของเสียมากที่สุดได้ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 กราฟพาร์โตสัดส่วนของเสียแต่ละประเภทชิ้นงานต่อปริมาณการผลิตทั้งหมด

จากภาพที่ 3.8 พบว่าชิ้นงาน Frame Side PNL OTR มีสัดส่วนของเสียมากที่สุด โดยสามารถหาสัดส่วนของเสียแยกตามข้อบกพร่องในแต่ละประเภทชิ้นงานได้ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 กราฟสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องแต่ละประเภทแยกตามประเภทของชิ้นงาน

จากภาพที่ 3.9 ชิ้นงาน Frame Side PNL OTR เกิดข้อบกพร่องทุกประเภท จากหลักการของ ซิกซ์ซิกม่า นอกจากจะมีเป้าหมายในการลดของเสียที่เกิดขึ้นในสายการผลิตตั้งแต่ต้นเหตุแล้ว ยังคำนึงถึงมูลค่าความสูญเสียที่สามารถลดได้ด้วย จึงพิจารณาด้านมูลค่าความสูญเสียจากสาเหตุ 2 ประการ คือ

1. ชิ้นงานเสียที่ยังสามารถนำกลับมาแก้ไขได้ (Rework) จากข้อบกพร่องทั้ง 5 ประเภท คือ ครีบบ่น, บุป หนุน, ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เชี่ยว, แตก และ สนิม หลอก จะมีค่าใช้จ่ายต่างกันเนื่องจากปัจจัยด้านจำนวนคน และเวลาที่ใช้ในการซ่อม

2. ชิ้นงานเสียที่ต้องนำไปกำจัดทิ้ง (Scrap) จากข้อบกพร่องทั้ง 5 ประเภท คือ ครีบบ่น, บุป หนุน, ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เชี่ยว, แตก และ สนิม หลอก ซึ่งจะคำนึงถึงต้นทุนของชิ้นงานใด ๆ กับราคาขายคืนต่อชิ้นงานนั้น เพื่อหามูลค่าความสูญเสียจากการทิ้งชิ้นงานจากข้อบกพร่องประเภทใด ๆ ในเดือนใด ๆ

ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากชิ้นงานที่สามารถนำกลับมาแก้ไขได้ (Rework) สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

ข้อบกพร่อง : ครีบก้น

ตารางที่ 3.2 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากชิ้นงานที่สามารถกลับมาแก้ไขได้

ในข้อบกพร่องครีบก้นต่อชิ้น

กระบวนการแก้ไข	ทรัพยากรที่ใช้		ค่าใช้จ่ายจากแรงงาน (บาท)	ค่าใช้จ่ายจากวัสดุ ที่ใช้ (บาท)
	จำนวนคน	เวลา		
1.ตรวจสอบ	1	10 mins	5	0
2.ขัดกระดาษทราย	1	10 mins	5	40
3.เจียร	1	10 mins	5	50
4.ตรวจสอบ	1	5 mins	2.5	0
Total			107.5 บาทต่อชิ้น	

ข้อบกพร่อง : บวม นูน

ตารางที่ 3.3 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากชิ้นงานที่สามารถกลับมาแก้ไขได้

ในข้อบกพร่องบวม นูน ต่อชิ้น

กระบวนการแก้ไข	ทรัพยากรที่ใช้		ค่าใช้จ่ายจากแรงงาน (บาท)	ค่าใช้จ่ายจากวัสดุ ที่ใช้ (บาท)
	จำนวนคน	เวลา		
1.ตรวจสอบ	1	10 mins	5	0
2.เคาะ	1	20 mins	10	0
3.ตรวจสอบความเรียบร้อย	1	5 mins	2.5	0
Total			17.5 บาทต่อชิ้น	

ข้อบกพร่อง : ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว

ตารางที่ 3.4 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากชิ้นงานที่สามารถกลับมาแก้ไขได้

ในข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวต่อชิ้น

กระบวนการแก้ไข	ทรัพยากรที่ใช้		ค่าใช้จ่ายจากแรงงาน (บาท)	ค่าใช้จ่ายจากวัสดุ ที่ใช้ (บาท)
	จำนวนคน	เวลา		
1.ตรวจสอบ	1	10 mins	5	0
2.ตัดหรือเคาะยึดขนาด เหล็กให้ได้ขนาดที่ต้องการ	1	30 mins	15	150
3.ตรวจสอบความเรียบร้อย	1	5 mins	2.5	0
Total			172.5 บาทต่อชิ้น	

ข้อบกพร่อง : แตก

ตารางที่ 3.5 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากชิ้นงานที่สามารถกลับมาแก้ไขได้

ในข้อบกพร่องแตกต่อชิ้น

กระบวนการแก้ไข	ทรัพยากรที่ใช้		ค่าใช้จ่ายจากแรงงาน (บาท)	ค่าใช้จ่ายจากวัสดุ ที่ใช้ (บาท)
	จำนวนคน	เวลา		
1.ตรวจสอบ	1	10 mins	5	0
2.เชื่อม	1	30 mins	15	150
3.ตรวจสอบความเรียบร้อย	1	5 mins	2.5	0
Total			172.5 บาทต่อชิ้น	

ข้อบกพร่อง : สนิม ถลอก

ตารางที่ 3.6 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากชิ้นงานที่สามารถกลับมาแก้ไขได้
ในข้อบกพร่องสนิม ถลอกต่อชิ้น

กระบวนการแก้ไข	ทรัพยากรที่ใช้		ค่าใช้จ่ายจากแรงงาน (บาท)	ค่าใช้จ่ายจากวัสดุ ที่ใช้ (บาท)
	จำนวนคน	เวลา		
1.ตรวจสอบ	1	10 mins	5	0
2.ขัดกระดาษทราย	1	10 mins	5	40
3.ตรวจสอบ	1	5 mins	2.5	0
Total			52.5 บาทต่อชิ้น	

หมายเหตุ ค่าแรงพนักงาน 215 บาทต่อวัน

สามารถคำนวณมูลค่าความสูญเสียที่เกิดจากงานเสียที่สามารถนำกลับมาแก้ไขได้

(Rework) ได้จากสูตร

มูลค่าความสูญเสียจากการ
แก้ไขชิ้นงานในเดือนใด ๆ = ค่าใช้จ่ายในการแก้ไขชิ้นงานที่สามารถนำกลับมาแก้ไข
ได้จากข้อบกพร่องประเภทนั้น ๆ 1 ชิ้น (บาท) × จำนวน
ของเสียในเดือนนั้น (ชิ้น)

ชิ้นงานที่เสียที่ต้องนำไปกำจัดทิ้ง (Scrap) มูลค่าความสูญเสียต่อชิ้นสามารถคำนวณได้จาก
สูตร

มูลค่าความสูญเสียจากการ
ทิ้งชิ้นงาน = (ต้นทุนการผลิตต่อชิ้น - (น้ำหนักชิ้นงานใด ๆ (kg.) ×
15.20 บาท)) × จำนวนของเสียในเดือนนั้น (ชิ้น)

หมายเหตุ ราคาเหล็กขายคืน ณ วันที่ 20 ก.ค.2554 กิโลกรัมละ 15.20 บาท

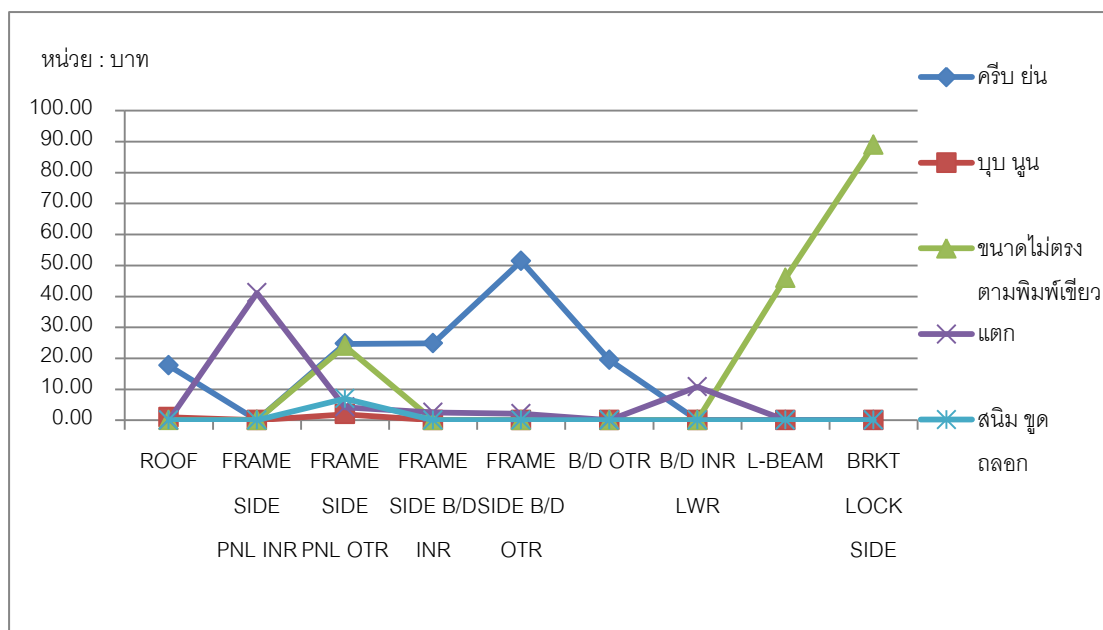
และสามารถคำนวณมูลค่าความสูญเสียต่อหน่วยได้ดังนี้

มูลค่าความสูญเสียต่อชิ้นที่ผลิตแยกตามชิ้นงาน

$$= \frac{\text{จำนวนชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่อง}}{\text{นั้นในชิ้นงานใดๆ}} \times \frac{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดของชิ้นงานใดๆ}}{\text{ปริมาณการผลิตทั้งหมดของชิ้นงานใดๆ}} \times \begin{matrix} \text{ค่าใช้จ่ายในการแก้ไขชิ้นงานที่สามารถนำกลับมาแก้ไขได้} \\ \text{และค่าใช้จ่ายในการกำจัดชิ้นงานจากข้อบกพร่องนั้นๆ 1 ชิ้น} \end{matrix}$$

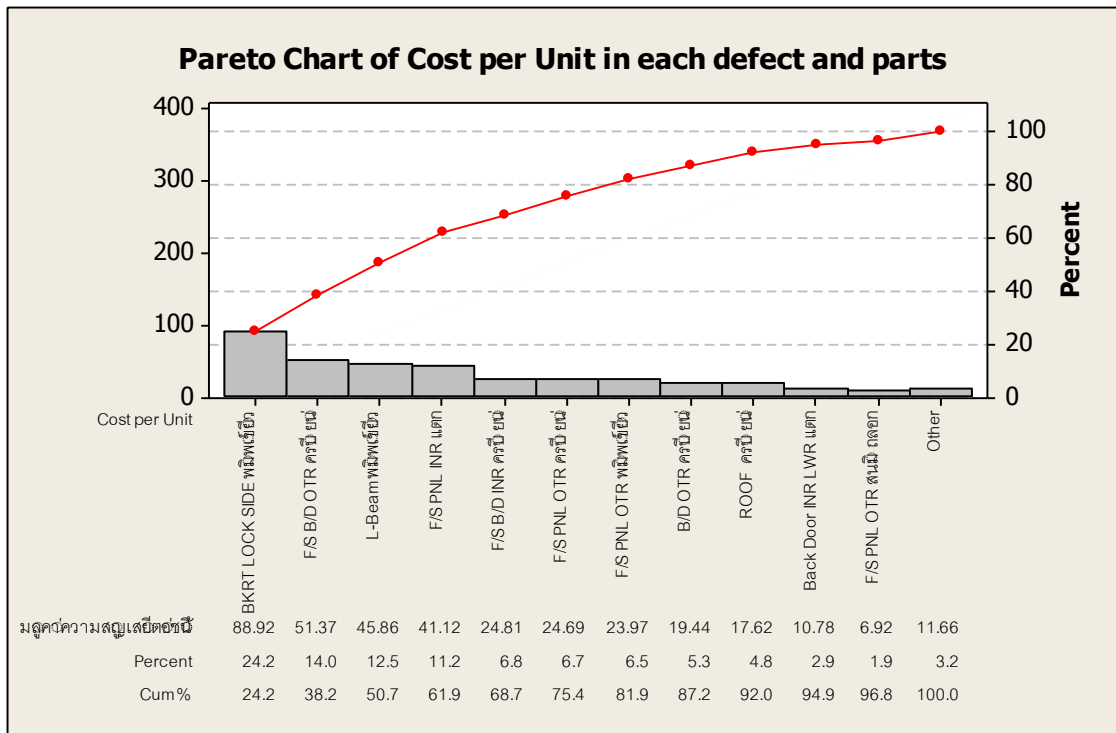
จากการคำนวณมูลค่าความสูญเสียต่อหน่วยแยกชิ้นงานตามข้อบกพร่อง สามารถแสดงได้

ดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 มูลค่าความสูญเสียต่อชิ้นงานที่ผลิต แยกชิ้นงานตามประเภทข้อบกพร่อง

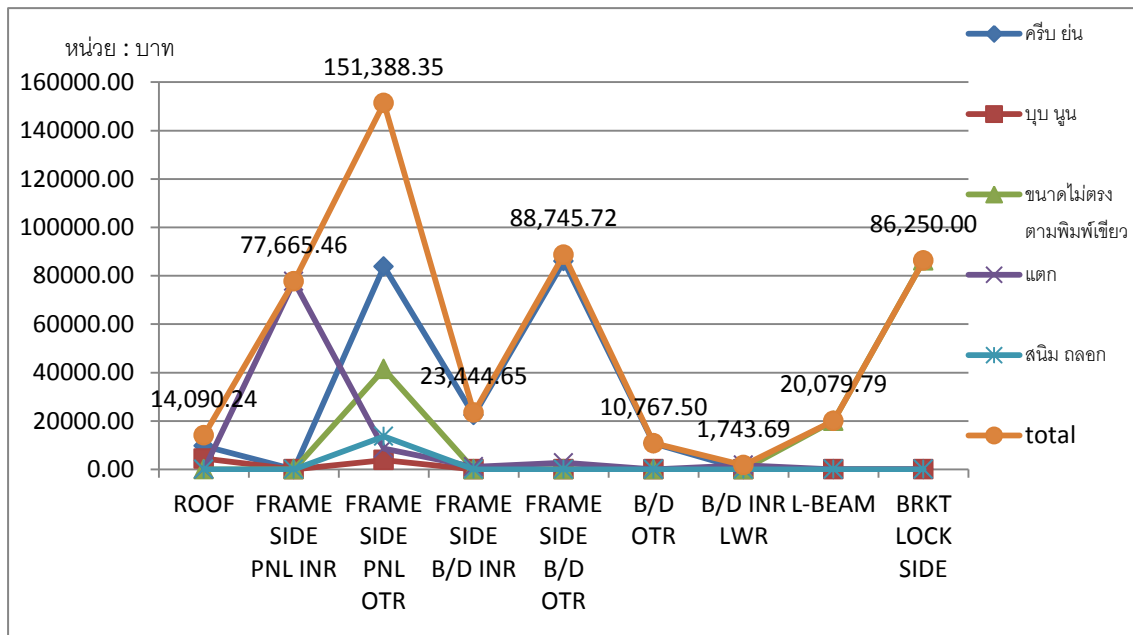
จากนั้นนำมูลค่าความสูญเสียต่อชิ้นที่ผลิตแยกตามชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องต่าง ๆ มาวิเคราะห์ด้วยแผนภาพพาเรโตได้ดังภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 พารโตมูลค่าความสูญเสียต่อชิ้นงานที่ผลิต แยกตามชิ้นงานและประเภทข้อบกพร่อง

พบว่าชิ้นงานที่มีมูลค่าความสูญเสียต่อชิ้นงานที่ผลิตสูงที่สุดคือ BKRT Lock Side ในข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว ในชิ้นงานนี้มีความสูญเสียต่อชิ้นงานที่ผลิตมากเนื่องจากข้อบกพร่องนี้มีค่าใช้จ่ายในการแก้ไขชิ้นงานที่สามารถนำกลับมาแก้ไขได้สูง (172.50 บาทต่อชิ้น ดังตารางที่ 4) และมีของเสียเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากในเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งมีอุบัติเหตุในการผลิตคือ ไฟดับ ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไม่พอขณะขึ้นรูปชิ้นงาน ทำให้เกิดของเสียและเกิดมูลค่าความสูญเสียมากในเดือนนั้น

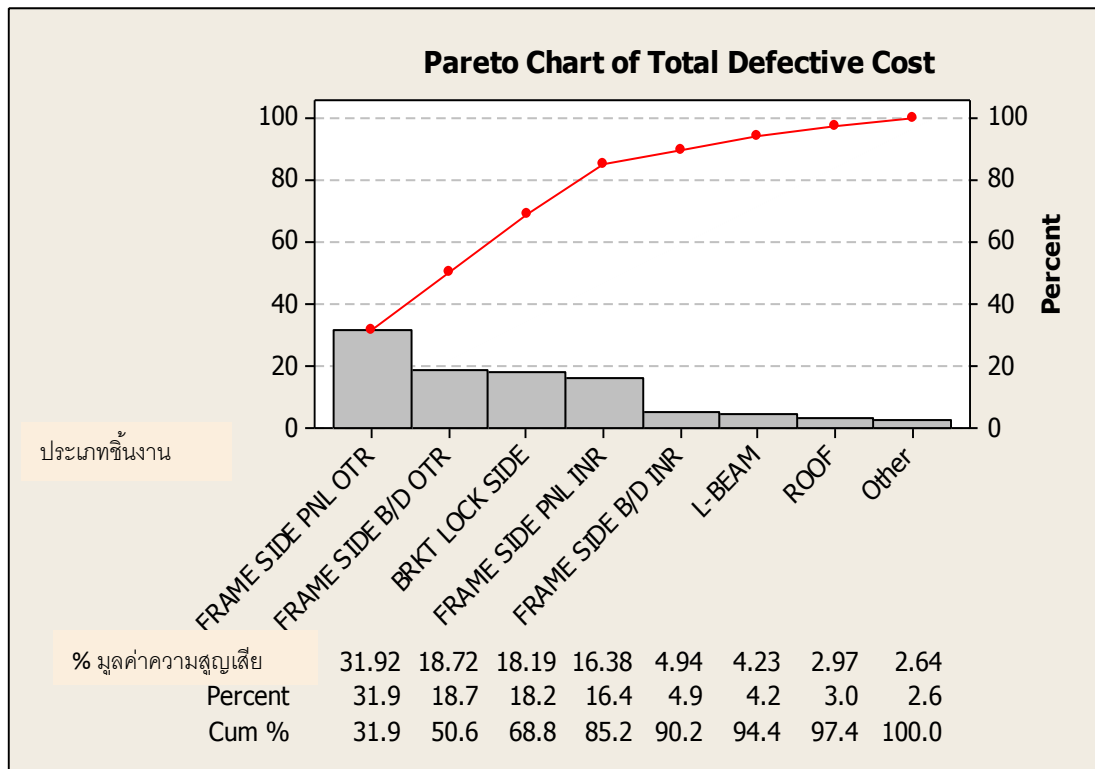
นอกจากนั้นผู้วิจัยได้พิจารณามูลค่าความสูญเสียจากปริมาณการผลิตทั้งหมดแยกตามชิ้นงานและข้อบกพร่องได้ดังภาพที่ 3.12 ซึ่งจะนำเกณฑ์นี้มาเป็นหลักในการพิจารณาเลือกชิ้นงานและข้อบกพร่องที่จะปรับปรุง



ภาพที่ 3.12 กราฟมูลค่าความสูญเสียแยกตามชิ้นงานและข้อบกพร่อง

จากภาพที่ 3.12 ชิ้นงาน Frame Side PNL OTR มีมูลค่าความสูญเสียรวมในข้อบกพร่องทุกประเภทสูงที่สุด ซึ่งข้อบกพร่องที่ทำให้เกิดมูลค่าความสูญเสียสูงที่สุดในชิ้นงานนี้ คือ crib ย่น รองลงมาคือขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว

จากนั้นหาสัดส่วนมูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นที่เกิดจากปริมาณการผลิตตั้งแต่เดือน ม.ค.-ก.ค.2554 จากชิ้นงานเสียที่สามารถแก้ไขได้ (Rework) และชิ้นงานเสียที่ต้องนำไปกำจัดทิ้ง (Scrap) เทียบกับมูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดตั้งแต่เดือน ม.ค.-ก.ค. 2554 โดยแยกตามชิ้นงาน ได้ดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 พารโตตัดส่วนมูลค่าความสูญเสียแยกตามชิ้นงาน
กับมูลค่าความสูญเสียทั้งหมด

จากภาพที่ 3.13 จะเห็นว่าชิ้นงาน Frame Side PNL OTR มีสัดส่วนมูลค่าความสูญเสียต่อมูลค่าความสูญเสียทั้งหมดสูงที่สุด

ผู้วิจัยได้สรุปผลการวิเคราะห์ในเรื่องสัดส่วนของเสีย ปริมาณการผลิต มูลค่าความสูญเสียต่อหน่วย และสัดส่วนมูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นแยกตามชิ้นงานและข้อบกพร่อง ได้ดังตารางที่

3.7

ตารางที่ 3.7 ผลสรุปจากแผนภาพพารโทในเรื่องปริมาณการผลิต สัดส่วนของเสีย มูลค่าความสูญเสียต่อปริมาณการผลิต และสัดส่วนมูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นแยกตามชิ้นงาน

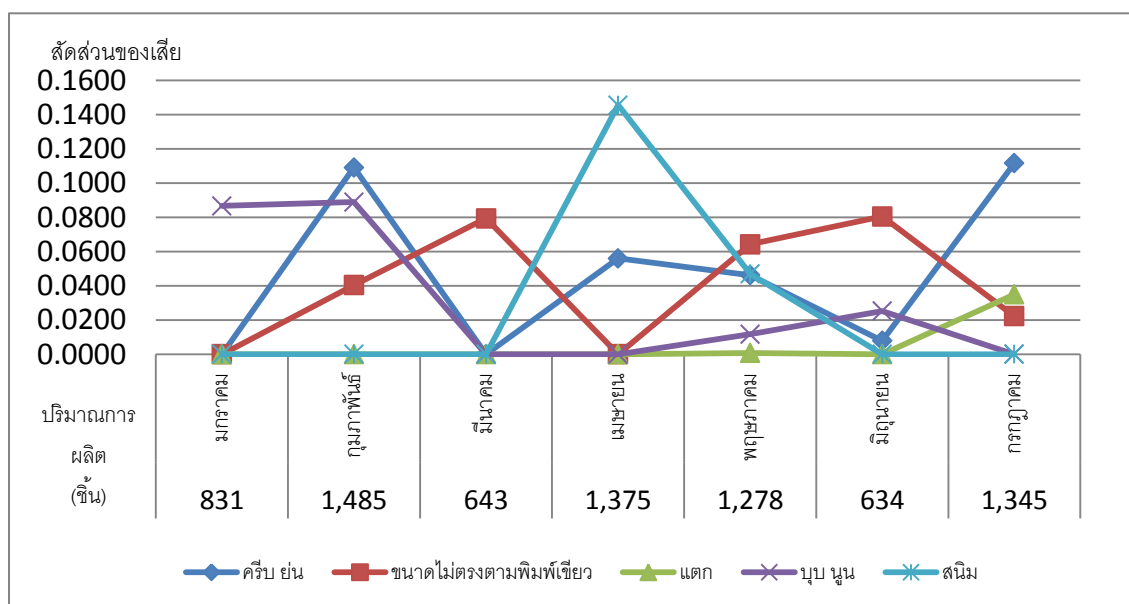
ลำดับที่	อันดับปริมาณการผลิต	คิดเป็น %	อันดับสัดส่วนของเสียต่อปริมาณการผลิตทั้งหมด	คิดเป็น %	อันดับมูลค่าความสูญเสียต่อปริมาณการผลิตแยกตามชิ้นงานและข้อบกพร่อง	คิดเป็น %	อันดับมูลค่าความสูญเสียแยกตามชิ้นงานและข้อบกพร่อง	คิดเป็น %
1	F/S PNL OTR	26.0	F/S PNL OTR	40.5	BKRT LOCK SIDE ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว	24.2	F/S PNL OTR ครีบก้น	31.9
2	F/S PNL INR	14.1	BKRT Lock Side	16.1	F/S B/D OTR ครีบก้น	14.0	F/S B/D OTR ครีบก้น	18.7
3	BKRT Lock Side	12.8	F/S B/D OTR	13.2	L-Beam ขนาดไม่ตรงพิมพ์เขียว	12.5	BKRT Lock Side ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว	18.2
4	F/S B/D OTR	11.0	F/S PNL INR	8.3	F/S PNL INR แดก	11.2	F/S PNL INR แดก	18.2
5	L-Beam	11.0	L-Beam	7.1	F/S B/D INR ครีบก้น	6.8	F/S B/D INR ครีบก้น	16.4
6	F/S B/D INR	9.1	Others	16	F/S PNL OTR ครีบก้น	6.7	Others	14.8
7	Others	14.8			F/S PNL OTR ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว	6.5		
8					Others	18.1		
	ผลรวม	100	ผลรวม	100	ผลรวม	100	ผลรวม	100

จากตารางที่ 7 จากการวิเคราะห์สัดส่วนของชิ้นงานต่าง ๆ ด้วยพารโท ซึ่งคิดที่ 80 % แรก จะเห็นว่า ชิ้นงาน Frame Side PNL OTR อยู่ในลำดับที่ 1 จาก 3 เกณฑ์ คือ ปริมาณการผลิต สัดส่วนของเสียต่อปริมาณการผลิต และมีมูลค่าความสูญเสียรวมมากที่สุด จึงเลือกชิ้นงานนี้มาวิเคราะห์หาข้อบกพร่องที่จะนำมาแก้ไข โดยพิจารณาความต่อเนื่องในการเกิดปัญหาในแต่ละเดือน ได้ดังตารางที่ 8 และภาพที่ 3.1

Frame Side PNL OTR

ตารางที่ 3.8 สัดส่วนของเสียและปริมาณการผลิตที่เกิดขึ้นของชิ้นงาน Frame Side PNL OTR
ในเดือนมกราคม-กรกฎาคม 2554

ประเภทของเสีย	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม
ครีบก้น	0.0000	0.1091	0.0000	0.0560	0.0462	0.0079	0.1115
ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว	0.0000	0.0404	0.0793	0.0000	0.0642	0.0804	0.0223
แตก	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008	0.0000	0.0349
บุบบูน	0.0866	0.0889	0.0000	0.0000	0.0117	0.0252	0.0000
สนิม	0.0000	0.0000	0.0000	0.1455	0.0469	0.0000	0.0000
ปริมาณการผลิต(ชิ้น)	831	1485	643	1375	1278	634	1345



ภาพที่ 3.14 สัดส่วนของเสียและปริมาณการผลิตที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน Frame Side PNL OTR
ในเดือนมกราคม-กรกฎาคม 2554

ในชิ้นงาน Frame Side PNL OTR มีของเสียที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องคือ ครีบก้นและขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว ซึ่งมีการผลิตทุกเดือนที่เก็บข้อมูลจึงได้นำชิ้นงานนี้มาทำการปรับปรุงคุณภาพต่อไป

3.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อลดของเสีย และมูลค่าความสูญเสียในกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นสำหรับโครงหลังคาเหล็กถาวรกระบะ

3.5 ขอบเขตของการวิจัย

1. การวิจัยนี้จะศึกษาเฉพาะสายการผลิตการขึ้นรูปเหล็กแผ่นสำหรับการผลิตชิ้นส่วนโครงหลังคารถปิคอัพในข้อบกพร่อง ครีบยื่น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวของชิ้นงาน Frame Side PNL OTR รุ่น SUV-Plus
2. ศึกษาทฤษฎีและประยุกต์แนวทางของซิกซ์ ซิกมา ในการปรับปรุงคุณภาพและลดของเสียที่เกิดขึ้นในสายการผลิต
3. วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้วิธีการทางสถิติและ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น โปรแกรมMinitab 16 ในการประมวลผล

3.6 สรุปผลขั้นตอนการนิยามปัญหา

จากการวิเคราะห์พบว่าชิ้นงานที่จะนำมาทำการทดลองคือ Frame Side PNL OTR ในข้อบกพร่อง ครีบยื่น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวเนื่องจากมีสัดส่วนของเสียมากที่สุด มูลค่าความสูญเสียมากที่สุด และเกิดข้อบกพร่องทั้ง 2 ชนิดนี้อย่างต่อเนื่อง โดยในชิ้นงานนี้มีการผลิตทุกเดือนและมีแนวโน้มในการผลิตอย่างต่อเนื่องในอนาคต เนื่องจากเป็นชิ้นงานที่ต้องผ่านกระบวนการเชื่อมแบบจุด (Spot Welding) และติดอุปกรณ์สำหรับประกอบบางชนิดรอไว้ในคลังสินค้าเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการประกอบในกระบวนการผลิตอื่น ๆ ทำให้ต้องผลิตเตรียมไว้ในคลังสินค้ามาก เพราะชิ้นงานอาจเสียในกระบวนการเชื่อมแบบจุดหรือกระบวนการติดอุปกรณ์ทำให้มีความเหมาะสมที่จะนำมาแก้ไขต่อไป

3.7 Project Charter

Project Charter	
Project Title : การลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นสำหรับโครงหลังคาเหล็กทรงกระบอก	
<p>Business case : โรงงานเกิดปัญหาข้อบกพร่องหลายประเภท โดยไม่สามารถแก้ไขให้ดีขึ้นอย่างถาวรได้ ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพของการผลิต ทำให้ลูกค้าอาจเปลี่ยนไปใช้โครงหลังคาที่ใช้วัตถุดิบอีกประเภทแทน</p>	<p>Problem Statement : เกิดมูลค่าความสูญเสียในกระบวนการการพันสียอย่างต่อเนื่องในกระบวนการผลิตโครงหลังคาเหล็ก ในข้อบกพร่องครีบบ่น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว โดยมีต้นเหตุหลักมาจากกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น ซึ่งมีมูลค่าความสูญเสียรวมทั้งสิ้น 1,071,498.98 บาท ต่อปริมาณการผลิต 12,798 ชิ้น ตั้งแต่เดือนมกราคม-ตุลาคม 2554</p>
<p>Goal Statement : ลดมูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากข้อบกพร่อง ครีบบ่น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว ให้ได้อย่างน้อย 278,815 บาทต่อปี</p>	
<p>Objective Statement : ลดข้อบกพร่องเรื่องครีบบ่น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว ที่เกิดในกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น ภายในระยะเวลา 9 เดือน</p>	
<p>Project Scope :</p> <ul style="list-style-type: none"> - ระยะเวลาโครงการไม่เกิน 9 เดือน - ศึกษาเฉพาะสายการผลิตการขึ้นรูปโลหะแผ่นเท่านั้น <p>Project Constraint</p> <ul style="list-style-type: none"> - ไม่สามารถตัดแปลงเครื่องจักรสำหรับการขึ้นรูปได้ <p>Project Assumption</p> <ul style="list-style-type: none"> - ต้องมีการรายงานความคืบหน้าสัปดาห์ละ 1 ครั้ง - ทีมงานมีอิสระในการทดลองและออกแบบวิธีการทำงาน 	<p>Team member</p> <ul style="list-style-type: none"> - นายวัชร นาเยี่ยม : Black Belt - นายกฤษฎา สนิทวงศ์ ณ อยุธยา : Green Belt - นางสาวชมพูนุท เดิมสายทอง : Implementation Leader <p>Project Metrics</p> <ul style="list-style-type: none"> - Primary metrics : สัดส่วนของเสียในข้อบกพร่องครีบบ่น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว ที่เกิดขึ้นในสายการผลิตโลหะแผ่น - Secondary metrics : เวลาซ่อมและค่าแรงงานที่ใช้ในการซ่อมในกระบวนการผลิตโลหะแผ่น - Consequential metrics : เวลาในการแก้ไขแม่พิมพ์ต่อการขึ้นรูปชิ้นงานแต่ละครั้ง - Financial metrics : เงินที่ลดได้เนื่องจากการซ่อมน้อยลง

บทที่ 4

ระยะการวัดเพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

หลังจากการนิยามปัญหาที่เกิดขึ้นแล้ว ในบทนี้จะเป็นการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาโดยเริ่มจากการวิเคราะห์ความความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัด(Gauge R&R)จากนั้นจะวิเคราะห์สมรรถภาพของกระบวนการก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ว่าหลังการปรับปรุงคุณภาพแล้วมีสมรรถภาพของกระบวนการผลิตดีขึ้นหรือไม่ในขั้นตอนสุดท้ายจะทำการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า (KPIVs: Key Process Input Variables) โดยการใช้แผนภาพก้างปลา และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลด้วย Cause and Effect Matrix

4.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัดของข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis)

ในโรงงานที่ศึกษาจะใช้การเก็บข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (Attribute Data)ซึ่งจะใช้ข้อมูลที่มีการตัดสินใจด้วยข้อกำหนดเฉพาะ (Specification)คือ ผ่าน(G-good)และไม่ผ่าน(NG-no good) จึงทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis)ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัด โดยเริ่มจากการกำหนดมาตรฐานการตรวจสอบ จากนั้นได้วิเคราะห์ความเห็นพ้องกันของพนักงานวัด และการวัดความมีประสิทธิภาพผลของระบบการวัด เพื่อยืนยันว่าระบบการวัดที่ใช้มีความน่าเชื่อถือก่อนทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป

4.1.1 การตรวจสอบชิ้นงานและมาตรฐานการตรวจสอบ

การตรวจสอบชิ้นงานที่เกิดจากข้อบกพร่องทั้ง 2 ประเภท คือ ครีบยื่น และ ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว มีวิธีการตรวจสอบแตกต่างกัน ดังนี้

- Section B วัดบริเวณจุดประกบด้าน Frame Side Inner จุดที่ 2 โดย Gauge Block ที่ครอบกับชิ้นงานจะพอดี (Fitted) และไม่สามารถขยับได้ขณะวัด
- Section C วัดบริเวณจุดประกบด้าน Frame Side Inner จุดที่ 3 โดย Gauge Block ที่ครอบกับชิ้นงานจะพอดี (Fitted)และไม่สามารถขยับได้ขณะวัด
- Section D วัดบริเวณกึ่งกลางของชิ้นงานด้านหน้า โดย Gauge Block ที่ครอบกับชิ้นงานจะพอดี (Fitted) และไม่สามารถขยับได้ขณะวัด

ส่วนด้านท้ายของชิ้นงานจะไม่ตรวจสอบ เนื่องจากครอบประกบกับชิ้นงาน Back Door OTR และ Back Door INR ซึ่งสามารถใช้อย่างสำหรับหุ้มขอบในการปรับแต่งให้พอดีกับชิ้นงานทั้งสองได้

ชิ้นงานที่มีขนาดไม่ตรงกับข้อกำหนดเฉพาะที่ตรวจสอบทั้ง 8 จะไม่ยอมรับในทุกกรณี

4.1.2 การวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis)

4.1.2.1 การวิเคราะห์ความเห็นพ้องของพนักงานวัด

- การวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทครีปเย็น

การวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis) โดยการตรวจสอบชิ้นงานด้วยสายตามีสั้นตอนการศึกษาครั้งนี้ (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2546)

1. ทำการคัดเลือกบุคลากรที่มีความชำนาญซึ่งมีความสามารถในการแยกแยะคุณภาพของชิ้นงานซึ่งเป็นที่ยอมรับภายในองค์กรและลูกค้าให้การยอมรับ จำนวน 3 คนเพื่อทำการตรวจสอบชิ้นงานที่ได้รับการคัดเลือกจำนวน 30 ชิ้น (จากตารางที่ 2.3) ซึ่งจะใช้เป็นกลุ่มตัวอย่างในการตรวจสอบ

2. กำหนดกลุ่มงานตัวอย่าง โดยคัดเลือกชิ้นงานในกระบวนการผลิต 30 ชิ้น ประกอบด้วยชิ้นงานที่มีคุณภาพดี 10 ชิ้น ชิ้นงานที่มีคุณภาพไม่ดี 10 ชิ้น และชิ้นงานที่มีคุณภาพแบบก้ำกึ่ง 10 ชิ้น ซึ่งจะแยกเป็นชิ้นงานที่มีคุณภาพดีแบบก้ำกึ่งและคุณภาพไม่ดีแบบก้ำกึ่งอย่างละ 5 ชิ้น จากนั้นบันทึกผลการตรวจสอบที่ถูกต้องของทั้ง 30 ชิ้น

3. ทำการสุ่มผู้ชำนาญการ ในการตรวจสอบชิ้นงานขึ้นมาคนหนึ่งแล้วให้ตรวจสอบตัวอย่างงานแบบสุ่มเพื่อประเมินผลคุณภาพของตัวอย่างทั้ง 30 ชิ้นว่า ดี (G) หรือ เสีย (NG) แล้วบันทึกข้อมูลลงในแบบฟอร์ม

4. ทำการสุ่มผู้ชำนาญการที่เหลือขึ้นมาตรวจสอบชิ้นงานจนครบทั้ง 3 คน ตามวิธีในข้อ 3 จากนั้นทำการตรวจสอบซ้ำครั้งที่ 2 โดยสุ่มชิ้นงานขึ้นมาตรวจสอบใหม่โดยไม่ให้ลำดับซ้ำกับครั้งแรก เพื่อให้พนักงานจากกลุ่มงานตัวอย่างได้

5. บันทึกค่าลงในแบบฟอร์ม เพื่อทำการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะโดยในแต่ละเกณฑ์ต้องได้ % ไม่น้อยกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับของระบบการวัดที่โรงงานกำหนดไว้

เกณฑ์การยอมรับของระบบการวัดในข้อบกพร่องครีบกยื่น

เกณฑ์ที่ใช้ประเมินในการวิเคราะห์ระบบการวัดจะใช้เกณฑ์การยอมรับของโรงงานในปัจจุบัน ซึ่งจะมีการทดลองความสามารถของพนักงานตรวจสอบทุก 6 เดือน โดยเกณฑ์การยอมรับที่ใช้แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เกณฑ์การยอมรับของระบบการวัดในข้อบกพร่องครีบกยื่น

ดัชนี	เกณฑ์การยอมรับ
% ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบ (% appraiser score)	80 %
% ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ (% attribute score)	80 %
% ประสิทธิภาพด้านความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ (% screen effective score)	80 %
% ประสิทธิภาพด้าน ไบอัสของการตรวจสอบ (% attribute screen effective score)	80 %

ผลการตรวจสอบของพนักงานทั้ง 3 คน ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ระบบการวัดในข้อบกพร่องครีบก้อน

ตัวอย่างที่	คุณภาพงานที่แท้จริง	พนักงานคนที่ 1		พนักงานคนที่ 2		พนักงานคนที่ 3	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	G	G	G	G	G	G	G
2	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
3	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
4	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
5	G	G	G	NG	G	G	NG
6	G	G	G	G	G	G	G
7	G	G	G	G	G	G	G
8	G	G	G	G	G	G	G
9	G	G	G	G	G	G	G
10	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
11	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
12	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
13	G	G	G	G	G	G	G
14	NG	NG	NG	G	G	NG	NG
15	G	G	G	G	G	G	G
16	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
17	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
18	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
19	G	G	G	G	G	G	G
20	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
21	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
22	G	G	G	G	G	G	G
23	G	G	G	G	G	G	G
24	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
25	NG	G	G	G	G	G	NG
27	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
26	G	G	G	G	G	G	G
28	G	G	G	G	G	G	G

ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ระบบการวัดในข้อบกพร่องครีบย่น(ต่อ)

ตัวอย่างที่	คุณภาพงานที่แท้จริง	พนักงานคนที่ 1		พนักงานคนที่ 2		พนักงานคนที่ 3	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
29	G	G	G	G	G	G	G
30	G	G	G	G	G	G	G

ผลการตรวจสอบความสามารถของระดับการวัดของพนักงาน จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab 16 แสดงได้ดังนี้

Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
1	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
2	30	29	96.67	(82.78, 99.92)
3	30	28	93.33	(77.93, 99.18)

Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Fleiss' Kappa Statistics

Appraiser	Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
1	G	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
	NG	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
2	G	0.93266	0.182574	5.10839	0.0000
	NG	0.93266	0.182574	5.10839	0.0000
3	G	0.86667	0.182574	4.74693	0.0000
	NG	0.86667	0.182574	4.74693	0.0000

Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
1	30	29	96.67	(82.78, 99.92)
2	30	27	90.00	(73.47, 97.89)
3	30	28	93.33	(77.93, 99.18)

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

Assessment Disagreement

Appraiser	# NG / G	Percent	# G / NG	Percent	# Mixed	Percent
1	0	0.00	1	6.67	0	0.00
2	0	0.00	2	13.33	1	3.33
3	0	0.00	0	0.00	2	6.67

NG / G: Assessments across trials = NG / standard = G.

G / NG: Assessments across trials = G / standard = NG.

Mixed: Assessments across trials are not identical.

Fleiss' Kappa Statistics

Appraiser	Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
1	G	0.933259	0.129099	7.22899	0.0000
	NG	0.933259	0.129099	7.22899	0.0000
2	G	0.832924	0.129099	6.45181	0.0000
	NG	0.832924	0.129099	6.45181	0.0000
3	G	0.933259	0.129099	7.22899	0.0000
	NG	0.933259	0.129099	7.22899	0.0000

Between Appraisers

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
30	27	90.00	(73.47, 97.89)

Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

Fleiss' Kappa Statistics

Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
G	0.906378	0.0471405	19.2272	0.0000
NG	0.906378	0.0471405	19.2272	0.0000

All Appraisers vs Standard

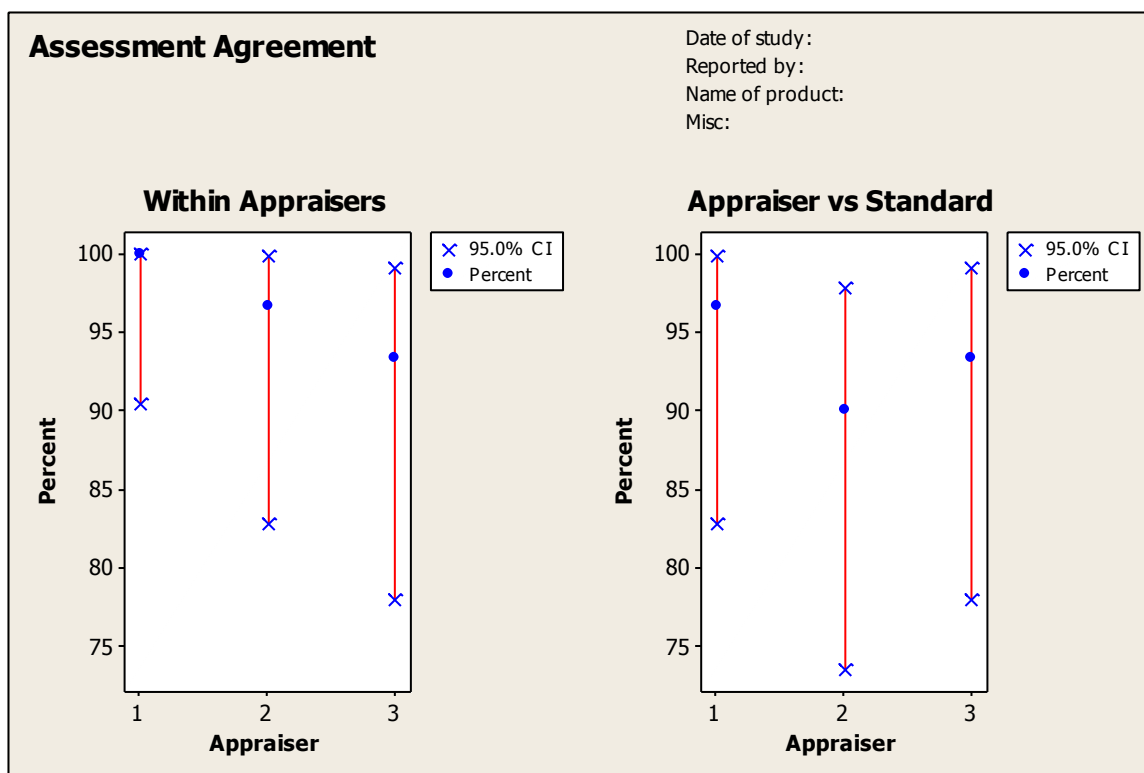
Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
30	27	90.00	(73.47, 97.89)

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

Fleiss' Kappa Statistics

Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
G	0.899814	0.0745356	12.0723	0.0000
NG	0.899814	0.0745356	12.0723	0.0000



ภาพที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดในข้อบกพร่องครีบนด้วยโปรแกรม Minitab 16

สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

- เปอร์เซ็นต์ความสามารถของการวัดซ้ำของพนักงานแต่ละคน (Within Appraisers)
พนักงานคนที่ 1 เท่ากับ 100.00 %
พนักงานคนที่ 2 เท่ากับ 96.67 %
พนักงานคนที่ 3 เท่ากับ 93.33 %
- เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานแต่ละคน (Each Appraisers VS Standard)
พนักงานคนที่ 1 เท่ากับ 96.67 %
พนักงานคนที่ 2 เท่ากับ 90.00 %
พนักงานคนที่ 3 เท่ากับ 93.33 %

- เปรอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพผลความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ (Between Appraisers) เท่ากับ 90.00 %

- เปรอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพผลความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ (All Appraisers VS Standard) เท่ากับ 92.50 %

สรุปได้ว่าความสามารถของกระบวนการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะของข้อบกพร่องประเภทครีบก้น อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (มากกว่าหรือเท่ากับ 80 % ทุกดัชนี) ทำให้สามารถยืนยันได้ว่าระบบการวัดของโรงงานมีความน่าเชื่อถือ และสามารถวิเคราะห์หาสาเหตุเพื่อแก้ปัญหาครีบก้นได้ต่อไป

- **การวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว**

การวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis) โดยการตรวจสอบชิ้นงานด้วยสายตาซึ่งจะใช้พารามิเตอร์เชิงผันแปรที่มีการตัดสินใจด้วยข้อกำหนดเฉพาะ (Specification) มีขั้นตอนการศึกษาดังนี้ (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2546)

1. ทำการคัดเลือกบุคลากรที่มีความชำนาญซึ่งมีความสามารถในการแยกแยะคุณภาพของชิ้นงานซึ่งเป็นที่ยอมรับภายในองค์กรและลูกค้าให้การยอมรับ จำนวน 3 คน เพื่อทำการตรวจสอบชิ้นงานที่ได้รับการคัดเลือกจำนวน 20 ชิ้น (จากตารางที่ 2.3) ซึ่งจะใช้เป็นกลุ่มตัวอย่างในการตรวจสอบ โดยผู้วิจัยได้ใช้จำนวนตัวอย่างน้อยลง เนื่องจากการตรวจสอบข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวมีการตรวจสอบ 8 จุด ซึ่งพนักงานตรวจสอบอาจเกิดความล้า ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากพนักงานวัด และส่งผลต่อค่าที่ได้รับการวัดได้

2. กำหนดกลุ่มงานตัวอย่างโดยคัดเลือกชิ้นงานในกระบวนการผลิต 20 ชิ้น ประกอบด้วยชิ้นงานที่มีคุณภาพดี 7 ชิ้น ชิ้นงานที่มีคุณภาพไม่ดี 7 ชิ้น และชิ้นงานที่มีคุณภาพแบบก้ำกึ่ง 6 ชิ้น ซึ่งจะแยกเป็นชิ้นงานที่มีคุณภาพดีแบบก้ำกึ่งและคุณภาพไม่ดีแบบก้ำกึ่งอย่างละ 3 ชิ้น จากนั้นบันทึกผลการตรวจสอบที่ถูกต้องของทั้ง 20 ชิ้น

3. ทำการสุ่มผู้ชำนาญการในการตรวจสอบชิ้นงานขึ้นมาคนหนึ่งแล้วให้ตรวจสอบตัวอย่างงานแบบสุ่มเพื่อประเมินผลคุณภาพของตัวอย่างทั้ง 20 ชิ้นว่า ดี (G) หรือ เสีย (NG) แล้วบันทึกข้อมูลลงในแบบฟอร์ม

4. ทำการสุ่มผู้ชำนาญการที่เหลือขึ้นมาตรวจสอบชิ้นงานจนครบทั้ง 3 คน ตามวิธีในข้อ 3 จากนั้นทำการตรวจสอบซ้ำครั้งที่ 2 โดยสุ่มชิ้นงานขึ้นมาตรวจสอบใหม่โดยไม่ให้ลำดับซ้ำกับครั้งแรก เพื่อให้พนักงานจากกลุ่มงานตัวอย่างได้

5. บันทึกค่าลงในแบบฟอร์ม เพื่อทำการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะโดยในแต่ละเกณฑ์ต้องได้ % ไม่น้อยกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับของระบบการวัดที่โรงงานกำหนด

เกณฑ์ที่ยอมรับของระบบการวัดของข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว

เกณฑ์ที่ใช้ประเมินในการวิเคราะห์ระบบการวัดจะใช้เกณฑ์การยอมรับของโรงงานในปัจจุบัน ซึ่งจะมีการทดลองความสามารถของพนักงานตรวจสอบทุก 6 เดือน โดยเกณฑ์การยอมรับที่ใช้แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เกณฑ์การยอมรับของระบบการวัดในข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว

ดัชนี	เกณฑ์การยอมรับ
% ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบ (% appraiser score)	80 %
% ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ (% attribute score)	80 %
% ประสิทธิภาพด้านความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ (% screen effective score)	80 %
% ประสิทธิภาพด้านไบอัสของการตรวจสอบ (% attribute screen effective score)	80 %

ผลการตรวจสอบของพนักงานทั้ง 3 คน ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ระบบการวัดใน

ข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว

ตัวอย่างที่	คุณภาพงานที่แท้จริง	พนักงานคนที่ 1		พนักงานคนที่ 2		พนักงานคนที่ 3	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
2	G	G	G	G	G	NG	G
3	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
4	G	G	G	G	G	G	G
5	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
6	NG	NG	NG	NG	NG	G	G
7	G	G	G	NG	NG	NG	G
8	G	G	G	G	G	G	G
10	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
11	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
12	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
13	G	NG	NG	G	NG	NG	G
14	G	G	G	G	G	G	G
15	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
16	G	G	G	G	G	G	G
17	G	G	G	G	G	G	G
18	NG	NG	NG	NG	G	NG	NG
19	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
20	G	G	G	G	G	G	G

ผลการตรวจสอบความสามารถของระดับการวัดของพนักงาน จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab 16 แสดงได้ดังนี้

Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
1	20	19	95.00	(75.13, 99.87)
2	20	18	90.00	(68.30, 98.77)
3	20	18	90.00	(68.30, 98.77)

Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Fleiss' Kappa Statistics

Appraiser	Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
1	G	0.897698	0.223607	4.01463	0.0000
	NG	0.897698	0.223607	4.01463	0.0000
2	G	0.797980	0.223607	3.56867	0.0002
	NG	0.797980	0.223607	3.56867	0.0002
3	G	0.797980	0.223607	3.56867	0.0002
	NG	0.797980	0.223607	3.56867	0.0002

Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
1	20	18	90.00	(68.30, 98.77)
2	20	17	85.00	(62.11, 96.79)
3	20	18	90.00	(68.30, 98.77)

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

Assessment Disagreement

Appraiser	# NG / G	Percent	# G / NG	Percent	# Mixed	Percent
1	1	10.00	0	0.00	1	5.00
2	1	10.00	0	0.00	2	10.00
3	0	0.00	0	0.00	2	10.00

NG / G: Assessments across trials = NG / standard = G.

G / NG: Assessments across trials = G / standard = NG.

Mixed: Assessments across trials are not identical

Fleiss' Kappa Statistics

Appraiser	Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
1	G	0.848865	0.158114	5.36869	0.0000
	NG	0.848865	0.158114	5.36869	0.0000
2	G	0.799499	0.158114	5.05647	0.0000
	NG	0.799499	0.158114	5.05647	0.0000
3	G	0.898990	0.158114	5.68571	0.0000
	NG	0.898990	0.158114	5.68571	0.0000

Between Appraisers

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
20	16	80.00	(56.34, 94.27)

Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

Fleiss' Kappa Statistics

Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
G	0.790482	0.0577350	13.6915	0.0000
NG	0.790482	0.0577350	13.6915	0.0000

All Appraisers vs Standard

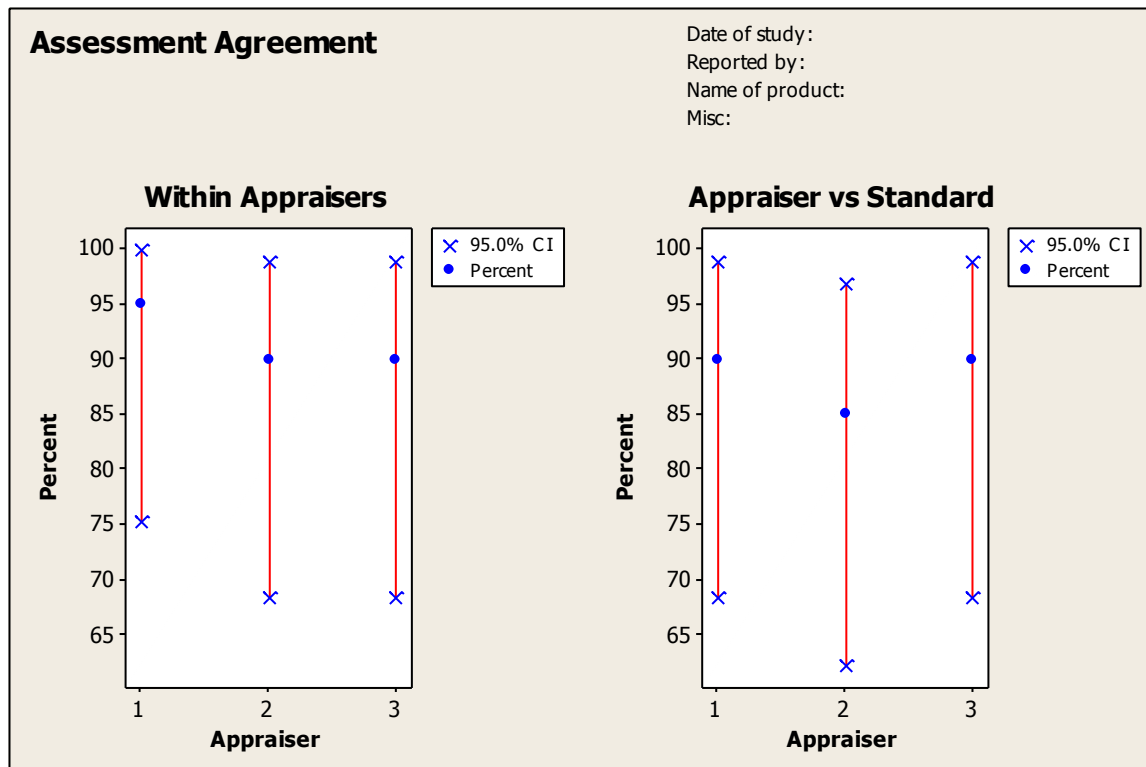
Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
20	16	80.00	(56.34, 94.27)

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

Fleiss' Kappa Statistics

Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
G	0.849118	0.0912871	9.30162	0.0000
NG	0.849118	0.0912871	9.30162	0.0000



ภาพที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดในข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว
ด้วยโปรแกรม Minitab 16

สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

- เปอร์เซ็นต์ความสามารถของการวัดซ้ำของพนักงานแต่ละคน (Within Appraisers)
พนักงานคนที่ 1 เท่ากับ 95.00 %
พนักงานคนที่ 2 เท่ากับ 90.00 %
พนักงานคนที่ 3 เท่ากับ 90.00 %
- เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานแต่ละคน (Each Appraisers VS Standard)
พนักงานคนที่ 1 เท่ากับ 90.00 %
พนักงานคนที่ 2 เท่ากับ 85.00 %
พนักงานคนที่ 3 เท่ากับ 90.00 %

- เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ (Between Appraisers) เท่ากับ 80.00 %
- เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ (All Appraisers VS Standard) เท่ากับ 80.00 %

สรุปได้ว่าความสามารถของกระบวนการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะของข้อบกพร่อง ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (มากกว่าหรือเท่ากับ 80 % ทุกดัชนี) ทำให้สามารถ ยืนยันได้ว่าระบบการวัดของโรงงานมีความน่าเชื่อถือ และสามารถวิเคราะห์หาสาเหตุเพื่อแก้ปัญหา ข้อบกพร่องประเภทขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวได้ต่อไป

4.1.2.2 การวัดประสิทธิผลของระบบการวัด

- ความพ้องกันระหว่างพนักงานกับมาตรฐาน

สามารถวิเคราะห์ได้จากคะแนนของค่าแอดทริบิวต์ (% attribute score) ซึ่งสามารถ คำนวณได้จาก (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2553)

$$\% \text{ ของค่าแอดทริบิวต์} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}}$$

- ประเมินความสามารถของพนักงานแต่ละคนกับมาตรฐาน

โดยการวิเคราะห์ด้วย ดัชนีความมีประสิทธิภาพของพนักงานแต่ละคน (operator effectiveness index: O_E) ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด (false alarm index: I_{FA}) และดัชนี การตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด (index of a miss: I_{MISS}) ได้จาก (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2553)

$$O_E = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตัดสินใจได้ถูกต้อง}}{\text{โอกาสทั้งหมดของการตัดสินใจ}}$$

$$I_{FA} = \frac{\text{จำนวนที่ปฏิเสธผิดพลาด}}{\text{โอกาสทั้งหมดที่จะปฏิเสธผิดพลาด}}$$

$$I_{MISS} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ยอมรับผิดพลาด}}{\text{โอกาสทั้งหมดที่ยอมรับผิดพลาด}}$$

ซึ่งมีเกณฑ์การตัดสินใจจากดัชนีแสดงประสิทธิผลของAIAG (2002, p. 132) ได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 เกณฑ์การตัดสินใจดัชนีแสดงประสิทธิผลจาก AIAG

การตัดสินใจ	O_E	I_{FA}	I_{MISS}
ยอมรับได้	$\geq 90\%$	$\leq 5\%$	$\leq 2\%$
ยอมรับแบบกำกวม	$\geq 80\%$	$\leq 10\%$	$\leq 5\%$
ไม่สามารถยอมรับได้	$< 80\%$	$> 10\%$	$> 5\%$

สามารถสรุปผลการทดลองจากข้อบกพร่องครีบย่น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวได้ดังตารางที่ 4.6 และ 4.7

ข้อบกพร่อง: ครีบย่น

ตารางที่ 4.6 สรุปผลการทดลองความเห็นพ้องระหว่างพนักงานกับมาตรฐานในข้อบกพร่องครีบย่น

พนักงาน คนที่	ตรวจสอบว่า G ถูกต้อง	ตรวจสอบว่า NG ถูกต้อง	รวมจำนวนที่ ตรวจสอบถูก	จำนวนการ ปฏิเสธผิด	จำนวนการ ยอมรับผิด	รวม
1	30	28	58	0	2	60
2	29	26	55	1	4	60
3	29	29	58	1	1	60

ข้อบกพร่อง: ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว

ตารางที่ 4.7 สรุปผลการทดลองความเห็นพ้องระหว่างพนักงานกับมาตรฐาน
ในข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว

พนักงาน คนที่	ตรวจสอบว่า G ถูกต้อง	ตรวจสอบว่า NG ถูกต้อง	รวมจำนวนที่ ตรวจสอบถูก	จำนวนการ ปฏิเสธผิด	จำนวนการ ยอมรับผิด	รวม
1	18	20	38	2	0	40
2	17	19	36	3	1	40
3	17	18	35	3	2	40

จากตารางที่ 4.6 และ 4.7 สามารถคำนวณค่าดัชนีที่แสดงถึงควมมีประสิทธิภาพของ
พนักงานวัดแต่ละคนได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 คำนวณแสดงประสิทธิผลของพนักงานแต่ละคน

ดัชนี	พนักงานคนที่	ข้อบกพร่องที่รับยื่น	ข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว
% ของค่าแอดทริบิวต์	1	$\frac{29}{30} \times 100\% = 96.67\%$	$\frac{19}{20} \times 100\% = 95\%$
	2	$\frac{27}{30} \times 100\% = 90\%$	$\frac{17}{20} \times 100\% = 85\%$
	3	$\frac{28}{30} \times 100\% = 93.33\%$	$\frac{16}{20} \times 100\% = 80\%$
O _E	1	$\frac{58}{60} \times 100\% = 96.67\%$	$\frac{38}{40} \times 100\% = 95\%$
	2	$\frac{55}{60} \times 100\% = 91.67\%$	$\frac{36}{40} \times 100\% = 90\%$
	3	$\frac{58}{60} \times 100\% = 96.67\%$	$\frac{35}{40} \times 100\% = 87.5\%$
I _{FA}	1	0	$\frac{2}{18+2} \times 100\% = 10\%$
	2	$\frac{1}{29+1} \times 100\% = 3.3\%$	$\frac{3}{17+3} \times 100\% = 15\%$
	3	$\frac{1}{29+1} \times 100\% = 3.3\%$	$\frac{3}{17+3} \times 100\% = 15\%$
I _{MISS}	1	$\frac{2}{28+2} \times 100\% = 6.7\%$	0
	2	$\frac{4}{26+4} \times 100\% = 13.33\%$	$\frac{1}{19+1} \times 100\% = 5\%$
	3	$\frac{1}{29+1} \times 100\% = 3.3\%$	$\frac{2}{18+2} \times 100\% = 10\%$

จากตารางที่ 4.8 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

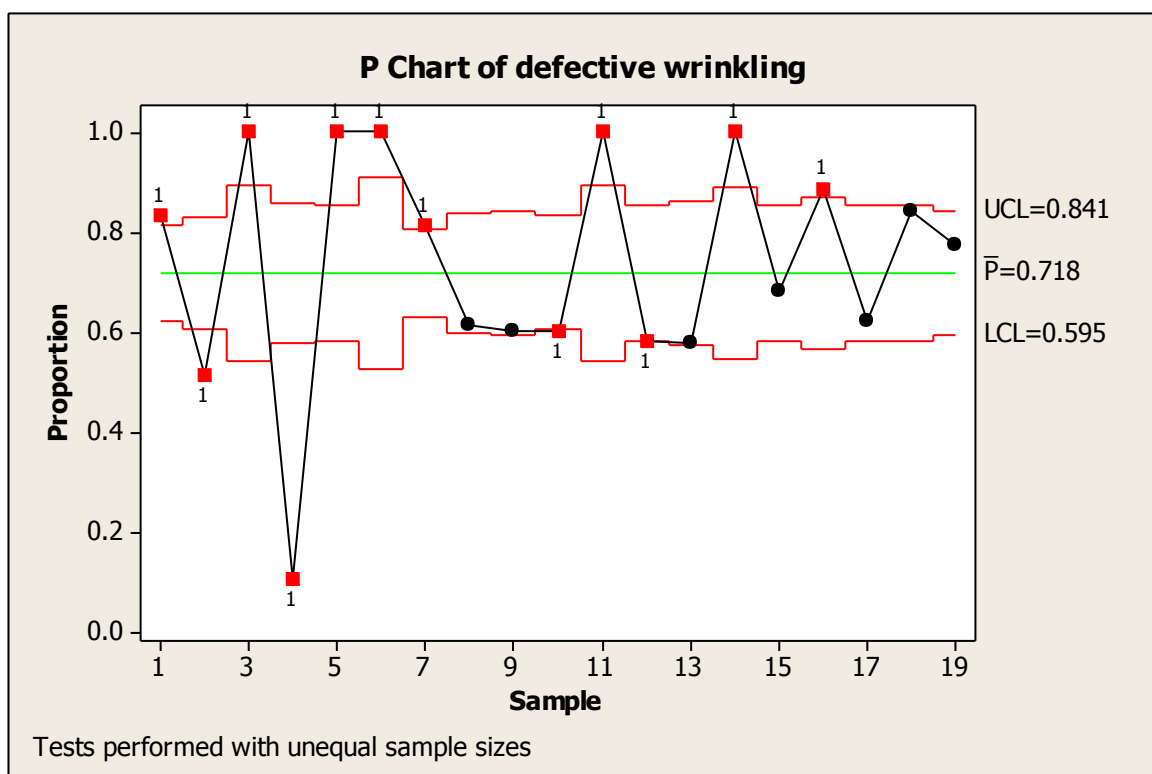
- % ของค่าแอดทริบิวต์ ของพนักงานทั้ง 3 คนอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ (มากกว่าหรือเท่ากับ 80 % ขึ้นไป)
- ดัชนีประสิทธิผล (O_E) จากข้อบกพร่องครีบก้นของพนักงานทั้ง 3 คน อยู่ในเกณฑ์ที่ ยอมรับได้ แต่ข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว พนักงานคนที่ 1 อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ แต่พนักงานคนที่ 2 และ 3 สามารถให้การยอมรับแบบกำกึ่ง
- อัตราการปฏิเสธอย่างผิดพลาด (I_{FA}) ของพนักงานทั้ง 3 คน ในข้อบกพร่องครีบก้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยพนักงานคนที่ 1 จะไม่มีความผิดพลาดในข้อบกพร่องครีบก้นเลยใน ข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว พนักงานทุกคนอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สามารถยอมรับได้
- อัตราการยอมรับที่ผิดพลาด (I_{MISS}) ของพนักงานทั้ง 3 คน ในข้อบกพร่องครีบก้น พนักงานคนที่ 3 อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้แบบกำกึ่ง แต่พนักงานคนที่ 1 และ 2 อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ สามารถยอมรับได้ ส่วนในข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว พนักงานคนที่ 1 เป็นพนักงานที่ไม่ มีความผิดพลาดประเภทนี้ แต่พนักงานคนที่ 2 อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้แบบกำกึ่ง และพนักงาน คนที่ 3 อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สามารถยอมรับได้

เกณฑ์ของดัชนีประสิทธิผล(O_E) อัตราการปฏิเสธอย่างผิดพลาด (I_{FA}) และ อัตราการยอมรับ ที่ผิดพลาด (I_{MISS}) ถือว่า มีความเข้มงวดในการตรวจสอบ เนื่องจากใช้เกณฑ์จาก AIAG ในการประเมิน โดยพนักงานต้องทำการอบรมการตรวจสอบชิ้นงานเพิ่มเติม ซึ่งในกระบวนการผลิตจริง จะใช้การ ประเมินการวิเคราะห์ความเห็นพ้องของพนักงานวัด ซึ่งพนักงานตรวจสอบต้องผ่านเกณฑ์ที่ตั้งไว้คือ 80 %

4.2 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis)

4.2.1 ความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องประเภทครีบก้น

จากการศึกษาความสามารถของกระบวนการของชิ้นงานเสียจากการขึ้นรูปโลหะแผ่นของชิ้นงาน F/S PNLOTR ซึ่งเป็นข้อมูลแบบนับ (attribute data) ผลจากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตจากข้อมูลตั้งแต่เดือน ม.ค.-ต.ค. 2554 ซึ่งจะใช้จำนวนชิ้นงานที่ผลิตทั้งหมดเป็นขนาดตัวอย่างได้ดังภาพที่ 4.5



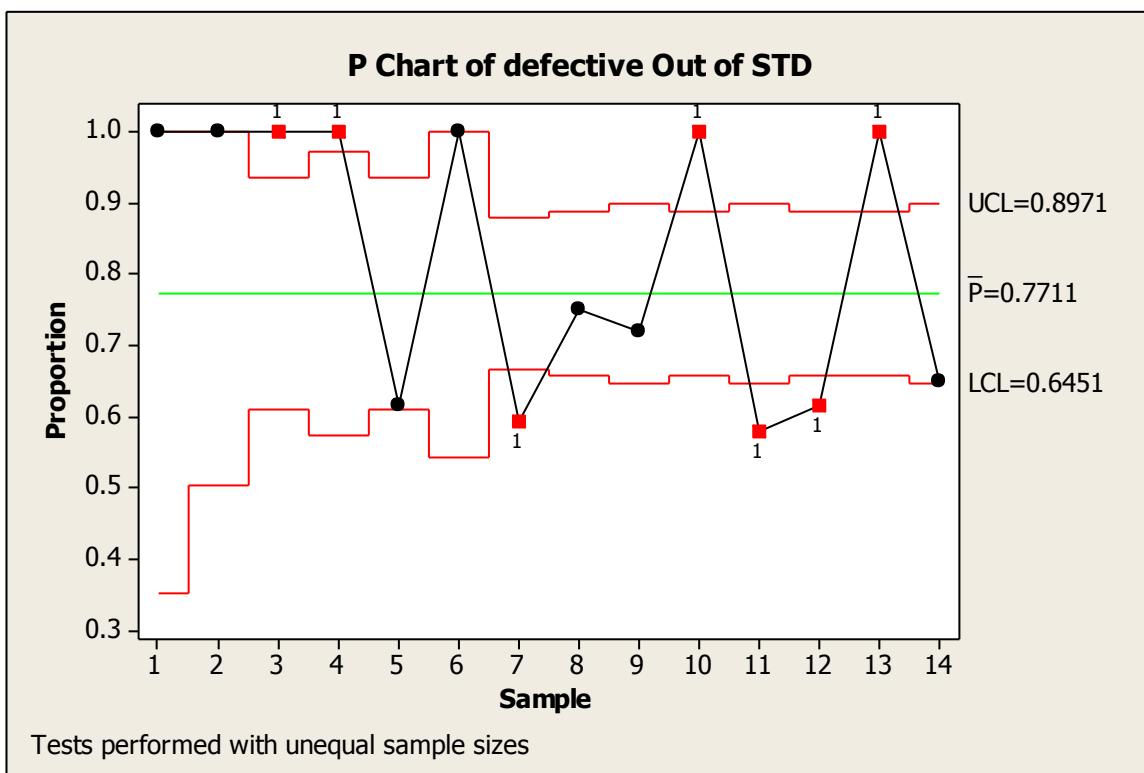
ภาพที่ 4.5 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องครีบก้น

จากการวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิ p พบว่า สัดส่วนของเสียของชิ้นงานในข้อบกพร่องครีบก้นมีความแปรผันสูงและมีข้อมูลออกนอกขีดจำกัดควบคุมเป็นจำนวนมาก แสดงว่ายังไม่สามารถควบคุมกระบวนการให้อยู่ในสภาวะควบคุมได้ โดยมีสัดส่วนของเสียเฉลี่ยเท่ากับ 71.80% ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดของเสียแบบเสียทั้ง lot ($p = 1$)

4.2.2 ความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องประเภทขนาดไม่ตรงตามพิมพ์

เขียว

จากการศึกษาความสามารถของกระบวนการของชิ้นงานเสียจากการขึ้นรูปโลหะแผ่นของชิ้นงาน F/S PNL OTR โดยมีการตัดสินใจด้วยขอบเขตข้อกำหนดเฉพาะ (Specification limit) 4 จุด และข้อมูลเชิงคุณภาพ 4 จุด จึงถือว่าการประเมินความสามารถของกระบวนการที่มีข้อมูลแบบนับ (attribute data) เช่นเดียวกับข้อบกพร่องครีบก้น ผลจากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตจากข้อมูลตั้งแต่เดือน ม.ค.-ต.ค.2554 ซึ่งจะใช้จำนวนชิ้นงานที่ผลิตทั้งหมดเป็นขนาดตัวอย่างได้ดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว

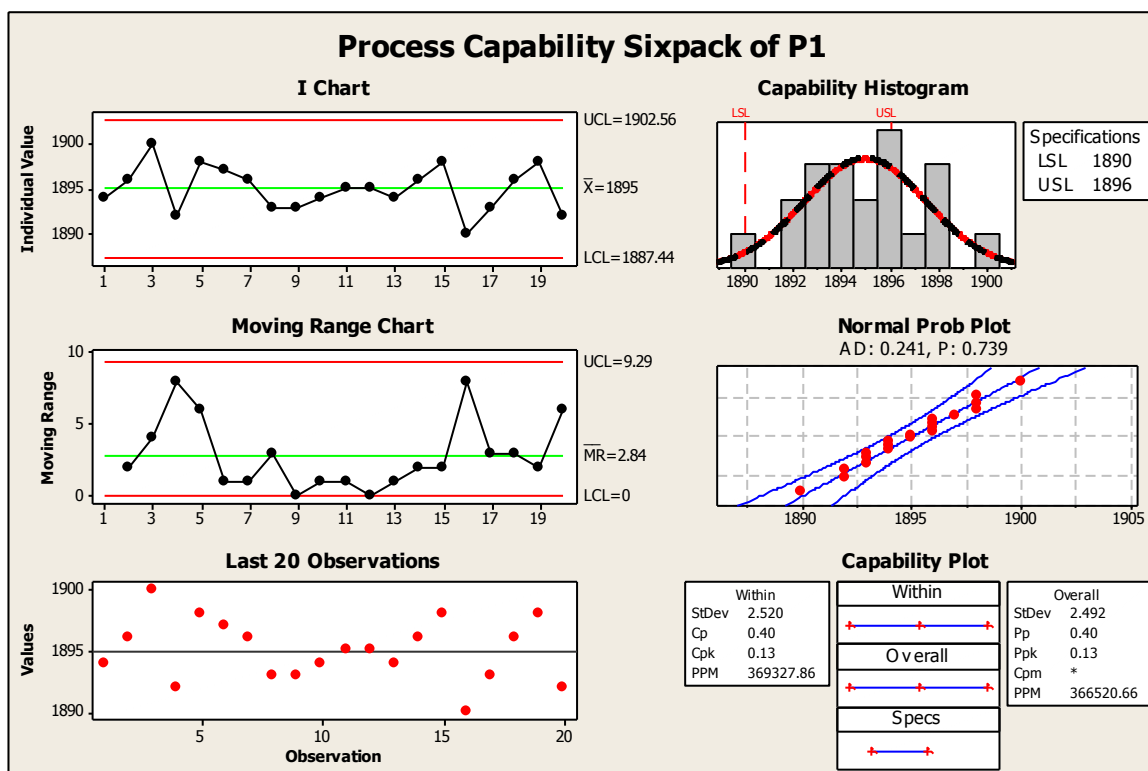
จากการวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิ p พบว่า สัดส่วนของเสียของชิ้นงานในข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว มีความแปรผันสูง โดยมีสัดส่วนของเสียเฉลี่ย 77.11 % และมีข้อมูลออก

นอกขีดจำกัดควบคุมเป็นจำนวนมาก แสดงว่ายังไม่สามารถควบคุมกระบวนการให้อยู่ในสภาวะควบคุมได้ ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดของเสียแบบเสียทั้ง lot ($p = 1$) เช่นเดียวกับข้อบกพร่องครีบก้น

- การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการเพิ่มเติม ของค่าวัดทั้ง 4 ตำแหน่งใน

ข้อบกพร่องประเภทขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว

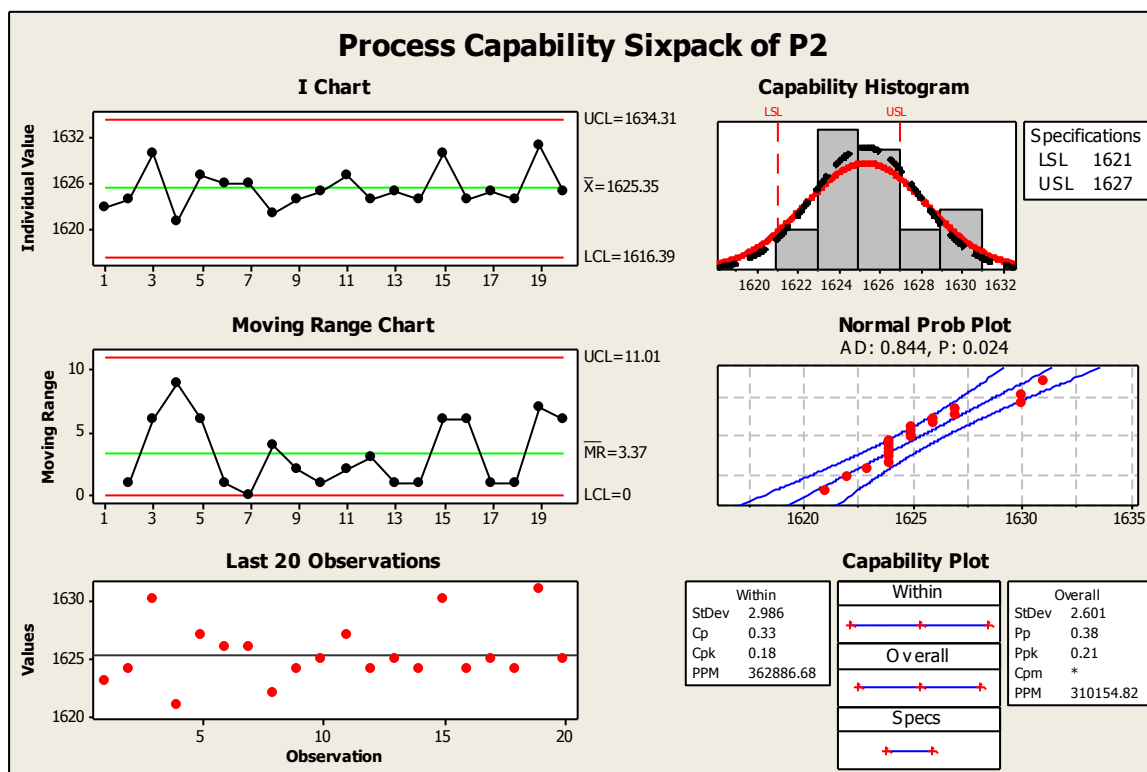
จากนั้นนำค่าวัดทั้ง 4 ตำแหน่งมาหาความสามารถของกระบวนการเพื่อดูว่าขนาดของชิ้นงานมีค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนไปในทิศทางใด และมีความผันแปรมากน้อยเพียงใดเมื่อเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนอนุโลม โดยศึกษาสมรรถภาพของกระบวนการทั้ง 4 ตำแหน่งโดยใช้จำนวนตัวอย่าง 20 ตัวอย่าง ของคนที่ 1 จากการทำ MSA โดยนำตัวโดยสุ่มเลือกค่าวัดจากคนที่ 1 ตำแหน่งที่ 1 การทดลองที่ 1 มาทดสอบได้ผลดังนี้



ภาพที่ 4.7 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจากค่าวัดของคนี่ 1 ตำแหน่งที่ 1 ครั้งที่ 1

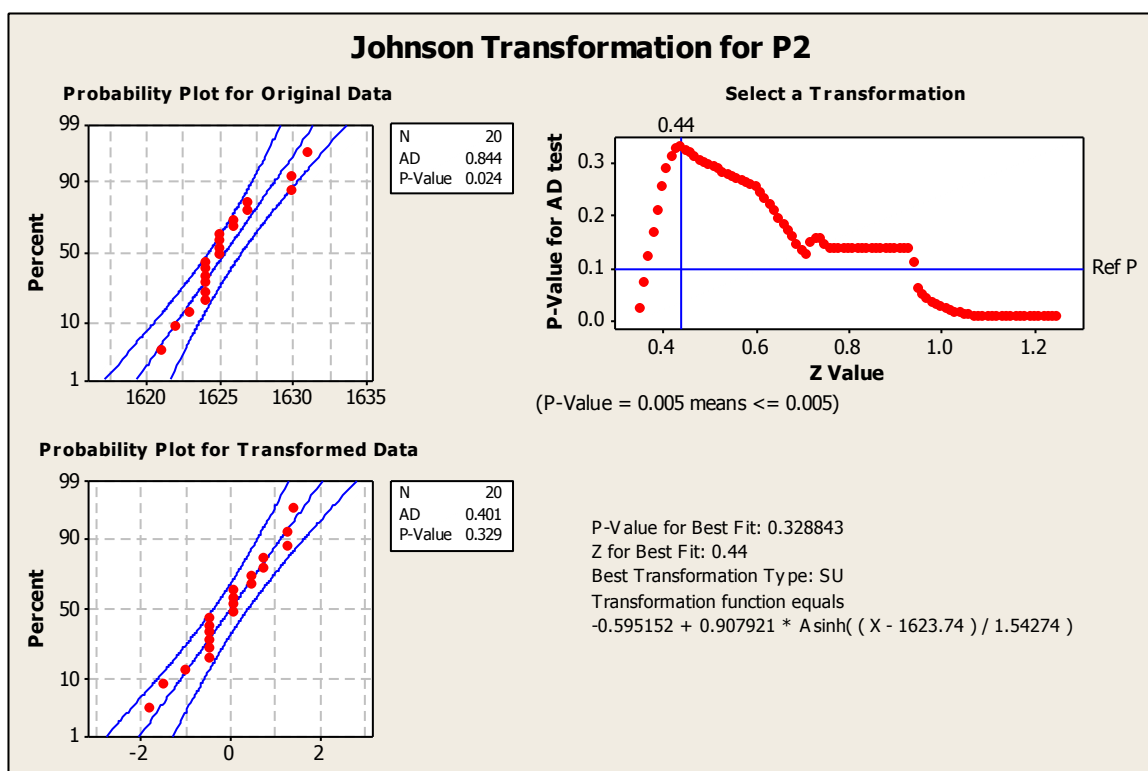
จากการวิเคราะห์ Process Capability Analysis ของผู้วัดคนที่ 1 ตำแหน่งที่ 1 การทดลองที่ 1 ดังภาพที่ 4.7 พบว่า ข้อมูลเป็นแบบ Normal เนื่องจากมีค่า p-value จาก Normality Test เท่ากับ 0.739 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 และในแผนภูมิ I-Chart และ MR-Chart ไม่มี Outlier เกิดขึ้น จึงสามารถนำข้อมูลไปใช้วิเคราะห์ต่อได้ เมื่อพิจารณาที่ค่า C_{pk} และ C_p ที่ได้ มีค่าเท่ากับ 0.13 และ 0.40 ตามลำดับ ซึ่งค่า $C_p > C_{pk}$ แสดงว่าค่ากลางของกระบวนการไม่ได้อยู่ที่ค่าเป้าหมาย และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานค่อนข้างสูง (จาก $C_p < 1.33$) เมื่อพิจารณาที่ Capability Histogram จะเห็นว่าค่าที่ได้รับการวัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1895 mm ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยที่กำหนด (1893 mm) จึงถือว่าชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องที่บริเวณตำแหน่งที่ 1 จะมีแนวโน้มที่มีขนาดใหญ่กว่าค่าเป้าหมาย

จากนั้นวิเคราะห์ Process Capability Analysis ของผู้วัดคนที่ 1 ตำแหน่งที่ 2 การทดลองที่ 1 ได้ดังภาพที่ 4.8



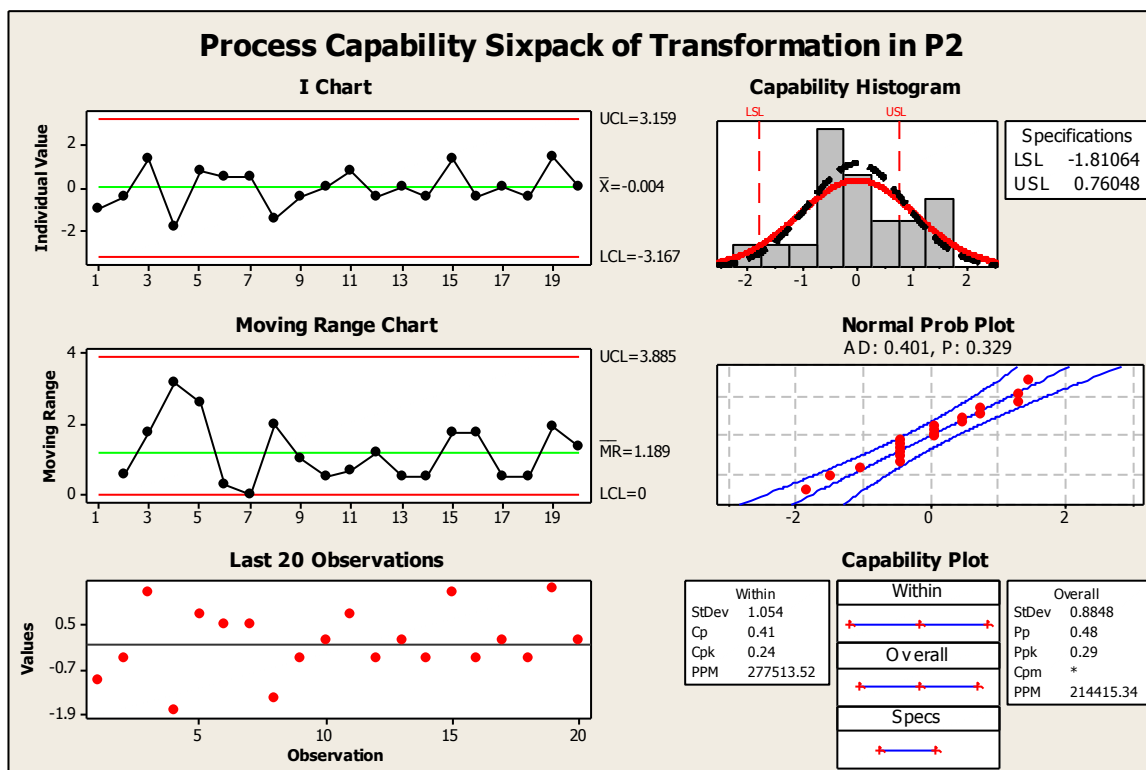
ภาพที่ 4.8 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจากค่าวัดของคนี่ 1 ตำแหน่งที่ 2 ครั้งที่ 1

จากภาพที่ 4.8 กราฟ Normal Probability Plot พบว่าค่า P-value มีค่าเท่ากับ 0.024 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 ทำให้ข้อมูลมีการกระจายแบบไม่เป็น Normal ดังนั้นจึงยังไม่สามารถนำค่า C_p และ C_{pk} ไปใช้ได้ ต้องนำไป เปลี่ยนรูปข้อมูลให้เป็นการกระจายแบบ Normal ในที่นี้ผู้ศึกษาใช้วิธีของ Johnson ได้ผลดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 การแปลงค่าด้วยวิธีของ Johnson ของคนที่ 1 ตำแหน่งที่ 2 ครั้งที่ 1

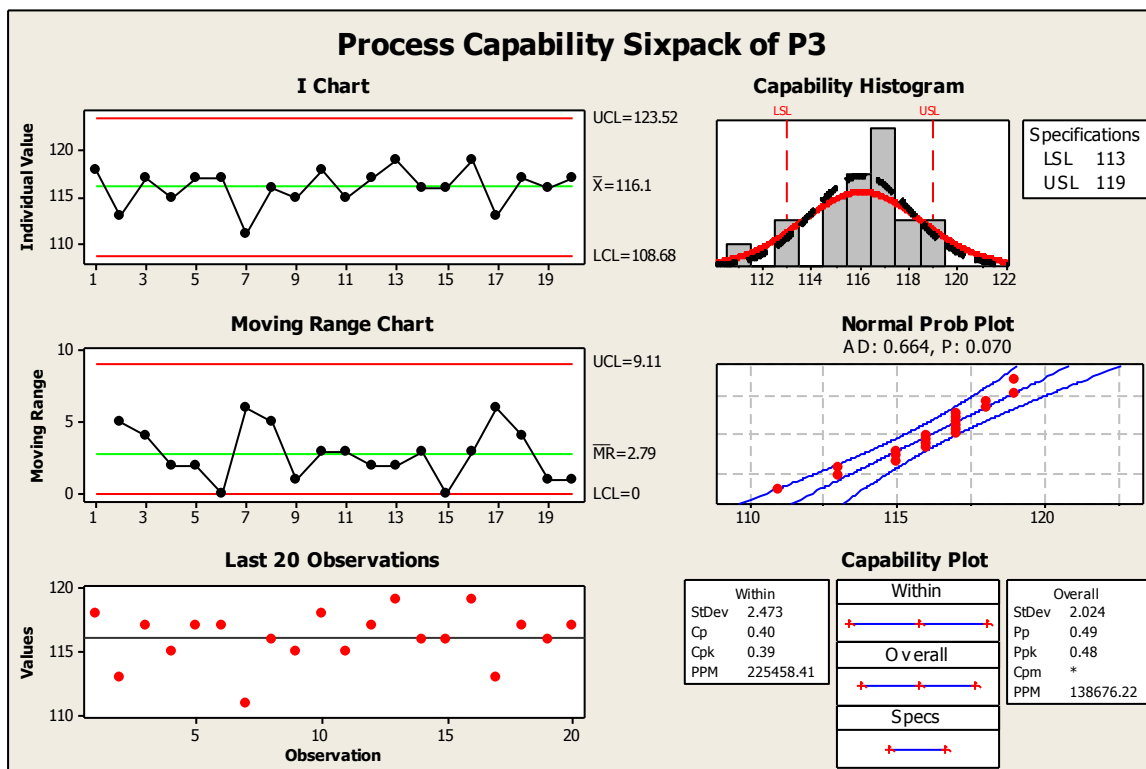
จากการใช้วิธี Johnson Transformation ของคนที่ 1 ตำแหน่งที่ 2 ครั้งที่ 1 จากภาพที่ 4.9 จะได้สมการที่ใช้ในการแปลงค่า คือ $-0.595152 + 0.907921 * \text{Asinh}((X-1623.74) / 1.54274)$ จากนั้นแทนค่า X ด้วยค่าวัดทั้ง 20 ค่า แล้วนำมาวิเคราะห์ Process Capability Analysis ได้ดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจากค่าวัดของคนที่ 1 ตำแหน่งที่ 2 ครั้งที่ 1
หลังจากใช้วิธี Johnson Transformation แล้ว

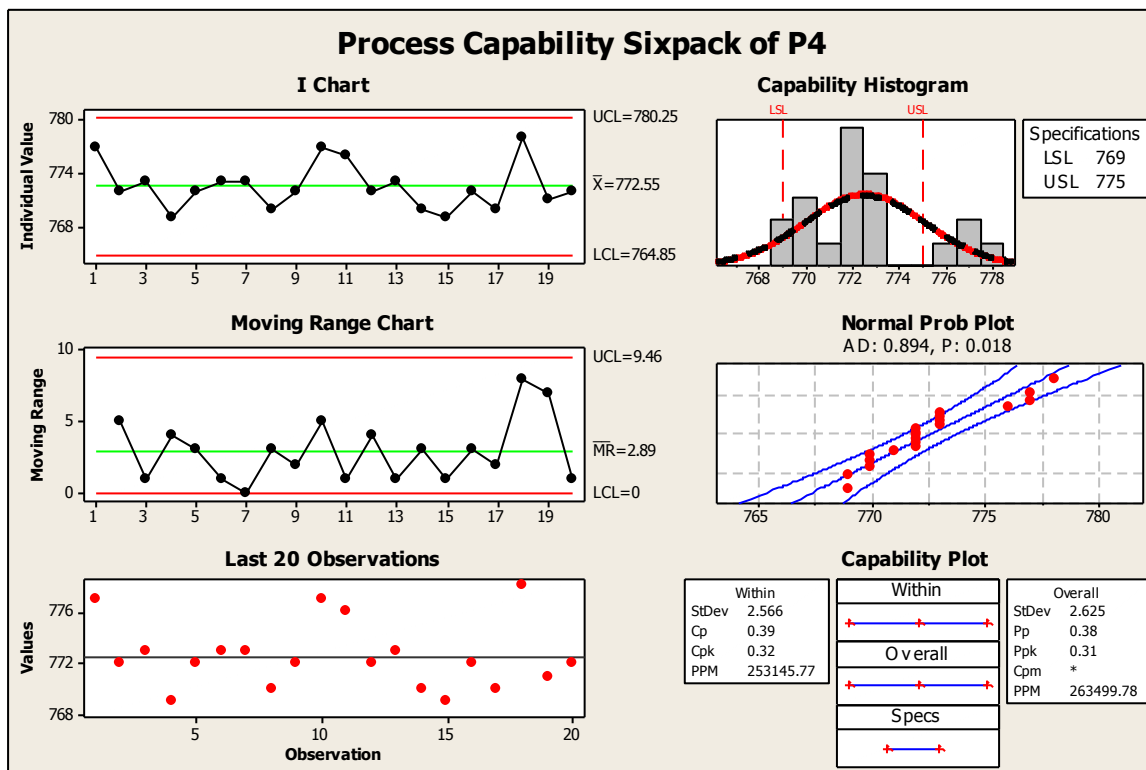
จากการวิเคราะห์ Process Capability Analysis ของผู้วัดคนที่ 1 ตำแหน่งที่ 2 การทดลองที่ 1 โดยใช้วิธี Johnson Transformation ดังภาพที่ 4.9 ทำให้ข้อมูลเป็นแบบ Normal เนื่องจากมีค่า p-value เท่ากับ 0.329 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 และในแผนภูมิ I-Chart และ MR-Chart ไม่มี Outlier เกิดขึ้น จึงสามารถนำข้อมูลไปใช้วิเคราะห์ต่อได้ เมื่อพิจารณาที่ค่า C_{pk} และ C_p ที่ได้ มีค่าเท่ากับ 0.24 และ 0.41 ตามลำดับ ซึ่งค่า $C_p > C_{pk}$ แสดงว่าค่ากลางของกระบวนการไม่ได้อยู่ที่ค่าเป้าหมาย และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานค่อนข้างสูง เมื่อพิจารณาที่ Capability Histogram จะเห็นว่าเบี่ยงเบนไปทางขอบเขตบน (Upper Specification) จึงถือว่าชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องที่บริเวณตำแหน่งที่ 2 จะมีแนวโน้มที่มีขนาดใหญ่มากกว่าค่าเฉลี่ย

จากนั้นวิเคราะห์ Process Capability Analysis ของผู้วัดคนที่ 1 ตำแหน่งที่ 3 การทดลองที่ 1



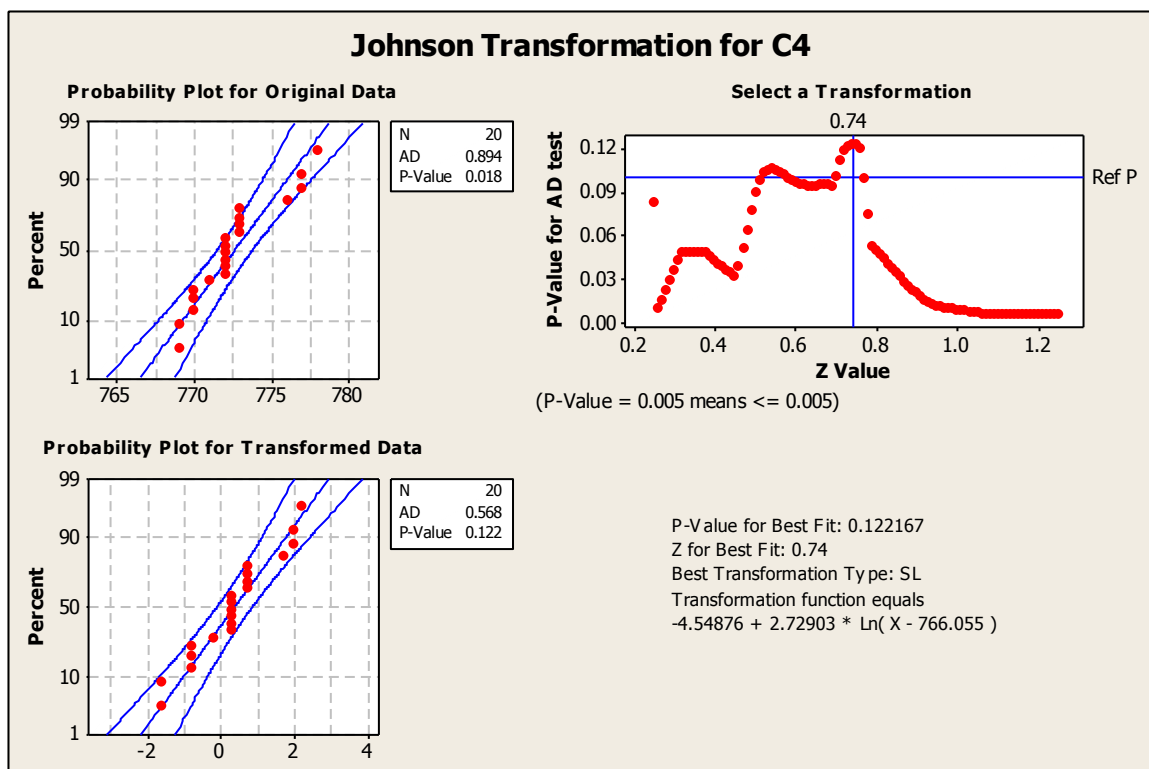
ภาพที่ 4.11 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจากค่าวัดของคนที่ 1 ตำแหน่งที่ 3 ครั้งที่ 1

จากการวิเคราะห์ Process Capability Analysis ของผู้วัดคนที่ 1 ตำแหน่งที่ 3 การทดลองที่ 1 ดังภาพที่ 4.11 พบว่า ข้อมูลเป็นแบบ Normal เนื่องจากมีค่า p-value เท่ากับ 0.070 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 และในแผนภูมิ I-Chart และ MR-Chart ไม่มี Outlier เกิดขึ้น จึงสามารถนำข้อมูลไปใช้วิเคราะห์ต่อได้ เมื่อพิจารณาที่ค่า C_p และ C_{pk} ที่ได้ มีค่าเท่ากับ 0.39 และ 0.4 ตามลำดับ ซึ่งค่า $C_p > C_{pk}$ เล็กน้อย แสดงว่าค่ากลางของกระบวนการใกล้เคียงกับค่าเป้าหมาย แต่มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานค่อนข้างสูง เมื่อพิจารณาที่ Capability Histogram จะเห็นว่าค่าที่ได้รับการวัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 116.1 mm ซึ่งมีความมากกว่าค่าเฉลี่ยที่กำหนดที่ 116 mm เล็กน้อย จึงถือว่าชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องที่บริเวณตำแหน่งที่ 3 มีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย



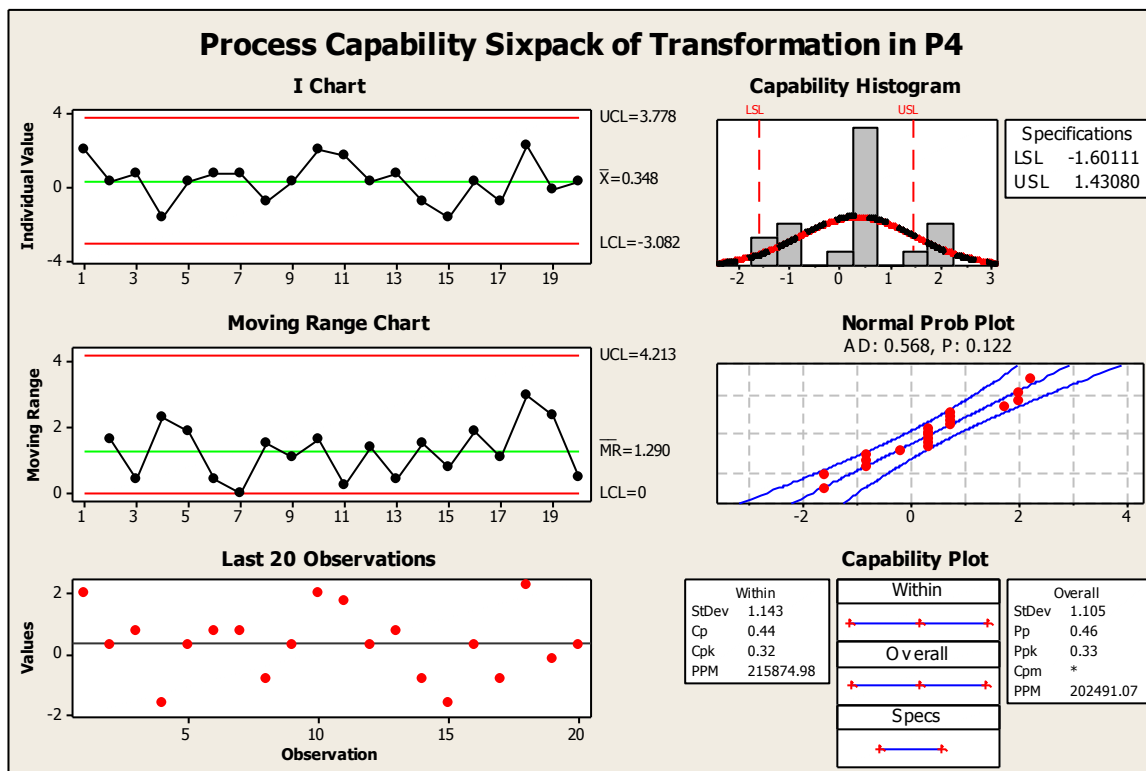
ภาพที่ 4.12 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจากค่าวัดของคนที 1 ตำแหน่งที่ 4 ครั้งที่ 1

จากกราฟ Normal Probability Plot พบว่าค่า P-value มีค่าเท่ากับ 0.018 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 ทำให้ข้อมูลมีการกระจายแบบไม่เป็น Normal ดังนั้นจึงยังไม่สามารถนำค่า C_p และ C_{pk} ไปใช้ได้ต้องนำไปเปลี่ยนรูปข้อมูลให้เป็นการกระจายแบบ Normal ในที่นี้ผู้ศึกษาใช้วิธีของ Johnson ได้ผลดังภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 การแปลงค่าด้วยวิธีของ Johnson ของคนที่ 1 ตำแหน่งที่ 4 ครั้งที่ 1

จากการใช้วิธี Johnson Transformation ของคนที่ 1 ตำแหน่งที่ 4 ครั้งที่ 1 จากภาพที่ 4.13 จะได้สมการที่ใช้ในการแปลงค่า คือ $-4.54876 + 2.72903 * \ln(X - 766.055)$ จากนั้นแทนค่า X ด้วยค่าวัดทั้ง 20 ค่า แล้วนำมาวิเคราะห์ Process Capability Analysis ได้ดังภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.14 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจากค่าวัดของคนที 1 ตำแหน่งที่ 4 ครั้งที่ 1
หลังจากใช้วิธี Johnson Transformation แล้ว

จากการวิเคราะห์ Process Capability Analysis ของผู้วัดคนที่ 1 ตำแหน่งที่ 2 การทดลองที่ 1 โดยใช้วิธี Johnson Transformation ดังภาพที่ 4.13 เพื่อให้ข้อมูลเป็นแบบ Normal เนื่องจากมีค่า p-value เท่ากับ 0.329 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 และในแผนภูมิ I-Chart และ MR-Chart ไม่มี Outlier เกิดขึ้น จึงสามารถนำข้อมูลไปใช้วิเคราะห์ต่อได้ เมื่อพิจารณาที่ค่า C_{pk} และ C_p ที่ได้ มีค่าเท่ากับ 0.32 และ 0.44 ตามลำดับ ซึ่งค่า $C_p > C_{pk}$ แสดงว่าค่ากลางของกระบวนการไม่ได้อยู่ที่ค่าเป้าหมาย และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานค่อนข้างสูง เมื่อพิจารณาที่ Capability Histogram จะเห็นว่าเบี่ยงเบนไปทางขอบเขตบน (Upper Specification) จึงถือว่าชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องที่บริเวณตำแหน่งที่ 4 จะมีแนวโน้มที่มีขนาดใหญ่กว่าค่าเฉลี่ย

4.3 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า (KeyProcessInputVariables; KPIVs)

ในขั้นตอนนี้เป็นการระดมสมองในการหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภท ครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวจากทีมงานทั้ง 15 คน ประกอบด้วย

- ผู้จัดการโรงงานฝ่ายรถเล็ก 1 คน
- ผู้จัดการฝ่ายรับประกันคุณภาพ 1 คน
- ผู้จัดการฝ่ายพัฒนาและปรับปรุงรถเล็ก 1 คน
- หัวหน้าส่วนฝ่ายโครงหลังคาเหล็ก 1 คน
- หัวหน้าส่วนฝ่ายรับประกันคุณภาพ 1 คน
- วิศวกรฝ่ายโครงหลังคาเหล็ก 2 คน
- วิศวกรฝ่ายรับประกันคุณภาพ 2 คน
- วิศวกรฝ่ายผลิต 2 คน
- ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่ายจัดซื้อ 1 คน
- หัวหน้าพนักงานฝ่ายผลิต 1 คน
- หัวหน้างานฝ่ายรับประกันคุณภาพ 1 คน
- ผู้ดำเนินงานวิจัย

โดยจะใช้แผนภาพก้างปลา (Fish BoneDiagram) หรือแผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram; C&E Matrix) เพื่อระดมความคิดหาสาเหตุที่เป็นไปได้ต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภท ครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว โดยจัดทำแบบสอบถามเพื่อเปิดกว้างทางความคิด และลดการเผชิญหน้าระหว่างหัวหน้าและลูกน้อง เพื่อช่วยให้การลงคะแนนมีความถูกต้องมากขึ้น

จากนั้นนำปัจจัยที่คาดว่าจะเกี่ยวข้องกับการเกิดข้อบกพร่องจากการพิจารณาโดยทีมงานมาให้คะแนนและถ่วงน้ำหนักความสำคัญ จากหลักการของตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix; C&E Matrix) เพื่อมาเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยจากคะแนนที่ได้เพื่อกรองปัจจัยนำเข้าในขั้นตอนแรก

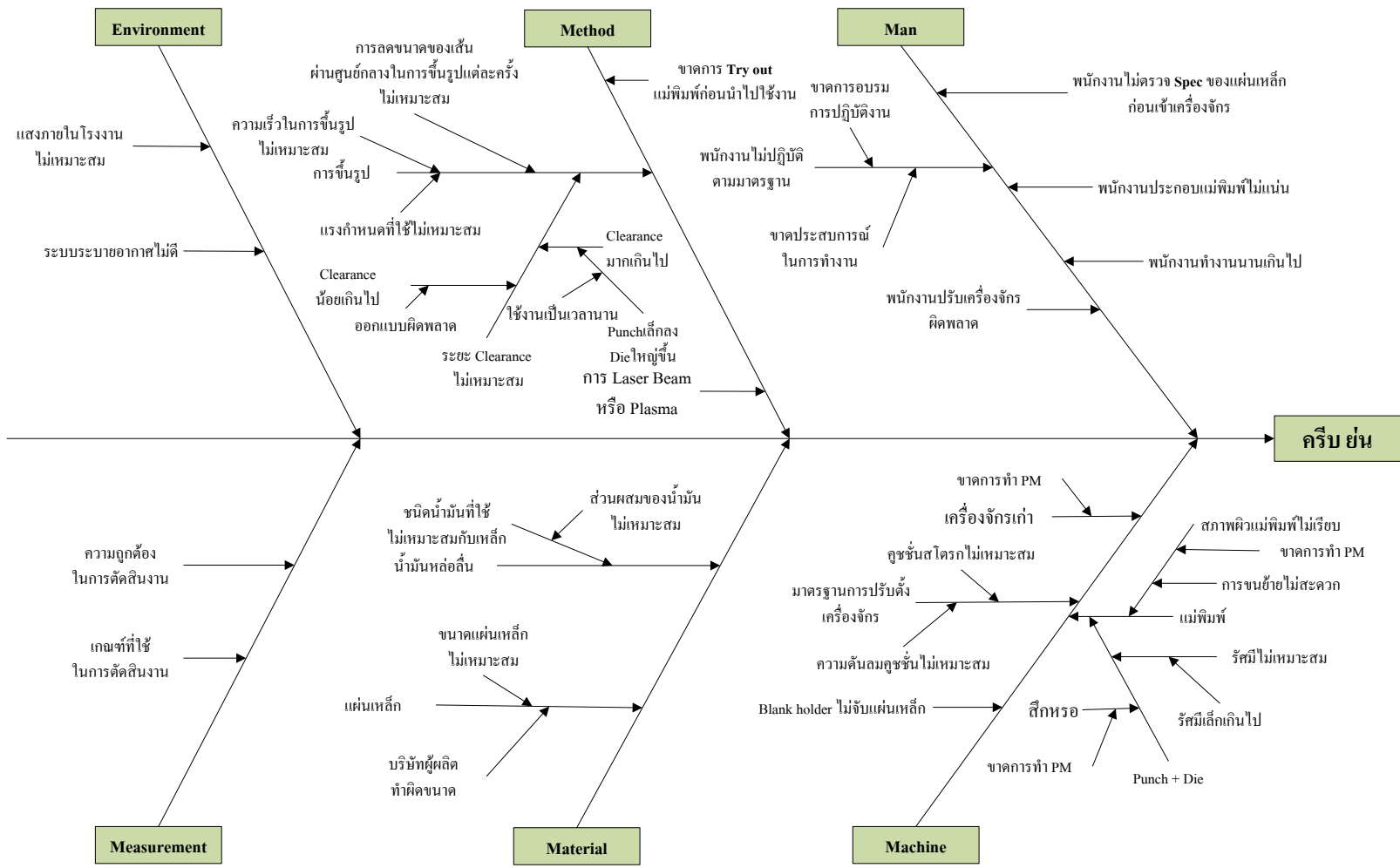
จากนั้นนำปัจจัยนำเข้าที่ได้มาประเมินค่าความเสี่ยงโดยพิจารณาจากเกณฑ์ 3 ประการ โดยที่ S คือ ความรุนแรงของข้อบกพร่อง O คือโอกาสในการเกิดสาเหตุ และ D คือ ความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่อง เพื่อหาค่า RPN มาใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) ต่อไป

4.3.1 การระดมความคิดจากผังก้างปลาหรือผังสาเหตุและผล (Fish Bone Diagram or Cause and Effect Diagram)

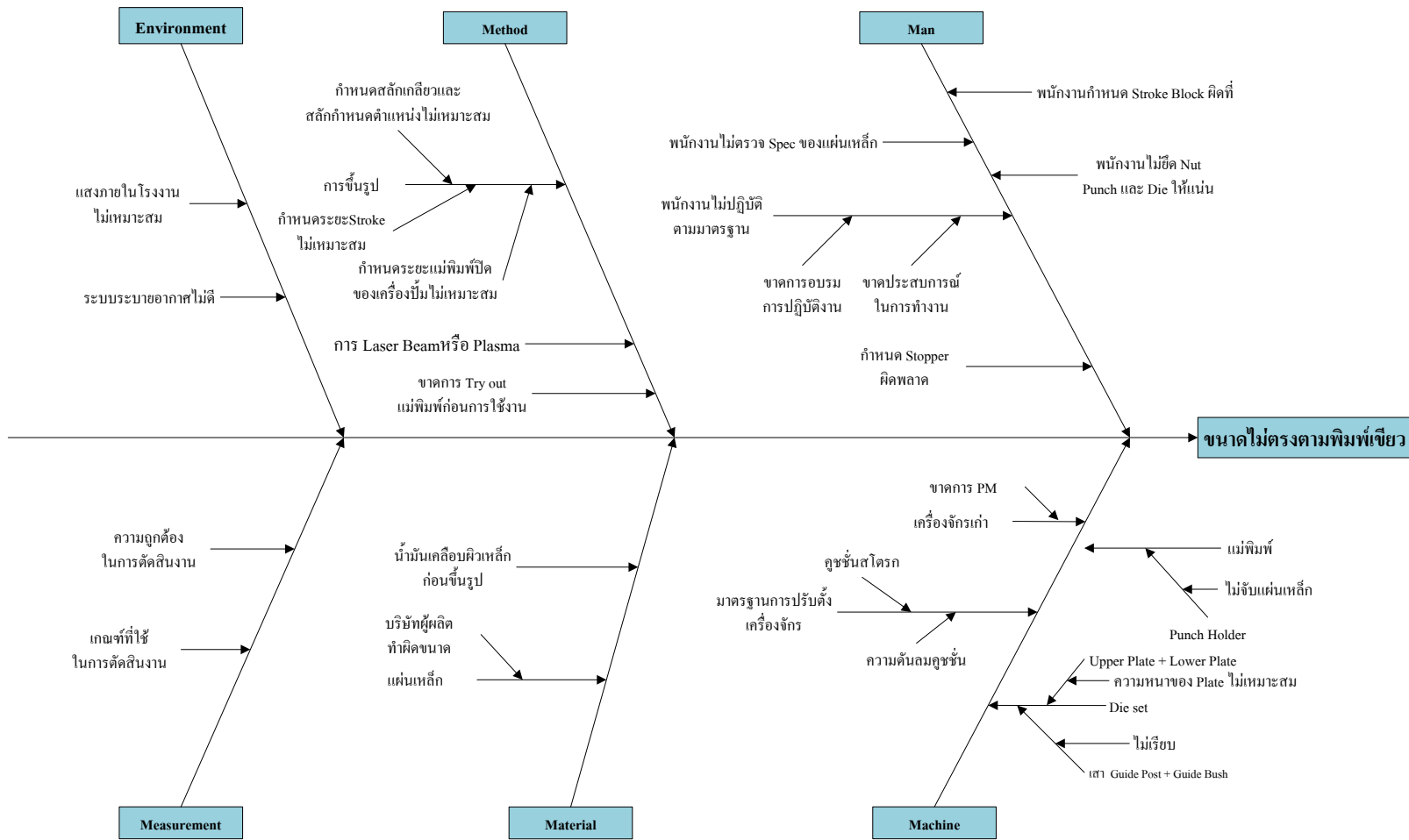
การระดมความคิดโดยใช้ผังก้างปลาจะวิเคราะห์โดยแยกสาเหตุอย่างเป็นระบบโดยใช้หลักการ 4M 1E ดังนี้

1. สาเหตุจากสภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิต (Environment)
2. สาเหตุจากระบบการวัด (Measurement)
3. สาเหตุจากวิธีการทำงาน (Method)
4. สาเหตุจากวัตถุดิบ (Material)
5. สาเหตุจากพนักงาน (Man)
6. สาเหตุจากเครื่องจักร (Machine)

ผลจากการระดมความคิดเพื่อหาสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องประเภทรีบย่น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวดังแสดงในภาพที่ 4.15 และภาพที่ 4.16 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.15 แผนภูมิก้างปลาของข้อบกพร่องประเภทครีปย่น



ภาพที่ 4.16 แผนภูมิแก๊งปลาของข้อบกพร่องประเภทขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว

251,574.65 บาท และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว 159,923.52 บาท นำมาคิดเป็นอัตราส่วนอย่างต่ำได้ดังนี้

$$\text{ครีbyn : ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว} = 3 : 2$$

จึงได้กำหนดคะแนนความสำคัญของมูลค่าความสูญเสียที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องครีbyn เท่ากับ 3 และคะแนนความสำคัญของมูลค่าความสูญเสียที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว เท่ากับ 2 ตามลำดับ และแสดงคะแนนจากแบบสอบถามได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงคะแนนจากแบบสอบถามปัญหาครีbyn

หมวด	No.	สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา (Causes)	มาก (9)	ปาน กลาง (3)	น้อย (1)	น้อย ที่สุด (0)	รวมคะแนน
Environment	1	แสงภายในโรงงานไม่เหมาะสม			11	4	11
	2	ระบบระบายอากาศไม่ดี			1	14	1
Measurement	3	ความไม่ถูกต้องในการตัดสีงาน			3	12	3
	4	เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสีงานไม่เหมาะสม			2	13	2
Method	5	กำหนดสติกเกลียวและสติกกำหนดตำแหน่งไม่เหมาะสม			3	12	3
	6	กำหนดระยะ Stroke ไม่เหมาะสม			4	11	4
	7	กำหนดระยะแม่พิมพ์ปิดของเครื่องปั๊มไม่เหมาะสม		2	6	7	12
	8	ความเร็วในการขึ้นรูปไม่เหมาะสม	8	7			93
	9	แรงกำหนดที่ใช้ไม่เหมาะสม	7	6	2		83

ตารางที่ 4.10 แสดงคะแนนจากแบบสอบถามปัญหาที่รีบย่น (ต่อ)

หมวด	No.	สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา (Causes)	มาก (9)	ปาน กลาง (3)	น้อย (1)	น้อย ที่สุด (0)	รวมคะแนน
Method	10	ระยะ Clearance น้อยเกินไป		3	6	6	15
	11	ระยะ Clearance มากเกินไป	15				135
	12	ขาดการลองแบบแม่พิมพ์ (Try out)	13				117
	13	ตั้งค่าเครื่องจักร (Laser Beam และ Plasma) ผิดพลาด			2	13	2
Material	14	ชนิดน้ำมันที่ใช้ไม่เหมาะสมกับ เหล็ก			5	10	5
	15	บริษัทผู้ผลิตทำแผ่นเหล็กผิดขนาด			1	14	1
	16	ขนาดแผ่นเหล็กไม่เหมาะสม	13	2			123
Man	17	ขาดการอบรมการปฏิบัติงาน			8	7	8
	18	ขาดประสบการณ์ในการทำงาน			4	11	4
	19	ขาดการศึกษา WI ก่อนการปรับตั้ง		2	9	4	15
	20	พนักงานไม่ตรวจ Spec ของแผ่น เหล็กก่อนเข้าเครื่องจักร		4	7	4	19
	21	พนักงานประกอบแม่พิมพ์ไม่แน่น	14	1			129
	22	พนักงานทำงานผิดพลาด		2	7	6	13
	23	พนักงานกำหนด Stopper ผิดพลาด			2	13	2
	24	พนักงานกำหนด Stroke Block ผิดที่			1	14	1

ตารางที่ 4.10 แสดงคะแนนจากแบบสอบถามปัญหากริย่น (ต่อ)

หมวด	No.	สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา (Causes)	มาก (9)	ปาน กลาง (3)	น้อย (1)	น้อย ที่สุด (0)	รวมคะแนน
Machine	25	ขาดการทำ PM เครื่องจักร	9	5	1		97
	26	ขนาดคูชชั่นสโตรกไม่เหมาะสม	7	3	5		77
	27	ความดันลมคูชชั่นไม่เหมาะสม	13	2			123
	28	Punch Holder ไม่จับแผ่นเหล็ก	14	1			129
	29	สภาพผิวแม่พิมพ์ไม่เรียบ	13	2			123
	30	วิธีการขนย้ายไม่ถูกต้อง			8	7	8
	31	Punch และ Die มีรีสมิไม่เหมาะสม			8	7	8
	32	Punch และ Die ลึกหรือ		4	7	4	19
	33	ขนาด Upper Plate + Lower Plate ไม่เหมาะสม	11	4			111
	34	เสา Guide Post + Guide Bush ไม่เรียบ			4	11	4

ตารางที่ 4.11 แสดงคะแนนจากแบบสอบถามปัญหาขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว

หมวด	No.	สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา (Causes)	มาก (9)	ปาน กลาง (3)	น้อย (1)	น้อย ที่สุด (0)	รวมคะแนน
Environment	1	แสงภายในโรงงานไม่เหมาะสม			13	2	13
	2	ระบบระบายอากาศไม่ดี			1	14	1
Measurement	3	ความไม่ถูกต้องในการตัดสีงาน			7	8	7
	4	เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสีงานไม่เหมาะสม			6	9	6
Method	5	กำหนดสลักเกลียวและสลักกำหนด ตำแหน่งไม่เหมาะสม	2	4	9		39
	6	กำหนดระยะ Stroke ไม่เหมาะสม		12	3		39
	7	กำหนดระยะแม่พิมพ์ปิดของเครื่องปั๊ม ไม่เหมาะสม		5	3	7	18
	8	ความเร็วในการขึ้นรูปไม่เหมาะสม			9	6	9
	9	แรงกำหนดที่ใช้ไม่เหมาะสม		6	6	3	24
	10	ระยะ Clearance น้อยเกินไป			2	13	2
	11	ระยะ Clearance มากเกินไป			2	13	2
	12	ขาดการลองแบบแม่พิมพ์ (Try out)	13	2			123
	13	ตั้งค่าเครื่องจักร (Laser Beam และ Plasma) ผิดพลาด			4	11	4
	Material	14	ชนิดน้ำมันที่ใช้ไม่เหมาะสมกับเหล็ก			7	8
15		บริษัทผู้ผลิตทำแผ่นเหล็กผิดขนาด			2	13	2

ตารางที่ 4.11 แสดงคะแนนจากแบบสอบถามปัญหาขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว (ต่อ)

หมวด	No.	สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา (Causes)	มาก (9)	ปาน กลาง (3)	น้อย (1)	น้อย ที่สุด (0)	รวม คะแนน
Material	16	ขนาดแผ่นเหล็กไม่เหมาะสม			3	12	3
Man	17	ขาดการอบรมการปฏิบัติงาน		8	7		31
	18	ขาดประสบการณ์ในการทำงาน		10	3	2	33
	19	ขาดการศึกษา WI ก่อนการปรับตั้ง		10	5		35
	20	พนักงานไม่ตรวจ Spec ของแผ่นเหล็กก่อนเข้าเครื่องจักร		8	4	3	28
	21	พนักงานประกอบแม่พิมพ์ไม่แน่น	9			6	81
	22	พนักงานทำงานผิดพลาด		2	12	1	18
	23	พนักงานกำหนด Stopper ผิดพลาด	2	4	5	4	35
	24	พนักงานกำหนด Stroke Block ผิดที่		2	7	6	13
	Machine	25	ขาดการทำ PM เครื่องจักร	4	11		
26		ขนาดคูชชั่นสโตรกไม่เหมาะสม	6	7		2	75
27		ความดันลมคูชชั่นไม่เหมาะสม	9	2		4	87
28		Punch Holder ไม่จับแผ่นเหล็ก	9	4		2	95
29		สภาพผิวแม่พิมพ์ไม่เรียบ		5	8	2	23
30		วิธีการขนย้ายไม่ถูกต้อง		3	6	6	15
31		Punch และ Die มีรัศมีไม่เหมาะสม			6	9	6

ตารางที่ 4.11 แสดงคะแนนจากแบบสอบถามปัญหาขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว (ต่อ)

หมวด	No.	สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา (Causes)	มาก (9)	ปาน กลาง (3)	น้อย (1)	น้อย ที่สุด (0)	รวมคะแนน
Machine	32	Punch และ Die สึกหรือ			6	9	6
	33	ขนาด Upper Plate + Lower Plate ไม่เหมาะสม	5	5		5	60
	34	เสา Guide Post + Guide Bush ไม่ เรียบ	8	5		2	87

ตารางที่ 4.12 การประเมินด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล

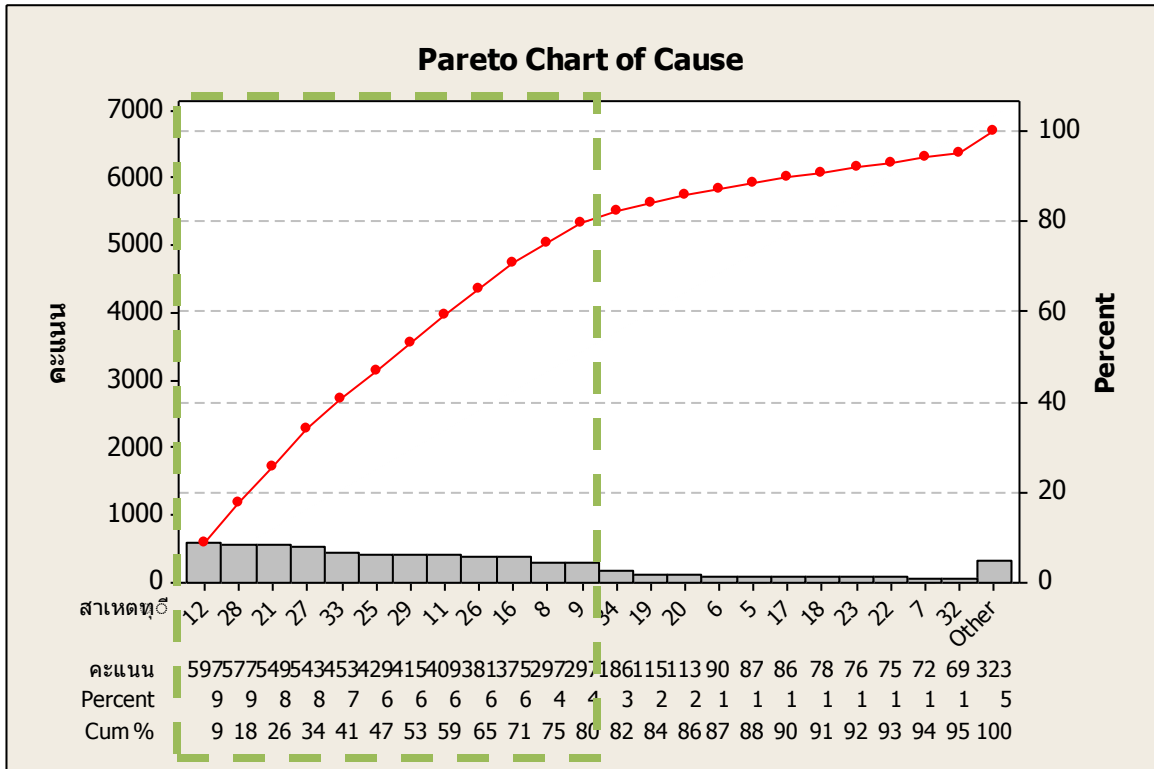
หมวด	No.	สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา (Causes)	ประเภท ของสาเหตุ	ครี บ ย่น (3)	ขนาดไม่ ตรงตาม พิมพ์เขียว (2)	คะแนน รวม
Environment	1	แสงภายในโรงงานไม่เหมาะสม	Controllable	11	13	59
	2	ระบบระบายอากาศไม่ดี	Noise	1	1	5
Measurement	3	ความไม่ถูกต้องในการตัดสินค้า	Controllable	3	7	23
	4	เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินค้าไม่เหมาะสม	Controllable	2	6	18
Method	5	กำหนดสลักเกลียวและสลักกำหนด ตำแหน่งไม่เหมาะสม	Controllable	3	39	87
	6	กำหนดระยะ Stroke ไม่เหมาะสม	Controllable	4	39	90
	7	กำหนดระยะแม่พิมพ์ปิดของเครื่องปั๊ม ไม่เหมาะสม	Controllable	12	18	72
	8	ความเร็วในการขึ้นรูปไม่เหมาะสม	Controllable	93	9	297
	9	แรงกำหนดที่ใช้ไม่เหมาะสม	Controllable	83	24	297
	10	ระยะ Clearance น้อยเกินไป	Controllable	15	2	49
	11	ระยะ Clearance มากเกินไป	Controllable	135	2	409

ตารางที่ 4.12 การประเมินด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล(ต่อ)

หมวด	No.	สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา (Causes)	ประเภทของสาเหตุ	ครีป ย่น (3)	ขนาดไม่ ตรงตาม พิมพ์เขียว (2)	คะแนน รวม
Method	12	ขาดการลองแบบแม่พิมพ์ (Try out)	Controllable	117	90	597
	13	ตั้งค่าเครื่องจักร (Laser Beam และ Plasma) ผิดพลาด	Controllable	2	4	14
Material	14	ชนิดน้ำมันที่ใช้ไม่เหมาะสมกับ เหล็ก	Controllable	5	7	29
	15	บริษัทผู้ผลิตทำแผ่นเหล็กผิดขนาด	Uncontrollable	1	2	7
	16	ขนาดแผ่นเหล็กไม่เหมาะสม	Controllable	123	3	375
Man	17	ขาดการอบรมการปฏิบัติงาน	Controllable	8	31	86
	18	ขาดประสบการณ์ในการทำงาน	Controllable	4	33	78
	19	ขาดการศึกษา WI ก่อนการปรับตั้ง	Controllable	15	35	115
	20	พนักงานไม่ตรวจ Spec ของแผ่น เหล็กก่อนเข้าเครื่องจักร	Controllable	19	28	113
	21	พนักงานประกอบแม่พิมพ์ไม่แน่น	Controllable	129	81	549
	22	พนักงานทำงานผิดพลาด	Controllable	13	18	75
	23	พนักงานกำหนด Stopper ผิดพลาด	Controllable	2	35	76
	24	พนักงานกำหนด Stroke Block ผิดที่	Controllable	1	13	29

ตารางที่ 4.12 การประเมินด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล(ต่อ)

หมวด	No.	สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา (Causes)	ประเภทของสาเหตุ	ครีบน (3)	ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว (2)	คะแนนรวม
Machine	25	ขาดการทำ PM เครื่องจักร	Controllable	97	69	429
	26	ขนาดคูชชั่นสโตรกไม่เหมาะสม	Controllable	77	75	381
	27	ความดันลมคูชชั่นไม่เหมาะสม	Controllable	123	87	543
	28	Punch Holder ไม่จับแผ่นเหล็ก	Controllable	129	95	577
	29	สภาพผิวแม่พิมพ์ไม่เรียบ	Controllable	123	23	415
	30	วิธีการขนย้ายไม่ถูกต้อง	Controllable	8	15	54
	31	Punch และ Die มีรัศมีไม่เหมาะสม	Controllable	8	6	36
	32	Punch และ Die ลีกรหรือ	Controllable	19	6	69
	33	ขนาด Upper Plate + Lower Plate ไม่เหมาะสม	Controllable	111	60	453
	34	เสา Guide Post + Guide Bush ไม่เรียบ	Uncontrollable	4	87	186



ภาพที่ 4.17 แผนภูมิเรียงลำดับคะแนนจากการวิเคราะห์ตารางความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล

จากกราฟพารेटอดังภาพที่ 4.17 สามารถสรุปปัจจัยหลักโดยจะเลือกเฉพาะปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ (Controllable) ซึ่งจากหลักการของพารेटอจะพิจารณาเฉพาะ 80 % แรกและพบว่า มี 12 ปัจจัย ที่คาดว่าจะมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องทั้ง 2 ประเภท สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 สรุปปัจจัยนำเข้าที่มีคะแนนสูงสุด 80 % แรก

ลำดับที่	ปัจจัย	ประเภทของสาเหตุ	คะแนน
1	ขาดการลองแบบแม่พิมพ์ (Try Out) ก่อนใช้งาน	Controllable	597
2	Punch Holder ไม่จับแผ่นเหล็ก	Controllable	577
3	พนักงานประกอบแม่พิมพ์ไม่แน่น	Controllable	549
4	ความดันลมลูกชิ้นไม่เหมาะสม	Controllable	543
5	ความหนาของ Upper Plate กับ Lower Plate ไม่เหมาะสม	Controllable	453
6	ขาดการทำ PM เครื่องจักร	Controllable	429
7	สภาพผิวแม่พิมพ์ไม่เรียบ	Controllable	415
8	ระยะ Clearance มากเกินไป	Controllable	409
9	ขนาดลูกชิ้นสโตรกไม่เหมาะสม	Controllable	381
10	ขนาดแผ่นเหล็กออกแบบไม่เหมาะสม	Controllable	375
11	ความเร็วในการขึ้นรูปไม่เหมาะสม	Controllable	297
12	แรงกำหนดที่ใช้ไม่เหมาะสม	Controllable	297

ซึ่งทั้ง 12 ปัจจัยนี้เป็นปัจจัยที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์กับผลตอบ (Response) คือ จำนวนข้อบกพร่องครีบยื่น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ขาดการลองแบบแม่พิมพ์ (Try Out) ก่อนการใช้งาน

การ Try Out แม่พิมพ์ก่อนการขึ้นรูปจะทำให้ลดโอกาสในการเกิดข้อบกพร่องได้ ซึ่งในกระบวนการผลิตแบบเดิม จะไม่มีการทดลองแม่พิมพ์ก่อนการขึ้นรูป ทำให้เกิดข้อบกพร่องแบบเสียทั้งหมด ($p = 1$) เป็นจำนวนมาก แต่การทดลองแม่พิมพ์ก่อนการขึ้นรูป จะทำให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานก่อนนำไปผลิตจริง ซึ่งเมื่อทดลองแล้วพบว่า ชิ้นงานที่ผลิตเกิดข้อบกพร่องพนักงานติดตั้งแม่พิมพ์จะต้องทำการแก้ไขเครื่องปั๊ม แม่พิมพ์ รวมถึงตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ว่าถูกต้องกับที่กำหนดไว้ในคู่มือการปฏิบัติงาน (WI) หรือไม่ทันที ก่อนจะนำไปผลิตจริงต่อไป

- **Punch Holder ไม่จับแน่นเหล็ก และพนักงานประกอบแม่พิมพ์ไม่แน่น**

ผู้วิจัยได้นำปัจจัยทั้งสองนี้มารวมกัน เนื่องจากเป็นปัจจัยที่เป็นเหตุผลซึ่งกันและกัน โดยโครงสร้างแม่พิมพ์ประกอบด้วยชิ้นส่วนเครื่องจักรเป็นจำนวนมาก ซึ่ง Punch Holder เป็นชิ้นส่วนสำคัญชิ้นหนึ่งของแม่พิมพ์ ในการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของแม่พิมพ์ พนักงานจะต้องขันน็อต สกรู สลักเกลียว และสลักกำหนดตำแหน่ง เพื่อยึดชิ้นส่วนต่าง ๆ ให้อยู่แน่น ซึ่งในแต่ละวัน พนักงานจะต้องประกอบแม่พิมพ์เพื่อผลิตชิ้นงานหลายประเภท ซึ่งอาจทำให้เกิดความเมื่อยล้าในการทำงาน จนทำให้ประสิทธิภาพในการประกอบ และการตรวจสอบสภาพของแม่พิมพ์ลดลง ซึ่งการประกอบแม่พิมพ์ไม่แน่น อาจทำให้ Punch และ Die เกิดการเอียงศูนย์กลาง (Misalignment) ทำให้เกิดข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวได้

- **ความดันลมคู่ชั้นไม่เหมาะสมและความเร็วในการขึ้นรูปไม่เหมาะสม**

ในการขึ้นรูปด้วยเครื่องปั๊มโลหะแบบจังหวะเดียว (Single Action) perform ที่ใช้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของการเคลื่อนที่ของแรมที่จะทำให้ชุดแม่พิมพ์เข้ามาประกบกัน ซึ่ง Punch จะเชื่อมกับแรม (Ram) และ Blank Holder ในขณะที่ Die กับฐานรองรับ (Bed) จะเชื่อมกับแกนคู่ชั้นซึ่งจะต้องใช้ความดันลมคู่ชั้นในการดันฐานรองรับผ่านแกนคู่ชั้นขึ้นมาให้สอดคล้องกับการเคลื่อนที่ลงมาของ Punch ซึ่งสัมพันธ์กับความเร็วของแรมหรือความเร็วในการขึ้นรูป ซึ่งจะต้องหาค่าความดันลมคู่ชั้นที่เหมาะสม และความเร็วในการขึ้นรูปที่เหมาะสม เพื่อลดปัญหาการเกิดข้อบกพร่องครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว

- **ความหนาของ Upper Plate กับ Lower Plate ไม่เหมาะสม**

ความหนาของ Upper Plate และ Lower Plate จะมีความสัมพันธ์กับแรงที่ใช้ในการปั๊มขึ้นรูป ซึ่งถ้าใช้ความหนาของ Upper Plate กับ Lower Plate น้อยเกินไปจะทำให้เกิดการแอ่นตัวของ Plate ระหว่างปั๊ม อาจทำให้ Guild Post และ Guide Bush เสียหายได้ และทำให้เกิดข้อบกพร่องครีบก้นใน

ชิ้นงาน แต่ถ้าใช้ความหนาของ Plate มากเกินไปจะทำให้ใช้ต้นทุนสูง ดังนั้นจึงควรเลือกใช้ความหนาของ Plate ให้เหมาะสมกับชิ้นงาน

- **ระยะ Clearance มีขนาดใหญ่ขึ้น**

ระยะ Clearance ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่อง เนื่องจากแม่พิมพ์เมื่อใช้เป็นเวลานานย่อมเกิดการสึกหรอเนื่องจากการกระทบระหว่าง Punch Die และแผ่นเหล็กการออกแบบระยะ Clearance ที่ใหญ่เกินไปมีผลทำให้ในระหว่างการขึ้นรูป เมื่อ Punch เริ่มกดแผ่นเหล็ก เนื้อชิ้นงานบริเวณปีก (Flange) จะมีความเค้นอัดมากกระทำ ส่วนแผ่นเหล็กบริเวณด้านข้างของ Punch และ Die จะมีความเค้นดึงเกิดขึ้น แผ่นเหล็กจะขยายออกเนื่องจากความเค้นแรงอัดและความเค้นแรงดึงดังกล่าว เนื้อโลหะบริเวณนี้จะมากเกินไปที่จะทำให้เกิดรอยขุ่นบริเวณขอบของชิ้นงาน (ส่วนของเส้นรอบวง) ในขณะที่แผ่นเหล็กถูกลากลงไปใน Die (William and Robert, 2007)

- **ขาดการทำ PM ของ Punch, Die และสภาพผิวแม่พิมพ์**

สภาพผิวแม่พิมพ์จะมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่อง เนื่องจากการใช้แม่พิมพ์ที่มีสภาพผิวของ Punch และ Die ไม่สมบูรณ์ โดยอาจเกิดจากวิธีการขนย้าย หรือการกระทบระหว่างแม่พิมพ์ในการผลิตก่อนหน้า ทำให้แม่พิมพ์เกิดการสึกหรอ ซึ่งในการผลิตครั้งต่อไป ชิ้นงานที่ได้ อาจเกิดข้อบกพร่องครีบก้น และขนาดไม่ตรงกับพิมพ์เขียวได้ แต่การทำ PM แม่พิมพ์อย่างสม่ำเสมอจะทำให้สามารถตรวจสอบปัญหาที่เกิดจากแม่พิมพ์ก่อนทำการผลิตครั้งต่อไป ทำให้พนักงานต้องนำแม่พิมพ์ไปแก้ไขก่อนผลิตชิ้นงาน ซึ่งจะช่วยให้ลดการเกิดข้อบกพร่องต่าง ๆ ได้

- **ขนาดของแผ่นเหล็กไม่เหมาะสม**

ขนาดของแผ่นเหล็กไม่เหมาะสมจะมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่อง เนื่องจากขนาดของแผ่นเปล่า (Blank Size) ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะมีผลต่ออัตราส่วนการลากขึ้นรูป (Drawing Ratio; β) เพราะค่าอัตราส่วนในการลากขึ้นรูปสูง จะหมายถึงการขึ้นรูปที่รุนแรง ทำให้มีโอกาสที่แผ่นเหล็กเกิดการฉีก

ขาดหรือย่นได้ ซึ่งการหาขนาดของแผ่นโลหะเปล่า (Blank Size) ควรจะมีขนาดเล็กพอดีที่จะขึ้นรูปเป็นรูปร่างที่ต้องการ ซึ่งจะมีประโยชน์ในการลดต้นทุนวัตถุดิบ และช่วยลดข้อบกพร่องที่อาจจะเกิดขึ้นกับชิ้นงานได้

- **ขนาดคูชชั้นสโตรกไม่เหมาะสม**

ระยะสโตรกจะมีความสัมพันธ์กับแรงกำหนดของเครื่องปั๊ม ซึ่งชิ้นงานต่างกันจะใช้ระยะสโตรกไม่เท่ากันโดย วารุณี เปรมานนท์ และพงศพันธ์ แก้วดาทิพย์ (2551) เสนอว่า ชิ้นงานที่มีการลากขึ้นรูป ควรใช้ระยะสโตรกประมาณ 2.5 เท่าของความลึกในการขึ้นรูป ซึ่งจะต้องใช้ระยะสโตรกที่สั้นที่สุดที่สามารถทำงานได้ ในการขึ้นรูปโลหะแผ่น ขนาดคูชชั้นสโตรกมีความสัมพันธ์กับความดันคูชชั้นและแกนคูชชั้น ซึ่งจะต้องใช้ระยะสโตรกที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถรองรับ Punch ที่กดทับลงมาได้พอดี ซึ่งจะทำให้สามารถลดการเกิดข้อบกพร่องครีบย่น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวได้

- **แรงกำหนดที่ใช้ไม่เหมาะสม**

แรงกำหนดสำหรับเครื่องปั๊มแบบกลไก (ในกรณีโรงงานที่ศึกษา) หมายถึง แรงที่เครื่องปั๊มสามารถรองรับน้ำหนักได้ตามที่กำหนด โดยไม่เกิดอันตรายต่อส่วนประกอบใด ๆ ของเครื่องปั๊ม (K. Lange, 1985) ซึ่งแรงกำหนดที่ใช้ (น้ำหนักของเครื่องปั๊มที่ใช้) จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะของชิ้นงานที่ขึ้นรูป ซึ่งได้จากการทดลอง (Trial and Error) การใช้แรงกำหนดน้อยเกินไปจะทำให้โลหะไม่สามารถที่จะไหลตัวไปตาม Die ทำให้เกิดการย่นของชิ้นงาน ในขณะที่เดียวกันถ้าแรงกำหนดมีขนาดมากเกินไป โลหะจะไม่สามารถไหลตัวได้ ทำให้ชิ้นงานถูกดันจนกระทั่งฉีกขาด

4.5 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis; FMEA)

จากการวิเคราะห์ด้วยตารางความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยแผนภาพพาเรโต เพื่อกรองปัจจัยนำเข้าที่น่าจะมีผล (KPIV) ทำให้ได้ 12 ปัจจัยแรกที่ครอบคลุมกับผลตอบ (Response) ต่อการเกิดข้อบกพร่องทั้ง 2 ประเภทโดยจะนำปัจจัยเหล่านี้ไปวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบ(Failure Mode and Effect Analysis; FMEA) เพื่อให้เหลือปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ ก่อนจะนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

การวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis; FMEA) จะคำนึงถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง 3 ประการ คือ ความรุนแรงของลักษณะข้อบกพร่อง (Severity; S) โอกาสในการเกิดขึ้น (Occurrence; O) และการตรวจจับ (Detection; D) ซึ่งอาจจะใช้ความผันแปรเชิงสถิติหรือใช้ประสบการณ์และความรู้สึกจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในสายการผลิต โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ระดมสมองจากทีมงานทั้ง 15 คน ซึ่งเป็นทีมเดียวกับที่ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยตารางความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (C&E Matrix) โดยนำปัจจัยทั้ง 12 มาวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis; FMEA)
2. ระดมความคิดในการแจกแจง การเกิดความเสียหายหรือข้อบกพร่องของปัจจัยนำเข้าที่มีโอกาสเกิด (Potential Failure Mode)ทั้ง 12 ปัจจัย ที่อาจมีผลกระทบต่อข้อบกพร่องครีบยนต์และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว และผลกระทบที่เกิดความเสียหายนั้น (Potential Failure Effect)
3. ให้คะแนนความร้ายแรง (Severity Score; S)จะเป็นการประเมินความร้ายแรงที่เกิดขึ้นต่อกระบวนการผลิตถัดไป ซึ่งจะมีคะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 10 โดยคะแนนที่มากที่สุดจะหมายถึงลักษณะผลกระทบที่มีความรุนแรงมาก ตามลำดับคะแนนเกณฑ์การสร้างช่วงคะแนนความร้ายแรง ได้กำหนดโดยประยุกต์ให้เข้ากับผลิตภัณฑ์และลักษณะปัญหาที่ทำการศึกษา (AIAG ในปี 2001) ซึ่งได้มีการปรับให้เข้ากับงานวิจัยนี้

4. วิเคราะห์สาเหตุที่เป็นไปได้ของแต่ละความเสียหาย (Potential Causes) และให้คะแนนความถี่ในการเกิด (Occurrence Score; O) ซึ่งเป็นการคาดคะเนโอกาสในการเกิดจากความเป็นไปได้ ซึ่งจะมีคะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 10 โดยคะแนนที่มากที่สุดจะหมายถึงมีโอกาสในการเกิดมากที่สุด

5. วิเคราะห์การควบคุมการออกแบบในปัจจุบัน โดยจะพิจารณาถึงการป้องกันและตรวจจับการเกิดขึ้นของข้อบกพร่อง และให้คะแนนการตรวจจับ (Detection; D) ซึ่งจะมีคะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 10 โดยคะแนนที่มากที่สุดจะหมายถึงมีความสามารถในการตรวจจับมากที่สุด

6. ประเมินผลค่าความเสี่ยง (Risk Priority Number) โดยจะพิจารณาจากองค์ประกอบทั้ง 3 ประการ โดยการใช้สูตร

$$RPN = S \times O \times D$$

เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของผลกระทบ (Severity; S)

ผลกระทบต่อกระบวนการผลิต	ความรุนแรงของผลกระทบ	คะแนน
กระบวนการผลิตถัดไปไม่สามารถนำไปผลิตต่อได้ (Scrap)	เกิดข้อบกพร่องที่สามารถพบเห็นได้ทันที (100 %) โดยไม่ต้องใช้เครื่องมือวัด และผลิตภัณฑ์ต้องทิ้งทั้งหมด (100%)	10
	เกิดข้อบกพร่องที่สามารถพบเห็นได้ทันที (100 %) โดยใช้เครื่องมือวัด Gauge Block และผลิตภัณฑ์ต้องทิ้งทั้งหมด (100%)	9
	เกิดข้อบกพร่องที่สามารถพบเห็นได้โดยใช้เครื่องมือวัด Gauge Block และผลิตภัณฑ์ต้องทิ้งตั้งแต่ 80 % ขึ้นไป	8
	เกิดข้อบกพร่องที่สามารถพบเห็นได้โดยใช้เครื่องมือวัด Gauge Block และผลิตภัณฑ์ต้องทิ้งมากกว่า 60 % แต่ไม่เกิน 80%	7
	เกิดข้อบกพร่องที่สามารถพบเห็นได้โดยใช้เครื่องมือวัด Gauge Block และผลิตภัณฑ์ต้องทิ้งน้อยกว่าหรือเท่ากับ 60 %	6
กระบวนการผลิตถัดไปสามารถนำไปใช้ผลิตต่อได้หากมีการแก้ไข (Rework)	เกิดข้อบกพร่องที่สามารถพบเห็นได้โดยใช้เครื่องมือวัด Steel Tape และผลิตภัณฑ์ต้องนำไปแก้ไข 100 %	5
	เกิดข้อบกพร่องที่สามารถพบเห็นได้โดยใช้เครื่องมือวัด Steel Tape และผลิตภัณฑ์ต้องแก้ไขตั้งแต่ 80 % ขึ้นไป	4
	เกิดข้อบกพร่องที่สามารถพบเห็นได้โดยใช้เครื่องมือวัด Steel Tape และผลิตภัณฑ์ต้องแก้ไขมากกว่า 60 % แต่ไม่เกิน 80%	3
	เกิดข้อบกพร่องที่สามารถพบเห็นได้โดยใช้เครื่องมือวัด Steel Tape และผลิตภัณฑ์ต้องแก้ไขน้อยกว่าหรือเท่ากับ 60 %	2
ไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตถัดไป	ไม่มีผลกระทบที่สังเกตได้	1

ตารางที่ 4.15 เกณฑ์การประเมินความถี่ (Occurrence; O)

ความถี่ในการเกิดข้อบกพร่อง	อัตราความถี่ ต่อจำนวน lot ที่ผลิตต่อปี	คะแนน
สูงมาก : เกิดข้อบกพร่องทุกครั้ง ที่ผลิต	เกิดของเสียทุก lot	10
	เกิด lot เสีย 90-99 %	9
สูง : เกิดข้อบกพร่องเป็นประจำ	เกิด lot เสีย 80-89 %	8
	เกิด lot เสีย 70-79 %	7
	เกิด lot เสีย 60-69 %	6
ปานกลาง : เกิดข้อบกพร่องเป็น ครั้งคราว	เกิด lot เสีย 50-59 %	5
	เกิด lot เสีย 40-49 %	4
ต่ำ : เกิดข้อบกพร่องค่อนข้าง น้อย	เกิด lot เสีย 30-39 %	3
	เกิด lot เสีย 20-29 %	2
	เกิด lot เสียน้อยกว่า 19 %	1

ตารางที่ 4.16 เกณฑ์การประเมินการตรวจจับ (Detection; D)

การตรวจจับ	ความเป็นไปได้ในการตรวจจับโดยกระบวนการตรวจสอบในปัจจุบัน	ประเภทการตรวจสอบที่ใช้ได้			คะแนน
		สายตา	Gauge Block	Steel Tape	
มีความไม่แน่นอนสูงมาก	ไม่มีระบบการตรวจสอบ				10
	ระบบการตรวจสอบไม่สามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้เลย				9
	มีโอกาสน้อยมากที่ระบบการตรวจสอบจะตรวจจับข้อบกพร่องได้			/	8
มีความไม่แน่นอนปานกลาง	มีโอกาสน้อยที่ระบบการตรวจสอบจะตรวจจับข้อบกพร่องได้			/	7
	มีโอกาสปานกลางที่ระบบการตรวจสอบอาจจะตรวจจับข้อบกพร่องได้		/	/	6
	มีโอกาสปานกลางที่ระบบการตรวจสอบจะตรวจจับข้อบกพร่องได้		/	/	5
มีโอกาสตรวจจับได้สูง	มีโอกาสด่อนข้างสูงที่ระบบการตรวจสอบจะตรวจจับข้อบกพร่องได้	/	/	/	4
	มีโอกาสสูงที่ระบบการตรวจสอบจะตรวจจับข้อบกพร่องได้	/	/	/	3
	มีโอกาสสูงมากที่ระบบการตรวจสอบจะตรวจจับข้อบกพร่องได้	/	/	/	2
สามารถตรวจจับได้อย่างแน่นอน	ระบบการตรวจสอบจะตรวจจับข้อบกพร่องได้อย่างแน่นอน	/	/	/	1

ตารางที่ 4.17 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis)

Process	Potential Key Process Input Variables	Potential Failure Mode	Potential Effect of Failure	SEV			Potential Cause Mechanism of Failure	Occurrence			Current Process Control Detection	Detect			RPN
				W	S	T		W	S	T		W	S	T	
การติดตั้งเครื่องจักร	พนักงานประกอบแม่พิมพ์ไม่แน่น	แม่พิมพ์ไม่เชื่อมศูนย์กลาง	เกิดข้อบกพร่องครีบก้นและขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว	4	4	8	ใส่สลักเกลียวและสลักกำหนดตำแหน่งไม่แน่น	3	3	6	ตรวจสอบการทำงานของพนักงานโดยหัวหน้างาน	3	2	5	240
	Punch Holder ไม่จับแผ่นเหล็ก	ยึดสลักเกลียวและสลักกำหนดตำแหน่งไม่แน่น	เกิดข้อบกพร่องครีบก้นและขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว	7	5	12	ใช้สลักเกลียวและสลักกำหนดตำแหน่งไม่ถูกต้อง	3	4	7	ตรวจสอบการทำงานโดยหัวหน้างาน	5	6	11	924
	ขาดการทำ PM เครื่องจักร	เครื่องจักรขัดข้องระหว่างขึ้นรูป	เกิดข้อบกพร่องครีบก้นและขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว	5	3	8	เครื่องจักรไม่พร้อมใช้งาน	1	1	2	ตรวจสอบและซ่อมบำรุงโดยแผนกช่าง	1	1	2	32
	ความดันลมลูขชั้นไม่เหมาะสม	ความดันลมลูขชั้นมีค่าสูงหรือต่ำเกินไป	เกิดข้อบกพร่องครีบก้นและขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว	7	5	12	ออกแบบไม่เหมาะสม	5	5	10	มีตารางแสดงช่วงความดันที่เหมาะสมเท่านั้น	3	4	7	840
	ความเร็วในการขึ้นรูปไม่เหมาะสม	ความเร็วในการขึ้นรูปมีค่าน้อยหรือมากเกินไป	เกิดข้อบกพร่องครีบก้นที่บริเวณขอบชิ้นงาน	7	5	12	ออกแบบไม่เหมาะสม	5	5	10	ตรวจสอบและซ่อมบำรุงโดยแผนกช่าง	6	5	11	1320

ตารางที่ 4.17 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) (ต่อ)

Process	Potential Key Process Input Variables	Potential Failure Mode	Potential Effect of Failure	SEV			Potential Cause Mechanism of Failure	Occurrence			Current Process Control Detection	Detect			RPN
				W	S	T		W	S	T		W	S	T	
การติดตั้งเครื่องจักร	ขนาดคูล์ซันสโตรกไม่เหมาะสม	ขนาดคูล์ซันสโตรกมีขนาดเล็กหรือใหญ่เกินไป	เกิดข้อบกพร่องครีบกยับและขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว	4	3	7	ออกแบบไม่เหมาะสม	4	3	7	มีตารางแสดงช่วงขนาดคูล์ซันที่เหมาะสมเท่านั้น	5	4	9	441
การปรับแต่งแม่พิมพ์	แรงกำหนดไม่เหมาะสม	แรงมีค่าน้อยหรือมากเกินไป	เกิดข้อบกพร่องครีบกยับบริเวณขอบชิ้นงาน	7	4	11	ออกแบบไม่เหมาะสม และยึดสลักเกลียวและสลักกำหนดตำแหน่งไม่แน่น	4	4	8	ตรวจสอบทุก 2 ปี โดยบริษัทผู้ผลิตแม่พิมพ์	4	4	8	704
	ความหนาของ Upper Plate กับ Lower Plate ไม่เหมาะสม	เกิดการแอ่นตัวของเพลทขณะปั๊ม	ชิ้นงานมีรูปร่างไม่ตรงตามพิมพ์เขียว	1	4	5	ความหนามีขนาดเล็กหรือใหญ่เกินไป	1	4	5	ตรวจสอบทุก 2 ปี โดยบริษัทผู้ผลิตแม่พิมพ์	5	4	9	225
	ระยะ Clearance มากเกินไป	Punch เล็กลง Die ใหญ่ขึ้น	เกิดข้อบกพร่องครีบกยับ บริเวณขอบและขนาดไม่ตรงกับพิมพ์เขียว	10	4	14	ออกแบบ Punch กับ Die ไม่เหมาะสม	6	4	10	ตรวจสอบการทำงานโดยหัวหน้างาน	7	7	14	1960
	สภาพผิวแม่พิมพ์ไม่เรียบ	แม่พิมพ์เสีรูปร่าง	ชิ้นงานมีรูปร่างไม่ตรงกับพิมพ์เขียว	1	7	8	ขาดการทำ PM	1	6	7	ตรวจสอบและซ่อมบำรุงโดยแผนกช่าง	4	3	7	392

ตารางที่ 4.17 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) (ต่อ)

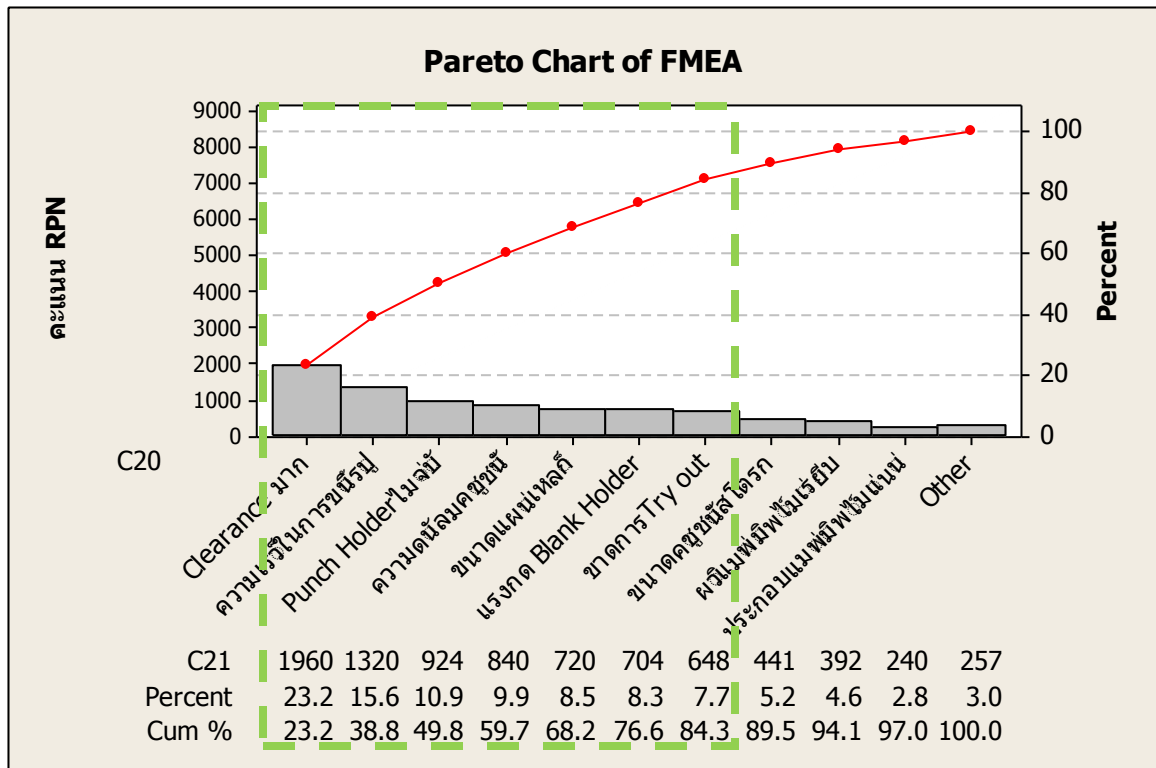
Process	Potential Key Process Input Variables	Potential Failure Mode	Potential Effect of Failure	SEV			Potential Cause Mechanism of Failure	Occurrence			Current Process Control Detection	Detect			RPN
				W	S	T		W	S	T		W	S	T	
ตรวจสอบวัตถุดิบ	ขนาดแผ่นเหล็ก ออกแบบมาไม่เหมาะสม	ขนาดแผ่นเหล็กมีขนาดเล็กหรือใหญ่เกินไป	เกิดข้อบกพร่องคิริบ ย่น บริเวณขอบของชิ้นงาน	8	2	10	ออกแบบไม่เหมาะสม	5	1	6	ไม่มีระบบการตรวจสอบ	10	2	12	720
การทดลองแม่พิมพ์	ขาดการลองแบบแม่พิมพ์ (Try out) ก่อนการใช้งาน	ชิ้นงานมีขนาดไม่ตรงกับพิมพ์เขียวทั้ง lot	ชิ้นงานมีรูปร่างไม่ตรงกับพิมพ์เขียว	2	7	9	ไม่มีการกำหนดไว้ใน Work Instruction	1	5	6	ไม่มีระบบการตรวจสอบ	2	10	12	648

หมายเหตุ W = คะแนนของข้อบกพร่องคิริบย่น

S = คะแนนของข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว

T = คะแนนรวมจาก 2 ข้อบกพร่อง

หลังจากทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบแล้ว จะทำการให้คะแนน RPN (Risk Priority Number) และนำมาวิเคราะห์ต่อด้วยแผนภาพพาร์โตในอัตราส่วน 80:20 ทำให้ได้ปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 7 ปัจจัย ดังภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.18 แผนภูมิเรียงลำดับคะแนนจากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ

ปัจจัยนำเข้าที่ต้องนำไปวิเคราะห์และทดสอบสมมติฐานในระยะต่อไปคือ

1. ระยะ Clearance มากเกินไป
2. ความเร็วในการขึ้นรูปไม่เหมาะสม
3. Punch Holder ไม่จับแผ่นเหล็ก
4. ความดันลมคูลงไม่เหมาะสม
5. ขนาดแผ่นเหล็กออกแบบมาไม่เหมาะสม
6. แรงกำหนดที่ใช้ไม่เหมาะสม

7. ขาดการลองแบบแม่พิมพ์ (Try out) ก่อนการใช้งาน

4.6 สรุประยะการวัดเพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในระยะการวัดเพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา จะทำการวิเคราะห์ความแม่นยำและความถูกต้องของระบบการวัด (MSA) ซึ่งข้อมูลของโรงงานที่ศึกษาเป็นข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Data) ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์พนักงานตรวจสอบ 3 คน ซ้ำ 2 ครั้ง ในข้อบกพร่องประเภทครีบก ย่น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว พบว่า พนักงานทั้ง 3 คน ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบ (เกณฑ์การยอมรับของโรงงานที่ 80%)

ทำการศึกษาความสามารถของกระบวนการ และทำการวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้ตัวอย่างจากจำนวนชิ้นงานที่ผลิตทั้งหมดในปี 2554 พบว่าข้อบกพร่องประเภทครีบก ย่นและขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว มีสัดส่วนของเสีย 71.80 % และ 77.11 % ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 2 ข้อบกพร่องส่วนใหญ่จะเกิดของเสียแบบทั้ง lot จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อบกพร่องประเภทขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว ซึ่งจะมีจุดตรวจสอบทั้งหมด 8 จุด โดยใช้ข้อมูลเชิงคุณภาพ 4 จุด และข้อมูลที่มีการตัดสินใจด้วยข้อกำหนดเฉพาะ (Specification Limit) 4 จุด นำมาวิเคราะห์ Process Capability Analysis พบว่า ข้อบกพร่องครีบก ย่น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว มีสัดส่วนของเสีย 71.80 % และ 77.11 % ตามลำดับ

ขั้นตอนต่อมาจะทำการระดมสมองจากสมาชิกทั้ง 15 คนในทีม ในขั้นตอนแรกจะใช้แผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram) เพื่อหาสาเหตุที่น่าจะมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่อง จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วยแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix; C&E Matrix) โดยการให้คะแนนและความสำคัญ ซึ่งได้ปัจจัยนำเข้าที่น่าจะมีผล (KPIV) ทั้งหมด 12 ปัจจัย และได้ใช้หลักการพาเรโตในการเลือกปัจจัย จากนั้นนำปัจจัยนำเข้าที่ได้ไปวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis; FMEA) เพื่อหาค่า RPN (Risk Priority Number) และนำมาวิเคราะห์ด้วยแผนภาพพาเรโต และเลือกปัจจัยที่มีค่า RPN ประมาณ 80 % ได้ทั้งหมด 7 ปัจจัย คือ

1. ระยะ Clearance มากเกินไป
2. ความเร็วในการขึ้นรูปไม่เหมาะสม

3. Punch Holder ไม่จับแผ่นเหล็ก
4. ความดันลมคูชชั่นไม่เหมาะสม
5. ขนาดแผ่นเหล็กออกแบบมาไม่เหมาะสม
6. แรงกำหนดที่ใช้ไม่เหมาะสม
7. ขาดการลองแบบแม่พิมพ์ (Try out) ก่อนการใช้งาน

ซึ่งจะต้องนำไปพิสูจน์ความมีนัยสำคัญโดยการทดสอบทางสถิติในระยะต่อไป

บทที่ 5

ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

ในขณะนี้จะเป็นขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาในกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์ตั้งแต่การเลือกรูปแบบการทดลอง การหาจำนวนตัวอย่างในแต่ละรัน และการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยจะนำปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis หรือ FMEA) จากระยะก่อนหน้ามาทำการทดลอง เพื่อหาระดับของปัจจัยที่ทำให้ตัวแปรตอบสนอง คือ สัดส่วนของเสียมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

5.1 การกำหนดปัจจัยนำเข้าที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

จากระยะการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหาในบทที่แล้ว ทำให้ได้ปัจจัยนำเข้าที่จะนำมาออกแบบการทดลองทั้งหมด 7 ปัจจัย ดังนี้

ตารางที่ 5.1 ปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

สัญลักษณ์	ปัจจัยที่ได้	ชนิดของปัจจัย
A	การทดลองแม่พิมพ์ (Try out) ก่อนการใช้งาน	ปัจจัยคุณลักษณะ
B	ขนาดแผ่นเหล็ก	ปัจจัยแปรผัน
C	แรงกำหนด	ปัจจัยแปรผัน
D	ความเร็วในการขึ้นรูป	ปัจจัยแปรผัน
E	ระยะ Clearance	ปัจจัยแปรผัน
F	Punch Holder ไม่จับแผ่นเหล็ก (การประกอบแม่พิมพ์ไม่แน่น)	ปัจจัยคุณลักษณะ
G	ความดันลมคู่ชั้น	ปัจจัยแปรผัน

จากการวิเคราะห์ปัจจัยในเบื้องต้น พบว่า ปัจจัย E คือ ระยะ Clearance มากเกินไป ไม่สามารถนำมาออกแบบการทดลองได้ จากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญภายในโรงงาน พบว่า ต้องทำการออกแบบแม่พิมพ์ใหม่ แล้วทำการสร้างกระสวนโฟม (Polystyrene Foam) ซึ่งใช้เวลาอย่างน้อย 6 เดือน หลังจากนั้นจึงทำการหล่อโลหะ แล้วนำมาผ่านขั้นตอนการประกอบและทดลองขึ้นรูปครั้งแรก จากนั้นนำแม่พิมพ์ไปชุบแข็งเพื่อเพิ่มความทนทาน และทดลองขึ้นรูปครั้งที่สองเพื่อยืนยันว่าแม่พิมพ์ที่หล่อขึ้นให้ชิ้นงานที่มีขนาดตรงตามพิมพ์เขียว ในขั้นตอนนี้ต้องใช้เวลาอย่างน้อย 6 เดือน จากกระบวนการทั้งหมดที่กล่าวมา ทำให้การแก้ไขปัจจัยนี้ใช้เวลานาน (มากกว่า 1 ปี) และเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมาก (มากกว่า 1 ล้านบาท) ซึ่งทำให้เกิดต้นทุนคุณภาพในด้าน ต้นทุนการป้องกัน (Prevention Cost) สูงในการปรับปรุงคุณภาพด้วยการสร้างแม่พิมพ์ ดังนั้นผู้ดำเนินงานวิจัยจึงทำการออกแบบระยะ Clearance ไว้เพื่อเป็นแนวทางให้กับโรงงานที่ศึกษานำไปเป็นทางเลือกในการสร้างแม่พิมพ์ครั้งต่อไป

การออกแบบ Clearance ในอุตสาหกรรมขึ้นรูปโลหะแผ่นมีผู้เสนอวิธีการคำนวณไว้ 3 แบบ ดังนี้

1. วิธีของชาญชัย ทรัพย์ากร และคณะ (2526) เป็นหลักการที่ใช้ความหนาของชิ้นงานเข้ามามีส่วนร่วมในการคำนวณโดยยึดหลักการป้องกันไม่ให้เกิดแรงต้านทานที่ผิวของแม่พิมพ์ ซึ่งมีแนวคิด ว่า ต้องใช้ช่องห่างระหว่าง Punch กับ Die ที่มีค่ามากกว่าความหนาของโลหะ ประมาณ 7-20 % โดยจะขึ้นอยู่กับความหนาและประเภทของการขึ้นรูป จากตารางที่ 5.2 เป็นค่า Clearance สำหรับการขึ้นรูปแบบกล่อง (Rectangular Shell) ที่บริเวณมุม ซึ่งมุมทั้ง 4 ด้านของชิ้นงานจะต้องมีค่า Clearance มาก ส่วนด้านตรงหรือด้านผนังของชิ้นงาน จะใช้ค่า Clearance น้อยกว่า

ตารางที่ 5.2 การกำหนดระยะ Clearance ที่เหมาะสม ด้วยวิธีของชาญชัย ทรัพย์ากร และคณะ

Metal Thickness (mm.)	Clearance on a Side		
	First Draws	Redraws	Sizing Draw 2
Up to 0.015	1.07t-1.09t	1.08t-1.1t	1.04t-1.05t
0.016-0.050	1.08t-1.1t	1.09t-1.12t	1.05t-1.06t
0.051-0.125	1.1t-1.12t	1.12t-1.14t	1.07t-1.09t
0.126 and up	1.12t-1.14t	1.15t-1.12t	1.08t-1.1t

โดยที่ t คือ ความหนาของแผ่นเหล็ก

จากวิธีการออกแบบระยะ Clearance ที่เหมาะสม ด้วยวิธีของชาญชัย ทรัพย์ากร และคณะ ดังตารางที่ 5.2 เมื่อนำมาวิเคราะห์กับข้อมูลดิบจากข้อมูลวัสดุ (Mill Sheet) ของโรงงานที่ศึกษา พบว่าเหล็กแผ่นที่นำมาขึ้นรูป มีความหนาเท่ากับ 0.8 mm และมีการขึ้นรูปครั้งเดียว (Single Draw) โดยไม่มีการลากขึ้นรูปซ้ำ (Redrawing) ทำให้ได้ระยะ clearance ที่เหมาะสมสำหรับชิ้นงานนี้คือ 0.896 – 0.912 มม. ซึ่งสามารถนำไปทำการออกแบบการทดลองหา Clearance ที่เหมาะสมต่อไป

2. วิธีของวารุณี เปรमानนท์ และพงศพันธ์ แก้วดาทิพย์ (2554) ซึ่งเสนอว่า Clearance จะต้องมีย่านกว้างกว่าความหนาเริ่มต้นของแผ่นโลหะเล็กน้อยเนื่องจาก Clearance ที่มากเกินไปจะทำให้รูปทรงบริเวณปากขยายออก ในขณะที่การใช้ Clearance ที่น้อยเกินไปจะทำให้เกิดการรีดเพื่อลดความหนาของแผ่นเหล็ก ซึ่งทำให้ต้องใช้แรงเพิ่มในการขึ้นรูป และอาจเกิดการฉีกขาดของชิ้นงาน โดยได้เสนอ Clearance เหมาะสมซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาของเหล็กและชนิดของวัสดุไว้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 CL &= T + 0.07 \sqrt{10T} && \text{สำหรับแผ่นเหล็ก} \\
 CL &= T + 0.02 \sqrt{10T} && \text{สำหรับแผ่นอะลูมิเนียม} \\
 CL &= T + 0.04 \sqrt{10T} && \text{สำหรับแผ่นโลหะนอกกลุ่มเหล็ก} \\
 CL &= T + 0.20 \sqrt{10T} && \text{สำหรับโลหะผสมอะลูมิเนียมสูง}
 \end{aligned}$$

โดยที่ T คือ ความหนาของแผ่นเหล็ก มีหน่วยเป็น มม.

การคำนวณหา Clearance ที่ได้เสนอไว้นี้ ใช้สำหรับงานถ้วยทรงกระบอกที่มีลักษณะสมมาตร สำหรับงานรูปทรงอื่น ๆ เช่น ถ้วยสี่เหลี่ยม บริเวณมุมรัศมีควรมี Clearance มากกว่าบริเวณที่เป็นแนวตรง โดยรัศมีพื้นที่ต้องมีค่ามากกว่ารัศมีคายนประมาณ 3-5 เท่า

จากวิธีการออกแบบ Clearance ด้วยวิธีนี้ ผู้วิจัยเห็นว่า ควรเป็นระยะ Clearance ที่บริเวณมุมทั้ง 4 ด้านของชิ้นงาน ซึ่งในการออกแบบด้านผนัง หรือด้านตรงของชิ้นงานจะต้องมีค่าน้อยกว่าค่า Clearance บริเวณมุม ซึ่งสามารถหาได้จากวิธีการออกแบบการทดลอง

ระยะ Clearance ที่บริเวณมุม ด้วยวิธีของ วารุณี เปรมานนท์ และพงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์ ซึ่งจะใช้สมการสำหรับแผ่นเหล็กในการคำนวณ เนื่องจากวัสดุของแผ่นงานทำมาจากเหล็ก ทำให้ได้ระยะ Clearance บริเวณมุมของชิ้นงานเท่ากับ 0.998 ซึ่งที่บริเวณผนังหรือด้านตรงระยะ Clearance ควรออกแบบให้มีค่าน้อยกว่าค่าดังกล่าว ซึ่งอาจได้จากการทำการทดลองด้วยวิธีการออกแบบการทดลองต่อไป

3. วิธีของบรรเลง ศรีนิล และประเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์ (2552) เสนอว่า ระยะ Clearance จะมีค่า 2-6 % ของความหนาของชิ้นงาน และใช้สูตรการคำนวณดังนี้

$$Sp = \frac{\text{ขนาดของคายน (Die)} - \text{ขนาดของพื้นที่ (Punch)}}{2} = 2 \text{ มม.}$$

แผ่นโลหะที่นำมาใช้ในการขึ้นรูปในโรงงานที่ศึกษามีความหนาเท่ากับ 0.8 มม. ซึ่งระยะ Clearance จากวิธีการนี้ คือ 0.96 – 1.28 มม.

จากการคำนวณระยะ Clearance ทั้ง 3 วิธี สามารถนำมาวิเคราะห์ความเหมาะสมในการออกแบบของโรงงานปัจจุบัน ซึ่งมีระยะ Clearance ที่ 2 มม. ได้ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ระยะ Clearance ที่คำนวณด้วยวิธีต่าง ๆ และความเหมาะสมในการออกแบบของโรงงาน

วิธีคำนวณ Clearance	Clearance ที่ออกแบบด้วยวิธีการต่าง ๆ (มม.)	ความเหมาะสมในการออกแบบของโรงงานปัจจุบัน
ชาณูชัย ทรัพย์ากร	0.896 – 0.912	ไม่เหมาะสม
วารุณี เปรมานนท์	0.998	ไม่เหมาะสม
บรรเลง ศรีนิล	0.96-1.28	ไม่เหมาะสม

จากตารางที่ พบว่าระยะ Clearance ของโรงงานปัจจุบัน (2 มม.) มีค่าไม่เหมาะสมกับการออกแบบด้วยวิธีของชาณูชัย ทรัพย์ากร, วารุณี เปรมานนท์ และบรรเลง ศรีนิล แต่ถือว่ามีความใกล้เคียงกันค่อนข้างมาก ซึ่งจากการเปรียบเทียบระยะ Clearance ที่ได้นี้ สามารถนำไปเป็นแนวทางในการออกแบบแม่พิมพ์ของโรงงานในครั้งต่อไป

5.2 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองในระะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหานี้ ประกอบด้วย

- 1) การกำหนดจุดประสงค์ของการทดลอง
- 2) การกำหนดตัวแปรตอบสนอง
- 3) การเลือกรูปแบบในการทดลอง
- 4) การกำหนดระดับปัจจัยนำเข้าในการออกแบบการทดลอง
- 5) การออกแบบการทดลอง
- 6) การกำหนดขนาดตัวอย่าง

ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.2.1 การกำหนดจุดประสงค์ในการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการทำงานวิจัยฉบับนี้ คือ การลดต้นทุนของเสีย และลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว ซึ่งจากการวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าไปในระบะการวัดเพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ทำให้ได้ปัจจัยที่จะนำมาออกแบบการทดลองทั้งหมด 7 ปัจจัย แต่สามารถนำมาทดลองได้จริง 6 ปัจจัย (ปัจจัย Clearance ไม่สามารถทำการทดลองได้เนื่องจากใช้เวลาและต้นทุนในการปรับปรุงคุณภาพสูง) โดยแยกปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับแม่พิมพ์ (การประกอบแม่พิมพ์ไม่แน่น และขนาดแผ่นเหล็กไม่เหมาะสม) และการปรับตั้งเครื่องจักร (แรงกำหนด ความเร็วในการขึ้นรูป และความดันลมคุชชั่น) ออกจากกัน เนื่องจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับแม่พิมพ์ใช้เวลาทำการทดลองเป็นเวลานาน

ผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองเป็น 3 ระยะ โดยในระบะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase) จะทำการทดลองปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับแม่พิมพ์ ได้แก่ การประกอบแม่พิมพ์ไม่แน่น และขนาดแผ่นเหล็กไม่เหมาะสม โดยทำการทดลองแบบ 2^2 Full Factorial ซึ่งในแต่ละปัจจัยจะมี 2 ระดับ จากนั้นในระบะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase) จะทำการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการปรับตั้งเครื่องจักรทั้งหมด 3 ปัจจัย คือ แรงกำหนด ความเร็วในการขึ้นรูป และความดันลมคุชชั่น เมื่อได้ค่าปรับตั้งที่เหมาะสมแล้ว ในระบะสุดท้าย จะทำการทดสอบปัจจัย การทดลองแม่พิมพ์ก่อนการใช้งาน (Try out) ด้วยการนำระดับที่เหมาะสมของปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัย มาทำการทดลองโดยเปรียบเทียบการปรับตั้งค่าแบบเดิม และการปรับตั้งค่าแบบใหม่ เพื่อหาระดับที่เหมาะสมในการลดต้นทุนของเสีย และลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องครีบก้นและขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวให้เหลือน้อยที่สุด

5.2.2 ตัวแปรตอบสนอง และการแปลงค่า

งานวิจัยนี้สนใจผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปเหล็กแผ่น โดยใช้การตรวจสอบด้วยสายตา และการตรวจสอบด้วยข้อกำหนดเฉพาะ (Specification Limit) ซึ่งมีการตรวจสอบแบบ ผ่าน/ไม่ผ่าน ซึ่งเป็นข้อมูลลักษณะ (Attribute Data) ดังนั้นตัวแปรตอบสนองที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้คือ สัดส่วนของเสียในข้อบกพร่องครบถ้วน และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวนั่นเอง

เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้ตัวแปรตอบสนองเป็นสัดส่วนของเสีย ซึ่งใช้หลักการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบทวินาม (Binomial Probability Distribution) ดังนั้นการนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง จะต้องทำการแปลงค่าตัวแปรตอบสนองก่อน เนื่องจากการนำค่าที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์ผลทันที จะทำให้ได้ข้อมูลที่ได้ไม่เป็นไปตามสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) ของตัวแปรตอบสนอง และอาจทำให้การวิเคราะห์ผลมีความคลาดเคลื่อนได้ (Bisgaard and Fuller, 1994) โดยการแปลงข้อมูลของ Bisgaard และ Fuller (1994) ได้เสนอไว้มี 2 วิธี คือ การแปลงข้อมูลแบบมาตรฐาน และการแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey ดังแสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 สมการการแปลงข้อมูลด้วยวิธีมาตรฐานและวิธีของ Freeman และ Turkey (1950)

เมื่อตัวแปรตอบสนองเป็นสัดส่วนของเสีย

ประเภทข้อมูล	ประเภทการกระจาย	การแปลงข้อมูลแบบมาตรฐาน	การแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey
สัดส่วนของเสีย (\hat{p})	แบบทวินาม (Binomial)	$\arcsin\sqrt{\hat{p}}$	$\frac{\arcsin\sqrt{\frac{\hat{np}}{n+1}} + \arcsin\sqrt{\frac{\hat{np}+1}{n+1}}}{2}$

5.2.3 การเลือกรูปแบบในการทดลอง

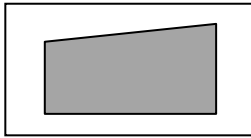
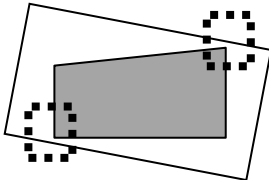
เนื่องจากชิ้นงานและเครื่องจักรมีขนาดใหญ่ การปรับตั้งเครื่องจักรแต่ละครั้งต้องใช้เวลาและกำลังคนจำนวนมาก ผู้ทำการวิจัยจึงได้เลือกรูปแบบในการทดลอง ด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment; DOE) ซึ่งจะทำให้ทราบถึงอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย โดยได้ทำการทดสอบตัวแปรคุณลักษณะ 2 ปัจจัยก่อน คือ ขนาดแผ่นเหล็กออกแบบมาไม่เหมาะสม และ การประกอบแม่พิมพ์ไม่แน่น เพื่อดูสัดส่วนของเสียที่สามารถลดลงได้ และนำไปวางแผนการทดลองในระยะต่อไป

ในการทดลองปัจจัย ขนาดแผ่นเหล็กออกแบบมาไม่เหมาะสม โรงงานที่ศึกษาไม่สามารถใช้ขนาดแผ่นเหล็ก (Blank Size) ตามขนาดที่ผู้วิจัยคำนวณไว้ได้ เนื่องจากโรงงานที่ศึกษาไม่มีเครื่องจักรสำหรับตัดแผ่นเหล็กโดยเฉพาะ ซึ่งทางโรงงานได้สั่งซื้อเหล็กวัตถุดิบที่ตัดขนาดเรียบร้อยแล้วมาจากบริษัทผู้ผลิตแผ่นเหล็ก ในการตัดแผ่นเหล็กด้วยโรงงานเองอาจเกิดปัญหาเนื่องจากต้องใช้พนักงานที่เกี่ยวข้องกับงานซ่อม (Rework) ซึ่งมีความไม่แน่นอนระหว่างพนักงาน ใช้เวลาในการเตรียมงานมาก สูญเสียทรัพยากรด้านวัสดุ (Material) และแรงงาน (Man) มากเกินไป ผู้ทำการวิจัยจึงได้ทำการทดลองโดยเปลี่ยนจากปัจจัยแปรผันเป็นปัจจัยคุณลักษณะ ด้วยการวางแผ่นเหล็กเอียงโดยเหลือพื้นที่ด้านปีก (Flange) ให้น้อยที่สุด เพื่อให้สามารถทดลองเรื่องขนาดแผ่นเหล็ก (Blank Size) ได้

5.2.4 การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าในการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองนี้จะเลือกนำปัจจัยคุณลักษณะ 2 ปัจจัย คือ การวางแผ่นเหล็ก การขันน็อต สกรู สลักต่าง ๆ มาทดสอบก่อนด้วยวิธี 2^k factorials ซึ่งได้มีการกำหนดปัจจัยนำเข้าปัจจัยละ 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) และระดับสูง (+1) ซึ่งระดับของแต่ละปัจจัยแสดงดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ปิจจัยและระดับของปิจจัยที่นำมาทำการทดลอง

สัญลักษณ์ ของปิจจัย	ปิจจัย	ระดับต่ำ (-1)	ระดับสูง (+1)
B	ขนาดแผ่นเหล็ก	วางตรง 	วางเอียง 
C	punch holder ไม่จับแผ่นเหล็ก (การประกอบแม่พิมพ์)	ขันอุปกรณ์ประกอบ แม่พิมพ์แน่นปกติ	ขันอุปกรณ์ประกอบ แม่พิมพ์แน่นมาก

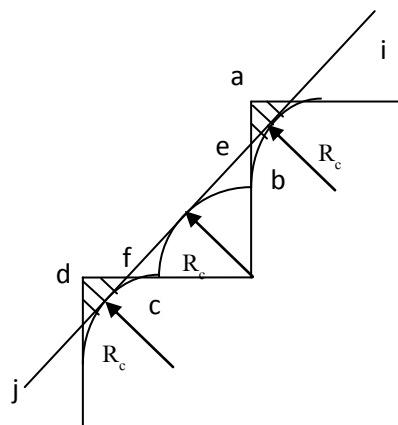
การเลือกระดับการทดลองปิจจัยจากตารางที่ 5.5 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ขนาดแผ่นเหล็กออกแบบมาไม่เหมาะสมจากรายงานชิ้นงานที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน (Non Conforming Record; NCR) พบว่า ปัญหาครีบยื่นที่เกิดขึ้น ส่วนใหญ่จะเกิดที่บริเวณมุมทั้ง 4 ด้านของชิ้นงาน เนื่องจากขณะที่พินช์ (Punch) ดันแผ่นเหล็กให้ไหลลงไปในตาย (Die) พื้นที่เหล็กส่วนเกินซึ่งไม่มีผลต่อชิ้นงานที่มากเกินไปจะไหลลงมาในตายด้วยทำให้ชิ้นบริเวณมุมทั้ง 4 เกิดเป็นครีบยื่นหรือจิบบริเวณผนังด้านข้างระหว่างพินช์และตาย ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะลดพื้นที่ส่วนเกินบริเวณนี้ให้เหลือน้อยที่สุด แต่เนื่องจากในการทดลองไม่สามารถทำการตัดแผ่นเหล็ก (Blank) ให้ได้ตามขนาดที่ผู้วิจัยคำนวณได้ เนื่องจากโรงงานที่ผลิตไม่มีเครื่องจักรสำหรับตัดโดยแผ่นเหล็กที่นำมาใช้ผลิตในโรงงานจะสั่งทำจากผู้ผลิต (Supplier) เป็นจำนวนมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับการวางแผ่นเหล็กให้เหลือพื้นที่ส่วนเกินน้อยที่สุดเท่าที่จะขึ้นรูปได้ เพื่อเป็นตัวแทนของ Clearance บริเวณมุมที่มีขนาดน้อยลง (ซึ่งไม่ได้ทำการขึ้นรูปโดยการวางแผ่นเหล็กเอียงในการผลิตจริง) โดยหลังจากการวางแผ่นเหล็กแล้วจะทำการวัดผลข้อบกพร่อง 2 จุดที่ได้ทำการลด clearance ที่บริเวณมุม โดยขนาดแผ่นเหล็กที่คาดว่าจะให้พื้นที่เหมาะสม ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการหาขนาดแผ่นเหล็ก (Blank Size) ด้วยวิธีของ ชาญชัย ทรัพย์ากร และคณะ (2526) โดยแบ่งการขึ้นรูปเป็น 2 ส่วน คือ ที่บริเวณมุมทั้ง 4 ด้าน โดยใช้หลักการขึ้นรูปลึก และที่

ซึ่งค่าของตัวแปรต่าง ๆ ชาญชัย ทรัพย์ากร และคณะ(2526) ได้แนะนำไว้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 R_c &= \text{รัศมีของส่วนโค้งตรงมุมของชิ้นงานที่สำเร็จแล้ว} \\
 h'd &= \text{ความสูงส่วนตรงของผนังของชิ้นงานที่สำเร็จแล้ว} = 66 \text{ มม.} \\
 r_p &= \text{รัศมีที่ฐาน} = 38 \text{ มม.} \\
 r_c &= \text{รัศมีส่วนโค้งตรงมุม} = 42 \text{ มม.} \\
 W_1 &= l_1 - 2r_p \\
 &= 841 - 2(38) = 765 \text{ มม.} \\
 W_2 &= l_2 - 2r_p \\
 &= 1933 - 2(38) = 1857 \text{ มม.} \\
 R_c &= \sqrt{2r_c h'd + r_c^2 + 1.41 r_c r_p} \\
 &= \sqrt{2(42 \times 66) + 42^2 + 1.41(42 \times 38)} \\
 &= 97.76 \text{ มม.}
 \end{aligned}$$

เนื่องจากบริเวณมุม ทั้ง 4 มีส่วนที่เป็นส่วนเกินเพิ่มออกมา จึงต้องทำการตัดส่วนเกินทิ้ง โดยมีวิธีทำดังนี้



ภาพที่ 5.2 การหาพื้นที่ส่วนเกินที่ต้องตัดทิ้ง

แม่พิมพ์ด้วยการขึ้นรูปก่อนนำแม่พิมพ์มาส่งให้บริษัทที่ศึกษา ซึ่งการประกอบส่วนต่าง ๆ ของแม่พิมพ์ให้เป็นไปตามการออกแบบเริ่มต้น (Initial Design) จะทำให้พunch และตาย (Die) มีความแม่นยำในการขึ้นรูป ลดการเกิดการเอียงศูนย์ (Misalignment) ซึ่งจะมีผลต่อข้อบกพร่องครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว และรักษาอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ให้ยาวนานขึ้นด้วย

5.2.5 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ จะทำการทดลองด้วยตัวแปรคุณลักษณะก่อน โดยจะใช้การทดลองแบบ Full Factorial Design ซึ่งแต่ละปัจจัยมีการทดลอง 2 ระดับ การออกแบบการทดลองนี้ จะทำให้ทราบถึงการมีอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัยด้วย

การออกแบบการทดลองจะใช้โปรแกรม Minitab 16 ในการสร้างเมทริกซ์การออกแบบ (Design Matrix) โดยการลำดับการทดลองแบบสุ่ม (Randomization) เพื่อให้เกิดความมีอิสระต่อกัน (Independent) ซึ่งรายละเอียดการออกแบบการทดลอง และเมทริกซ์การออกแบบแสดงดังตารางที่ 5.6

Full Factorial Design

```
Factors: 2   Base Design:      2, 4
Runs:    4   Replicates:      1
Blocks:  1   Center pts (total): 0
```

All terms are free from aliasing.

ตารางที่ 5.6 เมทริกซ์การออกแบบ

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	B	C
3	1	1	1	-1	+1
1	2	1	1	-1	-1
2	3	1	1	+1	-1
4	4	1	1	+1	+1

โดยที่ สัญลักษณ์ +1 แทนระดับ สูง (High)

สัญลักษณ์ -1 แทนระดับ ต่ำ (Low)

5.2.6 การกำหนดขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

เนื่องจากข้อบกพร่องที่นำมาทำการแก้ไขมี 2 ประเภท คือ ครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว ดังนั้นจึงแยกคิดขนาดตัวอย่างจากข้อบกพร่องทั้ง 2 ประเภท โดยขนาดตัวอย่างที่ใช้ จะเป็นขนาดตัวอย่างที่มากที่สุดจากข้อบกพร่องทั้ง 2 เพื่อให้ครอบคลุมกับกำลังในการทดสอบที่ต้องการ จึงได้ทำการเปรียบเทียบการคำนวณขนาดตัวอย่างด้วยวิธีการทดสอบสมมติฐานและการออกแบบการทดลองได้ดังนี้

5.2.6.1 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test)

ใช้การหาขนาดตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐานแบบ Two Proportions ซึ่งเป็นการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าสัดส่วนของ 2 ประชากร โดยมีขนาดตัวอย่างใหญ่ (n_1 และ n_2 มีขนาดใหญ่ หรือ $nq_0 \geq 5$ และ $np_0 \geq 5$) (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2552) โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$n = \frac{(z_{1-\alpha/2} \sqrt{2pq} + z_{1-\beta} \sqrt{p_1q_1 + p_0q_0})^2}{(p_1 - p_0)^2}$$

หรือใช้การคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab 16 โดยใช้ฟังก์ชัน Stat > Power and Sample Size > 2 Proportions ซึ่งแยกคิดแต่ละข้อบกพร่องได้ดังนี้

5.2.6.2 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment; DOE)

Bisgaard และ Fuller (1995) ได้เสนอวิธีการหาขนาดตัวอย่างจากการทดลองเชิงแฟกทอเรียล ในกรณีที่ตัวแปรตอบสนองเป็นข้อมูลสัดส่วนของเสีย และมีเงื่อนไขการผลิต (Press Condition) ที่จุดยอด (Vertex) ของการออกแบบการแทนค่าตัวแปรต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้

- ข้อบกพร่อง ครัวบ่น

$$P_0 = 0.718$$

$$\Delta = 0.359 \text{ (ต้องการลดสัดส่วนของเสียอย่างน้อย 50\%)}$$

$$\text{จำนวนการทดลอง } N = 4$$

$$\text{Alpha ที่ 5 \% จะได้ } Z_{1-\alpha/2} = 1.96 \text{ และ Beta ที่ 10 \% จะได้ } Z_{1-\beta} = 1.282$$

จากสมการ

$$\delta = \arcsin\left(\sqrt{p_0 + \frac{\Delta}{2}}\right) - \arcsin\left(\sqrt{p_0 - \frac{\Delta}{2}}\right)$$

เมื่อแทนค่าจะได้

$$\delta = \arcsin\left(\sqrt{0.718 + \left(\frac{0.359}{2}\right)}\right) - \arcsin\left(\sqrt{0.718 - \left(\frac{0.359}{2}\right)}\right) = 0.420966$$

และจากสมการ

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

$$n = \frac{(1.96 + 1.282)^2}{20(0.420966)^2} = 14.83 \text{ ซึ่งจะใช้จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 15 ตัว}$$

- ข้อบกพร่อง ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว

$$P_0 = 0.7711$$

$$\Delta = 0.3855 \text{ (ต้องการลดสัดส่วนของเสียอย่างน้อย 50\%)}$$

$$\text{จำนวนการทดลอง } N = 4$$

$$\text{Alpha ที่ 5 \% จะได้ } Z_{1-\alpha/2} = 1.96 \text{ และ Beta ที่ 10 \% จะได้ } Z_{1-\beta} = 1.282$$

จะได้

$$\delta = \arcsine\left(\sqrt{0.7711 + \left(\frac{0.3855}{2}\right)}\right) - \arcsine\left(\sqrt{0.7711 - \left(\frac{0.3855}{2}\right)}\right) = 0.5154$$

จะได้

$$n = \frac{(1.96 + 1.282)^2}{20(0.5154)^2} = 9.89 \text{ ซึ่งจะใช้ขนาดตัวอย่างทั้งหมด 10 ตัว}$$

จึงสรุปได้ว่าต้องใช้ขนาดตัวอย่างอย่างน้อย 15 ตัวในแต่ละการทดลอง เพื่อให้ครอบคลุมกับจำนวนตัวอย่างของข้อบกพร่องทั้ง 2 ประเภท

พบว่า ที่กำลังของการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 90 % ด้วยระดับความเชื่อมั่น 95 % การหาตัวอย่างด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง จะใช้ขนาดตัวอย่างแต่ละการทดลองเท่ากับ 15 ตัว ดังนั้นในการออกแบบการทดลองที่มีจำนวนการทดลอง 4 การทดลอง จะใช้จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 60 ตัว

จากการหาขนาดตัวอย่างด้วยการทดสอบทั้ง 2 วิธี สามารถนำมาสรุปจำนวนตัวอย่างได้ดังตารางที่ 5.7 ดังนี้

ตารางที่ 5.7 จำนวนตัวอย่างที่ใช้ด้วยวิธีการทดสอบแบบต่าง ๆ

การทดลอง	จำนวนการทดลอง (N)	จำนวนตัวอย่างที่ คำนวณได้ (n)	จำนวนตัวอย่างที่ต้อง ใช้ทั้งหมด (N×n)
วิธีทดสอบสมมุติฐาน (Hypothesis Testing)	4	39	156
วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)	4	15	60

จากการเปรียบเทียบจำนวนตัวอย่าง พบว่า วิธีการออกแบบการทดลองใช้จำนวนตัวอย่างน้อยกว่าวิธีทดสอบสมมุติฐานมากกว่า 2 เท่า ซึ่งทำให้ประหยัดเวลาและต้นทุนที่ใช้ในการทดลอง เนื่องจากการทดลอง ต้องใช้จำนวนคนและเวลาในการปรับแต่งแม่พิมพ์แต่ละครั้งเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้การออกแบบการทดลองทำให้สามารถทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ ของปัจจัยคุณลักษณะที่ใช้ด้วย ผู้วิจัยจึงเลือกทำการทดลองด้วยวิธี 2^2 Full Factorial Design มาใช้ในงานวิจัยนี้

5.3 ขั้นตอนการทำการทดลอง

ผู้ทำการทดลองได้ทำการแบบ Full Factorial เรียงตามลำดับการทดลองแบบสุ่มด้วยโปรแกรม Minitab 16 ตามที่ได้เสนอไว้ในตารางที่ 5.6 โดยในการทำการทดลองจะต้องเตรียมแผนงานให้ผู้จัดการโรงงานฝ่ายผลิตเพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสม รวมถึงชี้แจงให้พนักงานฝ่ายผลิตทั้ง 5 ท่านที่ร่วมทำการทดลองทราบถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น การยัด นี้อต สกรู สลักเกลียว และสลักกำหนดตำแหน่ง ในจุดต่างๆ การเปลี่ยนตำแหน่งการวาง Stopper เพื่อปรับการวางแผ่นเหล็กให้ตรงตามการทดลองโดยระหว่างการทำการทดลองต้องจัดเตรียมพื้นที่ให้เพียงพอ เนื่องจากจำเป็นต้องใช้พื้นที่ในการวางชิ้นงานเข้า-ออกเป็นจำนวนมาก การปรับการทดลองแต่ละปัจจัย มีขั้นตอนดังนี้

- การวางแผ่นเหล็ก

1. วางแผ่นเหล็กตรง (ระดับ -1) และติดตั้งแม่พิมพ์ตามปกติจากนั้นขึ้นรูปแผ่นเหล็กโดยไม่ปรับแก้ Stopper ดังภาพที่ 5.6

ตารางที่ 5.8 ผลการทดลองและการแปลงข้อมูลด้วยวิธีมาตรฐานและวิธีของ Freeman และ Turkey

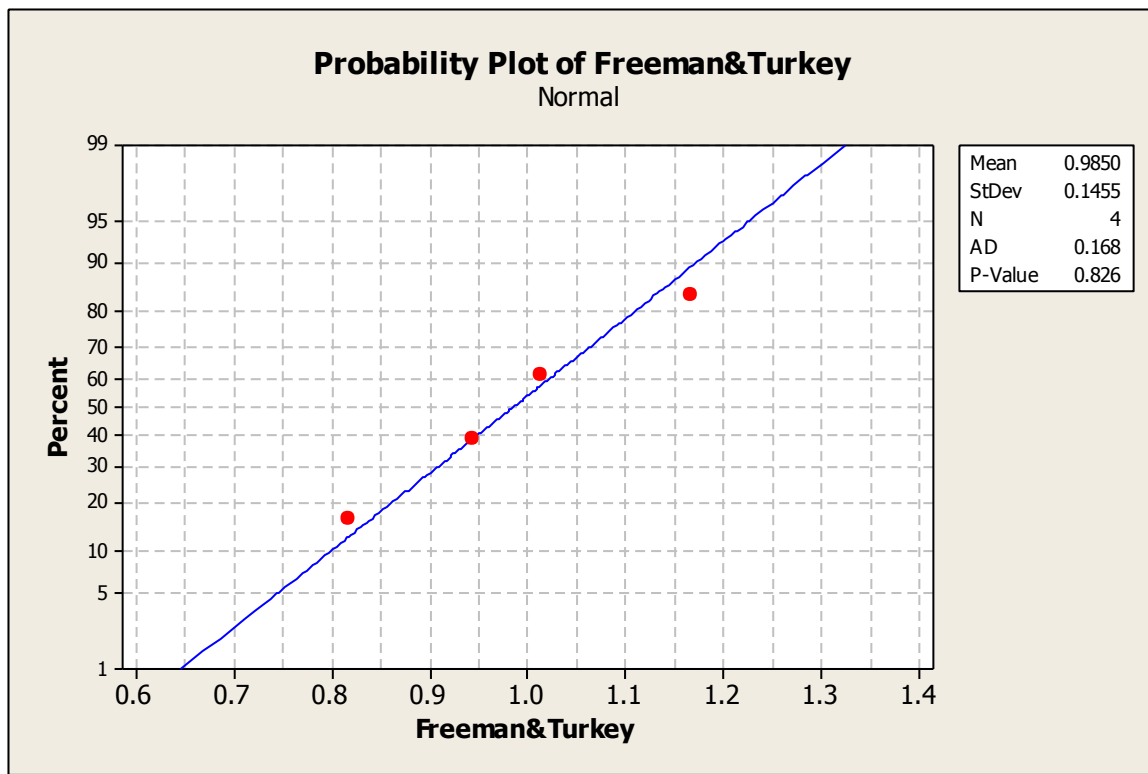
Run Order	Std Order	CenterPt	Blocks	Blank size	Tight Assembly	\hat{p}	$\arcsin \sqrt{\hat{p}}$	Freeman & Turkey's Method
1	3	1	1	-1	+1	0.533	0.819	0.817
2	1	1	1	-1	-1	0.867	1.197	1.166
3	2	1	1	+1	-1	0.667	0.955	0.945
4	4	1	1	+1	+1	0.733	1.028	1.012

5.5 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง จะต้องทำการตรวจสอบว่าข้อมูลที่ได้มีการกระจายแบบปกติตามสมมติฐานหรือไม่ก่อนจะนำมาวิเคราะห์ผลการทดลอง หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดข้อบกพร่อง เพื่อใช้ในการปรับระดับของปัจจัยให้เหมาะสมสำหรับการทดลองในระยะต่อไป

การทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติของข้อมูล

การทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูลที่ได้ทำการแปลงค่าด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey สามารถนำมาตรวจสอบได้โดยการนำข้อมูล หรือค่าสัดส่วนของเสีย ที่แปลงค่าแล้วมาพิจารณาด้วย Normal Probability Plot ว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติหรือไม่ ซึ่งกราฟที่ได้จะต้องมีลักษณะเป็นเส้นตรง และเมื่อทำการทดสอบ Normality Test จะต้องมีค่า P-value มากกว่า 0.05



ภาพที่ 5.9 การทดสอบการแจกแจงปกติของผลการทดลองที่แปลงค่าด้วยวิธีของ Freeman และTurkey

จากภาพที่ 5.9 พบว่า สัดส่วนของเสียที่ได้รับการแปลงค่าด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey มีการกระจายตัวแบบปกติ ไม่แตกต่างจากแนวเส้นตรงมากนัก และมีค่า P-value เท่ากับ 0.826 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

5.6 การวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์ผลการทดลองระหว่างปัจจัยต่าง ๆ

การวิเคราะห์ผลการทดลอง จะนำโปรแกรม Minitab 16 มาทดสอบปัจจัยนำเข้า และอันตรกิริยาที่เกิดระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง โดยใช้กราฟแสดงผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาซึ่งสาเหตุที่ไม่สามารถวิเคราะห์ด้วยค่า P-value ได้ เพราะผู้ทำการทดลองไม่ได้ทำ Replicate เนื่องจากใช้เวลานานในการทำการทดลอง ซึ่งหากทำ Replicate แล้วจะทำให้เกิดค่าเฉลี่ย (Mean) และความ

แปรปรวน (Standard Deviation) ในการทดลองที่ระดับเดียวกัน ทำให้หาค่า F-test ได้และสามารถนำมา
ตัดสินใจด้วยค่า P-value ต่อไป

Multilevel Factorial Design

Factors: 2 Replicates: 1
Base runs: 4 Total runs: 4
Base blocks: 1 Total blocks: 1

Number of levels: 2, 2

General Linear Model: response versus Blank Size, Tight Assembly

Factor	Type	Levels	Values
Blank Size	fixed	2	-1, 1
Tight Assembly	fixed	2	-1, 1

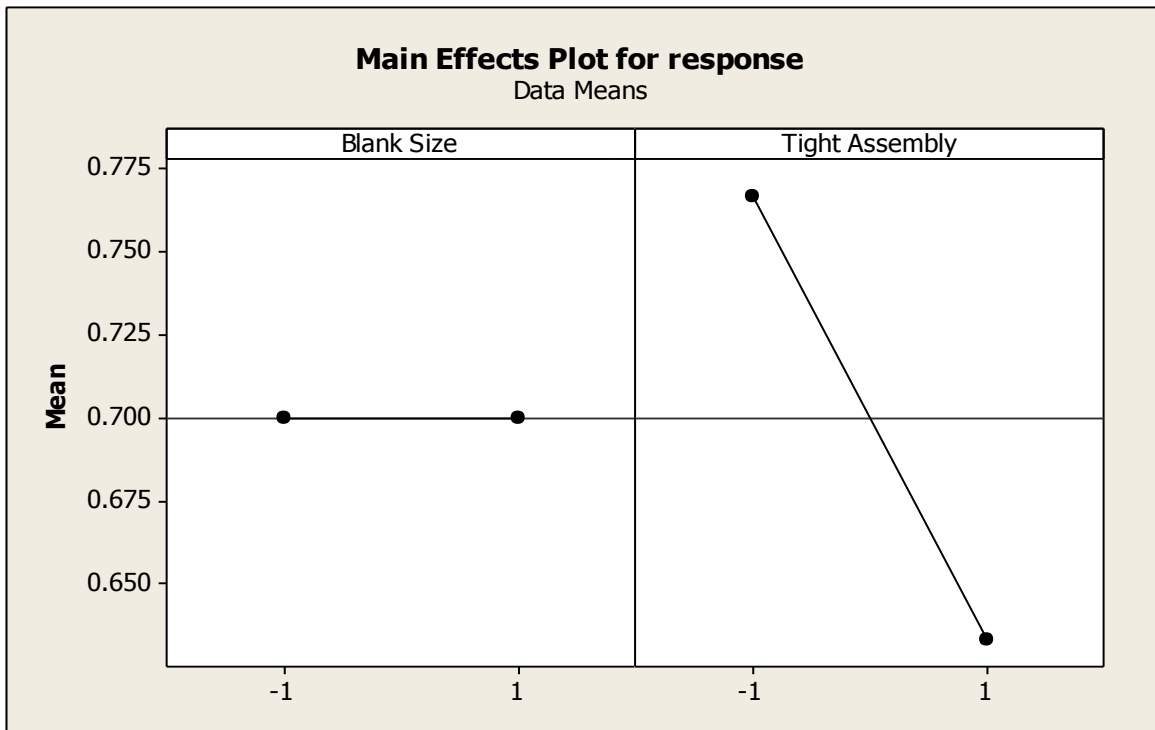
Analysis of Variance for response, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blank Size	1	0.000000	0.000000	0.000000	**	
Tight Assembly	1	0.017782	0.017782	0.017782	**	
Blank Size*Tight Assembly	1	0.039980	0.039980	0.039980	**	
Error	0	*	*	*		
Total	3	0.057762				

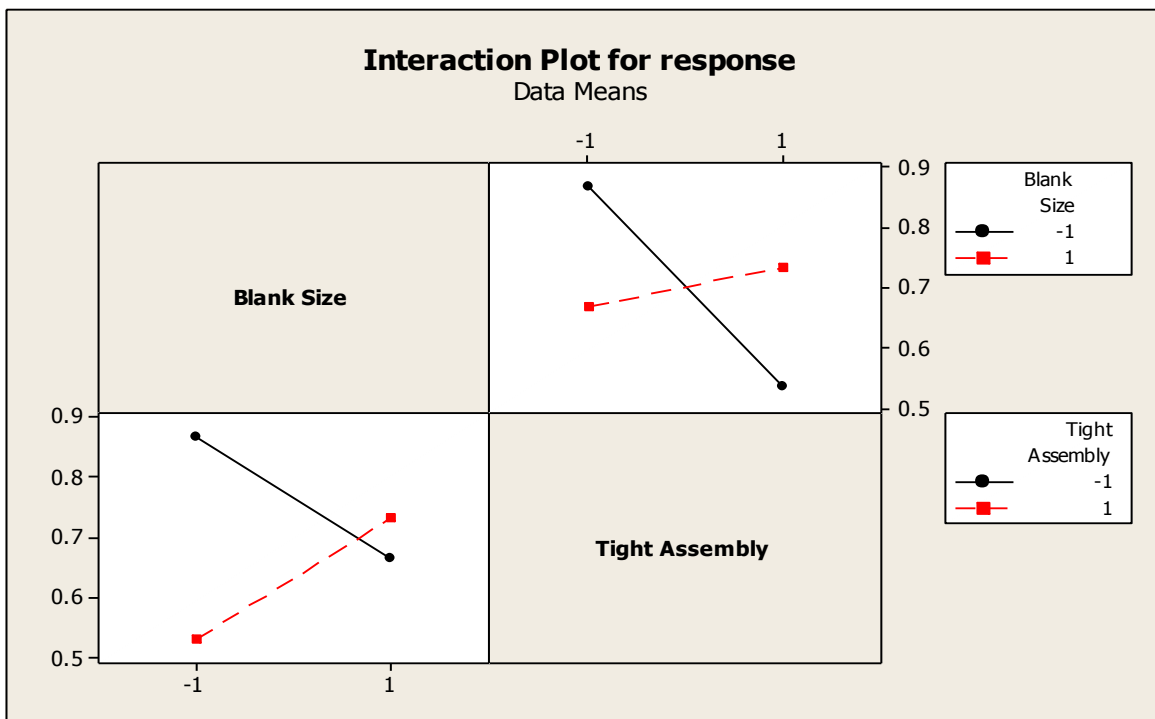
** Denominator of F-test is zero or undefined.

S = *

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



ภาพที่ 5.10 ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง



ภาพที่ 5.11 ผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Minitab 16 ดังภาพที่ 5.10 และ 5.11 พบว่าการทดลองที่ทำให้เกิดสัดส่วนของเสียน้อยที่สุด คือการทดลองที่ ปัจจัย A ด้วยการวางแผนเหล็กแบบตรง (ระดับ -1) และการขันอุปกรณ์ประกอบแม่พิมพ์แน่นมาก (ระดับ +1) เนื่องจาก การวางแผนเหล็กแบบเอียงและการลดจำนวน Stopper เป็นการทดลองที่ฝืนธรรมชาติของแม่พิมพ์ที่ถูกออกแบบมาสำหรับการวางแผนแม่พิมพ์แบบตรง และจำนวน Stopper ที่ลดลงมาจาก 6 ตัว เหลือ 2 ตัว ซึ่งอาจทำให้แผ่นเหล็กเลื่อนขณะขึ้นรูปและทำให้เกิดของเสียได้ จากแนวความคิดของ Mikell P. Groover (2002) ซึ่งกล่าวว่า การลดพื้นที่ขอบนอก (Perimeter) ให้เหลือน้อยที่สุด จะช่วยลดปัญหาการเกิดครีบ ย่น (Wrinkling) ที่บริเวณปีก (Flange) ได้ จึงอาจสรุปได้ว่า การใช้ขนาดแผ่นเหล็ก (Blank Size) ที่มีขนาดพอดีกับการขึ้นรูปชิ้นงาน พร้อมกับวางแผนเหล็กแบบตรง และการขันอุปกรณ์ประกอบแม่พิมพ์แน่นมาก จะช่วยทำให้ลดสัดส่วนของเสียได้มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่ลดขนาดแผ่นเหล็ก

5.7 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

ในระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา ได้นำสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นจากระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) มาทำการทดลองด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง โดยเริ่มจากการหาจำนวนตัวอย่างด้วยวิธีการทดสอบสมมติฐาน และวิธีการออกแบบการทดลอง ซึ่งจะเลือกใช้วิธีการที่ใช้จำนวนตัวอย่างน้อยที่สุด โดยจากการเปรียบเทียบตัวอย่างจากวิธีทั้ง 2 พบว่า วิธีการออกแบบการทดลองใช้จำนวนตัวอย่าง 15 ตัวอย่างในแต่ละรัน ซึ่งใช้จำนวนตัวอย่างน้อยกว่าวิธีการทดสอบสมมติฐาน 2 เท่า จึงได้เลือกใช้วิธีการออกแบบการทดลอง ด้วยวิธี 2^2 Full Factorial ซึ่งมีการทดลองทั้งหมด 4 รัน (Runs) และใช้จำนวนตัวอย่างเท่ากับ 60 ตัว

จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Minitab 16 ซึ่งได้ทำการแปลงค่าตัวแปรตอบสนอง หรือสัดส่วนของเสียที่ได้ ด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey แล้วนำมาวิเคราะห์สมมติฐานการแจกแจงปกติของข้อมูล พบว่า ข้อมูลที่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ จึงนำมาวิเคราะห์ผลในขั้นตอนต่อไป

ผลจากการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระดับของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ คือ การวางแผนเหล็กแบบตรง และการขันอุปกรณ์ประกอบแม่พิมพ์แน่นมาก เป็นระดับที่ทำให้เกิดสัดส่วนของเสียน้อยที่สุด ซึ่งจะนำระดับของปัจจัยที่ได้ไปใช้ในการทดลองต่อในระยะปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase) ต่อไป

บทที่ 6

ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)

หลังจากทำการทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองด้วยวิธีออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) แบบ 2^k Full Factorial จากปัจจัยคุณลักษณะในระยะก่อนหน้าซึ่งผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม Minitab 16 พบว่า การวางแผนเหล็กแบบตรง และการขันอุปกรณ์ประกอบแม่พิมพ์แน่นมาก ทำให้เกิดสัดส่วนของเสียร้อยละ ซึ่งในระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการจะทำการทดลองปัจจัยผันแปรเพิ่มเติมในกระบวนการขึ้นรูปแผ่นเหล็ก เพื่อกำหนดระดับของปัจจัยแปรผันที่จะทำให้สัดส่วนของเสียลดลงอีก จากการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design) ด้วยการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design จากนั้นได้ทดลองปัจจัยนำเข้าที่เหลือคือ การทดลองแม่พิมพ์ (Try out) โดยใช้ค่าปรับตั้งเก่าเปรียบเทียบกับค่าปรับตั้งใหม่ เพื่อให้ได้ค่าสัดส่วนของเสียลดลงตามเป้าหมายที่กำหนด

6.1 ขั้นตอนการออกแบบการทดลองเพิ่ม

ในการออกแบบการทดลองในระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ ประกอบด้วย

- 1) การกำหนดจุดประสงค์ของการทดลอง
- 2) การกำหนดตัวแปรตอบสนอง
- 3) การเลือกรูปแบบการทดลองและการออกแบบการทดลองเพิ่ม
- 4) การกำหนดระดับปัจจัยนำเข้าในการออกแบบการทดลอง

ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

6.1.1 การกำหนดจุดประสงค์ของการทดลอง

จากระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ได้ทำการทดลองปัจจัยคุณลักษณะ 2 ปัจจัย คือ

ขนาดแผ่นเหล็ก และการประกอบแม่พิมพ์ไม่แน่น พบว่า การวางแผ่นเหล็กแบบตรงและการขันอุปกรณ์ประกอบแม่พิมพ์แน่นมาก เป็นระดับที่ทำให้เกิดสัดส่วนของเสียน้อยที่สุด แต่สัดส่วนของเสียที่ลดได้ยังไม่ถึงเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ จึงได้ทำการทดลองปัจจัยผันแปรอีก 3 ปัจจัย คือ แรงกำหนดความเร็วในการขึ้นรูป และความดันลมกุชชั่น เพื่อหาระดับของปัจจัยที่ทำให้ได้ค่าปรับตั้งที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นได้นำค่าปรับตั้งดังกล่าว มาทำการทดลองปัจจัยสุดท้าย คือ การทดลองแม่พิมพ์ โดยปัจจัยนี้มีเป้าหมายที่จะลดการเกิดของเสียแบบทั้งหมด ($p = 1$) ซึ่งจะทำการทดลองแม่พิมพ์เปรียบเทียบกับค่าปรับตั้งเครื่องจักรแบบเดิม และค่าปรับตั้งเครื่องจักรแบบใหม่ จากการทดลองปัจจัยทั้งหมดที่กล่าวมานี้ คาดว่าจะสามารถลดของเสียได้ตามเป้าหมายและแก้ปัญหการเกิดของเสียแบบทั้งหมดได้ ซึ่งจะทำให้ต้นทุนของเสียมีค่าน้อยลง ดังทฤษฎีการควบคุมคุณภาพด้วยหลักการของ ซิกซ์ซิกม่า (Six Sigma Approach)

6.1.2 การกำหนดตัวแปรตอบสนอง(Response)

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายที่จะลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องครีบย่น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว แต่เนื่องจากปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อข้อบกพร่องทั้ง 2 ชนิด มีระดับของค่าปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสมสวนทางกัน (จากผลการทดลองในหัวข้อ 6.5.1 และ 6.5.2 ซึ่งจะกล่าวต่อไป) จึงกำหนดตัวแปรตอบสนองใหม่ด้วยต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ซึ่งสามารถรวมมูลค่าความสูญเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องทั้ง 2 ชนิดไว้ด้วยกัน โดยความสูญเสียที่เกิดขึ้นแบ่งเป็นมูลค่าความสูญเสียจากการซ่อมชิ้นงาน (Rework) และมูลค่าความสูญเสียจากการกำจัดชิ้นงานทิ้ง (Scrap) ผู้วิจัยจึงกำหนดให้มีตัวแปรตอบสนอง 3 ตัวแปร ดังนี้

1. สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องครีบย่น
2. สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว
3. ต้นทุนของเสียรวมระหว่างข้อบกพร่องทั้ง 2 ประเภท

โดยจะศึกษาถึงผลกระทบของการตั้งค่าปัจจัยที่มีต่อสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องครีบ

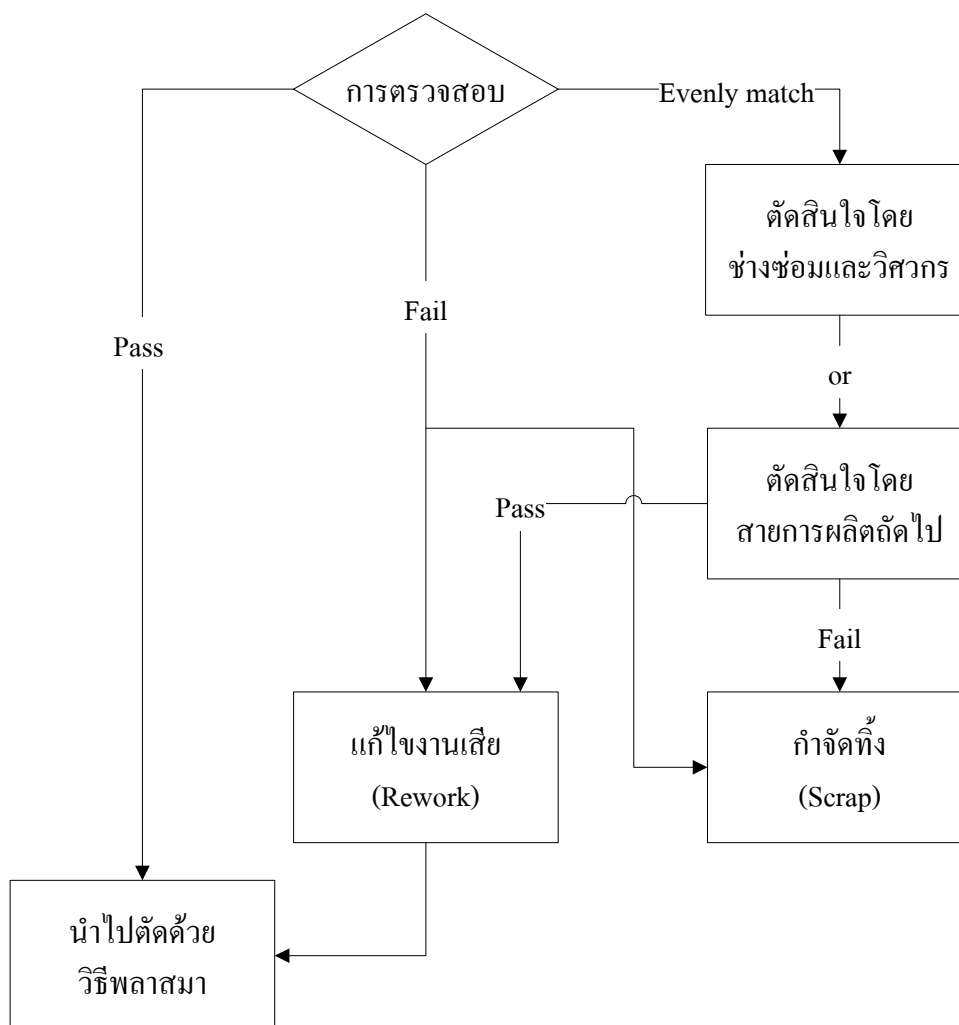
ย่น และที่มีต่อสัดส่วนของเสียจากขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว และจะใช้ตัวแปรตอบสนองเป็นต้นทุนของเสียรวม ในการกำหนดระดับของปัจจัยที่จะทำให้ต้นทุนของเสียรวมระหว่างข้อบกพร่องทั้งสองประเภทลดลง ในกรณีที่ระดับของปัจจัยที่ทำให้สัดส่วนของเสียลดลงจากข้อบกพร่องแต่ละประเภทไม่ตรงกัน

เมื่อพบของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องครีบย่น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวที่มีลักษณะก้ำกึ่ง จะมีวิธีในการจัดการ 2 แบบคือ

1. การตัดสินใจจากประสบการณ์ของช่างซ่อม และวิศวกรฝ่ายประกันคุณภาพว่าสามารถซ่อมได้หรือไม่ จากการสังเกตของผู้วิจัย ซึ่งจะยกตัวอย่างการแก้ไขชิ้นงานจากข้อบกพร่องครีบย่นที่บริเวณมุมทั้ง 4 ด้าน ชิ้นงานที่สามารถนำมาแก้ไขได้ต้องมีพื้นที่ที่เกิดข้อบกพร่องไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่บริเวณมุม ซึ่งจะทำให้การซ่อมสามารถแก้ไขได้รวดเร็วและง่าย โดยชิ้นงานที่นำมาซ่อมจะผ่านการ เคาะ ทูบ ตัด เจียร และขัดผิว เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น จนกระทั่งสามารถนำไปใช้ในสายการประกอบโครงหลังคาเหล็กต่อไป

2. การประเมินว่าสามารถยอมรับชิ้นงานได้หรือไม่จากสายการผลิตถัดไป ซึ่งวิศวกรฝ่ายประกันคุณภาพและวิศวกรฝ่ายประกอบโครงหลังคาเหล็ก (สายการผลิตถัดจากกระบวนการขึ้นรูปเหล็ก) จะร่วมกันประเมินความเป็นได้ในการนำชิ้นงานไปประกอบโดยไม่มีแก้ไขชิ้นงาน (ชิ้นงานจะถูกยอมรับ หรือ Accept) เนื่องจากข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นสามารถแก้ไขได้ระหว่างกระบวนการประกอบโครงหลังคาเหล็ก เช่น ระยะเวลา (Flange) ที่เกินจากค่าที่ยอมรับบริเวณด้านท้ายของชิ้นงาน ซึ่งชิ้นส่วนนี้ต้องนำไปประกอบกับประตูหลัง (Back Door) โดยระยะที่เกินนี้จะนำไปเคาะเพื่อเก็บขอบและหุ้มด้วยยางซึ่งสามารถปิดบริเวณที่มีการแก้ไขด้วยการเคาะได้ เป็นต้น

สามารถสรุปแผนผังการไหลของการจัดการชิ้นงานเมื่อได้รับการตรวจสอบได้ดังภาพที่ 6.1



ภาพที่ 6.1 วิธีการจัดการกับชิ้นงานเมื่อได้รับการตรวจสอบ

จากเหตุผลดังกล่าว จึงทำให้เกิดต้นทุนของเสียต่างกัน ซึ่งผู้วิจัยได้สรุปข้อมูลไว้ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ต้นทุนในการจัดการของเสียจากการแก้ไขและกำจัดชิ้นงาน ในข้อบกพร่องครีบบ่น และ
ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว

ประเภทข้อบกพร่อง	ต้นทุนจากการ แก้ไขชิ้นงาน	ต้นทุนจากการกำจัดชิ้นงานทิ้ง		
	มูลค่าความ สูญเสียต่อชิ้น	ต้นทุน ต่อชิ้น	ราคาเหล็กขาย คืนต่อชิ้น	มูลค่าความ สูญเสียต่อชิ้น
ครีบบ่น	107.5	372.09	62.72	309.37
ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว	172.5			

สามารถคำนวณต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ได้ดังนี้

**ต้นทุนของเสียรวม (Total Defective cost) = มูลค่าความสูญเสียของชิ้นงานที่ต้องทำลายทิ้ง
(Scrap Cost) + มูลค่าความสูญเสียของชิ้นงานที่
สามารถแก้ไขได้ (Rework Cost)**

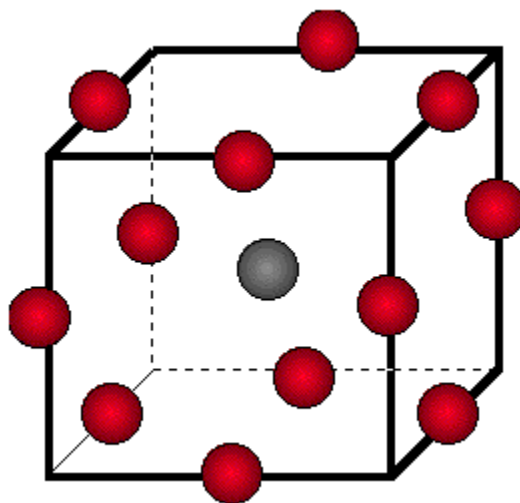
โดยที่

Scrap Cost = จำนวนชิ้นงานที่ต้องทำลายทิ้ง × ต้นทุนในการกำจัดชิ้นงานต่อชิ้น

Rework Cost = จำนวนชิ้นงานที่สามารถแก้ไขได้ × ค่าใช้จ่ายในการแก้ไขชิ้นงานที่เกิด
จากข้อบกพร่องประเภทนั้น ๆ ต่อชิ้น

6.1.3 การเลือกรูปแบบการทดลองและการออกแบบการทดลองเพิ่ม

การออกแบบการทดลองในระยะนี้ ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ
(Response surface design) แบบ Box-Behnken Design การออกแบบด้วยวิธีนี้จะไม่นำจุดยอดของ
ลูกบาศก์หรือขีดจำกัดของแต่ละตัวแปรมาทำการทดลอง ซึ่งมีประโยชน์ในการลดจำนวนการทดลอง
สำหรับจุดที่เป็นไปไม่ได้ (Extreme Setting) ที่อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานอย่างรุนแรง



ภาพที่ 6.2 การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design

ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองด้วยวิธี Box-Behnken เพื่อหาระดับของค่าปรับตั้งที่เหมาะสมที่สุด จากปัจจัยทั้ง 3 คือ แรงกำหนดความเร็วในการขึ้นรูป และความดันลมคูลง ซึ่งได้สร้างตารางการออกแบบ (Design Matrix) จากโปรแกรม Minitab 16 ได้ดังตารางที่ 6.2

Box-Behnken Design

Factors:	3	Replicates:	1
Base runs:	15	Total runs:	15
Base blocks:	1	Total blocks:	1

Center points: 3

ตารางที่ 6.2 การออกแบบ (Design matrix)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Force	Velocity	Pressure
3	1	2	1	-1	1	0
12	2	2	1	0	1	1
4	3	2	1	1	1	0
5	4	2	1	-1	0	-1
13	5	0	1	0	0	0
14	6	0	1	0	0	0
1	7	2	1	-1	-1	0
10	8	2	1	0	1	-1
9	9	2	1	0	-1	-1
8	10	2	1	1	0	1
11	11	2	1	0	-1	1
2	12	2	1	1	-1	0
7	13	2	1	-1	0	1
6	14	2	1	1	0	-1
15	15	0	1	0	0	0

โดยที่ สัญลักษณ์ +1 แทนระดับ สูง (High)

สัญลักษณ์ 0 แทนระดับ กลาง (Middle)

สัญลักษณ์ -1 แทนระดับ ต่ำ (Low)

6.1.4 การกำหนดระดับปัจจัยนำเข้าในการออกแบบการทดลอง

จากการออกแบบการทดลองในระยะก่อนหน้าพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองมี 2 ปัจจัย ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 ระดับที่เหมาะสมสำหรับปัจจัยคุณลักษณะ

สัญลักษณ์	ปัจจัย	ระดับที่เหมาะสม
B	ขนาดของแผ่นเหล็กออกแบบมาไม่เหมาะสม	วางตรง (-1)
C	Punch Holder ไม่จับแผ่นเหล็ก	ขันอุปกรณ์ประกอบแม่พิมพ์แน่นมาก (+1)

จากนั้นผู้ทำการวิจัยได้ออกแบบการทดลองสำหรับปัจจัยที่สามารถปรับตั้งค่าได้เพิ่มเติมในกระบวนการขึ้นรูปแผ่นเหล็ก โดยทำการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design) โดยการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design จะใช้จำนวนการทดลองที่ใช้และจำนวนตัวอย่างที่มีค่าน้อย โดยในแต่ละระดับจะใช้ 3 ปัจจัย ซึ่งมีรายละเอียดการปรับตั้งเครื่องจักรดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ค่าที่ใช้ในการปรับตั้งแต่ละระดับสำหรับการออกแบบการทดลอง

Box-Behnken Design

สัญลักษณ์	ปัจจัย	ระดับ		
		-1	0	+1
C	แรงกำหนด(kN)	100,000	120,000	140,000
D	ความเร็วในการขึ้นรูป (fpm)	65	75	85
G	ความดันลมกู่ชชั้น (kg/cm ²)	2	3	4

โดยการเลือกระดับการทดลองของแต่ละปัจจัย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- **แรงกำหนด (Nominal Force หรือ Force Capacity)** ซึ่ง K. Lange (1985) ได้ให้ความหมายว่า เป็นขนาดของแรงที่เครื่องปั๊มที่มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรองรับน้ำหนักได้ตามกำหนด โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับส่วนใดส่วนหนึ่งของเครื่องปั๊ม ซึ่งในกรณีของเครื่องปั๊มที่มีการขับเคลื่อนแรม แบบกลไกที่ใช้ในโรงงานที่ศึกษา มักจะออกแบบให้มีกลไกป้องกันแรงเกิน (Overload Safety Device) ซึ่งจะออกแบบให้ส่วนที่อ่อนแอที่สุดเสียหายก่อนและเป็นชิ้นส่วนที่เปลี่ยนได้ง่าย เพื่อรักษาส่วนประกอบหลักของเครื่องปั๊มไว้ ในสายการผลิตหลังคาเหล็กมีเครื่องปั๊มสำหรับผลิตชิ้นงาน 3 ขนาด คือ 10,000 ตัน (100,000 kN) 12,000 ตัน (120,000 kN) และ 14,000 ตัน (140,000 kN) ผู้วิจัยจึงได้กำหนดเครื่องปั๊มแต่ละระดับไว้ที่ -1, 0 และ +1 ตามลำดับ

- **ความเร็วในการขึ้นรูป (Ram Velocity)** ซึ่ง ชาญชัย ทรัพย์ากร (2526) ได้เสนอว่า ในการขึ้นรูปที่มีลักษณะความลึกน้อย (Light Draws) จะต้องใช้ความเร็วในการขึ้นรูปสูง แต่การขึ้นรูปลึก (Shallow Draws) และชิ้นงานมีขนาดใหญ่ ต้องใช้ความเร็วในการขึ้นรูปน้อยลง ซึ่งชิ้นงานที่ศึกษามีขนาดใหญ่ และเป็นารขึ้นรูปลึก ผู้วิจัยจึงได้กำหนดความเร็วในการขึ้นรูปให้มีแนวโน้มลดลงจากการผลิตเดิม (ความเร็วเดิม 77 fpm) โดยใช้ความเร็วที่ 65 fpm, 75 fpm และ 85 fpm (กำหนดให้มีค่ามากกว่าความเร็วเดิม 1 ค่า เพื่อให้ครอบคลุมกับความเร็วเดิม และปัจจัยที่เหลือทำการปรับให้มีความเร็วลดลง) ด้วยระดับ -1, 0 และ +1 ตามลำดับ



ภาพที่ 6.4 การปรับตั้งความดันลมอุทซันที่ 4 kg/cm²

6.2 ขั้นตอนในการทำการทดลอง

1. ตรวจสอบความพร้อมของวัสดุคิบและเครื่องจักรที่ต้องใช้ในการทดลอง
2. ชี้แจงให้พนักงานฝ่ายผลิตทั้ง 6 ท่านที่ร่วมทำการทดลองทราบถึงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ต้องทำการปรับค่า
3. ปรับระดับของปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ปัจจัย ตามที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.2
4. ทำการทดลองตามลำดับที่ได้กำหนดไว้ในตารางที่ 6.3 โดยใช้ขนาดตัวอย่างในแต่ละรันเท่ากับ 15 ตัวอย่าง
5. หลังจากทำการทดลองเสร็จในแต่ละรัน ให้นำ Steel Tape และ Gauge Block มาตรวจสอบเพื่อตรวจสอบข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวและตรวจสอบข้อบกพร่องครีบก้นด้วยสายตา
6. บันทึกผลการทดลอง

6.3 ผลการทดลอง

หลังจากทำการทดลองตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ ทำให้ได้ผลการทดลองเป็นสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องทั้ง 2 ชนิด ซึ่งต้องทำการแปลงค่าสัดส่วนของเสียนี้ด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey (อ้างอิงจากหัวข้อที่ 5.2.2 ตัวแปรตอบสนอง และการแปลงค่า) จากนั้นทำการคำนวณหาต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อมูลสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องทั้ง 2 ชนิด ได้ผลดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 ตารางการออกแบบการทดลองและผลการทดลองของตัวแปรตอบสนองทั้ง 3 ชนิด

Run	Force	Velocity	Pressure	wrinkling	F&T Wrinkling	Out of STD	F&T STD	Total Defective Cost
1	10000	85	3	0.733	1.012	0.000	0.000	1182.45
2	12000	85	4	0.000	0.000	0.867	1.166	2242.59
3	14000	85	3	0.000	0.000	0.867	1.166	5064.21
4	10000	75	2	0.467	0.754	0.000	0.000	752.55
5	12000	75	3	0.600	0.880	0.000	0.000	967.50
6	12000	75	3	0.667	0.945	0.000	0.000	1075.05
7	10000	65	3	0.333	0.626	0.000	0.000	537.61
8	12000	85	2	0.000	0.000	0.600	0.880	3505.86
9	12000	65	2	0.533	0.817	0.000	0.000	859.95
10	14000	75	4	0.000	0.000	0.800	1.085	4674.48
11	12000	65	4	0.733	1.012	0.000	0.000	1182.45
12	14000	65	3	0.667	0.945	0.000	0.000	1075.05
13	10000	75	4	0.533	0.817	0.000	0.000	859.95

Run	Force	Velocity	Pressure	wrinkling	F&T Wrinkling	Out of STD	F&T STD	Total Defective Cost
14	14000	75	2	0.000	0.000	0.733	1.012	1897.41
15	12000	75	3	0.600	0.880	0.000	0.000	967.50

หมายเหตุ ช่องที่แรเงา คือ เกิดของเสียที่ต้องทำลายทิ้ง (Scrap)

6.4 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ผลการทดลองที่ได้ทำการทดลองเพิ่มเติมต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ว่าเป็นไปตามหลักการ NID $(0, \sigma^2)$ หรือไม่ โดยทำการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองด้วยเงื่อนไข 3 ประการ คือ

การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ (Normality Assumption)

สามารถตรวจสอบได้โดยการพิจารณาการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) ของค่าตัวแปรตอบสนอง และความน่าจะเป็นสะสม ซึ่งกราฟที่ได้ควรมีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อนำไปทดสอบความเป็นปกติ (Normality Test) จะต้องมีค่า P-value มากกว่า 0.05 หมายถึง ข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงปกติ

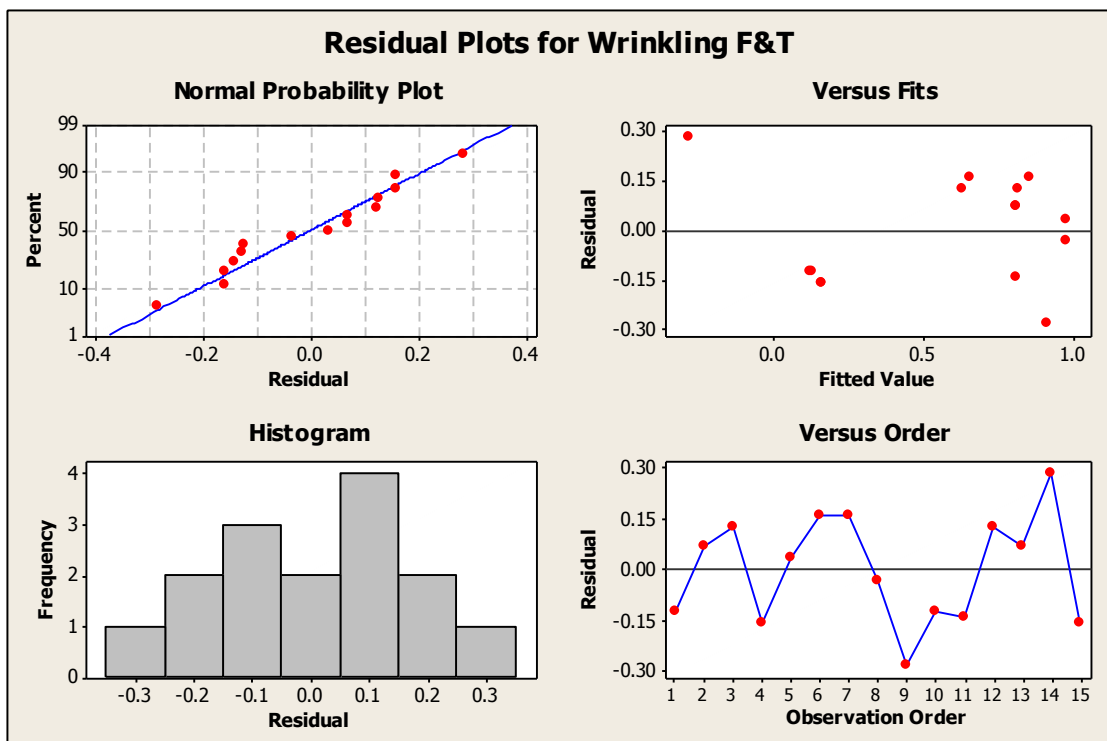
การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent)

สามารถตรวจสอบได้โดยการพิจารณาแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) และลำดับในการเก็บข้อมูล (Observation Order) ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรจะมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือเป็นรูปแบบใด ๆ แต่ควรมีการกระจายตัวที่เป็นอิสระและไม่มีรูปแบบแน่นอน

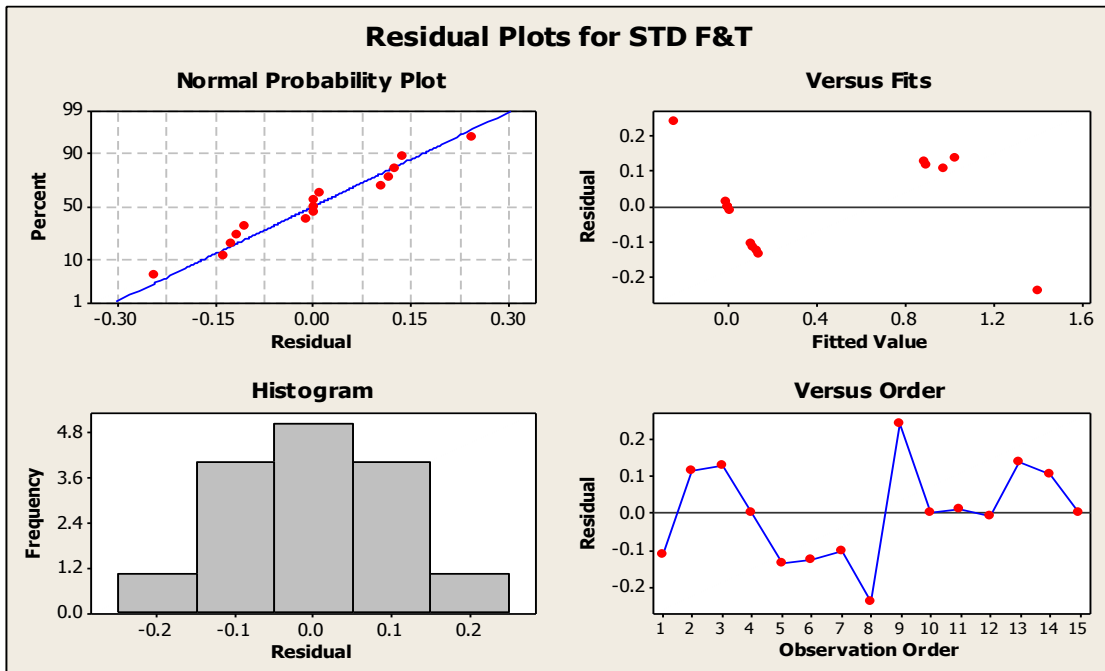
การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน (Variance Stability)

สามารถตรวจสอบได้โดยพิจารณาแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) โดยแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือเป็นกรวยปากเปิด แต่ควรมีการกระจายตัวที่เป็นอิสระและไม่มีรูปแบบแน่นอน

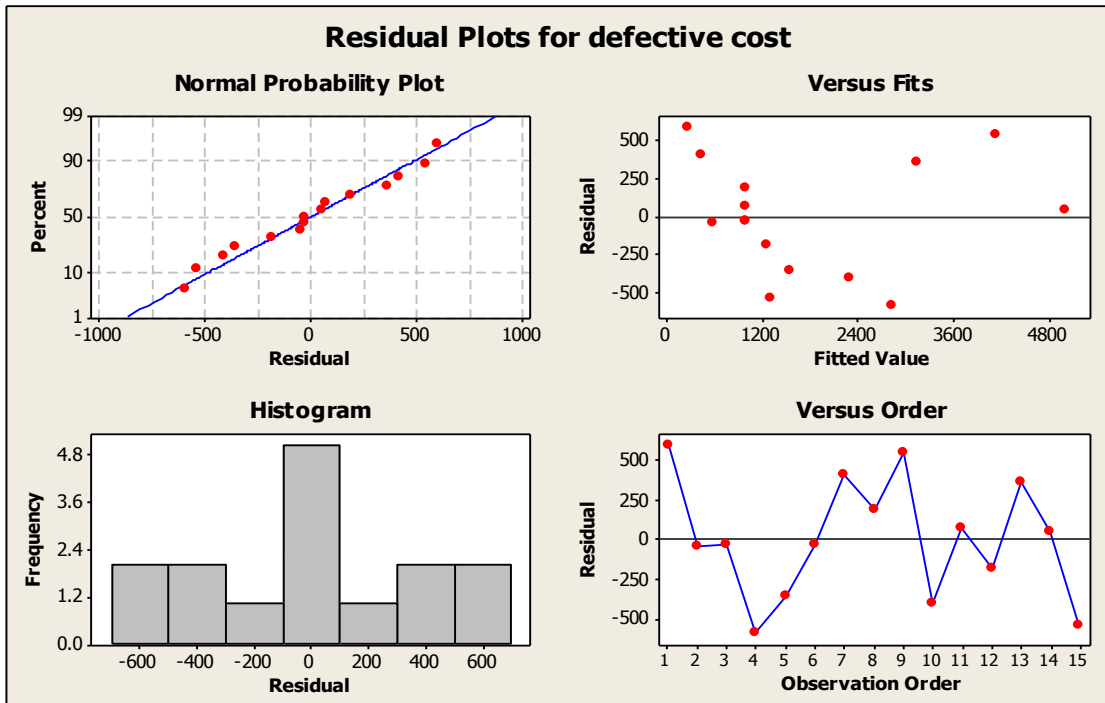
ผลจากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองของตัวแปรตอบสนอง ได้แก่ สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว ซึ่งทำการแปลงค่าด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey แล้ว และต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่องทั้ง 2 ประเภทสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 6.5, 6.6 และ 6.7 ตามลำดับ



ภาพที่ 6.5 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองจากตัวแปรตอบสนอง กรณีสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องครีบก้น หลังจากแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey



ภาพที่ 6.6 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองจากตัวแปรตอบสนอง กรณีสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว หลังจากแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey



ภาพที่ 6.7 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองจากตัวแปรตอบสนอง กรณีต้นทุนของเสียรวมจากข้อบกพร่องครึบย่น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว

จากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองของตัวแปรตอบสนองทั้ง 3 ประเภท ดังภาพที่ 6.5, 6.6 และ 6.7 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ ซึ่งพิจารณาจากกราฟ Normal Probability Plot พบว่า การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) และความน่าจะเป็นสะสม ของตัวแปรตอบสนองทั้ง 3 ได้แก่ สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องครีป ย่น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว ซึ่งทำการแปลงค่าด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey แล้ว และต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่องทั้ง 2 ประเภท มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ดังนั้นสรุปได้ว่า ข้อมูลของตัวแปรตอบสนองทั้ง 3 เป็นไปตามสมมติฐานการแจกแจงปกติ

- การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ ซึ่งพิจารณาจากแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) และลำดับในการเก็บข้อมูล (Observation Order) พบว่า มีการกระจายตัวอย่างอิสระ และไม่มีรูปแบบแน่นอน ดังนั้นสรุปได้ว่า ข้อมูลของตัวแปรตอบสนองทั้ง 3 มีความเป็นอิสระต่อกัน

- การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน ซึ่งพิจารณาจากแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถุกฟิต (Fitted Value) พบว่า มีการกระจายตัวอย่างอิสระ และไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้ม ดังนั้นสรุปได้ว่า ข้อมูลของตัวแปรตอบสนองทั้ง 3 มีเสถียรภาพของความแปรปรวน

ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองจากตัวแปรตอบสนองทั้ง 3 ชนิดจะได้ว่า ข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ มีการกระจายเป็นแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีเสถียรภาพของความแปรปรวน ซึ่งเป็นไปตามหลักการ NID ($0, \sigma^2$)

6.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

6.5.1 กรณีศึกษาส่วนของเสียของข้อบกพร่องครีบก้น

การวิเคราะห์ผลการทดลอง กรณีศึกษาส่วนของเสียของข้อบกพร่องครีบก้น ซึ่งได้ทำการแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey ได้ผลดังนี้

Response Surface Regression: Wrinkling F&T versus Force, Velocity and Pressure

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Wrinkling F&T

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.80883	0.15457	5.233	0.003
Force	-0.29907	0.09465	-3.160	0.025
Velocity	-0.29844	0.09465	-3.153	0.025
Pressure	0.04828	0.09465	0.510	0.632
Force*Force	-0.09782	0.13933	-0.702	0.514
Velocity*Velocity	-0.06522	0.13933	-0.468	0.659
Pressure*Pressure	-0.28633	0.13933	-2.055	0.095
Force*Velocity	-0.33273	0.13386	-2.486	0.055
Force*Pressure	-0.04765	0.13386	-0.356	0.736
Velocity*Pressure	-0.04892	0.13386	-0.365	0.730

S = 0.267720 PRESS = 5.31728
 R-Sq = 86.20% R-Sq(pred) = 0.00% R-Sq(adj) = 61.35%

Analysis of Variance for Wrinkling F&T

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	2.23763	2.23763	0.248626	3.47	0.092
Linear	3	1.44675	1.44675	0.482249	6.73	0.033
Force	1	0.71556	0.71556	0.715562	9.98	0.025
Velocity	1	0.71254	0.71254	0.712535	9.94	0.025
Pressure	1	0.01865	0.01865	0.018650	0.26	0.632
Square	3	0.32938	0.32938	0.109795	1.53	0.315
Force*Force	1	0.01973	0.03533	0.035328	0.49	0.514
Velocity*Velocity	1	0.00693	0.01570	0.015705	0.22	0.659
Pressure*Pressure	1	0.30272	0.30272	0.302720	4.22	0.095
Interaction	3	0.46150	0.46150	0.153834	2.15	0.213
Force*Velocity	1	0.44285	0.44285	0.442847	6.18	0.055
Force*Pressure	1	0.00908	0.00908	0.009082	0.13	0.736
Velocity*Pressure	1	0.00957	0.00957	0.009571	0.13	0.730
Residual Error	5	0.35837	0.35837	0.071674		
Lack-of-Fit	3	0.32807	0.32807	0.109356	7.22	0.124
Pure Error	2	0.03030	0.03030	0.015151		
Total	14	2.59600				

Unusual Observations for Wrinkling F&T

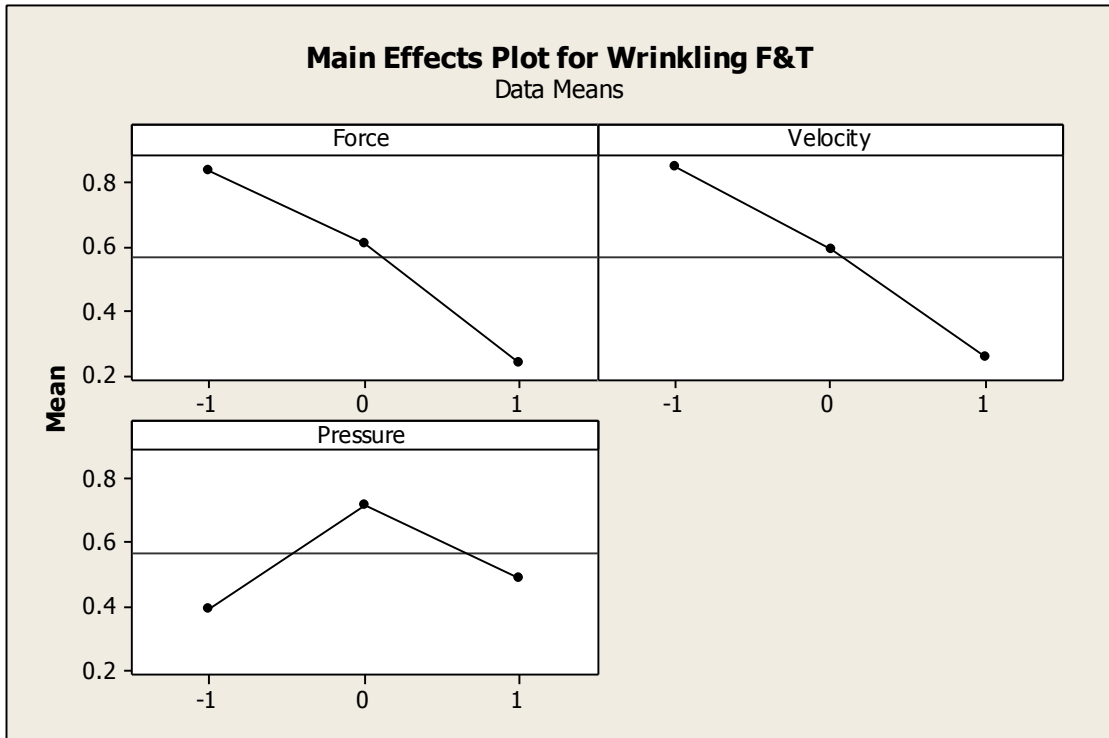
Obs	StdOrder	Wrinkling					St Resid
		F&T	Fit	SE Fit	Residual		
9	1	0.626	0.911	0.232	-0.284	-2.12 R	
14	4	0.000	-0.284	0.232	0.284	2.12 R	

R denotes an observation with a large standardized residual.

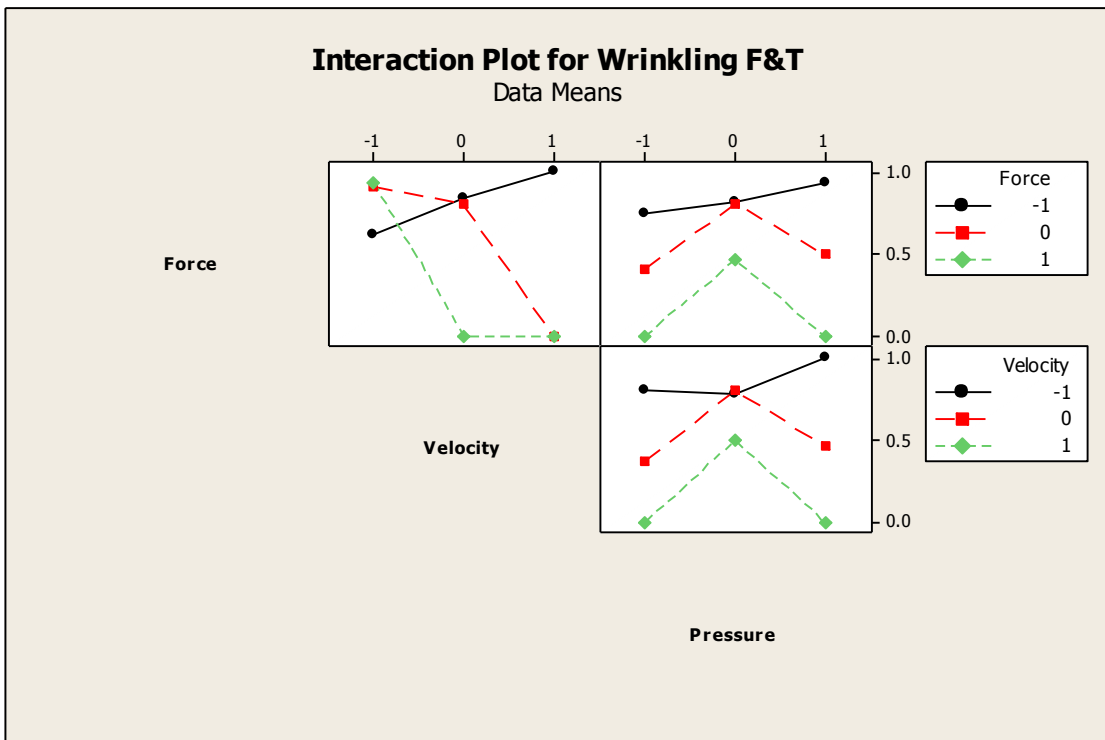
Estimated Regression Coefficients for Wrinkling F&T using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	0.808833
Force	-0.299074
Velocity	-0.298441
Pressure	0.0482835
Force*Force	-0.0978168
Velocity*Velocity	-0.0652183
Pressure*Pressure	-0.286333
Force*Velocity	-0.332734
Force*Pressure	-0.0476502
Velocity*Pressure	-0.0489168

พิจารณาความเหมาะสมของแบบจำลองการถดถอย หรือ R-sq มีค่า 86.20 % ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ตัวแบบถดถอยนี้มีความน่าเชื่อถือเพียงพอในการพยากรณ์ค่าผลตอบ จากผลการทดลองพบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง คือ แรงกำหนด และความเร็วในการขึ้นรูป แต่ค่า P-value ของอันตรกิริยาระหว่างแรงกำหนดกับความเร็วในการขึ้นรูป มีค่าเท่ากับ 0.055 ซึ่งค่อนข้างมีผลอย่างมีนัยสำคัญ (Marginal Significant) หรือมีผลต่อตัวแปรตอบสนองเมื่อใช้ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10 จึงสามารถอนุมานได้ว่า อันตรกิริยาดังกล่าวมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง และจะนำมาพิจารณาด้วยเช่นกัน โดยสามารถแสดงแผนภาพผลของปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองที่ระดับการทดลองต่าง ๆ ได้ดังภาพที่ 6.8 และ 6.9 ตามลำดับ



ภาพที่ 6.8 ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองจากข้อบกพร่องครีบก้น



ภาพที่ 6.9 ผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองจากข้อบกพร่องครีบก้น

จากภาพที่ 6.8 และ 6.9 โดยจะพิจารณาเฉพาะอันตรกิริยาและปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองคือ สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องครีบก้น พบว่า เมื่อใช้แรงกำหนด และความเร็วในการขึ้นรูปน้อย จะทำให้เกิดข้อบกพร่องครีบก้นมาก เนื่องจากระหว่างการขึ้นรูปเมื่อใช้ความเร็วและแรงกดน้อยเกินไป ชิ้นงานที่นำมาขึ้นรูปจะเคลื่อนที่ผ่านแม่พิมพ์ได้ช้าลง และเกิดแรงเสียดทานระหว่างแม่พิมพ์มากขึ้น ทำให้เกิดข้อบกพร่องครีบก้นได้

6.5.2 กรณีสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว

การวิเคราะห์ผลการทดลอง กรณีสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว ซึ่งได้ทำการแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey ได้ผลดังนี้

Response Surface Regression: STD F&T versus Force, Velocity, Pressure

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for STD F&T

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.000000	0.12579	-0.000	1.000
Force	0.407959	0.07703	5.296	0.003
Velocity	0.418099	0.07703	5.428	0.003
Pressure	0.028310	0.07703	0.368	0.728
Force*Force	0.135635	0.11339	1.196	0.285
Velocity*Velocity	0.155914	0.11339	1.375	0.228
Pressure*Pressure	0.388734	0.11339	3.428	0.019
Force*Velocity	0.291549	0.10894	2.676	0.044
Force*Pressure	0.018171	0.10894	0.167	0.874
Velocity*Pressure	0.038450	0.10894	0.353	0.739

S = 0.217877 PRESS = 3.79762
R-Sq = 94.03% R-Sq(pred) = 4.41% R-Sq(adj) = 83.27%

Analysis of Variance for STD F&T

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	3.73542	3.73542	0.41505	8.74	0.014
Linear	3	2.73631	2.73631	0.91210	19.21	0.004
Force	1	1.33145	1.33145	1.33145	28.05	0.003
Velocity	1	1.39845	1.39845	1.39845	29.46	0.003
Pressure	1	0.00641	0.00641	0.00641	0.14	0.728
Square	3	0.65187	0.65187	0.21729	4.58	0.067
Force*Force	1	0.03493	0.06793	0.06793	1.43	0.285
Velocity*Velocity	1	0.05898	0.08976	0.08976	1.89	0.228
Pressure*Pressure	1	0.55796	0.55796	0.55796	11.75	0.019
Interaction	3	0.34724	0.34724	0.11575	2.44	0.180

Force*Velocity	1	0.34000	0.34000	0.34000	7.16	0.044
Force*Pressure	1	0.00132	0.00132	0.00132	0.03	0.874
Velocity*Pressure	1	0.00591	0.00591	0.00591	0.12	0.739
Residual Error	5	0.23735	0.23735	0.04747		
Lack-of-Fit	3	0.23735	0.23735	0.07912	*	*
Pure Error	2	0.00000	0.00000	0.00000		
Total	14	3.97277				

Unusual Observations for STD F&T

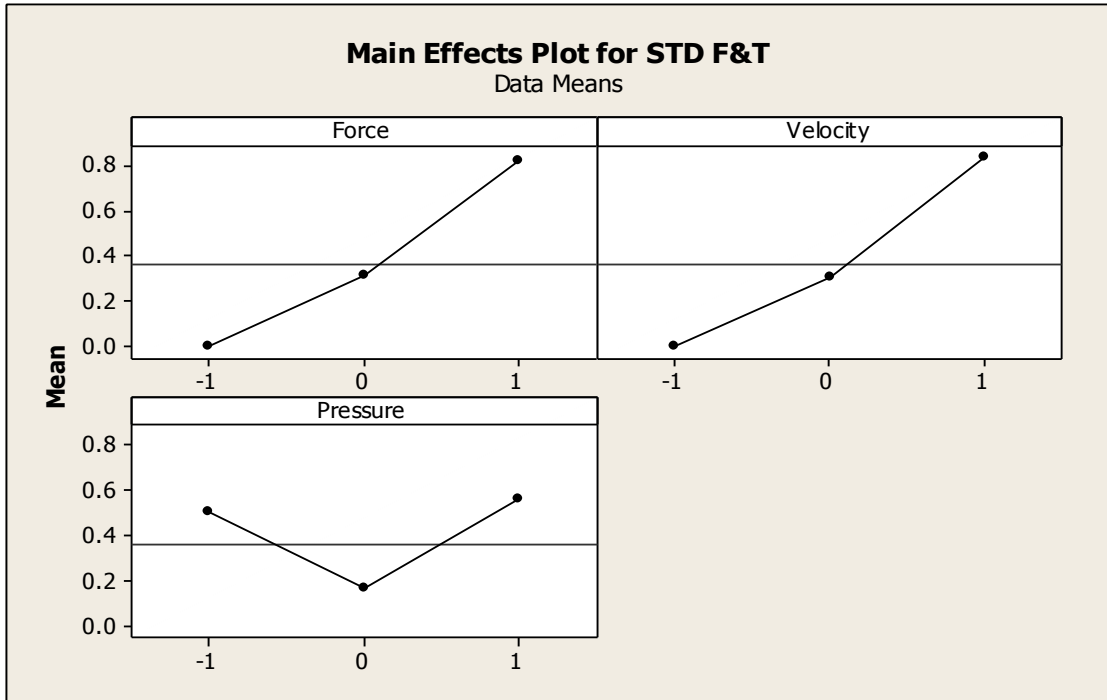
ObsStdOrder	STD F&T	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
8	4	1.166	1.409	0.189	-0.243
9	1	0.000	-0.243	0.189	0.243

R denotes an observation with a large standardized residual.

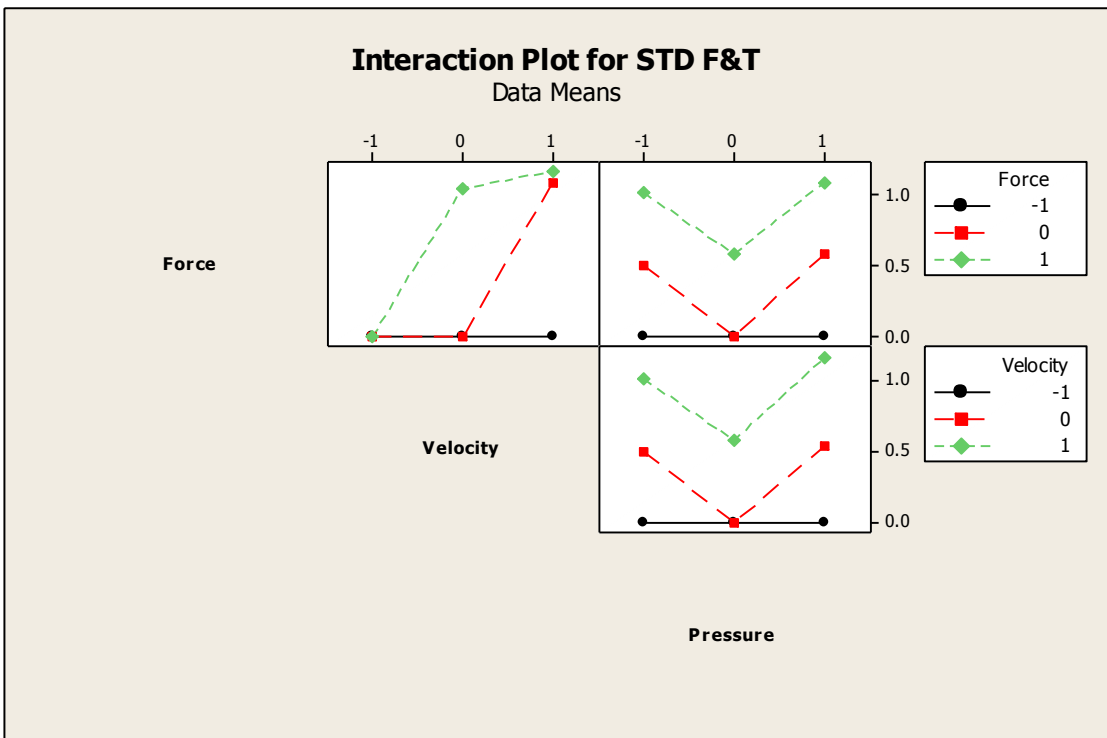
Estimated Regression Coefficients for STD F&T using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-1.66533E-16
Force	0.407959
Velocity	0.418099
Pressure	0.0283105
Force*Force	0.135635
Velocity*Velocity	0.155914
Pressure*Pressure	0.388734
Force*Velocity	0.291549
Force*Pressure	0.0181710
Velocity*Pressure	0.0384500

พิจารณาความเหมาะสมของแบบจำลองการถดถอย หรือ R-sq มีค่า 94.03% ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ตัวแบบถดถอยนี้มีความน่าเชื่อถือเพียงพอในการพยากรณ์ค่าผลตอบ จากผลการทดลอง พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง คือ อันตรกิริยาระหว่างแรงกำหนดและความเร็วในการขึ้นรูป และปัจจัยความดันลมคู่ขนานยกกำลังสอง และปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง คือ แรงกำหนดและความเร็วในการขึ้นรูป โดยสามารถแสดงแผนภาพผลของปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองที่ระดับการทดลองต่าง ๆ ได้ดังภาพที่ 6.10 และ 6.11 ตามลำดับ



ภาพที่ 6.10 ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองจากข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว



ภาพที่ 6.11 ผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองจากข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว

จากภาพที่ 6.10 และ 6.11 โดยจะพิจารณาเฉพาะอันตรายกิริยาและปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองคือ สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว พบว่า เมื่อใช้แรงกำหนดและความเร็วในการขึ้นรูปมาก จะทำให้เกิดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวมาก เนื่องจาก การใช้แรงกำหนดและความเร็วในการขึ้นรูปมากเกินไป ทำให้ชิ้นงานมีความลึกที่ไม่ตรงตามพิมพ์เขียว และทำให้เกิดชิ้นงานเสียที่ต้องนำไปกำจัดทิ้ง (Scrap) จากปัญหาชิ้นงานฉีกขาดหรือแตกที่บริเวณก้น (bottom) เพราะถูก 펀ช์ (Punch) ดันจนฉีกขาด ซึ่งระดับที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองคือ การใช้แรงกำหนดที่ระดับ 100,000 kN ใช้ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 65 fpm และความดันลมอุทกชั้นที่ระดับ 3 kg/cm²

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองของสัดส่วนของเสียครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว สามารถสรุปได้ว่า การใช้แรงกำหนด และความเร็วในการขึ้นรูปน้อย จะทำให้เกิดข้อบกพร่องครีบก้นเนื่องจากโลหะไม่สามารถไหลตัวได้สะดวกเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างแม่พิมพ์ ในขณะที่การใช้แรงกำหนดและความเร็วในการขึ้นรูปมากเกินไป จะทำให้เกิดข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวด้านความลึก และเกิดชิ้นงานเสียที่ต้องนำไปกำจัดทิ้ง (Scrap) จากปัญหาแตกหรือฉีกขาดอีกด้วย ทำให้ระดับที่เหมาะสมระหว่างข้อบกพร่องทั้ง 2 ประเภทสวนทางกัน ดังนั้นจึงทำการหาทางเลือกที่เหมาะสม (Optimum Solution) ด้วยการใช้ตัวแปรตอบสนองเป็นต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) ซึ่งเป็นการรวมมูลค่าความสูญเสียจากข้อบกพร่องทั้ง 2 ประเภท จากต้นทุนของเสียจากชิ้นงานเสียที่สามารถแก้ไขได้ (Rework) และชิ้นงานเสียที่ต้องนำไปกำจัดทิ้ง (Scrap) ซึ่งมีเป้าหมายที่จะได้ระดับที่เหมาะสมของปัจจัย โดยทำให้เกิดต้นทุนของเสียรวมน้อยที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการประเมินต้นทุนของเสียรวม แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab 16 โดยได้ผลการทดลองดังหัวข้อ 6.5.3

6.5.3 กรณีต้นทุนของเสียรวม

การวิเคราะห์ผลการทดลอง กรณีต้นทุนของเสียรวม ได้ผลดังนี้

Response Surface Regression: defective cost versus Force, Velocity, Pressure

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for defective cost

Term	Coef	SECoef	T	P
Constant	1003.4	363.4	2.761	0.040
Force	1172.3	222.5	5.268	0.003
Velocity	1042.5	222.5	4.685	0.005
Pressure	243.0	222.5	1.092	0.325
Force*Force	529.9	327.6	1.618	0.167
Velocity*Velocity	431.5	327.6	1.317	0.245
Pressure*Pressure	512.8	327.6	1.566	0.178
Force*Velocity	836.1	314.7	2.657	0.045
Force*Pressure	667.4	314.7	2.121	0.087
Velocity*Pressure	-396.4	314.7	-1.260	0.263

S = 629.424 PRESS = 31587913
 R-Sq = 93.33% R-Sq(pred) = 0.00% R-Sq(adj) = 81.32%

Analysis of Variance for defective cost

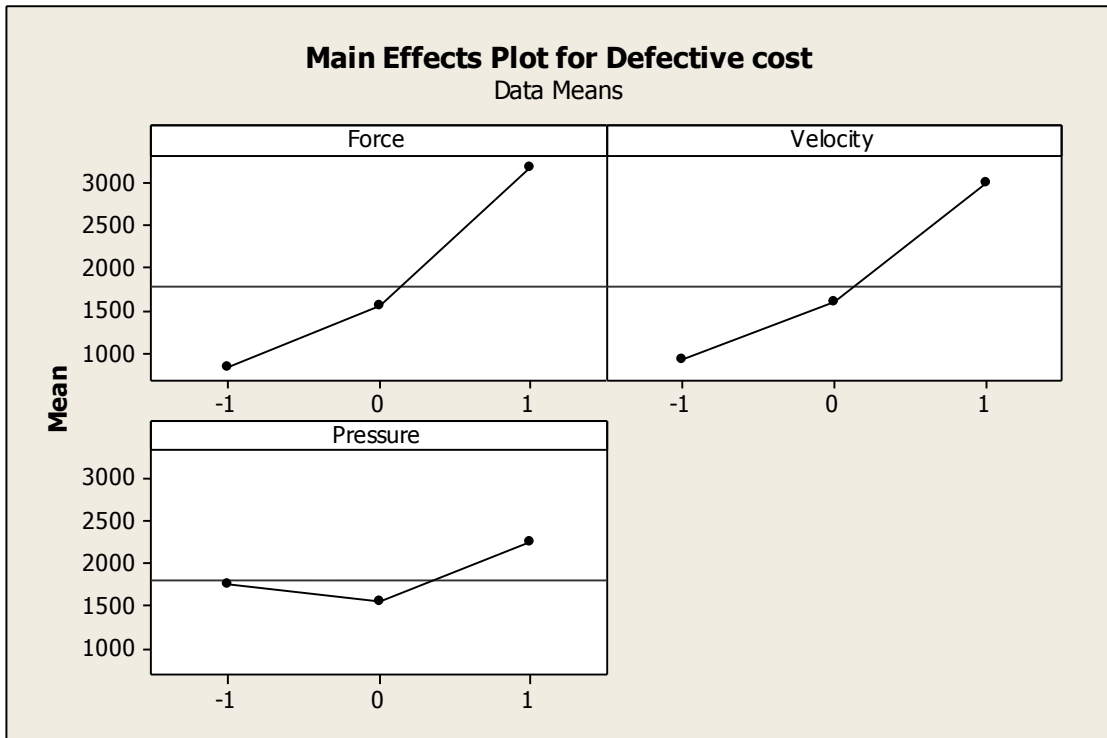
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	27708714	27708714	3078746	7.77	0.018
Linear	3	20161588	20161588	6720529	16.96	0.005
Force	1	10994787	10994787	10994787	27.75	0.003
Velocity	1	8694562	8694562	8694562	21.95	0.005
Pressure	1	472239	472239	472239	1.19	0.325
Square	3	2340545	2340545	780182	1.97	0.237
Force*Force	1	798514	1036911	1036911	2.62	0.167
Velocity*Velocity	1	571038	687623	687623	1.74	0.245
Pressure*Pressure	1	970993	970993	970993	2.45	0.178
Interaction	3	5206582	5206582	1735527	4.38	0.073
Force*Velocity	1	2796123	2796123	2796123	7.06	0.045
Force*Pressure	1	1781789	1781789	1781789	4.50	0.087
Velocity*Pressure	1	628670	628670	628670	1.59	0.263
Residual Error	5	1980872	1980872	396174		
Lack-of-Fit	3	1973160	1973160	657720	170.57	0.006
Pure Error	2	7712	7712	3856		
Total	14	29689586				

Estimated Regression Coefficients for defective cost using data in uncoded units

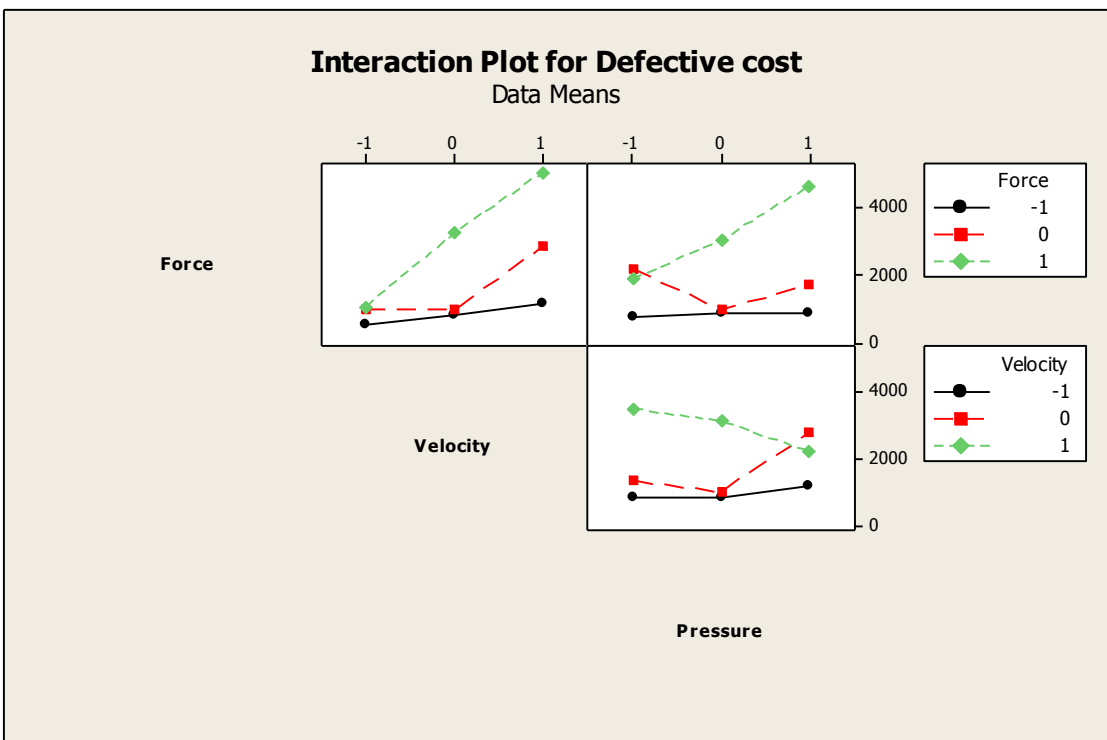
Term	Coef
Constant	1003.35
Force	1172.33
Velocity	1042.51
Pressure	242.961
Force*Force	529.934
Velocity*Velocity	431.545
Pressure*Pressure	512.813
Force*Velocity	836.081
Force*Pressure	667.418
Velocity*Pressure	-396.443

พิจารณาความเหมาะสมของแบบจำลองการถดถอย หรือ R-sq มีค่า 93.33% ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ตัวแบบถดถอยนี้มีความน่าเชื่อถือเพียงพอในการพยากรณ์ค่าผลตอบ จากผลการทดลอง พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 อันตรกิริยาที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง คือ แรงกำหนด กับความเร็วในการขึ้นรูป แต่อันตรกิริยาของ แรงกำหนด กับความดันลมکشชั้น มีค่าP-value เท่ากับ 0.087 ซึ่งค่อนข้างมีผลอย่างมีนัยสำคัญ (Marginal Significant) หรือมีผลต่อตัวแปรตอบสนองเมื่อใช้ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10 ผู้วิจัยจึงสรุปได้ว่า อันตรกิริยาดังกล่าวมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง คือ แรงกำหนด และความเร็วในการขึ้นรูป ซึ่งสามารถแสดงแผนภาพผลของปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองที่ระดับการทดลองต่าง ๆ ได้ดังภาพที่ 6.12 และ 6.13



ภาพที่ 6.12 ผลปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองจากต้นทุนของเสียรวม



ภาพที่ 6.13 ผลอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองจากต้นทุนของเสียรวม

สามารถสรุปผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองทั้ง 3 ประเภท คือ สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องครีบยื่น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว ซึ่งทำการแปลงค่าด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey และต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) จากข้อบกพร่องทั้ง 2 ประเภทได้ดังตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 สรุปปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองทั้ง 3 ประเภท

ประเภทของตัวแปรตอบสนอง	ปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองและค่า P-Value	อันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองและค่า P-value
สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องครีบยื่น	1.แรงกำหนด(0.025) 2.ความเร็วในการขึ้นรูป (0.025)	แรงกำหนดและความเร็ว (0.055)
สัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว	1.แรงกำหนด(0.003) 2.ความเร็วในการขึ้นรูป (0.003)	1.ปัจจัยของความดันยกกำลังสอง (0.019) 2.แรงกำหนดและความเร็ว(0.044)
ต้นทุนของเสียรวม	1.แรงกำหนด(0.003) 2.ความเร็วในการขึ้นรูป (0.005)	1.แรงกำหนดและความเร็ว (0.045) 2.แรงกำหนดและความดัน (0.087)

6.6 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ สามารถทำได้โดยการใช้โปรแกรม Minitab 16 ด้วยฟังก์ชัน Response Optimizer ซึ่งจะแสดงระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย และสามารถหาตัวแบบถดถอย (Regression Model) โดยการนำค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient) ของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ มาเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับตัวแปรตอบสนอง จากการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองของปัจจัยนำเข้า ทำให้สามารถหาตัวแบบถดถอยได้ดังนี้

Response Surface Regression: defective cost versus Force, Velocity, Pressure

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for defective cost

Term	Coef	SECoef	T	P
Constant	1003.4	363.4	2.761	0.040
Force	1172.3	222.5	5.268	0.003
Velocity	1042.5	222.5	4.685	0.005
Pressure	243.0	222.5	1.092	0.325
Force*Force	529.9	327.6	1.618	0.167
Velocity*Velocity	431.5	327.6	1.317	0.245
Pressure*Pressure	512.8	327.6	1.566	0.178
Force*Velocity	836.1	314.7	2.657	0.045
Force*Pressure	667.4	314.7	2.121	0.087
Velocity*Pressure	-396.4	314.7	-1.260	0.263

S = 629.424 PRESS = 31587913
 R-Sq = 93.33% R-Sq(pred) = 0.00% R-Sq(adj) = 81.32%

Analysis of Variance for defective cost

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	27708714	27708714	3078746	7.77	0.018
Linear	3	20161588	20161588	6720529	16.96	0.005
Force	1	10994787	10994787	10994787	27.75	0.003
Velocity	1	8694562	8694562	8694562	21.95	0.005
Pressure	1	472239	472239	472239	1.19	0.325
Square	3	2340545	2340545	780182	1.97	0.237
Force*Force	1	798514	1036911	1036911	2.62	0.167
Velocity*Velocity	1	571038	687623	687623	1.74	0.245
Pressure*Pressure	1	970993	970993	970993	2.45	0.178
Interaction	3	5206582	5206582	1735527	4.38	0.073
Force*Velocity	1	2796123	2796123	2796123	7.06	0.045
Force*Pressure	1	1781789	1781789	1781789	4.50	0.087
Velocity*Pressure	1	628670	628670	628670	1.59	0.263
Residual Error	5	1980872	1980872	396174		
Lack-of-Fit	3	1973160	1973160	657720	170.57	0.006
Pure Error	2	7712	7712	3856		
Total	14	29689586				

Estimated Regression Coefficients for defective cost using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	1003.35
Force	1172.33
Velocity	1042.51
Pressure	242.961
Force*Force	529.934
Velocity*Velocity	431.545
Pressure*Pressure	512.813
Force*Velocity	836.081
Force*Pressure	667.418
Velocity*Pressure	-396.443

$$\begin{aligned} \text{Total Defective Cost} = & 1003.35 + 1172.33 \text{ Force} + 1042.51 \text{ Velocity} + 242.961 \\ & \text{Pressure} + 836.081 \text{ Force} * \text{Velocity} - 396.443 \text{ Force} * \text{Pressure} \end{aligned}$$

โดยตัวแบบถดถอยนี้มีค่า R^2_{adj} เท่ากับ 93.33 % ซึ่งเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ (มากกว่า 80 %) และพิจารณาค่า P-Value ของตัวแบบถดถอย พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.018 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 ทำให้สามารถสรุปได้ว่าเทอมของตัวแปรอิสระในตัวแบบถดถอยสามารถอธิบายความผันแปรที่เกิดขึ้นจากตัวแปรตอบสนองได้

ในการหาค่าตัวแปรตอบสนองที่เหมาะสม ทำได้โดยการหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยต่าง ๆ แล้วนำไปแทนค่าในสมการของตัวแบบถดถอย ทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองที่น้อยที่สุด หรือได้ค่าต้นทุนของเสียรวมมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ผลด้วยฟังก์ชัน Response Optimization ได้ผลดังนี้

Response Optimization

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Defective co	Minimum	537.61	537.61	5064.21	1	1

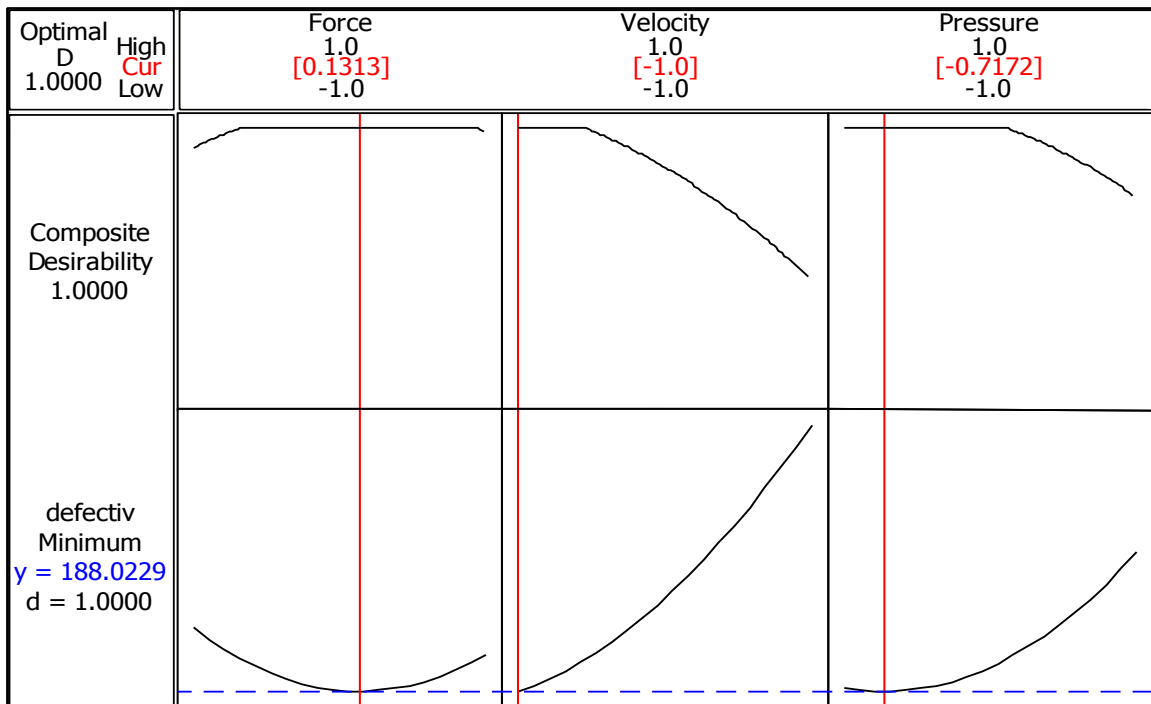
Global Solution

Force	=	0.131313
Velocity	=	-1
Pressure	=	-0.717172

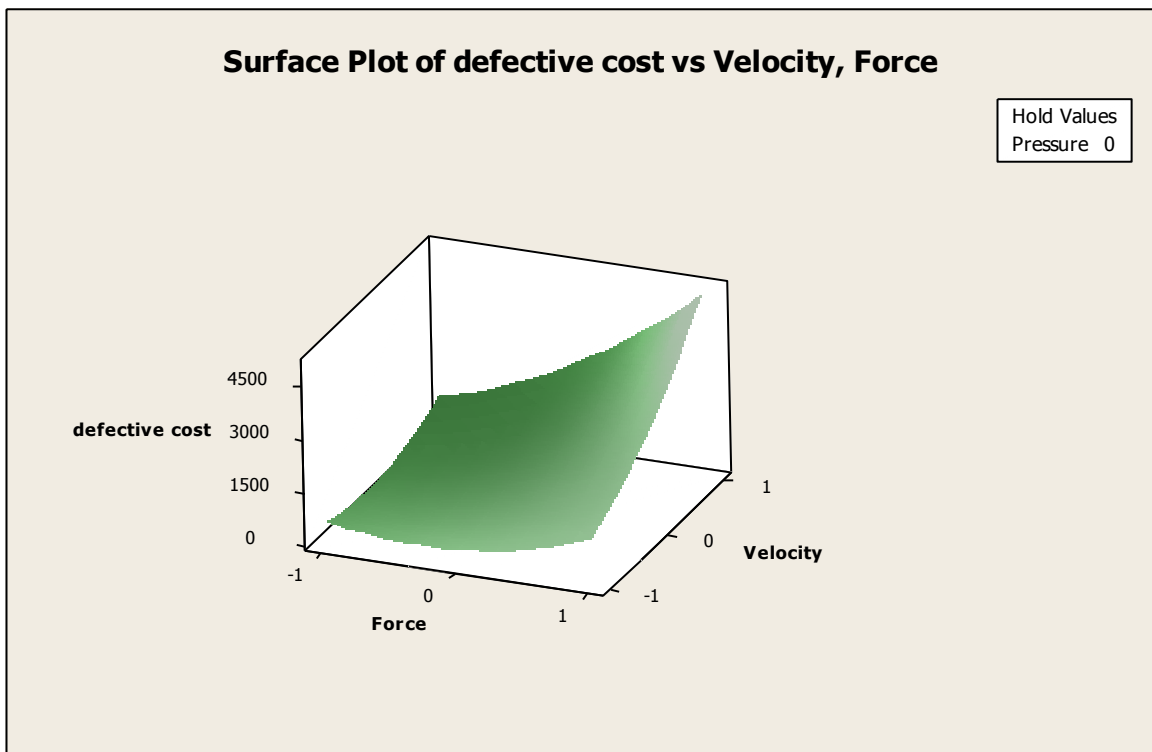
Predicted Responses

Defective co = 188.023 , desirability = 1.000000

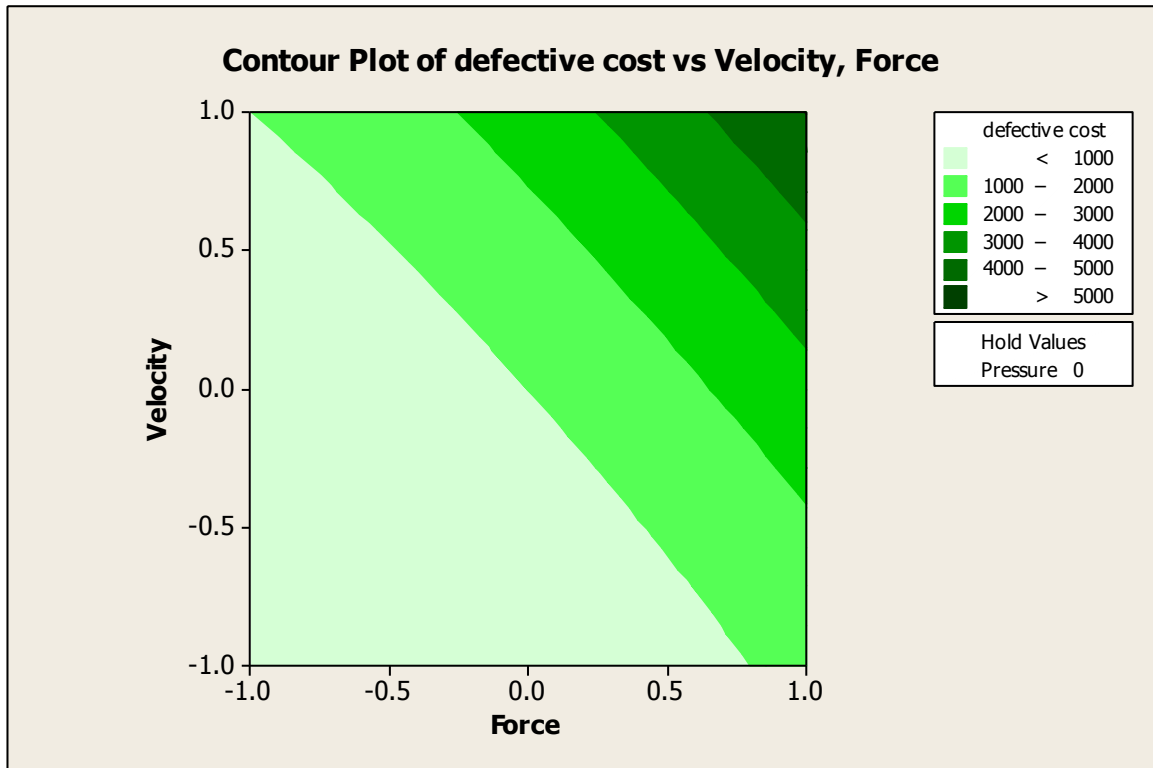
Composite Desirability = 1.0



ภาพที่ 6.14 Optimization Plot จากการวิเคราะห์ผลด้วย โปรแกรม Minitab

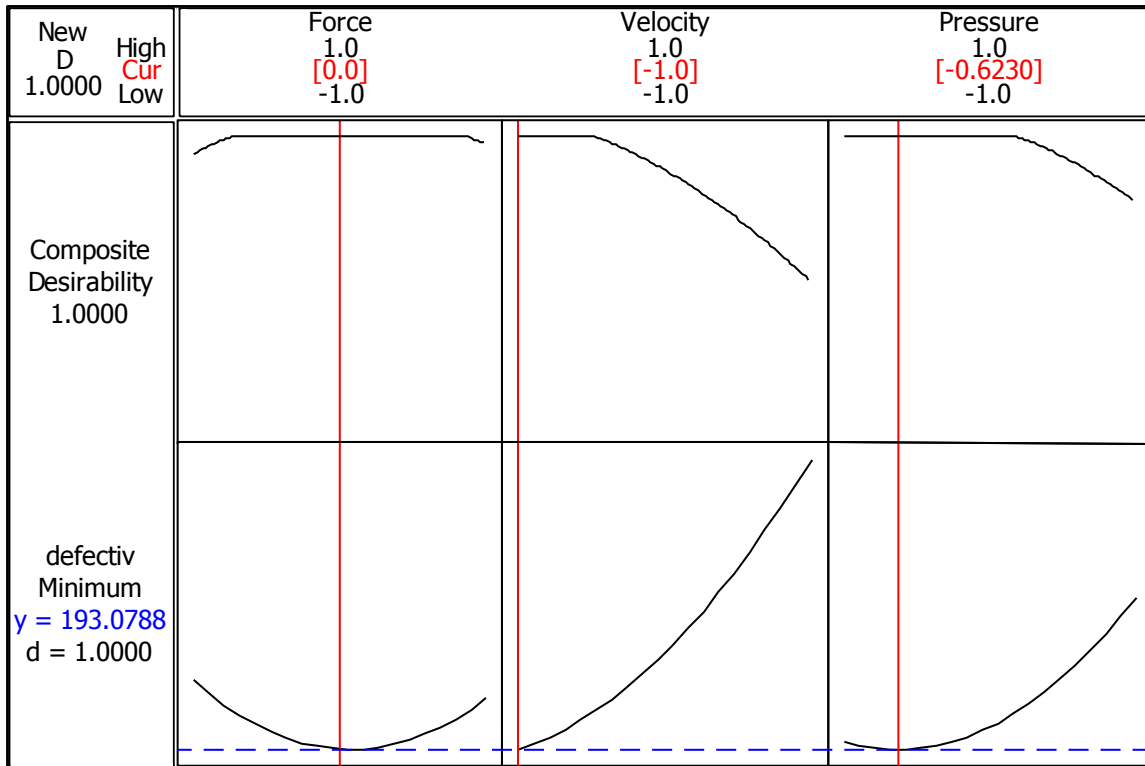


ภาพที่ 6.15 พื้นผิวผลตอบแทนของอิทธิพลร่วมระหว่างแรงกำหนดและความเร็วในการขึ้นรูป



ภาพที่ 6.16 กราฟพื้นที่ระหว่างแรงกำหนดและความเร็วในการขึ้นรูป

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาค่าตัวแปรตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด พบว่า ปัจจัยแรงกำหนดที่ระดับ 0.1313 ไม่สามารถดำเนินงานได้ เนื่องจากเครื่องจักรที่ใช้ในสายการผลิตโครงหลังคาเหล็กมี 3 ขนาด คือ 10,000 ตัน (ระดับ -1), 12,000 ตัน (ระดับ 0) และ 14,000 ตัน (ระดับ +1) จึงทำการเลือกขนาดเครื่องจักรที่มีระดับใกล้เคียงกับค่าที่วิเคราะห์ได้มากที่สุดคือ ระดับ 0 หรือ เครื่องจักรขนาด 12,000 ตัน แล้วทำการปรับค่าปัจจัยอื่น ๆ ให้มีค่าตัวแปรตอบสนอง คือต้นทุนของเสียรวมให้น้อยที่สุด ได้ผลดังภาพที่ 6.17



ภาพที่ 6.17 Optimization Plot จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab

จากภาพที่ 6.17 สามารถแสดงระดับของปัจจัยที่ทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองคือ ต้นทุนของเสียรวม (Total Defective Cost) มีค่าน้อยที่สุดหลังจากการปรับตั้งค่าเครื่องจักรในระดับที่เป็นไปได้ สามารถแสดงได้ในตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมทั้ง 3 ปัจจัย

ปัจจัย	ระดับที่เหมาะสมจากการ Optimize	ค่าที่ปรับตั้งกับเครื่องจักร	หน่วย
แรงกำหนด (Force)	0	120000	kN
ความเร็วในการขึ้นรูป (Velocity)	-1	65	fpm
ความดันลมกู่ชั้น (Pressure)	-0.623	2.4	kg/cm ²

6.7 การออกแบบการทดลองเพิ่มของปัจจัยการทดลองแม่พิมพ์

เมื่อได้ระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมทั้ง 3 ปัจจัยแล้ว ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบปัจจัยสุดท้าย คือ การทดลองแม่พิมพ์ร่วมกับการปรับตั้งค่าเครื่องจักร โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าปรับตั้งเดิม ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดไว้ในคู่มือการปฏิบัติงาน (WI) ของโรงงาน และค่าปรับตั้งใหม่จากตารางที่ 6.7 ซึ่งได้จากการวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมด้วยการออกแบบการทดลอง ซึ่งการออกแบบการทดลองเพิ่มของปัจจัยการทดลองแม่พิมพ์ (Try out) สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่นำมาทำการทดลอง

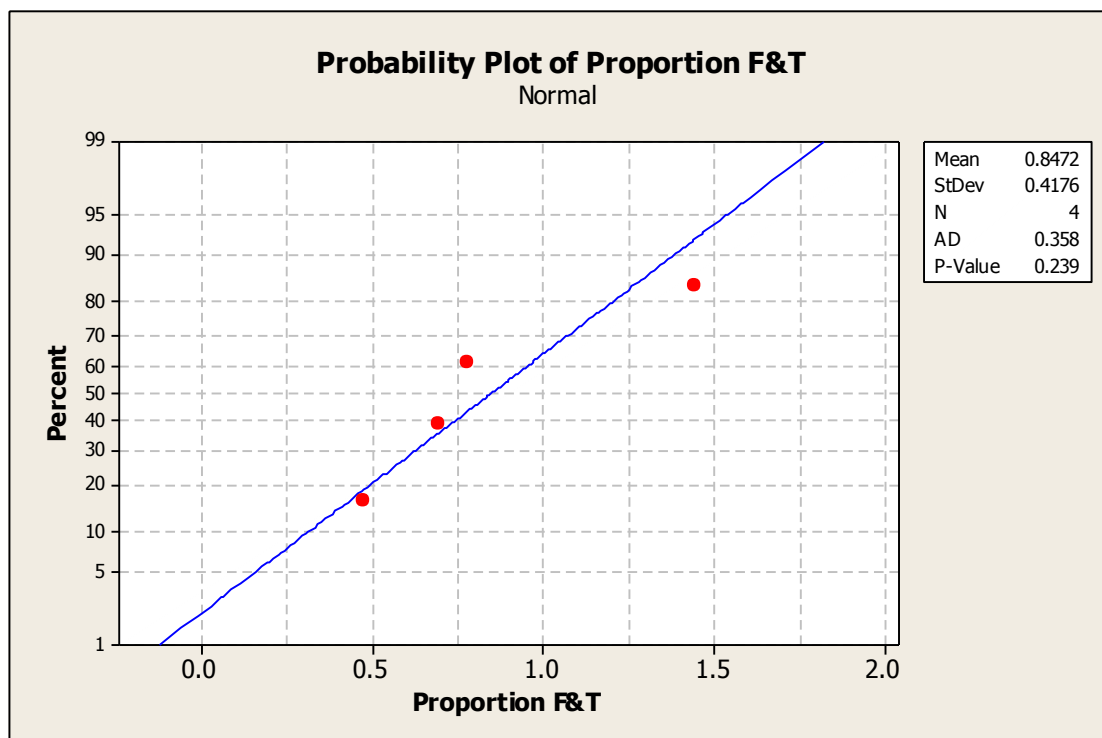
ปัจจัย	ระดับต่ำ (-1)	ระดับสูง (+1)
ทดลองแม่พิมพ์(Try out)	ไม่ทดลองแม่พิมพ์	ทดลองแม่พิมพ์
ค่าปรับตั้งเครื่องจักร (Setting)	แบบเดิม	แบบใหม่

ทำการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab 16 ในการสร้างเมทริกซ์การออกแบบ ซึ่งจะมีลำดับการทดลองแบบสุ่ม (Randomization) เพื่อให้เกิดความมีอิสระต่อกัน ซึ่งหลังจากการทำการทดลองจะต้องนำค่าสัดส่วนของเสียที่ได้ไปแปลงค่าด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey (อ้างอิงจากหัวข้อที่ 5.6 ตัวแปรตอบสนอง และการแปลงค่า) โดยใช้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 15 ตัวอย่างในแต่ละการทดลอง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 6.9

ตารางที่ 6.9 ผลการทดลองและการแปลงข้อมูลด้วยวิธีมาตรฐานและวิธีของ Freeman และ Turkey

Run Order	Std Order	CenterPt	Blocks	Try out	Setting	\hat{p}	FreemanandTurkey's Method
4	1	1	1	1	1	0.192	0.476
1	2	1	1	-1	-1	1.000	1.444
2	3	1	1	1	-1	0.491	0.778
3	4	1	1	-1	1	0.400	0.691

หลังจากทำการทดลองและแปลงค่าสัดส่วนของเสียด้วยวิธีของ Freeman และTurkey แล้ว จะต้องทำการตรวจสอบว่าข้อมูลที่ได้มีการกระจายแบบปกติตามสมมติฐานหรือไม่ก่อนจะนำมาวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งสามารถทดสอบได้ดังภาพที่ 6.18



ภาพที่ 6.18 การทดสอบการแจกแจงปกติของผลการทดลองที่แปลงค่าด้วยวิธีของ Freeman และTurkey

จากภาพที่ 6.18 พบว่า สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องทั้ง 2 ที่ได้รับการแปลงค่าด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey มีการกระจายตัวแบบปกติ และไม่แตกต่างจากแนวเส้นตรงมากนัก และมีค่า P-value เท่ากับ 0.239 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ จากนั้นจึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

Factorial Fit: Proportion F&T versus Try out, Setting

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

Term	Effect	Coef
Constant		0.8472
Try out	-0.4405	-0.2202
Setting	-0.5275	-0.2637
Try out*Setting	0.2255	0.1127

S = * PRESS = *

Analysis of Variance for Proportion F&T (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	0.47230	0.47230	0.23615	*	*
Try out	1	0.19404	0.19404	0.19404	*	*
Setting	1	0.27826	0.27826	0.27826	*	*
2-Way Interactions	1	0.05085	0.05085	0.05085	*	*
Try out*Setting	1	0.05085	0.05085	0.05085	*	*
Residual Error	0	*	*	*		
Total	3	0.52315				

Alias Structure

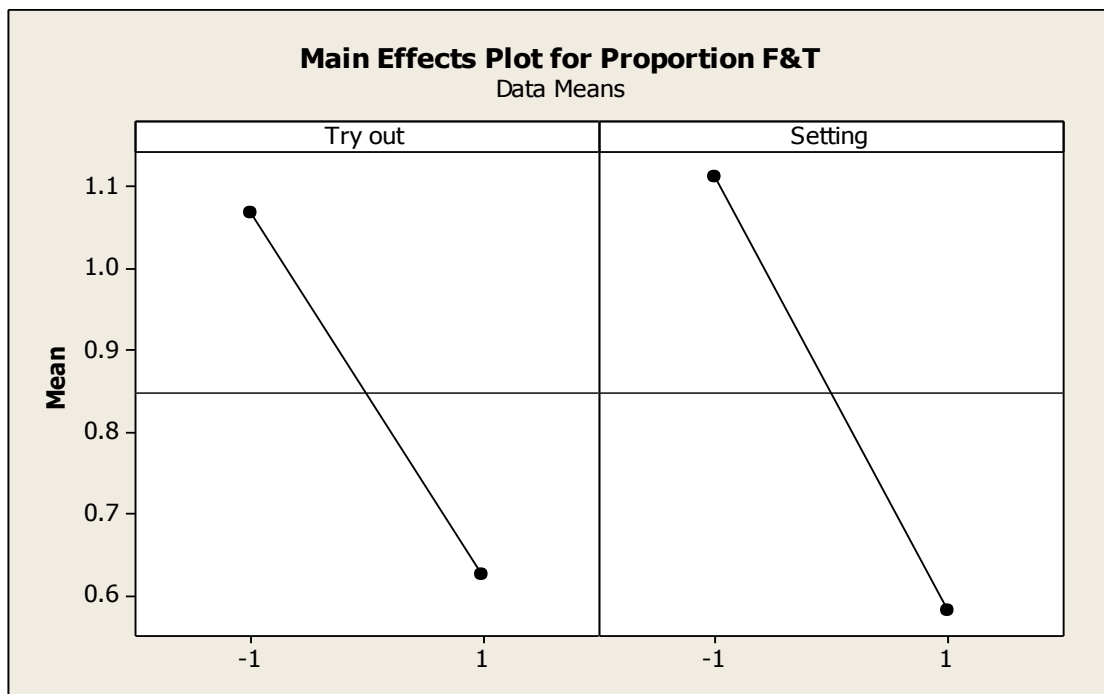
I

Try out

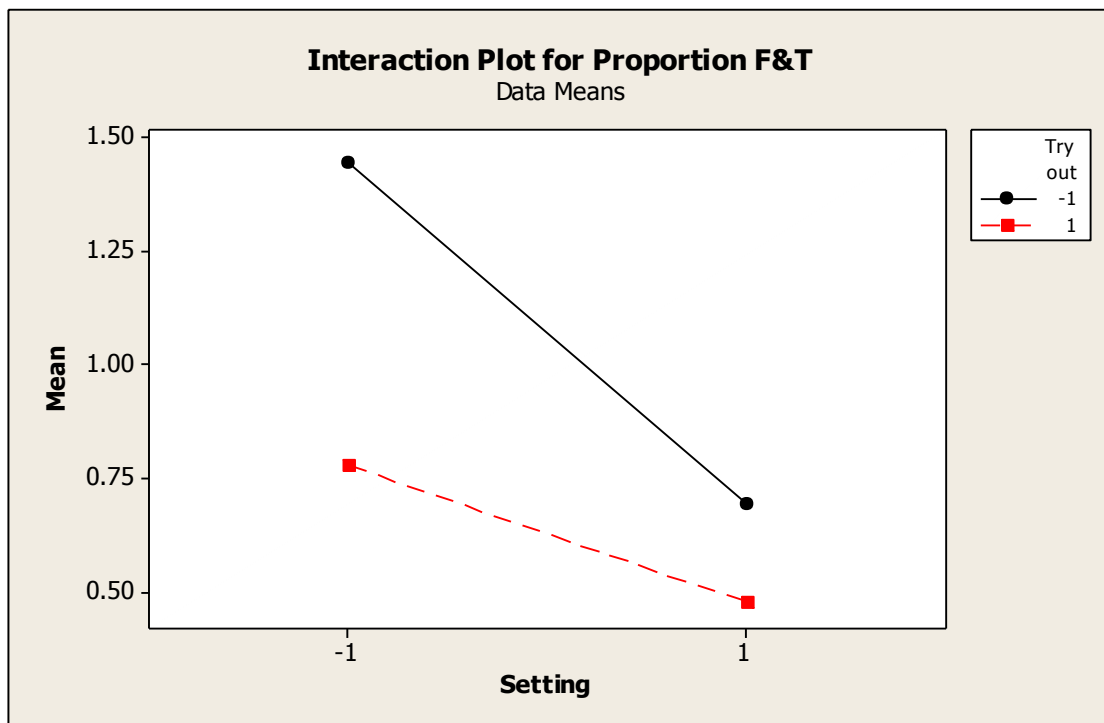
Setting

Try out*Setting

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



ภาพที่ 6.19 ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองสำหรับปัจจัยการทดลองแม่พิมพ์



ภาพที่ 6.20 ผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองสำหรับปัจจัยการทดลองแม่พิมพ์

จากผลการทดลองดังภาพที่ 6.19 และ 6.20 พบว่า การปรับตั้งค่าแบบใหม่ (การขันอุปกรณ์ ประกอบแม่พิมพ์ให้แน่น การใช้แรงกำหนด 120,000 kN การใช้ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 65 fpm และความดันลม쿠ซันที่ 2.4 kg/cm^2) ร่วมกับการทดลองแม่พิมพ์ก่อนการขึ้นรูปจริง จะทำให้มีสัดส่วนของเสียเกิดขึ้นน้อยที่สุด

การใช้ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 65 fpm เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ความเร็วในการผลิตปัจจุบันที่ 77 fpm พบว่า จะใช้เวลาในการขึ้นรูปมากขึ้น 1 วินาทีต่อชิ้นงาน ซึ่งเมื่อเทียบกับการผลิตต่อ 1 ลอตที่มากที่สุด คือ 150 ชิ้นต่อลอต พบว่า จะใช้เวลาในการผลิตนานขึ้น 2 นาที 30 วินาที ซึ่งในการติดตั้งแม่พิมพ์จะใช้เวลาน้อย 1 ชั่วโมง (รวมระยะเวลาเพื่อสำหรับการติดตั้งแม่พิมพ์ผิดพลาด) ทำให้เวลาที่ใช้ในการผลิตที่เพิ่มขึ้น 2 นาที 30 วินาที ไม่ส่งผลกระทบต่อผลิตภาพ (Productivity) ของโรงงาน

6.8 สรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการเริ่มจาก การนำผลการทดลองในบทที่ 5 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ปัจจัยคุณลักษณะ 2 ปัจจัย ทำให้ได้ระดับที่เหมาะสมซึ่งทำให้สัดส่วนของเสียครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวน้อยที่สุด คือ การวางแผนเหล็กแบบตรง และการขันอุปกรณ์ประกอบแม่พิมพ์แน่นมาก มาทำการทดลองด้วยปัจจัยผันแปร 3 ปัจจัย คือ แรงกำหนด (Nominal Force), ความเร็วในการขึ้นรูป และความดันลม쿠ซัน โดยได้เลือกทำการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ (Response surface design) แบบ Box-Behnken Design ซึ่งมีตัวแปรตอบสนอง คือ สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องทั้ง 2 ชนิด โดยต้องนำมาแปลงค่าด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey ก่อน และต้นทุนของเสียรวม แล้วนำมาตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ว่าเป็นไปตามเงื่อนไขการออกแบบการทดลอง คือ NID ($0, \sigma^2$) หรือไม่ ซึ่งผลการตรวจสอบพบว่าตัวแปรตอบสนองทั้ง 3 ชนิด เป็นไปตามเงื่อนไขทั้งหมด จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลเพื่อหาปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองได้แก่ สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว ให้มีค่าน้อยที่สุด จาก การวิเคราะห์ผลการทดลอง พบว่า การใช้แรงกำหนดและความเร็วในการขึ้นรูปน้อย จะทำให้เกิด

ข้อบกพร่องครีบก้น เนื่องจากโลหะไม่สามารถไหลตัวได้สะดวก ในขณะที่การใช้แรงกำหนดและความเร็วในการขึ้นรูปมากเกินไป จะทำให้เกิดข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวด้านความลึกหรือชิ้นงานแตกได้ จึงเลือกใช้ตัวแปรตอบสนองเป็นต้นทุนของเสียรวม ซึ่งสามารถรวมมูลค่าความสูญเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องทั้ง 2 ชนิดไว้ด้วยกัน โดยความสูญเสียที่เกิดขึ้นแบ่งเป็นมูลค่าความสูญเสียจากการซ่อมชิ้นงาน (Rework) และมูลค่าความสูญเสียจากการกำจัดชิ้นงานทิ้ง (Scrap) ซึ่งผู้วิจัยมีเป้าหมายที่จะลดต้นทุนของเสียให้เหลือน้อยที่สุด จากนั้นทำการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองด้วยวิธี Response optimizer จากโปรแกรม Minitab 16 ซึ่งได้ระดับที่เหมาะสมคือ แรงกำหนดที่ 120,000 kN (ใช้เครื่องจักรขนาด 12,000 ตัน), ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 65 fpm และความดันลมคู่ชั้นที่ 2.4 kg/cm² ซึ่งคาดว่าทำให้เกิดต้นทุนของเสียรวมน้อยที่สุดคือ 193 บาทต่อชิ้น ถ้าระดับสุดท้ายได้ทำการทดลองปัจจัยนำเข้าที่ 6 คือ การทดลองแม่พิมพ์ร่วมกับการปรับตั้งค่าเครื่องจักรแบบเดิมและแบบใหม่ พบว่าการปรับตั้งค่าเครื่องจักรแบบใหม่ร่วมกับการทดลองแม่พิมพ์ก่อนขึ้นรูปชิ้นงานจริง ทำให้เกิดสัดส่วนของเสียที่น้อยที่สุด

บทที่ 7

ระยะการทดสอบยืนยันผล และการตรวจติดตามควบคุม (Control Phase)

ระยะการติดตามควบคุม เป็นระยะสุดท้ายในกระบวนการซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) ซึ่งเป็นการยืนยันผลสรุปจากระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ โดยทำการทดลองเป็นระยะเวลารวม 2 สัปดาห์ โดยการปรับระดับของปัจจัยนำเข้าให้ตรงกับที่ได้ทำการวิเคราะห์ไว้ เพื่อตรวจสอบว่าสัดส่วนของเสียเป็นไปตามการทดลองหรือไม่ และได้จัดทำแผนควบคุม (Control Plan) เพื่อควบคุมกระบวนการให้อยู่ในค่าควบคุม และเมื่อพบว่ากระบวนการออกนอกค่าควบคุมให้ดำเนินการตามแผนการปฏิบัติการแก้ไขเมื่อพบจุดออกนอกค่าควบคุม จากนั้นได้กำหนดมาตรฐานการปฏิบัติงานใหม่ โดยเป็นมาตรฐานการทำงานของการปรับตั้งแม่พิมพ์ และการปฏิบัติงานของพนักงาน

7.1 การทดสอบยืนยันผล

การทดสอบยืนยันผลเป็นการยืนยันผลสรุปของค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งหมดที่ได้ทำการวิเคราะห์จากระยะก่อนหน้า โดยศึกษาปริมาณสัดส่วนของเสีย หลังจากปรับปรุงปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ ดังแสดงในตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดสอบยืนยันผล

สัญลักษณ์ของปัจจัย	ปัจจัยนำเข้า	ระดับที่เหมาะสม	หน่วย
A	การทดลองแม่พิมพ์ (Try out)	ทดลองแม่พิมพ์	-
B	ขนาดแผ่นเหล็ก	วางแผ่นเหล็กแบบตรง	-
C	แรงกำหนด	120,000	kN
D	ความเร็วในการขึ้นรูป	65	fpm
F	ความแน่นในการประกอบแม่พิมพ์	ขันอุปกรณ์ประกอบแม่พิมพ์แน่นมาก	-
G	ความดันลม쿠ชชั่น	2.4	kg/cm ²

7.2 ขั้นตอนในการทดลอง

ทำการทดลองโดยการเตรียมเครื่องมือและเครื่องจักรให้พร้อม รวมถึงการแจ้งหัวหน้างานให้เข้าใจเกี่ยวกับวิธีการปรับค่าพารามิเตอร์ การขันอุปกรณ์ประกอบแม่พิมพ์ และการทดลองแม่พิมพ์ก่อนการผลิตจริง โดยมีขั้นตอนในการทดลองดังนี้

1. ทำการประกอบแม่พิมพ์ที่เครื่องจักรขนาด 12,000 ตัน โดยขันอุปกรณ์ประกอบแม่พิมพ์ เช่น สลักเกลียว สลักกำหนดตำแหน่ง น็อต และสกรูให้แน่น
2. ทำการปรับความเร็วในการขึ้นรูปให้ได้ตามค่าจากการทดลอง คือ 65 fpm
3. ทำการปรับความดันลมکشชั้นให้ได้ตามค่าจากการทดลอง คือ 2.4 kg/cm²
4. ทำการทดลองแม่พิมพ์ก่อนใช้งาน โดยการทดลองขึ้นรูปเพื่อตรวจสอบข้อบกพร่องครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว ซึ่งจะทำให้สามารถตรวจสอบการเอียงศูนย์กลาง (Misalignment) เนื่องจากการประกอบแม่พิมพ์ไม่แน่น ซึ่งเมื่อพบข้อบกพร่องจะทำการปรับเครื่องจักรใหม่อีกครั้ง
5. ทำการทดลองโดยใช้ขนาดตัวอย่างมากกว่า 94 ตัวอย่างในแต่ละล็อตซึ่งในการทดลองจะใช้จำนวนตัวอย่างแต่ละล็อตไม่เท่ากัน เพื่อให้เหมือนกับการผลิตจริง
6. ทำการตรวจสอบชิ้นงานที่ออกมาจากแม่พิมพ์ โดยการตรวจสอบครีบก้น ด้วยสายตาและตรวจสอบขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวด้วย Gauge Block และ Steel Tape
7. บันทึกผลการทดลองจนครบ 7 ชุด แล้วนำมาวิเคราะห์ผลต่อไป

7.3 ผลการทดสอบยืนยันผล และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดสอบยืนยันผลเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ซึ่งทำให้ได้ขนาดตัวอย่างทั้งหมด 850 ชิ้นงาน ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.2 ผลการทดสอบยืนยันผล

กลุ่ม ตัวอย่าง	ขนาด ตัวอย่าง (Subgroup)	จำนวนชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่อง					
		กริยายน			ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว		
		งานซ่อม (Rework)	งานทิ้ง (Scrap)	สัดส่วน ของเสีย	งานซ่อม (Rework)	งานทิ้ง (Scrap)	สัดส่วน ของเสีย
1	120	23	0	0.192	0	0	0
2	100	15	0	0.150	0	0	0
3	120	0	0	0	0	11	0.108
4	150	37	0	0.246	0	0	0
5	120	28	0	0.233	0	0	0
6	100	0	0	0	14	0	0.14
7	140	23	0	0.164	0	0	0

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการนำจำนวนของเสียที่ได้ทำเป็นสัดส่วนของเสีย ซึ่งข้อมูลที่ได้จะมีลักษณะการแจกแจงแบบทวินาม (Binomial) จากตารางที่ 7.2 พบว่า มีสัดส่วนของเสียรวม 0.18 โดยผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ที่จะควบคุมของเสียให้คงที่ ซึ่งแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้คือ แผนภูมิควบคุม p ที่มีจำนวนตัวอย่างในแต่ละลอตไม่เท่ากัน (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2553) โดยสามารถคำนวณพิกัดควบคุมของแผนภูมิได้ดังนี้

$$CL = \bar{p}$$

$$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

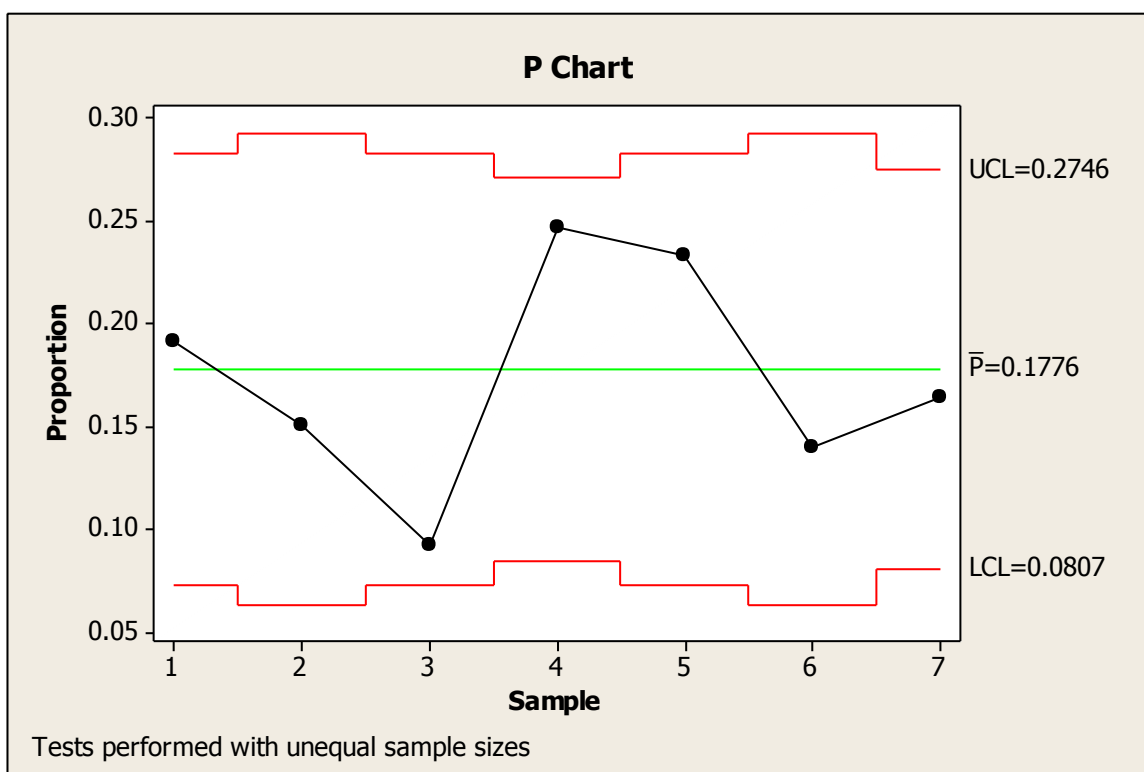
$$LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

โดยสามารถใช้แผนภูมิควบคุม p กับผลการทดลองดังตารางที่ 7.2 และสามารถคำนวณพิกัดต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$CL = 0.1776$$

$$UCL = 0.2746$$

$$LCL = 0.0807$$



ภาพที่ 7.1 แผนภูมิควบคุม p สำหรับกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น

จากตารางที่ 7.1 พบว่า กระบวนการอยู่ในควบคุม และมีสัดส่วนของเสียเท่ากับ 17.76 % ซึ่งสามารถคำนวณสัดส่วนของเสียแยกตามข้อบกพร่องได้ดังนี้

- สัดส่วนของเสียแยกตามข้อบกพร่อง

$$\begin{aligned} \text{สัดส่วนของเสียรวมของ} & & & \text{จำนวนชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องครึบย่น} \\ \text{ข้อบกพร่องครึบย่น} & = & & \frac{\text{จำนวนตัวอย่างที่เกิดข้อบกพร่องครึบย่น}}{\text{จำนวนตัวอย่างที่เกิดข้อบกพร่องครึบย่น}} \\ & = & & \frac{23+15+37+28+23}{120+100+150+120+140} = 0.2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{สัดส่วนของเสียรวม} & & & \text{จำนวนชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่อง} \\ \text{ของข้อบกพร่องขนาด} & = & & \frac{\text{ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว}}{\text{จำนวนตัวอย่างที่เกิดข้อบกพร่อง}} \\ \text{ไม่ตรงตามพิมพ์เขียว} & & & \text{ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว} \\ & = & & \frac{11+14}{120+100} = 0.11 \end{aligned}$$

สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายในการแก้ไขชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่อง และชิ้นงานที่ต้องนำไปกำจัด
ทิ้งได้ดังนี้

- ค่าใช้จ่ายในการแก้ไขชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่อง (Rework)

ข้อบกพร่องครึบย่น

$$\begin{aligned} \text{ค่าใช้จ่ายในการแก้ไขชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องจำนวน 126 ชิ้น} & = 107.5 \text{ บาท/ชิ้น} \times 126 \text{ ชิ้น} \\ \text{ที่เก็บในช่วง 2 สัปดาห์ที่ทดสอบยืนยันผล} & = 13,545 \text{ บาท} \end{aligned}$$

ข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว

$$\begin{aligned} \text{ค่าใช้จ่ายในการแก้ไขชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องจำนวน 14 ชิ้น} & = 172.5 \text{ บาท/ชิ้น} \times 14 \text{ ชิ้น} \\ \text{ที่เก็บในช่วง 2 สัปดาห์ที่ทดสอบยืนยันผล} & = 2,415 \text{ บาท} \end{aligned}$$

- ค่าใช้จ่ายในการกำจัดชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่อง (Scrap)

$$\begin{aligned} \text{ค่าใช้จ่ายในการกำจัดชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องจำนวน 11 ชิ้น} &= 372.09 \text{ บาท/ชิ้น} \times 11 \text{ ชิ้น} \\ \text{ที่เก็บในช่วง 2 สัปดาห์ที่ทดสอบยืนยันผล} & \\ &= 4,093 \text{ บาท} \end{aligned}$$

- การคำนวณต้นทุนของเสียต่อชิ้นงานที่ผลิต

เมื่อรวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดแล้วนำมาเฉลี่ยด้วยจำนวนชิ้นงานที่ตรวจสอบจะสามารถคำนวณต้นทุนของเสียต่อชิ้นงานได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนของเสียรวมต่อ} & \text{ค่าใช้จ่ายรวมในการแก้ไขและกำจัดชิ้นงาน} \\ \text{ชิ้นงานที่ผลิต} & \text{ที่เกิดข้อบกพร่องทั้ง 2 ชนิด (บาท)} \\ &= \frac{\text{จำนวนตัวอย่างที่ตรวจสอบ(ชิ้น)}}{\text{จำนวนตัวอย่างที่ตรวจสอบ(ชิ้น)}} \\ &= \frac{13545+2415+4093}{850} = 24 \text{ บาท/ชิ้น} \end{aligned}$$

และสามารถคำนวณต้นทุนของเสียต่อชิ้นงานที่ผลิตแยกตามข้อบกพร่องได้ดังนี้

ข้อบกพร่องครีบก้น

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนของเสียต่อชิ้นงาน} & \text{ค่าใช้จ่ายรวมในการแก้ไขและกำจัดชิ้นงาน} \\ \text{ที่เกิดข้อบกพร่องครีบก้น} & \text{ที่เกิดข้อบกพร่องครีบก้น (บาท)} \\ &= \frac{\text{จำนวนตัวอย่างที่ตรวจสอบ(ชิ้น)}}{\text{จำนวนตัวอย่างที่ตรวจสอบ(ชิ้น)}} \\ &= \frac{13545}{850} = 15.94 \text{ บาท/ชิ้น} \end{aligned}$$

ข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนของเสียต่อชิ้นงาน} &= \frac{\text{ค่าใช้จ่ายรวมในการแก้ไขและกำจัดชิ้นงาน}}{\text{ที่เกิดข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว (บาท)}} \\ \text{ที่เกิดข้อบกพร่องขนาดไม่} &= \frac{\text{จำนวนตัวอย่างที่ตรวจสอบ (ชิ้น)}}{\text{ตรงตามพิมพ์เขียว}} \\ &= \frac{2415+4093}{850} = 7.66 \text{ บาท/ชิ้น} \end{aligned}$$

สามารถสรุปค่าใช้จ่ายและสัดส่วนของเสียที่ลดได้แยกตามข้อบกพร่องได้ดังตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.3 การเปรียบเทียบก่อน-หลังปรับปรุงกระบวนการ
ในขั้นตอนการยืนยันผลการทดลอง

ข้อมูลที่พิจารณา	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	% ที่ลดลง
สัดส่วนของเสียจาก ข้อบกพร่องครีบยื่น	71.80 %	20 %	72.15 %
สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่อง ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว	77.11 %	11 %	85.74 %
ต้นทุนของเสียต่อชิ้นงานที่ผลิต ของข้อบกพร่องครีบยื่น	24.69 บาท ต่อชิ้นที่ผลิต	15.94 บาท ต่อชิ้นที่ผลิต	35.44 %
ต้นทุนของเสียต่อชิ้นงานที่ผลิต ของข้อบกพร่องขนาดไม่ตรง ตามพิมพ์เขียว	23.97 บาท ต่อชิ้นที่ผลิต	7.66 บาท ต่อชิ้นที่ผลิต	68.04 %

7.4 การคำนวณมูลค่าความสูญเสียที่ลดได้

จากยอดการผลิตตั้งแต่เดือน มกราคม-ตุลาคม 2554 มีการผลิตเท่ากับ 12,798 ชิ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบกับยอดการผลิตเดิม จะทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการแก้ไขข้อบกพร่องและกำจัดชิ้นงานได้ $12,798 \text{ ชิ้น} \times 24 \text{ บาท}$ (ต้นทุนของเสียรวมต่อชิ้นงานที่ผลิตของ 2 ข้อบกพร่อง) = 307,152 บาทต่อการผลิต 12,798 ชิ้น (ต่อ 10 เดือน) หรือเท่ากับ 554,562 บาทต่อปี

คิดเป็นมูลค่าความสูญเสียต่อชิ้นงานที่ผลิตของข้อบกพร่องครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวได้เท่ากับ 15.94 และ 7.66 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตแบบเดิม ซึ่งทำให้เกิดมูลค่าความสูญเสียต่อชิ้นงานเท่ากับ 24.69 และ 23.97 บาท หรือมีค่าลดลง 35.44 และ 68.04 % ตามลำดับ

7.5 การตรวจติดตามควบคุม

การตรวจติดตามควบคุมด้วยแผนการควบคุม เป็นการควบคุมให้ระดับของปัจจัยผันแปรเป็นไปตามที่ได้สรุปไว้ ผู้วิจัยได้ทำการสร้างแผนควบคุมเพื่อกำหนดผู้ตรวจสอบ และรอบเวลาที่ต้องทำการตรวจสอบ จากนั้นได้ทำการกำหนดแผนแก้ไขเมื่อกระบวนการออกนอกเส้นควบคุม เพื่อให้กระบวนการเป็นไปตามกำหนดและได้กำหนดมาตรฐานการทำงานของการปรับตั้งแม่พิมพ์ และการปฏิบัติงาน เพื่อเป็นแนวทางในการทำงานของพนักงานด้วย

7.5.1 แผนการควบคุม

- แผนการควบคุมปัจจัยคุณลักษณะมีอยู่ 2 ปัจจัย คือ การวางแผ่นเหล็กแบบตรง การขันอุปกรณ์ประกอบแม่พิมพ์ให้แน่น และการทดลองแม่พิมพ์ก่อนการใช้งาน

การวางแผ่นเหล็กแบบตรง ต้องทำการควบคุมให้แผ่นเหล็กอยู่ในแนวระนาบ ไม่ถูกยกขึ้นจากการวางทับบน Stopper

การขันอุปกรณ์ประกอบแม่พิมพ์ให้แน่น ต้องทำการควบคุมให้พนักงานประกอบอุปกรณ์ประกอบแม่พิมพ์ทุกชิ้นให้แน่นและไม่สามารถขยับได้อีก


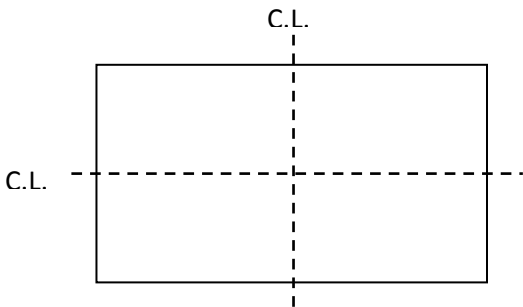
การทดลองแม่พิมพ์ก่อนการใช้งาน ก่อนการขึ้นรูปจริงต้องทำการทดลองแม่พิมพ์ก่อนการใช้งาน เพื่อดูว่า พันช์ (Punch) และตาย (Die) ไม่เอียงศูนย์กัน (Misalignment)

- แผนการควบคุมปัจจัยผันแปรมี 3 ตัวแปร คือ แรงกำหนด ความเร็วในการขึ้นรูป และความดันลมลูกชั้นซึ่งปัจจัยแรงกำหนด จะเลือกใช้แม่พิมพ์ที่มีขนาด 12,000 ตัน แต่ในปัจจัยความเร็วในการขึ้นรูป และความดันลมลูกชั้น จะทำการปรับที่ผู้ควบคุมซึ่งมีหน้าปัดแสดงค่าจริง โดยการควบคุมปัจจัยทั้ง 2 นี้จะใช้พนักงานประจำเครื่องจักรเป็นคนตรวจสอบเมื่อทำการขึ้นรูปแผ่นเหล็ก

ตารางที่ 7.4 แผนควบคุมการทำงานของกระบวนการขึ้นรูปแผ่นเหล็ก

กระบวนการ	ปัจจัยควบคุม	ข้อกำหนด	วิธีการควบคุม	เอกสาร/ผู้รับผิดชอบ
เตรียมวัตถุดิบ	เครื่องปั๊ม	ขนาด 12,000 ตัน	Check sheet	WI / พนักงานประกอบแม่พิมพ์ และพนักงานประจำเครื่องจักร
	ความเร็วขึ้นรูป	65 fpm		
	ความดันลมลูกชั้น	2.4 kg/cm ²		
	การประกอบแม่พิมพ์	ขันอุปกรณ์ประกอบแม่พิมพ์ให้แน่น		
นำแผ่นเหล็กเข้า	การวางแผ่นเหล็ก	พนักงานนำแผ่นเหล็กเข้าเครื่องจักรตาม ตำแหน่ง Stopper	Check Sheet	WI / พนักงานป้อนชิ้นงาน
		ไม่วางแผ่นเหล็กทับ Stopper		
ขึ้นรูปแผ่นเหล็กให้ได้ ลักษณะที่ต้องการ	ความเร็วขึ้นรูป	65 fpm	I-MR Chart และ Check sheet	แบบฟอร์มการตรวจสอบ พารามิเตอร์/พนักงานประจำ เครื่องจักร
	ความดันลมลูกชั้น	2.4 kg/cm ²		
	การทดลองแม่พิมพ์	ทดลองแม่พิมพ์ก่อนขึ้นรูป		
ตรวจสอบชิ้นงาน		พนักงานตรวจสอบชิ้นงานว่าเป็นไปตาม มาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่	P-Chart	ใบตรวจสอบคุณภาพ/พนักงาน ตรวจสอบ
นำชิ้นงานเก็บไว้ใน คลังสินค้า		พนักงานนำชิ้นงานเก็บในคลังสินค้าเพื่อรอ สายการผลิตถัดไป		ใบตรวจสอบยอดผลิต/พนักงาน สายการประกอบ

7.5.2 มาตรฐานการทำงานสำหรับการติดตั้งแม่พิมพ์และการปฏิบัติงาน

บริษัท ผลิตโครงหลังคาเหล็ก จำกัด			ผู้จัดทำ	ฝ่ายผลิต	ฝ่าย QA	ผู้จัดการโรงงาน
มาตรฐานการทำงานสำหรับการติดตั้งแม่พิมพ์ และการปฏิบัติงาน			Approved .../.../...	Approved .../.../...	Approved .../.../...	Approved .../.../...
Part Name	เครื่องจักร	Process	เงื่อนไขแม่พิมพ์			
Frame Side PNL OTR	ABC ขนาด 12,000 ตัน	Pressing	<ol style="list-style-type: none"> ใช้ความเร็วในการขึ้นรูป 65 fpm ใช้ความดันลมลูกชั้น 2.4 kg/cm² ความสูงแม่พิมพ์ 850 mm จำนวนลูกชั้น 36 ตัว ขนาดแม่พิมพ์ 1450 × 2700 mm² 			
			เงื่อนไขของการขึ้นรูปชิ้นงาน			
			<ol style="list-style-type: none"> ตรวจสอบขนาดของแผ่นเหล็ก ตรวจสอบสภาพ Guide Post และสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ นำ Stroke Block ออก ตรวจสอบการขึ้นรูปประกอบแม่พิมพ์ให้แน่น ทดลองขึ้นรูป (Try out) เพื่อตรวจสอบระยะเยื้องศูนย์ แล้วทำการปรับแก้ตำแหน่งของแม่พิมพ์ใหม่ โดยต้องขึ้นรูปประกอบแม่พิมพ์ให้แน่นตามเดิม การทำงานของพนักงาน <ol style="list-style-type: none"> หน้าแท่น ตรวจสอบแผ่นเหล็กก่อนเข้าแม่พิมพ์ แล้วทำการป้อนแผ่นเหล็ก ด้านหน้าแท่นและทาน้ำมันหล่อลื่นบริเวณที่เป็นมุมทั้ง 4 ของชิ้นงาน ด้านหลังแท่น เอาชิ้นงานออก โดยทำการตรวจสอบชิ้นงานที่ กลาง และ ปลายลด ครั้งละ 2 ชิ้นให้เสร็จก่อนผลิตต่อ ซึ่งต้องไม่เกิดข้อบกพร่องใด ๆ เท่านั้นหากพบข้อบกพร่องให้ปรับเครื่องจักรใหม่ แล้วทำการผลิตต่อไป 			
						

7.5.3 การประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม

ใช้แผนภูมิควบคุม p ในการควบคุมสัดส่วนของเสียไม่ให้ออกนอกกระบวนการควบคุม โดยเมื่อพบจุดออกนอกควบคุมให้ทำการแก้ไขโดยการปรับตั้งเครื่องจักรใหม่

7.6 สรุประยะการทดสอบยืนยันผลและการตรวจติดตามควบคุม

ในระยะการทดสอบยืนยันผล ได้ทำการปรับตั้งค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญตามที่ได้กำหนดไว้จากระยะก่อนหน้า หรือระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ โดยได้ทำการทดสอบยืนยันผลในระยะเวลา 2 สัปดาห์ ทำให้ได้กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 7 ตัวอย่าง พบว่า สัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องครีbynมีค่าเท่ากับ 20 % ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุงคือ 71.80 % และสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวมีค่าเท่ากับ 11 % ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุงคือ 77.11 % เมื่อพิจารณาด้านต้นทุนของเสียต่อชิ้นงานของข้อบกพร่องครีbynมีค่าเท่ากับ 15.94 บาทต่อชิ้นที่ผลิต ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนปรับปรุงคือ 24.69 บาทต่อชิ้นที่ผลิต และต้นทุนของเสียต่อชิ้นงานของข้อบกพร่องขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว มีค่าเท่ากับ 7.66 บาทต่อชิ้นงานที่ผลิต ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนปรับปรุงคือ 23.97 บาทต่อชิ้นที่ผลิต โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับจำนวนการผลิตของปี 2554 (เดือนมกราคม-ตุลาคม 2554) พบว่า สามารถลดมูลค่าความสูญเสียได้ 554,562 บาทต่อปี

จากนั้นได้ทำการสร้างแผนควบคุม ในปัจจัย การวางแผนเหล็ก การขันอุปกรณ์ประกอบแม่พิมพ์ให้แน่น และการทดลองแม่พิมพ์ได้ทำการควบคุมให้มีการปฏิบัติทุกครั้งก่อนเริ่มทำการผลิตจริงและได้กำหนดมาตรฐานการทำงานของการปรับตั้งแม่พิมพ์ และการปฏิบัติงาน เพื่อเป็นแนวทางให้พนักงานนำไปใช้ในกระบวนการผลิต

บทที่ 8

บทสรุป และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการขึ้นรูปแผ่นเหล็ก ด้วยแนวทางของซิกซ์ซิกม่า ซึ่งมีเป้าหมายในการลดสัดส่วนของเสีย และลดมูลค่าความสูญเสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง โดยได้กำหนดเป้าหมายในการลดสัดส่วนของเสียอยู่ที่ 50 % และมีขั้นตอนในการดำเนินงาน 5 ขั้นตอน คือ ระยะเวลานิยามปัญหา (Define Phase) ระยะเวลาวัดเพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Measure Phase) ระยะเวลาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase) ระยะเวลาปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase) และระยะเวลาทดสอบยืนยันผล และการตรวจติดตามควบคุม (Control Phase) โดยบทสรุปของการดำเนินงานแต่ละระยะมีดังนี้

8.1 สรุประยะนิยามปัญหา

ในระยะนิยามปัญหา ได้ทำการจัดตั้งคณะทำงาน แล้วทำการศึกษากระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น รวบรวมข้อมูลของเสียและประเมินมูลค่าความสูญเสียจากการแก้ไขชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่อง (Rework) และชิ้นงานที่ต้องนำไปกำจัดทิ้ง (Scrap) จากนั้นได้กำหนดและนิยามปัญหาข้อบกพร่องทั้ง 5 ชนิด คือ ครีบยื่น บุบนูน ขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว แตก และสนิมถลอกจากชิ้นงานที่ต้องนำไปประกอบเป็น โครงหลังคาเหล็ก โดยได้นำมาวิเคราะห์เพื่อเลือกประเภทชิ้นงาน และข้อบกพร่องที่จะวิเคราะห์จากเกณฑ์ดังนี้

1. สัดส่วนของเสีย
2. มูลค่าความสูญเสียรวม
3. มูลค่าความสูญเสียต่อชิ้นที่ผลิต
4. ความต่อเนื่องในการผลิตชิ้นงาน
5. ความต่อเนื่องในการเกิดข้อบกพร่องแต่ละประเภท

หลังจากการวิเคราะห์ด้วยเกณฑ์ดังกล่าวแล้ว พบว่า ชิ้นงานที่จะนำมาปรับปรุงคือ F/S PNL OTR ในข้อบกพร่องครีบยื่น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว

8.2 สรุประยะการวัดเพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในระยะการวัดเพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเริ่มจากการวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัด โดยทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบของข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Agreement Analysis) ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์พนักงานตรวจสอบทั้ง 3 คน และมีการวัดซ้ำ 2 ครั้ง แยกตามประเภทข้อบกพร่องครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว โดยใช้การตรวจสอบด้วยสายตา Gauge Block และ Steel Tape ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ความเห็นพ้องของพนักงานวัด ประกอบด้วย 4 ดัชนี คือ % ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบ, % ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ, % ประสิทธิภาพด้านความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ และ % ประสิทธิภาพด้านไบอัสของการตรวจสอบ ซึ่งพนักงานทั้ง 3 คน ผ่านเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ (เกณฑ์การยอมรับทั้ง 4 ดัชนี คือ 80 %) ในข้อบกพร่องครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวและทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการวัด ซึ่งประกอบด้วย 4 ดัชนี คือ % ของค่าแอดทริบิวต์ ดัชนีความมีประสิทธิภาพของพนักงานแต่ละคน ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด และดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด พบว่า พนักงานทั้ง 3 คนอาจต้องนำไปอบรมเพิ่มเติมเพื่อให้มีความแม่นยำและเที่ยงในการตรวจสอบมากขึ้น

จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ พบว่าสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว เท่ากับ 71.8 % และ 77.11 % ตามลำดับ

ทำการระดมสมองจากสมาชิกในทีม โดยใช้แผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram) หรือการวิเคราะห์ด้วยแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เพื่อระดมความคิดหาสาเหตุที่เป็นไปได้ต่อการเกิดข้อบกพร่องครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว โดยได้จัดทำแบบสอบถามเพื่อเปิดกว้างทางความคิด จากนั้นทำการให้คะแนนและถ่วงน้ำหนักความสำคัญจากตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) เพื่อมาเรียงลำดับความสำคัญและกรองปัจจัยนำเข้าไปในครั้งแรก

สุดท้ายได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบโดยการประเมินความเสี่ยง โดยพิจารณาเกณฑ์ 3 ประการ คือ

- S = ความรุนแรงของข้อบกพร่อง
- O = โอกาสในการเกิดสาเหตุ
- D = ความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่อง

เพื่อหาค่า RPN มาใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) ซึ่งทำให้ได้ปัจจัยหลักที่มีผลต่อข้อบกพร่องครึบย่น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวทั้งหมด 7 ปัจจัย ดังนี้

1. ระยะ Clearance มากเกินไป
2. ความเร็วในการขึ้นรูปไม่เหมาะสม
3. Punch Holder ไม่จับแผ่นเหล็ก(หรือการประกอบแม่พิมพ์ไม่แน่น)
4. ความดันลมคุชชั่นไม่เหมาะสม
5. ขนาดแผ่นเหล็กออกแบบมาไม่เหมาะสม
6. แรงกำหนดที่ใช้ไม่เหมาะสม
7. ขาดการลองแบบแม่พิมพ์ (Try out) ก่อนการใช้งาน

โดยได้นำปัจจัยทั้ง 7 นี้ไปทำการทดลองในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาต่อไป

8.3 สรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหานี้ จะนำปัจจัยนำเข้าทั้ง 7 ปัจจัยที่ได้จากระยะการวัดเพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ซึ่งในระยะนี้ผู้วิจัยได้เลือกปัจจัยคุณลักษณะมาทำการทดลองทั้งหมด 2 ปัจจัย คือ Punch Holder ไม่จับแผ่นเหล็ก (หรือการประกอบแม่พิมพ์ไม่แน่น) และขนาดแผ่นเหล็กไม่เหมาะสม ซึ่งมีตัวแปรตอบสนองเป็นสัดส่วนของเสีย โดย Bisgaard และ Fuller (1995) ได้เสนอวิธีการคำนวณขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการออกแบบการทดลองซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าวิธีทดสอบสมมติฐาน โดยได้เลือกทำการทดลองแบบออกแบบการทดลองด้วย 2^2 Full Factorial Design โดยใช้จำนวนตัวอย่างในแต่ละการทดลองเท่ากับ 15 รัน

จากนั้นนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ ซึ่งต้องทำการแปลงค่าตัวแปรตอบสนอง ซึ่งเป็นสัดส่วนของเสีย ให้เป็นไปตามสมมติฐานเรื่องความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey และทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

ผลจากการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของปัจจัยคุณลักษณะ พบว่า ระดับของปัจจัยที่เหมาะสม คือ การประกอบแม่พิมพ์ให้แน่น และการวางแผ่นเหล็กแบบตรง

8.4 สรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในระยะนี้ได้ทำการออกแบบการทดลองเพิ่มเติมจากการออกแบบการทดลองในระยะก่อนหน้า โดยได้ทำการทดลองปัจจัยผันแปร 3 ปัจจัย คือ แรงกำหนด ความเร็วในการขึ้นรูป และความดันลมคุชชั่น โดยได้เลือกทำการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design) แบบ Box-Behnken Design ซึ่งต้องทำการแปลงค่าตัวแปรตอบสนอง คือ สัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว ด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey เช่นเดียวกับระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อข้อบกพร่องทั้ง 2 ชนิด มีระดับของค่าปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสมสวนทางกัน จึงต้องกำหนดตัวแปรตอบสนองใหม่ คือ ต้นทุนของเสียรวม ซึ่งเป็นการรวมมูลค่าความสูญเสียจากข้อบกพร่องทั้ง 2 ประเภท จากต้นทุนของเสียจากชิ้นงานเสียที่สามารถแก้ไขได้ (Rework) และชิ้นงานเสียที่ต้องนำไปกำจัดทิ้ง (Scrap) ซึ่งมีเป้าหมายที่จะได้ระดับที่เหมาะสมของปัจจัย คือ ต้นทุนของเสียรวม น้อยที่สุด จากนั้นนำค่าตัวแปรตอบสนอง ไปตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองว่าเป็นไปตามเงื่อนไขการออกแบบการทดลองคือ $NID(0, \sigma^2)$ หรือไม่ ซึ่งพบว่าเป็นไปตามเงื่อนไขทั้งหมด จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์เพื่อหาระดับที่เหมาะสม โดยมีเป้าหมายที่จะทำให้ค่าตัวแปรตอบสนอง มีค่าต่ำที่สุดด้วยวิธี Response Optimization ด้วยโปรแกรม Minitab 16 พบว่า ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมคือ แรงกำหนด 12,000 ดัน (หรือ 120,000 kN) ความเร็วในการขึ้นรูป 65 fpm และความดันลมคุชชั่น 2.4 kg/cm^2

จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยคุณลักษณะลำดับสุดท้าย คือ การทดลองแม่พิมพ์ ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าปรับตั้งเครื่องจักรแบบเดิม และค่าปรับตั้งเครื่องจักรแบบใหม่ พบว่าการทดลองแม่พิมพ์รวมกับการปรับตั้งเครื่องจักรแบบใหม่ ทำให้มีค่าตัวแปรตอบสนอง คือ สัดส่วนของเสียมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งจะนำผลการทดลองที่ได้นี้ไปทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองต่อไป

8.5 สรุประยะการทดสอบยืนยันผล และการตรวจติดตามควบคุม

ในระยะการทดสอบยืนยันผล และการตรวจติดตามควบคุมนี้ ผู้ทำการวิจัยได้ทำการทดลองเป็นจำนวน 2 สัปดาห์ พบว่า สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวมีค่าเท่ากับ 20 % และ 11 % ตามลำดับซึ่งลดลงจากก่อนปรับปรุงเท่ากับ 72.15 % และ 85.74 % ตามลำดับ (ซึ่งสามารถลดลงได้มากกว่าค่าที่ตั้งไว้คือ 50 %) โดยเมื่อต้นทุนของเสียต่อชิ้นงานที่ผลิตจากข้อบกพร่องครีบก้น และขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียวมีค่าเท่ากับ 15.94 และ 7.66 บาทต่อชิ้นที่ผลิต จากก่อนปรับปรุงเท่ากับ 24.69 และ 23.97 บาทต่อชิ้นที่ผลิต ซึ่งลดลงจากก่อนปรับปรุงเท่ากับ 35.44 % และ 68.04 % ตามลำดับ จากนั้นได้คำนวณมูลค่าความสูญเสียที่ลดได้ พบว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการแก้ไขข้อบกพร่องและกำจัดชิ้นงานได้ 554,562 บาทต่อปี

จากนั้นได้จัดทำแผนควบคุม โดยได้สร้างคู่มือการทำงานของกระบวนการขึ้นรูปแผ่นเหล็ก และมาตรฐานการทำงานสำหรับการติดตั้งแม่พิมพ์และการปฏิบัติงาน เพื่อควบคุมปัจจัยทั้ง 2 แบบ เพื่อให้สามารถควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้

สุดท้ายได้นำแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p-chart) เพื่อเป็นการตรวจติดตามคุณภาพของการผลิตชิ้นงานในกระบวนการต่อไป

8.6 ข้อจำกัดในงานวิจัย

1. ในการทำการทดลองเรื่องแรงกำหนดไม่สามารถใช้เครื่องจักรเครื่องเดียวในการเปลี่ยนน้ำหนักได้ เนื่องจากเครื่องจักรมีขนาดใหญ่ ไม่สะดวกในการขนย้าย ซึ่งจะใช้เวลา แรงงาน และพลังงานมาก จึงได้ทำการทดลองโดยแยกเครื่องจักรเป็น 3 เครื่อง ซึ่งจะใช้น้ำหนักตามระดับที่ได้กำหนดไว้ โดยเครื่องจักรทั้ง 3 เป็นเครื่องจักรยี่ห้อเดียวกัน อยู่ในบริเวณเดียวกัน และควบคุมพารามิเตอร์อื่น ๆ นอกเหนือจากที่กำหนดที่จะทำการทดลองให้เหมือนกัน

2. ในการทำการทดลองเรื่อง Clearance ไม่สามารถทำการทดลองได้ เนื่องจากเป็นการทดลองที่ต้องใช้เวลานาน (มากกว่า 1 ปี) เนื่องจากต้องทำการออกแบบแม่พิมพ์ใหม่ และใช้ต้นทุนในการสร้างแม่พิมพ์สูง (มากกว่า 1 ล้านบาท) ซึ่งทำให้เกิดต้นทุนในการปรับปรุงคุณภาพสูงเกินไป ผู้วิจัยจึงได้คำนวณระยะ Clearance ไว้เพื่อเป็นแนวทางให้โรงงานที่ศึกษาใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ครั้งต่อไป

3. ในการทำการทดลองเรื่องขนาดแผ่นเหล็กไม่เหมาะสมไม่สามารถตัดเหล็กให้ได้ตามขนาดที่ผู้วิจัยออกแบบไว้ได้ เนื่องจากโรงงานที่ศึกษาไม่มีเครื่องมือในการตัดแผ่นเหล็ก และความไม่แม่นยำและเที่ยงของพนักงานแต่ละคน

4. ในการปรับปรุงไม่ได้รับอนุญาตให้ทำการปรับปรุงที่ต้องมีการลงทุนสูง

5. สามารถเก็บข้อมูลของปี 2554 ได้ในเดือน มกราคม-ตุลาคม เท่านั้น เนื่องจากสถานการณ์มหาอุทกภัย 2554

6. ราคาเหล็กอาจมีการเปลี่ยนแปลงมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งในปี 2555 ราคาเหล็กเพิ่มขึ้นจากปี 2554 ประมาณ 30% ซึ่งในการสรุปค่าใช้จ่ายที่ลดได้ ได้ใช้ราคาเดียวกับที่ได้ประเมินมูลค่าความสูญเสียในตอนแรก

8.7 ข้อเสนอแนะ

1. ผลของการปรับปรุงกระบวนการขึ้นรูปแผ่นเหล็กนี้ สามารถนำไปประยุกต์ในสายการผลิตอื่น ๆ ที่มีความเหมือนหรือคล้ายกันได้ โดยต้องคำนึงถึง ความหนาของแผ่นเหล็ก ขนาดของแผ่นเหล็ก การขึ้นรูปลึก-ตื้น (Deep Drawing หรือ Light Drawing) วัสดุผสมในเหล็ก ข้อกำหนดเฉพาะ และสภาพเครื่องจักร

2. ในข้อบกพร่องครีบก้น ผู้วิจัยคาดว่า เมื่อทำการปรับปรุงระยะ Clearance ด้วยการออกแบบแม่พิมพ์ใหม่แล้ว จะสามารถลดสัดส่วนของเสียได้อีก

3. สามารถทำการปรับปรุงเพิ่มเติมในการลดข้อบกพร่องที่มีความสำคัญรองลงมา จากที่กำหนดให้ปรับปรุงในงานวิจัยนี้ เช่น ข้อบกพร่องบุบบูน อาจเกิดจาก จำนวนคูชชั้น การวางตำแหน่งคูชชั้น และระยะสโตรกของคูชชั้น เป็นต้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย.

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด MSA (ประมวลผลด้วย MINITAB 15).

พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2553.

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ. พิมพ์ครั้งที่ 6.

กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2553.

กัลยา วานิชย์บัญชา. หลักสถิติ. พิมพ์ครั้งที่ 11. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

ชลิตต์ มธุรสมนตรี. กระบวนการผลิต. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ, 2544.

ชาญชัย ทรัพย์ากร, ประสิทธิ์ สวัสดิ์สรรพ และ วิรุฬ ประเสริฐวรนนท์. การออกแบบแม่พิมพ์. พิมพ์ครั้งที่ 30. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2535.

ธีรพร เสนพรหม. การลดแม่แบบแก้วเสียในกระบวนการผลิตเลนส์พลาสติกโดยใช้แนวคิดซิกซ์ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

บรรเลง ศรีนิล และประเสริฐ ก๊วยสมบุญ. ตารางงานโลหะ (Tabellanbuch Metall). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์ผลิตตำราเรียนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2554

ปารเมศ ชุตินา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

นภัสดวงศ์ โรจนโรวรรณ. การควบคุมคุณภาพ (Quality Control). กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.(อัดสำเนา)

นภัสดวงศ์ โรจนโรวรรณ. การปรับปรุงคุณภาพ (Quality Improvement). กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.(อัดสำเนา)

ไพโรจน์ วิริยจารี. การออกแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Design). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2544. (อัดสำเนา)

กาญจนา เพิ่มพิมล. ประวัติความเป็นมาของ Six Sigma. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:

www.squared.chula.ac.th/articles/LeanSixsigma.pdf [2554, กันยายน 1]

วารุณี ขำสนิท. การปรับปรุงค่าพารามิเตอร์สำหรับกระบวนการฉีดพลาสติกกรณีมีข้อบกพร่องหลายชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

วารุณี เปรमानนท์ และ พงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์. แม่พิมพ์โลหะแผ่น คู่มือฉบับพกพา สำหรับอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ปั๊มโลหะ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2554.

อาทิตย์ หงสพันธ์. การลดข้อบกพร่องในกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์โดยแนวทางซิกซ์ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

ภาษาอังกฤษ

Bisgaard, S. and Fuller, H. T. Analysis of factorial experiments with defects or defectives as the response. Journal of Quality Engineering. 72 (1994): 429-443.

Bisgaard, S. and Fuller, H.T. Sample size estimates for two-level factorial designs with binary response. Journal of Quality Engineering. 27 (1995): 344-354.

Breyfogle, F. W. III. Implementing six sigma: Smarter solutions using statistical methods. New York: John Wiley & Sons, 2001.

Groover M. P. Fundamentals of Modern Manufacturing. John Wiley and Sons, Inc., 2002

Hosford W. F. and Caddell R. M. Metal Forming Mechanic and Metallurgy. Cambridge University Press, 2007

Jozani, M.J. and Mirkamari, S.J. Control charts for attributes with maxima norminated samples. Journal of statistical Planning and Inference. 141 (2011): 2386-2398

Kaya, I. and Engin, O. A new approach to define sample size at attributes control chart in multistage process: An application in engine piston manufacturing process. Journal of Material Processing Technology. 183 (2007): 38-48.

Kumar, U.D., Nowicki, D., Ramirez-Marquez, E., J., and Verma, D. On the Optimal selection of process alternatives in Six Sigma implementation. Elsevier. 111 (2008): 456-467.

Kwak, Y. H. and Anbari F. T. Benefits, Obstacle and Future of Six Sigma Approach. Science Direct. 26 (2006): 708-715.

Lange, K. and others , Handbook of Metal Forming. Michigan : Society of Manufacturing Engineer, 1985

Ostwald, P. F. Manufacturing Process and systems. John Wiley and Sons, 1997

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชมพูนุท เต็มสายทอง เกิดเมื่อวันที่ 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2529 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อมในปีการศึกษา 2551 และปริญญาบัณฑิต คณะสาธารณสุขศาสตร์ ภาควิชาอาชีวอนามัย และความปลอดภัย มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช ในปีการศึกษา 2553 ภายหลังจากจบการศึกษาได้ เข้าทำงานที่บริษัท อีโนแอก โดโก ไทยแลนด์ ในตำแหน่งวิศวกรสิ่งแวดล้อม จากนั้นได้เข้า ศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552