

การลดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีบทับของแผ่น  
รองเครื่องเล่นซีดี



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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 University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2559  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Reduction of defective from incomplete pressing and dent from re-  
pressing defects of CD player bracket

Mr. Pakorn Wiriyakobbun



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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การลดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์  
ของการกดและรอยจากการบีบทับของแผ่นรองเครื่องเล่น  
ซีดี

โดย

นายปรกรณ์ วิริยะกอบบุญ

สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภัสสวงศ์ โอสสถิลป์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภัสสวงศ์ โอสสถิลป์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกคี่ก)

ปรกรณ์ วิริยะกอบบุญญ : การลดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการป้อนของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี (Reduction of defective from incomplete pressing and dent from re-pressing defects of CD player bracket) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์, 230 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตที่เกี่ยวข้องกับข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการป้อนที่เกิดจากกระบวนการตัดเฉือนของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี ผู้วิจัยได้ศึกษาผลกระทบของ 6 ปัจจัยอันได้แก่ 1. แรงกำหนดของเครื่องป้อน 2. ความแข็งแรงของยางยูรีเทน 3. ระยะห่างระหว่างขอบชิ้นงานและขอบแผ่นเหล็ก 4. อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด 5. อายุการใช้งานของยางยูรีเทน และ 6. ความเร็วในการตัดเฉือน ที่มีต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต โดยค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตเกิดจากผลรวมของค่าใช้จ่ายของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการป้อน ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงแท่งตัดและแผ่นตายตัด และค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนยางยูรีเทน ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่า 1. แรงกำหนดของเครื่องป้อนขนาด 80 ตัน เพียงพอในการรับแรงตัดเฉือนสำหรับชิ้นงานกรณีศึกษา 2. ระยะห่างระหว่างขอบชิ้นงานและขอบแผ่นเหล็ก ควรมีค่ามากกว่า 1.5 เท่าของความหนาของชิ้นงาน ซึ่งสามารถทำให้ระยะห่างเพียงพอได้โดยการลดขนาดของตัวบังคับแผ่นเหล็ก 3. ผลจากการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนองชนิดส่วนประสมกลางแบบ Faced-Center เพื่อหาค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตที่ต่ำที่สุด พบว่าควรใช้อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด อายุการใช้งานของยูรีเทน และความเร็วในการตัดเฉือนที่ค่าน้อย คือที่ค่า 30,000 สโตรก 30,000 สโตรก และ 15 สโตรกต่อนาทีตามลำดับ ซึ่งจะค่าใช้จ่ายของของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการป้อนมีค่าต่ำที่สุด และจะทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตต่ำที่สุดด้วย เนื่องจากค่าใช้จ่ายของของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยเป็นสัดส่วนที่มากในค่าใช้จ่ายรวม 4. ความแข็งแรงของยางยูรีเทนไม่มีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต

จากผลการดำเนินการวิจัยพบว่าค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตลดลงจาก 5.832 บาทต่อชิ้น เป็น 0.177 บาทต่อชิ้น ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ 640,530 บาทต่อเดือน และหลังการปรับปรุงไม่พบของเสียจากข้อบกพร่องประเภทประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการป้อน

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2559

# # 5770935321 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: CENTRAL COMPOSITE DESIGN / LEAN SIX SIGMA PROCESS IMPROVEMENT

PAKORN WIRIYAKOBBUN: Reduction of defective from incomplete pressing and dent from re-pressing defects of CD player bracket. ADVISOR: ASST. PROF. NAPASSAVONG OSOTHSILP, Ph.D., 230 pp.

The objective of this research is to reduce total expense per unit related to incomplete pressing and dent from re-pressing defects of CD player bracket. This research studied the effect on total expense of six factors, which are 1. Nominal force of pressing machine 2. Hardness of urethane rubber 3. Distance between the edge of scrap strip and the edge of work piece. 4. Tool life of punch and die 5. Tool life of urethane rubber, and 6. Cutting speed. Related total expense per unit consists of defective expense from incomplete pressing and dent from re-pressing, maintenance expense of punch and die, and expense of replacing urethane rubber. The results were found that 1. Nominal force of pressing machine of 80 tons were enough to handle shearing force of the case study work piece. 2. Distance between the edge of scrap strip and the edge of work piece had to be greater than 1.5 times of work piece thickness. This distance could be accommodated by reducing the diameter of the stopper. 3. The result of the experiment using Faced-Center Central Composite Design suggested that the minimal total expense per unit could be obtained by using small tooling life of punch and die and tooling life of urethane rubber at 30,000 strokes, and low cutting speed of 15 spm. These levels resulted in the minimal defective expense because it was a major portion of the total expense. 4. The hardness of urethane rubber was not statistically significant to the total expense.

After improvement, the total expense per unit was reduced from 5.832 baht per unit to 0.177 baht per unit. This improvement resulted in the expense reduction of 640,530 baht per month. In addition, there was no defectives found from incomplete pressing and dent from re-pressing defects.

Department: Industrial Engineering      Student's Signature .....

Field of Study: Industrial Engineering      Advisor's Signature .....

Academic Year: 2016

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องด้วยความช่วยเหลือและการเสียสละเวลาในการฝึกฝน รวมถึงการให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสวงศ์ โอสถศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอถือโอกาสนี้กราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ และรองศาสตราจารย์สมชาย พวงเพิกศึกษ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบริษัทกรณีศึกษาสำหรับความกรุณาให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ ความร่วมมือในการวิจัยในครั้งนี้ รวมถึงคณะทำงานที่ช่วยแสดงความคิดเห็นเพื่อทำการระดมสมอง และร่วมสนับสนุนการทดลองเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอกราบพระคุณบิดามารดาและญาติพี่น้องที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจ ทำให้ผู้วิจัยมีความอดทนและไม่ย่อท้อในการทำวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในงานวิจัยครั้งนี้ที่ไม่ได้ถูกกล่าวถึงมา ณ ที่นี้ด้วย

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ต
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ประวัติความเป็นมา และรายละเอียดโรงงานกรณีศึกษา.....	2
1.2 ที่มา และความสำคัญของปัญหา.....	4
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	8
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	8
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	8
1.6 แผนการดำเนินการวิจัย.....	11
1.7 ผลที่ได้รับ.....	12
1.8 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	12
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
2.1 ซิกซ์ ซิกมา (Six sigma : $6\sigma$ ).....	13
2.2 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments).....	20
2.3 การออกแบบส่วนประสมกลาง (Faced – Center Central Composite Design FCD).....	29
2.4 การออกแบบ Box-Behnken.....	30
2.5 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis).....	33
2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับการขึ้นรูปโลหะ.....	38

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	54
2.8 สรุปการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	58
บทที่ 3 ระยะกำหนดปัญหา (Define Phase : D).....	60
3.1 การจัดตั้งทีมงานในการปรับปรุงคุณภาพ.....	60
3.2 การศึกษากระบวนการผลิต.....	61
3.3 สัญญาโครงการ (Project Charter).....	81
3.4 สรุประยะกำหนดปัญหา.....	83
บทที่ 4 ระยะวิเคราะห์ระบบการวัด (Measure Phase : M).....	84
4.1 แผนผังการไหลของกระบวนการ (Process Map) ของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี .....	84
4.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัดของข้อมูลแบบผันแปร (Variable Measurement system analysis).....	85
4.3 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis).....	97
4.4 การวิเคราะห์สาเหตุ และผลของการเกิดของเสีย (Cause and Effect Analysis).....	109
4.5 การคัดกรองปัจจัยด้วยเกณฑ์ของการวิเคราะห์ความล้มเหลว และผลกระทบของกระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี (FMEA).....	115
4.6 สรุประยะวิเคราะห์การวัด.....	136
บทที่ 5 ระยะวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase : A).....	139
5.1 การกำหนดปัจจัยนำเข้าที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง .....	139
5.2 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง.....	140
5.3 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง .....	164
5.4 สรุประยะวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา.....	171
บทที่ 6 ระยะการปรับปรุงกระบวนการ (Improve phase : I).....	172
6.1 ผลการทดลอง .....	172
6.2 ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง .....	175



6.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	180
6.4 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด.....	194
6.5 สรุประยะปรับปรุงกระบวนการ .....	196
บทที่ 7 ระยะควบคุมกระบวนการ (Control Phase : C).....	197
7.1 การทดสอบยืนยันผลการทดลอง.....	197
7.2 ขั้นตอนในการเก็บข้อมูลเพื่อยืนยันผลการทดลอง .....	198
7.3 ผลการยืนยันผลการทดลอง การวิเคราะห์และการเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง.....	199
7.4 การควบคุมกระบวนการ .....	207
7.5 สรุประยะควบคุมกระบวนการ.....	214
บทที่ 8 สรุปผล และข้อเสนอแนะ.....	215
8.1 สรุปผลการวิจัย .....	215
8.2 ประโยชน์ที่ได้รับ .....	218
8.3 ข้อจำกัดและอุปสรรคในการทำงานวิจัย .....	218
8.4 ข้อเสนอแนะ .....	218
รายการอ้างอิง.....	220
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	230

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1. 1 สถิติสะสมแสดงจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้รับอนุญาตให้ประกอบกิจการใน กรุงเทพฯ และภูมิภาค จำแนกตามประเภทโรงงานเมื่อสิ้นปี พ.ศ.2557.....	1
ตารางที่ 1. 2 ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ตั้งแต่เดือน ม.ค. 58 – มิ.ย. 58 (ขึ้น).....	4
ตารางที่ 1. 3 จำนวนของเสียในกระบวนการผลิตจำแนกตามประเภทผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่เดือน ม.ค. 58 – มิ.ย. 58 (ขึ้น).....	5
ตารางที่ 1. 4 ต้นทุนของเสียเมื่อพบของเสียในกระบวนการจำแนกตามประเภทผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่ เดือน ม.ค. 58 – มิ.ย. 58. (บาท) .....	5
ตารางที่ 1. 5 ปริมาณและสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตของแผ่นรองเครื่องเล่น ซีดี.....	7
ตารางที่ 1. 6 แผนการดำเนินการวิจัย.....	11
ตารางที่ 2. 1 ตัวอย่างแบบฟอร์มของ Project Charter .....	17
ตารางที่ 2. 2 ลำดับเหตุการณ์ของการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง.....	21
ตารางที่ 2. 3 เมทริกซ์การทดลองแบบส่วนประสมกลาง และแบบ Box-Behnken กรณี 4 ปัจจัย .....	31
ตารางที่ 2. 4 เมทริกซ์การทดลองแบบส่วนประสมกลาง และแบบ Box-Behnken กรณี 4 ปัจจัย (ต่อ) .....	32
ตารางที่ 2. 5 ตารางกำหนดขนาดตัวอย่างในการเก็บข้อมูลเพื่อประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยง ของระบบการวัด.....	36
ตารางที่ 2. 6 เกณฑ์ในการประเมินผลความเที่ยงของระบบการวัด .....	38
ตารางที่ 2. 7 คุณลักษณะของเครื่องปั๊มแบบกลไกและแบบไฮดรอลิก.....	46
ตารางที่ 2. 8 คุณสมบัติทางกลของแผ่นเหล็กชนิด SPCC.....	54
ตารางที่ 3. 1 ปริมาณ และสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตของแผ่นรองเครื่องเล่น ซีดี.....	65

ตารางที่ 3. 2 ข้อมูลการตรวจสอบเชิงปริมาณของความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็กของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี ตั้งแต่เดือน ม.ค. – มิ.ย. 58 .....	69
ตารางที่ 3. 3 ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำและทิ้งทั้งหมดของกระบวนการตัด และเจาะ จากปริมาณการผลิต 500 ชิ้น.....	76
ตารางที่ 3. 4 ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำและทิ้งทั้งหมดของกระบวนการขึ้นรูปและอัดสลัก จากปริมาณการผลิต 500 ชิ้น .....	77
ตารางที่ 3. 5 ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำและทิ้งทั้งหมดของกระบวนการปั๊มสัญลักษณ์ จากปริมาณการผลิต 500 ชิ้น.....	78
ตารางที่ 3. 6 ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำและทิ้งทั้งหมดของกระบวนการชุบสี จากปริมาณการผลิต 500 ชิ้น.....	78
ตารางที่ 3. 7 ค่าใช้จ่ายของของเสียที่พบในกระบวนการต่างๆของผลิตภัณฑ์แผ่นรองเครื่องเล่นซีดีที่ปริมาณการผลิต 500 ชิ้น.....	79
ตารางที่ 3. 8 สัญญาโครงการของโครงการการลดค่าใช้จ่ายรวมของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี .....	82
ตารางที่ 4. 1 ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด (มม.).....	88
ตารางที่ 4. 2 ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยจากการปั๊มทับ (มม.).....	93
ตารางที่ 4. 3 ข้อมูลการวัดเชิงปริมาณของการวัดค่าความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็ก ...	98
ตารางที่ 4. 4 ข้อมูลการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณของการวัดค่าความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็ก ของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี (มม.).....	100
ตารางที่ 4. 5 ข้อมูลการวัดเชิงปริมาณของความสูงครีบบ .....	104
ตารางที่ 4. 6 ข้อมูลการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณของความสูงครีบบของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี (มม.).....	106
ตารางที่ 4. 6 ข้อมูลการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณของความสูงครีบบของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี (มม.) (ต่อ) .....	107

ตารางที่ 4. 7 ปัจจัยซึ่งอาจจะส่งผลต่อการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด.....	111
ตารางที่ 4. 8 ปัจจัยซึ่งอาจจะส่งผลต่อการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการป้อนทับ.....	114
ตารางที่ 4. 9 เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของผลกระทบ.....	116
ตารางที่ 4. 10 เกณฑ์การประเมินความถี่ในการเกิดของสาเหตุ.....	118
ตารางที่ 4. 11 เกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ.....	119
ตารางที่ 4. 12 ผลการวิเคราะห์ความล้มเหลว และผลกระทบของกระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี.....	121
ตารางที่ 4. 13 ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการป้อนทับต่อชิ้น.....	126
ตารางที่ 4. 14 ค่าใช้ในการเจียรระไนแท่งตัด และแผ่นตายตัดต่อครั้ง.....	127
ตารางที่ 4. 15 ค่าใช้จ่ายเมื่อมีการเปลี่ยนยูรีเทนต่อครั้ง.....	128
ตารางที่ 4. 16 ค่าแรงของช่างในการซ่อมบำรุงต่อครั้ง.....	130
ตารางที่ 4. 17 ความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอายุการใช้งานต่อหน่วยการผลิต.....	131
ตารางที่ 4. 18 จำนวนครั้งในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นตายตัด และการเปลี่ยนยูรีเทน.....	132
ตารางที่ 4. 19 สรุปปัจจัยที่มีผลต่อของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการป้อนทับ.....	135
ตารางที่ 5. 1 ปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อการเกิดของเสีย.....	139
ตารางที่ 5. 2 ค่าความกว้างระหว่างแท่งตัด และแผ่นตายตัด หรือช่องตัดตามช่วงอายุในการป้อน (มม.).....	141
ตารางที่ 5. 3 ค่าความสูงครีบของชิ้นงานแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี (มม.) ที่อายุการใช้งานต่างๆ.....	142

ตารางที่ 5. 4 ค่าที่วัดเปรียบเทียบช่องตัดและความสูงครีบของชิ้นงานแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี (มม.).....	144
ตารางที่ 5. 5 ค่าที่วัดเปรียบเทียบความสูงครีบและความสูงของการกดของชิ้นงานแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี (มม.).....	145
ตารางที่ 5. 6 ข้อมูลการวัดเชิงปริมาณของความสูงครีบ ตั้งแต่เดือน ม.ค. – มิ.ย. 58 .....	147
ตารางที่ 5. 7 ข้อมูลการวัดเชิงปริมาณของเศษครีบที่หลุดติดหน้าแม่พิมพ์ และผลการตรวจสอบรอยจากการป้อนทับ.....	148
ตารางที่ 5. 8 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงโดยการเจาะระโนในแท่งตัดและแผ่นตายตัดที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดต่างๆ (บาท).....	150
ตารางที่ 5. 9 ค่าใช้จ่ายในเมื่อพบของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการป้อนทับที่อายุการใช้งานต่างๆ (บาท).....	151
ตารางที่ 5. 10 ชนิด และคุณสมบัติของยูรีเทน .....	152
ตารางที่ 5. 11 ข้อมูลความสูงครีบกับความแข็งยูรีเทน.....	152
ตารางที่ 5. 12 ข้อมูลการวัดความสูงครีบจากปัจจัยความเร็วในการตัดเฉือน.....	154
ตารางที่ 5. 13 ผลการวัดเวลาที่ใช้ในการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี .....	157
ตารางที่ 5. 14 ผลการตรวจสอบกำลังการผลิตของเครื่อง 800 kN หรือ 80 ตัน ที่ใช้กับกระบวนการตัดและเจาะของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี.....	158
ตารางที่ 5. 15 ระยะห่างของชิ้นงานจากขอบแผ่นเหล็ก (มม.).....	159
ตารางที่ 5. 16 ระยะห่างของชิ้นงานจากขอบแผ่นเหล็ก (มม.).....	161
ตารางที่ 5. 17 ระดับปัจจัยในการทดลอง .....	166
ตารางที่ 5. 18 เมทริกซ์ออกแบบของปัจจัยนำเข้า 4 ปัจจัย .....	167
ตารางที่ 6. 1 ผลการทดลอง .....	173
ตารางที่ 6. 2 ระดับของปัจจัยที่เหมาะสม.....	195
ตารางที่ 7. 1 ระดับปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการยืนยันผลการทดลอง .....	197

ตารางที่ 7. 2 ผลการยืนยันผลการทดลอง.....	200
ตารางที่ 7. 3 ข้อมูลของเสียจากการผลิตก่อนการปรับปรุง.....	202
ตารางที่ 7. 4 ข้อมูลค่าความสูงของฐานสลักจากพื้นแผ่นเหล็กและความสูงครีบก่อนและหลัง ปรับปรุง.....	206
ตารางที่ 7. 5 แผนควบคุมกระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี.....	212



## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1. 1 แผนผังองค์กรของบริษัทกรณีศึกษา .....	3
รูปที่ 1. 2 แนวโน้มของการผลิตของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนยานยนต์ทั้งหมด .....	6
รูปที่ 2. 1 ประเภทตัวแปรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการทำงานใดๆ.....	26
รูปที่ 2. 2 Resolution ที่เป็นไปได้ ที่จำนวนปัจจัยต่างๆของแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ...	27
รูปที่ 2. 3 ส่วนประกอบของวิธีการออกแบบส่วนประสมกลาง หรือ CCD สำหรับปัจจัยนำเข้า 2 ปัจจัย (k-2).....	30
รูปที่ 2. 4 ตัวแบบทางเรขาคณิตของการทดลองแบบ Box-Behnken กรณี 3 ปัจจัย.....	31
รูปที่ 2. 5 การกำหนดการวัดให้อยู่ในรูปกระบวนการ.....	33
รูปที่ 2. 6 แนวความคิดในการวิเคราะห์ระบบการวัด.....	34
รูปที่ 2. 7 องค์ประกอบความผันแปรของระบบการวัด .....	35
รูปที่ 2. 8 กระบวนการผลิตประเภทต่างๆ ของการขึ้นรูปโลหะ.....	39
รูปที่ 2. 9 เปรียบเทียบกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นและก้อนประเภทต่างๆ.....	40
รูปที่ 2. 10 องค์ประกอบของงานขึ้นรูปโลหะแผ่น .....	41
รูปที่ 2. 11 แม่พิมพ์เดี่ยว.....	43
รูปที่ 2. 12 แม่พิมพ์ผสม.....	43
รูปที่ 2. 13 แม่พิมพ์ต่อเนื่อง.....	44
รูปที่ 2. 14 แม่พิมพ์ส่งผ่าน .....	44
รูปที่ 2. 15 โครงสร้างของเครื่องปั๊มรูปตัว C และรูปตัว O .....	47
รูปที่ 2. 16 กลไกเครื่องปั๊มแบบต่างๆ.....	48
รูปที่ 2. 17 การเปลี่ยนรูปของวัสดุช่วงเวลาการเปลี่ยนรูปแบบไม่ถาวรจนรับแรงดึง.....	50
รูปที่ 2. 18 การเปลี่ยนรูปของวัสดุช่วงยืดหยุ่นภายใต้แรงเฉือน.....	51

รูปที่ 2. 19 เส้นโค้งความเค้นและความเครียด .....	51
รูปที่ 2. 20 สภาพพื้นผิวของม้วนเหล็กที่ร้อน และรีดเย็น .....	52
รูปที่ 2. 21 กระบวนการผลิตม้วนเหล็กที่รีดเย็น.....	53
รูปที่ 3. 1 แผ่นรองเครื่องเล่นซีดี .....	61
รูปที่ 3. 2 ของเสียประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด .....	62
รูปที่ 3. 3 ของเสียประเภทรอยจากการบีบทับ.....	63
รูปที่ 3. 4 ของเสียประเภทครีบ.....	64
รูปที่ 3. 5 ของเสียประเภทพับไม่ฉาก.....	64
รูปที่ 3. 6 ของเสียประเภทเจาะรูไม่ทะลุ.....	64
รูปที่ 3. 7 กระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี.....	66
รูปที่ 3. 8 แม่พิมพ์ในกระบวนการตัดและเจาะรู .....	67
รูปที่ 3. 9 แม่พิมพ์กระบวนการบีบขึ้นรูปและอัดสลัก .....	67
รูปที่ 3. 10 ค่าขนาดควบคุมของแผ่นเหล็กและสลัก .....	68
รูปที่ 3. 11 ค่าควบคุมหลังจากการอัดสลัก .....	68
รูปที่ 3. 12 ปริมาณของเสียที่พบในแต่ละกระบวนการของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดีจากการผลิต 500 ชิ้น.....	70
รูปที่ 3. 13 สัดส่วนของเสียที่พบในกระบวนการบีบขึ้นรูป และอัดสลักจากการผลิตจำนวน 500 ชิ้น.....	71
รูปที่ 3. 14 เปรียบเทียบสาเหตุของการเกิดปัญหาการรอยจากการบีบทับ .....	72
รูปที่ 3. 15 แผนภาพกระบวนการทำซ้ำ หรือทิ้งของผลิตภัณฑ์แผ่นรองเครื่องเล่นซีดี.....	74
รูปที่ 3. 16 สัดส่วนค่าใช้จ่ายของเสียที่พบในกระบวนการขึ้นรูป และอัดสลัก.....	80
รูปที่ 4. 1 แผนผังการไหลของกระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี.....	84
รูปที่ 4. 2 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด ...	90



รูปที่ 4. 3 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยจากการป้อน	95
รูปที่ 4. 4 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด	103
รูปที่ 4. 5 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องประเภทรอยจากการป้อน	108
รูปที่ 4. 6 แผนภาพเหตุและผลของของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด	110
รูปที่ 4. 7 แผนภาพเหตุและผลของของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการป้อน	113
รูปที่ 4. 8 ค่า RPN ปัจจัยในกระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี	124
รูปที่ 4. 9 แผนภาพความเชื่อมโยงของปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการป้อน	125
รูปที่ 5. 1 ระยะห่างระหว่างแท่งตัด และแผ่นตายตัด	140
รูปที่ 5. 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานและขนาดของช่องตัด	142
รูปที่ 5. 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดและความสูงครีบ	143
รูปที่ 5. 4 ผลการวัดระยะห่างระหว่างแท่งตัด และแผ่นตายตัด เปรียบเทียบกับความสูงครีบ	145
รูปที่ 5. 5 ตำแหน่งเจียรระไนแท่งตัด และแผ่นตายตัด	147
รูปที่ 5. 6 เปรียบเทียบความสูงครีบของปัจจัยความเร็วในการตัด	155
รูปที่ 5. 7 แผ่น Scrap Strip ของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี	159
รูปที่ 5. 8 แม่พิมพ์กระบวนการตัด และ เจาะ ของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี	160
รูปที่ 5. 9 ตำแหน่งรางบังคับ	161
รูปที่ 5. 10 พื้นที่ตัดของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี	162

รูปที่ 6. 1 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจาก  
 ข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด.....176

รูปที่ 6. 2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจาก  
 ข้อบกพร่องประเภทรอยจากการปั๊มทับ .....177

รูปที่ 6. 3 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต.....179

รูปที่ 6. 4 ผลกระทบร่วมของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่อง  
 ประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด.....183

รูปที่ 6. 5 ผลกระทบร่วมของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่อง  
 ประเภทรอยจากการปั๊มทับ .....188

รูปที่ 6. 6 ผลกระทบร่วมของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต.....192

รูปที่ 6. 7 Optimization Plot จากการวิเคราะห์ผลด้วย Minitab.....195

รูปที่ 7. 1 มาตรฐานในการติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊ม .....209

## บทที่ 1

### บทนำ

ผลิตภัณฑ์จากการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยวิธีปั๊ม หรือกระแทก ได้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมยานยนต์ ซึ่งในประเทศไทยอุตสาหกรรมขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยวิธีปั๊ม หรือกระแทกมีการเจริญเติบโตที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนถึงปี พ.ศ. 2556 แต่ในปี พ.ศ. 2557 เริ่มมีการเจริญเติบโตที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสอดคล้องกับภาวะเศรษฐกิจในปัจจุบันที่อยู่ในช่วงชะลอตัว โดยพิจารณาจากข้อมูลของกรมโรงงานอุตสาหกรรม เกี่ยวกับสถิติสะสมแสดงจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้รับอนุญาตให้ประกอบกิจการในกรุงเทพฯ และภูมิภาค จำแนกตามประเภทโรงงานเมื่อสิ้นปี พ.ศ.2557 ตามตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1. 1 สถิติสะสมแสดงจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้รับอนุญาตให้ประกอบกิจการในกรุงเทพฯ และภูมิภาค จำแนกตามประเภทโรงงานเมื่อสิ้นปี พ.ศ.2557

ประเภทโรงงานลำดับที่	สถิติสะสมแสดงจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้รับอนุญาตให้ประกอบกิจการ (แห่ง)			สัดส่วนการเปลี่ยนแปลงจากปี พ.ศ. 2555	สัดส่วนการเปลี่ยนแปลงจากปี พ.ศ. 2556
	พ.ศ. 2555	พ.ศ. 2556	พ.ศ. 2557		
64(2)	884	901	919	เพิ่มขึ้น 12.10%	เพิ่มขึ้น 1.99%

หมายเหตุ 1. ความหมายของประเภทโรงงาน ตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ได้อธิบายไว้คือ

ประเภทโรงงานลำดับที่ 64 หมายถึง โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับโลหะอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง

วงเล็บ (2) การทำผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีปั๊ม หรือกระแทก

2. อ้างอิงข้อมูลจาก กลุ่มสถิติและเผยแพร่สารสนเทศอุตสาหกรรม ศูนย์สารสนเทศโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

3. จำนวนโรงงานนี้ ไม่รวมถึงโรงงานในเขตความรับผิดชอบของการนิคมอุตสาหกรรมฯ, สำนักคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน และโรงงานที่จังหวัดเป็นผู้พิจารณาออกใบอนุญาตฯ

จากตารางที่ 1.1 แสดงให้เห็นว่าการขยายตัวของโรงงานอุตสาหกรรมประเภทการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยวิธีปั๊ม หรือกระแทก จากสถิติสะสมแสดงจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้รับอนุญาตให้ประกอบกิจการในกรุงเทพฯ และภูมิภาค จำแนกตามประเภทโรงงานเมื่อสิ้นปี พ.ศ.2557 พบว่ามีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.99 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ.2556 และในปี พ.ศ. 2556 มีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 12.10 เมื่อเทียบกับเมื่อสิ้นปี พ.ศ. 2555 ซึ่งในปี พ.ศ. 2557 จนถึงปัจจุบัน สภาวะเศรษฐกิจที่อยู่ในช่วงชะลอตัวลง ทำให้อุตสาหกรรมประเภทการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยวิธีปั๊ม หรือกระแทกต้องดิ้นรนเพื่อการอยู่รอดในอุตสาหกรรมนี้ต่อไป

จากสภาวะดังกล่าวแสดงอย่างเห็นได้ชัดว่าอุตสาหกรรมประเภทการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยวิธีปั๊ม หรือกระแทกต้องมีการแข่งขันที่สูงขึ้นไม่ว่าจะเป็นด้านราคา ด้านคุณภาพ และการบริการ เพื่อรักษาฐานลูกค้าเดิมไว้ โดยต้องมีการลดเหตุการณ์ที่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม (Non Value Added) เช่น ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกระบวนการซึ่งเกิดจากการควบคุมปัจจัยที่อาจจะก่อให้เกิดข้อบกพร่องในชิ้นงานไม่ดีพอ ขาดการวิเคราะห์ถึงสาเหตุรากเหง้าของปัญหา และไม่มีการคิดค้นวิธีการป้องกันการเกิดปัญหา เป็นต้น ทางผู้ประกอบการต้องมีการยกระดับคุณภาพของสินค้า เพื่อเป็นการลดต้นทุนทางด้านคุณภาพ และเป็นการสร้างความพึงพอใจให้ลูกค้าอีกทางหนึ่ง

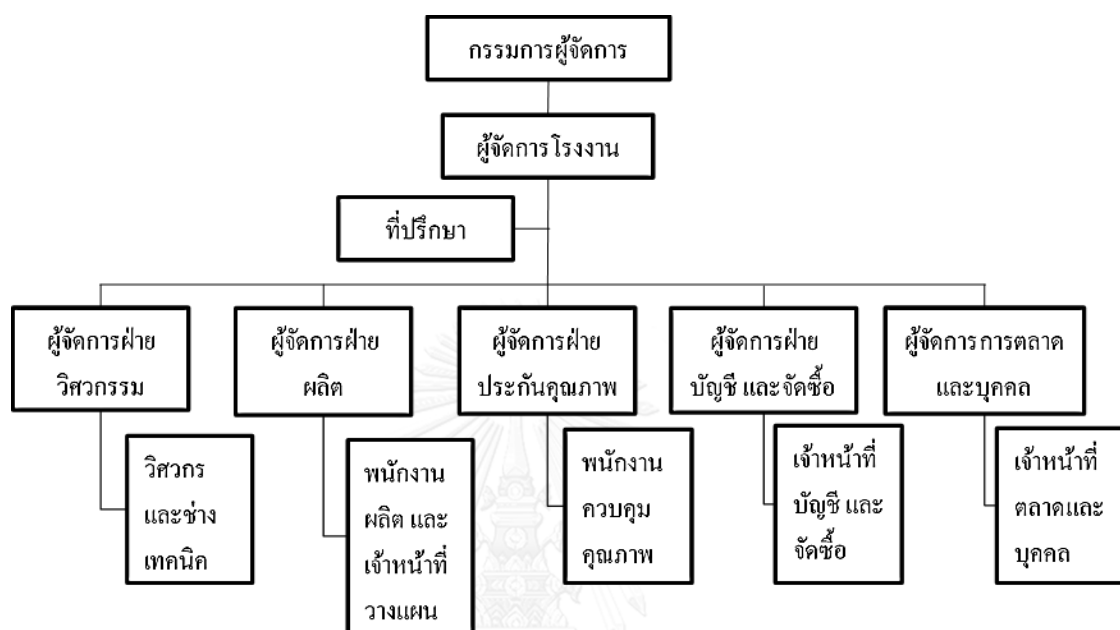
ผู้ศึกษามีความสนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับเรื่องการปรับปรุงคุณภาพชิ้นส่วนจากการขึ้นรูปโลหะแผ่น ด้วยวิธีปั๊ม หรือกระแทกในอุตสาหกรรมยานยนต์ ซึ่งมีระบบการผลิตในปริมาณมากต่อการสั่งผลิต (Mass production) โดยอาศัยการทำงานของเครื่องจักร และการตั้งค่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อของเสียโดยคน มีการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติ และเทคนิคทางด้านคุณภาพมาปรับปรุงเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตลง เพื่อให้เป็นไปตามเป้าหมายที่ทางบริษัทกำหนดไว้ และส่งผลให้ต้นทุนคุณภาพลดลงตามไปด้วย

## 1.1 ประวัติความเป็นมา และรายละเอียดโรงงานกรณีศึกษา

### 1.1.1 ข้อมูลทั่วไปของบริษัท

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทประกอบธุรกิจการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยวิธีปั๊ม หรือกระแทก โดยมีกลุ่มธุรกิจหลัก คือ กลุ่มอิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ ซึ่งในปัจจุบันได้ทำการเคลื่อนที่เข้าสู่อุตสาหกรรมยานยนต์ โดยเป็นผู้รับเหมาช่วงชั้นที่ 3 (Third tier) ทำการจดทะเบียนจัดตั้งเป็นบริษัทจำกัด เมื่อวันที่ 4 มีนาคม 2557 ด้วยเงินทุนจดทะเบียนเริ่มต้น 3 ล้านบาท เพื่อส่งชิ้นส่วนในเครื่องถ่ายเอกสารให้กับบริษัทแม่ และเมื่อ 4 กรกฎาคม 2557 มีการสร้าง

ฐานลูกค้าหลักของตัวเอง โดยลูกค้าหลัก จะอยู่ในกลุ่มอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยมีเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต ขนาด 15-150 ตัน รองรับชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็ก ถึงขนาดกลาง สามารถผลิตชิ้นงานได้สูงสุดประมาณ 24 ล้านชิ้น/เดือน โดยในปัจจุบันมีพนักงาน 80 คน และมีการแบ่งฝ่ายต่างออกเป็น 5 ฝ่าย โดยมีโครงสร้างองค์กรดังนี้



รูปที่ 1.1 แผนผังองค์กรของบริษัทกรณีศึกษา

จากรูปที่ 1.1 แสดงถึงโครงสร้างองค์กร เริ่มจากกรรมการผู้จัดการ โดยมอบหมายให้ผู้จัดการโรงงานดูแลรับผิดชอบ และมีอำนาจในการตัดสินใจอย่างเต็มที่ ที่ปรึกษาคอยให้คำปรึกษา และมีผู้จัดการฝ่ายต่างๆ ดังนี้ 1.) ฝ่ายวิศวกรรม มีหน้าที่ในการดูแลเครื่องจักร แม่พิมพ์ และการตั้งค่าเครื่องจักรก่อนการผลิต 2.) ฝ่ายผลิต มีหน้าที่ต่างๆในกระบวนการป้อนชิ้นงาน และควบคุมกำลังการผลิตให้เป็นไปตามเป้าหมาย 3.) ฝ่ายประกันคุณภาพ มีหน้าที่ในการควบคุมคุณภาพในกระบวนการ และการประกันคุณภาพสินค้าก่อนส่งมอบไปยังลูกค้า 4.) ฝ่ายบัญชีและจัดซื้อ มีหน้าที่ในการดูแลระบบบัญชีภายในบริษัททั้งหมด และจัดสรรทรัพยากรที่จำเป็นต่อการดำเนินธุรกิจ 5.) ผู้จัดการตลาด และบุคคล มีหน้าที่ในการดูแล ดำเนินการตามความต้องการลูกค้า วางแผนการผลิต และจัดสรรทรัพยากรที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการผลิต โดยแต่ละฝ่ายจะมีพนักงานปฏิบัติงาน และสนับสนุนผู้จัดการฝ่าย

#### 1.1.2 ผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา

ผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษาแบ่งออกเป็น 4 ประเภทดังนี้

- 1.) ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ ฝาครอบแผงวงจร แท่นลองแผงวงจร และ แผ่นระบายความร้อนของแผงวงจร เป็นต้น
- 2.) ชิ้นส่วนยานยนต์ ได้แก่ แผ่นเหล็กรองเครื่องเล่นซีดี ตัวยึดเก้าอี้ในรถยนต์ และ ห่วงเข็มขัดนิรภัย เป็นต้น
- 3.) อุปกรณ์จับยึดในอุตสาหกรรมยานยนต์
- 4.) อุปกรณ์ชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ เช่น แผ่นเหล็กด้านข้างเครื่องปรับอากาศ และ ชิ้นส่วนในคอมเพรสเซอร์ เป็นต้น

## 1.2 ที่มา และความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากสถานะเศรษฐกิจของผลิตภัณฑ์ในประเทศที่มีการชะลอตัวลงทำให้ ทางบริษัทได้วางกลยุทธ์ในการเปลี่ยนกลุ่มอุตสาหกรรมจากอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สู่อุตสาหกรรมยานยนต์ ซึ่งทางบริษัทได้สังเกตเห็นถึงสัดส่วนของเสียที่สูงที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ดังนั้นทางทีมงานในการปรับปรุงคุณภาพจึงต้องทำการคัดเลือกโครงการในการปรับปรุงคุณภาพ ทางทีมปรับปรุงคุณภาพจึงทำการรวบรวมข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตตั้งแต่เดือน ม.ค. 58 – มิ.ย. 58 โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1. 2 ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ตั้งแต่เดือน ม.ค. 58 – มิ.ย. 58 (ชิ้น)

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
ปริมาณการผลิต	260,178	317,238	352,960	162,500	231,680	339,840
ปริมาณของเสีย	2,307	3,396	2,859	2,152	2,423	2,214
ppm	8,867	10,705	8,100	13,243	10,458	6,515
ปริมาณของเสียเฉลี่ย	9,648 ppm					

จากตารางที่ 1.2 พบว่าของเสียตั้งแต่เดือน ม.ค. 58 – มิ.ย. 58 มีสัดส่วนของเสียเท่ากับ 9,648 ppm ซึ่งมีสัดส่วนของเสียที่สูงกว่าเป้าหมายของผู้บริหาร หรือมากกว่า 5,000 ppm. จึงต้องวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุรากเหง้าของปัญหา เพื่อลดของเสียให้ได้ตามความต้องการของทางบริษัท โดย

ศึกษาปริมาณ และสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท ตั้งแต่เดือน ม.ค. 58 – มิ.ย. 58 ดังตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1. 3 จำนวนของเสียในกระบวนการผลิตจำแนกตามประเภทผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่เดือน ม.ค. 58 – มิ.ย. 58 (ชิ้น)

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	รวม	สัดส่วน
แผ่นรองเครื่องเล่นซีดี	1,756	2,044	1,917	1,634	1,871	1,778	11,000	71.15%
ตัวยึดเก้าอี้ในรถยนต์	212	626	218	112	224	152	1,462	9.46%
ห่วงเข็มขัดนิรภัย	212	626	218	112	224	162	1,454	9.40%
อื่นๆ	242	412	312	312	182	122	1,544	9.98%
รวม	2,307	3,396	2,859	2,152	2,423	2,214	15,460	

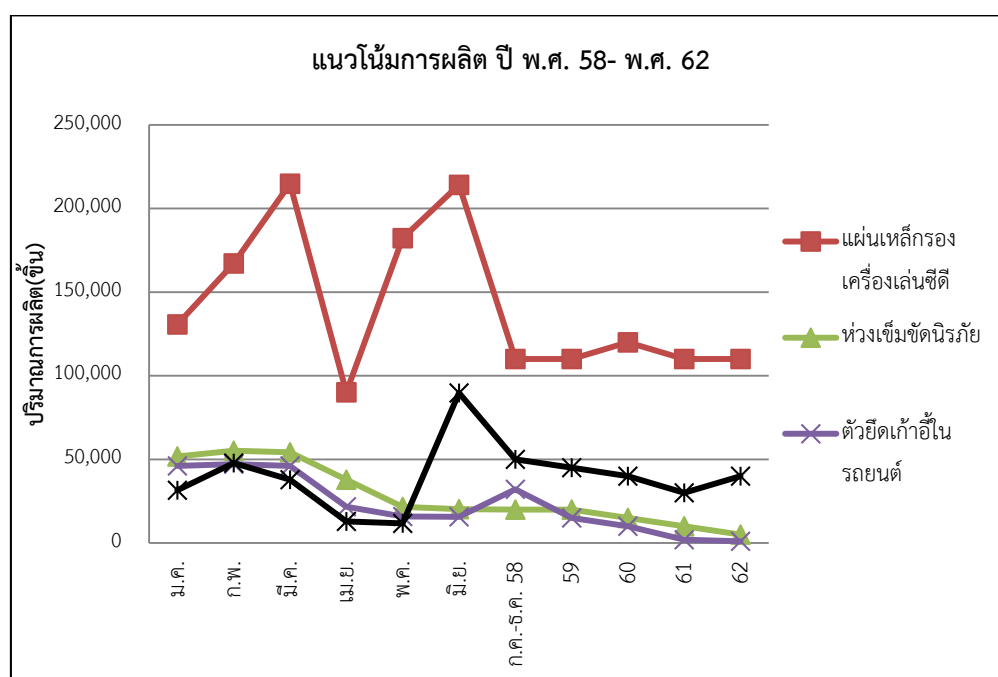
หมายเหตุ อื่นๆ หมายถึง ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ ฝาครอบแผงวงจร แท่นลองแผงวงจร และแผ่นระบายความร้อนของแผงวงจร เป็นต้น

จากตารางที่ 1.3 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่พบของเสียมากที่สุดในช่วงเดือน ม.ค. 58 – มิ.ย. 58 คือ ผลิตภัณฑ์แผ่นรองเครื่องเล่นซีดี ซึ่งมีสัดส่วนของเสียร้อยละ 71.15 ของจำนวนของเสียจากผลิตภัณฑ์ทั้งหมด และทำการทบทวนต้นทุนของเสียเมื่อพบของเสียของทุกผลิตภัณฑ์ ดังตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1. 4 ต้นทุนของเสียเมื่อพบของเสียในกระบวนการจำแนกตามประเภทผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่เดือน ม.ค. 58 – มิ.ย. 58. (บาท)

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	รวม	สัดส่วน
แผ่นรองเครื่องเล่นซีดี	381,052	443,548	415,989	354,578	406,007	385,826	2,387,000	89.77%
ตัวยึดเก้าอี้ในรถยนต์	20,140	59,470	20,710	10,640	21,280	14,440	146,680	5.52%
ห่วงเข็มขัดนิรภัย	8,904	26,292	9,156	4,704	9,408	6,804	65,268	2.45%
อื่นๆ	9,196	15,656	11,856	11,856	6,916	4,636	60,116	2.26%
รวม	419,292	544,966	457,711	381,778	443,611	411,706	2,659,064	

จากตารางที่ 1.4 พบว่าผลิตภัณฑ์แผ่นรองเครื่องเล่นซีดีมีส่วนของต้นทุนของเสียร้อยละ 89.77 ของต้นทุนของเสียทั้งหมด จากนั้นทำการศึกษานโยบายของการผลิตภัณฑ์ เพื่อหาผลิตภัณฑ์เป้าหมายที่จะทำการลดของเสีย ดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1. 2 แนวโน้มของการผลิตของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนยานยนต์ทั้งหมด

จากรูปที่ 1.2 พบว่าผลิตภัณฑ์แผ่นเหล็กรองเครื่องเล่นซีดีมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ และมีปริมาณการผลิตสูงสุด เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกค่านำไปใช้กับรถยนต์ในหลายรุ่น จึงทำให้มีปริมาณการผลิตที่ค่อนข้างสูง ส่วนผลิตภัณฑ์ ห่วงเข็มขัดนिरภัย ตัวยึดเก้าอี้ในรถยนต์ และผลิตภัณฑ์ อื่นๆมีแนวโน้มที่น้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้เฉพาะรุ่น

จากตารางที่ 1.3 ตารางที่ 1.4 และรูปที่ 1.2 พบว่าผลิตภัณฑ์แผ่นรองเครื่องเล่นซีดีเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องปรับปรุงคุณภาพ เนื่องจากพบของเสียในกระบวนการสูงที่สุด และมีต้นทุนของเสียมากที่สุดในทุกผลิตภัณฑ์ และแนวโน้มในการผลิตที่สูงและคงที่ที่สุด งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเพื่อปรับปรุงการผลิตผลิตภัณฑ์แผ่นรองเครื่องเล่นซีดี ในบทที่ 3 จะแสดงรายละเอียดการวิเคราะห์เพื่อกำหนดหัวข้อปัญหาในระยะกำหนดปัญหา (Define Phase : D) โดยในงานวิจัยนี้จะปรับปรุง ของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการบีบทับ โดยมีปริมาณและสัดส่วนของเสียดังรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 1.5



ตารางที่ 1.5 ปริมาณและสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี ตั้งแต่เดือน ม.ค. – มิ.ย. 58 (ชิ้น)

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	รวม	สัดส่วน
ปริมาณการผลิต	130,742	167,115	214,800	90,125	182,320	214,181	999,283	
ปริมาณของเสีย	1,756	2,044	1,917	1,634	1,871	1,778	11,000	1.10%
จำนวนของเสียแยกตามประเภทข้อบกพร่อง (ชิ้น)								(1)
ความไม่สมบูรณ์ของการกด	682	722	712	486	516	486	4,356	39.60%
รอยจากการบีบทับ	721	1030	527	452	572	312	3,977	36.15%
ผิวชุบไม่สวย	126	427	315	114	221	172	1,499	13.63%
อื่นๆ	178	217	305	100	114	144	1,168	10.62%

หมายเหตุ อื่นๆ หมายถึง ของเสียประเภท พับไม่ฉาก ครีบ เจาะรูไม่ทะลุ และอื่นๆ

(1) หมายถึง สัดส่วนของของเสียในผลิตภัณฑ์แผ่นรองเครื่องเล่นซีดี

#### จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 1.5 พบว่า ของเสียประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด มีสัดส่วนร้อยละ 41.85 ของของเสียที่พบในผลิตภัณฑ์นี้ และรอยจากการบีบทับ มีสัดส่วนร้อยละ 37.06 ของปริมาณของเสียที่พบในผลิตภัณฑ์นี้ โดยปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการบีบทับ ประกอบด้วย อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด อายุการใช้งานของยางยูรีเทน ความแข็งของยางยูรีเทน และความเร็วในการตัด ซึ่งปัจจัยต่างๆมีความสัมพันธ์กันที่ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีบทับ คือ เมื่อความเร็วในการตัดเพิ่มขึ้น ความแข็งของยางยูรีเทนต่ำ จะส่งผลให้แท่งตัดและแผ่นตายตัดสึกหรอเร็ว ทำให้ต้องซ่อมบำรุงแท่งตัดและแผ่นตายตัดเร็วขึ้น นั่นคือทำให้อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดควรมีค่าน้อยลง และส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของยางยูรีเทนมีแนวโน้มน้อยลงด้วย ซึ่งอายุการใช้งานแท่งตัดและแผ่นตายตัดน้อยจะส่งผลให้เกิดต้นทุนในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นตายตัด และเปลี่ยนยางยูรีเทนต่อหน่วยการผลิตที่สูง แต่จะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่เกิด

จากของเสียที่ต่ำ ดังนั้นจึงควรรหาค่าของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด อายุการใช้งานของยางยูรีเทน ความแข็งของยางยูรีเทน และความเร็วในการตัดเฉือน ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตต่ำที่สุด ซึ่งเป็นผลรวมของค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีบทับ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรไนแท่งตัดและแผ่นตายตัด และค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนยางยูรีเทนที่ต่ำที่สุด รายละเอียดของการกำหนดปัญหาจะกล่าวในบทที่ 3

### 1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อลดค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต ซึ่งประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีบทับ และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง ในกระบวนการผลิตแผ่นรองซีดี

### 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาเฉพาะสายการผลิตการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยวิธีปั๊ม หรือกระแทกสำหรับแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี
2. ศึกษาที่เครื่องปั๊มที่มีแรงกำหนดขนาด 80 ตันเท่านั้น
3. ศึกษาถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีบทับเท่านั้น
4. ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิต ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีบทับ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรไนแท่งตัดและแผ่นตายตัด ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนยางยูรีเทน

### 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้จะใช้วิธีซิกซ์ ซิกมา โดยแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. ระบุกำหนดปัญหา (Define Phase : D)

1.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพตามแนวทางของซิกซ์ ซิกมา

1.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยการปั๊ม หรือการกระแทก และปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการปั๊มทับ

1.2 สำรวจสภาพ และวิเคราะห์ปัญหาในปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษา เพื่อกำหนดหัวข้อปัญหา เป้าหมาย ระยะเวลาในการดำเนินการ และข้อจำกัดต่างๆของโครงการ โดยต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้บริหารระดับสูง

1.3 จัดตั้งคณะทำงานเพื่อเข้าร่วมทีมในการปรับปรุงคุณภาพ โดยมีสายงานที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยการปั๊ม หรือการกระแทก

## 2. ระยะเวลาวิเคราะห์ระบบการวัด (Measure Phase : M)

2.1 วิเคราะห์ความแม่นยำ และเที่ยงของระบบการวัดในการตรวจสอบความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็ก และความสูงของครีบ เนื่องจากสองค่านี้มีความเกี่ยวข้องกับข้อบกพร่องที่พิจารณา

2.2 เก็บข้อมูลเพื่อศึกษาถึงความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็ก และความสูงครีบเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

2.3 วิเคราะห์หาปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่อาจจะส่งผลต่อของเสียและคัดกรองปัจจัยโดยใช้เกณฑ์ของการวิเคราะห์ความล้มเหลว และผลกระทบของกระบวนการ (Failure Mode and Effect Analysis) ที่จะนำไปทดลอง เพื่อพิสูจน์ว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อการทำให้เกิดของเสียอย่างมีนัยสำคัญ

## 3. ระยะเวลาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase : A)

3.1 ทำการแก้ไขสาเหตุที่ไม่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร แม่พิมพ์ เพื่อลดความเบี่ยงเบนของกระบวนการ คือ การกำหนดวิธีในการวางแผ่นเหล็กในแม่พิมพ์

3.2 นำปัจจัยที่อาจจะมีผลต่อของเสีย คือ ความเร็วในการตัด อายุการใช้งานของแท่งตัด และแผ่นด้ายตัด อายุการใช้งานของยางยูรีเทน และความแข็งของยางยูรีเทน มาทำการทดลอง เพื่อหาระดับนัยสำคัญต่อของเสียที่เกิดขึ้น โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

3.3 วิเคราะห์ผลเพื่อนำปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่ทำให้เกิดของเสียไปหาค่าการปรับตั้งที่เหมาะสม เพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตต่ำที่สุด

## 4. ระยะเวลาปรับปรุงกระบวนการ (Improve phase : I)

4.1 ออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของของปัจจัยที่มีนัยสำคัญ ที่ทำให้ค่าของตัวแปรตอบสนองตรงตามเป้าหมาย นั่นคือ ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตต่ำที่สุด

4.2 ทำการทดลองตามแบบการทดลอง ทำการวิเคราะห์ผลและสรุปสรุปความสัมพันธ์และค่าที่เหมาะสมที่สุด

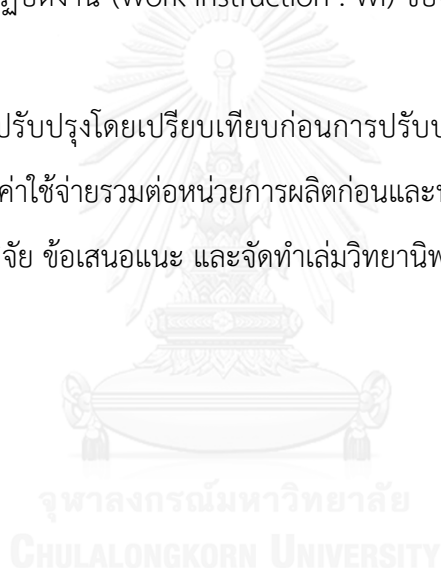
5. ระยะเวลาควบคุมกระบวนการ (Control Phase : C)

5.1 ทดสอบยืนยันผลโดยหาค่าสัดส่วนของเสียและค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตหลังการปรับค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม

5.2 ทำการควบคุมกระบวนการโดยการปรับปรุงเอกสาร เช่น การทำแผนควบคุม (Control Plan) วิธีการปฏิบัติงาน (Work Instruction : WI) ของสายการผลิตการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยวิธีปั๊ม หรือกระแทก

6. สรุปผลการปรับปรุงโดยเปรียบเทียบก่อนการปรับปรุงคุณภาพ และหลังการปรับปรุงคุณภาพ โดยเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุง

7. สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ และจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์





### 1.7 ผลที่ได้รับ

วิธีการปฏิบัติงานที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการผลิตลดลง ซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการบีบอัด และการซ่อมบำรุงของเครื่องเล่นซีดีในรถยนต์

### 1.8 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทราบปัจจัยที่ส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และ รอยจากการบีบอัดในกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยการบีบ หรือกระแทก
2. ปริมาณของเสียประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และ รอยจากการบีบอัดลดลง
3. ลดค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการผลิต ซึ่งเกิดจากของเสียประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และ รอยจากการบีบอัด ไม่ว่าจะเป็นของเสียประเภทที่ต้องทำซ้ำ (Rework) สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือ ของเสียประเภทที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Scrap) ได้อย่างต่อเนื่องให้กลับบริษัท กรณีศึกษา
4. สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อื่นที่มีรูปแบบตามพิมพ์เขียวใกล้เคียงกัน

## บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ซิกซ์ ซิกมา (Six sigma : 6σ)

Jiju,(2014) ได้กล่าวว่า ซิกซ์ ซิกมา (Six sigma : 6σ) ได้ถูกนำมาใช้ช่วงปี ค.ศ. 1980 โดยบริษัท Motorola เป็นผลลัพธ์ของการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพ เริ่มต้นในปลายปี ค.ศ. 1970 กับความพยายามของฝ่ายบริหารที่ต้องการจะปรับปรุงด้านคุณภาพอย่างมาก โดย Robert Galvin กรรมการบริหารได้คิดค้นวิธีที่จะบรรลุวิธีซิกซ์ ซิกมา ในปี ค.ศ. 1992 และได้ปลูกฝังสู่พนักงานทุกคนใน Motorola ซึ่งการตื่นตัวของบริษัท Motorola เป็นแรงผลักดันให้กับบริษัทอิเล็กทรอนิกส์ชั้นนำต่างๆ เช่น บริษัท IBM, DEC Texas Instruments เป็นต้น ยุคเริ่มต้นของซิกซ์ ซิกมา ช่วงปี ค.ศ. 1990 อย่างไรก็ตาม ซิกซ์ ซิกมา ถูกใช้อย่างแพร่หลายในปี ค.ศ. 1995 เมื่อ GE และ Honeywell ได้เริ่มนำซิกซ์ ซิกมา มาใช้กับอุตสาหกรรมที่ไม่ใช่อิเล็กทรอนิกส์และกระจายอย่างรวดเร็วทั่วทุกอุตสาหกรรม (Hendricks and Kelbaugh, 1998)

ซิกซ์ ซิกมาได้ถูกนิยามไว้หลายๆสมัย โดยส่วนมากที่ได้รับความนิยมมีดังนี้

- ซิกซ์ ซิกมาเป็นทฤษฎีขั้นสูง และวิธีทางสถิติ เป็นรากฐานที่จะใช้ในการลด หรือขจัดข้อบกพร่องของกระบวนการ, ผลิตภัณฑ์ และการดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับทุกคนในองค์กร (Hann et al., 1999)
- Harry and Schoreder (2000) ได้นิยามซิกซ์ ซิกมา เป็นกลยุทธ์ทางธุรกิจ และปรัชญาโดยมีกรอบแนวคิดที่จะให้องค์กรได้เปรียบในด้านการแข่งขันโดยการลดข้อบกพร่องในกระบวนการ และกระบวนการที่หวังผลกำไร ซึ่งประกอบด้วยรูปแบบที่เป็นมาตรฐานการตอบสนองภารกิจขององค์กรและจัดการที่เหมาะสมซึ่งทำให้ลูกค้าและผู้ผลิตได้ผลตอบแทนทั้งสองฝ่าย คือการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และคุณภาพของผลิตภัณฑ์
- Pande et al. (2000) แนะนำว่าซิกซ์ ซิกมา เป็นระบบที่ครอบคลุม และยืดหยุ่นเพื่อการบรรลุ การสนับสนุน และจุดสูงสุดในการประสบความสำเร็จของธุรกิจ ซิกซ์ ซิกมาเป็นส่วนที่ขับเคลื่อนเพื่อให้เข้าใจความต้องการของลูกค้า และใช้ความจริงของข้อมูล และวิเคราะห์โดยใช้วิธีทางสถิติ
- Pearson et al. (2001) รายละเอียดของซิกซ์ ซิกมา โดยการรวมวิธีทางสถิติ และไม่ใช้สถิติ ทำให้ธุรกิจได้รับการปรับปรุง

- Treichler et al. (2002) ได้แนะนำว่าซิกซ์ ซิกมาเป็นทฤษฎีขั้นสูง เป็นขั้นตอนที่ช่วยให้องค์กรเห็นถึงการพัฒนา และการส่งมอบผลิตภัณฑ์ที่ผลิตภัณ์ และบริการที่ไม่ดีให้เกือบเป็นศูนย์
- ซิกซ์ ซิกมาเป็นกลยุทธ์ทางธุรกิจ ซึ่งใช้ข้อมูลทางสถิติ และไม่ใช้สถิติ เปลี่ยนรูปแบบการบริหาร การบริหารโครงการ เครื่องมือ และทักษะที่ทำให้องค์กรได้รับรายได้สูงสุด ตลอดจนการจัดของเสียในกระบวนการ (Antony et al., 2006)
- Evan and Lindsay (2005) กล่าวว่าซิกซ์ ซิกมา เป็นวิธีการปรับปรุงกระบวนการทางธุรกิจ เพื่อหาหนทางและกำจัดต้นเหตุของปัญหาในการเกิดของเสียและความผิดพลาด ลดรอบเวลาการผลิตและต้นทุนการผลิต โดยทำการปรับปรุงการผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า โดยเพิ่มการใช้ประโยชน์ในทรัพย์สิน ผลตอบแทนในกระบวนการผลิตและการบริหารโดยปรับปรุงบนพื้นฐานกระบวนการแก้ปัญหาทั้ง 5 ระยะในกระบวนการของ ซิกซ์ ซิกมา คือ ระบุนิยามปัญหา (Define Phase) ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase) ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase) และระยะการติดตามควบคุม (Control Phase) ที่ได้มีการรวบรวมเครื่องมือทางสถิติและเครื่องมือในการปรับปรุงการผลิตเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้

### 2.1.1 ทีมงานของซิกซ์ ซิกมา

ในการทำซิกซ์ ซิกมา ต้องมีความรู้ และความเข้าใจถึงวิธีที่จะใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ, เครื่องมือทางสถิติ, กิจกรรมต่างๆที่ส่งผลให้บรรลุความต้องการของลูกค้า และอื่นๆ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ช่วยให้กระบวนการนั้นไหลได้อย่างต่อเนื่อง และยังสามารแบ่งปันความรู้ไปสู่พนักงานทุกระดับ บางองค์กรได้ส่งต่อซิกซ์ ซิกมา และมีการเลือกใช้เป็นลำดับขั้นตามทักษะของแต่ละบุคคลในหน่วยงาน โดยมีระดับดังต่อไปนี้

**Green Belt:** เป็นส่วนที่ช่วยในการปรับปรุงกระบวนการ และปรับปรุงคุณภาพของซิกซ์ ซิกมา เป็นสมาชิกที่ทำโครงการแบบเต็มเวลา Green Belt เป็นสมาชิกที่มาจากหลายระดับในองค์กร และจัดหาทักษะที่จำเป็นของโครงการ โดยส่วนมากจะอบรมที่ 1-2 สัปดาห์ และโดยทั่วไปจะนิยมให้ผู้บริหารระดับกลางเป็นสมาชิก มีหน้าที่ในการเตรียมความพร้อมในวิธีซิกซ์ ซิกมา (DMAIC) ซึ่งช่วยในการเชื่อมโยงเครื่องมือ และเทคนิคตลอดโครงการ

**Black Belt:** เป็นหัวหน้าของโครงการซิกซ์ ซิกมามีหน้าที่ปรับปรุงโครงการให้สำเร็จ ซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มความพึงพอใจให้กับลูกค้า และระดับของธุรกิจ Black Belt ต้องรับการอบรม 4 สัปดาห์ และต้องมีความเชี่ยวชาญที่จะพิสูจน์ส่วนต่างๆ เพื่อให้โครงการประสบความสำเร็จ ต้องเคยทำซิกซ์ ซิกมาอย่างน้อย 2 ครั้ง และต้องประสบความสำเร็จตามขั้นตอนซิกซ์ ซิกมา (DMAIC) สามารถใช้เวลา



อย่างเต็มที่ในการทำซิกซ์ ซิกมา และต้องสามารถอธิบายทีมงานได้เกี่ยวกับหน้าที่ความรับผิดชอบของแต่ละบุคคล

Master Black Belt: เป็นตัวแทนของบริษัทในการทำซิกซ์ ซิกมา ต้องมีความพยายามที่จะคัดเลือกทีม อบรม ให้คำปรึกษา และจัดหาเทคนิคพิเศษเพื่อสนับสนุน Black Belt และ Green Belt โดย Master Black Belt (MBB) จะถูกคัดเลือกจาก Black Belt ที่มีความสามารถในการทำซิกซ์ ซิกมา ควรมีความสามารถในการนำเสนอที่ดี และมีความเป็นผู้นำ ต้องมีการติดตามโครงการอย่างต่อเนื่องในทุกส่วน และต้องประเมินผลประหยัด และความคุ้มค่าของบริษัท ซึ่งตำแหน่งนี้บริษัทส่วนมากจะให้ผู้บริหารระดับสูงรับผิดชอบ

Process Owner: เป็นเจ้าของหน่วยงาน หรือพื้นที่ที่ต้องการจะปรับปรุง โดยส่วนมากจะเป็นผู้จัดการส่วนงานนั้น มีหน้าที่ในการรับวิธีการปรับปรุงมาปฏิบัติเพื่อให้บรรลุซิกซ์ ซิกมา

Project Champions: โดยผู้บริหารระดับสูงของบริษัทจะมีหน้าที่ในการเลือกโครงการที่ต้องการปรับปรุง กำหนดเป้าหมายของโครงการให้ชัดเจน จัดสรรทรัพยากร และกำจัดอุปสรรคที่มีเพื่อให้โครงการสำเร็จ และบรรลุเป้าหมาย

### 2.1.2 ขั้นตอนของซิกซ์ ซิกมา

ประกอบด้วย DMAIC เป็นวิธีในการในการผลักดันให้เกิดการปรับปรุงตามแนวทางของซิกซ์ ซิกมา โดยเป็นการปรับปรุงกระบวนการปัจจุบัน โดยมุ่งเน้นที่ความแปรปรวนของกระบวนการ อัตราผลผลิตต่ำ ค่าใช้จ่ายของต้นทุนคุณภาพที่สูง เป็นต้น โดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอน ดังนี้

2.1.2.1 Define Phase: เป็นขั้นตอนสำคัญที่จะแสดงให้เห็นถึงการระบุกระบวนการ และระบุสิ่งที่ปัญหา ถ้าเป็นปัญหาที่ไม่รู้แนวทางแก้ไขที่แน่ชัด นั้นเป็นตัวเลือกที่สำคัญในการทำซิกซ์ ซิกมา ซึ่งในส่วนนี้จะประกอบด้วยสัญญาโครงการ(Project Charter) ต้องระบุสิ่งที่ปัญหา สภาพปัจจุบันของปัญหา เป้าหมายของโครงการ คำจำกัดความ และระยะเวลาในการดำเนินโครงการ และต้องมีการทบทวนอย่างสม่ำเสมอ รายละเอียดที่ควรอยู่ในสัญญาโครงการ มีดังนี้

- กำหนดความสำคัญทางธุรกิจ (Business Case) คำอธิบายความสำคัญทางธุรกิจ คือการชี้แจงเหตุผล และผลกระทบว่าทำไมเลือกโครงการการปรับปรุง โดยมีผลกระทบต่อตัวชี้วัดทางธุรกิจอย่างไร

- คำอธิบายสภาพปัญหา (Problem Statement) เป็นการระบุสภาพปัญหาให้ชัดเจน และหาผลกระทบของปัญหาที่เกิดขึ้นกับบริษัท โดยอาศัยหลักการ 5W 1H คือ 1.อะไร – อะไรที่ผิดปกติ 2.ที่ไหน – เกิดขึ้นผลิตภัณฑ์ และกระบวนการไหน 3. เมื่อไหร่ – ปัญหาเกิดขึ้นตั้งแต่เมื่อไหร่ แนวโน้มของปัญหาในปัจจุบันเป็นอย่างไร 4. เท่าไหร่ – ส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัดอะไร เป็นจำนวนเท่าไหร่ ซึ่ง

ควรบอกเป็นตัวเลขเงินได้ 5. ทำไมจึงเป็นปัญหาที่อื่นไม่เกิด เกิดแต่ที่นี่ ในส่วนนี้ยังไม่ควรระบุแนวทางในการแก้ไขปัญหา

- ตัวชี้วัดในการทำโครงการ (Project Metric) แบ่งออกเป็น 5 ด้าน ดังนี้

1.) ตัวชี้วัดทางธุรกิจ (Business Metric): เป็นตัวชี้วัดระดับองค์กร เช่น ผลตอบแทนจากการลงทุน (ROI) ระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย เป็นต้น

2.) ตัวชี้วัดหลัก (Primary Metric): เป็นตัวชี้วัดที่วัดความสำเร็จของโครงการ ซึ่งมีความสอดคล้องกับปัญหา และวัตถุประสงค์ของการทำโครงการ และยังเป็นตัวชี้วัดที่ติดตามความคืบหน้าของโครงการ เช่น สัดส่วนของเสีย ข้อบกพร่องต่อหน่วย เป็นต้น

3.) ตัวชี้วัดรอง (Secondary Metric): เป็นตัวชี้วัดที่ได้รับผลกระทบในเชิงบวกเมื่อมีการปรับปรุงกระบวนการ หรือสิ่งที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้บรรลุเป้าหมายตามตัวชี้วัดหลัก เช่น ตัวชี้วัดหลัก คือ สัดส่วนของเสีย และตัวชี้วัดรอง คือ พื้นที่ที่ว่างเพิ่มขึ้นเนื่องจากไม่ต้องจัดเก็บของเสีย หรือ ลดพื้นที่ในการทำซ้ำ

4.) ตัวชี้วัดสืบเนื่อง (Consequential Metric): เป็นตัวชี้วัดที่อาจได้ผลกระทบเชิงลบเมื่อมีการปรับปรุงกระบวนการ หรือสิ่งที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้บรรลุผลลัพธ์ตามตัวชี้วัดหลัก เช่น ตัวชี้วัดหลัก คือ สัดส่วนของเสีย และ ตัวชี้วัดสืบเนื่อง คือ วิธีการปรับปรุงนั้นทำให้ต้นทุนต่อหน่วย หรือรอบเวลาการผลิตเพิ่มขึ้นหรือไม่

5.) ตัวชี้วัดทางการเงิน (Financial Metric): แบ่งเป็น 2 ประเภท ต้นทุนที่สามารถลดได้อย่างแท้จริง (Hard Saving) เป็นต้นทุนที่อยู่ในรูปของตัวเงินที่สามารถลดได้ เช่น ต้นทุนของเสียที่ลดลง และ ต้นทุนที่อาจลดลงได้ (Soft Saving) เป็นต้นทุนที่คาดว่าจะลดลงได้ หรือสิ่งที่เป็นประโยชน์ เช่น ค่าลงทุนในพื้นที่ที่ประหยัดได้จากของเสียที่ลดลง

- ขอบเขตของโครงการ (Project Scope) มักจะกำหนดเกี่ยวกับเวลาเริ่ม และ สิ้นสุดของโครงการ พื้นที่ และกระบวนการผลิตที่จะปรับปรุง โดยมีสิ่งที่ต้องพิจารณา คือ อำนาจของสมาชิกในทีม ทรัพยากรตามขอบเขตของโครงการ ความเกี่ยวข้องของปัญหากับกระบวนการ และ ระยะเวลาสำเร็จของโครงการ

- ข้อจำกัดของโครงการ (Project Constraints) มักจะอ้างเกี่ยวกับขีดจำกัดด้านทรัพยากรที่ใช้ในการทำโครงการ เช่น เวลาของสมาชิกที่ต้องให้เวลากับโครงการ

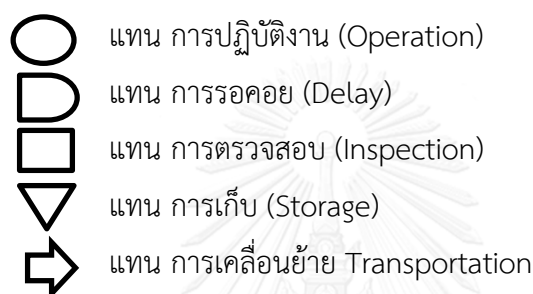
- สมมติฐานของโครงการ (Project Assumptions) มักจะอ้างถึงการสนับสนุนที่ควรได้รับ เช่น ความถี่ที่ Champion จะได้พบทีม Champion จะให้การสนับสนุนเมื่อพบอุปสรรค หรือ อีสรภาพในการแก้ปัญหา
- วัตถุประสงค์ของโครงการ (Objective Statement) ต้องมีในการตั้งวัตถุประสงค์ดังนี้ ต้องมีความเฉพาะเจาะจงและชัดเจน สามารถวัดเป็นตัวเลขได้ สามารถเปรียบเทียบได้ มีลักษณะในเชิงรุกที่สามารถทำให้บรรลุเป้าหมายได้ และมีความเป็นไปได้ที่จะแล้วเสร็จในกรอบเวลาที่เหมาะสม
- สมาชิกในทีม (Team Member) โดยหัวหน้าทีม คือ Black Belt และการคัดเลือกสมาชิก ต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้ 1.) ได้รับการอบรมเป็น Green Belt 2.) มีความรู้ และประสบการณ์เกี่ยวกับปัญหาที่ทำการแก้ไข 3.) มาจากหลายส่วนงาน เพื่อให้การปรับปรุงคุณภาพเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ 4.) จำเป็นต้องมีเจ้าของกระบวนการที่ต้องการปรับปรุงคุณภาพ
- ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ (Timeline) เป็นการกำหนดระยะเวลาเพื่อให้ทราบว่าโครงการต้องใช้เวลาในการดำเนินการอย่างไร และมีการกำหนดขั้นตอนของการปรับปรุงคุณภาพ โดยกำหนดระยะเวลาเริ่มต้น และสิ้นสุดให้ชัดเจน

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างแบบฟอร์มของ Project Charter

Project Charter			
Project Title :			
Business Case:	Project Constraint:		
Problem Statement:	Project Assumption:		
Objective Statement:	Team Members:		
Project Metrics:	Project Timeline:		
Project Scope:	ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการโครงการ ตั้งแต่.....ถึง.....		
	กิจกรรม	เริ่มต้น	สิ้นสุด
	Define		
	Measure		
	Analysis		
	Improve		
	Control		

2.1.2.2 Measure Phase เป็นขั้นตอนสำคัญเพื่อให้เห็นพื้นฐานของประสิทธิภาพของการวัดที่มีความเชื่อมโยงกับปัญหา โดยวัตถุประสงค์ของขั้นตอนนี้คือ การรวบรวมข้อมูลต่างๆจากกระบวนการปัจจุบัน เพื่อให้ทีมงานของการปรับปรุงคุณภาพเข้าใจกระบวนการทำงาน และการปรับปรุงกระบวนการในปัจจุบันที่ได้ดำเนินการไปแล้ว และสิ่งสำคัญของขั้นตอนนี้ คือ การเขียนแผนผังการไหลของกระบวนการ (Process Map) การเก็บข้อมูลของพื้นฐานการวัด และการสรุปข้อมูลที่ทำการรวบรวม

- การเขียนแผนผังการไหลของกระบวนการ (Process Map) ควรสร้างภายใต้กระบวนการที่ทำการศึกษา สามารถดูได้ง่าย และรายละเอียดครบถ้วน โดยใช้สัญลักษณ์มาตรฐาน ดังนี้



การจัดทำแผนผังการไหลของกระบวนการมีจุดประสงค์เพื่อให้ทราบถึงขั้นตอนการไหลของงานซึ่งจะทำให้เห็นถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนต่างๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อปัญหาที่กำลังจะปรับปรุง และสามารถทำให้ถึงข้อมูลที่ควรเก็บรวบรวม สิ่งที่น่าจะระบุอยู่ในแผนผังการไหล รอบเวลาการผลิต กระบวนการคอขวด และขั้นตอนที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ (Non-Value-Added)

- การวางแผนการเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection Plan) โดยมีรายละเอียด ดังนี้ 1. อะไร – จะเก็บข้อมูลอะไร 2. กำหนดค่าจัดความของสิ่งที่จะวัด 3. ทำไม – ข้อมูลนั้นมีความสำคัญอย่างไร 4. ที่ไหน – เก็บข้อมูลจากกระบวนการไหน ที่ไหน 5. ใคร – ใครจะเป็นผู้เก็บข้อมูล 6. อย่างไร – จะเก็บข้อมูลอย่างไร 7. เมื่อไร – จะเริ่มเก็บข้อมูลเวลาไหน 8. เท่าไร – จะเก็บข้อมูลมากน้อยเพียงใด 9. นานเท่าไร – ระยะเวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูล และ 10. ข้อมูลที่ทำการรวบรวมมา จะนำไปใช้ได้อย่างไร

- การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis : MSA) เพื่อวิเคราะห์ความแม่นยำ (Accuracy) และ ความเที่ยง (Precision) ความแม่นยำพิจารณาจากผลการตรวจสอบที่ถูกต้อง หรือ ความใกล้เคียงกับค่าจริง ส่วนความเที่ยงพิจารณาความซ้ำของการตัดสินใจ หรือการวัดซ้ำ ใกล้เคียงค่าเดิม และผลควรออกมาได้เหมือนกัน

- การกำหนดขนาดตัวอย่าง (Sample Size Determination) โดยการประมาณค่าเฉลี่ยของประชากร ดังนี้

$$\text{เมื่อทราบขนาดของประชากร} \quad n = \frac{NZ_{\alpha/2}^2 \sigma^2}{Ne^2 + Z_{\alpha/2}^2 \sigma^2} \quad \text{--- (2.1)}$$

$$\text{เมื่อไม่ทราบขนาดของประชากร} \quad n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \sigma^2}{e^2} \quad \text{--- (2.2)}$$

โดยที่	$n$	คือ ขนาดตัวอย่าง
	$N$	คือ ขนาดประชากร
	$Z_{\alpha/2}$	คือ ค่าปกติมาตรฐานที่สอดคล้องกับระดับความเชื่อมั่น $(1 - \alpha)\%$
	$\sigma$	คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร
	$e$	คือ ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของค่าประมาณได้จากค่าจริง

2.1.2.3 Analyze Phase เป็นขั้นตอนในการระบุสาเหตุของปัญหาที่กำลังศึกษาอยู่ ซึ่งส่วนใหญ่ซิกซ์ ซิกมา จะใช้เครื่องมือต่างๆในการระดมสมอง เช่น การวิเคราะห์ด้วยหลักการ 5 ทำไม (5-WHY Analysis) แผนผังเหตุ และผล (Cause and Effect Analysis) และ การวิเคราะห์ลักษณะบกพร่อง และผลกระทบของกระบวนการ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA) เพื่อให้เห็นสาเหตุของปัญหาที่เป็นไปได้ โดยในระยะวิเคราะห์นั้นมียีกสิ่งหนึ่งที่จะทำให้ตัวแปรนำเข้ามีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น โดยใช้หลักการทางสถิติ เช่น การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing), การวิเคราะห์สหสัมพันธ์(Correlation Analysis), การวิเคราะห์การถดถอย(Regression Analysis), การวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA) และอื่นๆ ซึ่งในซิกซ์ ซิกมาจะมุ่งเน้นไปที่ ทำไมถึงทำให้เกิดข้อบกพร่อง หรือความแปรปรวนของกระบวนการที่เกินกว่าที่ยอมรับได้ โดยระยะวิเคราะห์ปัญหาส่วนใหญ่ผลลัพธ์จากการระดมสมองโดยมีสาเหตุต่างๆ ดังนี้

- การขาดความเข้าใจปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความสามารถของกระบวนการ
- เครื่องมือที่ใช้ในการวัด และการทดสอบไม่ดี
- การควบคุมปัจจัยภายนอกที่ไม่ดีพอ เช่น อุณหภูมิ เสียงรบกวน ความชื้น แรงดัน และ อื่นๆ

เป็นต้น

- ขาดการอบรม
- ขาดความรู้เกี่ยวกับขั้นตอนการทำงาน

2.1.2.4 Improve Phase เป็นขั้นตอนในการสร้างแนวคิดในการขจัด หรือแก้ไขปัญหา และปรับปรุงประสิทธิภาพของการวัด และ จุดวิกฤตต่อคุณภาพ การระดมสมองโดยทั่วไปจะก่อให้เกิดวิธีแก้ปัญหาก็อาจเป็นสาเหตุของปัญหา โดยแนวคิดที่ดีที่สุด คือการให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการโดยตรงมีส่วนร่วมในการปรับปรุง เพื่อป้องกันการปรับปรุงที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า

โดยสาเหตุจากการระดมสมองแต่ละครั้งจะมีได้หลายๆสาเหตุ ดังนั้นจะต้องมีขั้นตอนในการประเมิน และเลือกสาเหตุที่สมเหตุสมผล และตัวแปรนำเข้าสู่ผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองโดยตรงที่สุดมาใช้ในการทดลอง ในขั้นตอนนี้ต้องเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างชุดตัวแปรนำเข้าที่ส่งผลถึงจุดวิกฤตต่อคุณภาพ ดังนั้นในขั้นตอนการปรับปรุงควรใช้ การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) เป็นเทคนิคที่น่าเชื่อถือที่สุด

2.1.2.5 Control Phase เป็นขั้นตอนที่รักษาผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองในระหว่างการปรับปรุง โดยการปรับปรุงตัวแปรนำเข้าตามผลการทดลอง การปรับปรุงเอกสารที่เกี่ยวข้องให้สอดคล้องกับผลลัพธ์ และมีการติดตามผลอย่างต่อเนื่องโดยใช้วิธีทางสถิติต่างๆ หรืออีกทางหนึ่งคือต้องมีการสร้างระเบียบวิธีการปฏิบัติใหม่ การอบรมพนักงานเกี่ยวกับระเบียบวิธีการปฏิบัติใหม่ การทบทวนลงในเอกสารแผนควบคุม (Control Plan) และการทำซิกซ์ ซิกมายังสามารถปรับปรุงไปสู่ผลิตภัณฑ์ที่มีกระบวนการลักษณะเดียวกันได้

2.1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากระบบซิกซ์ ซิกมา ชมพูนุช เดิมสายทอง,(2554)

ในด้านผลิตภัณฑ์

- ลดระยะเวลาในการเสนอผลิตภัณฑ์ใหม่เข้าสู่ตลาดการแข่งขัน
- เป็นผู้นำ ทางเทคโนโลยี
- การมีพัฒนา ผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง
- ต้นทุนผลิตภัณฑ์ลดลง

ในด้านกระบวนการผลิต

- กระบวนการผลิตมีคุณภาพสูง
- ขาดเสียหรือข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตเข้าใกล้ศูนย์

## 2.2 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments)

ปารเมศ ชูติมา,(2545) ได้กล่าวถึงการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments) หรือที่ทางวิชาการเรียกสั้นๆ ว่า DOE เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตภัณฑ์ หรือคุณภาพของการบริการ โดยมีอุปสรรค และช่องว่างของความรู้ด้านสถิติ ซึ่งความต้องการของวิศวกรอุตสาหกรรมในการจัดการแก้ไขปัญหาในกระบวนการ หรือ ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพ

การออกแบบการทดลองเป็นส่วนสำคัญในการปรับปรุงกระบวนการ และปัญหาทางด้านคุณภาพในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเริ่มมีการประยุกต์ใช้มากขึ้นในก่อนช่วงยุคของซิกซ์ ซิกมา โดยมียุคสมัยต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 2. 2 ลำดับเหตุการณ์ของการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง

เมื่อไหร่	อย่างไร	ทำไม	ใคร	ที่ไหน
ดั้งเดิม	One Factor at a Time	ศึกษาปัจจัยที่สนใจ	นักวิทยาศาสตร์	ห้องวิจัย
1975	การออกแบบการทดลองของ Shainin	ศึกษาปัจจัยที่ไม่ทราบ โดยแบ่งเป็นประเภทต่างๆ เช่น สีแดง = X สีชมพู = Y	นายช่าง	พื้นที่หน้างาน
1980	วิธี Box Hunter and Hunter	ปรับปรุงกระบวนการด้วยกลยุทธ์ที่เหมาะสม	นักสถิติ	สายการผลิต
1985	วิธี Taguchi	ลดความแปรปรวนที่เกิดขึ้นใน คุณสมบัติประสิทธิภาพ ของสินค้า และกระบวนการ	วิศวกร	การปฏิบัติงาน
1990	Robust Design	ทำให้ต้นทุนต่ำที่สุด	ผู้จัดการ	การพัฒนากระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ใหม่
1995	ซิกซ์ ซิกมา	การทำกำไรสูงสุด ลดของเสียสูงที่สุด	ประธานบริหาร และ ผู้นำองค์กร	ทุกส่วนของบริษัท

ที่มา Goh (2002),

ในวิธีซิกซ์ ซิกมา การออกแบบการทดลองถือว่ามีสำคัญในการตรวจสอบสาเหตุ และผลกระทบระหว่าง ตัวแปรต่างๆในกระบวนการที่ทำให้เกิดความแปรปรวนของกระบวนการที่

ทำการศึกษ ตัวแปรต่างๆที่ทำการศึกษาที่ใช้ในซิกซ์ ซิกมา ต้องมีการระบุที่มาของตัวแปรให้ชัดเจน และผลกระทบต่อความแปรปรวนในกระบวนการ และใช้การออกแบบการทดลองในการตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปร ซิกซ์ ซิกมา สร้างมาจาก กระบวนการความคิดทางด้านสถิติ และการรวมหลักการบริหาร และเครื่องมือสถิติลงในขั้นตอนของ DMAIC เพื่อการปรับปรุงคุณภาพ

การออกแบบการทดลองจะถูกนำมาใช้ในซิกซ์ ซิกมาในระยะเวลาการปรับปรุงของ DMAIC เพื่อประเมินผลกระทบของตัวแปรที่สนใจ และปัจจัยนั้นต้องมีผลต่อจุดวิกฤตต่อคุณภาพ การออกแบบการทดลองถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมากในวิธีซิกซ์ ซิกมา

### 2.2.1 ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง Jiju,(2014)

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) มีขั้นตอนคือ การวางแผน การออกแบบ และการวิเคราะห์การทดลอง เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์อย่างมีประสิทธิภาพ และประสิทธิผล โดยใช้ผลลัพธ์จากการทดลองที่ใช้แนวทางทางสถิติ จำเป็นต้องรวมสถิติพื้นฐาน และระดับสูงเข้าไปในวิธีการของการออกแบบการทดลอง(Veccnimo,1997) ความสำเร็จการออกแบบการทดลองในอุตสาหกรรมนั้นขึ้นอยู่กับ การวางแผน การออกแบบที่เหมาะสม การวิเคราะห์ข้อมูล และการทำงานเป็นร่วมกัน

บริบทของการออกแบบการทดลองในอุตสาหกรรมการผลิต โดยปัจจัยที่ก่อให้เกิดความแปรปรวนของกระบวนการแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ปัจจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Variable) และปัจจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Variable) สำหรับปัจจัยเชิงปริมาณ เป็นปัจจัยที่สามารถตั้งค่าสามารถวัดได้ และสามารถควบคุมได้ เช่น แรงกำหนด ระยะสโตรก เป็นต้น ปัจจัยเชิงคุณภาพ เป็นปัจจัยที่ลักษณะเป็นหน่วยนับ เช่น ชนิดของวัตถุดิบ ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น ระดับของปัจจัยที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับธรรมชาติของปัจจัยในแต่ละกระบวนการ

การออกแบบการทดลองการรันการทดลองเป็นส่วนสำคัญการรวมของระดับปัจจัยนำเข้ามาต่างๆในกระบวนการ ซึ่งส่งผลต่อปัจจัยตอบสนองที่เราสนใจ

โดยการออกแบบการทดลองประกอบด้วย 3 หลักการ เพื่อช่วยในการลด หรือหลีกเลี่ยงความลำเอียง (Bias) ของการทดลอง ประกอบด้วย แรนดอมไมเซชัน (Randomization) เรพลิเคชัน (Replication) และบล็อกกิง (Blocking) เป็นตัวช่วยให้ปรับปรุงประสิทธิภาพการทดลองในอุตสาหกรรม (Antony, 1997) เป็นส่วนสำคัญที่การทดลองส่วนใหญ่ระบุไว้ เพื่อหลีกเลี่ยงในการตั้งค่าปัจจัยเหมาะสมที่ผิดพลาด หรือการระบุปัจจัยสำคัญของปัจจัยที่ผิดพลาด ซึ่งมีความหมาย ดังนี้

#### 1.) แรนดอมไมเซชัน (Randomization)

สภาวะแวดล้อมที่อยู่รอบตัวเรานั้น ซึ่งมีปัจจัยรบกวน (Noise Factor) หรือสิ่งรบกวนจากภายนอกซึ่งไม่เคยหยุดนิ่ง ตัวอย่างเช่น ชิ้นส่วนของเครื่องจักรต่างๆที่ไม่ผ่านการซ่อมแซม ซึ่งเก่าและชำรุด เนื่องจากผ่านการนำมาเป็นระยะเวลานาน และส่งผลให้ความแม่นยำ และความคงที่ของเครื่องจักรลดลง พฤติกรรมของคนซึ่งใช้งานเครื่องจักรของแต่ละบุคคล ซึ่งส่งผลต้องทำแรนดอมไมเซ



ชั้น หรือการสุ่ม เนื่องจากกระบวนการไม่คงที่ และถ้าไม่มีการสุ่ม ก็จะทำให้ผลการทดลองไม่มีความน่าเชื่อถือ ดังนั้นในการทดลองควรมีการทบทวนเรื่องการสุ่ม (Box, 1990) ถ้าในกระบวนการที่ไม่มี ความคงที่อย่างมาก และการสุ่มไม่สามารถทำได้ไม่ควรทำการทดลอง ต้องทำการควบคุม ความสามารถของกระบวนการโดยใช้วิธีทางสถิติให้ได้ก่อนดำเนินการทดลอง

การออกแบบการทดลองในอุตสาหกรรมนั้น มีการศึกษาปัจจัยหลายอย่าง เช่น การทำงานที่ผิดพลาด ความผันผวนของสิ่งแวดล้อมของอุณหภูมิ ความชื้น ความแปรปรวนในวัตถุดิบ เป็นต้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของกระบวนการ เพราะว่าการควบคุมต้องใช้ต้นทุนที่สูง หรือควบคุมได้ยาก ซึ่งในการทดสอบผลกระทบเชิงลบของผลลัพธ์จากการทดลอง

แรนดอมไมเซชัน หรือการสุ่มบ่อยครั้งใช้สำหรับการลดความลำเอียงของผลกระทบจากการทดลอง วัตถุประสงค์ของการสุ่มคือการกำจัดทรัพยากรทั้งหมดของความแปรปรวนจากภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Leon et., al., 1993) และลดความแปรปรวนจากการเรียนรู้ของคน โดยพื้นฐานของการสุ่ม เป็นหลักการที่ช่วยในการเฉลี่ยผลกระทบบวกรวมที่ทุกระดับของปัจจัยที่อาจจะเกิดขึ้นในกระบวนการปัจจุบัน อีกนัยหนึ่งการสุ่มสามารถทำให้มั่นใจได้ว่าที่ทุกระดับของปัจจัยนั้นมี โอกาสที่ปัจจัยบวกรวมที่เท่ากัน (Barker, 1990) โดยวิธีทั่วไปของการสุ่ม คือ เขียนหมายเลขลงในเมทริกซ์ออกแบบ ทำฉลาก ทำการจับฉลาก และทำการทดลองตามลำดับที่จับ

## 2.) เรพลีเคชัน (Replication)

การออกแบบการทดลองนั้นมีบางปัจจัย เช่น พนักงาน กลุ่มของวัตถุดิบ เป็นต้น เป็นปัจจัยที่มีพื้นฐานทางกายภาพที่ไม่เหมือนกัน เรพลีเคชัน หรือการทำซ้ำ เป็นขั้นตอนการรันการทดลองในลำดับที่ทำการสุ่มซ้ำ ภายใต้สภาวะการทดลองมากกว่าหนึ่งสภาวะ การทำซ้ำนั้นมีพื้นฐานสำคัญ 3 ประการ คือ

1. การประเมินความคลาดเคลื่อนของการทดลองอย่างแม่นยำ ในเทอมของการตั้งค่าปัจจัยการทดลองที่ระดับเดียวกัน (พนักงาน เครื่องจักร วัตถุดิบ เครื่องมือวัด เป็นต้น)
2. การประเมินผลกระทบของปัจจัยหลัก และปัจจัยร่วมอย่างเที่ยงตรง
3. การลดความคลาดเคลื่อนของการทดลอง และเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือของการทดลอง

จำนวนการทำซ้ำของแต่ละการทดลองขึ้นอยู่กับความเพียงพอที่ใช้ในการสรุปผลการทดลองของผลกระทบหลัก หรือปัจจัยร่วม บางครั้งผลกระทบหลัก หรือปัจจัยร่วมอาจจะมีนัยสำคัญต่อการทดลองเนื่องจากเกิดความคลาดเคลื่อนของการทดลอง หรืออีกนัยหนึ่งถ้าคุณมีจำนวนการทำซ้ำพอที่จะอนุมานเกี่ยวกับผลกระทบหลัก และปัจจัยร่วม

การทำซ้ำมีสาระสำคัญซึ่งส่งผลต่อการจัดการเวลาของการทดลองในเวลาที่ต้องการ ยิ่งไปกว่านั้น ถ้าวัตถุดิบมีราคาแพง การทำซ้ำอาจส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายที่มากเกินไป ความคลาดเคลื่อน

ของการทดลองสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงการตั้งค่าต้องมีการกระจายตัวอย่างเท่าเทียมกันของการรันการทดลอง การทำซ้ำนั้นเงื่อนไขในการกำหนดจำนวนการรันของการทดลองนั้นขึ้นอยู่กับเวลาและต้นทุน

### 3.) บล็อกกิง (Blocking)

บล็อกกิงเป็นวิธีในการกำจัดปัจจัยรบกวนจากภายนอก และเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพของการออกแบบการทดลอง วัตถุประสงค์หลังของการบล็อกกิง คือการกำจัดความแปรปรวนที่ไม่ต้องการ เช่น กลุ่มของวัตถุดิบ วัน เวลา กะ ที่ทำการทดลอง เป็นต้น โดยมีแนวคิด คือการจัดเตรียมการทดลองให้เหมือนกันทุกประการ บล็อกกิงนั้นมีเซทใกล้เคียงกันสภาวะความเป็นเอกพันธ์ (Bisgaard, 1994) การบล็อกกิงนั้นสามารถใช้กับ กลุ่มของการผลิต ความแตกต่างของตัวบุคคล ผู้รับเหมาช่วงที่แตกต่างกัน เป็นต้น การเก็บรวบรวมข้อมูลภายใต้สภาวะการทดลองเดียวกัน (ตัวอย่างเช่น วันเดียวกัน กะเดียวกัน) เรียกว่า การทดลองแบบบล็อก ความแปรปรวนระหว่างบล็อกจะถูกกำจัด ซึ่งเป็นการเพิ่มความเที่ยงตรงของการทดลอง

#### 2.2.2 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง Jiju,(2014)

การออกแบบการทดลองมี 4 ขั้นตอน ดังนี้

2.2.2.1 ขั้นตอนการวางแผน (Planning Phase) ถูกสร้างมาโดยส่วนใหญ่มาจากวิธีทางสถิติ และส่วนน้อยมาจากส่วนที่ไม่ใช่สถิติ ตามที่ Peace (1993), ศึกษาการทดลอง ซึ่งผลลัพธ์ที่ออกมาไม่เพียงแต่ขาดความรู้ทางด้านเทคนิคของกระบวนการที่ทำการศึกษา หรือความผิดพลาดในการใช้เครื่องมือทางสถิติ และที่สำคัญขาดการวางแผนในการทดลอง การวางแผนมีส่วนของการบริหารและจัดองค์การสำหรับการทดลอง โดยการจำลองสถานการณ์ของสภาวะแวดล้อม เทคนิคของกระบวนการที่จะการออกแบบการทดลอง เพื่อที่จะทำให้มีความเหมาะสมต่อปัญหา ผลิตภัณฑ์ และโครงการพัฒนากระบวนการ การปรับปรุงความสามารถของกระบวนการ ตลอดจนลดความแปรปรวนของกระบวนการ เป็นต้น

การจำแนก และการกำหนดหัวข้อปัญหา ควรมียุทธประสงค์ ซึ่งมีความเฉพาะเจาะจงสามารถวัดได้ และซึ่งมีคุณค่าต่อบริษัท (Kumar and Tobin, 1990) ซึ่งประกอบด้วยหลายส่วนงาน โดยการแบ่งปันความเข้าใจปัญหาที่ก่อให้เกิดวิกฤตของปัญหาในขั้นตอนการวางแผน ซึ่งในหลายๆส่วนงานควรจะมีบุคคลที่มีความรู้ที่ดีในกระบวนการของการออกแบบการทดลอง ทักษะในการติดต่อสื่อสาร ทักษะส่วนบุคคล และจิตสำนึกด้านคุณภาพ ส่วนสมาชิกในทีมอื่นควรประกอบด้วยวิศวกรกระบวนการผลิต วิศวกรหรือผู้จัดการฝ่ายคุณภาพ พนักงานควบคุมเครื่องจักร ผู้แทนฝ่ายบริหาร และวิศวกร หรือผู้จัดการฝ่ายผลิต เพื่อการแบ่งปันความรู้ และประสบการณ์ของแต่ละบุคคล ซึ่งทำให้มีความมั่นใจในกระบวนการผลิตอย่างถูกต้อง และลึกซึ้ง ในการออกแบบการทดลองเพื่อให้

กระบวนการมีประสิทธิภาพสูงขึ้น (Romeu, 2006) การออกแบบการทดลองมีส่วนช่วยในกระบวนการผลิต ดังนี้

- การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ การปรับปรุงกระบวนการของผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่แล้ว
- การปรับปรุงกระบวนการ หรือผลิตภัณฑ์เพื่อให้ประสิทธิภาพตรง หรือใกล้เคียงความต้องการของลูกค้า
- ลดการกระจายตัวของกระบวนการ ซึ่งส่งผลต่อความสามารถของประสิทธิภาพของกระบวนการ

วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลองควรมีความชัดเจน เจาะจง และสามารถวัดได้ วัตถุประสงค์ไม่ควรสั้น หรือยาวเกินไป ถ้าวัตถุประสงค์สั้นควรจะกำหนดปัญหาให้ชัดเจน เช่น อัตราของเสียสูงเกินกว่า 3 ppm และควรการระบุกระบวนการให้ชัดเจน ในซิกซ์ ซิกมามีวัตถุประสงค์ที่จะได้กำไรสูงสุดโดยการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม หรือการผลิตเข้าไปสู่ปัญหาทางสถิติ

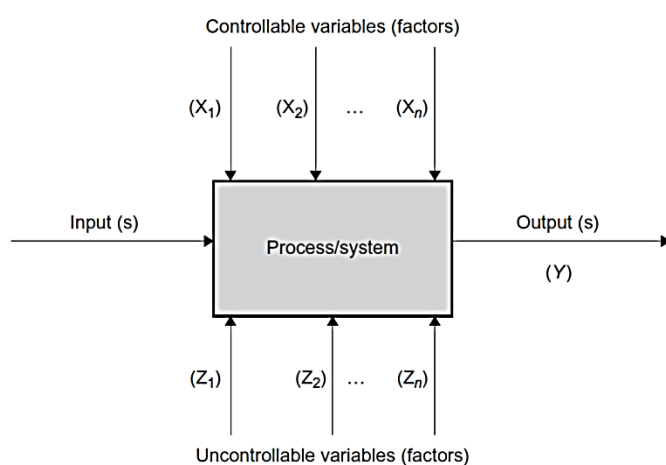
การเลือกตัวแปรตอบสนอง หรือ คำตอบทางคุณภาพ ให้เหมาะสมสำหรับการออกแบบการทดลอง ซึ่งกระทบต่อความสำเร็จของการออกแบบการทดลอง การใช้เวลากับการกำหนดตัวแปรตอบสนองที่มีค่าต่อโครงการก่อนที่ทำการทดลองเพื่อไม่ให้เกิดความสูญเปล่าขึ้น ตัวแปรตอบสนองนั้นมีสองประเภท คือ ตัวแปรที่สามารถวัดค่าแบบต่อเนื่อง (Variable) เช่น ความยาว ความหนา ขนาดของรู ความเร็ว ความแข็งแรง เป็นต้น และหน่วยนับ (Attribute) เช่น ของดีของเสีย ผ่านไม่ผ่าน หรือ ใช่ไม่ใช่ ยิ่งไปกว่านั้น คุณลักษณะของตัวแปรตอบสนองแบบหน่วยวัด มีการใช้ตัวอย่างน้อยกว่าตัวแปรตอบสนองแบบหน่วยนับ ที่ระดับนัยสำคัญเดียวกัน

การทดลองควรมีการทบทวนระบบการวัดที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการปรับปรุง เพื่อให้มีความมั่นใจต่อระบบการวัด สิ่งไหนที่ต้องการวัด และใครเป็นเป็นผู้วัด เป็นต้น ดังนั้นส่วนประกอบหลายๆส่วนของระบบการวัด (ค่าความเบี่ยงเบนจากระบบการวัด ค่าความเบี่ยงเบนของผู้ปฏิบัติงาน ค่าความเบี่ยงเบนจากชิ้นงาน เป็นต้น) สามารถที่จะวัดได้ การนิยามระบบการวัด ควรรวมถึงทรัพยากรบุคคล เครื่องมือ และวิธีการวัด ซึ่งเป็นรากฐานของการออกแบบการทดลอง ความสำคัญของระบบการวัดที่น่าเชื่อถือ คือ เครื่องมือที่ใช้งานอยู่ ความเหมาะสม ความง่ายต่อการใช้งาน และการสอบเทียบ การทดลองควรมีการตระหนักถึง รีพีทาทิบิลิตี้ (Repeatability) ความผันแปรของค่าที่ถูกวัดโดยพนักงานคนเดียวกัน รีโพรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility) ความผันแปรที่เกิดจากความแตกต่างของค่าเฉลี่ยชิ้นงาน และควรให้ความสำคัญของระบบการวัดก่อนที่จะทำการทดลองในโรงงานอุตสาหกรรม (Launsby and Weese, 1995)

การเลือกตัวแปรนำเข้าของกระบวนการ โดยการทดลองส่วนมากจะเลือกจากความรู้ทางวิศวกรรม ข้อมูลในอดีต การวิเคราะห์สาเหตุ และผลลัพธ์ และการระดมสมอง นี่เป็นขั้นตอนที่สำคัญของการออกแบบการทดลอง ถ้าตัวแปรนำเข้าที่มีความสำคัญต่อกระบวนการอยู่นอกเหนือจากการ

ทดลอง จะทำให้ผลลัพธ์ของการทดลองมีความแม่นยำน้อยลง หรือการปรับปรุงคุณภาพที่ไม่เป็นไปตามความต้องการ โดยควรจะมีการกลั่นกรองตัวแปรนำเข้าไปในส่วนของการวางแผนการทดลอง

การกำหนดตัวแปรนำเข้าไป โดยกำหนดจากตัวแปรที่มี 2 ประเภท คือ ตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ และตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ คือ ที่สามารถควบคุม โดยวิศวกรการผลิต เช่น การตั้งค่าเครื่องจักร วิธีการปฏิบัติงาน เป็นต้น ส่วนตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ หรือตัวแปรรบกวน เช่น อุณหภูมิแวดล้อม ความชื้นที่ไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลา หรือ สิ่งที่ต้องลงทุนสูงจนไม่คุ้มค่า เป็นต้น โดยแสดงตัวแปรต่างๆ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ประเภทตัวแปรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการทำงานใดๆ

การพิจารณาระดับของปัจจัย ระดับของปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตัวแปรตอบสนอง เมื่อมีการเปลี่ยนระดับของปัจจัยนำเข้าไป ซึ่งปัจจัยเชิงปริมาณ ได้แก่ ความเร็วสูงสุด ความเร็วต่ำสุด แรงดันสูงสุด แรงดันต่ำสุด เป็นต้น และปัจจัยเชิงคุณภาพ ได้แก่ ชนิดของวัตถุดิบ ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น ในเบื้องต้นควรกำหนดระดับของปัจจัยขั้นต่ำที่ 2 ระดับ ถ้าเกิดพบว่าผลกระทบของการเปลี่ยนระดับทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ไม่ใช่เชิงเส้น หรือสมการเส้นโค้ง ให้ศึกษากระดับของปัจจัยที่ 3 หรือมากกว่า

2.2.2.2 ขั้นตอนการออกแบบ (Design Phase) รูปแบบของการทดลองขึ้นอยู่กับจำนวนของปัจจัยนำเข้าไป ระดับของแต่ละปัจจัยนำเข้าไป และเงินลงทุนที่สามารถยอมรับในการทดลองในแต่ละครั้ง ในขั้นตอนการออกแบบ สิ่งที่มีความสำคัญอีกหนึ่งสิ่ง คือ Confounding Structure หรือ Alias Structure และ Resolution ของการทดลอง (Minitab,2000) ขึ้นอยู่กับทฤษฎีที่อ้างอิงในการทดลอง และคุณภาพของผลสรุปที่ได้จากการทดลอง หลังจากที่ได้รายละเอียดต่างๆข้างต้นให้ทำการเขียนเมทริกซ์การออกแบบ ทำการกำหนดค่าของแต่ละระดับของปัจจัยที่จะทำการทดสอบ และทำการกำหนดตัวแปรอื่นๆที่อาจจะมามีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง เพื่อทำการควบคุมตัวแปรเหล่านั้น

Available Factorial Designs (with Resolution)														
	Factors													
Run	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
4	Full	III												
8		Full	IV	III	III	III								
16			Full	V	IV	IV	IV	III	III	III	III	III	III	III
32				Full	VI	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
64					Full	VII	V	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
128						Full	VIII	VI	V	V	IV	IV	IV	IV

รูปที่ 2. 2 Resolution ที่เป็นไปได้ ที่จำนวนปัจจัยต่างๆของแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล

2.2.2.3 ขั้นตอนการจัดการ (Conducting Phase) การคัดกรองสิ่งต่างๆที่ไม่จำเป็นให้ออกจากการทดลอง ยกตัวอย่างเช่น

- การเลือกสถานที่ที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง เพื่อให้มั่นใจได้ว่าสิ่งรบกวนจากภายนอกไม่มีผลกระทบกับการทดลองนี้ เช่น ความสั่นสะเทือน และความชื้น เป็นต้น รวมถึงคุณสมบัติของวัสดุอุปกรณ์งาน เครื่องจักร และอื่นๆ

- ประเมินความเป็นไปได้ของโครงการในด้านของการลงทุนในการทดลอง จะสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริหาร โดยการวิเคราะห์ผลกำไรที่ได้จากการดำเนินโครงการ การประเมินการทดลองเบื้องต้น การจัดการเมื่อพบกับปัญหา และผลกำไรที่ได้ต้องมากกว่าต้นทุนที่ใช้ในการทดลอง ก่อนที่เราจะเขียนเมทริกซ์ออกแบบครุที่จะปฏิบัติ ดังนี้

- ความรับผิดชอบของแต่ละบุคคลในการทดลอง เพื่อเป็นการลดความผิดพลาดในการสื่อสารของแต่ละกระบวนการ

- การเฝ้าติดตามของการสร้างสถานการณ์การทดลอง โดยการหาความแตกต่างระหว่างสิ่งสองสิ่งที่จะได้ผลลัพธ์เหมือนกัน แต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงค่าใดค่าหนึ่งจะทำให้ผลลัพธ์เปลี่ยนไป ขณะทำการทดลองของแต่ละปัจจัย ถ้าเกิดพบความแตกต่างให้หยุดการทดลองทันที

- บันทึกค่าคำตอบจากการสังเกตที่ได้แต่ละสถานการณ์ลงในเอกสารทันที

- ความเบี่ยงเบนจากการทดลองบางค่า หรือค่าที่เกิดขึ้นทั่วไปให้ทำการบันทึก และทำการวิเคราะห์

2.2.2.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Phase) เป็นการตีความและแสดงผลการทดลอง ซึ่งเหตุผลสอดคล้องกับสมมติฐาน โดยความเป็นไปได้ของการบรรลุวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ มีดังนี้

- พิจารณาตัวแปรที่ทำการออกแบบ หรือ ตัวแปรนำเข้า ซึ่งส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการ

- พิจารณาตัวแปรที่ทำการออกแบบ หรือ ตัวแปรนำเข้า ซึ่งส่งผลกระทบต่อค่าความแปรปรวนของกระบวนการ

- พิจารณาระดับของตัวแปรที่ส่งผลให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรตอบสนอง
- พิจารณาปัจจัยแวดล้อมที่ทำให้การปรับปรุงประสบความสำเร็จ

โดยเครื่องมือที่จะช่วยในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ของการทดลอง มีดังนี้

1. กราฟแสดงผลกระทบของปัจจัยหลัก (Main Effect Plot) โดยการพลอตค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนองที่แต่ละระดับของปัจจัยนำเข้า เป็นสิ่งหนึ่งที่สามารถเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของผลกระทบของตัวแปรที่ระดับแตกต่างกัน โดยความสำคัญของกราฟแสดงผลกระทบของปัจจัยหลักมีดังนี้

- แสดงทิศทาง หรือแนวโน้มของผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีต่อปัจจัยตอบสนองไม่ว่าจะเป็นเพิ่มขึ้น ลดลง หรือไม่มีผล

- ความสำคัญของรุนแรงของผลกระทบ

ผลกระทบของปัจจัยที่มีผลต่อปัจจัยตอบสนองสามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$E_f = \bar{F}_{(+1)} - \bar{F}_{(-1)} \quad \text{--- (2.3)}$$

เมื่อ  $\bar{F}_{(+1)}$  เป็น ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนองที่ระดับสูง และ

$\bar{F}_{(-1)}$  คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนองที่ระดับต่ำ

2. กราฟแสดงผลกระทบของปัจจัยร่วม (Interaction Plot) เป็นการแสดงความสัมพันธ์ค่าเฉลี่ยของปัจจัยตอบสนองพลอตเปรียบของสองปัจจัยในระดับที่ทำการตั้งค่าไว้

การคำนวณหาผลกระทบร่วมสามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$E_{AB} = \frac{1}{2}(\bar{F}_{(A \text{ at } +B)} - \bar{F}_{(A \text{ at } -B)}) \quad \text{--- (2.4)}$$

เมื่อ  $\bar{F}_{(A \text{ at } +B)}$  เป็นค่า ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนองที่ระดับปัจจัย B เป็นระดับสูง และการเปลี่ยนปัจจัย A เป็น สูงและต่ำ

$\bar{F}_{(A \text{ at } -B)}$  เป็นค่า ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนองที่ระดับปัจจัย B เป็นระดับต่ำและการเปลี่ยนปัจจัย A เป็น สูงและต่ำ

3. รูปแบบทางเรขาคณิต (Geometric plot) เป็นการรวมค่าเฉลี่ยของปัจจัยตอบสนองที่ทุกปัจจัยนำเข้าที่ทำการตั้งค่าไว้ เป็นรูปที่สามารถพิจารณาว่าค่าของปัจจัยไหนดีหรือไม่ดีในแต่ละระดับของปัจจัยเพื่อให้บรรลุเป้าหมายของการปรับปรุงคุณภาพ

4. กราฟพาเรโตของผลกระทบ (Pareto Plot of Factor Effect) เป็นกราฟที่แสดงผลของปัจจัยหลัก และผลของปัจจัยร่วม ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมากในการค้นหาที่เหมาะสมที่สุดของการทดลอง

5. กราฟความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติของค่าผลกระทบ (Normal Probability Plot of Effect) เป็นการเปรียบเทียบความน่าจะเป็น กับค่าของผลกระทบของแต่ละปัจจัยนำเข้า โดยค่าที่ไม่มีผลกระทบต่อยังปัจจัยตอบสนองมีค่าอยู่ใกล้กับเส้นตรง ส่วนค่าที่จากไกลจากเส้นตรง แสดงว่าปัจจัยนั้นส่งผลกระทบต่อปัจจัยตอบสนอง (Benski, 1989) แสดงว่าปัจจัยนั้นส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของปัจจัยตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

6. กราฟความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติของค่าถดถอย (Normal Probability Plot of Residual) เป็นสมมติฐานที่สำคัญอย่างหนึ่งของการวิเคราะห์ทางสถิติจากข้อมูลของทางทดลอง และข้อมูลนั้นต้องเป็นข้อมูลการแจกแจงแบบปกติ โครงสร้างของ NNP ของค่าถดถอย ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินค่าถดถอยที่เป็นการแจกแจงแบบปกติ โดยทำการพลอตกราฟระหว่างค่าถดถอย และค่าความน่าจะเป็น หรือค่าปกติ (ตาราง Z) โดยค่าถดถอยคำนวณได้จาก ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกับค่าที่ทำการเก็บมา ถ้าข้อมูลเป็นการแจกแจงแบบปกติ จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง แต่ถ้าข้อมูลไม่เป็นการแจกแจงแบบปกติจะมีลักษณะไม่ชัดเจน หรือไม่เป็นเส้นตรง

7. กราฟพื้นที่ผิวตอบ (Response Surface Plot) ซึ่งในการทดลองนิยมใช้ Contour Plot ในการพิจารณาค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนอง และผลของสภาวะการทดลองต่างๆ Contour Plot นั้นจะบอกค่าตอบของพื้นผิวในมุมมองของ 2 แกน หรือ 2 ปัจจัยนำเข้าที่ทุกระดับของการทดลอง การพิจารณารูปถ้าหากเส้นของ Contour มีลักษณะเป็นเส้นตรง หรือโค้งเล็กน้อย แสดงว่าสมการถดถอย ยังเป็นสมการเส้นตรงอยู่ ถ้าหากเส้นของ Contour มีลักษณะเป็นเส้นโค้งและมีจุดวกกลับ แสดงว่าสมการถดถอย เป็นสมการที่ไม่ใช่เส้นตรง

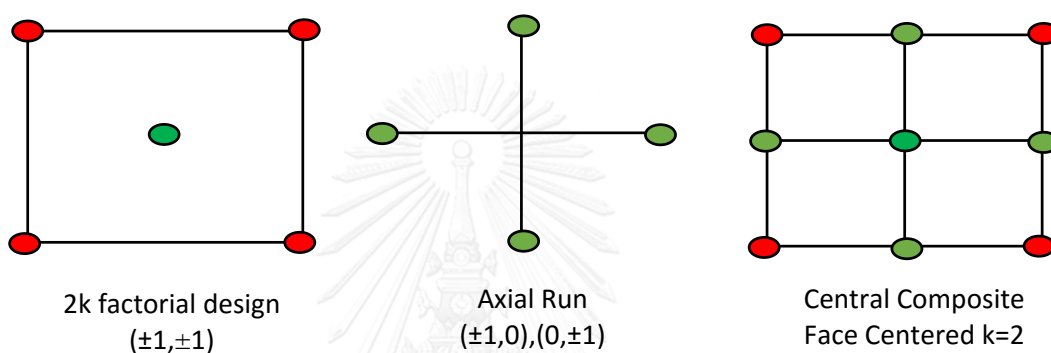
ส่วนกราฟพื้นที่ผิวตอบที่สามารถดูได้ 3 แกน หรือ 2 ปัจจัยนำเข้าที่ทุกระดับการทดลองเทียบกับตัวแปรตอบสนอง เรียกว่า Surface Plot แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ที่ชัดเจนของปัจจัยนำเข้าที่ได้ทำการศึกษา เหนือในการตัดสินใจจะใช้หลักการเดียวกับ Contour Plot

### 2.3 การออกแบบส่วนประสมกลาง (Faced – Center Central Composite Design FCD)

การออกแบบส่วนประสมกลาง หรือ CCD เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้ง (Quadratic Relationship) หรือโพลีโนเมียลกำลังสอง (Second order model) รวมทั้งวิธี CCD นี้สามารถช่วยลดปริมาณการทดลองซึ่งเป็นสิ่งที่เหมาะสมกับสภาวะการทำงานจริงที่ไม่มี

ทรัพยากรเพียงพอต่อการทดลองปริมาณมาก ๆ ซึ่งวิธี CCD โดยในการวิจัยครั้งนี้จะใช้โดยใช้แผนการทดลองแบบ Faced – Center Central Composite Design เนื่องจากปัจจัยไม่สามารถปรับตั้งเป็นจุดศูนยมิได้ จะประกอบด้วยทดลอง 3 ส่วน ตามรูปที่ 2.3 ซึ่งมีองค์ประกอบ ดังนี้

- 1) ส่วนการทดลองแฟคทอเรียล  $2^k$  (Factorial Runs) หรือแฟคทอเรียลบางส่วน  $2^{k-p}$  (Fractional Factorial Runs)
- 2) ส่วนของจุดแกน (Axial Runs) โดยจะทำการทดลองที่  $\pm 1$
- 3) ส่วนของจุดศูนยกลาง (Center Runs)



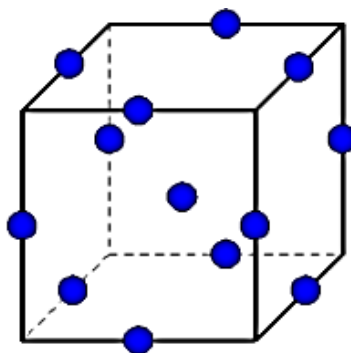
รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของวิธีการออกแบบส่วนประสมกลาง หรือ CCD สำหรับปัจจัยนำเข้า 2 ปัจจัย ( $k=2$ )

จากรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นถึงส่วนการทดลองสามระดับของปัจจัยของวิธีการออกแบบส่วนประสมกลาง CCD คือส่วนการทดลองแฟคทอเรียลอยู่ที่ระดับ  $\pm 1$  หน่วย การทดลองที่จุดศูนยกลางที่ระดับ 0 และการทดลองที่จุดแกนที่ระดับ  $\pm 1$  หน่วยจากการทดลองที่จุดศูนยกลาง

#### 2.4 การออกแบบ Box-Behnken

การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken เป็นการออกแบบการทดลองสำหรับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยขึ้นไป โดยปัจจัยใดๆ จะถูกทดลองที่ 3 ระดับ โดยจะสร้างตัวแบบที่เป็นแบบพหุนามเมียร์กำลังสอง ซึ่งคอมบิเนชันของการทดลองจะประกอบด้วยทดลองที่จุดกึ่งกลาง (Center Runs) ของแต่ละปัจจัย ตามรูปที่ 2.4 นอกจากนี้การทดลองแบบ Box-Behnken จะใช้การทดลองน้อยกว่าแบบส่วนประสมกลาง ถ้ากรณีศึกษา 4 ปัจจัยขึ้นไปจะทำให้ประสิทธิภาพของแผนการทดลองนี้ดีกว่าการทดลองแบบส่วนประสมกลาง





รูปที่ 2. 4 ตัวแบบทางเรขาคณิตของการทดลองแบบ Box-Behnken กรณี 3 ปัจจัย

แสดงเมทริกซ์การทดลองแบบส่วนประสมกลาง และแบบ Box-Behnken กรณีมี 4 ปัจจัย โดยมีรายละเอียด ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2. 3 เมทริกซ์การทดลองแบบส่วนประสมกลาง และแบบ Box-Behnken กรณี 4 ปัจจัย

การทดลองแบบส่วนประสมกลาง					การทดลองแบบ Box-Behnken				
จำนวน ซ้ำ	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	จำนวน ซ้ำ	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$
1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	0	0
1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	0	0
1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	0	0
1	1	1	-1	-1	1	1	1	0	0
1	-1	-1	1	-1	1	0	0	-1	-1
1	1	-1	1	-1	1	0	0	1	-1
1	-1	1	1	-1	1	0	0	-1	1
1	1	1	1	-1	1	0	0	1	1
1	-1	-1	-1	1	1	-1	0	0	-1
1	1	-1	-1	1	1	1	0	0	-1

ตารางที่ 2. 4 เมทริกซ์การทดลองแบบส่วนประสมกลาง และแบบ Box-Behnken กรณี 4 ปัจจัย (ต่อ)

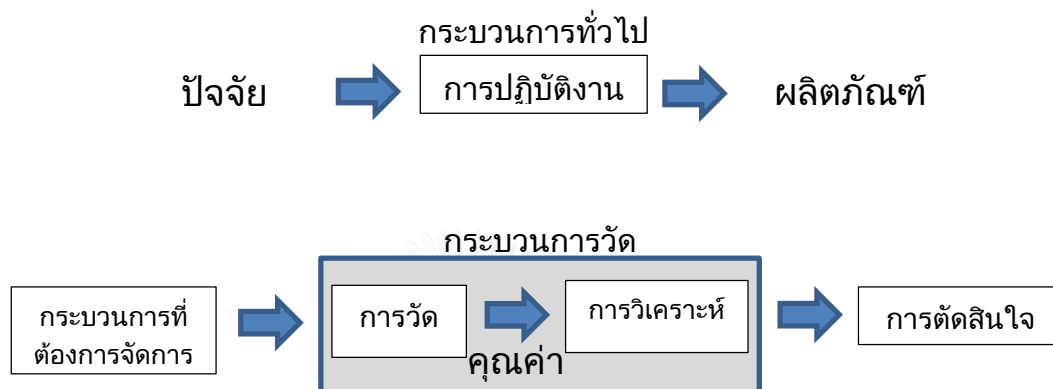
การทดลองแบบส่วนประสมกลาง					การทดลองแบบ Box-Behnken				
จำนวน ซ้ำ	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	จำนวน ซ้ำ	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
1	0	-1	0	0	1	-1	0	1	0
1	-1	1	-1	1	1	-1	0	0	1
1	1	1	-1	1	1	1	0	0	1
1	-1	-1	1	1	1	0	-1	-1	0
1	1	-1	1	1	1	0	1	-1	0
1	-1	1	1	1	1	0	-1	1	0
1	1	1	1	1	1	0	1	1	0
1	-1	0	0	0	1	-1	0	-1	0
1	1	0	0	0	1	1	0	-1	0
1	0	1	0	0	1	1	0	1	0
1	0	0	-1	0	1	0	-1	0	-1
1	0	0	1	0	1	0	1	0	-1
1	0	0	0	-1	1	0	-1	0	1
1	0	0	0	1	1	0	1	0	1
7	0	0	0	0	3	0	0	0	0
จำนวนการทดลอง = 31 ครั้ง					จำนวนการทดลอง = 27 ครั้ง				

จากตารางที่ 2.4 แสดงให้เห็นว่าการออกแบบการทดลองกรณี ที่มีปัจจัยนำเข้า 4 ปัจจัย การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken จะต้องทำการทดลองจำนวน 27 ครั้งซึ่งน้อยกว่าแบบส่วนประสมกลางจะต้องทำการทดลองจำนวน 31 ครั้ง

## 2.5 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis)

### 2.5.1 ความหมายของการวัด และระบบการวัด

การวัด คือ การกำหนดตัวเลขให้กับสิ่งที่สนใจ (Farnum ,1994) และระบบการวัด หมายถึง องค์ประกอบร่วมของบุคลากร เครื่องมือ วิธีการในการทำสิ่งที่สนใจให้เป็นตัวเลขเพื่อแสดงถึงคุณสมบัติของสิ่งดังกล่าว แสดงเป็นแผนภาพให้เห็น ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การกำหนดการวัดให้อยู่ในรูปกระบวนการ

จากรูปที่ 2.5 AIAG, 1994 ได้ให้ความหมายของระบบการวัดว่าหมายถึง สิ่งที่เกี่ยวข้องซึ่ง อุปกรณ์วัดคุม หรือเกจวัดมาตรฐาน การปฏิบัติงาน วิธีการ อุปกรณ์จับยึด ซอฟต์แวร์ บุคลากร สิ่งแวดล้อมและคุณสมบัติต่างๆ ที่ใช้ในการกำหนดปริมาณของหน่วยวัดหรือประเมินคุณลักษณะที่ได้รับการวัด หรืออาจจะกล่าวง่ายๆ ว่าคือ กระบวนการอย่างสมบูรณ์ที่ใช้ในการวัด

ระบบการวัดที่ดี จะทำให้ได้ข้อมูลที่ไต่จากการวัดที่สามารถอธิบายความผันแปรของสิ่งที่ทำการวัดได้ โดย AIAG และ ASQ,(2002) ได้แนะนำถึงคุณสมบัติการวัดที่ดีของระบบการวัดไว้ 4 ประการดังนี้

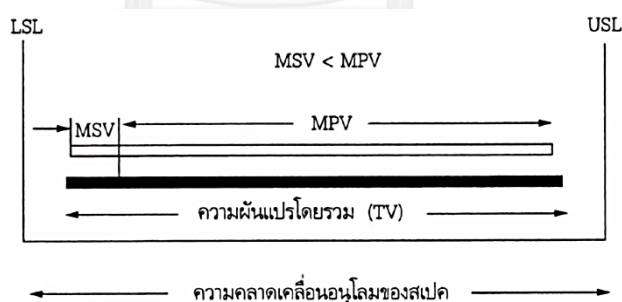
1. มีความไว (sensitivity) และความสามารถในการแยกความแตกต่าง (discrimination) อย่างเพียงพอ กล่าวคือ ระบบการวัดควรมีความละเอียดอย่างเพียงพอในการตรวจจับความผันแปรที่เล็กกว่าระหว่างความผันแปรของกระบวนการและช่วงพิสัยของข้อกำหนดเฉพาะ โดยทั่วไปจะเรียกว่า “กฎ 10 ต่อ 1” ที่ระบุไว้ว่าความสามารถในการแยกความแตกต่างของระบบการวัดควรจะสามารถแบ่งความผันแปรของกระบวนการหรือช่วงพิสัยของข้อกำหนดเฉพาะออกได้อย่างน้อยสิบส่วน
2. ระบบการวัดควรจะต้องอยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติ คือ จะต้องดำเนินการภายใต้เงื่อนไขที่สามารถทำได้ (repeatable conditions) โดยความผันแปรที่เกิดขึ้นควรจะมาจกสาเหตุโดยธรรมชาติที่มีคุณสมบัติในการคาดการณ์ได้

3. ในการควบคุมผลิตภัณฑ์ ความผันแปรจากระบบการวัดต้องมีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงพิสัยของข้อกำหนดเฉพาะ โดยจะทำการประเมินความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลม (tolerance) ของข้อกำหนดเฉพาะ

4. ในการควบคุมกระบวนการ ความผันแปรของระบบการวัดต้องสามารถแยกความแตกต่างได้โดยจะต้องมีขนาดเล็กอย่างเพียงพอเมื่อเปรียบเทียบกับความผันแปรของกระบวนการผลิต โดยจะทำการประเมินความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับความผันแปรโดยธรรมชาติหรือความสามารถของกระบวนการผลิต

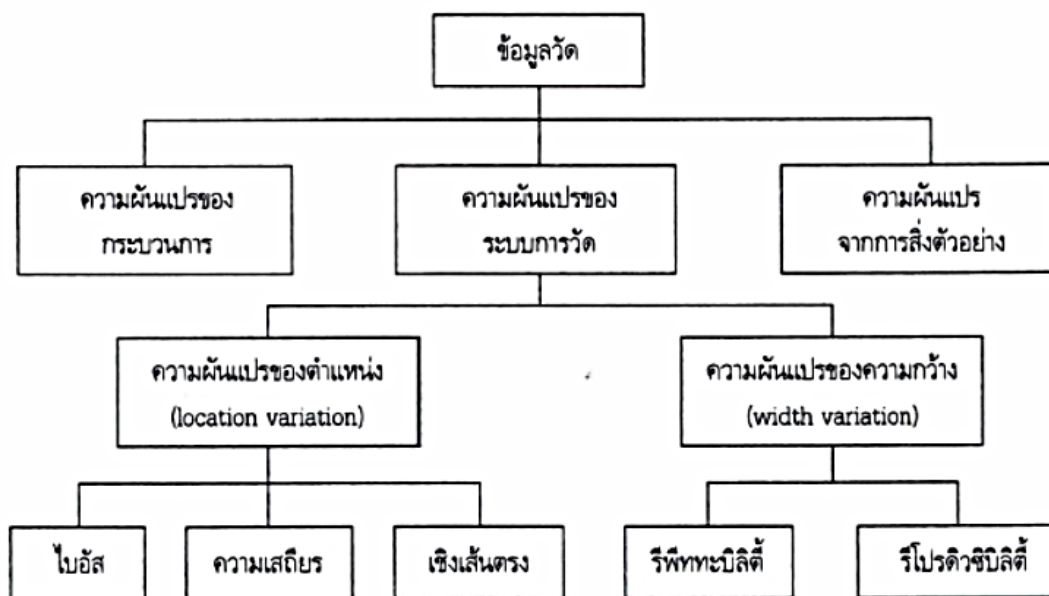
#### 2.5.2 ประเภทของความผันแปรในระบบการวัด

ในการประเมินผลระบบการวัด (measurement system evaluation : MSE) จะเป็นการประเมินความผันแปรเนื่องจากระบบการวัด (measurement system variation : MSV) มีค่าเท่าใดเมื่อทำการเปรียบเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะ (ในกรณีใช้ระบบการวัดสำหรับจำแนกผลิตภัณฑ์ที่ทำการวัดออกเป็นผลิตภัณฑ์ดี หรือบกพร่อง) หรือทำการเปรียบเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (total variation; TV) ที่ได้จากความผันแปรของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ (manufacturing process variation; MPV) โดยเกณฑ์ในการประเมินระบบการวัดคือ ต้องพยายามทำให้ MSV มีค่าต่ำๆ เมื่อเปรียบเทียบกับ TV หรือค่าความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะ ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แนวความคิดในการวิเคราะห์ระบบการวัด

จากรูปที่ 2.6 แสดงถึงแนวความคิดในการวิเคราะห์ระบบการวัด ในกรณีที่ความผันแปรจากระบบการวัดมีค่าเปรียบเทียบกับ TV หรือ  $USL - LSL$  แล้วจะถือว่ากระบวนการดังกล่าวไม่มีความสามารถ (incapable process) จึงมีความจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์หาสาเหตุความผันแปรจากระบบการวัด (measurement system analysis ; MSA) เพื่อปรับปรุงระบบการวัด แสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2. 7 องค์ประกอบความผันแปรของระบบการวัด

จากรูปที่ 2.7 แสดงถึงองค์ประกอบความผันแปรของระบบการวัด กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2553) กล่าวว่าในการวิเคราะห์ระบบการวัด สามารถจำแนกประเภทความผันแปรออกเป็น 5 ประเภท คือ ไบอัส (bias) ความมีเสถียรภาพ (stability) คุณสมบัติเชิงเส้นตรง (linearity) รีพีทะบิลิตี้ (repeatability) และรีโพรดูซิบิลิตี้ (reproducibility)

1.) ความเอนเอียง หรือไบอัส คือ ความเบนเบียงเบนของค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่เบี่ยงเบนไปจากค่าจริง หรือค่าของสิ่งที่ทำการวัด ซึ่งจะใช้ในการประเมินคุณสมบัติความถูกต้อง

ความถูกต้อง คือ คุณสมบัติของการเข้าใกล้ค่าจริงของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด

2.) ความมีเสถียรภาพ (stability) คือ การเปลี่ยนแปลงไปของค่าไบอัสของระบบการวัดเมื่อมีการขยายระยะเวลาใช้งานออกไป

3.) คุณสมบัติเชิงเส้นตรง (linearity) คือ การเปลี่ยนแปลงไปของค่าไบอัสของระบบการวัดเมื่อมีการเปลี่ยนย่านการวัด

4.) รีพีทะบิลิตี้ (repeatability) คือ ความผันแปรของค่าวัดจากระบบการวัดภายในเงื่อนไขเดียวกัน ส่วนมากมักจะมีสาเหตุจากเครื่องมือวัด จึงเรียกว่า Equipment Variation - EV

5.) รีโพรดูซิบิลิตี้ (reproducibility) คือ ค่าความผันแปรของค่าวัดจากระบบการวัดระหว่างเงื่อนไขของการวัด ส่วนมากมักจะมีสาเหตุมาจากพนักงานวัด เรียกว่า Appraiser Variation - AV

- AV

### 2.5.3 การประเมินผลความผันแปรของความกว้างของระบบการวัดแบบผันแปร (Variable Measurement system analysis)

#### 2.5.3.1 ขั้นตอนการศึกษาความเที่ยงของระบบการวัด ดังนี้

1. ระบุจำนวนเครื่องมือที่จะตรวจสอบและจำนวนพนักงานวัดซึ่งเป็นผู้ที่ใช้เครื่องมือวัดเป็นประจำ
2. กำหนดขนาดตัวอย่างในการเก็บข้อมูล โดยอ้างอิงจากตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2. 5 ตารางกำหนดขนาดตัวอย่างในการเก็บข้อมูลเพื่อประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัด

จำนวนพนักงานวัด	จำนวนอุปกรณ์วัด	จำนวนชิ้นงานที่น้อยที่สุด	จำนวนการวัดซ้ำแต่ละชิ้นงาน
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

3. สอบเทียบเครื่องมือวัดหรือทวนสอบวันที่ทำการสอบเทียบครั้งล่าสุดมีความสมเหตุสมผล และยังไม่ถึงกำหนดในการสอบเทียบครั้งต่อไป
4. สร้างตารางบันทึกข้อมูล
5. ให้พนักงานวัดคนแรกวัดชิ้นงานทุกชิ้นในรอบแรก โดยมีลำดับของการวัดชิ้นงานอย่างสุ่มเพื่อลดความลำเอียงในการบอกค่าวัดของพนักงานวัด
6. ให้พนักงานวัดคนที่สองวัดชิ้นงานในรอบแรก โดยมีลำดับของการวัดชิ้นงานอย่างสุ่ม และทำแบบนี้เรื่อยๆ จนกระทั่งครบทุกคน จึงเสร็จสิ้นการวัดค่าครั้งแรกของพนักงานวัดทุกคน
7. ทำซ้ำขั้นตอนในข้อ 5 และ 6 จนกระทั่งครบจำนวนรอบการวัดซ้ำตามที่กำหนดไว้

8. วิเคราะห์ผลโดยใช้วิธีการประเมินความเที่ยงของระบบการวัด

9. หากผลการประเมินเป็นผ่าน แสดงว่าระบบการวัดนั้นมีความเที่ยงเพียงพอ หากผลการประเมินเป็นไม่ผ่าน จำเป็นต้องปรับปรุงความเที่ยงของระบบการวัด ก่อนจะนำค่าวัดจากระบบการวัดใช้งานต่อไป

### 2.5.3.2 การประเมินความเที่ยงของระบบการวัด

การประเมินผลคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัด เมื่อได้ข้อมูลจากการวัดมาแล้ว จะต้องประเมินค่าความผันแปรด้านรีพีทะบิลิตี้ ค่าความผันแปรด้านรีโพรดูซิบิลิตี้ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของความผันแปรของระบบการวัด จากนั้นนำความผันแปรของระบบการวัดไปเทียบกับความผันแปรของค่าทั้งหมดที่สังเกตได้ ซึ่งรวมค่าความผันแปรของชิ้นงานเข้าไปด้วย ทำให้ทราบว่าระบบการวัดนั้นมีความเพียงพอที่จะแยกแยะความแตกต่างของชิ้นงานได้หรือไม่ โดยมีการประเมินต่างๆ ดังนี้

1. สูตรการหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานด้านรีพีทะบิลิตี้

$$\hat{\sigma}_{repeatability} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad \text{--- (2.5)}$$

เมื่อ  $\bar{R} = \frac{\bar{R}_1 + \bar{R}_2 + \dots + \bar{R}_p}{p}$

โดยที่  $\bar{R}_p$  คือ ค่าเฉลี่ยของพิสัยของทุกชิ้นงานของพนักงานวัดคนที่ i

$d_2$  คือ ค่าคงที่ ในที่นี้คือ จำนวนครั้งของการวัดซ้ำของแต่ละชิ้นงานโดยแต่ละคน

2. สูตรการหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานด้านรีโพรดูซิบิลิตี้

$$\hat{\sigma}_{reproducibility} = \frac{R_{\bar{x}}}{d_2} \quad \text{--- (2.6)}$$

เมื่อ  $R_{\bar{x}} = \bar{x}_{max} + \bar{x}_{min}$

$$\bar{x}_{max} = \max(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_p)$$

$$\bar{x}_{min} = \min(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_p)$$

โดยที่  $\bar{x}_i$  คือ ค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้ทั้งหมดของพนักงานวัดคนที่ i

$d_2$  คือ ค่าคงที่ ในที่นี้คือ จำนวนพนักงานวัด

3. สูตรการหาความผันแปรมาตรฐานของระบบการวัด

$$\sigma_{measurement}^2 = \sigma_{gage}^2 = \sigma_{repeatability}^2 + \sigma_{reproducibility}^2 \quad \text{--- (2.7)}$$

4. สูตรการคำนวณค่า Precision-to-total Variation (P/TV)

$$P/TV = \frac{6\hat{\sigma}_{\text{measurement}}}{6\hat{\sigma}_{\text{total}}} \quad \text{--- (2.8)}$$

5. สูตรการคำนวณค่า Precision-to-Tolerance Ratio (P/T)

$$P/T = \frac{6\hat{\sigma}_{\text{measurement}}}{USL-LSL} \quad \text{--- (2.9)}$$

โดยมีเกณฑ์การประเมินผลความเที่ยงของระบบการวัดดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2. 6 เกณฑ์ในการประเมินผลความเที่ยงของระบบการวัด

P/TV	P/T	ผลการประเมิน
<10%	<10%	ยอมรับได้
10% ถึง <30%	10% ถึง <30%	อาจยอมรับได้ โดยพิจารณาจากปัจจัยอื่นๆ
≥30%	≥30%	ไม่สามารถยอมรับได้ต้องหาสาเหตุและทำการแก้ไข

อ้างอิงจาก AIAG (2008),

6. การคำนวณค่าความผันแปรของผลิตภัณฑ์

6. การคำนวณค่าความผันแปรของผลิตภัณฑ์

$$\sigma_{\text{total}}^2 = \sigma_{\text{gage}}^2 + \sigma_{\text{product}}^2 \quad \text{--- (2.10)}$$

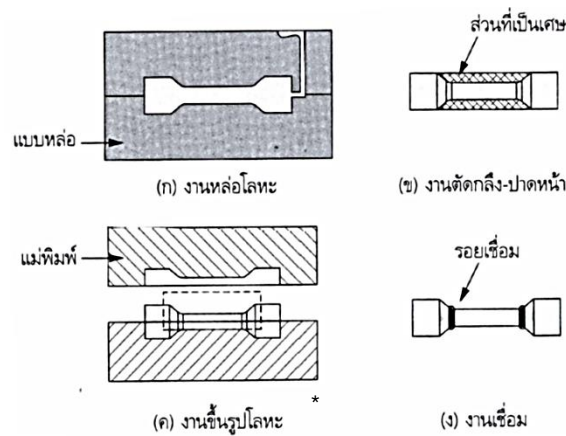
$$S^2 = \sigma_{\text{gage}}^2 + \sigma_{\text{product}}^2 \quad \text{--- (2.11)}$$

$$\sigma_{\text{product}}^2 = S^2 - \sigma_{\text{gage}}^2 \quad \text{--- (2.12)}$$

## 2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับการขึ้นรูปโลหะ

วารุณี เปรมาพันธ์ และพงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์,(2557) ได้กล่าวว่า กระบวนการขึ้นรูปโลหะ (Metal Forming Process) หมายถึงกระบวนการการผลิตประเภทหนึ่ง que เปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัตถุดิบให้เป็นผลิตภัณฑ์ หรือชิ้นงานที่มีรูปร่างตามความต้องการโดยใช้แม่พิมพ์ หรือเครื่องมือเฉพาะ (Die or Forming Tool) ในการขึ้นรูป ในขณะที่วัตถุดิบยังอยู่ในรูปของแข็งโดยไม่มีการเสียเศษ และไม่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในของวัสดุนั้นๆ หนังสือวิชาการจึงเรียกกระบวนการนี้ว่า งานขึ้นรูปโลหะ หรือ งานเปลี่ยนรูปโลหะในช่วงการเปลี่ยนรูปถาวร ดังนั้นการขึ้นรูปโลหะจึงไม่ได้หมายรวมถึงงานตัดกลึงปาดหน้า (Machining Process) ซึ่งเป็นการผลิตที่มีการเสียเศษ หรืองานหล่อโลหะ (Casting process) ที่มีการเปลี่ยนสถานะของวัตถุดิบจากของแข็งเป็นของเหลว





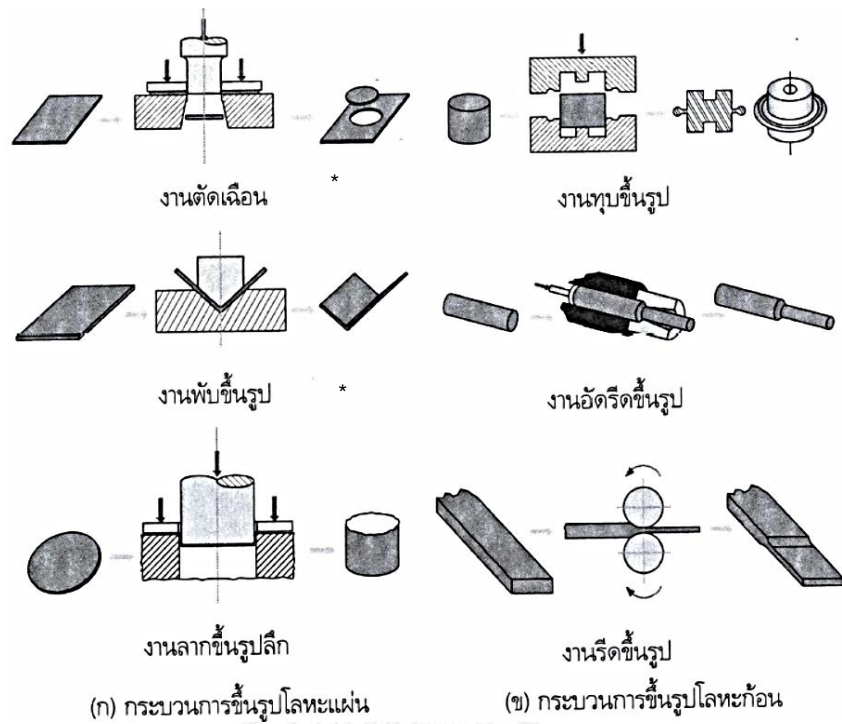
\* กระบวนการขึ้นรูปโลหะที่ทำการศึกษา

## รูปที่ 2. 8 กระบวนการผลิตประเภทต่างๆ ของการขึ้นรูปโลหะ

ลักษณะสำคัญของกระบวนการที่เกิดความเค้นสูงในเนื้อวัสดุ เนื่องจากการเปลี่ยนรูปของวัสดุแทบทุกส่วนเกิดในเวลาเดียวกัน และเกิดในสภาวะของแข็งที่วัสดุมีค่าความแข็งแรงสูง ดังนั้น แม่พิมพ์จึงต้องมีความแข็งแรง มีคุณภาพสูง และมักจะมีขนาดใหญ่ รวมถึงเครื่องปั๊มก็ต้องสามารถส่งผ่านแรงได้มากเพียงพอ จึงเป็นกระบวนการที่มีต้นทุนการผลิตสูง และเหมาะสมหรือคุ้มทุนในกรณีที่มีการผลิตสูง ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปจะมีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเนื่องจากสมบัติความเครียดแข็ง (Strain Hardening) ของวัสดุเอง และการจัดเรียงเกรนตามการไหลตัว

### 2.6.1 ประเภทของงานขึ้นรูปโลหะ

งานขึ้นรูปโลหะแบ่งเป็น 2 กลุ่ม โดยพิจารณาจากวัสดุเริ่มต้น ถ้าวัสดุเริ่มต้นเป็นโลหะแผ่น จะเป็นกลุ่มการขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet Metal Forming Process) เช่น กระบวนการตัดเฉือน (Blanking Process) กระบวนการพับขึ้นรูป (Bending Process) และกระบวนการลากขึ้นรูปลึก (Deep Drawing Process) เป็นต้น และถ้าวัสดุเริ่มต้นมีลักษณะเป็นก้อน จะเป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะก้อน (Bulk Metal Forming Process) เช่น กระบวนการทุบขึ้นรูป (Forging Process) กระบวนการอัดรีดขึ้นรูป (Extrusion Process) และกระบวนการรีดขึ้นรูป (Rolling Process)

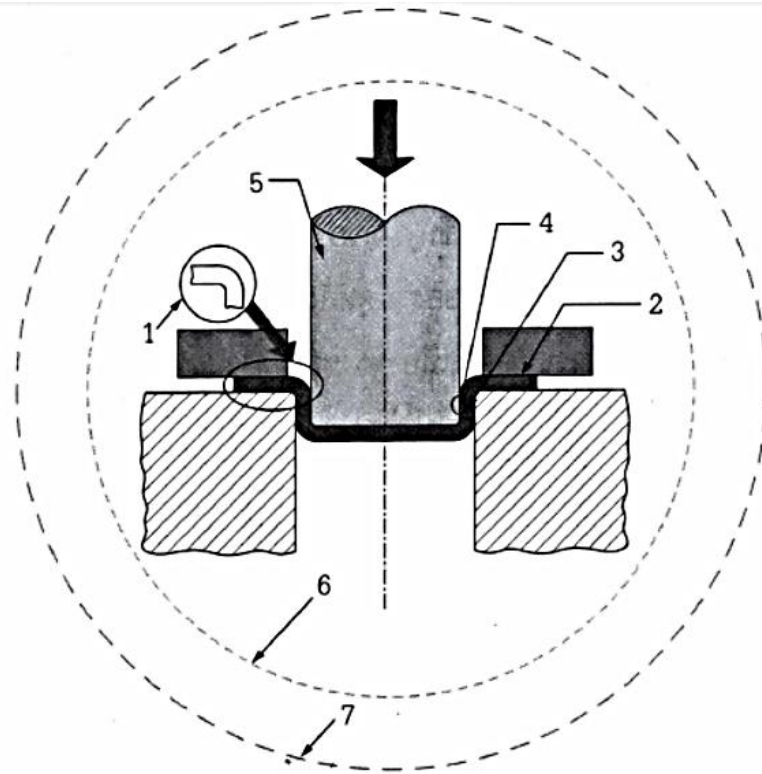


\*ประเภทของงานขึ้นรูปโลหะที่ศึกษา

รูปที่ 2. 9 เปรียบเทียบกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นและก้อนประเภทต่างๆ

## 2.6.2 องค์ประกอบสำคัญของการขึ้นรูปโลหะแผ่น

การทำงานและการผลิตชิ้นงานด้วยกระบวนการขึ้นรูปโลหะ เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์ ถูกต้อง เทียบตรงตามความต้องการ รวมถึงกระบวนการผลิตที่ดูแลรักษาง่าย ไม่เกิดค่าใช้จ่ายสูงเกินไป อยู่ในขอบเขตที่ควรจะเป็น จึงจำเป็นต้องมีการดูแลเชื่อมโยงอย่างเป็นระบบตามที่ K. Lange, 1985



องค์ประกอบที่ 1 กลไกการเปลี่ยนรูปถาวร

องค์ประกอบที่ 2 สมบัติของวัสดุเริ่มต้น

องค์ประกอบที่ 3 สมบัติของวัสดุหลังการขึ้นรูป

องค์ประกอบที่ 4 บริเวณผิวสัมผัสระหว่างชิ้นงานและแม่พิมพ์

องค์ประกอบที่ 5 แม่พิมพ์

องค์ประกอบที่ 6 เครื่องบีม

องค์ประกอบที่ 7 อุปกรณ์ช่วยอื่น ๆ

รูปที่ 2. 10 องค์ประกอบของงานขึ้นรูปโลหะแผ่น

จากรูปที่ 2.10 Lange, K. (1985) ได้ให้คำนิยาม ดังนี้

องค์ประกอบที่ 1 กลไกการเปลี่ยนรูปถาวรของวัสดุและการไหลตัว สภาวะความเค้นที่เกิดขึ้นในบริเวณต่างๆ เพื่อวางแผนการออกแบบแม่พิมพ์ให้มีประสิทธิภาพสามารถทำนายตำแหน่งหรือโอกาสในการเกิดความเสียหายขณะทำการขึ้นรูป เพื่อหาแนวทางการแก้ไข ป้องกัน เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์

องค์ประกอบที่ 2 สมบัติของวัสดุเริ่มต้น องค์ประกอบทางเคมี ความแข็งแรงของวัสดุ ความสามารถในการไหลตัว ความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นในขณะขึ้นรูป (Work Hardening) ในบางกรณี

ต้องคำนึงถึงสมบัติทางด้านทิศทางการแปรตัวของวัสดุ สมบัติทางโลหะวิทยา รวมถึงการปรับปรุงโครงสร้างโดยใช้ความร้อนก่อนขึ้นรูป

องค์ประกอบที่ 3 สมบัติของวัสดุหลังการขึ้นรูป ซึ่งมักจะหมายถึงคุณสมบัติทางกล ลักษณะของผิวสำเร็จ ความเที่ยงตรงของขนาด ในบางกรณี การเกิดความเครียดในเนื้อวัสดุอาจส่งผลกระทบต่อการใช้งาน จึงต้องคำนึงถึงการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อนก่อนนำไปใช้งาน

องค์ประกอบที่ 4 บริเวณผิวสัมผัสชิ้นงานกับแม่พิมพ์ เป็นบริเวณที่เกิดความเสียหายที่ด้านทานการไหลตัวของวัสดุ จึงควรมีความเข้าใจในศาสตร์ของการหล่อขึ้นและศาสตร์ที่เกี่ยวข้องการปรับสภาวะผิวของแม่พิมพ์และชิ้นงาน รวมถึงการสึกหรอที่ผิวของแม่พิมพ์ภายใต้สภาวะการปั๊มโลหะ

องค์ประกอบที่ 5 แม่พิมพ์ ความเข้าใจในกระบวนการทำงานของแม่พิมพ์ ตัวแปรที่มีผลต่อความสำเร็จในการขึ้นรูป ทำให้เกิดการออกแบบที่เหมาะสมในการใช้งาน และซ่อมบำรุงได้ง่าย การผลิตแม่พิมพ์ที่เหมาะสมเที่ยงตรง การใช้ขั้นตอนที่เหมาะสมเพื่อช่วยลดต้นทุนในการผลิต การเลือกใช้วัสดุทำแม่พิมพ์ที่เหมาะสม รวมถึงความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องในการผลิต เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าคุ้มค่ายิ่งที่สุด และไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับชิ้นส่วนแม่พิมพ์ได้ง่าย

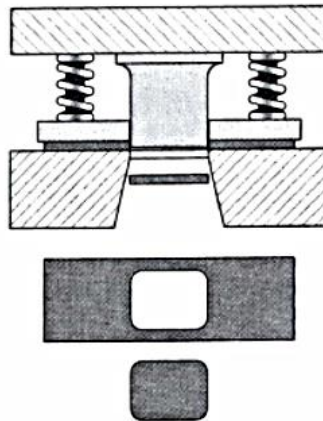
องค์ประกอบที่ 6 เครื่องปั๊ม เป็นตัวส่งผ่านแรงในการประกบชุดแม่พิมพ์เข้าหากันเพื่อขึ้นรูปชิ้นงาน การเลือกใช้เครื่องปั๊มที่เหมาะสม ความเข้าใจกลไกการทำงาน การส่งผ่านแรงของเครื่องปั๊มขนาดของเครื่องปั๊ม และขนาดของแรงที่จำเป็น เพื่อใช้ในการกำหนดขนาดของแม่พิมพ์ วิธีการติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊ม และการปรับตั้งเงื่อนไขต่างๆ ในการปั๊มโลหะ

องค์ประกอบที่ 7 อุปกรณ์ช่วยอื่น ๆ เช่น กลไกในการป้อนชิ้นงาน กลไกในการนำส่วนที่ไม่ต้องการหรือเศษที่เหลือจากการทำงานออกจากเครื่องปั๊ม ระบบการพ่นหรือฉีดสารหล่อลื่น อุปกรณ์ในการตรวจสอบความถูกต้องของชิ้นงานภายหลังการขึ้นรูป เป็นต้น

### 2.6.3 ประเภทของแม่พิมพ์โลหะแผ่น

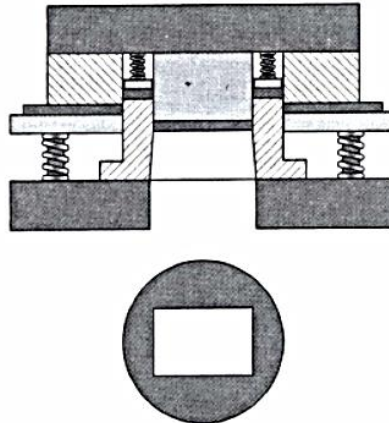
ชาญชัย ทรัพย์ากร, ประสิทธิ์ สิวสดีสรรพ์ และคนอื่นๆ,(2557) ได้อธิบายไว้ ดังนี้

1.) แม่พิมพ์เดี่ยว (Single Die) หมายถึง ชุดแม่พิมพ์ที่มี 1 สถานีทำงาน และทำงานเพียงรูปแบบเดียว เช่น แม่พิมพ์ตัดเฉือน แม่พิมพ์เจาะรู แม่พิมพ์ปั๊ม เป็นต้น ถ้าเป็นลักษณะงานที่ต้องการทำงานหลายขั้นตอน ก็จะประกอบด้วยแม่พิมพ์เดี่ยวหลายชุด แต่ละชุดทำงานเพียง 1 ขั้นตอน



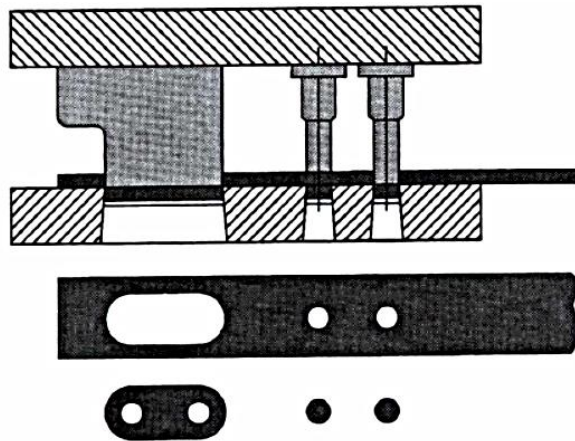
รูปที่ 2. 11 แม่พิมพ์เดี่ยว

2.) แม่พิมพ์ผสม (Compound Die) หมายถึง ชุดแม่พิมพ์ที่มี 1 สถานีทำงาน แต่มีทำงาน 2 รูปแบบขึ้นไป เช่น การตัดขอบและเจาะรู หรือตัดขอบและขึ้นรูป เป็นต้น ซึ่งมักจะออกแบบบนเส้นแกนกลางร่วมกัน การทำงานทั้งหมดจะเสร็จสิ้นในสโตรกเดียวของเครื่องปั๊มโลหะ ซึ่งเป็นแม่พิมพ์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้



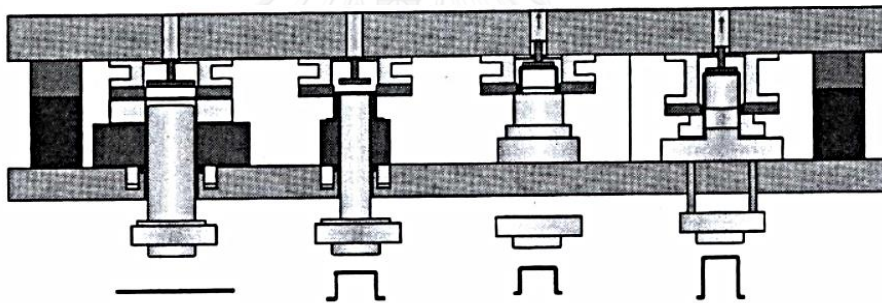
รูปที่ 2. 12 แม่พิมพ์ผสม

3.) แม่พิมพ์ต่อเนื่อง (Progressive Die) หมายถึง ชุดแม่พิมพ์ที่มีมากกว่า 1 สถานี ชิ้นงานจะถูกป้อนผ่านครั้งละสถานีจนได้รูปร่างชิ้นงานที่ต้องการ การป้อนชิ้นงานครั้งละสถานีจะทำได้โดยใช้ส่วนของแผ่น Strip เอง การตัดเฉือนเพื่อแยกชิ้นงานออกจาก Strip จะทำในขั้นตอนสุดท้าย



รูปที่ 2. 13 แม่พิมพ์ต่อเนื่อง

4.) แม่พิมพ์ส่งผ่าน (Transfer Die) หมายถึง ชุดแม่พิมพ์ที่มีมากกว่า 1 สถานีการทำงาน การตัดเฉือนส่วนของชิ้นงานออกจากแผ่น Strip มักจะทำที่สถานีแรก การส่งผ่านชิ้นงานจะใช้กลไกภายนอกทำการเคลื่อนย้ายในขณะที่แม่พิมพ์เปิดของแต่ละจังหวะ

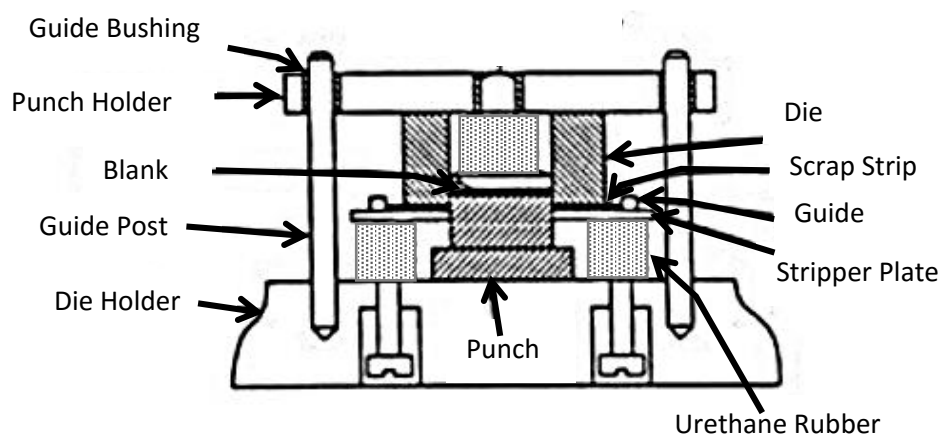


รูปที่ 2. 14 แม่พิมพ์ส่งผ่าน

#### 2.6.4 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ตัดเฉือน

องค์ประกอบของแม่พิมพ์ตัดเฉือน ประกอบด้วยส่วนต่างๆ มีรายละเอียดดังแสดงใน

รูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 องค์ประกอบของแม่พิมพ์ตัดเฉือน

1. Guide Bushing คือ อุปกรณ์สวมเข้ากับ Guide Post เพื่อเป็นตัวกำหนดความเที่ยงตรงของแม่พิมพ์ขณะป้อน
2. Punch Holder คือ แผ่นจับยึดชุดแท่งตัด (Punch) และส่วนต่างๆของแม่พิมพ์ด้านบน
3. Blank คือ แผ่นเหล็กส่วนที่ต้องการ ที่ถูกตัดออกจากแผ่นสตริป
4. Guide Post คือ ตัวกำหนดความเที่ยงตรงของแม่พิมพ์ขณะป้อนและอายุการใช้งานของแม่พิมพ์
5. Die Holder คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการยึดจับตาย (Die) และอุปกรณ์ทุกชิ้นที่อยู่ส่วนล่างของชุดแม่พิมพ์
6. Punch หรือแท่งตัด คือ อุปกรณ์ที่ใช้ตัดแผ่นเหล็กให้เป็นขนาดที่ต้องการตามแบบพิมพ์เขียว
7. Urethane Rubber หรือยางยูรีเทน คือ อุปกรณ์ในการรับแรงอัด และส่งผ่านไปยังส่วนที่ต้องการ
8. Stripper Plate คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการปลดแผ่นป้อนตัดชิ้นงานซึ่งถูกตัดเป็นรูแล้วไปตัดต่ออยู่ในลำตัวของพินช์
9. Guide หรือ Stopper คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการประคอง หรือกั้นแผ่นเหล็ก
10. Scrap Strip คือ แผ่นเหล็กส่วนที่ไม่ต้องการ
11. Die หรือแผ่นตายตัด คือ อุปกรณ์ใช้ตัดแผ่นเหล็กให้เป็นขนาดที่ต้องการตามแบบพิมพ์เขียว

## 2.6.5 เครื่องปั๊มโลหะ

เครื่องปั๊มโลหะ (Press) ที่ใช้ในงานขึ้นรูปโลหะทั่วไปทำหน้าที่ในการเคลื่อนที่แม่พิมพ์ 2 ส่วน คือ แม่พิมพ์ส่วนบนและแม่พิมพ์ส่วนล่างเข้าหากัน เครื่องปั๊มจะทำหน้าที่ในการส่งผ่านแรงและพลังงานการเคลื่อนที่ลงของแรม (Ram) หรือ สไลด์ (Slide) ขณะเดียวกันก็ทำหน้าที่เป็นตัวบังคับทิศทางเคลื่อนที่ (Guide) โดยโครงสร้าง (Frame) ของเครื่องด้วย เพื่อให้แม่พิมพ์ 2 ตัวประกบกันพอดี

### 2.6.5.1 เครื่องปั๊มแบบกลไกและแบบไฮดรอลิก (Mechanic Press and Hydraulic Press)

อุตสาหกรรมกว่าร้อยละ 95 ของเครื่องปั๊มทั้งหมดเป็นเครื่องแบบกลไก (AIDA, 1992) โดยคุณลักษณะของเครื่องแบบกลไกและแบบไฮดรอลิกจะแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2. 7 คุณลักษณะของเครื่องปั๊มแบบกลไกและแบบไฮดรอลิก

คุณลักษณะ	แบบกลไก*	แบบไฮดรอลิก
อัตราการผลิต (Production Rate)	เร็ว	ช้า
ความยาวช่วงชัก (Stroke Length)	สั้น (600-1,000 mm)	ยาว
การปรับเปลี่ยนความยาวช่วงชัก (Change of Stroke Length)	ยาก	ง่าย
การกำหนดตำแหน่งศูนย์ตายล่าง (Stroke Bottom Dead Center Determination)	ปรับตั้งได้เที่ยงตรง	โดยทั่วไปไม่สามารถกำหนดความเที่ยงตรงได้
การปรับตั้งความเร็วในการทำงาน	ไม่สามารถปรับตั้งได้	ปรับตั้งได้ง่าย
การปรับตั้งแรงกดคงที่ที่ตำแหน่งใดๆ (Retention of Working Force)	ไม่สามารถทำได้	ปรับตั้งได้ง่าย
การเกิดแรงเกินกำลังเครื่อง (Press Overloading)	มีโอกาสเกิดได้	ไม่มีโอกาสเกิด
การดูแลรักษา (Ease of Maintenance)	ง่าย	ใช้เวลานาน
ขนาดแรงสูงสุดของเครื่องปั๊มโลหะ (Maximum Press Capacity)	6,000 tf (งานโลหะแผ่น) 11,000 tf (งานทูปขึ้นรูป)	70,000 tf 200,000 tf (กำลังพัฒนา)

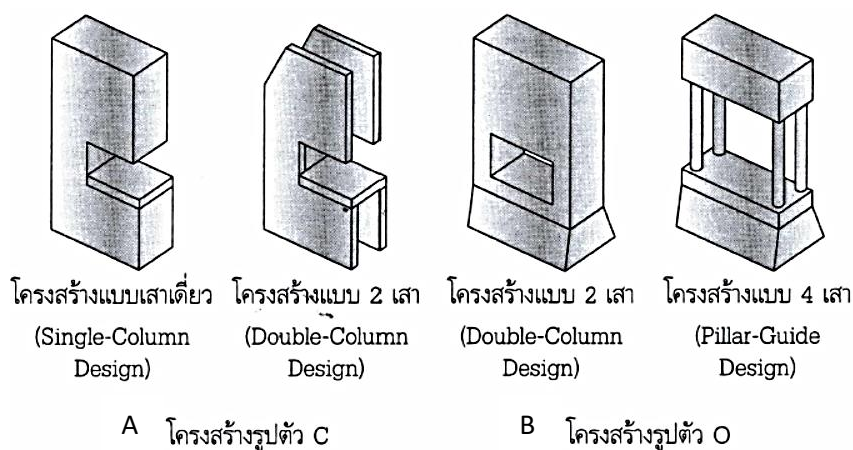
\*ประเภทเครื่องปั๊มที่ศึกษา



### 2.6.5.2 องค์ประกอบของเครื่องปั๊มโลหะ

#### 1.) โครงสร้างของเครื่องปั๊ม (Press Frame)

ต้องมีความมั่นคงแข็งแรง ซึ่งมีความเกี่ยวข้องโดยตรงของชิ้นงานที่ปั๊ม ถ้าโครงสร้างของเครื่องไม่มั่นคงแข็งแรง จะทำให้เกิดความสั่นสะเทือนขณะทำงาน และทำให้เกิดการเสียรูปในช่วงการเปลี่ยนรูปไม่ถาวร (Elastic Deformation) อาจจะทำให้เกิดการแอ่นตัวขณะเกิดแรงกระทำ และเกิดการเสียศูนย์ขณะแม่พิมพ์ชุดบนและชุดล่างประกบกัน โครงสร้างของเครื่องปั๊มมี 2 รูปแบบคือ โครงสร้างรูปตัว C (C Frame) และโครงสร้างรูปตัว O (O Frame, Straight-Slide หรือ Closed-Frame)



รูปที่ 2. 16 โครงสร้างของเครื่องปั๊มรูปตัว C และรูปตัว O

- จากรูปที่ 2.15A เป็นโครงสร้างแบบรูปตัว C ใช้งานได้ง่าย สะดวกในการป้อนแผ่นโลหะ เนื่องจากสามารถป้อนเข้าได้ 3 ทิศทาง คือ ด้านหน้า ด้านซ้าย และด้านขวาของเครื่อง ดังนั้น แผ่นโลหะขนาดใหญ่สามารถป้อนเข้าเครื่องได้อย่างไม่มีปัญหา แต่โครงสร้างแบบนี้มีแนวโน้มที่จะเกิดการแอ่นตัวขณะเกิดแรงกระทำสูง ส่งผลให้เกิดความไม่ร่วมศูนย์ของระหว่างแม่พิมพ์ชุดบนและชุดล่าง โดยทั่วไปโครงสร้างรูปตัว C มักใช้กับเครื่องปั๊มโลหะที่มีขนาดไม่ใหญ่มาก ไม่เกิน 3,000 kN (หรือประมาณ 300 ton-force)

- จากรูปที่ 2.15B เป็นโครงสร้างแบบรูปตัว O การป้อนโลหะได้จากด้านหน้าเครื่องเท่านั้น ซึ่งถือเป็นข้อจำกัด แต่จะเกิดปัญหาเรื่องการแอ่นตัวของโครงสร้างเครื่องน้อยกว่า

#### 2.) โบลสเตอร์เพลท (Bolster Plate)

โบลสเตอร์ หรือ Plate Table เป็นส่วนที่ติดตั้งบนฐานเครื่อง ทำจากแผ่นโลหะหนา โดยทั่วไปจะเจาะหน้าด้วย T-Slot เพื่อรองรับ T-Bolt ในการจับยึดชุดแม่พิมพ์ด้านล่าง

#### 3.) แรมหรือสไลด์ (Ram or Slide)

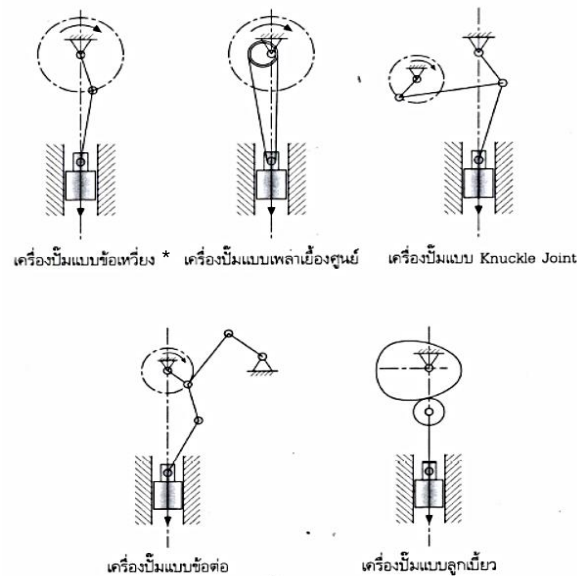
เป็นส่วนที่เคลื่อนที่ขึ้น-ลงเพื่อพาชุดแม่พิมพ์เข้าประกบกัน

#### 4.) กลไกสร้างการเคลื่อนที่ของแรม (Driving Mechanism)

เป็นกลไกในการส่งผ่านแรงและควบคุมการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของแรม แบ่งเป็น 2 ประเภทที่ใช้กันอยู่ทั่วไป คือ แบบควบคุมการเคลื่อนที่ของแรมด้วยระบบไฮดรอลิก และแบบควบคุมการเคลื่อนที่ของแรมด้วยกลไก

- แบบควบคุมการเคลื่อนที่ของแรมด้วยระบบไฮดรอลิก หรือเรียกกันว่า เครื่องปั๊มแบบไฮดรอลิก แรมจะติดอยู่กับกระบอกไฮดรอลิกที่ถูกขับเคลื่อนด้วยปั๊ม (Hydraulic Pump) เพื่อสร้างแรงดันให้กับน้ำมัน ไฮดรอลิกผ่านวาล์วปรับอัตราการไหลของของเหลว ระยะความยาวสโตรกกำหนดได้ตามความยาวของชุดกระบอกสูบ

- แบบควบคุมการเคลื่อนที่ของแรมด้วยกลไก ซึ่งมีอยู่หลายกลไก เช่น เครื่องปั๊มแบบข้อเหวี่ยง (Crank Press) ใช้กลไกของข้อเหวี่ยงในการขับเคลื่อนแรม โดยทั่วไปสามารถปรับตั้งระยะสโตรกสูงสุดได้ (Total Stroke) แต่เครื่องปั๊มแบบเพลลาเยื้องศูนย์กลาง (Eccentric Press) จะสามารถปรับตั้งสโตรกได้แบบเครื่องปั๊ม Knuckle Joint จะมีลักษณะการเคลื่อนที่เฉพาะ คือเคลื่อนที่เข้าใกล้ตำแหน่งศูนย์กลางตายกลาง มีระยะสโตรกสั้น เครื่องปั๊มแบบข้อต่อ (Link Press) จะมีการออกแบบกลไกข้อต่อมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความเร็วของรอบของสโตรก การทำงานมักจะทำให้จังหวะถอยกลับด้วยความเร็วสูง เพื่อลดความเร็วในแต่ละรอบ และเครื่องปั๊มลูกเบี้ยว (Cam Press) สามารถออกแบบความเร็วในการเคลื่อนที่ที่ตำแหน่งต่างๆ ได้โดยออกแบบบนลูกเบี้ยว แต่มีข้อจำกัดคือส่งผ่านแรงได้ไม่สูงมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.16



\* เป็นเครื่องปั๊มแบบข้อเหวี่ยงที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

รูปที่ 2. 17 กลไกเครื่องปั๊มแบบต่างๆ

### 2.6.5.3 ลักษณะสำคัญของเครื่องปั๊มโลหะ อ้างอิงเครื่องปั๊มโลหะแบบกลไกที่ใช้ในการศึกษา

1.) แรงกำหนด (Nominal Force) โดยทั่วไปมักจะมีข้อมูลแรงกำหนด(Nominal Force or Force Capacity) เช่น เครื่องปั๊มขนาด 630 ตัน หมายถึง เครื่องที่ถูกออกแบบให้มีแรงกำหนดที่ 630 ตัน (6,300 kN โดยประมาณ) จึงมักจะถูกเข้าใจคลาดเคลื่อนว่าเป็นแรงสูงสุดที่สามารถทำได้ แต่กรณีเครื่องปั๊มแบบกลไก หมายถึง เครื่องปั๊มนั้นถูกออกแบบมาให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับแรงที่มีขนาดตามที่กำหนดได้ โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับส่วนใดส่วนหนึ่งของเครื่อง เครื่องปั๊มแบบกลไกส่วนใหญ่จึงถูกออกแบบให้มีกลไกในการป้องกันแรงเกิน (Overload Safety Device) คือ ออกแบบให้ส่วนอ่อนแอที่สุดเสียหายก่อน และเป็นชิ้นส่วนที่ถอดเปลี่ยนได้ง่าย

2.) ระยะสโตรก (Stroke Length) การผลิตเครื่องปั๊มจะมาตรฐานของระยะสโตรกที่ขึ้นกับแรงกำหนดของแต่ละเครื่อง แต่ละกระบวนการผลิตต้องการระยะสโตรกที่ไม่เท่ากัน เช่น กรณีงานตัดเฉือนทั่วไปต้องการระยะสโตรกประมาณ 10-75 mm. ส่วนงานลากขึ้นรูปต้องการระยะสโตรกประมาณ 2.5 เท่าของความลึกในการขึ้นรูป ควรเลือกระยะสโตรกที่สั้นที่สุดที่สั้นที่สุดที่สามารถทำงานได้สะดวก

3.) จำนวนรอบต่อนาที (Stroke per Minute : spm) เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับอัตราการผลิต ยิ่งจำนวนรอบต่อนาทีสูง ก็จะทำให้อัตราการผลิตสูงด้วย แต่ขึ้นอยู่กับลักษณะและคุณภาพของชิ้นงานด้วย

4.) ความสูงปิด (Press Shut Height) วัดจากขอบบนสุดของโบลสเตอร์ถึงขอบล่างของแรมที่ตำแหน่งศูนย์ตายล่าง โดยปรับให้แรมอยู่ที่ตำแหน่งบนสุด (Stroke Down Adjustment Up)

5.) พื้นที่โบลสเตอร์และแรม (Bolster and Ram Area) จะมีขนาดขึ้นอยู่กับแรงกำหนดและชนิดของเครื่อง การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับขนาดของแม่พิมพ์และจำนวนแม่พิมพ์ที่จะประกอบในเครื่อง

6.) ปรับตำแหน่งแรม (Ram Adjustment) ตำแหน่งของแรมที่สามารถปรับตั้งได้จะช่วยเพิ่มความสามารถในการรองรับแม่พิมพ์ที่มีความสูงแตกต่างกัน

ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้จะศึกษาเครื่องปั๊มแบบกลไก ใช้กลไกแบบเพลลาเยื้องศูนย์ โดยแรงกำหนดของเครื่องมี 3 ขนาด คือ 45 ตัน 85 ตัน และ 110 ตัน โดยแม่พิมพ์เป็นแบบผสม คือทำหน้าที่ในการขึ้นรูปชิ้นงาน และทำการประกอบสลัก

2.6.6 คุณสมบัติทางกลของวัสดุและการเปลี่ยนรูป วารุณี เปรมาพันธ์ และอรจิรา เตียวณิชย์  
,(2557)

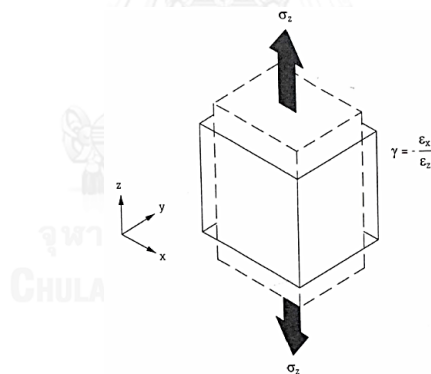
1.) โมดูลัสของยัง (Young's Modulus) สมบัติการเปลี่ยนรูปแบบไม่ถาวรหรือการเปลี่ยนรูปในช่วงยืดหยุ่น เมื่อมีแรงมากระทำกับโลหะ จะเปลี่ยนรูปตามทิศทางของแรงกระทำนั้นด้วยความสัมพันธ์แบบเส้นตรง

ซึ่งระยะการยืดตัวของโลหะทั่วไปจะมีค่าน้อยมาก โดยคำนวณได้จากสมการ Hooke's Law

$$E = \frac{\sigma(\text{Stress})}{\varepsilon(\text{Strain})} \quad \text{--- (2.13)}$$

โดยที่ E = ค่าโมดูลัสของยัง หน่วยเป็น N/mm<sup>2</sup> หรือ GPa  
 $\sigma$  = ค่าความเค้น หน่วยเป็น N/mm<sup>2</sup> หรือ GPa  
 $\varepsilon$  = ค่าความเครียด ไม่มีหน่วย

2.) อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's Ratio) วัสดุที่ได้รับแรงกระทำในช่วงการเปลี่ยนรูปแบบไม่ถาวร เช่น ในกรณีได้รับแรงดึง ชั้นทดสอบจะยืดออกในทิศทางตามแนวของแรงดึง ขณะเดียวกันชั้นทดสอบจะถูกบีบลงในทิศทางตั้งฉากกับแรงกระทำ

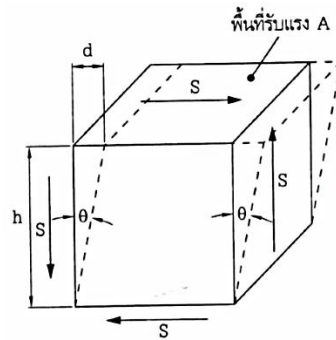


รูปที่ 2. 18 การเปลี่ยนรูปของวัสดุช่วงเวลาการเปลี่ยนรูปแบบไม่ถาวรขณะรับแรงดึง

$$\gamma = -\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_z} = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_z} \quad \text{--- (2.14)}$$

โดยที่  $\gamma$  = ค่าอัตราส่วนปัวซอง  
 $\varepsilon_{..}$  = ค่าความเครียดของแกนนั้นๆ ไม่มีหน่วย

3.) โมดูลัสเฉือนในช่วงยืดหยุ่น (Elastic Shear Modulus) วัสดุที่ได้รับแรงกระทำในทิศทางขนานกับพื้นที่รับแรง



รูปที่ 2. 19 การเปลี่ยนรูปของวัสดุช่วงยืดหยุ่นภายใต้แรงเฉือน

ความเค้นเฉือน

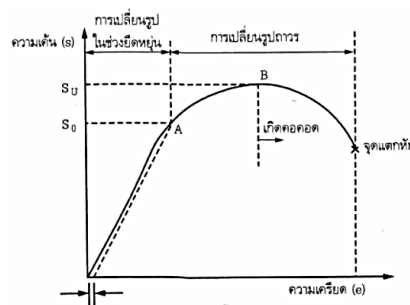
$$\tau = \frac{S}{A} \quad \text{--- (2.15)}$$

- โดยที่  $\tau$  = ค่าความเค้นเฉือน      หน่วยเป็น N/mm<sup>2</sup>หรือ GPa  
 $S$  = แรงเฉือน      หน่วยเป็น N  
 $A$  = พื้นที่รับแรง      หน่วยเป็น mm<sup>2</sup>

ความเครียดเฉือน

$$\gamma = \frac{d}{h} = \tan\theta \quad \text{--- (2.16)}$$

- โดยที่  $\gamma$  = ค่าความเครียด      ไม่มีหน่วย  
 $d$  = ระยะเคลื่อนที่ตามทิศทางของแรง      หน่วยเป็น mm  
 $h$  = ความสูงของพื้นที่รับแรง      หน่วยเป็น mm  
 $\theta$  = มุมที่เกิดการบิดไป



รูปที่ 2. 20 เส้นโค้งความเค้นและความเครียด

### 2.6.7 แผ่นเหล็กรีดเย็น

เหล็กแผ่นรีดร้อนเมื่อผ่านการผลิตมาจนอยู่ในรูปของม้วนเหล็ก (Coil) แล้ว มักจะมีสนิม (Scale) หรือ Iron oxide อยู่ที่ผิวเนื่องจากการออกซิเดชันระหว่างขั้นตอนการผ่านแท่นรีดสุดท้ายจนถึงการม้วนที่ Coiler ชั้นสนิมเหล่านี้สามารถหลุดออกไปในขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูป อย่างไรก็ตาม หากมีสนิมบนเหล็กแผ่นสำหรับงานขึ้นรูป (Forming) ก็จะทำให้อายุการใช้งานของ Die สั้นลงและเกิดผิวที่ไม่เรียบบนผลิตภัณฑ์สำเร็จ นอกจากนี้หากจะนำเหล็กไปเคลือบก็จะต้องขจัดสนิมออกก่อนเพื่อให้โลหะเคลือบสามารถเกาะติดได้ดี สำหรับการผลิตเหล็กแผ่นรีดเย็นก็ต้องขจัดสนิมจากเหล็กแผ่นรีดร้อนก่อนรีดเพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอของผิวเหล็กแผ่นรีดเย็น

การรีดเย็นทำให้สามารถผลิตเหล็กแผ่นให้มีความเรียบต่ำกว่า หรือความเรียบสูงกว่าเหล็กแผ่นรีดร้อน ทั้งนี้เนื่องจากการรีดเย็นกระทำที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้ผิวที่ได้จากการรีดเย็นยังให้ความสวยงามกว่าผิวจากการรีดร้อน ดังรูปที่ 2.21



A. เหล็กม้วนรีดร้อน



B. เหล็กม้วนรีดเย็น

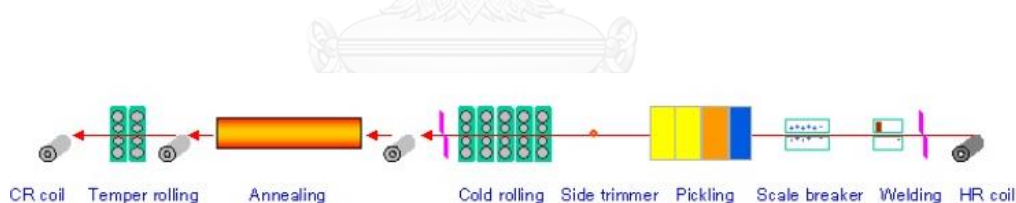
รูปที่ 2. 21 สภาพพื้นผิวของม้วนเหล็กรีดร้อน และรีดเย็น

จากรูปที่ 2.21 A เป็นสภาพพื้นผิวของเหล็กรีดร้อน ซึ่งจะเห็นได้ว่าพื้นผิวของชิ้นงานเป็นสีดำ และมีสนิมแดงอยู่บนพื้นผิวของเหล็ก

จากรูปที่ 2.21 B เป็นสภาพพื้นผิวของเหล็กรีดเย็น ซึ่งจะเห็นได้ว่าพื้นผิวของชิ้นงานเป็นสีเงิน และไม่มีสนิมเกาะอยู่ที่พื้นผิวของเหล็ก

การผลิตเหล็กแผ่นรีดเย็นจะใช้เหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดม้วน (HR coil) เป็นวัตถุดิบในการผลิต โดยเริ่มจากการตัดส่วนปลายของม้วนเหล็กแผ่นรีดร้อนและทำการเชื่อมเพื่อให้สามารถผ่าน

กระบวนการกัดกรด (Pickling) อย่างต่อเนื่องได้ จากนั้นเหล็กแผ่นรีดร้อน จะถูกทำให้เคลื่อนตัวผ่าน เครื่องกำจัดสนิมเหล็กทางกล (Scale breaker) เพื่อให้สนิมที่ผิวแตกและง่ายต่อการกัดกรด เหล็กแผ่นผ่าน Scale breaker แล้วจะถูกทำให้ เคลื่อนตัวต่อลงสู่อ่างกรดเพื่อทำการกัดสนิม เหล็กแผ่นที่ผ่านการกัดกรดขจัดสนิมแล้วจะมีสีขาวเทา ซึ่งอาจจะ ผ่านเครื่องตัดขอบ (Side trimmer) เพื่อให้ขอบเรียบและลดการฉีกขาดจากขอบของเหล็กเมื่อทำการรีดลดขนาดปริมาณมาก เหล็กที่ผ่านการกัดขอบแล้วจะถูกนำไปรีดเย็นต่อเพื่อลดขนาดความหนา โดยการรีดเย็น (Cold rolling) จะทำที่ อุณหภูมิห้อง (แตกต่างจากเหล็กแผ่นรีดร้อนซึ่งโดยทั่วไปรีดที่อุณหภูมิสูงกว่า 870 °C ซึ่งเนื้อเหล็ก ขณะรีดร้อนยังมีสีเหลืองและสามารถเกิดสนิมขณะรีดได้) เหล็กแผ่นที่ผ่านการรีดเย็นมาจะมีผิวสีขา วเทาและผิว จะมันกว่าเหล็กแผ่นรีดร้อนซึ่งมีผิวที่ด้าน อย่างไรก็ตามเหล็กแผ่นที่ผ่านการรีดมา ยังมีความเครียดภายในเนื้อเหล็กเหลือค้าง ทำให้มีความแข็งสูง ความสามารถในการยืดตัว (Elongation) ต่ำ ตลอดจนมีความไม่สม่ำเสมอ ของคุณสมบัติเชิงกลในทิศทางต่างๆ สูง จึงไม่เหมาะแก่การใช้งานใน ลักษณะที่ต้องการนำไปขึ้นรูป จึงต้องผ่านการอบ (Annealing) เพื่อให้คลายความเครียดในเนื้อเหล็ก ลง เหล็กที่ผ่านการอบแล้วจะผ่านการรีดเย็นอีกครั้ง โดยความหนาไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก (Temper rolling) เพื่อปรับความเรียบ คุณภาพผิว และขจัดการยืดตัว ณ จุดคราก (Yield point elongation) ซึ่งช่วยให้เหล็กแผ่นแปรรูปได้อย่างสม่ำเสมอยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.22 กระบวนการผลิตม้วนเหล็กรีดเย็น

โดยในการวิจัยครั้งนี้ศึกษาเหล็กกล้าคาร์บอนรีดเย็นชนิด SPCC ชนิด SD ชื่อเรียกตาม มาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น (Japanese Industrial Standards : JIS) และซึ่งมีคุณสมบัติทางกลตาม ตารางที่ 2.8 มีองค์ประกอบของเหล็กตามตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2. 8 คุณสมบัติทางกลของแผ่นเหล็กชนิด SPCC

ชื่อย่อ	ความต้านแรงดึง (N/mm <sup>2</sup> )	ความเค้นคราก (N/mm <sup>2</sup> )	ความยืด (%)	Young's modulus (Gpa)	Poisson's ratio	K	n
			t = 1.0-1.6 (mm.)				
SPCC	min 270 max 410	280	min 37	207	0.28	790	0.235

ที่มา JIS G3141 (2005)

ตารางที่ 2. 9 องค์ประกอบของเหล็ก SPCC (%)

ชื่อย่อ	C	Mn	P	S
SPCC	0.15 max	0.60 max	0.10 max	0.05 max

ที่มา JIS G3141 (2005)

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นับตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน นักวิชาการมากมายได้ให้ความหมายของคำว่า คุณภาพ (Quality) โดยที่ Shewhart, 1931 ได้ให้นิยามว่าหมายถึง ความดี (Goodness) ของสิ่งที่สนใจ Deming, 1951 ได้นิยามไว้ว่า การออกแบบผลิตภัณฑ์และการผลิตให้ตรงตามแบบที่กำหนดเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค Taguchi, 198 ได้นิยามไว้ว่า ความสูญเสียทั้งหมดที่มีต่อสังคมอันเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์นับจากการส่งมอบ ซึ่งให้คำจำกัดความไว้ 2 ประเภท คือ ความสูญเสียเนื่องจากความผันแปรของหน้าที่ใช้งาน และความสูญเสียที่เกิดจากอิทธิพลข้างเคียง Kano, 1986 ได้กำหนดคุณภาพออกเป็น 2 แนวความคิด คือ ระดับแห่งความถูกต้องตรงตามมาตรฐาน และความพึงพอใจของผู้ใช้ Ishikawa, 1990 ได้ให้ความหมายคุณภาพใน 2 ด้าน คือความง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งถือเป็นคุณภาพที่มองไปข้างหน้า และความปราศจากข้อบกพร่อง ซึ่งถือเป็นคุณภาพที่มองไปข้างหลัง และ กิติศักดิ์, 2004 ได้ให้ความหมายของคุณภาพตามสภาวะการแข่งขันของตลาดโดยอาศัยวิวัฒนาการด้านอุตสาหกรรมเป็นเกณฑ์กำหนด ซึ่งประกอบด้วยในยุคการผลิตเชิงมวลจะนิยามคุณภาพว่า การตรงต่อข้อกำหนดเฉพาะ ในยุคการแข่งขันจะนิยามว่า การสร้างความพึงพอใจต่อลูกค้า และในยุคโลกาภิวัตน์จะนิยามคุณภาพ คือ การสร้างความประทับใจให้แก่ลูกค้า ซึ่งคุณภาพในแต่ละยุคสมัยมีลักษณะเด่น



โดยในยุคเริ่มต้นจะเน้นที่การทำให้ถูกต้องตรงตามมาตรฐาน ยุคต่อมาได้ให้ความสำคัญต่อลูกค้า และสุดท้ายคือการสร้างความประทับใจ หรือ การทำให้เกิดความจงรักภักดีต่อสินค้าและบริการ

ในช่วงยุคโลกาภิวัตน์ได้มีการเริ่มใช้เครื่องมือในการปรับปรุงคุณภาพ คือ ชิکش ชิกมา โดยมีวัตถุประสงค์ คือ จะให้องค์กรได้เปรียบในด้านการแข่งขันโดยการลดข้อบกพร่องในกระบวนการ และกระบวนการที่หวังกำไร Harry and Schoreder, (2000) หรือ Treichler et al., (2002) ได้แนะนำว่าชิکش ชิกมาเป็นทฤษฎีขั้นสูง เป็นขั้นตอนที่ช่วยให้องค์กรเล็งเห็นถึงการพัฒนา และการส่งมอบผลิตภัณฑ์ที่ผลิตภัณฑ์และบริการที่ไม่ดีให้เกือบเป็นศูนย์ Evan and Lindsay, (2005) กล่าวว่าชิکش ชิกมา เป็นวิธีการปรับปรุงกระบวนการทางธุรกิจ เพื่อหาหนทางและกำจัดต้นเหตุของปัญหาในการเกิดของเสียและความผิดพลาดลดรอบเวลาการผลิตและต้นทุนการผลิต โดยทำการปรับปรุงการผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าโดยการเพิ่มการใช้ประโยชน์ในทรัพย์สินผลตอบแทนในกระบวนการผลิตและการบริหารโดยปรับปรุงบนพื้นฐานกระบวนการแก้ปัญหาทั้ง 5 ระยะในกระบวนการของ ชิکش ชิกมา คือ ระยะนิยามปัญหา (Define Phase) ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase) ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase) และระยะการติดตามควบคุม (Control Phase) ที่ได้มีการรวบรวมเครื่องมือทางสถิติและเครื่องมือในการปรับปรุงการผลิตเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้

โดยในปัจจุบันชิکش ชิกมามีความแพร่หลายเข้าสู่อุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาแนวทางในการทำชิکش ชิกมาทั้ง 5 ขั้นตอน มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยการปั๊ม หรือ กระแทก โดยมีวัตถุประสงค์การลดของเสียในกระบวนการปั๊มขึ้นรูป และอัดสลัก ของผลิตภัณฑ์แผ่นรองเครื่องเล่นซีดี และมีการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์หาสาเหตุรากเหง้าของปัญหา คือแผนภาพเหตุ และผล (Cause and Effect Matrix) และใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) โดยศึกษางานวิจัยต่างๆ ดังนี้

วิทยา เจนจิวัฒนกุล,(2554) ได้นำชิکش ชิกมาในกระบวนการพิมพ์พลาสติก โดยของเสียของกระบวนการการพิมพ์พลาสติกแบบภาคส่วนมีสัดส่วนร้อยละ 11.68 ใช้ชิکش ชิกมาเป็นแนวทางในการดำเนินงาน โดยมีเป้าหมายคือ การลดของเสียจากกระบวนการพิมพ์พลาสติก ซึ่งพบว่ามีปัจจัยนำเข้า 3 ปัจจัย คือ ค่าความหนืดของสี มุมมองของการปาดหมึก และรูปแบบขั้นตอนวิธีการล้างบล็อก และปัจจัยตอบสนอง คือ ของเสียจากกระบวนการพิมพ์พลาสติก ในขั้นตอนปรับปรุงใช้การทดลองแบบเชิงแฟคทอเรียล ทั้ง 3 ปัจจัยมีระดับไม่เท่ากัน โดยทดลองครั้งนี้มีการทำซ้ำ 2 รอบ และทำการกำหนดการตั้งค่าปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม ในขั้นตอนควบคุมหลังการปรับปรุง ใช้จัดทำมาตรฐานการ

ทำงานหลังการปรับปรุงทำให้ของเสียจากการพิมพ์พลาสติกลดลงเท่ากับร้อยละ 1.53 ซึ่งมีการประยุกต์ใช้ซิกซ์ ซิกมาในอุตสาหกรรมผลิตกระจกวัตดูติบในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

ปิติวัฒน์ อุดมลักษณ์,(2554) มีวัตถุประสงค์ในการใช้ซิกซ์ ซิกมาคือ การลดของเสียผู้ปนเปื้อนกระจกวัตดูติบเป็นของเสียที่มีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 90 ของของเสียทั้งหมด ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุรากเหง้าของปัญหา โดยใช้แผนภาพเหตุ และผล (Cause And Effect Diagram) โดยมีปัจจัยนำเข้าของเครื่องตัด ประกอบด้วย 7 ปัจจัย ส่วนปัจจัยนำเข้าของเครื่องแยกชิ้น และตรวจสอบกระจกวัตดูติบ ประกอบด้วย 5 ปัจจัย ซึ่งปัจจัยตอบสนอง คือ ของเสียผู้ปนเปื้อน ในขั้นตอนการปรับปรุงนั้นใช้การทดลองแบบ 2k full factorial design ตั้งระดับปัจจัยนำเข้า 2 ระดับ ไม่มีการทำซ้ำ มีการทดลอง 2 ครั้ง คือ การทดลองของเครื่องตัด โดยผลลัพธ์การทดลองพบว่า 3 ปัจจัยมีผลต่อปัจจัยตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ตั้งค่าปัจจัยที่เหมาะสม และทำการทดลองในส่วนเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตดูติบ โดยขึ้นงานในการทดลองนั้นผ่านเครื่องตัดในการตั้งค่าที่เหมาะสม ทำการทดลอง และตั้งค่าที่เหมาะสม และขั้นตอนการควบคุม ได้ทำการแก้ไขแผนควบคุมตามการโดยจากการทำซิกซ์ ซิกมาในครั้งนี้ทำให้ของเสียลดลงเหลือร้อยละ 11 ของของเสียทั้งหมด

ในการวิจัยครั้งนี้ ขั้นตอนที่ 4 ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase) ส่วนของการออกแบบการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบแบบ Central Composite Design โดยทำการศึกษารูปแบบการทดลองที่เกี่ยวข้อง

ชลาธาร รัตนพานิช,(2553) หลังการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบพบว่ามี 2 ปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนอะไหล่เสียรูป คือ ปัจจัยค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม และ ปัจจัยค่าความดันที่ใช้ในการเชื่อม โดยใช้การทดลองพื้นที่ผิวตอบแบบ CCD และมีการวิเคราะห์การถดถอยของพื้นที่ผิวตอบ (Response Surface Regression) ทำการวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยหลัก และปัจจัยร่วม โดยมีการใช้กราฟโครงร่างความสัมพันธ์ (Contour Plot) และพื้นที่ผิวตอบ (Surface Plot) ในการตรวจสอบผลกระทบของปัจจัยนำเข้าซึ่งส่งผลต่อปัจจัยตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

ศิริเวทย์ อัสวไชยวงศ์,(2556) ศึกษาการออกแบบพื้นที่ผิวตอบแบบ CCD โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 2 ปัจจัย คือ พลังงานที่ใช้ในกระบวนการบัด และอัตราการใช้สารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง โดยมีการวิเคราะห์การถดถอยของพื้นที่ผิวตอบ (Response Surface Regression) ของทั้ง 4 ปัจจัยตอบสนอง คือ ค่าความเบี่ยงเบนจากเป้าหมายของความต้านทานต่อแรงดึงในทิศทางขนานเครื่องจักร ค่าความเบี่ยงเบนจากเป้าหมายของความต้านทานต่อแรงดึงในทิศทางขวางเครื่องจักร ค่าความเบี่ยงเบนจากเป้าหมายของความเหนียวของกระดาษ และค่าความเบี่ยงเบนจากเป้าหมายของความเหนียวของกระดาษ โดยในครั้งนี้มีการวิเคราะห์การตั้งค่าที่เหมาะสม 2 วิธี ดังนี้ 1) วิธี Target is the best (TB) เป็นการกำหนดน้ำหนักของตัวแปรตอบสนองให้มีค่าเท่ากัน 2) วิธี Smaller is the

best (SB) เป็นการกำหนดระดับปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งให้มีค่าต่ำสุด และส่งผลต่อปัจจัยตอบสนองอย่างไร

สลักจิตร์ พุทธจักร,(2556) โดยในขั้นตอนของการออกแบบทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ (One Half-Fraction Factorial Design) เพื่อการตรวจสอบพารามิเตอร์ปรับตั้งเครื่องจักร 6 ปัจจัยที่ส่งผลต่อรอบการผลิตและความหยابของผิวชิ้นงาน ซึ่งทุกปัจจัยส่งผลต่อปัจจัยตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ จากนั้นใช้วิธีการออกแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Design) แบบการออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design) เพื่อทำการตั้งค่าที่เครื่องจักรใหม่ที่ทำให้ความหยابของผิวชิ้นงานเป็นไปตามที่ลูกค้ากำหนดไม่เกิน 1.0 ไมครอนเมตร

Madani, Gheshlaghi และคนอื่นๆ,(2015)ประยุกต์ใช้ CCD ในส่วนของการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งมี 2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องโดยใช้การทดลองแบบ 2k Factorial Design เพื่อทดสอบว่าปัจจัยทั้งสองส่งผลต่อปัจจัยตอบสนอง คือ ประสิทธิภาพและความหนาแน่นของพลังงาน จากนั้นใช้วิธีการออกแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Design) แบบการออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design) ทำการตั้งค่าที่เหมาะสมเพื่อให้ตัวแปรตอบสนองทั้งสองมีค่าสูงที่สุด

ชมาพร เดือนดวง,(2554) ใช้ CCD เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9 โดยมี 5 ปัจจัยนำเข้า โดยใช้การทดลองแบบ Full 2k Factorial Design และใช้วิธีการออกแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Design) แบบการออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design) และทำการตั้งค่าปัจจัยนำเข้าให้เหมาะสมเพื่อให้ปัจจัยตอบสนองมีค่าสูงที่สุด

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยวิธีปั๊ม หรือ กระแทก โดย

ชลธาร รัตนพานิช,(2553) โดยวัตถุประสงค์ของวิจัยครั้งนี้เพื่อลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นสำหรับโครงหลังคาเหล็กถาวรระยะ โดยต้นทุนคุณภาพมีมูลค่ามากกว่า 1 ล้านบาท/ปี โดยเป้าหมายคือลดต้นทุนคุณภาพให้ได้น้อย 278,815 บาท/ปี ซึ่งการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุรากเหง้าของปัญหาโดยใช้แผนภาพเหตุและผล (Cause And Effect Diagram) ใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) และคัดกรองปัจจัยนำเข้าด้วยตารางวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบของกระบวนการ (Failure Mode and Effect Analysis) โดยปัจจัยนำเข้าของการวิจัยครั้งนี้มี 7 ปัจจัย ซึ่งปัจจัยนำเข้านั้นสามารถแบ่งเป็น เกี่ยวข้องกับแม่พิมพ์ (การประกอบแม่พิมพ์ไม่แน่น และขนาดของแผ่นเหล็กไม่เหมาะสม) เกี่ยวข้องกับการปรับตั้งค่า (แรงกำหนดที่ไม่เหมาะสม ความเร็วในการขึ้นรูปไม่เหมาะสม และแรงดันลมคุชชั่นไม่เหมาะสม) และอื่นๆ (ขาดการลองแบบแม่พิมพ์ก่อนใช้งาน และ Punch ไม่จับแผ่นเหล็ก) และปัจจัยตอบสนอง คือ สัดส่วนของเสียประเภทครีบก้น และไม่ตรงตามแบบพิมพ์เขียว และใช้การทดลองแบบ 2k Factorial Design

สำหรับปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องกับการตั้งค่า คือ ขนาดแผ่นเหล็ก และ Punch holder ไม่จับแผ่นเหล็ก ผลลัพธ์การทดลอง คือ ปัจจัยทั้ง 2 มีผลต่อสัดส่วนของเสียอย่างมีนัยสำคัญ และทำการทดลองในส่วนของการตั้งค่าแม่พิมพ์ ในขั้นตอนปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ ทำการทดลองปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำให้สัดส่วนของเสียลดลง และออกแบบการทดลองแบบพื้นที่ผิวผลตอบ (Response Surface Design) ด้วยการออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken โดยใช้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการตั้งค่า 3 ปัจจัย ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนคุณภาพของครีปย่น คือ แรงกำหนดที่ไม่เหมาะสม ความเร็วในการขึ้นรูปไม่เหมาะสม และปัจจัยร่วมของแรงกำหนดที่ไม่เหมาะสม ความเร็วในการขึ้นรูปไม่เหมาะสม มีผลอย่างมีนัยสำคัญ และมีผลต่อต้นทุนคุณภาพของขนาดไม่ตรงตามพิมพ์เขียว คือ แรงกำหนดที่ไม่เหมาะสม ความเร็วในการขึ้นรูปไม่เหมาะสม และปัจจัยร่วมของ แรงดันลมคูลซันไม่เหมาะสมในพจนกกำลังสอง กับปัจจัยร่วมของแรงกำหนดที่ไม่เหมาะสม ความเร็วในการขึ้นรูปไม่เหมาะสม ซึ่งมีผลอย่างมีนัยสำคัญ และทำการหาการตั้งค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ทำให้ต้นทุนคุณภาพลดลงเหลือ 554,562 บาท/ปี

วีระยุทธ หล้าอมรชัยกุล,(2554) ได้ทำการศึกษาปัจจัยของเครื่องปั๊ม การออกแบบแม่พิมพ์ซึ่งส่งผลต่อการขึ้นรูป และตัดเฉือนของโลหะ โดยผลลัพธ์ของการจำลองสถานการณ์ครั้งนี้มีผลลัพธ์ ดังนี้ เกี่ยวกับการออกแบบแม่พิมพ์ คือ ตัวจับยึดของชิ้นงานส่งผลต่อการขึ้นรูป จำนวนสปริงของแม่พิมพ์ และช่องตัด และส่วนของเครื่องปั๊ม คือ ความสูงปิดของแม่พิมพ์ แรงกำหนดของเครื่องปั๊ม และความเร็วในการตัดเฉือน

สาวตรี วงศ์สาย และช่อแก้ว จตุรนนท์,(2554) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลการเกิดครีป ซึ่งพบว่าปัจจัยที่ก่อให้เกิดครีป คือ ความกว้างช่องตัด และความเร็วในการตัดเฉือน โดยนำ 2k factorial design มาใช้ในการทดลอง ผลการทดลองพบว่าค่าความกว้างช่องตัด และความเร็วในการตัดเฉือนมีผลการเกิดครีปอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ  $\alpha = 0.05$  และทำการตั้งค่าปัจจัยในระดับต่ำส่งผลให้ครีปอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ

ซึ่งปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อปัจจัยตอบสนองที่มีความใกล้เคียงกับการวิจัยในครั้งนี้ เช่น แรงกำหนดของเครื่องปั๊ม และความเร็วในการตัดเฉือน ความกว้างช่องตัด หรือความลึกหรือของแท่งตัด และแผ่นตายตัด แต่มีบางส่วนที่ความแตกต่างกัน วิธีใส่งานเข้าไปในแม่พิมพ์ คือ ความแข็งของยางยูรีเทน อายุการใช้งานของยางยูรีเทน ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ในระยะวิเคราะห์ปัญหา (Analysis Phase)

## 2.8 สรุปการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ซึ่งในปัจจุบันซิกซ์ ซิกมามีความแพร่หลายมากในอุตสาหกรรมการผลิต หรืออุตสาหกรรมบริการ ในการศึกษาครั้งนี้นำมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมขึ้นรูปโลหะด้วยวิธีปั๊ม หรือกระแทก ใน

ผลิตภัณฑ์แผ่นรองเครื่องเล่นซีดี ซึ่งทางผู้วิจัยทำการศึกษางานวิจัยในอุตสาหกรรมขึ้นรูปโลหะด้วยวิธีปั๊ม หรือกระแทก โดยมีการใช้ทฤษฎี ชิกซ์ ชิกมาเป็นหลักในการดำเนินงานวิจัย ตามแนวทาง DMAIC และในส่วนของขั้นตอนการปรับปรุง (Improve) การนำการออกแบบการทดลองมาใช้เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการรวมไป ถึงสภาพการทำงานที่เหมาะสมกับกระบวนการมากที่สุด

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยวิธีปั๊ม หรือกระแทก พบว่า สาวิตรี วงศ์สาย และช่อแก้ว จตุรานนท์,(2554) ได้ทำการลดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทครีบ ซึ่งปัจจัยที่ทำให้เกิดครีบ คือ ความกว้างของช่องตัด และความเร็วในการตัดเฉือน และได้ทำการศึกษางานวิจัยเพิ่มเติมเพื่อค้นหาปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อการเกิดครีบ ซึ่ง วีระยุทธ หล้าอมรชัยกุล,(2554) ได้ออกแบบแม่พิมพ์ เพื่อให้การตัดเฉือนที่เหมาะสมกับชิ้นงาน โดยพบว่าปัจจัยที่ส่งผลที่ทำให้เกิดครีบจากการตัดเฉือน คือ ตัวจับแผ่นเหล็ก จำนวนและชนิดของสปริง และขนาดของช่องตัด ซึ่งจากผู้วิจัยทั้งสอง พบว่ามีปัจจัยที่เหมือนกัน คือ ช่องตัด และความเร็วในการตัดเฉือน ซึ่งมีความใกล้เคียงกับการศึกษาในครั้งนี้



### บทที่ 3 ระยะกำหนดปัญหา (Define Phase : D)

ระยะกำหนดปัญหาเป็นระยะในการการค้นหาปัญหาเพื่อหาหัวข้อปัญหาและกำหนดวัตถุประสงค์ของการปรับปรุงคุณภาพ โดยเริ่มต้นที่การกำหนดทีมงานในการปรับปรุง การศึกษากระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี การศึกษาสภาพปัญหาในปัจจุบัน เพื่อกำหนดหัวข้อปัญหาที่จะทำการปรับปรุงคุณภาพ การกำหนดวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงคุณภาพ และขอบเขตการวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.1 การจัดตั้งทีมงานในการปรับปรุงคุณภาพ

ในขั้นตอนที่ได้กำหนดทีมงานที่ประกอบด้วยสมาชิกที่มีความรับผิดชอบและความเชี่ยวชาญที่มีความเกี่ยวข้องกับการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยวิธีปั๊ม หรือ กระแทกของอุตสาหกรรมยานยนต์ประเภทแผ่นรองเครื่องเล่นซีดีเพื่อทำหน้าที่ในการประชุมระดมสมอง หาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาและกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา และให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี ทีมงานประกอบด้วยสมาชิกรวม 10 คน ดังนี้

- ผู้จัดการโรงงาน	ตำแหน่ง Champion	1 คน
- ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม	ตำแหน่ง Black Belt	1 คน
- ผู้จัดการฝ่ายผลิต	ตำแหน่ง Process Owner	1 คน
- ผู้จัดการฝ่ายประกันคุณภาพ	ตำแหน่ง Master Black Belt	1 คน
- เจ้าหน้าที่แผนกวิศวกร	ตำแหน่ง Green Belt	1 คน
- เจ้าหน้าที่ฝ่ายประกันคุณภาพ	ตำแหน่ง Green Belt	2 คน
- เจ้าหน้าที่ฝ่ายผลิต	ตำแหน่ง Green Belt	2 คน
- ผู้ดำเนินงานวิจัย	ตำแหน่ง Implement leader	1 คน

โดยมีกรรมการผู้จัดการส่งเสริมการวิจัยครั้งนี้อย่างเต็มที่ โดยที่พนักงานฝ่ายผลิต สนับสนุนในส่วนของการเก็บข้อมูล และการทดลอง และช่างช่วยในการตั้งแม่พิมพ์ และปรับตั้งค่าต่างๆ เครื่องจักร และแม่พิมพ์ในการปรับปรุงคุณภาพ โดยผู้วิจัยมีหน้าที่ดำเนินการตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา

เช่น ออกแบบวิธีการเก็บข้อมูล ออกแบบการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง ตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม และจัดทำมาตรฐานการทำงานใหม่

### 3.2 การศึกษากระบวนการผลิต

ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนจากการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยวิธีปั๊ม หรือกระแทกในอุตสาหกรรมยานยนต์มีการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ คุณสมบัติเชิงปริมาณ (Quantitative variable) เช่น ขนาดของชิ้นงาน (Dimension), การคงทนความสึกกร่อน (Corrosion Resistance), ความแข็งแรงของการกด (Pressing Strength) และคุณสมบัติเชิงคุณภาพ (Attribute variable) เช่น ความสมบูรณ์ของการกด ชิ้นงานต้องไม่มีรอยจากการปั๊มทับ ซุบไม่ติด ผิวซุบไม่สวย เจาะรูไม่ทะลุ ครีบ เสียรูป เป็นต้น คุณสมบัติเชิงปริมาณมีเครื่องมือวัดในการตรวจสอบดังนี้ Vernier Digital Micro Meter และ Height Gauge เป็นต้น และทำการบันทึกค่าที่ออกมาเป็นตัวเลข เมื่อนำมาเทียบกับค่าเป้าหมายซึ่งระบุในแบบพิมพ์เขียว (Drawing) หรือตามที่ตกลงกับลูกค้าในช่วงของการออกแบบผลิตภัณฑ์ และทำการกำหนดค่าควบคุมชิ้น (Control limit) ซึ่งหลังจากการผลิตจริงยังพบว่าชิ้นงานบางส่วนไม่อยู่ในค่าควบคุม คุณสมบัติเชิงคุณภาพต่างๆมีการตรวจสอบด้วย Go No-Go Gauge และมีการควบคุมความสูงของการกดต้องอยู่ในค่า 0-0.3 มม. แต่ในปัจจุบันยังมีข้อร้องเรียนจากลูกค้าว่าค่าความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็กยังเกินค่าควบคุม จึงต้องหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำให้เกิดของเสีย และทำการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ประเภทแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี

โดยผลิตภัณฑ์แผ่นรองเครื่องเล่นซีดี รูปที่ 3.1 พบของเสียในกระบวนการเท่ากับ 9,648 ppm โดยเกณฑ์ที่ยอมรับของข้อบกพร่องประเภทต่างๆ เป็นดังนี้

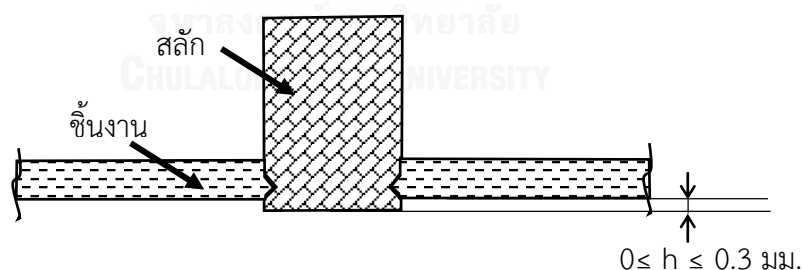


รูปที่ 3.1 แผ่นรองเครื่องเล่นซีดี

### การตรวจสอบคุณสมบัติเชิงปริมาณ

การตรวจสอบคุณสมบัติเชิงปริมาณเป็นการตรวจสอบลักษณะข้อบกพร่อง โดยใช้เครื่องมือวัด หรือเครื่องจักรในการตรวจสอบ และผลลัพธ์ของการตรวจสอบจะอยู่ในรูปข้อมูลแบบผันแปร โดยข้อบกพร่องจากการตรวจสอบคุณสมบัติเชิงปริมาณ ได้แก่

- ขนาดของชิ้นงาน คือ ขนาดต่างๆของชิ้นงาน ตามแบบพิมพ์เขียว หรือต้องเป็นไปตามที่ตกลงกับลูกค้า ตัวอย่างของของเสียประเภทนี้ที่พบในกระบวนการ คือ ขนาดรูไม่ได้ตามแบบพิมพ์เขียว
- การคงทนต่อความสึกกร่อน คือ การทดสอบโดยการพ่นน้ำเกลือ (Salt Spray Test) ตามที่ ISO9227 กำหนดไว้ คือ 720 ชั่วโมงทดสอบต้องไม่เกิดสนิมแดงขึ้น
- ความแข็งแรงของสลัก คือ การทดสอบแรงบิดของชิ้นงานโดยใช้ประแจวัดแรงบิด (Torque Wrench) ในการวัดแรงบิดในช่วง 5-7 kgf-cm<sup>2</sup>
- ความสมบูรณ์ของการกัด หากเกิดความไม่สมบูรณ์ของการกัด คือ การป้อนอัดสลัก (Pin) ไม่สมบูรณ์ สลักจะไม่แนบสนิทกับพื้นของชิ้นงาน โดยมีค่าควบคุมตามแบบพิมพ์เขียว ต้องสูงจากพื้นของแผ่นเหล็กเท่ากับ 0 – 0.3 มม. ทำการสุ่มตรวจสอบ 5 ชิ้นต่อขนาดการผลิต โดยใช้ Height Gauge ตามรูปที่ 3.2



รูปที่ 3. 2 ของเสียประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกัด



### การตรวจสอบคุณสมบัติเชิงคุณภาพ

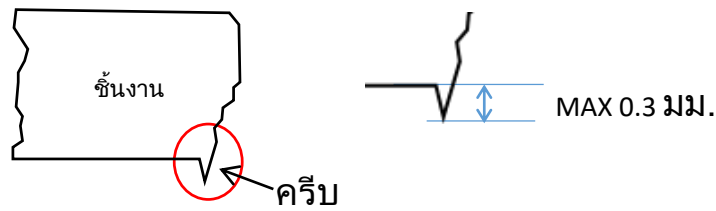
การตรวจสอบคุณสมบัติเชิงคุณภาพเป็นการตรวจสอบลักษณะข้อบกพร่องที่ปรากฏแก่สายตาหรือการสัมผัส โดยข้อบกพร่องที่พบจากการตรวจสอบคุณสมบัติเชิงคุณภาพได้แก่

- ความไม่สมบูรณ์ของการกด คือ การขึ้นรูปชิ้นงานสลัก (Pin) ไม่สมบูรณ์ โดยที่สลักไม่แนบสนิทกับพื้นของชิ้นงาน โดยใช้ Go No-Go Gauge
- รอยจากการบีบทับ คือ การบีบทับเศษเหล็กที่หลุดออกมาจากขอบชิ้นงาน โดยมีข้อกำหนดต้องมีความกว้าง x ยาว ไม่เกิน 1.5 มม. x 3 มม.. ตัวอย่างเช่น รอยจากการบีบทับมีขนาดเท่ากับ 1.3 มม. x 3.5 มม. ให้ตัดสินใจว่าชิ้นงานเป็นของเสีย ซึ่งขนาดรอยด้านใดด้านหนึ่งต้องไม่เกินค่าควบคุม หากเกินขอบเขตควบคุมให้นำชิ้นงานกลับไปทำซ้ำโดยปกติ จะทำการตรวจสอบด้วยสายตา ตามรูปที่ 3.3



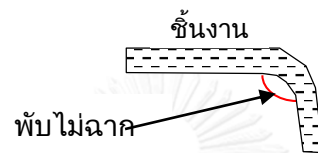
รูปที่ 3. 3 ของเสียประเภทรอยจากการบีบทับ

- ครีบ คือ การตัดเฉือนของแม่พิมพ์ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดครีบ (Blur) ที่บริเวณขอบของชิ้นงาน โดยมีข้อกำหนดมีความสูงได้ไม่เกิน 0.3 มม. โดยปกติ จะทำการตรวจสอบด้วยสายตา หรือเอามือลูบ ตามรูปที่ 3.4



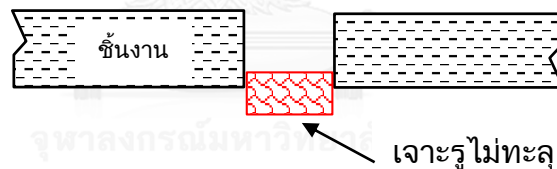
รูปที่ 3. 4 ของเสียประเภทครีป

- พับไม่ฉาก คือ การขึ้นรูปชิ้นงานทำมุมเกิน 90 องศา ซึ่งตามแบบพิมพ์เขียวมีขนาดเท่ากับ  $90 \pm 0.5$  องศา โดยปกติ จะทำการตรวจสอบด้วยสายตา ตามรูปที่ 3.5



รูปที่ 3. 5 ของเสียประเภทพับไม่ฉาก

- เจาะรูไม่ทะลุ คือ การตัดเฉือนบริเวณรูไม่ขาด โดยปกติ จะทำการตรวจสอบด้วยสายตา ตามรูปที่ 3.6



รูปที่ 3. 6 ของเสียประเภทเจาะรูไม่ทะลุ

- ผิวชุบไม่สวย คือ สีชุบบนชิ้นงานไม่เรียบ หรือเป็นหลุมสีที่มีขนาดมากกว่า 1.0 มม. โดยปกติ จะทำการตรวจสอบด้วยสายตา

ทำการศึกษาปริมาณ และสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี

ตั้งแต่เดือน ม.ค. 58 – มิ.ย. 58 ดังตารางที่ 3.1

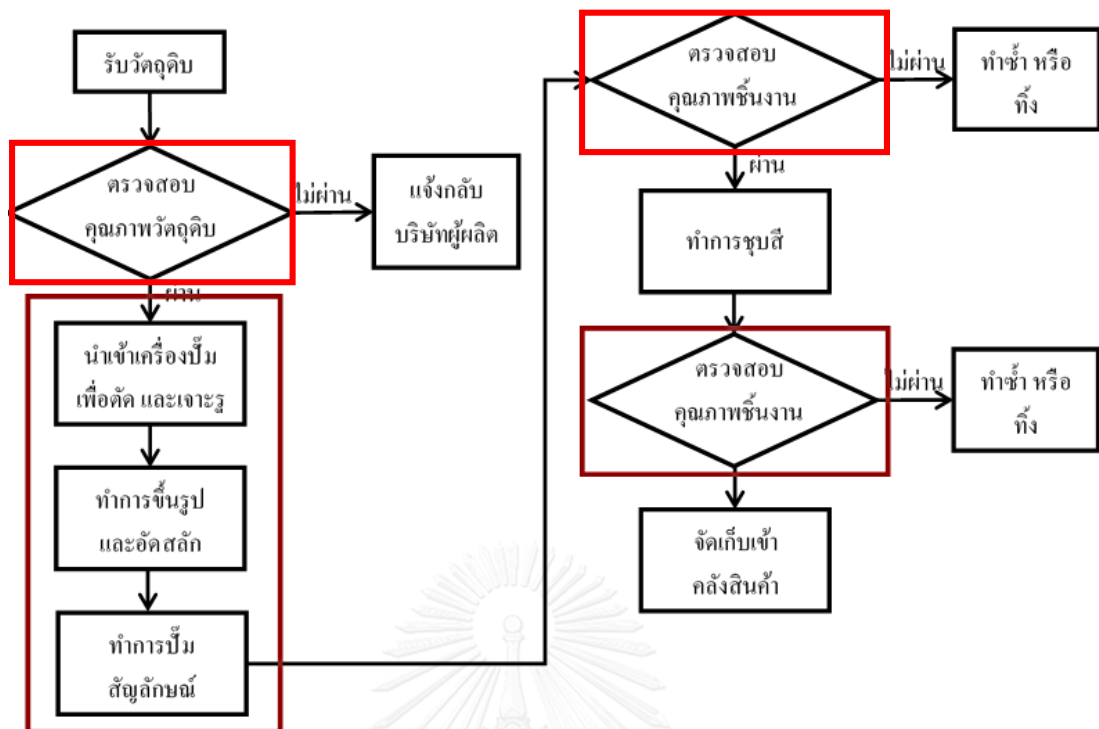
ตารางที่ 3. 1 ปริมาณ และสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี ตั้งแต่เดือน ม.ค. – มิ.ย. 58 (ขึ้น)

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	รวม	สัดส่วน
ปริมาณการผลิต	130,742	167,115	214,800	90,125	182,320	214,181	999,283	
ปริมาณของเสีย	1,756	2,044	1,917	1,634	1,871	1,778	11,000	1.10%
จำนวนของเสียแยกตามประเภทข้อบกพร่อง (ขึ้น)								(1)
ความไม่สมบูรณ์ของการกด	682	722	712	786	916	786	4,604	41.85%
รอยจากการปั๊มทับ	721	1030	527	552	735	512	4,077	37.06%
ผิวชุบไม่สวย	126	127	315	114	221	172	1,075	9.77%
อื่นๆ	227	165	363	182	114	193	1,244	11.30%

หมายเหตุ อื่นๆ หมายถึง ของเสียประเภท พับไม่ฉาก ครีบ เจาะรูไม่ทะลุ และอื่นๆ  
(1) หมายถึง สัดส่วนของของเสียในผลิตภัณฑ์แผ่นรองเครื่องเล่นซีดี

จากตารางที่ 3.1 พบว่า ของเสียประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด มีสัดส่วนร้อยละ 41.85 ของของเสียที่พบในผลิตภัณฑ์นี้ และรอยจากการปั๊มทับ มีสัดส่วนร้อยละ 37.06 ของปริมาณของเสียที่พบในผลิตภัณฑ์นี้

ทำการศึกษากระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี และกระบวนการที่ทำให้เกิดของเสียเป็นดังนี้



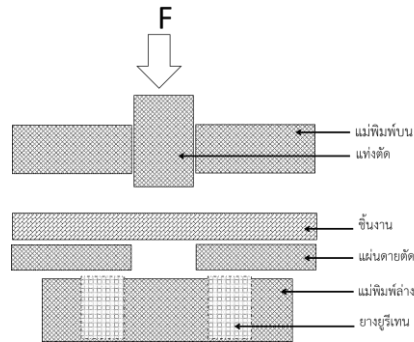
รูปที่ 3. 7 กระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี

จากรูปที่ 3.7 ตรวจสอบกระบวนการผลิตของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดีพบว่า ของเสียที่มีการบันทึกในใบรายงานการผลิตมี 3 ขั้นตอน ดังนี้ 1.) ขั้นตอนการป้อนเพื่อตัด และเจาะรู คือ การนำแผ่นเหล็กใส่เข้าไปในแม่พิมพ์ เพื่อทำการตัดและเจาะรูตามรูปร่างของชิ้นงาน 2.) ขั้นตอนการขึ้นรูป และอัดสลัก คือ การใส่สลักเข้าไปในรูของชิ้นงาน ทำการป้อนเพื่ออัดเข้ากับแผ่นเหล็กและพับขอบชิ้นงานตามแบบพิมพ์เขียว 3.) ขั้นตอนการป้อนสัญลักษณ์ คือ การป้อนตัวอักษรคำว่า Top ตามแบบพิมพ์เขียว และ การตรวจสอบของฝ่ายประกันคุณภาพมีการบันทึกของเสียมี 3 ขั้นตอน 1.) การตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ 2.) การตรวจสอบท้ายกระบวนการ 3.) ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานขั้นสุดท้าย จะทำการสุ่มตรวจสอบเชิงปริมาณ 5 ชิ้นต่อขนาดการผลิต และในระหว่างกระบวนการมีการตรวจสอบเชิงปริมาณขึ้นแรกอย่างเดียวนั้น หากเกิดความผันแปรในส่วนของการตรวจสอบเชิงปริมาณจะไม่สามารถตรวจพบได้ ในส่วนของการตรวจสอบเชิงคุณภาพจะทำการตรวจสอบด้วยสายตาของทุกชิ้นงานในระหว่างกระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี และทำการศึกษากระบวนการผลิตสำคัญซึ่งส่งผลทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการป้อนทับ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

#### 1. กระบวนการตัดและเจาะรู

ทำการศึกษาการทำงานของแม่พิมพ์ในกระบวนการตัดและเจาะรู ซึ่งมีรายละเอียด ดังรูปที่

3.8

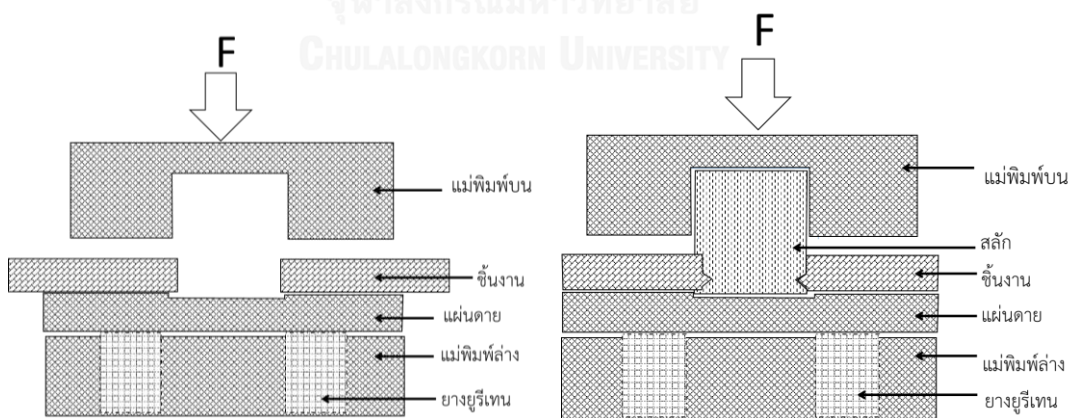


รูปที่ 3.8 แม่พิมพ์ในกระบวนการตัดและเจาะรู

จากรูปที่ 3.8 เป็นแม่พิมพ์ในกระบวนการตัดและเจาะของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี เริ่มจากวางชิ้นงานลงบนแม่พิมพ์ ทำการกดปุ่มเริ่มทำงาน แม่พิมพ์บนจะได้รับแรงกำหนดจากเครื่องปั๊ม และแม่พิมพ์บนจะเคลื่อนที่ลงเพื่อมาตัดและเจาะชิ้นงาน แม่พิมพ์บนจะยุบตัวลงไปกดตบยางยูรีเทนในช่วงที่ได้รับแรงเพื่อตัดชิ้นงาน และชิ้นงานจะหลุดออกจาก Scrap Strip ซึ่งอายุการใช้งานของแม่พิมพ์บนและแผ่นคายตัด ส่งผลต่อการเกิดครีบของชิ้นงาน โดยครีบบมีค่าควบคุมเท่ากับ 0 – 0.3 มม.

## 2. กระบวนการปั๊มขึ้นรูปและอัดสลัก

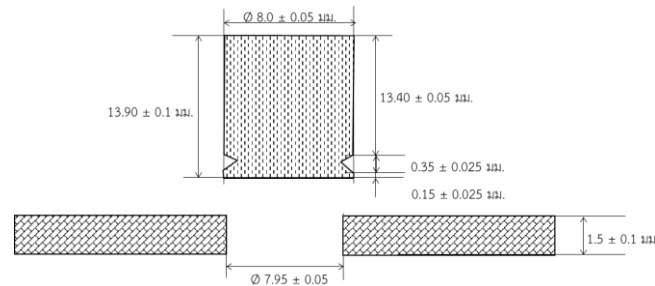
ทำการศึกษาการทำงานของแม่พิมพ์ในกระบวนการปั๊มขึ้นรูปและอัดสลัก ซึ่งมีรายละเอียด ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แม่พิมพ์กระบวนการปั๊มขึ้นรูปและอัดสลัก

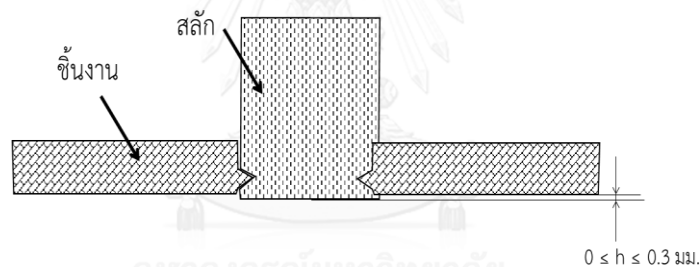
จากรูปที่ 3.9 เป็นแม่พิมพ์ในกระบวนการปั๊มขึ้นรูปและอัดสลัก เริ่มจากวางชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการตัดและเจาะมาใส่ในแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปและอัดสลัก ทำการกดปุ่มเริ่มทำงาน แม่พิมพ์บน

จะได้รับแรงกำหนดจากเครื่องปั๊ม แม่พิมพ์บนจะเริ่มเคลื่อนที่ลงมากับบริเวณปลายสลัก และทำการอัดสลักลงไปบนแผ่นเหล็ก ซึ่งมีการควบคุมขนาดของสลักและแผ่นขึ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3. 10 ค่าขนาดควบคุมของแผ่นเหล็กและสลัก

จากรูปที่ 3.10 เป็นรูปแสดงค่าขอบเขตควบคุมขนาดของแผ่นเหล็กและสลัก ซึ่งมีการควบคุมความสูงของสลักเท่ากับ  $13.90 \pm 0.2$  มม. และร่องของสลักเท่ากับ  $0.35 \pm 0.025$  มม. และส่วนอื่นๆ ตามรูปที่ 3. 10 และหลังจากปั๊มขึ้นรูปและอัดสลักจะมีค่าควบคุมความสูงของฐานสลักจากขอบแผ่นเหล็ก ดังรูปที่ 3.11

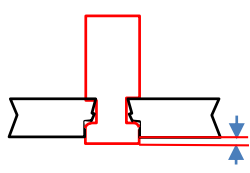


รูปที่ 3. 11 ค่าควบคุมหลังจากการอัดสลัก

จากรูปที่ 3.11 เป็นรูปแสดงค่าขอบเขตควบคุมขนาดของขึ้นงานหลังผ่านการอัดสลัก ซึ่งมีการควบคุมค่าความสูงของฐานสลักจากขอบแผ่นเหล็กเท่ากับ  $0 \leq h \leq 0.3$  มม. ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าครีบบีมีความสูงประมาณ 0.109 มม. จะส่งผลให้เริ่มพบของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการปั๊มทับ เนื่องจากขณะอัดสลักครีบบีที่สูงนั้นเกินขนาดที่ร่องสลักสามารถรับได้ทำให้ครีบบีหลุดออกมาติดที่ร่องของแผ่นตาย หากมีการปั๊มขึ้นงานขึ้นต่อไปจะทำให้เกิดรอยจากการปั๊มทับขึ้นและอีกประการหนึ่งหากครีบบีมีความสูงประมาณ 0.1 มม. เมื่อทำการอัดสลักจะส่งผลให้ค่าความสูงของฐานสลักจากขอบแผ่นเหล็กมีค่ามากกว่าค่าขอบเขตบน หรือ 0.3 มม. ซึ่งรายละเอียดจะแสดงในระยวิเคราะห้สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

จากการศึกษาพบว่าในแต่ละขั้นตอนมีการทำซ้ำ (Rework) เพื่อให้ผลิตภัณฑ์สามารถส่งมอบไปยังลูกค้าได้ แต่ในปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษายังไม่มีการบันทึกข้อมูลในส่วนที่มีการทำซ้ำ ซึ่งมีการบันทึกข้อมูลเฉพาะชิ้นงานที่ต้องทิ้งเท่านั้น เมื่อพบของเสียจากข้อบกพร่องประเภทต่างๆ ที่สามารถทำซ้ำได้ เช่น ความไม่สมบูรณ์ของการกดต้องนำไปทำซ้ำโดยการป้อนอีกครั้ง ครีบบต้องนำไปทำการเจียรแต่ง เป็นต้น แต่ข้อมูลในส่วนนี้ยังไม่มีการบันทึก ซึ่งจากเป้าหมายของทางบริษัทกรณีศึกษา คือ ผลิตแบบครั้งเดียวเสร็จ (First time Yield) ไม่เกินร้อยละ 3 หากไม่มีการเก็บข้อมูลอาจทำให้ของเสียสูงกว่าเป้าหมายที่บริษัทกำหนด โดยของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดสามารถวัดเป็นเชิงปริมาณได้ จึงต้องเก็บข้อมูลโดยทำการศึกษาข้อมูลจากการวัดของแผนกประกันคุณภาพตั้งแต่เดือน ม.ค. – มิ.ย. 58 ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3. 2 ข้อมูลการตรวจสอบเชิงปริมาณของความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็กของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี ตั้งแต่เดือน ม.ค. – มิ.ย. 58

รูปภาพ	เดือน	ตัวอย่างที่ / ขนาด (มม.)					เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\sigma$ )
		1	2	3	4	5		
 0.3+0/-0.2 มม.	ม.ค. 58	0.26	0.27	0.27	0.28	0.21	0.26	$S.D. = \sqrt{\frac{(x-\bar{x})^2}{n-1}}$ 0.045
	ก.พ. 58	0.32	0.24	0.25	0.19	0.31		
	มี.ค. 58	0.16	0.25	0.27	0.19	0.26		
	เม.ย. 58	0.29	0.32	0.26	0.26	0.34		
	พ.ค. 58	0.28	0.24	0.32	0.31	0.24		
	มิ.ย. 58	0.27	0.22	0.19	0.20	0.24		

จากตารางที่ 3.2 นำข้อมูลส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานไปคำนวณขนาดตัวอย่างที่ต้องทำการเก็บข้อมูล จากสมการที่ 2.2

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \sigma^2}{e^2} \quad \text{_____ (2.2)}$$

โดยที่  $n$  คือ ขนาดตัวอย่าง

$Z_{\alpha/2}$  คือ ค่าปกติมาตรฐานที่สอดคล้องกับระดับความเชื่อมั่น  $(1 - \alpha)\%$

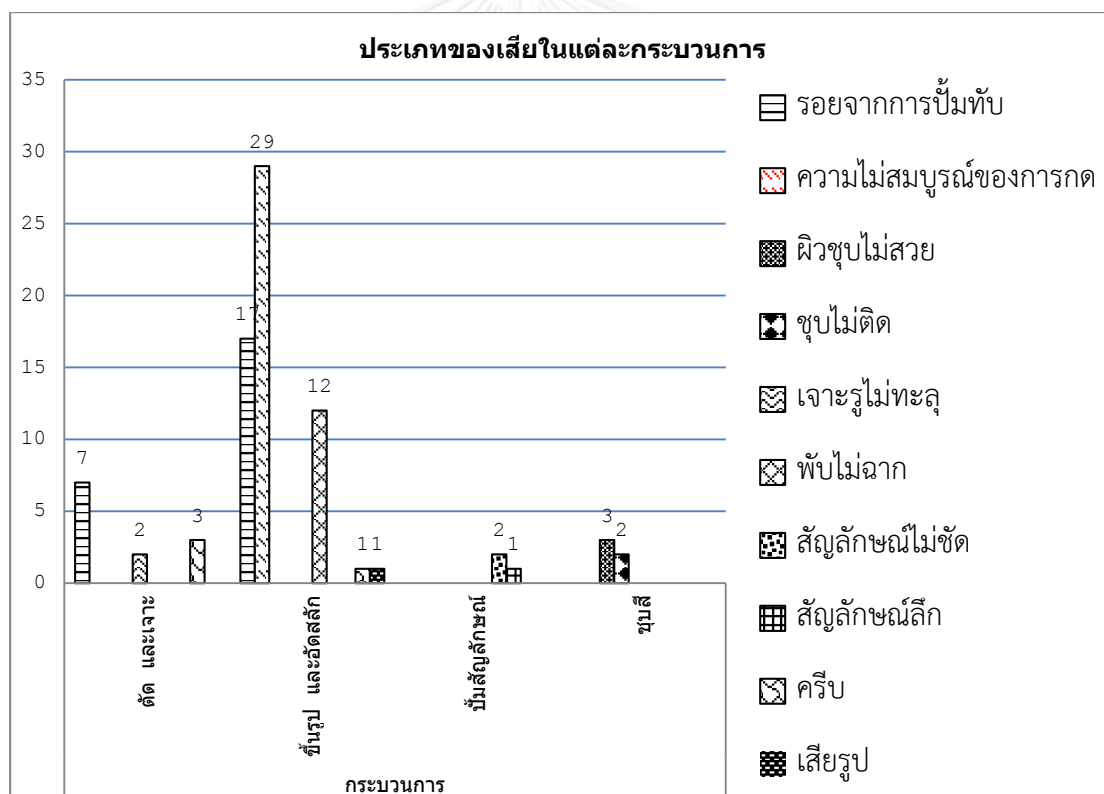
$$\alpha = 0.05$$

$\sigma$  คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็ก

$e$  คือ ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของค่าประมาณจากค่าจริง

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าลงในสมการที่ 2.2} \quad n &= 1.96^2(0.045)^2/0.01^2 \\ &= 77.14 = 78 \text{ ตัวอย่าง} \end{aligned}$$

จากสมการการหาขนาดตัวอย่างพบว่าต้องทำการเก็บข้อมูลจำนวน 78 ตัวอย่างเพื่อให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ ดังนั้นทำการเก็บข้อมูลจากการการผลิต 500 ชิ้น ซึ่งเท่ากับ 1 กลุ่มการผลิตของบริษัท และทำการบันทึกปริมาณของเสียในทุกกระบวนการ ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ 3.12

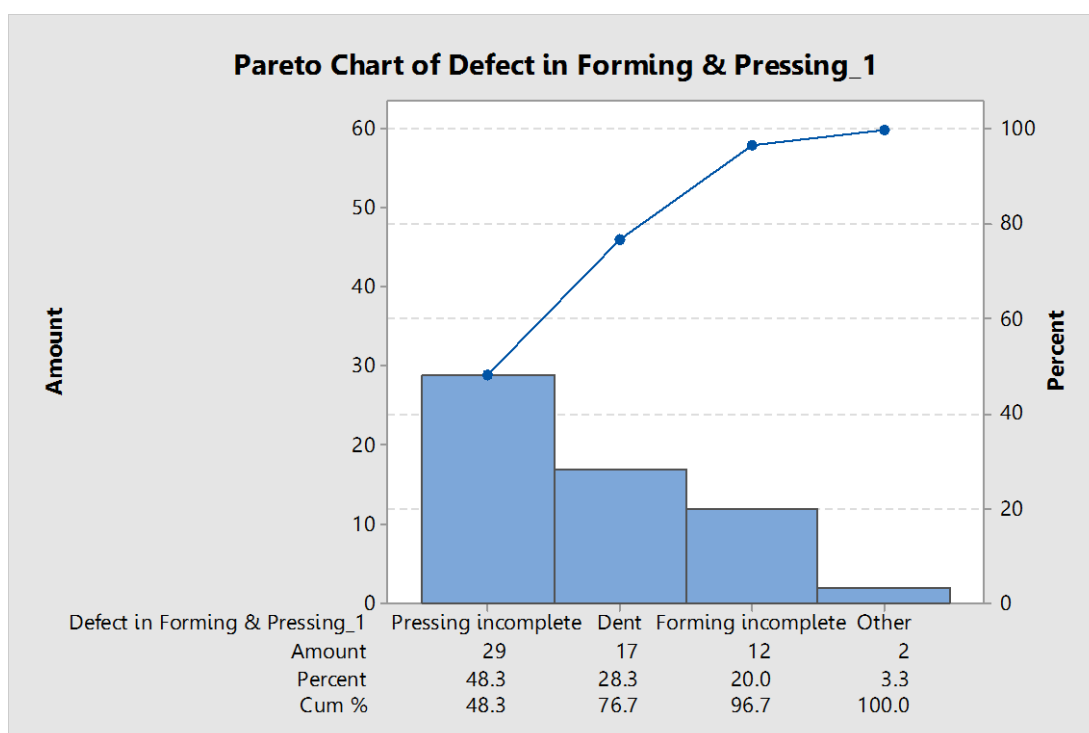


รูปที่ 3.12 ปริมาณของเสียที่พบในแต่ละกระบวนการของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดีจากการผลิต 500 ชิ้น

จากรูปที่ 3.12 พบว่าจากการจดบันทึกของเสียจากการผลิต 500 ชิ้น ในทุกกระบวนการมีประเภทของเสียที่แตกต่างกันโดยในขั้นตอน การขึ้นรูป และอัดสลัก มีของเสียทั้งหมด 60 ชิ้น ซึ่งมี



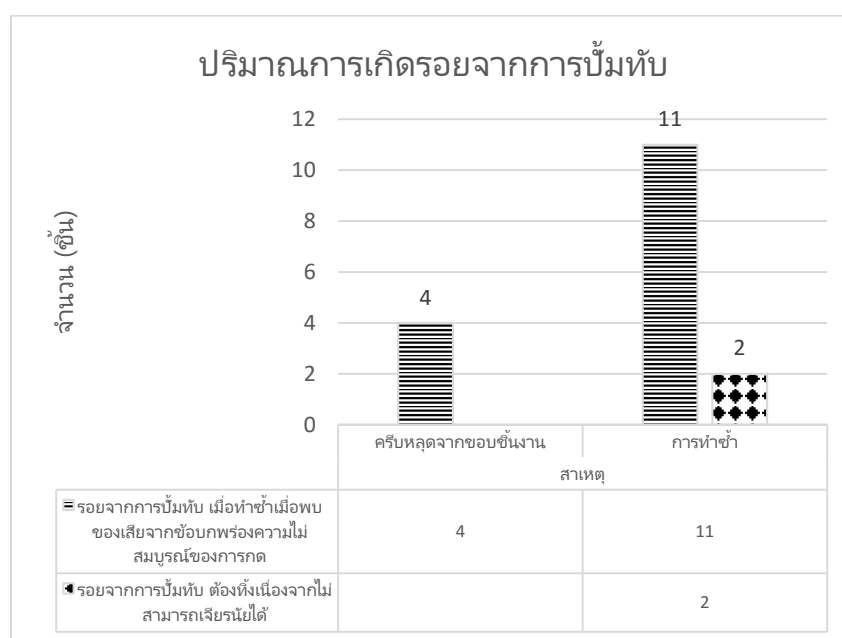
สัดส่วนของเสียร้อยละ 75.00 จากการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี 500 ชิ้น และการตัด และเจาะ มีของเสียทั้งหมด 12 ชิ้น ซึ่งมีสัดส่วนของเสียร้อยละ 15.00 จากการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี 500 ชิ้น ซึ่งเป้าหมายของบริษัท คือ ของเสียแบบการผลิตแบบครั้งเดียวเสร็จมีค่าเท่ากับร้อยละ 3 และทำการทบทวนสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี 500 ชิ้น ในทุกกระบวนการเพื่อกำหนดกระบวนการในการปรับปรุงคุณภาพ แสดงได้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3. 13 สัดส่วนของเสียที่พบในกระบวนการปั๊มขึ้นรูป และอัดสลักจากการผลิตจำนวน 500 ชิ้น  
 หมายเหตุ รายชื่อปัญหา (1) Pressing incomplete หมายถึง ความไม่สมบูรณ์ของการกด (2) Dent หมายถึง รอยจากการปั๊มทับ (3) Forming incomplete หมายถึง พับไม่ฉาก (4) Other หมายถึง ครีบ และอื่นๆ

จากรูปที่ 3.13 แสดงสัดส่วนของเสียที่พบในกระบวนการปั๊มขึ้นรูป และอัดสลัก จากการผลิตจำนวน 500 ชิ้น พบว่า ของเสียประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดมีสัดส่วนร้อยละ 48.3 ของปริมาณของเสียในกระบวนการนี้ และของเสียประเภทรอยจากการปั๊มทับมีสัดส่วนร้อยละ 28.3 ของปริมาณของเสียในกระบวนการนี้ และของเสียทั้งสองประเภทนี้มีสัดส่วนของเสียรวมเท่ากับร้อยละ 76.70 ของสัดส่วนของเสียในกระบวนการนี้

วิเคราะห์ข้อมูลจากการผลิต 500 ชิ้น ของเสียในกระบวนการขึ้นรูป และอัดสลัก พบว่า ข้อบกพร่องประเภทรอยจากการป้อนทับเกิดจากการทำซ้ำบางส่วนเมื่อพบข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด ถ้าพนักงานตรวจสอบพบว่า ชิ้นงานมีข้อบกพร่องประเภทกดไม่แนบสนิทกับฐานของแผ่นเหล็ก พนักงานต้องทำการป้อนซ้ำอีกครั้ง เพื่อให้ชิ้นงานสมบูรณ์ การทำซ้ำนั้นทำให้ครีบลุดออกมาติดที่หน้าแม่พิมพ์ หากป้อนชิ้นงานต่อไปจะทำให้เกิดการป้อนทับเศษเหล็กที่ติดอยู่ที่หน้าแม่พิมพ์ ส่งผลให้เกิดของเสียประเภทรอยจากการป้อน โดยจะแสดงสัดส่วนที่พบข้อบกพร่องประเภทรอยจากการป้อนทับแยกตามสาเหตุที่พบ ดังแสดงในรูปที่ 3.14



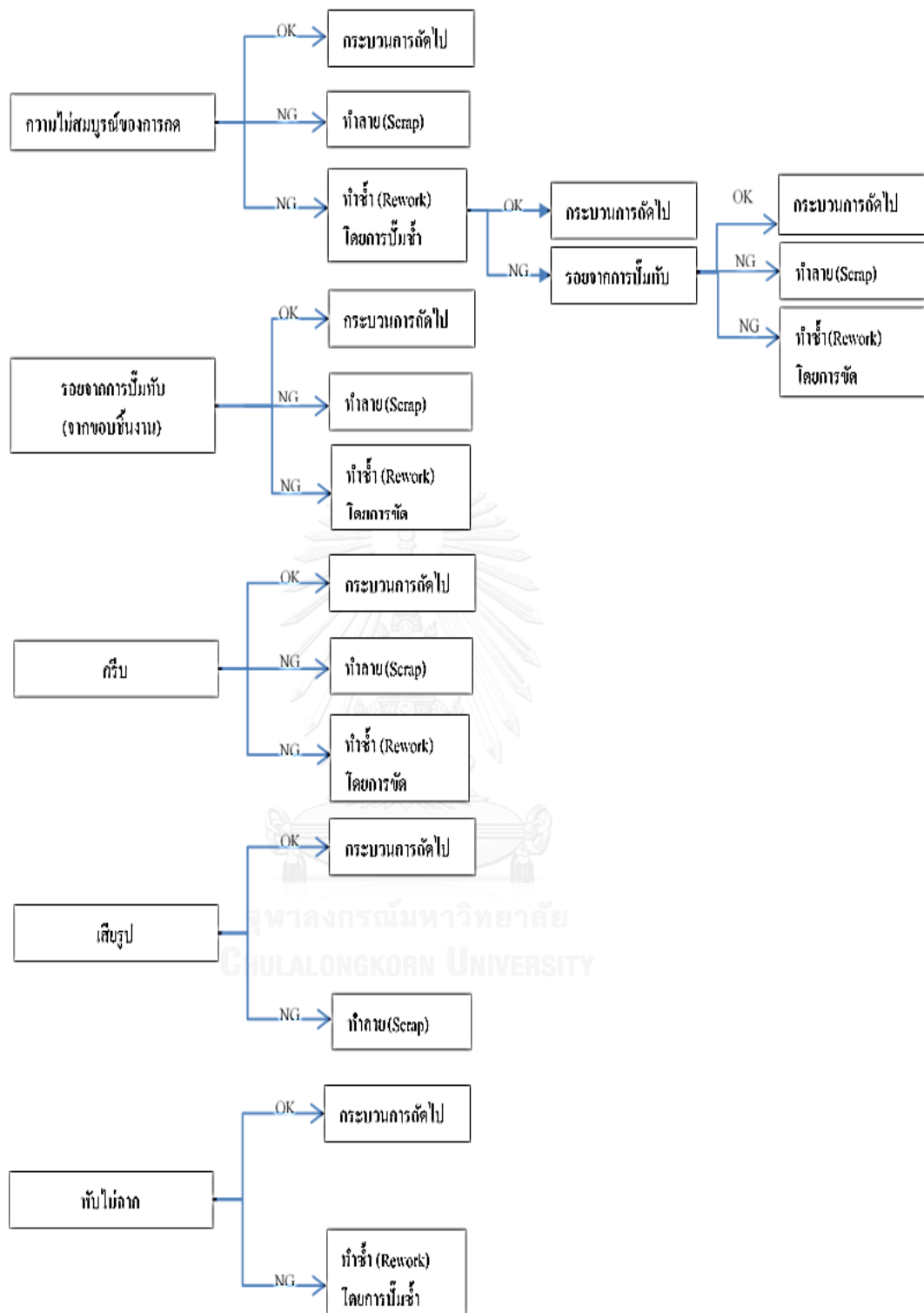
รูปที่ 3.14 เปรียบเทียบสาเหตุของการเกิดปัญหาการป้อนทับ

จากรูปที่ 3.14 แสดงให้เห็นว่าจากการผลิต 500 ชิ้นพบของเสียประเภทรอยจากการป้อนทับซึ่งมีสาเหตุการเกิด 2 ประเภท คือ ครีบลุดที่หลุดจากขอบชิ้นงานจากกระบวนการตัดและเจาะ และเกิดจากการทำซ้ำเมื่อพบข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด (ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าเกิดจากครีบลุดที่สูงบริเวณขอบชิ้นงาน) โดยสาเหตุจากการทำซ้ำเมื่อพบของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดเป็นสาเหตุหลักมีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 76.47 หรือ 13 ชิ้น ซึ่งใน 11 ชิ้นมาจากการทำซ้ำและสามารถส่งต่อไปยังกระบวนการถัดไปได้ ส่วน 2 ชิ้นมาจากการทำซ้ำและไม่สามารถใช้งานต่อไปได้ และสาเหตุสุดท้ายคือการทำซ้ำของครีบลุดจากขอบชิ้นงานและสามารถส่งต่อไปยังกระบวนการถัดไป มีสัดส่วนร้อยละ 23.52 หรือ 4 ชิ้น

ซึ่งของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการมี 2 ประเภท ได้แก่

1. ของเสียที่นำไปทำซ้ำ และสามารถกลับมาใช้งานต่อได้ หรือเรียกว่า Rework
  2. ของเสียที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ และต้องทำลาย หรือเรียกว่า Scrap
- จะแสดงแผนภาพกระบวนการทำซ้ำ หรือทิ้งชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.11





รูปที่ 3. 15 แผนภาพกระบวนการทำซ้ำ หรือทิ้งของผลิตภัณฑ์แผ่นรองเครื่องเล่นซีดี

จากรูปที่ 3.15 แสดงแผนภาพกระบวนการทำซ้ำ หรือทำลายของผลิตภัณฑ์แผ่นรองเครื่องเล่นซีดี โดยของเสียทุกประเภท ยกเว้นของเสียประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด ถ้าชิ้นงานตรงข้อกำหนดให้ส่งชิ้นงานไปยังกระบวนการถัดไป และถ้าชิ้นงานไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ให้ตรวจสอบ

ชิ้นงานแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ ของเสียที่สามารถนำไปทำซ้ำ ให้นำไปทำซ้ำและตรวจสอบอีกครั้ง เพื่อส่งชิ้นงานไปยังกระบวนการถัดไป หรือ ของเสียที่ไม่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้ ให้นำไปทำลาย แต่ของเสียประเภทความไม่สมบูรณ์กวด ในกรณีที่ชิ้นงานไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ถ้าของเสียที่สามารถนำไปทำซ้ำได้ ให้ดำเนินการทำซ้ำโดยการป้อนซ้ำ หลังจากการทำซ้ำให้ตรวจสอบชิ้นงานอีกครั้ง โดยชิ้นงานบางส่วนจะพบของเสียประเภทรอยจากการป้อนทับ ให้ทำการทำซ้ำโดยการขัด และทำการตรวจสอบซ้ำถ้าผ่านการตรวจสอบให้ส่งไปยังขั้นตอนถัดไป

จากนั้นผู้วิจัยได้ศึกษาถึงค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำ และค่าใช้จ่ายชิ้นงานที่ไม่สามารถนำไปใช้ได้

#### วิธีคำนวณค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำ และค่าใช้จ่ายชิ้นงานที่ไม่สามารถนำไปใช้ได้

ซึ่งคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\begin{array}{l} \text{ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำ} \\ \text{(Rework Expense)} \end{array} = \begin{array}{l} \text{ค่าใช้จ่ายในการแก้ไขข้อบกพร่องของชิ้นงานที่สามารถ} \\ \text{นำกลับไปใช้ใหม่ได้ต่อชิ้น (บาท)} \end{array} \quad \text{_____ (3.1)}$$

รายละเอียดการคำนวณค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำจะแสดงรายละเอียดใน ภาคผนวก ก.

$$\begin{array}{l} \text{ค่าใช้จ่ายชิ้นงานที่ไม่สามารถไปใช้ได้} \\ \text{(Scrap Expense)} \end{array} = \begin{array}{l} \text{((ต้นทุนการผลิต/ชิ้น - (น้ำหนักของชิ้นงานต่อชิ้น} \\ \text{(g) x ราคาในการขายเศษเหล็กต่อชิ้น (บาท))} \end{array} \quad \text{_____ (3.2)}$$

หมายเหตุ ราคาในการขายเศษเหล็กแปรผันตามสภาพเศรษฐกิจในช่วงเวลานั้นๆ

ราคาสำรวจ ณ วันที่ 20 มิ.ย. 2558 กิโลกรัมละ 14.20 บาท

สรุปค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำ (Rework) และชิ้นงานที่ไม่สามารถไปใช้ได้ (Scrap)

1. กระบวนการตัด และเจาะ มีค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำและทิ้งจากปริมาณการผลิต 500 ชิ้น ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำและทิ้งทั้งหมดของกระบวนการตัด และเจาะ จากปริมาณการผลิต 500 ชิ้น

ประเภทของ ข้อบกพร่อง	ประเภท	จำนวน (ชิ้น)	ค่าใช้จ่าย (บาท/ชิ้น)	รวม (บาท)	
รอยจากการบีบทับ	Rework	2	18	36	336
	Scrap	5	60	300	
เจาะรูไม่ทะลุ	Rework	2	22	44	44
	Scrap			0	
ครีป (ตัด และเจาะ)	Rework	3	18	54	54
	Scrap			0	
รวมทั้งหมด (บาท)				434	

จากตารางที่ 3.3 พบว่า เมื่อทำการผลิต 500 ชิ้นจะต้องค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำและทิ้งในกระบวนการตัดและเจาะเท่ากับ 434 บาท

2. กระบวนการขึ้นรูปและอัดสลัก มีค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำและทิ้งจากปริมาณการผลิต 500 ชิ้น ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3. 4 ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำและทิ้งทั้งหมดของกระบวนการขึ้นรูปและอัดสลัก จากปริมาณการผลิต 500 ชิ้น

ประเภทของ ข้อบกพร่อง	ประเภท	จำนวน (ชิ้น)	ค่าใช้จ่าย (บาท/ชิ้น)	รวม (บาท)	
รอยจากการบีบทับ	Rework	12	25	300	537
	Scrap	3	79	237	
ความไม่สมบูรณ์ของการกด	Rework	15	27	405	1,511
	Scrap	14	79	1,106	
พับไม่ฉาก	Rework	12	12	144	144
	Scrap			0	
เสียรูป	Rework				79
	Scrap	1	79	79	
ครีบ (ขึ้นรูป และอัดสลัก)	Rework	1	18	18	18
	Scrap			0	
รวมทั้งหมด (บาท)				2,289	

จากตารางที่ 3.4 พบว่า เมื่อทำการผลิต 500 ชิ้นจะต้องค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำและทิ้งในกระบวนการขึ้นรูป และอัดสลัก เท่ากับ 2,401 บาท

- กระบวนการบีบสัญลักษณ์ มีค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำและทิ้งจากปริมาณการผลิต 500 ชิ้น ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำและทิ้งทั้งหมดของกระบวนการปั๊มสัญลักษณ์ จากปริมาณการผลิต 500 ชิ้น

ประเภทของ ข้อบกพร่อง	ประเภท	จำนวน (ชิ้น)	ค่าใช้จ่าย (บาท/ชิ้น)	รวม (บาท)	
สัญลักษณ์ไม่ชัด	Rework	2	16	32	32
	Scrap			0	
สัญลักษณ์ลึก	Rework			0	80
	Scrap	1	80	80	
รวมทั้งหมด (บาท)				112	

จากตารางที่ 3.5 พบว่า เมื่อทำการผลิต 500 ชิ้นจะต้องค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำและทิ้งในกระบวนการขึ้นรูป และอัดสลัก คือ 112 บาท

4. กระบวนการชุบสี มีค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำและทิ้งจากปริมาณการผลิต 500 ชิ้น ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำและทิ้งทั้งหมดของกระบวนการชุบสี จากปริมาณการผลิต 500 ชิ้น

ประเภทของ ข้อบกพร่อง	ประเภท	จำนวน (ชิ้น)	ค่าใช้จ่าย (บาท/ชิ้น)	รวม (บาท)	
ผิวชุบไม่สวย	Rework	3	25	75	75
	Scrap				
ชุบไม่ติด	Rework	2	25	50	50
	Scrap				
รวมทั้งหมด (บาท)				125	

จากตารางที่ 3.6 พบว่า เมื่อทำการผลิต 500 ชิ้นจะต้องค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำและทิ้งในกระบวนการชุบสี เท่ากับ 125 บาท



สรุปสัดส่วนค่าใช้จ่ายเมื่อพบของเสียในกระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี

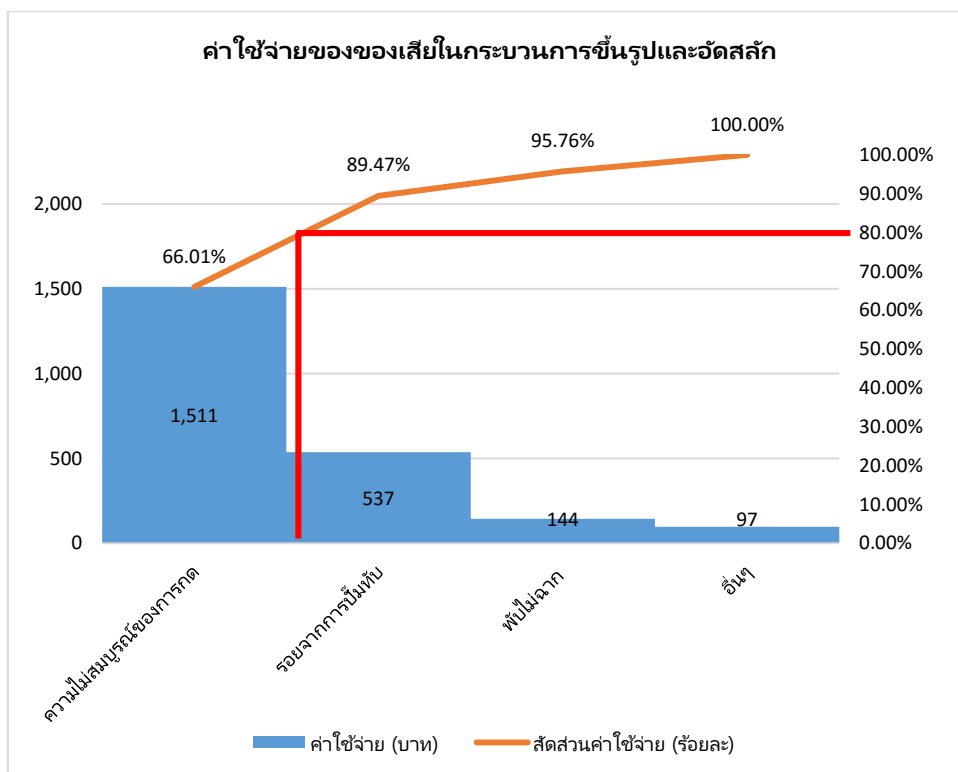
สรุปสัดส่วนของของค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดีจากปริมาณการผลิต 500 ชิ้น ดังแสดงในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3. 7 ค่าใช้จ่ายของของเสียที่พบในกระบวนการต่างๆของผลิตภัณฑ์แผ่นรองเครื่องเล่นซีดีที่ปริมาณการผลิต 500 ชิ้น

ขั้นตอน	ค่าใช้จ่าย (บาท)	สัดส่วนค่าใช้จ่าย (ร้อยละ)
กระบวนการขึ้นรูป และอัดสติก	2,289	77.33
กระบวนการตัด และเจาะ	434	14.66
กระบวนการปั๊มสัญลักษณ์	112	3.78
กระบวนการชุบสี	125	4.23
<b>รวม</b>	<b>2,960</b>	<b>100.0</b>

จากตารางที่ 3.7 พบว่าค่าใช้จ่ายในกระบวนการขึ้นรูป และอัดสติก มีค่าใช้จ่ายสูงที่สุดเท่ากับ 2,289 บาทต่อการผลิต 500 ชิ้น หรือคิดเป็นร้อยละ 77.33 ของค่าใช้จ่ายเมื่อพบของเสียของผลิตภัณฑ์แผ่นรองเครื่องเล่นซีดี

ทบทวนของเสีย และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูป และอัดสติก จากตารางที่ 1.10 ค่าใช้จ่ายทั้งหมดของกระบวนการปั๊มขึ้นรูป และอัดสติก แยกตามประเภทข้อบกพร่องดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 สัดส่วนค่าใช้จ่ายของเสียที่พบในกระบวนการขึ้นรูป และอัดสลัก

จากรูปที่ 3.16 พบว่าค่าใช้จ่ายของเสียประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด มีค่าใช้จ่ายสูงถึง 1,511 บาท จากปริมาณการผลิต 500 ชิ้น หรือเท่ากับร้อยละ 66.01 ของค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียทั้งหมดในกระบวนการนี้ และข้อบกพร่องประเภทรอยจากการบีบทับ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 537 บาท หรือเท่ากับร้อยละ 23.46 ของค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียทั้งหมดของกระบวนการนี้ จากหลักการพาเรโตที่ว่า ร้อยละ 20 ของสาเหตุของปัญหาจะส่งผลกระทบต่อร้อยละ 80 ของปัญหาทั้งหมด ส่วนร้อยละ 80 ของสาเหตุของปัญหาจะส่งผลกระทบต่อเพียงร้อยละ 20 ของปัญหาทั้งหมด (20% vital few and 80% trivial many) โดยจากรูปที่ 3.7 พบว่าข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการบีบทับ มีค่าใช้จ่ายของเสียในสัดส่วนถึงร้อยละ 89.47 ของค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียทั้งหมดของกระบวนการนี้ ซึ่งเป็นไปตามหลักการของพาเรโต

ผู้วิจัยเลือกที่จะศึกษาและปรับปรุงคุณภาพงานเพื่อลดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการบีบทับ ซึ่งส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตโดยตรง

### 3.3 สัญญาโครงการ (Project Charter)

Project Charter แสดงให้เห็นถึง การอธิบายสภาพปัญหา วัตถุประสงค์ของโครงการ ตัวชี้วัด ในการทำโครงการ ขอบเขตของโครงการ ข้อจำกัดของโครงการ สมมติฐานของโครงการ สมาชิกในทีม ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ ของโครงการลดของค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตของแผ่นรอง เครื่องเล่นซีดี ดังแสดงในตารางที่ 3.8



ตารางที่ 3. 8 สัญญาโครงการของโครงการการลดค่าใช้จ่ายรวมของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี

<b>Project Title :</b> การลดค่าใช้จ่ายรวมในกระบวนการป้อนขึ้นรูป และอัดสลัก ของผลิตภัณฑ์แผ่นรองเครื่องเล่นซีดี																			
<b>Business Case:</b> บริษัทได้ทำการย้ายกลุ่มอุตสาหกรรมจากอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เข้าสู่อุตสาหกรรมยานยนต์ โดยทางบริษัทจึงต้องลดของเสียลง เพื่อสามารถแข่งขันในธุรกิจได้	<b>Project Constraint:</b> สมาชิกในทีมมีเวลาสำหรับโครงการ 4 ชั่วโมงต่อวัน																		
<b>Problem Statement:</b> ผลิตภัณฑ์แผ่นรองเครื่องเล่นซีดี เป็นผลิตภัณฑ์ที่บริษัทต้องการลดของเสียลง โดยจากข้อมูลพบว่าของเสียของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี มีปริมาณร้อยละ 71.15 ของของเสียในผลิตภัณฑ์ทั้งหมดและ ข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการป้อนทับ เป็นของเสียที่มีสัดส่วน เฉลี่ย เท่ากับร้อยละ 78.91 ของของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้น หรือ 1298 ชิ้น/เดือน จากการผลิต เดือน มิ.ย. 58 เท่ากับ 182,320 ชิ้น/เดือน ซึ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำ และทิ้งเท่ากับ 236,236 บาทต่อเดือน	<b>Project Assumption:</b> 1. มีการประชุมกลุ่มและกำหนดวิธีการแก้ไขกับทีมโครงการในวันศุกร์ของทุกสัปดาห์ 2. มีการสรุปผลการทดลองในวันศุกร์ของทุก 2 สัปดาห์กับทีมโครงการว่าเป็นไปตามกำหนดการที่ตั้งไว้หรือไม่? 3. มีการรายงานความคืบหน้าในการทำโครงการให้ที่ปรึกษาทุก 3 สัปดาห์																		
<b>Objective Statement:</b> ลดของเสียภายในกระบวนการผลิตลงเหลือร้อยละ 2 และให้มีค่าใช้จ่ายรวม ต่อหน่วยผลิต ต่ำที่สุด โดยเป็นการผลิตแบบครั้งเดียวเสร็จ ในส่วนแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี ภายใน เม.ย. 59	<b>Team Members:</b> ผู้จัดการโรงงาน Champion ผู้จัดการฝ่ายประกันคุณภาพ Master Black Belt ผู้จัดการฝ่ายวิศวกร Black Belt ผู้จัดการฝ่ายผลิต Process Owner พนักงานแผนกที่ผลิต Green Belt พนักงานแผนกประกันคุณภาพ Green Belt ผู้ดำเนินงานวิจัย Implementation Leader																		
<b>Project Metrics:</b> Business Metric : ข้อร้องเรียนจากลูกค้า Primary Metric : สัดส่วนของเสียประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการป้อนทับในกระบวนการ Secondary Metric : พื้นที่ในการจัดเก็บสินค้า Consequential Metric : สัดส่วนของเสียประเภทพับไม่ฉาก Financial Metric : ต้นทุนของเสียและต้นทุนต่อหน่วย	<b>Project Timeline:</b> ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการโครงการ ตั้งแต่ ก.ย. 58 ถึง เม.ย. 59.....“																		
<b>Project Scope:</b> ศึกษาเฉพาะ แผ่นรองเครื่องเล่นซีดีและเครื่องจักร 80 Tons Force ใช้ในการผลิตจริงเท่านั้น	<table border="1"> <thead> <tr> <th>กิจกรรม</th> <th>เริ่มต้น</th> <th>สิ้นสุด</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Define</td> <td>1 ก.ย. 58</td> <td>30 พ.ย. 58</td> </tr> <tr> <td>Measure</td> <td>1 ธ.ค. 58</td> <td>31 ธ.ค. 58</td> </tr> <tr> <td>Analysis</td> <td>1 ม.ค. 59</td> <td>28 ก.พ. 59</td> </tr> <tr> <td>Improve</td> <td>1 มี.ค. 59</td> <td>31 มี.ค. 59</td> </tr> <tr> <td>Control</td> <td>1 เม.ย. 59</td> <td>30 เม.ย. 59</td> </tr> </tbody> </table>	กิจกรรม	เริ่มต้น	สิ้นสุด	Define	1 ก.ย. 58	30 พ.ย. 58	Measure	1 ธ.ค. 58	31 ธ.ค. 58	Analysis	1 ม.ค. 59	28 ก.พ. 59	Improve	1 มี.ค. 59	31 มี.ค. 59	Control	1 เม.ย. 59	30 เม.ย. 59
กิจกรรม	เริ่มต้น	สิ้นสุด																	
Define	1 ก.ย. 58	30 พ.ย. 58																	
Measure	1 ธ.ค. 58	31 ธ.ค. 58																	
Analysis	1 ม.ค. 59	28 ก.พ. 59																	
Improve	1 มี.ค. 59	31 มี.ค. 59																	
Control	1 เม.ย. 59	30 เม.ย. 59																	

### 3.4 สรุประยะกำหนดปัญหา

จากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตและสภาพปัญหาในปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษาพบว่า แผ่นรองเครื่องเล่นซีดี มีปริมาณของเสียคิดเป็นร้อยละ 71.15 ของของเสียที่พบในผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ซึ่งของเสียหลักของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี คือ ของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีบทับมีสัดส่วนของเสียคิดเป็นร้อยละ 78.91 ของของเสียทั้งหมดของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำ และทิ้ง เท่ากับ 236,096 บาทต่อเดือน และจากการเก็บข้อมูลย้อนหลังพบว่าของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีบทับมีแนวโน้มที่สูง และแนวโน้มในการผลิตในอนาคตค่อนข้างสูง และคงที่

โดยในระยะต่อไป คือ ระยะวิเคราะห์ระบบการวัด (Measure Phase : M) เป็นขั้นตอนในการศึกษาการไหลของกระบวนการ (Process Map) เพื่อหากระบวนการที่มีความสำคัญในการเก็บข้อมูล เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์การวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัด (Gauge R&R) และการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) ของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี หลังจากนั้นทำการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า (KPIVs : Key Process Input Variables) โดยใช้แผนภาพเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) หรือแผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram) และทำการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่อง และผลกระทบของกระบวนการผลิต (Process Failure Mode and Effect Analysis) เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการบีบทับ

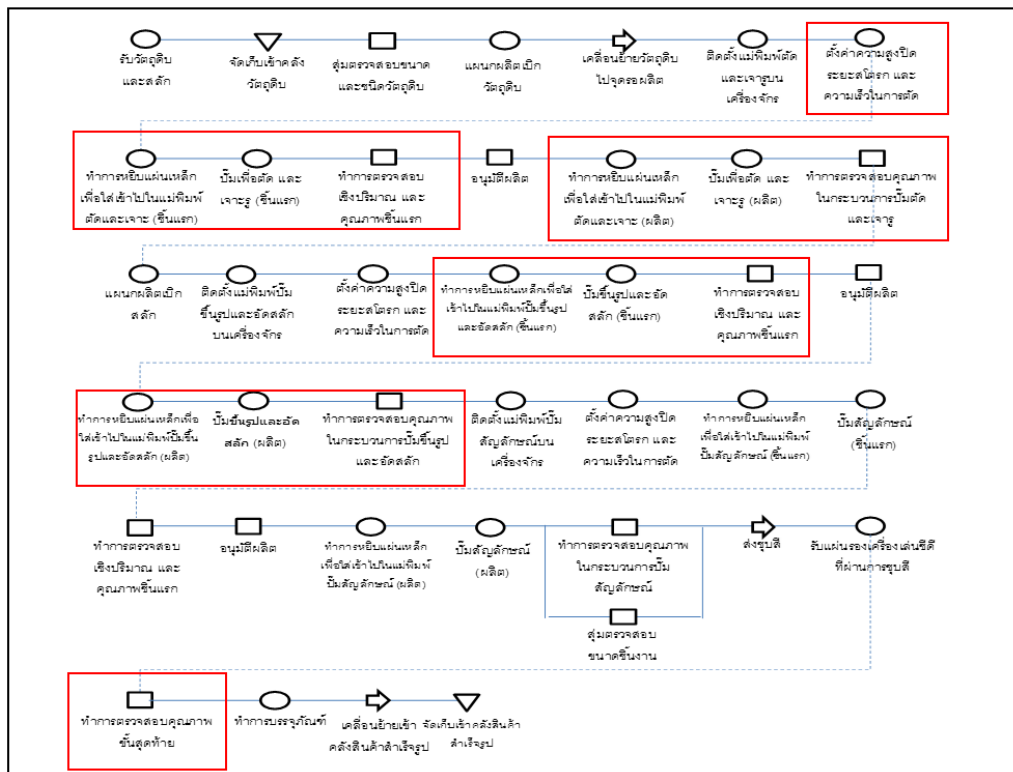
## บทที่ 4

### ระยะวิเคราะห์ระบบการวัด (Measure Phase : M)

ในบทนี้จะแสดงแผนผังการไหลของกระบวนการ (Process Map) การวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัด (Gauge R&R) การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) ของผลิตภัณฑ์แผ่นรองเครื่องเล่นซีดี ทำการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า (KPIVs : Key Process Input Variables) โดยการใช้แผนภาพเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) หรือแผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram) และทำการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการผลิต (Process Failure Mode and Effect Analysis)

#### 4.1 แผนผังการไหลของกระบวนการ (Process Map) ของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี

แผนผังการไหลของกระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี จะแสดงให้เห็นถึงกระบวนการต่างๆที่ส่งผลต่อปัญหา และเพื่อให้เห็นกระบวนการสำคัญในการเก็บข้อมูลที่จำเป็นดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนผังการไหลของกระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้กระบวนการผลิตของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี โดยในกระบวนการสำหรับขึ้นรูปประกอบด้วย กระบวนการตัดและเจาะ กระบวนการป้อนขึ้นรูปและอัดสลัก กระบวนการป้อนสัญลักษณ์ และกระบวนการชุบสี โดยกระบวนการที่มีความสำคัญในการเก็บข้อมูลเพื่อลดค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต มี 2 ประเภท คือ 1. กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการตั้งค่าเครื่องจักร 2. การวัดขนาดชิ้นงาน ตรวจสอบด้วยสายตาและการลงบันทึกข้อมูล โดยการเก็บข้อมูลในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการตั้งค่าเครื่องจักร ประกอบด้วย กระบวนการตั้งค่าความสูงปิด ระยะเวลาโทรก และความเร็วในการตัดของกระบวนการตัดและเจาะ และกระบวนการตั้งค่าความสูงปิด ระยะเวลาโทรก และความเร็วในการตัดของกระบวนการป้อนขึ้นรูปและอัดสลัก โดยในกระบวนการการตั้งค่านั้นจะให้ทราบถึงข้อมูลในการตั้งค่าเครื่องป้อน ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการป้อนทับ และในกระบวนการการวัดขนาดชิ้นงาน ตรวจสอบด้วยสายตา และการลงบันทึกข้อมูล ประกอบด้วย กระบวนการตรวจสอบคุณภาพในกระบวนการป้อนเพื่อตัด และเจาะรู และกระบวนการป้อนขึ้นรูปและอัดสลัก กระบวนการตรวจสอบคุณภาพในกระบวนการป้อนขึ้นรูปและอัดสลักและกระบวนการตรวจสอบคุณภาพขั้นสุดท้าย โดยในกระบวนการการวัดขนาดชิ้นงาน ตรวจสอบด้วยสายตาและการลงบันทึกข้อมูลจะได้ข้อมูลในส่วนของสัดส่วนของเสีย ข้อมูลการวัดเชิงปริมาณของของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการป้อนทับ ซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญที่ใช้ในการทดลองในระบะวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (บทที่ 5) และระยะปรับปรุงกระบวนการ (บทที่ 6)

#### 4.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัดของข้อมูลแบบผันแปร (Variable Measurement system analysis)

หลังจากทำการศึกษากระบวนการที่จำเป็นสำหรับเก็บข้อมูล เริ่มจากทำการศึกษาข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษา โดยใช้การเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ หรือข้อมูลผันแปร (Variable Data) ซึ่งใช้เครื่องมือวัดในการตรวจสอบชิ้นงานตามแบบพิมพ์เขียว คือ การตัดสินใจโดยใช้ตัวเลขตามค่าควบคุม (Control limit) จึงต้องใช้การวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงของระบบการวัดของข้อมูลแบบผันแปร (Variable Measurement system analysis)

ในส่วนของการวัดเชิงปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด คือ การวัดความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็ก และข้อมูลการวัดเชิงปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการป้อนทับ คือ การวัดความสูง

ของครีบ โดยจะใช้ข้อมูลความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็ก และความสูงครีบ เนื่องจากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี พบว่าของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการปัมพ์ เกิดจากครีบที่สูงบริเวณขอบชิ้นงาน หากครีบนั้นหลุดติดที่บริเวณหน้าแม่พิมพ์หากมีการปัมพ์ชิ้นงาน ขึ้นต่อไปจะทำให้เกิดรอยจากการปัมพ์ทับขึ้น เพื่อใช้ในการวิเคราะห์แหล่งความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด และเพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลมีความน่าเชื่อถือที่เพียงพอหรือไม่

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ระบบการวัดมีขั้นตอน ดังต่อไปนี้ 1.) ศึกษามาตรฐานในการตรวจสอบของปริศนาศึกษา 2.) เก็บชิ้นงานจากกระบวนการผลิตมาวัดขนาดของชิ้นงาน และทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบผันแปร

#### 4.2.1 มาตรฐานในการตรวจสอบชิ้นงาน

การตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการปัมพ์ มีวิธีการตรวจสอบ ดังนี้

- ข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด มีการตรวจสอบคุณภาพ ดังนี้
  - การใช้ Height Gauge วัดความสูงของสลัก โดยวัดจากพื้นของชิ้นงานถึงฐานของสลัก ต้องมีความสูงไม่เกิน 0.3 มม. โดยการสุ่มตัวอย่างจากกระบวนการผลิต 5 ชิ้นต่อขนาดการผลิต และใช้สายตาในการตรวจสอบความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็ก โดยมีความถี่ในการตรวจสอบ คือ ชิ้นงานทุกตัวที่ทำการผลิต
- ข้อบกพร่องประเภทรอยจากการปัมพ์ทับ
  - การใช้ไม้บรรทัดในการวัดความกว้างและความสูงของรอยจากการปัมพ์ทับ โดยการวัดความกว้าง x ความยาวของรอยจากการปัมพ์ทับมีค่าควบคุมเท่ากับ 1.5 x 3.0 มม. ค่าความกว้างหรือความยาวค่าให้ค่าหนึ่งต้องไม่เกินค่าขอบเขตควบคุม

จากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี พบว่าของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการปัมพ์ทับ เกิดจากครีบที่สูงบริเวณขอบชิ้นงาน หากครีบนั้นหลุดติดที่บริเวณหน้าแม่พิมพ์หากมีการปัมพ์ชิ้นงาน ขึ้นต่อไปจะทำให้เกิดรอยจากการปัมพ์ทับขึ้น และปริศนาศึกษามีการควบคุมความสูงของครีบเท่ากับ 0 – 0.3 มม. แต่จากการข้อมูลย้อนหลังพบว่าความสูงครีบที่มีความสูงประมาณ 0.109 มม. จะเกิดรอยจากการปัมพ์ทับเกินขอบเขตควบคุม โดยการตรวจสอบความสูงครีบมีรายละเอียดดังนี้



การใช้ Vernier Caliper วัดความสูงของครีบบ โดยวัดจากพื้นของแผ่นเหล็กจนถึงปลายของครีบบริเวณขอบชิ้นงานต้องมีความสูงไม่เกิน 0.3 มม. โดยการสุ่มตัวอย่างจากกระบวนการผลิต 5 ชิ้นต่อขนาดการผลิต

#### 4.2.2 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement system analysis)

- การวิเคราะห์ระบบการวัดแบบผันแปรของข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการวัด โดยการวัดค่าความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็ก กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ ,(2553) กล่าวถึงขั้นตอนวิเคราะห์ระบบการวัด ดังนี้

1. ทำการคัดเลือกชิ้นงานมาตรฐานมาจากชิ้นงานช่วงสโตรกที่ 1-50,000 ซึ่งช่วงสโตรกที่ 50,000 เป็นช่วงสโตรกที่จำเป็นต้องซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นตายตัดและเปลี่ยนยางยูรีเทน โดยมีลำดับ ดังนี้ชิ้นงานลำดับที่ 1 ถึง 3 มาจากช่วงสโตรกที่ 5,000 - 5,002 ชิ้นงานลำดับที่ 4 ถึง 6 มาจากช่วงสโตรกที่ 15,000 - 15,002 ชิ้นงานลำดับที่ 7 ถึง 9 มาจากช่วงสโตรกที่ 27,000 - 27,002 ลำดับที่ 10 ถึง 12 มาจากช่วงสโตรกที่ 38,000 - 38,002 ชิ้นงาน และชิ้นงานลำดับที่ 13 ถึง 15 มาจากช่วงสโตรกที่ 49,000 - 49,002 เพื่อให้ทราบการกระจายตัวของข้อมูลทุกช่วงสโตรกก่อนทำการซ่อมบำรุงแม่พิมพ์
2. ทำการคัดเลือกพนักงานที่มีความชำนาญซึ่งมีความสามารถในการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานซึ่งเป็นที่ยอมรับภายในองค์กรและลูกค้า จำนวน 3 คนเพื่อทำการตรวจสอบชิ้นงานมาตรฐานน้อยที่สุด 15 ชิ้น วัดซ้ำ 3 ครั้ง (ตามตารางที่ 2.5) และทำการสุ่มพนักงานที่มีความชำนาญการ คนที่ 1 เพื่อมาตรวจสอบชิ้นงานแบบสุ่ม 15 ชิ้น และลงบันทึกค่าที่วัดได้ลงในแบบฟอร์ม
3. ทำการสุ่มพนักงานที่มีความชำนาญคนที่ 2 และคนที่ 3 เพื่อมาตรวจสอบชิ้นงานแบบสุ่ม 15 ชิ้น และทำการสุ่มพนักงานทุกคนวัดซ้ำครั้งที่ 2 และ 3 ทั้ง 3 คน โดยทำการสุ่มตรวจสอบชิ้นงาน 15 ชิ้น โดยที่สำคัญต้องเป็นลำดับแบบสุ่ม เพื่อที่จะไม่ให้พนักงานนั้นจำผลลัพธ์ของชิ้นงาน และบันทึกค่าผลลัพธ์ลงในแบบฟอร์มตามตารางที่ 4.1
4. ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดโดยในแต่ละค่าต้องมีค่าร้อยละไม่ต่ำกว่าเกณฑ์ยอมรับของระบบการวัดของโรงงานที่กำหนดไว้ตามตารางที่ 2.6 ซึ่งอ้างอิงจากมาตรฐาน AIAG (2008)

ตารางที่ 4. 1 ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด (มม.)

ตัวอย่างที่	พนักงานคนที่ 1 (ครั้งที่)			พนักงานคนที่ 2 (ครั้งที่)			พนักงานคนที่ 3 (ครั้งที่)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	0.19	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.17	0.18	0.17
2	0.15	0.15	0.15	0.18	0.16	0.17	0.15	0.15	0.15
3	0.15	0.16	0.18	0.17	0.17	0.15	0.16	0.16	0.18
4	0.18	0.22	0.18	0.18	0.21	0.17	0.18	0.22	0.19
5	0.19	0.21	0.19	0.2	0.19	0.18	0.19	0.21	0.19
6	0.22	0.21	0.23	0.2	0.2	0.23	0.22	0.21	0.21
7	0.22	0.21	0.21	0.21	0.21	0.2	0.22	0.21	0.2
8	0.25	0.22	0.22	0.24	0.22	0.22	0.23	0.22	0.22
9	0.25	0.23	0.23	0.23	0.25	0.23	0.22	0.23	0.23
10	0.3	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
11	0.25	0.26	0.25	0.26	0.28	0.26	0.25	0.25	0.27
12	0.27	0.29	0.29	0.27	0.27	0.27	0.29	0.29	0.29
13	0.28	0.3	0.3	0.29	0.28	0.28	0.3	0.29	0.28
14	0.31	0.3	0.31	0.31	0.28	0.31	0.3	0.32	0.3
15	0.3	0.32	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.31	0.3

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 ไปทำการวิเคราะห์ระบบการวัดการวัดค่าความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็ก ซึ่งเกี่ยวข้องกับข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด โดยวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab โดยมีผลลัพธ์ ดังนี้

## Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	14	0.327530	0.0233950	222.082	0.000
Operators	2	0.000073	0.0000363	0.345	0.712
Parts * Operators	28	0.002950	0.0001053	0.961	0.530
Repeatability	90	0.009867	0.0001096		
Total	134	0.340419			

$\alpha$  to remove interaction term = 0.05

## Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	14	0.327530	0.0233950	215.399	0.000
Operators	2	0.000073	0.0000363	0.334	0.717
Repeatability	118	0.012816	0.0001086		
Total	134	0.340419			

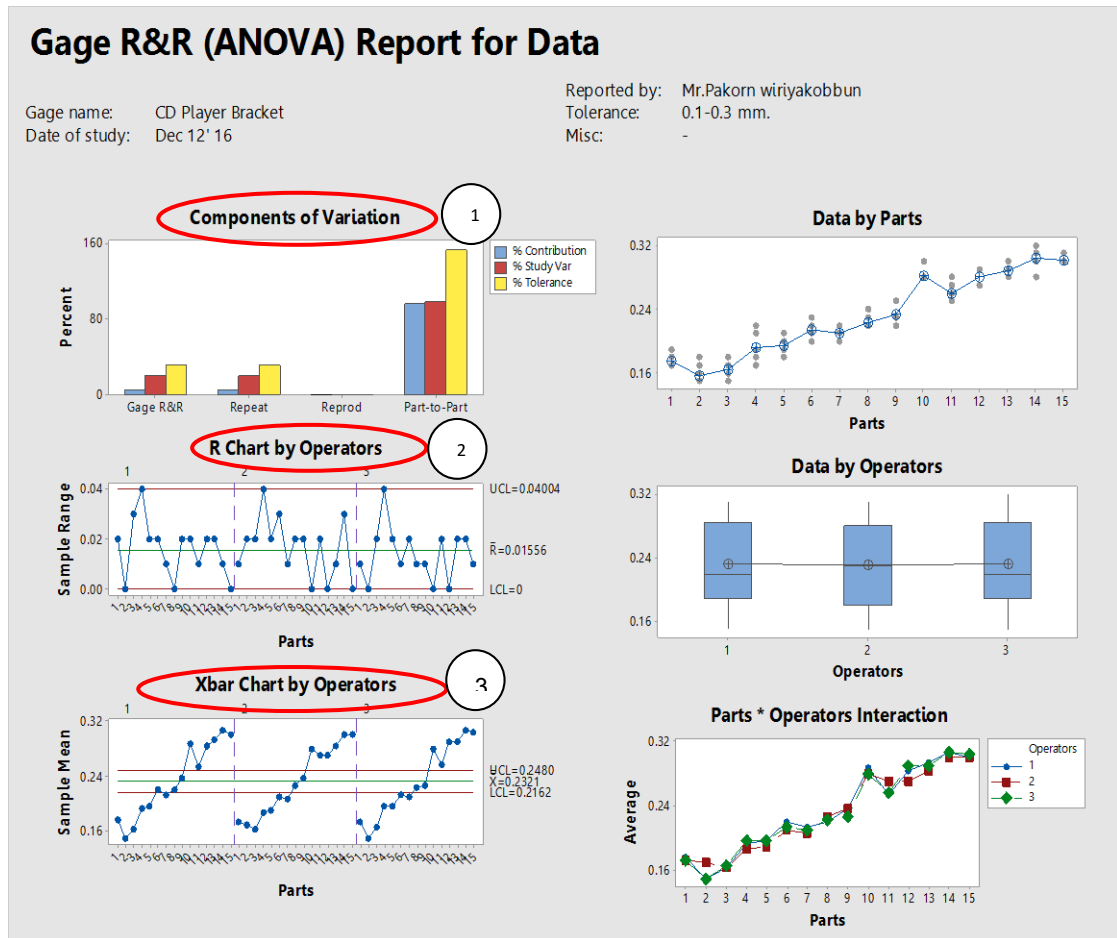
## Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0001086	4.03
Repeatability	0.0001086	4.03
Reproducibility	0.0000000	0.00
Operators	0.0000000	0.00
Part-To-Part	0.0025874	95.97
Total Variation	0.0026960	100.00

Process tolerance = 0.2

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 ? SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0104217	0.062530	20.07	31.27
Repeatability	0.0104217	0.062530	20.07	31.27
Reproducibility	0.0000000	0.000000	0.00	0.00
Operators	0.0000000	0.000000	0.00	0.00
Part-To-Part	0.0508663	0.305198	97.96	152.60
Total Variation	0.0519229	0.311538	100.00	155.77

Number of Distinct Categories = 6



รูปที่ 4. 2 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.2 สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลแบบหน่วยวัดของข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด ดังนี้

- จากแผนภูมิ Component of variance พบว่า ความแปรปรวนของกระบวนการผลิต (Part -to- Part) มีค่าเท่ากับร้อยละ 95.97 ความแปรปรวนจากระบบการวัด (Total Gauge R&R) มีค่าเท่ากับร้อยละ 4.03 โดยความแปรปรวนส่วนมากมาจากการวัดซ้ำของพนักงาน
- จากแผนภูมิ R Chart by operator ข้อมูลมีค่าพิสัยมากกว่า 4 ค่า แสดงว่าระบบการวัดมีคุณสมบัติในการแยกความแตกต่างของชิ้นงานที่วัด
- จากแผนภูมิ Xbar Chart by operator พบว่าชิ้นงานมีความแตกต่างกัน และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด และอายุการใช้งานของยางยูรีเทนมากขึ้น และสามารถนำไปใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการผลิตได้

#### 4. ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติ

##### 4.1 การวิเคราะห์หือทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัด (Parts \* Operators)

สมมติฐาน  $H_0$ : ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด

$H_1$ : มีอิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด

ผลลัพธ์ คือ ค่า P-Value ของ Part เท่ากับ 0.530 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ ) = 0.05 ดังนั้น ยอมรับ  $H_0$  แสดงว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัดอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

##### 4.2 การวิเคราะห์ชิ้นงาน

สมมติฐาน  $H_0$ : ไม่มีอิทธิพลของชิ้นงานต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด

$H_1$ : มีอิทธิพลของชิ้นงานต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด

ผลลัพธ์ คือ ค่า P-Value ของ Part ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.005 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ ) = 0.05 ดังนั้น ปฏิเสธ  $H_0$  แสดงว่าชิ้นงานมีอิทธิพลของชิ้นงานต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัดอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือชิ้นงานบางคู่มีค่าความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็กที่แตกต่างกัน

##### 4.3 การวิเคราะห์พนักงานวัด

สมมติฐาน  $H_0$ : ไม่มีอิทธิพลของพนักงานวัดต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด

$H_1$ : มีอิทธิพลของพนักงานวัดต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด

ผลลัพธ์ คือ ค่า P-Value ของ Part เท่ากับ 0.712 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ ) = 0.05 ดังนั้น ยอมรับ  $H_0$  แสดงว่าพนักงานวัดไม่มีอิทธิพลต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัดอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5. ความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ(P/TV) ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าสัดส่วนของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบการวัดเทียบกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการมีค่าเท่ากับร้อยละ 20.07 ซึ่งมีค่าเกินร้อยละ 10 แต่ไม่เกินร้อยละ 30 บริษัทกรณีศึกษาใช้เกณฑ์ยอมรับที่ร้อยละ 30 โดยอ้างอิงจาก AIAG (2008) เนื่องจากมีข้อจำกัดเรื่องเครื่องมือวัด และไม่สามารถลงทุนค่าเครื่องมือวัดที่มีความเที่ยงสูงกว่านี้ได้

6. ความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับเทียบกับความผันแปรจากความคลาดเคลื่อนอนุโลม (P/T) จากการวิเคราะห์หามีค่าเท่ากับร้อยละ 31.27 ซึ่งมีค่าเกินร้อยละ 30 อยู่ในเกณฑ์ที่ควรทำการปรับปรุงระบบการวัด อ้างอิงจาก AIAG (2008) เนื่องจากค่า P/TV มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 30 จึงยอมรับความเที่ยงของระบบการวัดนี้ได้ แต่ที่ค่า P/T มีค่าสูงเพราะความผันแปรของกระบวนการหรือความผันแปรของค่าความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็กของชิ้นงานมีค่าสูงเมื่อเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลมจึงทำให้ค่า P/T มีค่าสูง

7. ระบบการวัดจะมีความสามารถในการแยกแยะประเภทข้อมูลที่แตกต่างกันของค่าวัด (Number of Distinct Categories : ndc) เท่ากับ 6 กลุ่ม ซึ่งมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 4 กลุ่ม แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดสามารถใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการได้ โดยอ้างอิงจาก AIAG (2008)

- การวิเคราะห์ระบบการวัดแบบผันแปรของข้อบกพร่องประเภทรอยจากการป้อน โดยการวัดค่าความสูงของครีบ เนื่องจากครีบที่สูงบริเวณขอบชิ้นงาน หากครีบนั้นหลุดติดที่บริเวณหน้าแม่พิมพ์หากมีการป้อนชิ้นงาน ขึ้นต่อไปจะทำให้เกิดรอยจากการป้อนขึ้น ดังนั้นจะใช้ความสูงครีบในการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยจากการป้อน มีขั้นตอนวิเคราะห์ระบบการวัด ดังนี้

1. ทำการคัดเลือกชิ้นงานมาตรฐานมาจากชิ้นงานช่วงสโตรกที่ 1-50,000 เป็นช่วงสโตรกที่จำเป็นต้องซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นตายตัด และเปลี่ยนยางยูรีเทน โดยมีลำดับ ดังนี้ชิ้นงานลำดับที่ 1 ถึง 2 มาจากช่วงสโตรกที่ 5,000 - 5,001 ชิ้นงานลำดับที่ 3 ถึง 4 มาจากช่วงสโตรกที่ 15,000 - 15,001 ชิ้นงานลำดับที่ 5 ถึง 6 มาจากช่วงสโตรกที่ 27,000 - 27,001 ลำดับที่ 7 ถึง 8 มาจากช่วงสโตรกที่ 38,000 - 38,001 ชิ้นงาน และชิ้นงานลำดับที่ 9 ถึง 10 มาจากช่วงสโตรกที่ 49,000 - 49,001 เพื่อให้ทราบการกระจายตัวของข้อมูลทุกช่วงสโตรกก่อนทำการซ่อมบำรุงแม่พิมพ์

2. ทำการคัดเลือกพนักงานที่มีความชำนาญซึ่งมีความสามารถในการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานซึ่งเป็นที่ยอมรับภายในองค์กรและลูกค้า จำนวน 3 คนเพื่อทำการตรวจสอบชิ้นงานมาตรฐานน้อยที่สุด 10 ชิ้น ทำการตรวจสอบชิ้นงานซ้ำ 2 ครั้ง (ตามตารางที่ 2.5) ทำการสุ่มพนักงานที่มีความชำนาญการ 1 คน เพื่อมาตรวจสอบชิ้นงานแบบสุ่ม 10 ชิ้น และลงบันทึกค่าที่วัดได้ลงในแบบฟอร์ม

3. ทำการสุ่มพนักงานที่มีความชำนาญอีก 2 คนที่เหลือ เพื่อมาตรวจสอบชิ้นงานแบบสุ่ม 10 ชิ้น และทำการสุ่มพนักงานทุกคนซ้ำครั้งที่ 2 ทั้ง 3 คน โดยทำการสุ่มตรวจสอบชิ้นงาน 10 ชิ้น โดยที่สำคัญต้องเป็นลำดับแบบสุ่ม เพื่อที่จะไม่ให้พนักงานนั้นจำผลลัพธ์ของชิ้นงานบันทึกค่าผลลัพธ์ลงในแบบฟอร์มตามตารางที่ 4.2

4. ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดโดยในแต่ละค่าต้องค่าร้อยละไม่ต่ำกว่าเกณฑ์ยอมรับของระบบการวัดของโรงงานที่กำหนดไว้ตามตารางที่ 2.6

ตารางที่ 4. 2 ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยจากการบีบทับ (มม.)

ตัวอย่างที่	พนักงานคนที่ 1 (ครั้งที่)		พนักงานคนที่ 2 (ครั้งที่)		พนักงานคนที่ 3 (ครั้งที่)	
	1	2	1	2	1	2
1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
2	0.06	0.06	0.08	0.08	0.06	0.06
3	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09
4	0.08	0.12	0.08	0.08	0.09	0.09
5	0.10	0.12	0.10	0.10	0.11	0.12
6	0.13	0.10	0.13	0.10	0.13	0.10
7	0.12	0.12	0.12	0.14	0.12	0.12
8	0.14	0.13	0.14	0.12	0.15	0.12
9	0.14	0.17	0.15	0.14	0.14	0.15
10	0.15	0.17	0.18	0.15	0.15	0.17

จากข้อมูลในตารางที่ 4.2 ไปทำการวิเคราะห์ระบบการวัดค่าความสูงของครีป ซึ่งเกี่ยวข้องกับข้อบกพร่องประเภทรอยจากการบีบทับ โดยวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab โดยมีผลลัพธ์ดังนี้

## Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	0.0670267	0.0074474	145.184	0.000
Operators	2	0.0000100	0.0000050	0.097	0.908
Parts * Operators	18	0.0009233	0.0000513	0.335	0.991
Repeatability	30	0.0046000	0.0001533		
Total	59	0.0725600			

$\alpha$  to remove interaction term = 0.05

## Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	0.0670267	0.0074474	64.7210	0.000
Operators	2	0.0000100	0.0000050	0.0435	0.958
Repeatability	48	0.0055233	0.0001151		
Total	59	0.0725600			

## Gage R&R

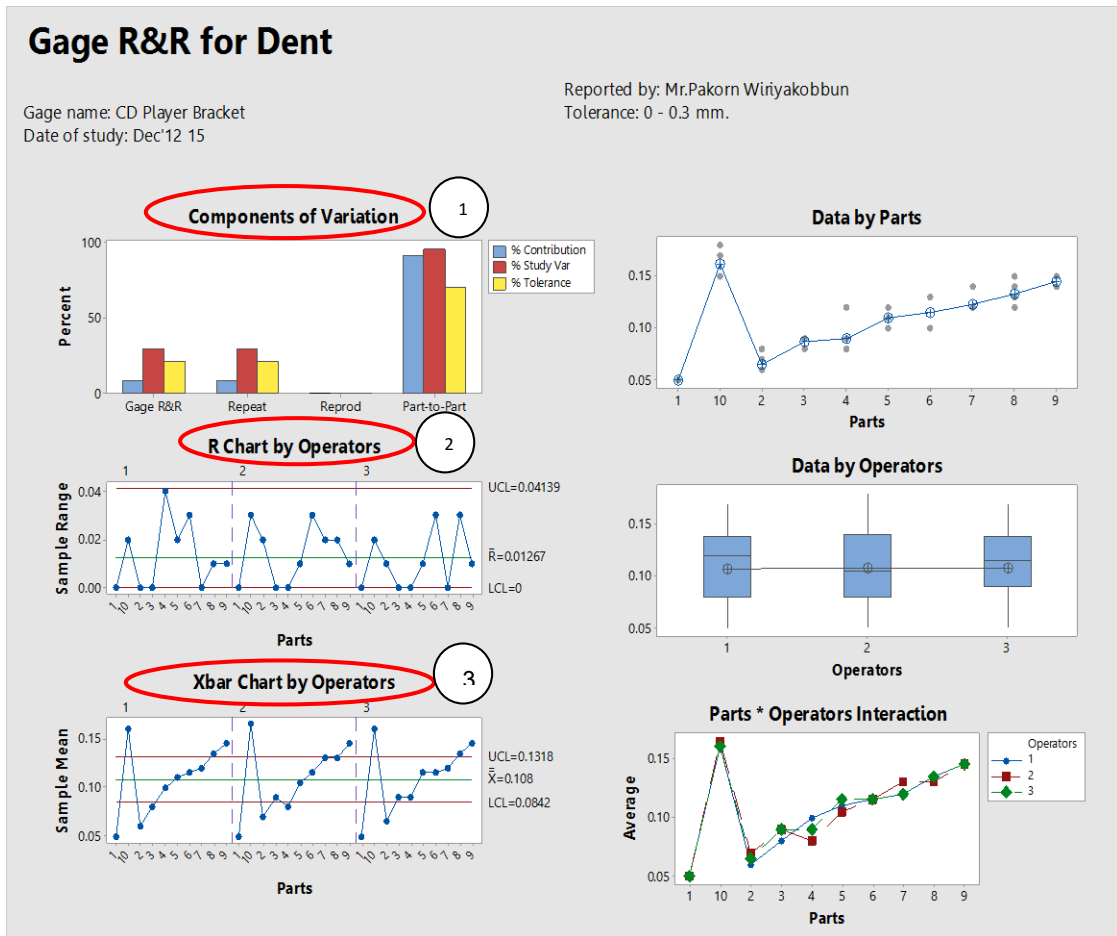
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0001151	8.61
Repeatability	0.0001151	8.61
Reproducibility	0.0000000	0.00
Operators	0.0000000	0.00
Part-To-Part	0.0012221	91.39
Total Variation	0.0013371	100.00

Process tolerance = 0.3

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0107270	0.064362	29.34	21.45
Repeatability	0.0107270	0.064362	29.34	21.45
Reproducibility	0.0000000	0.000000	0.00	0.00
Operators	0.0000000	0.000000	0.00	0.00
Part-To-Part	0.0349579	0.209748	95.60	69.92
Total Variation	0.0365667	0.219400	100.00	73.13

Number of Distinct Categories = 4





รูปที่ 4. 3 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยจากการปัดทับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.3 สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลแบบหน่วยวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยจากการปัดทับ ดังนี้

1 จากแผนภูมิ Component of variance พบว่า ความแปรปรวนของกระบวนการผลิต (Part -to- Part) มีค่าเท่ากับร้อยละ 91.39 ความแปรปรวนจากระบบการวัด (Total Gauge R&R) มีค่าเท่ากับร้อยละ 8.61 โดยความแปรปรวนส่วนมากมาจากการวัดซ้ำของพนักงาน

2 จากแผนภูมิ R Chart by operator ข้อมูลมีค่าพิสัยมากกว่า 4 ค่า แสดงว่าระบบการวัดมีคุณสมบัติในการแยกความแตกต่างของชิ้นงานที่วัด

3 จากแผนภูมิ Xbar Chart by operator พบว่าชิ้นงานมีความแตกต่างกัน และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด และยางยูรีเทนมากขึ้น และสามารถนำไปใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการผลิตได้

4 ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติ

#### 4.1 การวิเคราะห์หือทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัด (Parts \* Operators)

สมมติฐาน  $H_0$ : ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด

$H_1$ : มีอิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด

ผลลัพธ์ คือ ค่า P-Value ของ Part เท่ากับ 0.991 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ ) = 0.05 ดังนั้น ยอมรับ  $H_0$  แสดงว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัดอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

#### 4.2 การวิเคราะห์ชิ้นงาน

สมมติฐาน  $H_0$ : ไม่มีอิทธิพลของชิ้นงานต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด

$H_1$ : มีอิทธิพลของชิ้นงานต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด

ผลลัพธ์ คือ ค่า P-Value ของ Part ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.005 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ ) = 0.05 ดังนั้น ปฏิเสธ  $H_0$  แสดงว่าชิ้นงานมีอิทธิพลของชิ้นงานต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัดอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือชิ้นงานบางคู่มีค่าความสูงครีบแตกต่างกัน

#### 4.3 การวิเคราะห์พนักงานวัด

สมมติฐาน  $H_0$ : ไม่มีอิทธิพลของพนักงานวัดต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด

$H_1$ : มีอิทธิพลของพนักงานวัดต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด

ผลลัพธ์ คือ ค่า P-Value ของ Part เท่ากับ 0.908 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ ) = 0.05 ดังนั้น ยอมรับ  $H_0$  แสดงว่าพนักงานวัดไม่มีอิทธิพลต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัดอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5 ความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (P/TV) ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าสัดส่วนของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบการวัดเทียบกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการมีค่าเท่ากับร้อยละ 29.34 ซึ่งมีค่าเกินร้อยละ 10 แต่ไม่เกินร้อยละ 30 บริษัทกรณีศึกษาใช้เกณฑ์ยอมรับที่ร้อยละ 30 โดยอ้างอิงจาก AIAG (2008) เนื่องจากมีข้อจำกัดเรื่องเครื่องมือวัด และไม่สามารถลงทุนค่าเครื่องมือวัดที่มีความเที่ยงสูงกว่านี้ได้

6 ความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับเทียบกับความผันแปรจากความคลาดเคลื่อนอนุโลม (P/T) จากการวิเคราะห์หาค่าเท่ากับร้อยละ 21.45 ซึ่งมีค่าเกินร้อยละ 10 แต่ไม่เกินร้อยละ 30 อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้อ้างอิงจาก AIAG (2008)

7 ระบบการวัดจะมีความสามารถในการแยกแยะประเภทข้อมูลที่แตกต่างกันของค่าวัด (Number of Distinct Categories : ndc) เท่ากับ 4 กลุ่ม ซึ่งมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 4 กลุ่ม แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดสามารถใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการได้ โดยอ้างอิงจาก AIAG (2008)

#### 4.3 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis)

หลังจากการทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแล้ว ทำให้ทราบว่าระบบการวัดมีความน่าเชื่อถือเพียงพอที่จะนำข้อมูลจากการวัดใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ โดยการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการนั้น แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การประเมินความสามารถของกระบวนการระยะสั้น ( $C_p$ ,  $C_{pk}$ ) และการประเมินความสามารถของกระบวนการระยะยาว ( $P_k$ ,  $P_{pk}$ )

การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจะทำการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การวัดความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดจะวัดค่าความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็ก เนื่องจากเป็นค่าที่มีขอบเขตการควบคุมเท่ากับ 0 – 0.3 มม. ซึ่งถ้าหากค่าความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็กเกินจากค่าควบคุมส่งผลให้ชิ้นงานต้องนำไปทำซ้ำหรือทิ้ง ซึ่งสาเหตุที่ส่งผลทำให้ค่าความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็กมีค่าสูงขึ้น คือ ครีบบริเวณขอบชิ้นงาน เมื่อนำชิ้นงานไปเข้าในกระบวนการปั๊มขึ้นรูปและอัดสลักครีบนั้นจะแทรกตัวเข้าไปในร่องสลักทำให้ความสูงของสลักที่สูงจากแผ่นเหล็กเกินค่าควบคุมได้ ซึ่งปัจจัยทำให้เกิดครีบประกอบด้วย อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด อายุการใช้งานของยางยูรีเทน ความแข็งของยางยูรีเทน และความเร็วในการตัดเฉือน

การวัดความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องประเภทรอยจากการปั๊มทับจะทำการวัดคีความสูงครีบ เนื่องจากครีบที่สูงบริเวณขอบชิ้นงาน หากครีบนั้นหลุดติดที่บริเวณหน้าแม่พิมพ์ หากมีการปั๊มขึ้นงาน ขึ้นต่อไปจะทำให้เกิดรอยจากการปั๊มทับขึ้น ดังนั้นจะใช้ความสูงครีบในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องประเภทรอยจากการปั๊มทับ เนื่องจากเป็นค่าที่มีขอบเขตควบคุมกว้าง x ยาวเท่ากับ 1.5 x 5.0 มม. และถ้าหากความสูงครีบมีค่าสูงเท่ากับ 0.109

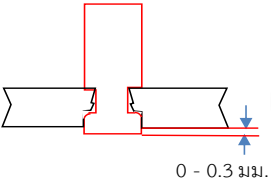
มม.ส่งผลให้ครีบนั้นหลุดติดบริเวณหน้าแม่พิมพ์ เมื่อป้อนงานชิ้นต่อไปจะทำให้เกิดรอยจากการป้อนที่ซึ่งปัจจัยทำให้เกิดครีบ ประกอบด้วย อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด อายุการใช้งานของยางยูรีเทน ความแข็งของยางยูรีเทน และความเร็วในการตัดเฉือน

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ มีขั้นตอน ดังต่อไปนี้ 1.) การคำนวณขนาดตัวอย่าง 2.) จากนั้นแบ่งกลุ่มของชิ้นงานเพื่อให้ข้อมูลกระจายตัวในช่วงสโตรกการซ่อมบำรุง 3.) เก็บชิ้นจากกระบวนการผลิตเพื่อใช้ในการวัดขนาดของชิ้นงาน และทำการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการ

#### 4.2.1 ความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด

4.2.1.1 ทำการศึกษาข้อมูลการวัดเชิงปริมาณของการวัดค่าความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็ก ดังตารางที่ 4.3 เพื่อใช้ในการหาความสามารถของกระบวนการ และนำค่าความสามารถของกระบวนการไปใช้ในการคำนวณขนาดตัวอย่าง

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลการวัดเชิงปริมาณของการวัดค่าความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็ก

รูปภาพ	ช่วงสโตรก	ตัวอย่างที่ / ขนาด (มม.)				
		1	2	3	4	5
	1-10,000	0.14	0.15	0.14	0.15	0.14
	10,001 - 15,000	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18
	15,001 - 20,000	0.2	0.19	0.2	0.21	0.2
	20,001 - 30,000	0.23	0.22	0.23	0.22	0.23
	30,001 - 40,000	0.25	0.26	0.25	0.26	0.25
	40,001 - 50,000	0.28	0.28	0.29	0.28	0.29
	$\bar{x}$	0.21				
	$\sigma$	0.05				

จากข้อมูลในตารางที่ 4.3 นำค่า  $C_{pk}$  ไปคำนวณขนาดตัวอย่างในการเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด

4.2.1.2 คำนวณค่า  $C_{pk}$  ก่อนการปรับปรุง เพื่อใช้ในการคำนวณจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการประเมินความสามารถของกระบวนการ จากสมการที่ 4.1

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 0.14+0.15+0.14+\dots+0.29+0.28+0.29 / 30 = 0.21$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x}-x_i)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(0.14-0.21)^2+(0.21-0.15)^2+\dots+(0.21-0.28)^2+(0.21-0.29)^2}{30-1}} = 0.05$$

และนำค่า  $\sigma$  ไปคำนวณค่า Cpk

$$C_{pk} = \min[C_{pu}, C_{pl}] \text{ โดยที่ } C_{pu} = \frac{USL-\bar{x}}{3\sigma} \text{ และ } C_{pl} = \frac{\bar{x}-LSL}{3\sigma}$$

$$C_{pu} = \frac{0.3-0.21}{3(0.048)} = 0.60, C_{pl} = \frac{0.21-0}{3(0.048)} = 1.48, C_{pk} = 0.60$$

4.2.1.3 จำนวนขนาดตัวอย่างที่จำเป็นในการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์

ความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด จากสมการที่ 4.2

$$n = (Z_\alpha)^2 \frac{\left[\frac{1}{9(\hat{C}_{pk})^2} + \frac{1}{2}\right]}{\left[1 - \frac{C_{pk}}{\hat{C}_{pk}}\right]^2} \quad (4.2)$$

โดยที่  $n$  คือ ขนาดตัวอย่าง

$Z_\alpha$  คือ ค่าปกติมาตรฐานที่สอดคล้องกับระดับความเชื่อมั่น  $(1 - \alpha)\%$

$\hat{C}_{pk}$  คือ ค่าประมาณดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการจากกลุ่มตัวอย่าง

$\frac{C_{pk}}{\hat{C}_{pk}}$  คือ ค่าประมาณดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการที่แท้จริง เทียบกับ

ดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการจากกลุ่มตัวอย่าง

แทนค่า  $\alpha = 0.05$

$\hat{C}_{pk} = 0.60$

$\frac{C_{pk}}{\hat{C}_{pk}} = 0.9$

แทนค่าลงในสูตร  $n = (1.64)^2 \frac{\left[\frac{1}{9(0.60)^2} + \frac{1}{2}\right]}{[1-0.9]^2}$

= 218.78

= 219 ตัวอย่าง

การเก็บข้อมูลในการประเมินความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดจำเป็นต้องเก็บข้อมูลจำนวนอย่างน้อย 219 ตัวอย่าง แต่การศึกษาจะทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 225 ตัวอย่าง เพื่อให้ข้อมูลในแต่ละช่วงสโตรกมีปริมาณเท่ากัน โดยมีช่วงสโตรกที่ 1

ถึง 10,000 ทำการเก็บข้อมูล 45 ชิ้น ช่วงสโตรกที่ 10,001 ถึง 20,000 ทำการเก็บข้อมูล 45 ชิ้น ช่วงสโตรกที่ 20,001 ถึง 30,000 ทำการเก็บข้อมูล 45 ชิ้น ช่วงสโตรกที่ 30,001 ถึง 40,000 ทำการเก็บข้อมูล 45 ชิ้น และช่วงสโตรกที่ 40,000 ถึง 50,000 ทำการเก็บข้อมูล 45 ชิ้น เพื่อให้ข้อมูลกระจายตัวในช่วงระยะเวลาตั้งแต่สโตรกหลังจากการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นตายตัดและเปลี่ยนยางยูรีเทนเสร็จ (สโตรกที่ 1) จนถึงการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นตายตัดและเปลี่ยนยางยูรีเทนอีกครั้ง (สโตรกที่ 50,001)

ซึ่งจะทำการแบ่งข้อมูลในแต่ละช่วงสโตรกออกเป็น 7 ชุด และใน 1 ชุดประกอบด้วยแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี 5 ชิ้น

4.2.1.4 เก็บข้อมูลในการประเมินความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกัด โดยเก็บข้อมูลการวัดเชิงปริมาณของการวัดค่าความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็ก จำนวน 225 ตัวอย่าง มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4. 4 ข้อมูลการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณของการวัดค่าความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็กของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี (มม.)

ชุด	ลำดับที่ (ชิ้น)					$\bar{x}$
	1	2	3	4	5	
1	0.15	0.15	0.15	0.16	0.15	0.152
2	0.14	0.14	0.14	0.16	0.14	0.144
3	0.15	0.14	0.17	0.14	0.14	0.148
4	0.14	0.14	0.17	0.14	0.14	0.146
5	0.16	0.19	0.16	0.16	0.17	0.168
6	0.15	0.16	0.16	0.15	0.17	0.158
7	0.15	0.17	0.18	0.15	0.18	0.166

ตารางที่ 4. 4 ข้อมูลการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณของการวัดค่าความสูงของฐานหลักที่สูงจากแผ่นเหล็ก  
ของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี (มม.) (ต่อ)

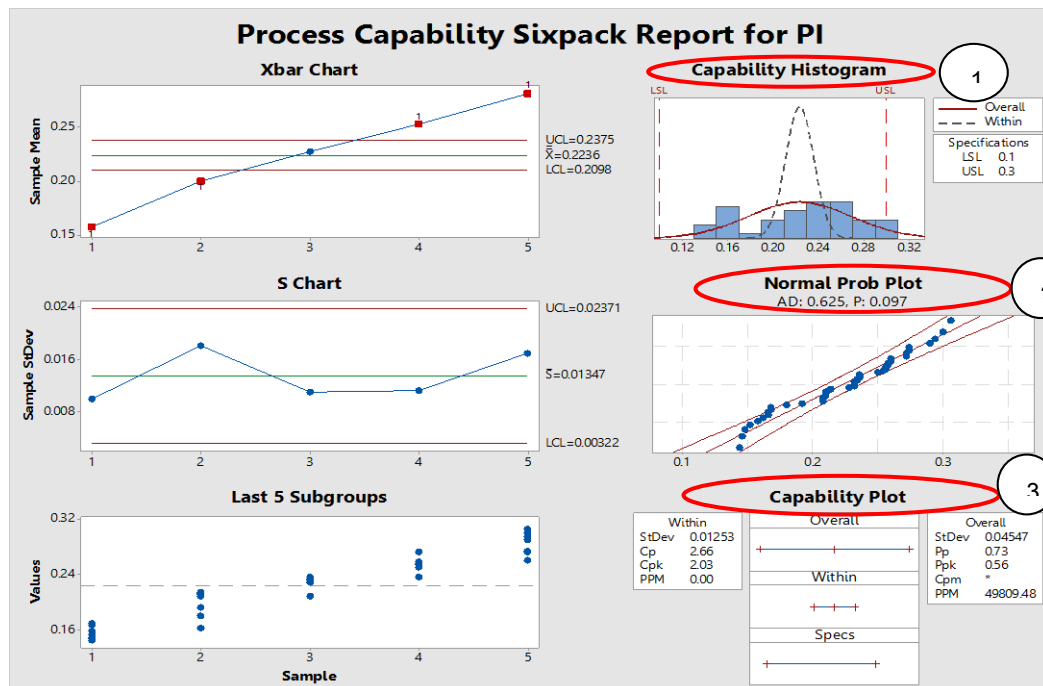
ชุด	ลำดับที่ (ชั้น)					$\bar{x}$
	1	2	3	4	5	
8	0.16	0.16	0.17	0.18	0.17	0.168
9	0.17	0.18	0.17	0.16	0.15	0.166
10	0.16	0.16	0.16	0.17	0.16	0.162
11	0.17	0.17	0.2	0.18	0.18	0.18
12	0.19	0.21	0.19	0.18	0.19	0.192
13	0.2	0.21	0.21	0.21	0.23	0.212
14	0.2	0.21	0.21	0.22	0.2	0.208
15	0.21	0.21	0.2	0.23	0.2	0.21
16	0.21	0.21	0.2	0.22	0.23	0.214
17	0.2	0.21	0.21	0.22	0.21	0.21
18	0.2	0.21	0.22	0.21	0.21	0.21
19	0.21	0.2	0.22	0.2	0.21	0.208
20	0.2	0.21	0.21	0.2	0.22	0.208
21	0.23	0.22	0.23	0.26	0.22	0.232
22	0.23	0.24	0.23	0.24	0.23	0.234
23	0.23	0.24	0.24	0.23	0.23	0.234
24	0.24	0.22	0.25	0.22	0.23	0.232
25	0.23	0.24	0.23	0.24	0.24	0.236
26	0.23	0.22	0.23	0.22	0.24	0.228
27	0.23	0.24	0.22	0.23	0.24	0.232
28	0.24	0.23	0.24	0.24	0.23	0.236
29	0.25	0.25	0.25	0.25	0.28	0.256

ตารางที่ 4. 4 ข้อมูลการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณของการวัดค่าความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็กของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี (มม.) (ต่อ)

ชุด	ลำดับที่ (ชั้น)					$\bar{x}$
	1	2	3	4	5	
30	0.24	0.23	0.24	0.24	0.23	0.236
31	0.25	0.25	0.25	0.25	0.28	0.256
32	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
33	0.25	0.28	0.25	0.26	0.25	0.258
34	0.25	0.27	0.27	0.29	0.28	0.272
35	0.25	0.25	0.26	0.27	0.26	0.258
36	0.25	0.26	0.25	0.25	0.26	0.254
37	0.25	0.26	0.26	0.26	0.27	0.26
38	0.25	0.26	0.27	0.25	0.27	0.26
39	0.27	0.28	0.26	0.28	0.28	0.274
40	0.26	0.27	0.28	0.28	0.28	0.274
41	0.27	0.27	0.27	0.27	0.28	0.272
42	0.28	0.28	0.28	0.32	0.29	0.29
43	0.29	0.28	0.32	0.29	0.29	0.294
44	0.31	0.31	0.29	0.32	0.29	0.304
45	0.29	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31

นำข้อมูลจากตารางที่ 4.4 ซึ่งเป็นค่าความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็กของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดีไปวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการของค่าความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็ก โดยวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผลลัพธ์ ดังนี้





รูปที่ 4. 4 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกัด

จากรูปที่ 4.4 สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกัดได้ ดังนี้

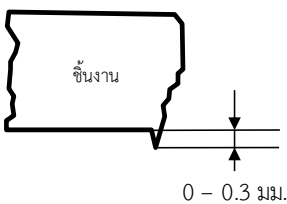
1. แผนภูมิ Capability Histogram พบว่ามีค่าส่วนใหญ่มีค่าใกล้ขีดจำกัดข้อกำหนดด้านบน และมีบางค่าที่ออกนอกขีดจำกัดข้อกำหนดด้านบน โดยขีดจำกัดข้อกำหนดด้านล่าง มีค่าเท่ากับ 0.0 มม. และ ขอบเขตบนมีค่าเท่ากับ 0.3 มม. โดยชิ้นงานที่มีขนาดของความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็กอยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อนอนุโลมเท่ากับ 216 ชิ้น หรือคิดเป็นร้อยละ 96.00 และ ชิ้นงานที่มีขนาดของความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็กมากกว่าขีดจำกัดข้อกำหนดด้านบนเท่ากับ 9 ชิ้น หรือคิดเป็นร้อยละ 4.0
2. แผนภูมิ Normal Prob. Plot พบว่าชุดข้อมูลมีค่า P-value เท่ากับ 0.097 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ ) = 0.05 แสดงว่าชุดข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติ
3. แผนภูมิ Capability Plot พบว่าค่า Cpk มีค่าเท่ากับ 2.03 ซึ่งมีค่าเกิน 1.33 และค่า Ppk มีค่าเท่ากับ 0.56 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.33 ซึ่งมีความผันแปรระหว่างกลุ่มย่อยมาก ดังนั้นต้องทำการปรับปรุงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็กระหว่างอายุการใช้

งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด และอายุการใช้งานของยางยูรีเทนต่างๆให้มีความผันแปรอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งจะทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด และจะทำให้ค่า Ppk มีค่าสูงขึ้น

#### 4.2.2 ความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องประเภทรอยจากการบ่มทับ

4.2.2.1 ทำการศึกษาข้อมูลการวัดเชิงปริมาณของความสูงครีบ เนื่องจากครีบที่สูงบริเวณขอบชิ้นงาน หากครีบนั้นหลุดติดที่บริเวณหน้าแม่พิมพ์หากมีการบ่มชิ้นงาน ขึ้นต่อไป จะทำให้เกิดรอยจากการบ่มทับขึ้น ดังนั้นจะใช้ความสูงครีบในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องประเภทรอยจากการบ่มทับ มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.5 เพื่อใช้ในการหาความสามารถของกระบวนการ และนำค่าความสามารถของกระบวนการ ไปใช้ในการคำนวณขนาดตัวอย่าง

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลการวัดเชิงปริมาณของความสูงครีบ

รูปภาพ	ช่วงสโตรก	ตัวอย่างที่ / ขนาด (มม.)				
		1	2	3	4	5
	1-10,000	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05
	10,001 - 15,000	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07
	15,001 - 20,000	0.09	0.09	0.09	0.1	0.1
	20,001 - 30,000	0.11	0.1	0.11	0.1	0.12
	30,001 - 40,000	0.12	0.12	0.13	0.12	0.12
	40,001 - 50,000	0.14	0.15	0.15	0.15	0.16
	$\bar{x}$	0.10				
$\sigma$	0.03					

จากตารางที่ 4.5 นำข้อมูลค่า  $C_{pk}$  ไปคำนวณขนาดตัวอย่างในการเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องประเภทรอยจากการบ่มทับ

4.2.2.2 คำนวณค่า  $C_{pk}$  ก่อนการปรับปรุง เพื่อใช้ในการคำนวณจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการประเมินความสามารถของกระบวนการ จากสมการที่ 4.1

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{0.05+0.06+0.05+\dots+0.15+0.15+0.16}{30} = 0.10$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(0.10-0.05)^2+(0.10-0.06)^2+\dots+(0.10-0.15)^2+(0.10-0.16)^2}{30-1}} = 0.03$$

และนำค่า  $\sigma$  ไปคำนวณค่า  $C_{pk}$

$$C_{pk} = \min[C_{pu}, C_{pl}] \text{ โดยที่ } C_{pu} = \frac{USL - \bar{x}}{3\sigma} \text{ และ } C_{pl} = \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma}$$

$$C_{pu} = \frac{0.3-0.1}{3(0.03)} = 2.05, C_{pl} = \frac{0.1-0}{3(0.03)} = 1.02, C_{pk} = 1.02$$

4.2.2.2 คำนวณขนาดตัวอย่างในการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องประเภทรอยจากการบ่มทับ จากสมการที่ 4.1

$$n = (Z_\alpha)^2 \frac{\left[\frac{1}{9(\hat{C}_{pk})^2} + \frac{1}{2}\right]}{\left[1 - \frac{C_{pk}}{\hat{C}_{pk}}\right]^2} \quad \text{---(4.1)}$$

โดยที่  $n$  คือ ขนาดตัวอย่าง  
 $Z_\alpha$  คือ ค่าปกติมาตรฐานที่สอดคล้องกับระดับความเชื่อมั่น  $(1 - \alpha)\%$   
 $\hat{C}_{pk}$  คือ ค่าประมาณดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการจากกลุ่มตัวอย่าง  
 $\frac{C_{pk}}{\hat{C}_{pk}}$  คือ ค่าประมาณดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการที่แท้จริง เทียบกับ

ดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการจากกลุ่มตัวอย่าง

แทนค่า  $\alpha = 0.05$

$\hat{C}_{pk} = 1.02$

$\frac{C_{pk}}{\hat{C}_{pk}} = 0.9$

แทนค่าลงในสูตร  $n = (1.65)^2 \frac{\left[\frac{1}{9(1.02)^2} + \frac{1}{2}\right]}{[1-0.9]^2}$

= 164.17

= 165 ตัวอย่าง

การเก็บข้อมูลในการประเมินความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องประเภทรอยจากการบ่มทับจำเป็นต้องเก็บข้อมูลจำนวนอย่างน้อย 165 ตัวอย่าง แต่การศึกษาจะทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 175 ตัวอย่าง เพื่อให้ข้อมูลในแต่ละช่วงสโตรกมีปริมาณเท่ากัน โดยมีช่วงสโตรกที่ 1 ถึง 10,000 ทำการเก็บข้อมูล 35 ชิ้น ช่วงสโตรกที่ 10,001 ถึง 20,000 ทำการเก็บข้อมูล 35 ชิ้น ช่วงสโตรกที่ 20,001 ถึง 30,000 ทำการเก็บข้อมูล 35 ชิ้น ช่วงสโตรกที่ 30,001 ถึง 40,000 ทำการเก็บข้อมูล 35 ชิ้น และช่วงสโตรกที่ 40,000 ถึง 50,000 ทำการเก็บข้อมูล 35 ชิ้น เพื่อให้ข้อมูลกระจายตัวในช่วงระยะเวลาตั้งแต่สโตรกหลังจากการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระโนแห้งตัดและแผ่นตายตัดและเปลี่ยนยางยูรีเทนเสร็จ (สโตรกที่ 1) จนถึงการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระโนแห้งตัดและแผ่นตายตัดและเปลี่ยนยางยูรีเทนอีกครั้ง (สโตรกที่ 50,001)

ซึ่งจะทำการแบ่งข้อมูลในแต่ละช่วงสโตรกออกเป็น 6 ชุด และใน 1 ชุดประกอบด้วยแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี 5 ชิ้น

4.2.2.2 เก็บข้อมูลในการประเมินความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องประเภทรอยจากการป้อนทับ โดยเก็บข้อมูลการวัดเชิงปริมาณของความสูงครีบกจำนวน 155 ตัวอย่าง มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.6

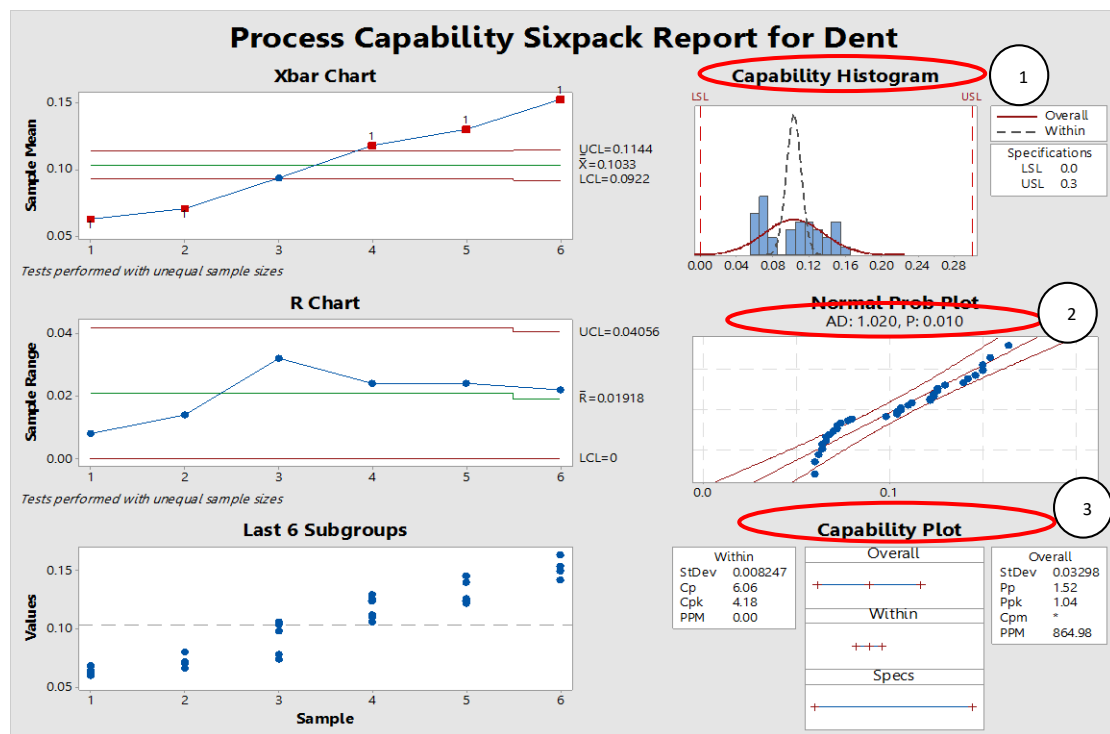
ตารางที่ 4. 6 ข้อมูลการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณของความสูงครีบกของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี (มม.)

ชุด	ลำดับที่ (ชิ้น)					$\bar{x}$
	1	2	3	4	5	
1	0.06	0.05	0.06	0.07	0.06	0.06
2	0.05	0.06	0.09	0.06	0.06	0.064
3	0.05	0.07	0.07	0.05	0.08	0.064
4	0.06	0.05	0.05	0.07	0.07	0.06
5	0.06	0.06	0.07	0.06	0.09	0.068
6	0.05	0.06	0.05	0.07	0.08	0.062
7	0.06	0.07	0.06	0.08	0.06	0.066
8	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
9	0.07	0.07	0.06	0.06	0.07	0.066
10	0.07	0.07	0.09	0.1	0.07	0.08
11	0.07	0.06	0.07	0.07	0.09	0.072
12	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.072
13	0.07	0.09	0.07	0.07	0.07	0.074
14	0.08	0.08	0.08	0.07	0.08	0.078
15	0.1	0.1	0.09	0.1	0.1	0.098

ตารางที่ 4. 7 ข้อมูลการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณของความสูงครีบของแผ่นรองเครื่องบินซีดี (มม.) (ต่อ)

ชุด	ลำดับที่ (ชิ้น)					$\bar{x}$
	1	2	3	4	5	
16	0.1	0.1	0.11	0.1	0.11	0.104
17	0.09	0.1	0.12	0.12	0.1	0.106
18	0.09	0.11	0.11	0.1	0.11	0.104
19	0.1	0.1	0.1	0.11	0.12	0.106
20	0.1	0.11	0.11	0.12	0.11	0.11
21	0.1	0.11	0.12	0.11	0.12	0.112
22	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.124
23	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
24	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.126
25	0.12	0.13	0.11	0.13	0.13	0.124
26	0.13	0.12	0.11	0.14	0.11	0.122
27	0.12	0.11	0.13	0.13	0.12	0.122
28	0.12	0.14	0.12	0.13	0.12	0.126
29	0.14	0.13	0.14	0.14	0.15	0.14
30	0.15	0.15	0.15	0.13	0.15	0.146
31	0.14	0.16	0.13	0.14	0.14	0.142
32	0.14	0.14	0.16	0.16	0.17	0.154
33	0.15	0.15	0.14	0.16	0.15	0.15
34	0.15	0.15	0.14	0.15	0.16	0.15
35	0.16	0.17	0.16	0.17	0.16	0.164

นำข้อมูลจากตารางที่ 4.6 ซึ่งเป็นค่าความสูงของครีบบของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี ไบวีเคราะห์ความสามารถของกระบวนการของค่าความสูงครีบบ โดยวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผลลัพธ์ดังนี้



รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องประเภทรอยจากการป้อน

จากรูปที่ 4.5 สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในข้อบกพร่องประเภทรอยจากการป้อนได้ ดังนี้

1. แผนภูมิ Capability Histogram พบว่าค่าความสูงครีบบอยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อนอนุโลมทั้งหมด โดยขีดจำกัดข้อกำหนดด้านล่าง มีค่าเท่ากับ 0 มม. และ ขีดจำกัดข้อกำหนดด้านบน มีค่าเท่ากับ 0.3 มม.
2. แผนภูมิ Normal Prob. Plot พบว่าชุดข้อมูลมีค่า P-value เท่ากับ 0.010 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ ) = 0.05 แสดงว่าชุดข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ
3. แผนภูมิ Capability Plot พบว่าค่า Cpk มีค่าเท่ากับ 4.19 ซึ่งมีค่าเกิน 1.33 และค่า Ppk มีค่าเท่ากับ 1.04 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.33 แสดงว่ามีความผันแปรระหว่างกลุ่มย่อยมาก ดังนั้นต้องทำการปรับปรุงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความสูงครีบบระหว่างอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่น

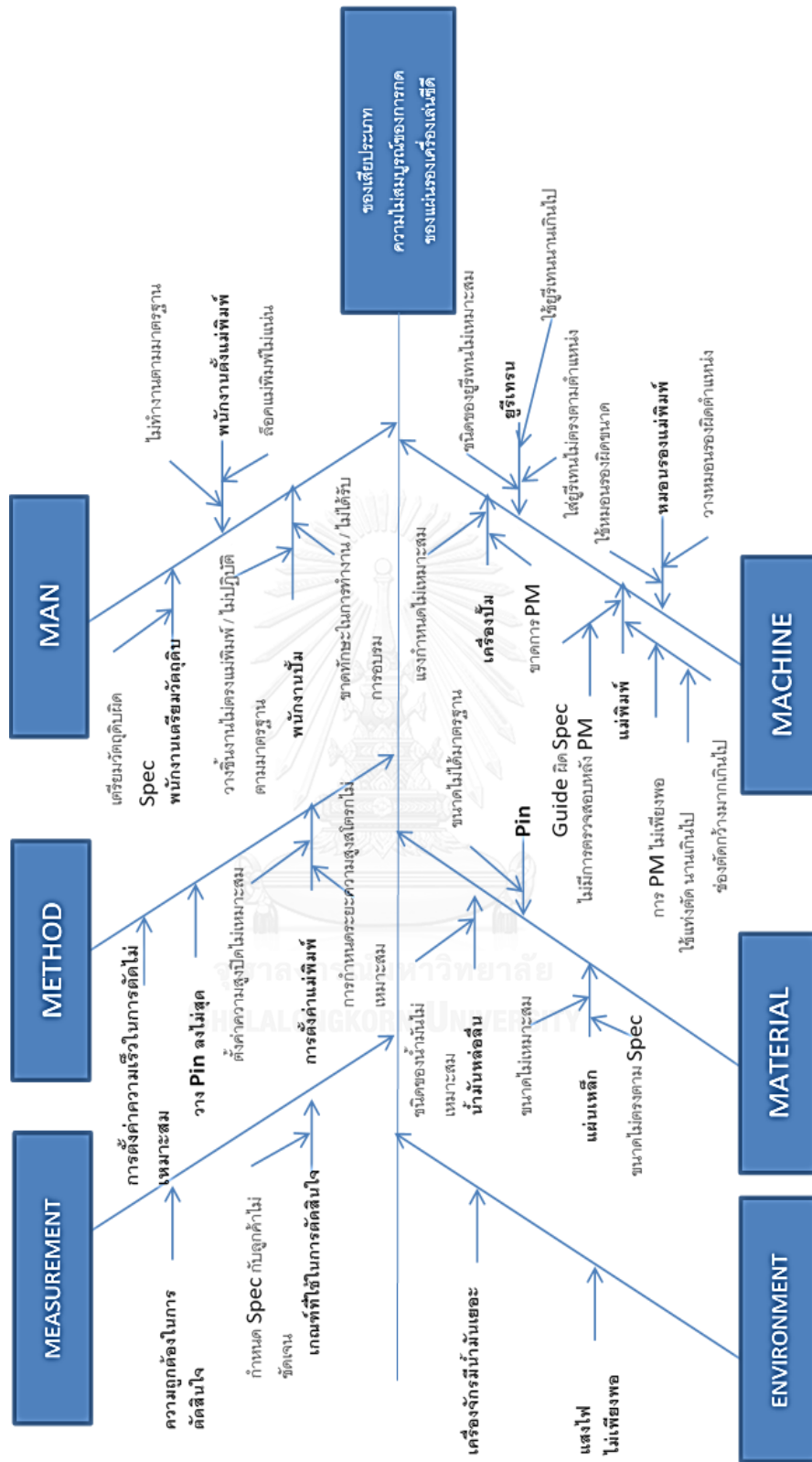
ตายตัด และอายุการใช้งานของยางยูรีเทนต่างๆให้มีความผันแปรอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งจะทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด และจำทำให้ค่า Ppk มีค่าสูงขึ้น

#### 4.4 การวิเคราะห์สาเหตุ และผลของการเกิดของเสีย (Cause and Effect Analysis)

4.3.1 ระดมสมองเพื่อวิเคราะห์สาเหตุ และผลของการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภท ความไม่สมบูรณ์ของการกด

ในการระดมสมองเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดได้ใช้แผนผังเหตุ และผล (Cause and Effect Diagram) และใช้หลักการ 5M 1E เป็นหัวข้อหลักในการวิเคราะห์ โดยมีรายละเอียดดังรูปที่ 4.6





รูปที่ 4. 6 แผนภาพเหตุและผลของของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของจักรกล



จากรูปที่ 4.6 เป็นการวิเคราะห์สาเหตุของปัจจัยซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อการศึกษาของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด ซึ่งสรุปปัจจัยทั้งหมด ลงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.8 ปัจจัยซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อการศึกษาของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด

หมวด	ลำดับที่	สาเหตุการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด
Man	1	ติดตั้งแม่พิมพ์ไม่ทำตามมาตรฐาน
	2	ล็อคแม่พิมพ์ไม่แน่น
	3	เตรียมวัตถุดิบผิด Spec
	4	วางชิ้นงานไม่ตรงตำแหน่งในแม่พิมพ์
	5	ไม่ได้รับการอบรม
Method	1	วางสลักไม่สุด
	2	ความสูงปิดไม่เหมาะสม
	3	การกำหนดระยะความสูงสโตรกไม่เหมาะสม
	4	การตั้งค่าความเร็วในการตัดไม่เหมาะสม
Measurement	1	เกณฑ์ในการตัดสินใจไม่ชัดเจน
	2	ความถูกต้องในการตัดสินใจ
Machine	1	แรงกำหนดไม่เหมาะสม
	2	ขาดการบำรุงรักษาเครื่องปั๊ม
	3	ใส่ Guide ผิดขนาด
	4	ขาดการบำรุงรักษาแม่พิมพ์
	5	ช่องตัดกว้างเกินไป
	6	วางหมอนรองแม่พิมพ์ผิดตำแหน่ง
	7	หมอนรองแม่พิมพ์ผิดขนาด
	8	ใส่ยางยูรีเทนไม่ครบทุกตำแหน่ง
	9	ยางยูรีเทนผิด Spec
	10	ใส่ยางยูรีเทนนานเกินไป

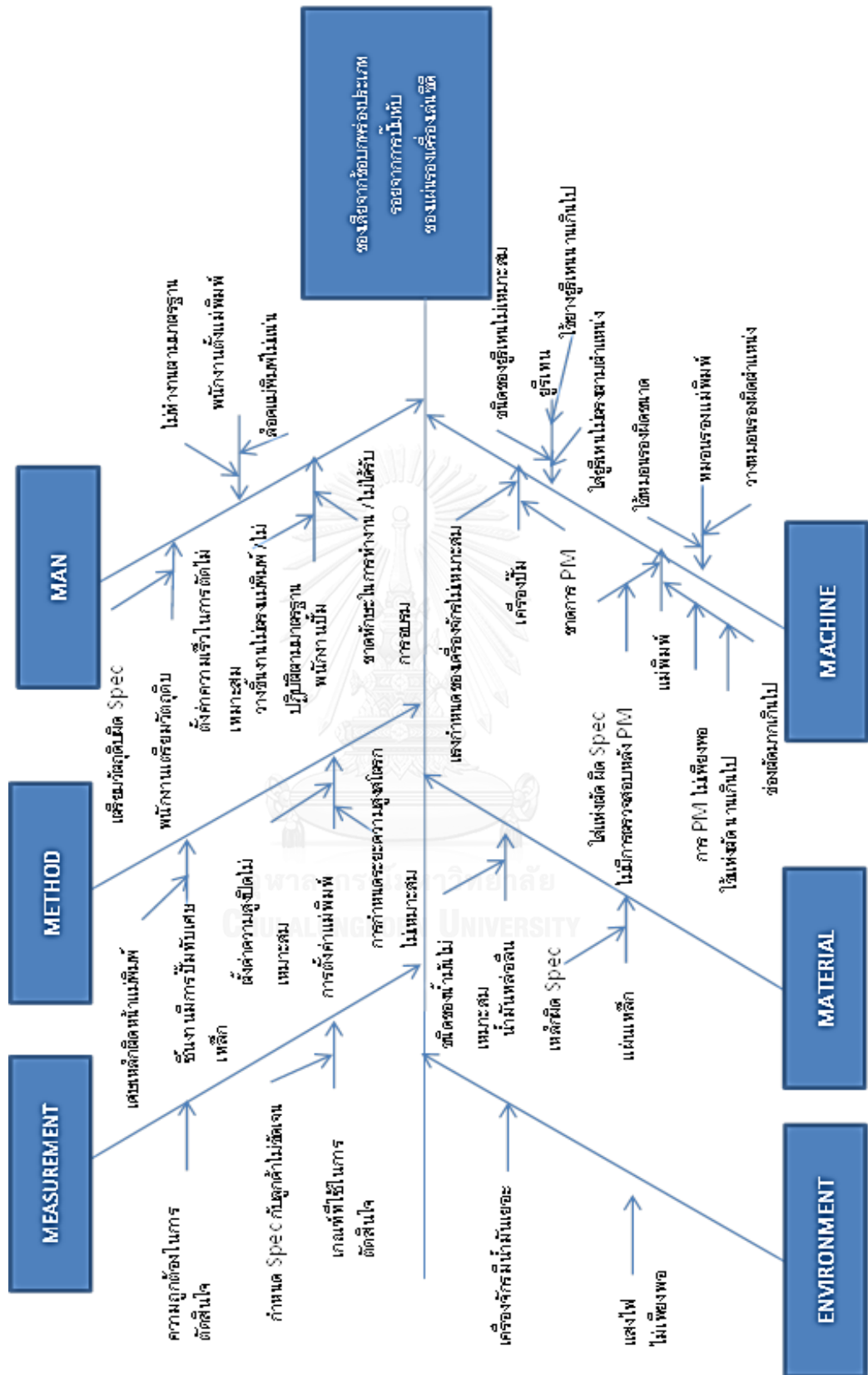
ตารางที่ 4.7 ปัจจัยซึ่งอาจจะส่งผลต่อการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด(ต่อ)

หมวด	ลำดับที่	สาเหตุการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด
Material	1	ขนาดสลักไม้ได้มาตรฐาน
	2	ขนาดแผ่นเหล็กผิด spec
	3	น้ำมันขึ้นรูปผิดชนิด
Environment	1	แสงสว่างไม่พอต่อการตรวจสอบ
	2	เครื่องจักรมีน้ำมันมากเกินไป

จากตารางที่ 4.7 พบว่ามีปัจจัยที่อาจจะส่งผลกระทบต่อ การเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดจำนวนเท่ากับ 26 ปัจจัย และนำปัจจัยทั้งหมดไปคัดกรองปัจจัยที่ คาดว่ามีผลกระทบสูงต่อปัญหาโดยใช้เกณฑ์ของการประเมินความล้มเหลว และผลกระทบของ กระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดีต่อไป

4.3.2 ระดมสมองเพื่อวิเคราะห์สาเหตุ และผลของการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภท รอยจากการปั๊มทับ

ในการระดมสมองเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการปั๊มทับได้ใช้แผนผังเหตุ และผล (Cause and Effect Diagram) ใช้หลักการ 5M 1E เป็นหัวข้อหลักในการวิเคราะห์ โดยมีรายละเอียดดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4. 7 แผนภาพเหตุและผลของของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการปัมพ์

จากรูปที่ 4.7 เป็นการวิเคราะห์สาเหตุของปัจจัยซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อการศึกษาของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความรอยจากการบีบอัด ซึ่งสรุปปัจจัยทั้งหมดลงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4. 9 ปัจจัยซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อการศึกษาของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการบีบอัด

หมวด	ลำดับที่	สาเหตุการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการบีบอัด
Man	1	ติดตั้งแม่พิมพ์ไม่ทำตามมาตรฐาน
	2	ล็อคแม่พิมพ์ไม่แน่น
	3	เตรียมวัตถุดิบผิด Spec
	4	วางชิ้นงานไม่ตรงตำแหน่งในแม่พิมพ์
	5	ไม่ได้รับการอบรม
Method	1	บีบอัดเศษเหล็ก
	2	ความสูงปิดไม่เหมาะสม
	3	การกำหนดระยะความสูงสโตรกไม่เหมาะสม
	4.	การตั้งค่าความเร็วในการตัดไม่เหมาะสม
Measurement	1	เกณฑ์ในการตัดสินใจไม่ชัดเจน
	2	ความถูกต้องในการตัดสินใจ
Machine	1	แรงกำหนดไม่เหมาะสม
	2	ขาดการบำรุงรักษาเครื่องบีบ
	3	ใส่แท่งตัดผิดขนาด
	4	ขาดการบำรุงรักษาแม่พิมพ์
	5	ช่องตัดกว้างเกินไป
	6	วางหมอนรองแม่พิมพ์ผิดตำแหน่ง
	7	หมอนรองแม่พิมพ์ผิดขนาด
	8	ใส่ยางยูรีเทนไม่ครบทุกตำแหน่ง
	9	ยางยูรีเทนผิด Spec
	10	ใช้ยางยูรีเทนนานเกินไป

ตารางที่ 4.8 ปัจจัยซึ่งอาจจะส่งผลต่อการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการปั๊มทับ (ต่อ)

หมวด	ลำดับที่	สาเหตุการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการปั๊มทับ
Material	1	เหล็กผิด Spec
	2	น้ำมันตัดผิดชนิด
Environment	1	แสงสว่างไม่พอต่อการตรวจสอบ
	2	เครื่องจักรมีน้ำมันมากเกินไป
Material	1	เหล็กผิด Spec
	2	น้ำมันตัดผิดชนิด
Environment	1	แสงสว่างไม่พอต่อการตรวจสอบ
	2	เครื่องจักรมีน้ำมันเยอะเกินไป

จากตารางที่ 4.8 พบว่าปัจจัยที่อาจจะส่งผลกระทบต่อ การเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการปั๊มทับมีจำนวนเท่ากับ 25 ปัจจัย และนำปัจจัยทั้งหมดไปคัดกรองปัจจัยที่คาดว่า มีผลกระทบสูงต่อปัญหาโดยใช้เกณฑ์ของการประเมินความล้มเหลว และผลกระทบของกระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดีต่อไป

#### 4.5 การคัดกรองปัจจัยด้วยเกณฑ์ของการวิเคราะห์ความล้มเหลว และผลกระทบของกระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี (FMEA)

จากการระดมสมองด้วยหลักการ 5M 1E ทำให้ได้ปัจจัยซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อ การเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการปั๊มทับ ซึ่งมีปัจจัยแสดงดังตารางที่ 4.7 และ 4.8 จากนั้นทำการวิเคราะห์ลักษณะบกพร่อง และผลกระทบที่ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการปั๊มทับ เพื่อคัดกรองปัจจัยที่อาจจะส่งผลกระทบต่อผลตอบ (Response) โดยมีขั้นตอน ดังนี้

1. ระบุปัจจัยนำเข้าที่ได้จากการวิเคราะห์โดยแผนผังก้างปลา
2. กำหนดเกณฑ์การประเมินความรุนแรงเมื่อเกิดของเสีย (Severity : S) โดยมีน้ำหนักคะแนน ดังตารางที่ 4.9 และทำการใส่ตัวเลขตามความรุนแรงเมื่อเกิดของเสียขึ้น โดยอ้างอิงจากมาตรฐานของ Chrysler (2008) และ AIAG,(2008) โดยมีการประยุกต์ใช้

มาตรฐานของ Chyler (2008) ในส่วนของความรุนแรงของผลกระทบต่อลูกค้า และการประยุกต์ใช้มาตรฐานของ AIAG (2008) ในส่วนของความรุนแรงของผลกระทบต่อการผลิต/ประกอบ เนื่องจากเกณฑ์สามารถเข้าใจได้ง่ายทำให้ทีมปรับปรุงคุณภาพเข้าใจได้ง่าย และมีความถูกต้องในการลงคะแนนมากขึ้น

ตารางที่ 4. 10 เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของผลกระทบ

ผลกระทบ	ความรุนแรงของผลกระทบต่อลูกค้า	ความรุนแรงของผลต่อการผลิต/ ประกอบ	คะแนน
อันตรายร้ายแรง โดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า	ความล้มเหลวส่งผลกระทบต่อความปลอดภัย การทำงานของสายการผลิต การประกอบ และ/หรือไม่สอดคล้องกับกฎระเบียบของรัฐบาล โดยไม่มีการแจ้งเตือน	อาจส่งผลอันตรายต่อการปฏิบัติงาน (เครื่องจักร หรือการผลิต) โดยไม่มีการเตือน	10
อันตรายร้ายแรง แต่มีการเตือนล่วงหน้า	ความล้มเหลวส่งผลกระทบต่อความปลอดภัย การทำงานของสายการผลิต การประกอบ และ/หรือไม่สอดคล้องกับกฎระเบียบของรัฐบาล โดยมีการแจ้งเตือน	อาจส่งผลอันตรายต่อการปฏิบัติงาน (เครื่องจักร หรือการผลิต) โดยมีการเตือน	9
สูงมาก	ความบกพร่องซึ่งทำให้สายการผลิต/ประกอบไม่สามารถทำงานได้ (สูญเสียหน้าที่หลัก)	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดอาจจะต้องทิ้ง สายการประกอบหยุด หรือไม่สามารถส่งของได้	8
สูง	ความบกพร่องซึ่งทำให้สายการผลิต/ประกอบมีสมรรถนะลดลง แต่ยังสามารถประกอบได้ ส่งผลให้ลูกค้าไม่พอใจอย่างมาก	อาจต้องมีการตัดแยกผลิตภัณฑ์ (น้อยกว่าร้อยละ 100) และต้องมีการเพิ่มกระบวนการซ่อมบำรุง ใช้เวลามากกว่า 1 ชั่วโมง	7
ปานกลาง	ความบกพร่องซึ่งทำให้สายการผลิต/ประกอบ ทำงานได้ แต่ไม่มีความสะดวกสบายประกอบได้ ส่งผลให้ลูกค้าไม่พอใจ	อาจจะต้องมีการตัดแยกผลิตภัณฑ์ (น้อยกว่าร้อยละ 75) และต้องมีการเพิ่มกระบวนการซ่อมบำรุง ใช้เวลา ระหว่างครึ่ง ถึง 1 ชั่วโมง	6

ตารางที่ 4.9 เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของผลกระทบ(ต่อ)

ผลกระทบ	ความรุนแรงของผลกระทบต่อลูกค้า	ความรุนแรงของผลต่อการผลิต/ประกอบ	คะแนน
ต่ำ	ความบกพร่องซึ่งทำให้สายการผลิต/ประกอบทำงานได้ แต่ความสะดวกรวดสบายในการประกอบน้อย	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด อาจถูกแก้ไข หรือสายการผลิตถูกซ่อมนอกสายการผลิตโดยไม่ต้องส่งไปหน่วยงานซ่อมบำรุง	5
ต่ำมาก	ส่วนประกอบมีความไม่สอดคล้องในด้านรูปลักษณะ เสียงสั่น ลูกค้าส่วนใหญ่สามารถสังเกตเห็นได้ (มากกว่าร้อยละ 75)	ผลิตภัณฑ์อาจถูกคัดแยก และส่วนใหญ่ (น้อยกว่าร้อยละ 100) ถูกแก้ไขโดยไม่ต้องถูกกำจัดทิ้ง	4
เล็กน้อย	ส่วนประกอบมีความไม่สอดคล้องในด้านรูปลักษณะ เสียงสั่น ลูกค้าครึ่งหนึ่งสามารถสังเกตเห็นได้ (ร้อยละ 50)	ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ (น้อยกว่าร้อยละ 100) ถูกแก้ไขโดยไม่ต้องถูกกำจัดทิ้ง โดยการกระทำในสายการผลิตแต่นอกหน่วยผลิต	3
เล็กน้อยมาก	ส่วนประกอบมีความไม่สอดคล้องในด้านรูปลักษณะ เสียงสั่น ลูกค้าบางส่วนสามารถสังเกตเห็นได้ (น้อยกว่าร้อยละ 25)	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่าร้อยละ 50) ถูกแก้ไขโดยไม่ต้องถูกกำจัดทิ้ง โดยการกระทำในสายการผลิตแต่นอกหน่วยผลิต	2
ไม่มีเลย	ไม่มีผลใดๆ	เกิดความไม่สะดวกต่อกระบวนการปฏิบัติงาน หรือไม่มีผลกระทบใดๆ	1

3. กำหนดเกณฑ์การประเมินความถี่ในการเกิดของสาเหตุ (Occurrence : O) โดยมีน้ำหนักคะแนน ดังตารางที่ 4.10 และทำการใส่ตัวเลขตามความถี่ในการเกิดของสาเหตุ โดยอ้างอิงมาตรฐานจาก Chyler (2008)

ตารางที่ 4. 11 เกณฑ์การประเมินความถี่ในการเกิดของสาเหตุ

โอกาสในการเกิดขึ้นของสาเหตุหนึ่งๆ	การเกิดข้อบกพร่อง/การผลิต (ชิ้น/ชิ้น)	คะแนน
สูงมาก (เกิดข้อบกพร่องเป็นประจำทุกครั้งที่ผลิต)	≥ 500 ชิ้น ต่อ 1,000 ชิ้น ≥ ร้อยละ 50	10
สูง (เกิดข้อบกพร่องบ่อย)	≥ 400 ชิ้น ต่อ 1,000 ชิ้น ≥ ร้อยละ 40	9
	≥ 300 ชิ้น ต่อ 1,000 ชิ้น ≥ ร้อยละ 30	8
	≥ 200 ชิ้น ต่อ 1,000 ชิ้น ≥ ร้อยละ 20	7
ปานกลาง (เกิดข้อบกพร่องเป็นครั้งคราว)	≥ 100 ชิ้น ต่อ 1,000 ชิ้น ≥ ร้อยละ 10	6
	≥ 30 ชิ้น ต่อ 1,000 ชิ้น ≥ ร้อยละ 3	5
	≥ 10 ชิ้น ต่อ 1,000 ชิ้น ≥ ร้อยละ 1	4
ปานกลาง (เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย)	≥ 1 ชิ้น ต่อ 1,000 ชิ้น ≥ ร้อยละ 0.1	3
	≤ 0.1 ชิ้น ต่อ 1,000 ชิ้น ≤ ร้อยละ 0.01	2
ต่ำไกล (เกือบไม่มีโอกาสเกิดข้อบกพร่องเลย)	ความบกพร่องถูกกำจัดโดย การควบคุมการป้องกัน	1

4. กำหนดเกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (Detection : D) โดยมีน้ำหนักคะแนน ดังตารางที่ 4.11 และทำการใส่ตัวเลขตามความน่าจะเป็นต่อความสามารถในการตรวจสอบ โดยอ้างอิงมาตรฐานจาก AIAG (2008)



ตารางที่ 4. 12 เกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ

การตรวจจับ	กฎเกณฑ์	ขอบเขต และวิธีการตรวจจับ	คะแนน
เกือบเป็นไปได้	ไม่มีระบบการตรวจจับ	ไม่สามารถตรวจจับหรือตรวจสอบได้	10
ห่างไกลมาก	มีระบบควบคุม แต่ไม่สามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้	การควบคุมกระทำได้อ้อมหรือเป็นเพียงการสุ่มเท่านั้น	9
ต่ำมาก	มีระบบควบคุม แต่มีโอกาสน้อยที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	การควบคุมกระทำได้ด้วยการตรวจสอบด้วยตาเปล่า	8
ต่ำ	มีระบบควบคุม แต่มีโอกาสน้อยที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	การควบคุมกระทำได้ด้วยการตรวจสอบด้วยตาเปล่าสองครั้งเท่านั้น	7
ปานกลาง	มีระบบการควบคุมและอาจจะตรวจจับข้อบกพร่องได้	การควบคุมกระทำโดย แผนภูมิ SPC หรือ มีเอกสารรับรอง	6
ค่อนข้างสูง	มีระบบการควบคุมและอาจจะตรวจจับข้อบกพร่องได้	มีการควบคุมโดยใช้เครื่องมือวัด วัดชิ้นงานก่อนออกจากจุดปฏิบัติ หรือใช้เกจแบบ Go/No Go ก่อนออกจากจุดปฏิบัติ	5
ค่อนข้างสูง	มีระบบควบคุมและมีโอกาสสูงที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	มีการตรวจจับความผิดพลาดในกระบวนการถัดไป หรือมีการใช้เครื่องมือวัดชิ้นงานแรกในกระบวนการ	4
สูง	มีระบบควบคุมและมีโอกาสสูงที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	มีการตรวจจับความผิดพลาดที่จุดปฏิบัติงาน หรือมีการตรวจจับความผิดพลาดในกระบวนการถัดไปโดยการตรวจสอบเพื่อยอมรับ	3
สูงมาก	มีระบบควบคุมและเกือบจะมั่นใจได้ว่าสามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้	มีการตรวจจับความผิดพลาดที่จุดปฏิบัติงานที่ชิ้นงานบกพร่องไม่สามารถผ่านไปได้	2
สูงมาก	มีระบบการควบคุม และมั่นใจได้ว่าจะสามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้	ไม่มีโอกาสเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่อง	1

5. คำนวณค่าตัวเลขลำดับความเสี่ยง (Risk Priority Number : RPN) จากตัวเลขทั้ง 3 เกณฑ์ คือ  $RPN = S \times O \times D$  จากนั้นนำเฉพาะปัจจัยที่มีค่า RPN ดังนี้ไปพิจารณาปัจจัยจากความรุนแรงของผลกระทบ คือ ปัจจัยที่มีคะแนนตั้งแต่ 7 – 10 คะแนน เนื่องจากต้องสูญเสียเวลาในการซ่อมเป็นเวลานาน และส่งผลให้ไม่สามารถส่งของได้ นำปัจจัยที่มีค่าความรุนแรงของผลกระทบ 7 –

10 คะแนนมาพิจารณาโอกาสในการเกิด คือ ปัจจัยที่มีคะแนนตั้งแต่ 5 – 10 คะแนน เนื่องจากร้อยละของเสียที่ยอมรับได้ของบริษัทการศึกษา ซึ่งน้อยกว่าเท่ากับร้อยละ 3 และนำปัจจัยที่มีโอกาสในการเกิดตั้งแต่ 5 – 10 คะแนนมาพิจารณาความเป็นไปได้ในการตรวจพบ คือ ปัจจัยที่มีคะแนน 6 – 10 คะแนน เนื่องจากการตรวจพบตั้งแต่ระดับต่ำ ถึงปานกลาง โดยสามารถตรวจสอบได้โดยวิธีการสุ่มเท่านั้น ซึ่งอ้างอิงจาก AIAG (2008) และประยุกต์ให้เข้ากับเป้าหมายของบริษัทการศึกษา

จากตารางที่ 4.9 ถึง 4.11 เป็นเกณฑ์การประเมินความรุนแรงเมื่อเกิดของเสีย (Severity : S) เกณฑ์การประเมินความถี่ในการเกิดของสาเหตุ (Occurrence : O) และ เกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (Detection : D) และนำสาเหตุจากแผนภาพเหตุและผลจากรูปที่ 4.6 และ 4.7 มาทำการตรวจสอบและประเมินกระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องบินซีดี โดยวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องบินซีดี ตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4. 13 ผลการวิเคราะห์ความล้มเหลว และผลกระทบของกระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องบินซีดี

กระบวนการ	สภาพที่ต้องการที่เป็นไปได้	ผลกระทบที่เป็นไปได้	สาเหตุที่ต้องการที่เป็นไปได้	S	สาเหตุที่ต้องการที่เป็นไปได้	O	การควบคุมปัจจุบัน		D	RPN
							การป้องกัน	การตรวจสอบ		
1. รับวัตถุดิบ	รับวัตถุดิบผิดชนิด	งานชิ้นรูปไม่ได้ขนาด	ผู้รับของช่างส่งผิด	7		1	มาตรฐานในการรับวัตถุดิบ	มีการตรวจสอบทุกครั้งที่รับ	7	49
2. ตรวจสอบวัตถุดิบ	ขนาดของเหล็กไม่ตรงกับข้อ	ยึดติดทำให้ชิ้นงานไม่เต็มแม่พิมพ์ หรือ ติดไม่ได้	พนักงานวัดผิด	1		3	มาตรฐานในการตรวจสอบ	มีการตรวจสอบทุกครั้งที่รับ	4	12
3. การเตรียมวัตถุดิบ	เตรียมวัตถุดิบผิดขนาด	ไม่สามารถใส่เข้าไปในแม่พิมพ์ได้	พนักงานจัดเตรียมผิด	1		3	มาตรฐานในการเก็บวัตถุดิบ	มีการตรวจสอบทุกครั้งที่เก็บ	4	12
4. ติดตั้งแม่พิมพ์	สีของแม่พิมพ์ไม่แน่นอน	ทำให้แม่พิมพ์เสียหาย	พนักงานไม่ทำตามมาตรฐาน	8		3	มาตรฐานในการติดตั้งแม่พิมพ์	มีการตรวจสอบทุกครั้งที่ติดตั้งแม่พิมพ์	3	72
	วางของแม่พิมพ์ผิดขนาด	ทำให้ติดขาดไม่สมบูรณ์ หรือ เกิดครีบ	ของแม่พิมพ์ที่มีหลายขนาด	6		3	มีป้ายบ่งชี้ที่หมายเลขแม่พิมพ์	มีการตรวจสอบก่อนการติดตั้งแม่พิมพ์	3	54
	ช่องระหว่างแผ่นเหล็กกับของชิ้นงานไม่เสมอกันไป	ชิ้นงานเป็นครีบ	ใส่แผ่นเหล็กไม่จนราชยังเต็ม	6		5	มีมาตรฐานในการวางชิ้นงานแม่พิมพ์	เดินเข้าไปตรวจสอบแม่พิมพ์	5	150
5. ปิดเพื่อทำการตัดและเจาะ	แรงกดทานไม่เพียงพอ	ชิ้นงานเป็นครีบ / ติดขาด ไม่สมบูรณ์	เครื่องจักรสามารถจะลดลง เนื่องจากใช้เวลานาน	6		3	มีการอบรมก่อนปฏิบัติงาน	พิจารณาอบรมซ้ำก่อนเริ่มปฏิบัติงาน	4	72
	เครื่องจักรเสื่อมสภาพ	ชิ้นงานเป็นครีบ / ติดขาด ไม่สมบูรณ์	ไม่มีการตรวจสอบแรงเครื่องจักร	6		8	มีแผนในการซ่อมบำรุง	พบหาแผนการซ่อมทุกสัปดาห์	5	90
								มีแผนในการตรวจสอบประจำปี	5	240

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ความล้มเหลว และผลกระทบของกระบวนการผลิตแผ่นรองเท้าเครื่องเล่นซีดี (ต่อ)

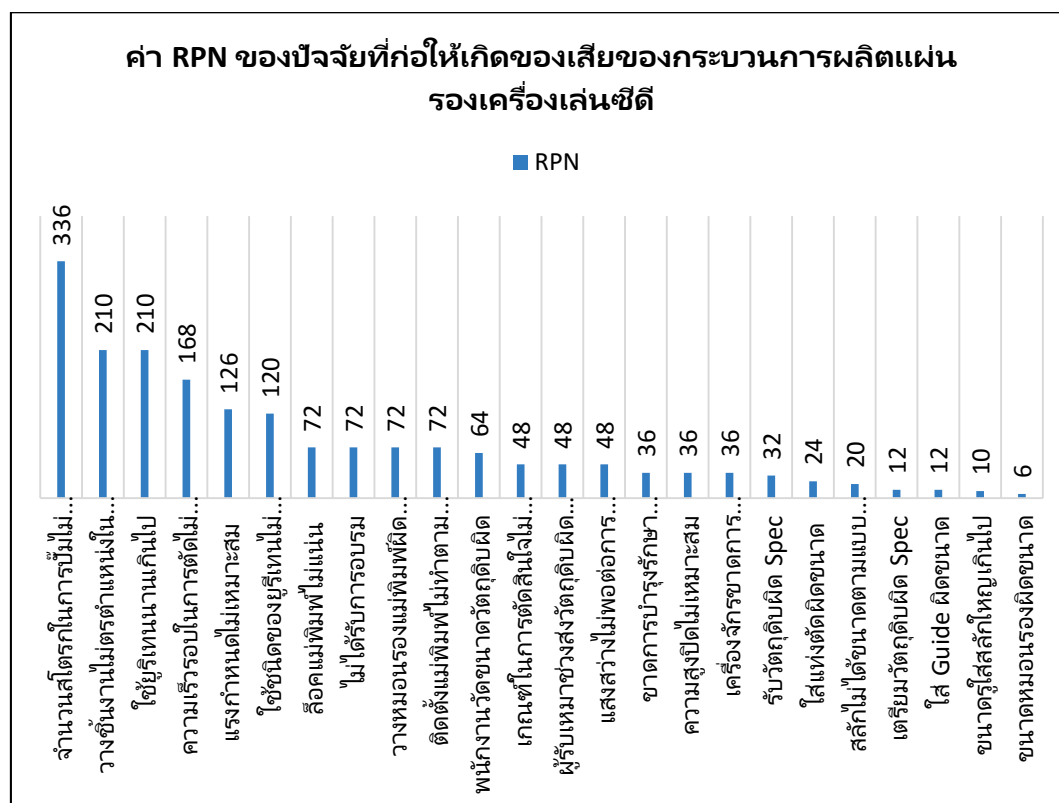
กระบวนการ	สภาพที่ตรวจพบที่เป็นไปได้	ผลกระทบที่เป็นไปได้	S	สาเหตุที่ตรวจพบที่เป็นไปได้	O	การควบคุมปัจจุบัน		D	RPN	
						การป้องกัน	การตรวจสอบ			
5. ขั้นตอนการตัดและเจาะ	ช่องระหว่างแผ่นเหล็กกับขอบชิ้นงานน้อยเกินไป	ชิ้นงานเป็นครีบ	6	ใส่แผ่นเหล็กไปจนรายหมัด	5	มีมาตรฐานในการวางรายหมัด	ดำเนินการตามต้นเข้าไปจนรายหมัด	7	210	
				พบปัญหาไม่ได้รับการอบรม	3	มีการอบรมก่อนปฏิบัติงาน	มีงานอบรมเข้าก่อนเริ่มปฏิบัติงาน	6	72	
	ช่องตัดกว้างเกินไป	ชิ้นงานเป็นครีบ / คัดขาด ใบสปริง	7	จำนวนสไลด์ในการนำเข้าไป	8	มีการซ่อมทุกๆ 50,000 สไลด์	มีการบันทึกจำนวนสไลด์หลังจบการผลิต	มีการบันทึกจำนวนสไลด์	6	336
	ความทนต่อการรับแรงเฉย	ชิ้นงานเป็นครีบ / คัดขาด ใบสปริง	6	ใช้ความแข็งแรงของยูรีเทนใบเฉพาะสับ	5	มีการซ่อมทุกๆ 50,000 สไลด์	มีการบันทึกจำนวนสไลด์	มีการบันทึกจำนวนสไลด์	4	120
	แห้งติด กับแผ่นตายติดทำงานใบเฉพาะสับ	ใบสามารถตัด หรือเจาะชิ้นงานได้	6	ใช้แท่งตัดชนิดขนาด	1	มีการตรวจทุกๆ 50,000 สไลด์	มีการตรวจทุกๆ 50,000 สไลด์	มีการบันทึกจำนวนสไลด์	4	24
	แม่พิมพ์ลงไปถึงตัวหยดสไลด์	ไม่ สามารถตัด ชิ้นงานได้	1	ความสูงที่ได้น้อยหรือต่ำเกินไป	1	มีการปรับปรุงเปลี่ยน	มีการตรวจทุกๆ 50,000 สไลด์	มีการปรับปรุงเปลี่ยน	4	36

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ความล้มเหลว และผลกระทบของกระบวนการผลิตแผ่นรองเท้าเล่นซีดี (ต่อ)

กระบวนการ	สภาพที่คาดหวังที่เป็นไปได้	ผลกระทบที่เป็นไปได้	S	สาเหตุที่คาดไม่ถึงที่เป็นไปได้	O	การควบคุมป้องกัน		D	RN
						การป้องกัน	การตรวจสอบ		
6. ขึ้นรูป และ สีดสี	สภาพที่คาดหวังที่เป็นไปได้	ไม่สามารถรับแรงบิดได้	5	สลักไม้ได้ขนาดตามแบบพิมพ์เขียว	2	มีเครื่องจักรในการตรวจสอบขนาดของสลัก	การสอบเทียบด้วยชิ้นงานมาตรฐานก่อนทำงาน	20	
		สลักเสียรูป	6	ใส่ Guide ผิดขนาด	1	มีตัวกันผิดพลาดที่ Guide	มีการตรวจสอบก่อนเปิดแผ่นแม่พิมพ์บนและล่าง	12	
		ไม่สามารถรับแรงบิดได้	5	ขนาดรูใส่สลักใหญ่	1	มีตัวกันผิดพลาดที่ แท่งตัดในกระบวนการตัดและเจาะ	มีการตรวจสอบก่อนเปิดแผ่นแม่พิมพ์บนและล่าง	10	
	7. ตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน	สภาพที่คาดหวังที่เป็นไปได้	ชิ้นงานเป็นครีမ်	6	จำนวนสไลด์ใน การโอนมากเกินไป	8	มีการซ่อมทุก 50,000 สไลด์	มีการบันทึกจำนวนสไลด์ หลังจบการผลิต	192
			ชิ้นงานอาจถูกส่งมอบไปยังลูกค้า	6	แสงสว่างไม่เพียงพอ	2	แถบเปลี่ยนหลอดไฟที่ชัดเจน	มีการตรวจสอบก่อน แลหลังเปลี่ยน	48
			ชิ้นงานอาจถูกส่งมอบไปยังลูกค้า	6	เกณฑ์ในการตัดสินใจไม่ชัดเจน	2	กำหนดเกณฑ์โดยการอ้างอิงจากแบบพิมพ์เขียว	มีการร้องขอใบมาตรฐานการ ตรวจสอบ	48

สรุปปัจจัยต่างๆ ที่มีส่วนที่ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกุด และรอยจากการปี่มทับ

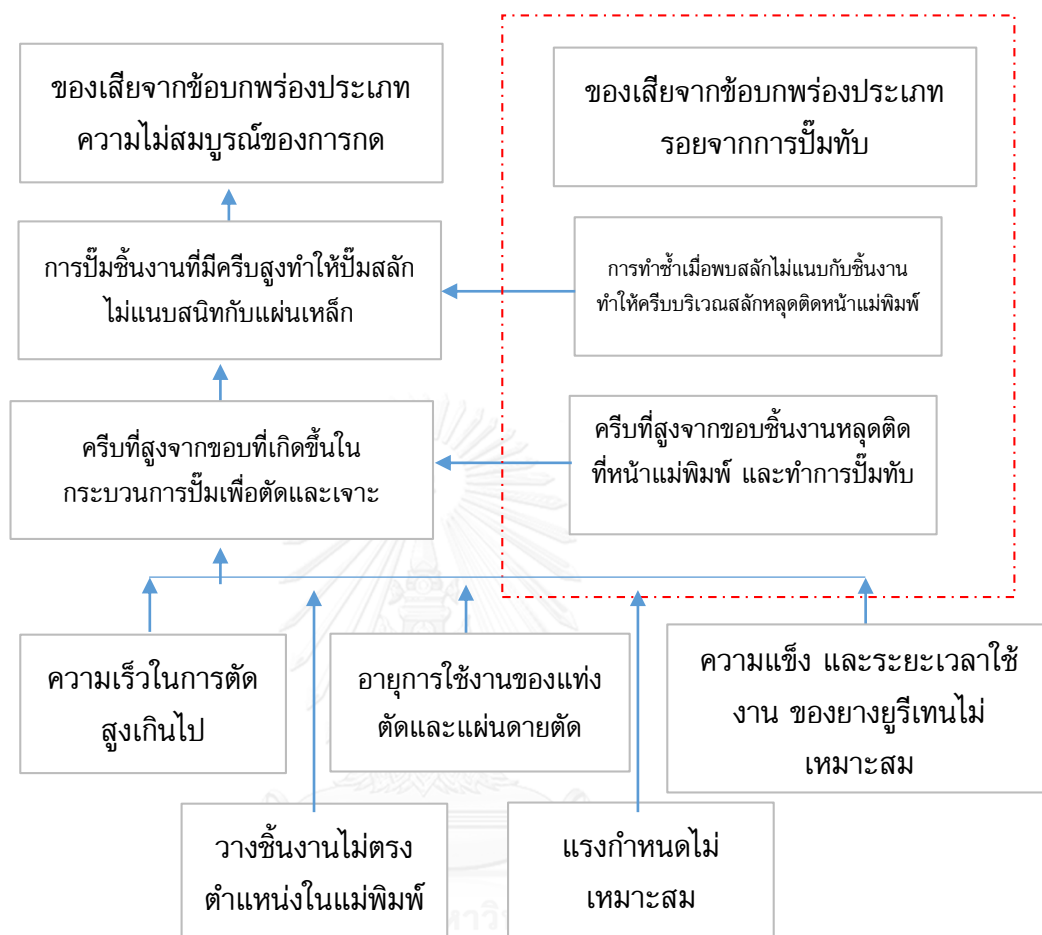
จากตารางที่ 4.12 เป็นการวิเคราะห์ความล้มเหลว และผลกระทบของกระบวนการแผ่นรองเครื่องเล่นซีดีที่มีผลต่อการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกุดและ รอยจากการปี่มทับ โดยแสดงคะแนนความสำคัญของสาเหตุต่อการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกุด และรอยจากการปี่มทับในรูปแบบแผนภูมิแท่ง ซึ่งแสดงค่า RPN ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4. 8 ค่า RPN ปัจจัยในกระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี

จากรูปที่ 4.8 พบว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกุด และรอยจากการปี่มทับ ที่มีคะแนนอยู่ในเกณฑ์ 6 ปัจจัย คือ 1.อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด 2. ใช้ยางยูรีเทนนานเกินไป อายุการใช้งานของยางยูรีเทนนานเกินไป 3. ความแข็งของยางยูรีเทนไม่เหมาะสม 4. ความเร็วรอบในการตัดไม่เหมาะสม 5. วางชิ้นงานไม่ตรงตำแหน่งแม่พิมพ์ และ 6. แรงกำหนดไม่เหมาะสม ซึ่งผู้วิจัยจะศึกษาผลกระทบของปัจจัยเหล่านี้โดย

ละเอียดต่อไป โดยทำการวิเคราะห์ความเชื่อมโยงของสาเหตุ และผลที่ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการบีบทับโดยแสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4. 9 แผนภาพความเชื่อมโยงของปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการบีบทับ

จากรูปที่ 4.9 เป็นแผนภาพแสดงปัจจัย และผลกระทบที่ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการบีบทับ โดยมีสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด คือ ครีบบที่สูงบริเวณขอบชิ้นงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัด และเจาะ เมื่อเข้าสู่กระบวนการบีบขึ้นรูปและอัดสลักทำการบีบชิ้นงานที่มีครีบบสูงทำให้ความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็กเกินค่าควบคุม และของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการบีบทับ มีสาเหตุการเกิด 2 สาเหตุ คือ 1.) ครีบบที่สูงบริเวณขอบชิ้นงานที่หลุดบริเวณหน้าแม่พิมพ์ในกระบวนการตัด และเจาะ เมื่อทำการบีบชิ้นงานขึ้นไปทำให้ชิ้นงานไปทับเศษเหล็กที่ติดหน้าแม่พิมพ์ และ 2.) การทำซ้ำเมื่อพบของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด

เมื่อพบของเสียที่สลักไม่แนบสนิทกับพื้นชิ้นงานที่มีขนาดสูงกว่า 0.3 มม. ต้องทำการปี้มซ้ำ ขณะที่ทำการปี้มซ้ำมีบางชิ้นงานที่เศษครีบบริเวณร่องสลักหลุดออกมาติดที่บริเวณหน้าแม่พิมพ์ และเมื่อทำการปี้มชิ้นงานชิ้นต่อไปทำให้ของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการปี้มทับ

จากรูปที่ 4.9 สามารถอธิบายความสอดคล้องของปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการปี้มทับ ซึ่งมีสาเหตุเกิดจากความสูงจากครีบบริเวณขอบของชิ้นงาน ส่วนครีบบที่สูงเกิดจากอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมาก อายุการใช้งานของยางยูรีเทนมาก ความแข็งของยางยูรีเทนน้อย และความเร็วในการตัดสูงเกินไป จะทำให้แท่งตัดและแผ่นตายตัดเกิดความสึกหรอเร็วขึ้น ส่งผลทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการปี้มทับที่สูง แต่จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงต่อหน่วยการผลิตต่ำ แต่จากอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดน้อย อายุการใช้งานของยางยูรีเทนน้อย ความแข็งของยางยูรีเทนมาก และความเร็วในการตัดต่ำ จะทำให้แท่งตัดและแผ่นตายตัดเกิดความสึกหรอช้าลง ส่งผลทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการปี้มทับที่ต่ำ แต่จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงต่อหน่วยการผลิตสูง ดังนั้นจึงค่าของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด อายุการใช้งานของยางยูรีเทน ความแข็งของยางยูรีเทน และความเร็วในการตัดที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตต่ำที่สุด โดยองค์ประกอบของค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตมีองค์ประกอบ ดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการปี้มทับ

ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้มีรายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก. โดยจะสรุปค่าใช้จ่ายแสดงดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4. 14 ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการปี้มทับต่อชิ้น

ข้อบกพร่อง	ลักษณะชิ้นงาน	ราคา (บาท/ชิ้น)	หมายเหตุ
ความไม่สมบูรณ์ของการกด	ทำซ้ำ	27	
	ทิ้ง	79	
รอยจากการปี้มทับ	ทำซ้ำ	25	
	ทิ้ง	60	



จากตารางที่ 4.13 เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีบทับ โดยค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดที่สามารถนำไปทำซ้ำได้มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 27 บาท/ชิ้น และที่ต้องทิ้งมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 79 บาท/ชิ้น ส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการบีบทับที่สามารถนำไปทำซ้ำได้มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 25 บาท/ชิ้น และที่ต้องทิ้งมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 60 บาท/ชิ้น

2. ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง โดยในการเจียรระโนแท่งตัด และแผ่นตายตัด  
ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4. 15 ค่าใช้ในการเจียรระโนแท่งตัด และแผ่นตายตัดต่อครั้ง

ลำดับ	รายละเอียด	ค่าใช้จ่าย (บาท/ชม.)	ระยะเวลาทำงาน (ชั่วโมง)	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท/ครั้ง)
1.	เครื่องเจียรระโนราบ (พร้อมงานเจียร)	500	6	3,000
2.	เครื่องกลึง (พร้อมมีดกลึง)	300	3	900
รวม				3,900

จากตารางที่ 4.14 ทุกครั้งที่มีการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระโนจะมีค่าใช้จ่ายในการเจียรระโนแท่งตัดและแผ่นตายตัดเท่ากับ 3,900 บาท ในปัจจุบันจะทำการซ่อมบำรุงทุก 50,000 สโตรก ซึ่งจำนวนโตรกนั้นตั้งคามาจากประสบการณ์ และความชำนาญของบริษัทการศึกษา ซึ่งยังไม่ใช่ค่าที่เหมาะสมเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียมาก จึงควรทำการหาสโตรกในการเจียรระโนที่เหมาะสมที่จะทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมของของเสียและการซ่อมบำรุงต่ำที่สุด

3. ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนยางยูรีเทน  
ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4. 16 ค่าใช้จ่ายเมื่อมีการเปลี่ยนยางยูรีเทนต่อครั้ง

ลำดับ	ความแข็งของยางยูรีเทน (Shore A)	ค่าวัสดุ (บาท/ครั้ง)
1.	35	483
2.	90 (18 Shore D)	1,245
3.	95 (22 Shore D)	1,886

จากตารางที่ 4.15 ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนยางยูรีเทนจะมีค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยน ยางยูรีเทนที่มีค่าความแข็ง 35 Shore A เท่ากับ 483 บาท ยางยูรีเทนมีค่าความแข็ง 90 Shore A (18 Shore D) เท่ากับ 1,245 บาท และ ยางยูรีเทนมีค่าความแข็ง 95 Shore A (22 Shore D) เท่ากับ 1,886 บาท ในปัจจุบันทำการเปลี่ยนยางยูรีเทนทุก 50,000 สโตรก โดยบริษัททรนศึกษาจะทำการพร้อมกับการเจียรไนแท่งตัดและแผ่นตายตัด ซึ่งอายุการใช้งานนั้นตั้งค่างมาจากประสบการณ์ และความชำนาญของบริษัททรนศึกษา ซึ่งยังไม่ใช่ค่าที่เหมาะสมเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียมาก จึงควรทำการหาสโตรกในเปลี่ยนยางยูรีเทนที่เหมาะสมที่จะทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมต่อหน่วยการผลิต การซ่อมบำรุง และค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนยางยูรีเทนต่ำที่สุด โดยอายุการใช้งานของยางยูรีเทนอาจไม่จำเป็นต้องเท่ากับอายุการใช้งานก่อนของแท่งตัดและแผ่นตายตัด

4. ค่าใช้จ่ายค่าแรงของช่างระหว่างการซ่อมบำรุงโดยการเจียรไนแท่งตัดและแผ่นตายตัดพร้อมกับการเปลี่ยนยางยูรีเทน และ ค่าใช้จ่ายในการการซ่อมบำรุงโดยการเจียรไนแท่งตัดและแผ่นตายตัดและการเปลี่ยนยางยูรีเทนในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

ค่าใช้จ่ายส่วนนี้แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ 1. ค่าใช้จ่ายของช่างในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรไนแท่งตัดและแผ่นตายตัด พร้อมกับการเปลี่ยนยางยูรีเทน และ 2. ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรไนแท่งตัดและแผ่นตายตัดและการเปลี่ยนยางยูรีเทนในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

สำหรับค่าใช้จ่ายของช่างในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรไนแท่งตัดและแผ่นตายตัด พร้อมกับการเปลี่ยนยางยูรีเทน ประกอบด้วย ค่าแรงของช่างในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรไนแท่งตัดและแผ่นตายตัด และเปลี่ยนยางยูรีเทน ซึ่งระยะเวลาในการซ่อมบำรุงเท่ากับ 9 ชั่วโมง มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 950 บาท ในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรไนแท่งตัดและแผ่นตายตัดและการเปลี่ยนยางยูรีเทนสามารถทำพร้อมกันได้ ทำให้มีการถอดและติดตั้งและถอดแม่พิมพ์จากเครื่องปั๊ม 1 ครั้ง ทำให้เกิดค่าแรงของช่างในการถอดและติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊ม ซึ่งใช้ระยะเวลาในการถอดและติดตั้งแม่พิมพ์เท่ากับ 2 ชั่วโมง มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 200 บาท

ส่วนค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นตายตัดและการเปลี่ยนยางยูรีเทนในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ซึ่งในการปรับปรุงคุณภาพครั้งมีปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด และการเปลี่ยนยางยูรีเทน ซึ่งส่งผลให้การซ่อมบำรุงแบ่งเป็น 2 ครั้ง คือ 1.) ซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นตายตัด 1 ครั้ง มีระยะเวลาในการซ่อมบำรุงเท่ากับ 9 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 950 บาท และมีการถอดและติดตั้งและถอดแม่พิมพ์จากเครื่องปั๊ม 1 ครั้ง ซึ่งมีค่าแรงของช่างในการถอดและติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊ม ใช้ระยะเวลาในการถอดและติดตั้งแม่พิมพ์เท่ากับ 2 ชั่วโมง มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 200 บาท 2.) ซ่อมบำรุงในการเปลี่ยนยางยูรีเทน มีค่าใช้จ่ายประกอบด้วย ค่าแรงของช่างในการซ่อมบำรุงโดยการเปลี่ยนยางยูรีเทน ซึ่งระยะเวลาในการซ่อมบำรุงในการเปลี่ยนยูรีเทนเท่ากับ 2 ชั่วโมง มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 200 บาท และมีการถอดและติดตั้งและถอดแม่พิมพ์จากเครื่องปั๊ม 1 ครั้ง ซึ่งมีค่าแรงของช่างในการถอดและติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊ม ซึ่งใช้ระยะเวลาในการถอดและติดตั้งแม่พิมพ์เท่ากับ 2 ชั่วโมง มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 200 บาท โดยรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4. 17 ค่าแรงของช่างในการซ่อมบำรุงต่อครั้ง

ขั้นตอน	ลำดับ	รายละเอียดค่าใช้จ่าย	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ค่าใช้จ่าย (บาท/ครั้ง)
การเจียรระโนแห้งตัด และแผ่นด้ายตัด พร้อมกับเปลี่ยนยาง ยูรีเทน ทำพร้อมกัน เนื่องจากอายุการใช้งาน เท่ากัน	1.	ค่าแรงช่างซ่อมบำรุง โดยการเจียรระโนแห้งตัดและแผ่นด้าย ตัดและเปลี่ยนยางยูรีเทน	9	950
	2.	ค่าแรงช่างติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊ม	2	200
	<b>รวม</b>		<b>11</b>	<b>1,150</b>
การเจียรระโนแห้งตัด และแผ่นด้ายตัด กับ เปลี่ยนยางยูรีเทนใน ช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ทำไม่พร้อมกัน เนื่องจากอายุการใช้งาน ไม่เท่ากัน	1.	ค่าแรงช่างซ่อมบำรุง โดยการเจียรระโนแห้งตัดและแผ่นด้าย ตัด	9	950
	2.	ค่าแรงช่างติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊ม (ช่วงเวลาซ่อมบำรุงโดยการเจียรระโน แห้งตัดและแผ่นด้ายตัด)	2	200
	3.	ค่าแรงในการซ่อมบำรุง ในการเปลี่ยนยางยูรีเทน	2	200
	4.	ค่าแรงช่างติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊ม (ช่วงเวลาเปลี่ยนยางยูรีเทน)	2	200
	<b>รวม</b>		<b>15</b>	<b>1,550</b>

จากตารางที่ 4.16 พบว่าค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง โดยทำการศึกษาเป็น 2 กรณี คือ 1.) การซ่อมบำรุงโดยการเจียรระโนแห้งตัดและแผ่นด้ายตัด พร้อมกับเปลี่ยนยางยูรีเทน มีค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 1,150 บาท และ 2.) การหยุดเครื่องจักรเพื่อรอการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระโนแห้งตัดและแผ่นด้ายตัด กับเปลี่ยนยางยูรีเทนในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน มีค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 1,550 บาท ซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระโนแห้งตัดและแผ่นด้ายตัด พร้อมกับการเปลี่ยนยางยูรีเทน เท่ากับ 400 บาท

เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้มีปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นตายตัด และการเปลี่ยนยางยูรีเทน คือปัจจัยเรื่องอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด และอายุการใช้งานของยางยางยูรีเทน ถ้าอายุการใช้งานลดลงจะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงต่อหน่วยผลิตสูงขึ้น และส่งผลทำให้จำนวนครั้งในการซ่อมบำรุงสูงขึ้น แต่จะทำให้สัดส่วนของเสียและค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียต่ำลง จะแสดงความสัมพันธ์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด และอายุการใช้งานของยางยูรีเทน โดยรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4. 18 ความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอายุการใช้งานต่อหน่วยการผลิต

รายละเอียด	ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยที่สโตรก (บาท/หน่วย)		
	30,000	40,000	50,000
ซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นตายตัด	$\frac{3,900}{30,000}$ = 0.13	$\frac{3,900}{40,000}$ = 0.098	$\frac{3,900}{50,000}$ = 0.078
ซ่อมบำรุงโดยการเปลี่ยนยางยูรีเทน ความแข็ง Shore A 35	$\frac{483}{30,000}$ = 0.016	$\frac{483}{40,000}$ = 0.012	$\frac{483}{50,000}$ = 0.010
ซ่อมบำรุงโดยการเปลี่ยนยางยูรีเทน ความแข็ง Shore A 90	$\frac{1,245}{30,000}$ = 0.042	$\frac{1,245}{40,000}$ = 0.031	$\frac{1,245}{50,000}$ = 0.037
ซ่อมบำรุงโดยการเปลี่ยนยางยูรีเทน ความแข็ง Shore A 95	$\frac{1,886}{30,000}$ = 0.063	$\frac{1,886}{40,000}$ = 0.047	$\frac{1,886}{50,000}$ = 0.037
ค่าแรงช่างในการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นตายตัด พร้อมกับเปลี่ยนยูรีเทน	$\frac{1,150}{30,000}$ = 0.038	$\frac{1,150}{40,000}$ = 0.029	$\frac{1,150}{50,000}$ = 0.023
ค่าแรงช่างในการการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นตายตัด กับเปลี่ยนยางยูรีเทนในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน	$\frac{1,150}{30,000}$ = 0.038	$\frac{1,150}{40,000}$ = 0.029	$\frac{1,150}{50,000}$ = 0.023
	$\frac{1,550}{30,000}$ = 0.052	$\frac{1,550}{40,000}$ = 0.039	$\frac{1,550}{50,000}$ = 0.031

จากตารางที่ 4.17 เป็นตารางแสดงค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการผลิตที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด และการเปลี่ยนยางยูรีเทน ซึ่งอายุการใช้งานก่อนจะซ่อมบำรุงน้อยส่งผลให้ค่าใช้จ่าย

ในการซ่อมบำรุงสูงต่อหน่วยผลิตสูงขึ้น และในการศึกษาค้างนี้มีการเปลี่ยนแปลงอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด และการเปลี่ยนยางยูรีเทน จะต้องทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิต ดังนั้นจะต้องใช้ข้อมูลจากช่วงสโตรกเดียวกัน เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบได้ โดยกำหนดให้  $A$  คือ อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด และ  $B$  คือ อายุการใช้งานของยางยูรีเทน และหารอบเวลา หรืออายุการใช้งานที่จะครบรอบในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นตายตัด และเปลี่ยนยูรีเทนโดยการหาตัวคูณร่วมน้อย โดยรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4. 19 จำนวนครั้งในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นตายตัด และการเปลี่ยนยูรีเทน

รายละเอียด		อายุการใช้งานของแท่งตัด และแผ่นตายตัด (A)		
		30,000	40,000	50,000
อายุการใช้งาน ของยางยูรีเทน (B)	30,000	ครน. = 30,000 ( $Y_1$ ) = 1 ครั้ง ( $Y_2$ ) = 1 ครั้ง	ครน. = 120,000 ( $Y_1$ ) = 3 ครั้ง ( $Y_2$ ) = 4 ครั้ง	ครน. = 150,000 ( $Y_1$ ) = 3 ครั้ง ( $Y_2$ ) = 5 ครั้ง
	40,000	ครน. = 120,000 ( $Y_1$ ) = 4 ครั้ง ( $Y_2$ ) = 3 ครั้ง	ครน. = 40,000 ( $Y_1$ ) = 1 ครั้ง ( $Y_2$ ) = 1 ครั้ง	ครน. = 200,000 ( $Y_1$ ) = 4 ครั้ง ( $Y_2$ ) = 5 ครั้ง
	50,000	ครน. = 150,000 ( $Y_1$ ) = 5 ครั้ง ( $Y_2$ ) = 3 ครั้ง	ครน. = 200,000 ( $Y_1$ ) = 5 ครั้ง ( $Y_2$ ) = 4 ครั้ง	ครน. = 50,000 ( $Y_1$ ) = 1 ครั้ง ( $Y_2$ ) = 1 ครั้ง

ตารางที่ 4.18 แสดงจำนวนครั้งในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นตายตัด ( $Y_1$ ) และจำนวนครั้งในการเปลี่ยนยางยูรีเทน ( $Y_2$ ) ของการเปลี่ยนแปลงอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด (A) และอายุการใช้งานของยางยูรีเทน (B) ในช่วง 30,000 ถึง 50,000 สโตรก โดยใช้วิธีคูณร่วมน้อยของ A และ B เพื่อให้ได้รอบการซ่อมบำรุงในอายุการใช้งานที่เท่ากัน โดย อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด (A) เท่ากับ 30,000 สโตรก อายุการใช้งานของยางยูรีเทน (B) เท่ากับ 30,000 สโตรก โดยตัวคูณร่วมน้อยของ A และ B เท่ากับ 30,000 สโตรก ซึ่งจำนวนครั้งในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นตายตัด ( $Y_1$ ) เท่ากับ 1 ครั้ง จำนวนครั้งในการเปลี่ยนยางยูรี

เทน ( $Y_2$ ) เท่ากับ 1 ครั้ง อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัด (A) เท่ากับ 30,000 สโตรก อายุการใช้งานของยางยางยูรีเทน (B) เท่ากับ 40,000 สโตรก โดยตัวคุณร่วมน้อยของ A และ B 120,000 สโตรก ซึ่งจำนวนครั้งในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นด้ายตัด ( $Y_1$ ) เท่ากับ 4 ครั้ง จำนวนครั้งในการเปลี่ยนยางยูรีเทน ( $Y_2$ ) เท่ากับ 3 ครั้ง และใช้ค่า  $Y_1$  และ  $Y_2$  ในตารางที่ 1.34 เพื่อในแทนค่าในสมการค่าใช้จ่ายรวมสำหรับการผลิตตามจำนวนเท่ากับตัวคุณร่วมน้อย และนำมาหารด้วยตัวคุณร่วมน้อย เพื่อให้เป็นค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต ดังสมการที่ 4.2

$$\text{ค่าใช้จ่ายโดยรวมต่อหน่วยการผลิต} = \frac{X_1 Y_1 + X_2 Y_2 + X_3 Y_3 + X_4 Y_4}{\text{ครน.ของ A และ B}} \quad (4.2)$$

- โดย  $X_1$  คือ ค่าใช้จ่ายและค่าแรงช่างในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นด้ายตัดต่อครั้ง
- $Y_1$  คือ จำนวนครั้งในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นด้ายตัดภายในอายุใช้งานที่เท่ากับ ครน.ของ A และ B
- $X_2$  คือ ค่าใช้จ่ายและค่าแรงช่างในการเปลี่ยนยางยูรีเทนต่อครั้ง
- $Y_2$  คือ จำนวนครั้งในการเปลี่ยนยางยูรีเทนภายในอายุใช้งานที่เท่ากับ ครน.ของ A และ B
- $X_3$  คือ ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำของของเสียต่อชิ้น
- $Y_3$  คือ จำนวนของของเสียที่ต้องทำซ้ำอายุใช้งานที่เท่ากับ ครน.ของ A และ B
- $X_4$  คือ ค่าใช้จ่ายในการทิ้งของเสียต่อชิ้น
- $Y_4$  คือ จำนวนของของเสียที่ต้องทิ้งอายุใช้งานที่เท่ากับ ครน.ของ A และ B

จากสมการค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตนั้นสามารถอธิบายสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อหน่วยการผลิตดังนี้ ค่าใช้จ่ายและค่าแรงช่างในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นด้ายตัดต่อครั้ง ( $Y_1$ ) โดยสาเหตุที่ส่งผลกระทบ คือ ความเร็วในการตัด และอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัด ถ้าความเร็วในการตัดสูง ส่งผลให้อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัดน้อย ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายและค่าแรงช่างในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นด้ายตัดโดยรวมสูง ส่วนค่าใช้จ่ายและค่าแรงช่างในการเปลี่ยนยางยูรีเทนต่อครั้ง ( $Y_2$ ) โดยสาเหตุที่ส่งผลกระทบ คือ ความเร็ว

ในการตัดและความแข็งของยูรีเทน ถ้าความเร็วในการตัดสูง ความแข็งของยางยูรีเทนต่ำจะทำให้ยางยูรีเทนเสียรูปเร็วขึ้น ทำให้ค่าใช้จ่ายและค่าแรงช่างในการเปลี่ยนยางยูรีเทนโดยรวมสูง ส่วนค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำของของเสียต่อชิ้น ( $Y_3$ ) และค่าใช้จ่ายในการทิ้งของเสียต่อชิ้น ( $Y_4$ ) โดยสาเหตุที่ส่งผลกระทบ คือ ความเร็วในการตัด อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นคายตัด อายุการใช้งานของยางยูรีเทน และความแข็งของยางยูรีเทน ถ้าความเร็วในการตัดสูง ความแข็งของยางยูรีเทนน้อย ส่งผลให้อายุการใช้ของแท่งตัดและแผ่นคายตัดน้อยและอายุการใช้งานของยางยูรีเทนน้อย ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีบทับสูง ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำของของเสียต่อชิ้น และค่าใช้จ่ายในการทิ้งของเสียต่อชิ้น

งานวิจัยนี้จะใช้ค่าใช้จ่ายโดยรวมต่อหน่วยการผลิตในการเปรียบเทียบระหว่างระดับปรับตั้งของปัจจัยต่างๆ เพื่อหาค่าระดับปรับตั้งที่ทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมต่อหน่วยการผลิตต่ำที่สุด และใช้ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตในการเปรียบเทียบกับผลก่อนและหลังการปรับปรุง โดยการปรับปรุ่่งนั้นทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมต่อหน่วยการผลิตลดลง

ทั้งนี้ต้องพิจารณาอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นคายตัด และการเปลี่ยนยางยูรีเทน ที่ค่าความเร็วในการตัดและความแข็งของยางยูรีเทนที่เหมาะสมนั้นด้วย ส่วนแรงกำหนดถ้าแรงกำหนดน้อยกว่าค่าความเค้นเฉือนของวัสดุของพื้นที่ จะทำให้เกิดการตัดเฉือนไม่ขาด หรือตัดขาดไม่สมบูรณ์จะทำให้ชิ้นงานมีครีบสูงกว่าชิ้นงานที่ตัดเฉือนด้วยขนาดแรงกำหนดที่เหมาะสม ส่วนปัจจัยในเรื่องการวางชิ้นงานไม่ตรงตำแหน่งในแม่พิมพ์ หรือวางไม่ชนรางบังคับ จะทำให้เกิดครีบสูงขึ้น ถ้าเทียบกับการวางชิ้นงานชนรางบังคับในช่วงอายุการใช้งานที่ใกล้เคียงกัน จะทำให้เกิดการซ่อมบำรุงก่อนเวลา สามารถสรุปปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีบทับได้ดังตารางที่ 4.19



ตารางที่ 4. 20 สรุปปัจจัยที่มีผลต่อของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และ รอยจากการบีบทับ

สาเหตุของข้อบกพร่อง	ผลกระทบ	ของเสียประเภท	แนวทางการแก้ไขปัญหา
อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัดไม่เหมาะสม	อัดสลักลงไปไม่สมบูรณ์	ความไม่สมบูรณ์ของการกด	หาอายุการใช้งานที่เหมาะสมที่จะทำการซ่อมบำรุง
	เกิดครีบสูงขึ้นตามขอบของชิ้นงาน	รอยจากการบีบทับ	
ใช้ยางยูรีเทนนานเกินไป	เกิดครีบบริเวณรู หรือตัดไม่ขาดต้องมีการบีบซ้ำ	ความไม่สมบูรณ์ของการกด	หาอายุการใช้งานที่เหมาะสมที่จะเปลี่ยนยางยูรีเทน
	เกิดครีบสูงขึ้นตามขอบของชิ้นงาน หรือตัดไม่ขาดต้องมีการบีบซ้ำ	รอยจากการบีบทับ	
ความเร็วในการตัดมากเกินไป	เกิดครีบสูงขึ้นตามขอบของชิ้นงาน	ความไม่สมบูรณ์ของการกด	ทบทวนความเร็วในการขึ้นรูปชิ้นงาน
		รอยจากการบีบทับ	
วิธีในการวางแผ่นเหล็กไม่เหมาะสม	เกิดครีบสูงขึ้นตามขอบของชิ้นงาน	รอยจากการบีบทับ	ทบทวนวิธีในการวางระยะของแผ่นเหล็กเข้าในแม่พิมพ์
แรงกำหนดน้อยกว่าค่าแรงเฉือน	เกิดครีบบริเวณรู หรือตัดไม่ขาดต้องมีการบีบซ้ำ	ความไม่สมบูรณ์ของการกด	ใช้เครื่องจักรที่มีแรงกำหนดเหมาะสมกับแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี
	เกิดครีบสูงขึ้นตามขอบของชิ้นงาน หรือตัดไม่ขาดต้องมีการบีบซ้ำ	รอยจากการบีบทับ	
ใส่ยางยูรีเทนผิด Spec	ความแข็งไม่เพียงพอต่อการทนแรงตัด	ความไม่สมบูรณ์ของการกด	หาความแข็งของยางยูรีเทนที่เหมาะสม

จากตารางที่ 4.19 ปัจจัยที่เลือกไปศึกษาโดยละเอียดมี 5 ปัจจัยและมีแนวทางในการแก้ไข ดังนี้

1. หาความแข็งของยางยูรีเทน และอายุการใช้งานของยางยูรีเทนที่เหมาะสม
2. ทบทวนความเร็วในการตัดที่สอดคล้องกับความแข็งของยางยูรีเทนที่ใช้ และหาอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด ที่ความเร็วตัดและความแข็งของยางยูรีเทนที่เหมาะสม
3. ทบทวนวิธีในการวางแผ่นเหล็กเข้าในแม่พิมพ์
4. กำหนดแรงกำหนดที่เหมาะสมในการตัดแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี

#### 4.6 สรุประยะวิเคราะห์การวัด

ในระยะวิเคราะห์การวัดเพื่อหาสาเหตุของของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการป้อนมี มีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้ 1. เขียนแผนผังการไหลของกระบวนการ (Process Map) และ 2. การวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัด (Gauge R&R) 3. การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการของของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการป้อนมี 4. การวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้าโดยใช้แผนผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) และ 5. การคัดกรองปัจจัยโดยใช้เกณฑ์ของการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่อง และผลกระทบของกระบวนการผลิต (Process Failure Mode and Effect Analysis)

โดยเริ่มที่ขั้นตอนการเขียนแผนผังการไหลของกระบวนการ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบกระบวนการการผลิตของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี และเพื่อหากระบวนการในการเก็บข้อมูล ซึ่งมีกระบวนการที่ต้องทำการเก็บข้อมูล ดังนี้ กระบวนการตั้งค่าความสูงปิด ระยะสโตรก และความเร็วในการตัด กระบวนการป้อนขึ้นรูปและอัดสลัก กระบวนการตรวจสอบคุณภาพในกระบวนการป้อนเพื่อตัดและเจาะรู และกระบวนการป้อนขึ้นรูปและอัดสลัก กระบวนการตรวจสอบคุณภาพในกระบวนการป้อนขึ้นรูปและอัดสลัก และกระบวนการตรวจสอบคุณภาพขั้นสุดท้าย

หลังจากทำการศึกษาระบบการวัดที่จะทำการเก็บข้อมูลแล้ว ให้ทำการวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัด ซึ่งทำการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดที่เกี่ยวข้องกับของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการป้อนมี โดยข้อมูลการวัดที่เกี่ยวข้องของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด คือ ข้อมูลการวัดความสูงของฐานสลักที่

สูงจากแผ่นเหล็ก และได้ทำการวิเคราะห์พนักงานตรวจสอบ 3 คน พนักงานแต่ละคนทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง โดยผลการวิเคราะห์ด้าน ความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับความผันแปรจากขนาดของชิ้นงาน(P/TV) ซึ่งจากการวิเคราะห์มีค่าเท่ากับร้อยละ 19.19 และความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับเทียบกับความผันแปรจากความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานที่ยอมรับได้ (P/T) มีค่าเท่ากับร้อยละ 20.14 โดยผ่านเกณฑ์การยอมรับได้ของ AIAG(2008) และข้อมูลการวัดที่เกี่ยวข้องกับของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการป้อนคือ ความสูงครีบ และได้ทำการวิเคราะห์พนักงานตรวจสอบ 3 คน พนักงานแต่ละคนทำการวัดซ้ำ 2 ครั้ง โดยผลการวิเคราะห์ด้าน ความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับความผันแปรจากขนาดของชิ้นงาน(P/TV) ซึ่งจากการวิเคราะห์มีค่าเท่ากับร้อยละ 27.49และความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับเทียบกับความผันแปรจากความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานที่ยอมรับได้ (P/T) มีค่าเท่ากับร้อยละ 20.72 โดยผ่านเกณฑ์การยอมรับได้ของ AIAG(2008)

ส่วนขั้นตอนการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการของของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการป้อน โดยเริ่มจากการคำนวณขนาดตัวอย่างและทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการซึ่งมีผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการของของเสียจากข้อบกพร่องความไม่สมบูรณ์ของการกด พบว่าค่า Cpk มีค่าเท่ากับ 2.03 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1.33 โดยผ่านเกณฑ์การยอมรับได้ของ AIAG(2008) แต่ค่า Ppk มีค่าเท่ากับ 0.56 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.33 โดยไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับได้ของ AIAG(2008) ดังนั้นต้องทำการปรับปรุงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็กส่วนผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการของของเสียจากข้อบกพร่องรอยจากการป้อน พบว่าค่า Cpk มีค่าเท่ากับ 4.19 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1.33 โดยผ่านเกณฑ์การยอมรับได้ของ AIAG(2008) แต่ค่า Ppk มีค่าเท่ากับ 1.04 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.04 โดยไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับได้ของ AIAG(2008) ดังนั้นต้องทำการปรับปรุงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความสูงครีบ

หลังจากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจะทำการวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้าโดยใช้แผนผังก้างปลา โดยใช้วิธีการระดมสมองเพื่อวิเคราะห์สาเหตุการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการป้อน และทำการกั้นกรงปัจจัยด้วยการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่อง และผลกระทบของกระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี ซึ่งพบว่ามีปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการป้อน ดังนี้ 1.อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดไม่เหมาะสมส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียเพิ่มขึ้น เมื่ออายุการใช้งานมากส่งผลให้ชิ้นงานเกิดครีบ 2. อายุการใช้

งานของยางยูรีเทนไม่เหมาะสม เมื่ออายุการใช้งานมากส่งผลให้ชิ้นงานเกิดครีบ 3. ความแข็งของยางยูรีเทน ไม่เหมาะสมส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียเพิ่มขึ้น 4. ความเร็วรอบในการตัดไม่เหมาะสมส่งผลให้แท่งตัดและแผ่นตายตัดสึกหรอ หรือยางยูรีเทนเสื่อมสภาพเร็วขึ้น 5. วางชิ้นงานไม่ตรงตำแหน่งแม่พิมพ์ ส่งผลให้เกิดครีบที่สูงขึ้น และ 6. แรงกำหนดไม่เหมาะสม ส่งผลให้ตัดแผ่นเหล็กไม่ขาด หรือเกินกำลังเครื่องจักร

โดยในระยะต่อไป คือ ระยะเวลาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase : A) เป็นขั้นตอนในการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการบีบทับ โดยใช้ปัจจัย อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดอายุการใช้งานของยางยูรีเทน ความแข็งของยางยูรีเทน ความเร็วในการตัด วางชิ้นงานไม่ตรงตำแหน่งแม่พิมพ์ และแรงกำหนดไม่เหมาะสม ซึ่งจะเริ่มจากการเลือกรูปแบบการทดลอง การหาจำนวนตัวอย่างในแต่ละการรัน และการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยนำปัจจัยนำเข้าที่ได้จากการวิเคราะห์ความล้มเหลว และผลกระทบ (Failure mode and Effect Analysis : FMEA) จากการวิเคราะห์ระบบการวัด เพื่อหาระดับของปัจจัยที่ทำให้ตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตต่ำที่สุด

## บทที่ 5

### ระยะวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase : A)

ในขณะนี้เป็นการวิเคราะห์สาเหตุการเกิดของของเสียประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการบีบทับ ในกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยการบีบ หรือกระทงของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี โดยจะเริ่มทำการวิเคราะห์ตั้งแต่การเลือกรูปแบบการทดลอง การหาจำนวนตัวอย่างในแต่ละการรัน และการออกแบบเมทริกซ์การทดลอง เพื่อใช้การวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยนำปัจจัยนำเข้าที่คัดกรองจากเกณฑ์ของการวิเคราะห์ความล้มเหลว และผลกระทบ (Failure mode and Effect Analysis : FMEA) เพื่อหาว่าปัจจัยใดมีนัยสำคัญและหาระดับของปัจจัยที่ทำให้ตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตต่ำที่สุดต่อไป

#### 5.1 การกำหนดปัจจัยนำเข้าที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

จากการคัดกรองปัจจัยในบทก่อนหน้านี้ทำให้ได้ปัจจัยนำเข้าเพื่อที่จะใช้ในออกแบบการทดลอง ดังตารางที่ 5.1

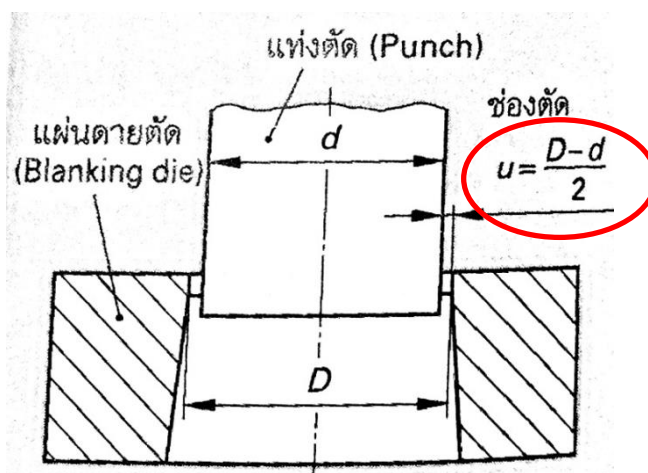
ตารางที่ 5. 1 ปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อการเกิดของเสีย

สัญลักษณ์	ชื่อปัจจัย	หน่วย	ชนิดของปัจจัย
A	อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด	สโตรก (ครั้ง)	ปัจจัยแปรผัน
B	อายุการใช้งานของยางยูรีเทน	สโตรก (ครั้ง)	ปัจจัยแปรผัน
C	ความแข็งของยางยูรีเทน	Shore A	ปัจจัยคุณลักษณะ
D	ความเร็วในการตัด	สโตรก/นาที (spm)	ปัจจัยแปรผัน
E	วิธีการวางชิ้นงานบนแม่พิมพ์	-	ปัจจัยคุณลักษณะ
F	แรงกำหนดของเครื่องจักร	ตัน	ปัจจัยแปรผัน

จากตารางที่ 5.1 เป็นปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการบีบทับ ทำการศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับปัจจัยต่างๆ เพื่อกำหนดปัจจัย และระดับปัจจัยที่นำไปใช้ในการทดลองในระยะเวลาการปรับปรุงกระบวนการ (Improve phase : I)

## 5.2 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

5.2.1 อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัดส่งผลต่อระยะห่างระหว่างแท่งตัด (Punch) และแผ่นด้ายตัด (Blanking die) ซึ่งส่งผลต่อการเกิดครีบ และเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดข้อบกพร่องทั้ง 2 ประเภท ดังแสดงในรูปที่ 5.1

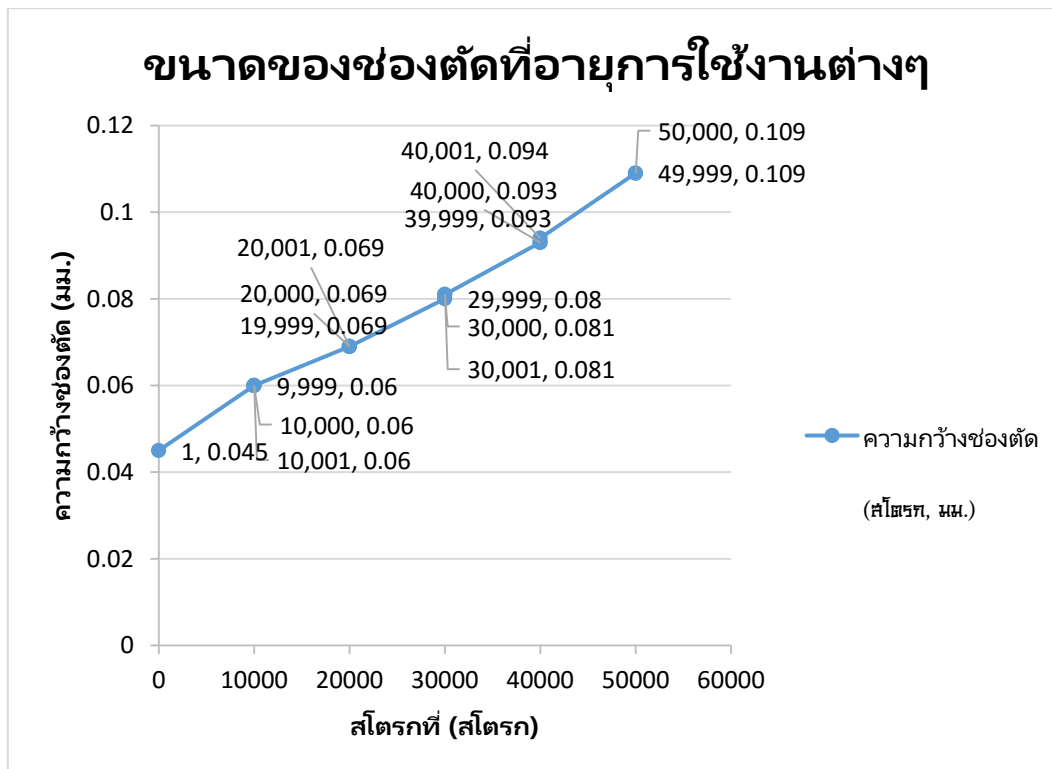


รูปที่ 5.1 ระยะห่างระหว่างแท่งตัด และแผ่นด้ายตัด

จากรูปที่ 5.1 แสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบของแม่พิมพ์ที่มีส่วนทำให้เกิดครีบ คือ แท่งตัด (Punch) และแผ่นด้ายตัด (Blanking Die) การศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาช่องตัด (U) ซึ่งส่งผลต่อการเกิดครีบของแผ่นเหล็ก จากการออกแบบช่องตัดของแม่พิมพ์เท่ากับ 0.045 หรือร้อยละ 3 ของความหนาวัตถุดิบ (ช่องตัดมีขนาดเท่ากับร้อยละ 1-5 ของความหนาวัตถุดิบ ซึ่งอ้างอิงจากตารางงานโลหะ (2558)) ในการศึกษาครั้งนี้ไม่สามารถวัดช่องตัดได้ จึงวัดความสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัด โดยทำการวัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัด นำมาเปรียบเทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัดตามระยะการใช้งานที่สโตรกนั้นๆ แล้วนำมาหารสอง เนื่องจากช่องตัดมี 2 ข้าง และลงบันทึกลงในช่อง (1) และ (2) ตามลำดับ ในแต่ละช่วงสโตรก ส่วนขนาดของช่องตัด คำนวณจากค่าขนาดของที่แตกต่างกันของแท่งตัดที่สโตรกนั้นๆ หรือค่าในช่องที่ (1) รวมกับค่าขนาดที่แตกต่างของแผ่นด้ายตัดที่สโตรกนั้นๆ หรือค่าในช่องที่ (2) และรวมกับช่องตัดจากการออกแบบเท่ากับ 0.045 โดยข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 5.2 ส่วนรูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานและความกว้างของช่องตัด

ตารางที่ 5. 2 ค่าความกว้างระหว่างแท่งตัด และแผ่นคายตัด หรือช่องตัดตามช่วงอายุในการป้อน (มม.)

สโตรกที่	แท่ง ตัด (1)	แผ่นคาย ตัด (2)	ช่องตัด (1)+(2)+0.045	หมายเหตุ
1	0	0	0.045	
9,999	0.018	0.027	0.06	
10,000	0.018	0.027	0.06	
10,001	0.018	0.027	0.06	
19,999	0.021	0.033	0.069	
20,000	0.021	0.033	0.069	
20,001	0.021	0.033	0.069	
29,999	0.026	0.039	0.08	
30,000	0.027	0.039	0.081	
30,001	0.027	0.039	0.081	
39,999	0.032	0.046	0.093	
40,000	0.032	0.046	0.093	
40,001	0.032	0.047	0.094	
49,999	0.039	0.055	0.109	
50,000	0.039	0.055	0.109	ทำการเจียรระโนราบแท่งตัด และแผ่นคาย ตัด



รูปที่ 5. 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานและขนาดของช่องตัด

จากตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.2 พบอายุการใช้งานในการปั๊มมากขึ้น ส่งผลให้เกิดความรู้สึกทรอระหว่างแท่งตัดและแผ่นตายตัดมีขนาดมากขึ้น นอกจากนี้มีสมมติฐานว่าหากมีการปั๊มแผ่นเหล็กที่ช่องตัดกว้างจะส่งผลให้ครีบของแผ่นเหล็กสูงขึ้น จึงทำการศึกษาความสูงของครีบในแต่ละช่วงสโตรกของการปั๊มด้วยดังตารางที่ 5.3

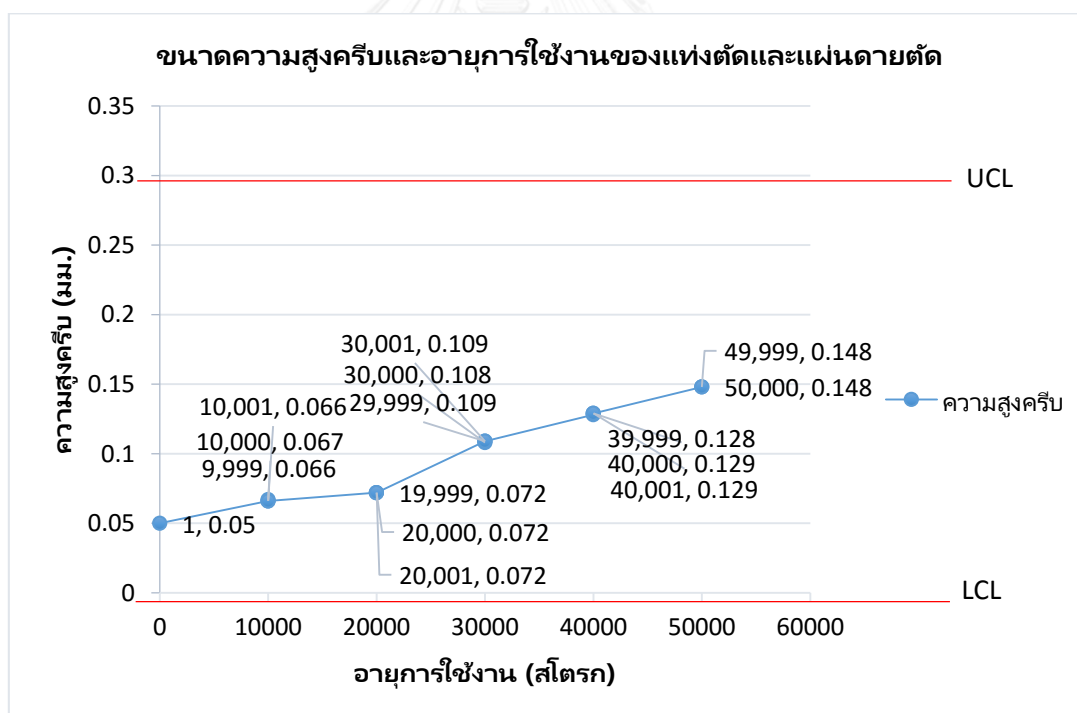
ตารางที่ 5. 3 ค่าความสูงครีบของชิ้นงานแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี (มม.) ที่อายุการใช้งานต่างๆ

สโตรกที่	ความสูงครีบ	หมายเหตุ
1	0.050	
9,999	0.066	
10,000	0.067	
10,001	0.066	
19,999	0.072	
20,000	0.072	



ตารางที่ 5.3 ค่าความสูงครีบบนของชิ้นงานแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี (มม.) ที่อายุการใช้งานต่างๆ (ต่อ)

สโตรกที่	ความสูงครีบบน	หมายเหตุ
20,001	0.072	
29,999	0.109	
30,000	0.108	
30,001	0.109	
39,999	0.128	
40,000	0.129	
40,001	0.129	
49,999	0.148	
50,000	0.148	ทำการเจียรระไนราบแท่งตัด และแผ่นด้ายตัด



รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัดและความสูงครีบบน

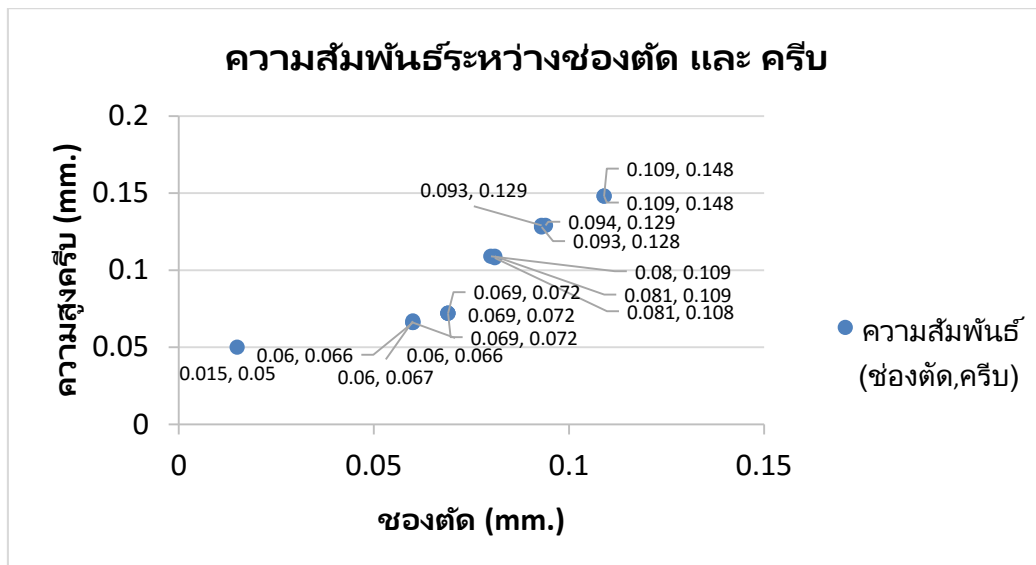
จากตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.3 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัดมากขึ้นความสูงของครีบบนบริเวณขอบของชิ้นงานก็จะสูงขึ้น ซึ่งครีบบนที่บริเวณรูส่งผลต่อการอัดสลักลงไป

ในแผ่นเหล็กทำให้ความสูงจากขอบเกิน 0.3 มม. ถ้าครีบก้นออกมานอกฐานของสลัก ซึ่งครีบบนอาจจะหลุดติดอยู่ที่บริเวณหน้าแม่พิมพ์ ถ้ามีการป้อนงานชิ้นต่อไปจะทำให้เกิดรอยจากการป้อน จะสรุปความกว้างของช่องตัด และความสูงของครีบดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5. 4 ค่าที่วัดเปรียบเทียบช่องตัดและความสูงครีบของชิ้นงานแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี (มม.)

สโตรกที่	ช่องตัด	ค่าความสูงครีบ	หมายเหตุ
1	0.015	0.050	
9,999	0.06	0.066	
10,000	0.06	0.067	
10,001	0.06	0.066	
19,999	0.069	0.072	
20,000	0.069	0.072	
20,001	0.069	0.072	
29,999	0.08	0.109	
30,000	0.081	0.108	
30,001	0.081	0.109	
39,999	0.093	0.128	
40,000	0.093	0.129	
40,001	0.094	0.129	
49,999	0.109	0.148	
50,000	0.109	0.148	ทำการเจียรระโนราบแท่งตัด และแผ่น ตายตัด

จากตารางที่ 5.4 พบว่าเมื่อมีการใช้แท่งตัด และแผ่นตายตัดที่ช่วงสโตรกมากขึ้น จะทำช่องตัดมีความกว้างเพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกันครีบก้นก็มีความสูงที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจะแสดงความสัมพันธ์ในรูปของกราฟในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5. 4 ผลการวัดระยะห่างระหว่างแท่งตัด และแผ่นตายตัด เปรียบเทียบกับความสูงครีบ

จากรูปที่ 5.4 จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างช่องตัดกับความสูงครีบ จากการตรวจสอบความสูงของครีบที่บริเวณขอบของชิ้นงานในช่วงสโตรกที่ 1 10,000 20,000 30,000 40,000 และ 50,000 พบว่าครีบของชิ้นงานสูงขึ้น ช่องตัดกว้างขึ้นเมื่อช่วงสโตรกการปั๊มมากขึ้น จากนั้นนำชิ้นงานที่ทำการวัดค่าความสูงครีบมาทำการปั๊มในกระบวนการปั๊มขึ้นรูปและอัดสลัก เพื่อทำการวัดเปรียบเทียบความสูงของการกดกับความสูงครีบ เนื่องจากความสูงครีบหากมีค่ามากกว่าค่าหนึ่งจะส่งผลทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดขึ้น ดังนั้นจึงทำการเก็บข้อมูลความสูงครีบเปรียบเทียบกับความสูงของการกด โดยข้อมูลมีรายละเอียดดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5. 5 ค่าที่วัดเปรียบเทียบความสูงครีบและความสูงของการกดของชิ้นงานแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี (มม.)

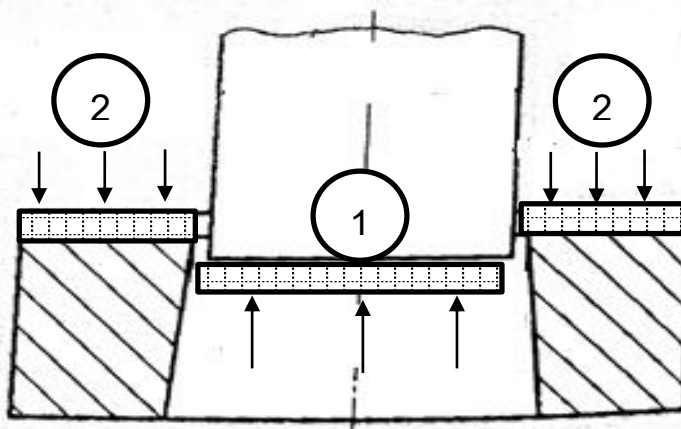
สโตรกที่	ค่าความสูงครีบ	ความสูงของการกด	หมายเหตุ
1	0.050	0.13	
9,999	0.066	0.17	
10,000	0.067	0.17	
10,001	0.066	0.18	
19,999	0.072	0.23	

ตารางที่ 5.5 ค่าที่วัดเปรียบเทียบความสูงครีปและความสูงของการกดของชิ้นงานแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี (มม.) (ต่อ)

สโตรกที่	ค่าความสูงครีป	ความสูงของการกด	หมายเหตุ
20,000	0.072	0.24	
20,001	0.072	0.24	
29,999	0.109	0.29	
30,000	0.108	0.29	
30,001	0.109	0.30	
39,999	0.128	0.33	
40,000	0.129	0.33	
40,001	0.129	0.34	
49,999	0.148	0.38	
50,000	0.148	0.39	ทำการเจียรระไนราบแท่งตัด และแผ่นตายตัด

จากตารางที่ 5.5 พบว่าเมื่ออายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้นจะเห็นได้ว่าความสูงครีปมากขึ้น และความสูงของการกดมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นด้วย โดยจากข้อมูลพบว่าช่วงสโตรกที่ 30,000 พบว่า ค่าความสูงของการกดมีค่าเท่ากับ 0.29 มม. ซึ่งค่าควบคุมมีค่าเท่ากับ 0 - 0.3 มม. โดยค่าที่วัดได้อยู่ในช่วงขอบเขตบนของการควบคุม ซึ่งเป็นจุดที่เริ่มจะออกนอกขอบเขตควบคุม ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาความอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด

ก่อนการปรับปรุง หลังจากทีแท่งตัด และแผ่นตายตัดในแม่พิมพ์ใช้งานถึงช่วงสโตรกที่ 50,000 จะทำการเจียรระไนราบแท่งตัด และแผ่นตายตัด โดยการเจียรระไนที่ปลายพื้นผิวของแท่งตัดและแผ่นตายตัดลงไปประมาณ 0.3 มม. ดังแสดงในรูปที่ 5.5 เพื่อให้เกิดคมตัดขึ้น



รูปที่ 5.5 ตำแหน่งเจียรระไนแท่งตัด และแผ่นคายตัด

จากรูปที่ 5.5 หมายเลข 1 แสดงถึงตำแหน่งการเจียรระไนของแท่งตัด โดยจะทำเจียรระไนผิวบริเวณปลายของแท่งตัดลงไป 0.3 มม. ส่วนหมายเลขที่ 2 แสดงถึงตำแหน่งการเจียรระไนของแผ่นคายตัด โดยจะทำเจียรระไนผิวบริเวณพื้นผิวด้านบนของแผ่นคายตัดลงไป 0.3 มม.

#### 5.2.2 ศึกษาขนาดครีบบที่ติดบริเวณหน้าพิมพ์ซึ่งเป็นสาเหตุของรอยปี่มทับ

เก็บตัวอย่างครีบบที่ติดบริเวณหน้าแม่พิมพ์ ตั้งแต่ช่วงสโตรกที่ 1 ถึง 50,000 และทำการวัดขนาดของครีบบ โดยขนาดตัวอย่างได้จากการคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลขนาดของเศษครีบบที่หน้าแม่พิมพ์ โดยทำการหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความสูงครีบบในกระบวนการปี่มเพื่อตัด และเจาะของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี ดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ข้อมูลการวัดเชิงปริมาณของความสูงครีบบ ตั้งแต่เดือน ม.ค. - มิ.ย. 58

เดือน	ตัวอย่างที่ / ขนาด (มม.)					เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\sigma$ )
	1	2	3	4	5		
ม.ค. 58	0.11	0.12	0.11	0.11	0.12	0.10	0.023
ก.พ. 58	0.11	0.12	0.11	0.12	0.11		
มี.ค. 58	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08		
เม.ย. 58	0.11	0.12	0.11	0.12	0.11		
พ.ค. 58	0.12	0.12	0.12	0.11	0.12		
มิ.ย. 58	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06		

จากตารางที่ 5.6 นำค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.023 ไปคำนวณขนาดตัวอย่างของการเก็บข้อมูลเศษกรีบที่ติดหน้าแม่พิมพ์

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \sigma^2}{e^2} \quad \text{_____ (2.2)}$$

- โดยที่  $n$  คือ ขนาดตัวอย่าง  
 $Z_{\alpha/2}$  คือ ค่าปกติมาตรฐานที่สอดคล้องกับระดับความเชื่อมั่น  $(1 - \alpha)\%$   
 $\sigma$  คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความสูงกรีบ  
 $e$  คือ ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของค่าประมาณได้จากค่าจริง

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าลงในสมการที่ 4} \quad n &= 1.96^2(0.023)^2/0.01^2 \\ &= 20.32 \\ &= 21 \text{ ตัวอย่าง} \end{aligned}$$

ทำการเก็บข้อมูลความสูงกรีบที่ติดหน้าแม่พิมพ์จำนวน 21 ตัวอย่าง จากช่วงสโตรกที่ 1 ถึง 50,000 และทำการทดลองป้อนทับ เพื่อตรวจสอบขนาดรอยจากการป้อนทับ โดยทำการเก็บข้อมูล ดังข้อมูลในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5. 7 ข้อมูลการวัดเชิงปริมาณของเศษกรีบที่หลุดติดหน้าแม่พิมพ์ และผลการตรวจสอบรอยจากการป้อนทับ

ตัวอย่างที่	ช่วงสโตรก	ขนาดเศษกรีบ	ขนาดรอยจากการป้อนทับ (มม. x มม.)	ผลการตรวจสอบรอยจากการป้อนทับ
1	1-10,000	-	-	ไม่พบรอยจากการป้อนทับ
2	10,001-12,000	-	-	ไม่พบรอยจากการป้อนทับ
3	12,001-14,000	-	-	ไม่พบรอยจากการป้อนทับ
4	14,001-16,000	-	-	ไม่พบรอยจากการป้อนทับ
5	16,001-18,000	-	-	ไม่พบรอยจากการป้อนทับ
6	18,0001-20,000	-	-	ไม่พบรอยจากการป้อนทับ
7	20,001-22,000	-	-	ไม่พบรอยจากการป้อนทับ
8	22,001-24,000	-	-	ไม่พบรอยจากการป้อนทับ
9	24,001-26,000	-	-	ไม่พบรอยจากการป้อนทับ

ตารางที่ 5.7 ข้อมูลการวัดเชิงปริมาณของเศษครีบที่หลุดติดหน้าแม่พิมพ์ และผลการตรวจสอบรอยจากการปั๊มทับ (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ช่วงสโตรก	ขนาด เศษครีบ	ขนาดรอย จากการปั๊ม ทับ (มม. X มม.)	ผลการตรวจสอบรอยจากการปั๊ม ทับ
10	26,001-28,000	-	-	ไม่พบรอยจากการปั๊มทับ
11	28,001-30,000	0.06	0.9 x 3.0	พบรอยจากการปั๊มทับ / ผ่านเกณฑ์
12	30,001-32,000	0.12	1.6 X 3.0	พบรอยจากการปั๊มทับ / ไม่ผ่าน เกณฑ์
13	32,001-34,000	0.11	1.6 X 2.5	พบรอยจากการปั๊มทับ / ไม่ผ่าน เกณฑ์
14	34,001-36,000	0.12	1.6 X 3.0	พบรอยจากการปั๊มทับ / ไม่ผ่าน เกณฑ์
15	36,001-38,000	0.12	1.5 X 2.5	พบรอยจากการปั๊มทับ / ไม่ผ่าน เกณฑ์
16	38,001-40,000	0.13	1.7 X 2.5	พบรอยจากการปั๊มทับ / ไม่ผ่าน เกณฑ์
17	40,001-42,000	0.16	1.8 X 3.0	พบรอยจากการปั๊มทับ / ไม่ผ่าน เกณฑ์
18	42,001-44,000	0.17	1.8 X 3.5	พบรอยจากการปั๊มทับ / ผ่านเกณฑ์
19	44,001-46,000	0.17	1.9 X 5.0	พบรอยจากการปั๊มทับ / ไม่ผ่าน เกณฑ์
20	46,001-48,000	0.19	1.9 X 4.0	พบรอยจากการปั๊มทับ / ไม่ผ่าน เกณฑ์
21	48,001-50,000	0.19	2.0 X 5.5	พบรอยจากการปั๊มทับ / ไม่ผ่าน เกณฑ์

หมายเหตุ ตรวจสอบชิ้นงานร้อยละ 100 แต่ทำการคัดเลือกของเสียที่พบในแต่ละช่วงสโตรก

จากตารางที่ 5.7 พบว่าเศษครีบที่หลุดจากขอบชิ้นงานมาติดที่หน้าพิมพ์ เมื่อมีช่วงสโตรกมากขึ้น ทำให้ขนาดเศษครีบที่หลุดติดหน้าแม่พิมพ์ก็มีขนาดใหญ่ขึ้น ในช่วงสโตรกที่ 1 – 30,000 ไม่พบเศษครีบติดที่หน้าแม่พิมพ์ แต่ช่วงสโตรกที่ 30,001 – 50,000 พบเศษครีบที่ติดหน้าแม่พิมพ์ และในช่วงสโตรกที่ 40,001 – 50,000 พบรอยจากการป้อนที่เกินกว่าขอบเขตที่ลูกค้ำกำหนด คือ 1.5 X 3.0 มม. ดังนั้นจึงต้องทบทวนความเหมาะสมของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด

เนื่องจากการวิจัยในครั้งนี้มีการเปลี่ยนแปลงอายุการใช้งานก่อนการบำรุงรักษาแม่พิมพ์ ดังนั้นต้องทบทวนค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นตายตัดที่สโตรกต่างๆ ซึ่งรายละเอียดค่าใช้จ่ายแสดงในตารางที่ 4.14 และตารางที่ 4.12 โดยค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นตายตัดดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5. 8 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นตายตัดที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดต่างๆ (บาท)

รายละเอียดค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่าย/ ครั้ง	ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยที่สโตรกต่างๆ (บาท/ชิ้น)				
		10,000	20,000	30,000	40,000	50,000
ค่าใช้จ่ายในการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นตายตัด	3,900	0.390	0.195	0.130	0.098	0.078
ค่าแรงช่างในการซ่อมบำรุง	1,150	0.115	0.058	0.038	0.029	0.023
รวม		0.475	0.253	0.168	0.127	0.101

จากตารางที่ 5.8 พบว่าค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นตายตัดต่อหน่วยสูงขึ้นหากอายุการใช้งานน้อยลง ในปัจจุบันค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงที่ทุกๆ 50,000 สโตรกเท่ากับ 0.101 บาท/ชิ้น สโตรกที่ 40,000 มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเท่ากับ 0.127 บาท/ชิ้น และสโตรกที่ 30,000 มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเท่ากับ 0.168 บาท/ชิ้น หลังจากทำการเก็บข้อมูลค่าใช้จ่ายของเสียประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการป้อนที่ช่วงสโตรกต่างๆเท่ากับ 21 ชิ้น/ช่วงสโตรก โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 5.9



ตารางที่ 5. 9 ค่าใช้จ่ายในเมื่อพบของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีบที่อายุการใช้งานต่างๆ (บาท)

รายละเอียดค่าใช้จ่าย		ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยที่สโตรกต่างๆ				
		10,000	20,000	30,000	40,000	50,000
ของเสียประเภทความไม่สมบูรณ์ของ การกด	ทำซ้ำ	0	0	0	52	52
	ทิ้ง	0	0	0	0	217
ของเสียประเภทความรอยจากการบีบ ที่	ทำซ้ำ	0	0	0	275	275
	ทิ้ง	0	0	0	181	543
รวม		0	0	0	508	1,087

จากตารางที่ 5.9 พบว่าค่าใช้จ่ายเมื่อพบของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีบที่จากการเก็บข้อมูลเท่ากับ 21 ชิ้น/ช่วงสโตรก โดยสโตรกที่ 50,000 มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 1,087 บาท สโตรกที่ 40,000 มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 508 บาท และช่วงสโตรกที่ 30,000 – 10,000 ไม่มีค่าใช้จ่าย

จากการศึกษาอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด และอายุการใช้งานของยางยูรีเทนที่มีผลต่อการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการบีบที่พบว่าพบของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ และรอยจากการบีบที่ในช่วงสโตรกที่ 30,000 ค่าใช้จ่ายในการในการซ่อมบำรุงต่ำกว่าสโตรกที่ 20,000 และไม่มีค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียซึ่งกำหนดระดับปัจจัยในการทดลอง ดังนี้ ระดับต่ำเท่ากับ 30,000 สโตรก ระดับกลางเท่ากับ 40,000 สโตรก และระดับสูงเท่ากับ 50,000 สโตรก เป็นช่วงสโตรกที่ทำการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระโนแท่งตัดและแผ่นตายตัดในปัจจุบัน เนื่องจากของสัดส่วนของเสียในปัจจุบันมากกว่าเป้าหมายของทางบริษัทกรณีศึกษา

### 5.2.3 ชนิด และคุณสมบัติเชิงกลของยางยูรีเทนส่งผลต่อการเกิดครีป

ศึกษาชนิดและคุณสมบัติเชิงกลของยางยูรีเทนที่บริษัทกรณีศึกษาใช้ในปัจจุบันโดยมีรายละเอียดของคุณสมบัติตามตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5. 10 ชนิด และคุณสมบัติเชิงกลของยางยูรีเทน

ชนิด	สี	ความแข็ง Shore A	คุณสมบัติเชิงกลก่อนจุดคราก		
			ความเค้นอัด MPa	ความเครียดอัด	มอดูลัสของแรงอัด MPa
Soft Grade	เหลือง	35	10.4	0.73	14.24
Hard Grade	เทาดำ	90 (18 Shore D)	34.8	0.88	39.54
Hard Grade	ดำ	95 (22 Shore D)	30.6	0.87	35.17

จากตารางที่ 5.10 แสดงให้เห็นถึงชนิด และคุณสมบัติเรื่องความแข็ง การทนต่อความเค้นอัด ความเครียด และมอดูลัสของแรงอัด ก่อนจุดครากแตกต่างกันของชนิดยางยูรีเทน ซึ่งยางยูรีเทนที่บริษัทใช้ในปัจจุบันสามารถทนต่อแรงกำหนดของเครื่องปั๊มที่ใช้อยู่ปัจจุบันได้ทั้ง 3 ชนิด และในปัจจุบันมีการเปลี่ยนทุกๆ 50,000 สโตรก เช่นเดียวกับการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัด และแผ่นด้ายตัด

ศึกษาข้อมูลความสูงครีบกเทียบกับความแข็งของยางยูรีเทนย้อนหลังในช่วงสโตรกก่อนที่จะทำการซ่อมบำรุงแท่งตัดและแผ่นด้ายตัด และการเปลี่ยนยางยูรีเทน โดยมีรายละเอียด ดังตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5. 11 ข้อมูลความสูงครีบกกับความแข็งยางยูรีเทน

ความแข็ง	ความสูงครีบก (mm.)					เฉลี่ย (mm.)
	1	2	3	4	5	
35 Shore A	0.16	0.17	0.16	0.17	0.15	0.16
90 Shore A	0.16	0.16	0.15	0.14	0.15	0.15
95 Shore A	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14

จากตารางที่ 5.11 พบว่าความสูงครีบบนของความแข็งของยางยูรีเทนเท่ากับ 35 Shore A พบว่ามีค่าเฉลี่ยความสูงครีบบนเท่ากับ 0.16 mm. ความแข็งของยางยูรีเทนเท่ากับ 90 Shore A พบว่ามีค่าเฉลี่ยความสูงครีบบนเท่ากับ 0.15 mm. และความแข็งของยางยูรีเทนเท่ากับ 95 Shore A พบว่ามีค่าเฉลี่ยความสูงครีบบนเท่ากับ 0.14 mm. จะเห็นได้ว่าสโตรกที่ 49,995 – 50,000 หากความแข็งของยางยูรีเทนที่มีความแข็งที่แตกต่างกันส่งผลต่อความสูงครีบบน ดังนั้นจึงต้องศึกษาอายุการใช้งานของยางยูรีเทนที่เหมาะสมก่อนจะเปลี่ยนยางยูรีเทน และความแข็งของยางยูรีเทนและทำการทดสอบสมมติฐาน โดยกำหนดให้

$H_0$  : ค่าเฉลี่ยของความสูงครีบบนที่ยางยูรีเทนมีความแข็งเท่ากับ 35 Shore A มีค่าไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยของความสูงครีบบนที่ยางยูรีเทนมีความแข็งเท่ากับ 90 Shore A และ 95 Shore A

$H_a$  : ค่าเฉลี่ยของความสูงครีบบนที่ยางยูรีเทนมีความแข็งบางคู่แตกต่างกัน

ทำการทดสอบสมมติฐานด้วยโปรแกรม Minitab มีผลลัพธ์ ดังนี้

One-way ANOVA: Burr1 versus Hardness

Method

Null hypothesis All means are equal  
Alternative hypothesis At least one mean is different  
Significance level  $\alpha = 0.05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Hardness	3	35, 90, 95

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Hardness	2	0.000813	0.000407	7.18	0.009
Error	12	0.000680	0.000057		
Total	14	0.001493			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0075277	54.46%	46.88%	28.85%

Means

Hardness	N	Mean	StDev	95% CI
35	5	0.16200	0.00837	(0.15467, 0.16933)
90	5	0.15200	0.00837	(0.14467, 0.15933)
95	5	0.14400	0.00548	(0.13667, 0.15133)

Pooled StDev = 0.00752773

จากการทดสอบสมมติฐานพบว่า ค่า P-value มีค่าเท่ากับ  $\leq 0.05$  ดังนั้นจึงปฏิเสธ  $H_0$  แสดงว่าความแข็งของยางยูรีเทน เท่ากับ 35 Shore A 90 Shore A และ 95 Shore A มีผลต่อค่าเฉลี่ยของความสูงครีบ จากการศึกษาความแข็งของยางยูรีเทนมีผลต่อความสูงครีบ พบว่าในช่วงสโตรก 50,000 ความแข็งของยางยูรีเทนมากจะทำให้ความสูงครีบน้อยกว่าความแข็งของยางยูรีเทนต่ำ ซึ่งจะทำให้การกำหนดระดับปัจจัยในการทดลอง ดังนี้ ระดับต่ำเท่ากับ 30,000 สโตรก ระดับกลางเท่ากับ 40,000 สโตรก และระดับสูงเท่ากับ 50,000 สโตรก โดยกำหนดอายุการใช้งานตามระดับปัจจัยของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด และให้จ่ายต่อการเก็บตัวอย่าง ส่วนการกำหนดระดับปัจจัยความแข็งของยางยูรีเทน ดังนี้ ระดับต่ำมีค่าความแข็งของยางยูรีเทน เท่ากับ 35 Shore A ระดับกลางมีค่าความแข็งของยูรีเทน เท่ากับ 90 Shore A และระดับสูงความแข็งของยางยูรีเทน เท่ากับ 95 Shore A ซึ่งระดับปัจจัยความแข็งของยางยูรีเทนไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้ เนื่องจากเป็นความแข็งมาตรฐานของบริษัท

#### 5.2.4 ศึกษาความเร็วในการตัดเฉือนส่งผลต่อความสูงครีบ

โดยทำการศึกษาข้อมูลการตั้งค่าพบว่า มีการกำหนดค่าความเร็วในการตัดอยู่ในช่วง 15 spm ถึง 25 spm ซึ่งโดยเฉลี่ยทางบริษัทกรณีศึกษาจะทำการตั้งค่าความเร็วที่ 25 spm ซึ่งต้องการทำการเก็บข้อมูลเปรียบเทียบความเร็วในการตัดที่ช่วง 15 spm และ 25 spm โดยข้อมูลเป็นไปดังตารางที่ 5.12

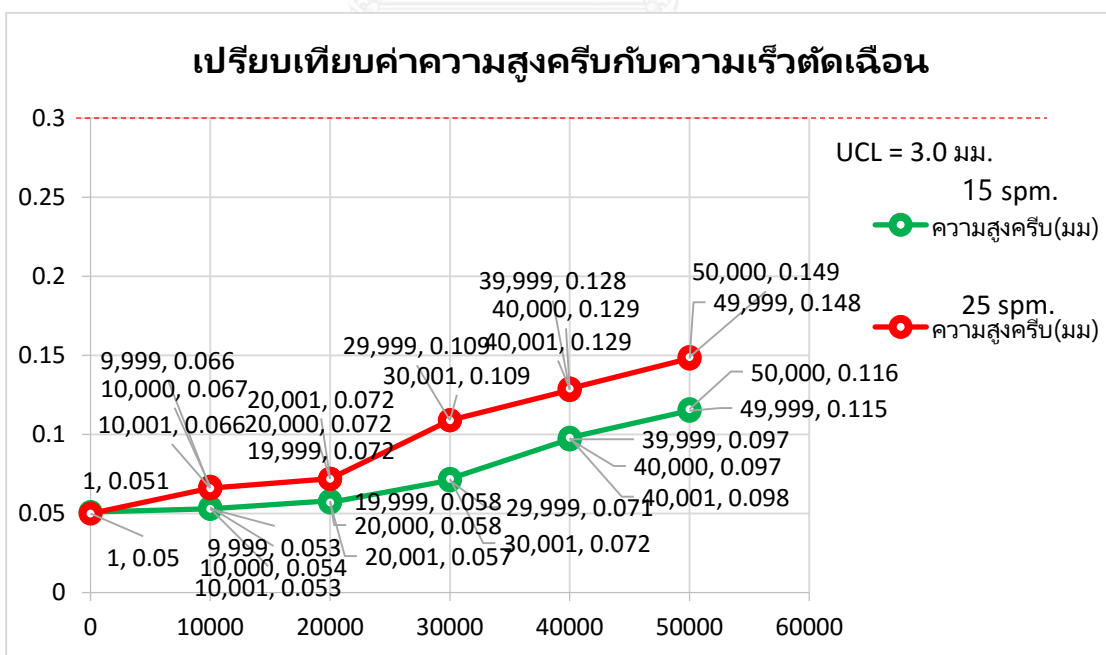
ตารางที่ 5. 12 ข้อมูลการวัดความสูงครีบจากปัจจัยความเร็วในการตัดเฉือน

สโตรกที่	ความสูงครีบ(มม)		หมายเหตุ
	15 spm	25 spm	
1	0.051	0.050	
9,999	0.053	0.066	
10,000	0.054	0.067	
10,001	0.053	0.066	
19,999	0.058	0.072	
20,000	0.058	0.072	
20,001	0.057	0.072	

ตารางที่ 5.12 ข้อมูลการวัดความสูงครีบจากปัจจัยความเร็วในการตัดเฉือน (ต่อ)

สโตรกที่	ความสูงครีบ(มม)		หมายเหตุ
	15 spm	25 spm	
29,999	0.071	0.109	
30,001	0.072	0.109	
39,999	0.097	0.128	
40,000	0.097	0.129	
40,001	0.098	0.129	
49,999	0.115	0.148	
50,000	0.116	0.149	ทำการเจียรระโนราบแท่งตัด และแผ่นตายตัด

จากตารางที่ 5.12 เป็นตารางการวัดความสูงครีบในช่วงความเร็วการตัดเฉือนเท่ากับ 15 spm และ 25 spm โดยจะแสดงความสัมพันธ์ในรูปกราฟดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5. 6 เปรียบเทียบความสูงครีบของปัจจัยความเร็วในการตัด

จากรูปที่ 5.6 เป็นการเปรียบเทียบความสูงครีบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยความเร็วในการตัด พบว่าค่าความสูงครีบของความเร็วตัดเฉือนทั้ง 2 ระดับ อยู่ในค่าที่ขอบเขตควบคุม โดยที่ค่าความเร็วในการตัดเท่ากับ 15 spm. แสดงให้เห็นว่าสโตรกที่ 50,000 มีค่าความสูงครีบเท่ากับ 0.116 มม. และความเร็วในการตัดเท่ากับ 25 spm. สโตรกที่ 50,000 มีค่าความสูงครีบเท่ากับ 0.149 มม. ซึ่งเห็นได้ว่าเมื่อหากเปลี่ยนแปลงความเร็วตัดเฉือนมากขึ้นมีส่งผลกระทบต่อเกิดการเกิดครีบที่สูงกว่าความเร็วตัดเฉือนต่ำในช่วงสโตรกเดียว และทำการทดสอบสมมติฐาน โดยกำหนดให้

$H_0$  : ค่าเฉลี่ยของความสูงครีบที่ความเร็วในการตัดเฉือนที่ 15 spm. ที่ค่าไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยของความสูงครีบที่ความเร็วในการตัดเฉือนที่ 25 spm.

$H_a$  : ค่าเฉลี่ยของความสูงครีบที่ความเร็วในการตัดเฉือนที่ 15 spm. ที่ค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของความสูงครีบที่ความเร็วในการตัดเฉือนที่ 25 spm.

ทำการทดสอบสมมติฐานด้วยโปรแกรม Minitab มีผลลัพธ์ ดังนี้

### Paired T-Test and CI: 15, 25

Paired T for 15 - 25				
	N	Mean	StDev	SE Mean
15	15	0.07473	0.02346	0.00606
25	15	0.09827	0.03339	0.00862
Difference	15	-0.02353	0.01232	0.00318

95% upper bound for mean difference: -0.01793  
T-Test of mean difference = 0 (vs < 0): T-Value = -7.40 P-Value = 0.000

จากการทดสอบสมมติฐานพบว่า ค่า P-value มีค่าเท่ากับ  $\leq 0.05$  ดังนั้นจึงปฏิเสธ  $H_0$  แสดงว่าความเร็วในการตัดเฉือนที่ 15 spm และ 25 spm มีผลต่อค่าเฉลี่ยของความสูงครีบ จากนั้นทำการศึกษาผลกระทบหากมีการปรับเปลี่ยนความเร็วในการตัดจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตในด้านต่างๆ ดังนี้

#### 1. กำลังการผลิตลดลง

เนื่องจากมีการลดความเร็วในการตัดเฉือนเป็น 15 spm จากปกติ 25 spm ส่งผลที่ทำให้ความสูงครีบลดลง โดยที่ความเร็วตัดเท่ากับ 25 spm จะมีความสูงครีบเท่ากับ 0.149 มม. แต่ที่ความเร็วตัดเท่ากับ 15 spm จะมีความสูงครีบเท่ากับ 0.116 มม. แต่จะส่งผลให้กำลังในการผลิตลดลง ดังนั้นศึกษาระยะเวลาในกระบวนการผลิตทุกกระบวนการ เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบหากลดความเร็วในการตัดเฉือน โดยมีผลลัพธ์ดังตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5. 13 ผลการวัดเวลาที่ใช้ในการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี

กระบวนการ	ความเร็วในการผลิต (ชิ้น/นาที :spm)	กำลังการผลิตต่อเดือน (ชิ้น/เดือน)	หมายเหตุ
ตัด และเจาะรู	15	172,800	
ขึ้นรูปและอัดสลัก	12	138,240	
ปั๊มสัญลักษณ์	30	462,000	
ตรวจสอบคุณภาพ	25	288,000	
ชุบสี	30	345,600	
ตรวจสอบคุณภาพ ขั้นสุดท้าย	30	396,000	

- หมายเหตุ
1. คิดกำลังการผลิต 1 กระบวนการผลิต
  2. 1 กระบวนการผลิต เท่ากับ 8 ชั่วโมง
  3. 1 เดือนทำงาน เท่ากับ 24 วัน

จากตารางที่ 5.13 พบว่าหากลดความเร็วในการตัดเฉือนเท่ากับ 15 spm. พบว่าไม่เกิดผลกระทบที่ทำให้ไม่สามารถผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดีให้ทันต่อความต้องการของลูกค้า เนื่องจากกระบวนการที่คอขวด คือ กระบวนการขึ้นรูปและอัดสลัก หากทำการลดความเร็วในการตัดเฉือนไม่ส่งผลต่อการผลิตไม่ทันตามความต้องการของลูกค้า

2. ลดความเร็วในการตัดเฉือนส่งผลต่อกำลังการผลิตของผลิตภัณฑ์อื่น

ตรวจสอบกำลังการผลิตของเครื่อง 800 kN (80 ตัน) โดยที่กระบวนการและเจาะรูต้องลดความเร็วในการตัดเฉือนเท่ากับ 15 spm จาก 25 spm จะส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์อื่นหรือไม่ โดยมีข้อมูลดังตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5. 14 ผลการตรวจสอบกำลังการผลิตของเครื่อง 800 kN หรือ 80 ตัน ที่ใช้กับกระบวนการตัดและเจาะของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี

ผลิตภัณฑ์	ความเร็วในการผลิต (ชิ้น/นาที :spm)	ความต้องการ (ชิ้น/เดือน)	ใช้เวลาในการผลิต (ชั่วโมง : นาที)	หมายเหตุ
แผ่นรองเครื่องเล่นซีดี	15	110,000	122 : 13	
ตัวยึดแก้อิฐในรถยนต์	20	10,000	8 : 19	
ห่วงเข็มขัดนิรภัย	20	10,000	8 : 19	
อื่นๆ	25	30,000	20 : 00	
รวม		160,000	158 : 51	
กำลังการผลิตของเครื่องปั๊ม		260,000	* 288 : 52	

หมายเหตุ 1. คิดกำลังการผลิต 1 กะการผลิต 2. 1 กะการผลิต เท่ากับ 8 ชั่วโมง  
3. 1 เดือนทำงาน เท่ากับ 24 วัน \* คิดที่ความเร็วในการผลิต 15 spm

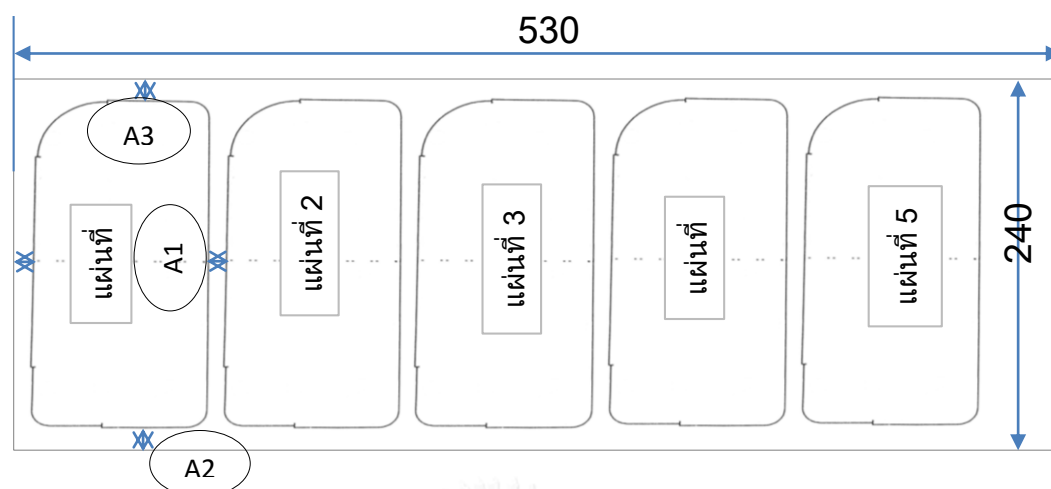
จากตารางที่ 5.14 พบว่ากระบวนการตัดและเจาะที่ใช้เครื่องปั๊มขนาด 800 kN หากลดความเร็วในการตัดเดือนเท่ากับ 15 spm ซึ่งมีการใช้งานเครื่องจักรเท่ากับ 158 ชั่วโมง 51 นาที แต่เครื่องจักรมีกำลังการผลิตสูงสุดเท่ากับ 288 ชั่วโมง 52 นาที คิดเป็นร้อยละ 54.89 ของกำลังการผลิตสูงสุด แสดงว่าไม่ส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์อื่นๆ

จากการศึกษาความเร็วในการตัดพบว่า ความเร็วในการตัดสูงจะส่งผลให้ครีบสูงขึ้น หากปรับความเร็วในการตัดต่ำลง จะทำให้ความสูงครีบน้อยลง ซึ่งระดับความเร็วในการตัดที่ 25 spm เป็นความเร็วในการตัดสูงสุดของเครื่องจักร ซึ่งจะทำการกำหนดระดับปัจจัยในการทดลอง ดังนี้ ระดับต่ำมีค่าความเร็วตัดเท่ากับ 15 spm เป็นการตั้งค่าความเร็วระดับต่ำที่สุดของเครื่องจักร ระดับกลางมีค่าความเร็วในการตัดเท่ากับ 20 spm และระดับสูงมีค่าความเร็วในการตัดเท่ากับ 25 spm เป็นการตั้งค่าความเร็วระดับสูงที่สุดของเครื่องจักร

#### 5.2.5 วิธีการวางชิ้นงานบนแม่พิมพ์

ขนาดของวัตถุที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีขนาดเท่ากับ 240 X 530 มม. มีความหนาเท่ากับ 1.5 มม. โดยมีลักษณะ Scrap Strip ตามรูปที่ 5.7





รูปที่ 5. 7 แผ่น Scrap Strip ของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี

จากรูปที่ 5.7 เป็นลักษณะ Scrap Strip ของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี โดย ชาญชัย (2557) กล่าวถึงมาตรฐานในการออกแบบ ระยะห่างระหว่างชิ้นงาน ขอบเหล็ก คือ ถ้าชิ้นงานมีความกว้างหรือยาว ตั้งแต่ 215.9 มม. ขึ้นไป ต้องมีระยะห่างของชิ้นงานจากขอบแผ่นเหล็กน้อยที่สุดเท่ากับ 1.5 เท่าของความหนาวัสดุ โดยวัสดุที่ใช้ในการศึกษามีความหนาเท่ากับ 1.5 มม. แสดงว่าต้องมีระยะห่างของชิ้นงานจากขอบแผ่นเหล็กไม่น้อยกว่าเท่ากับ 2.25 มม. ทำการวัดขนาด Scrap Strip 3 จุดตามรูปที่ 1.23 โดยมีผลลัพธ์ดังตารางที่ 5.15

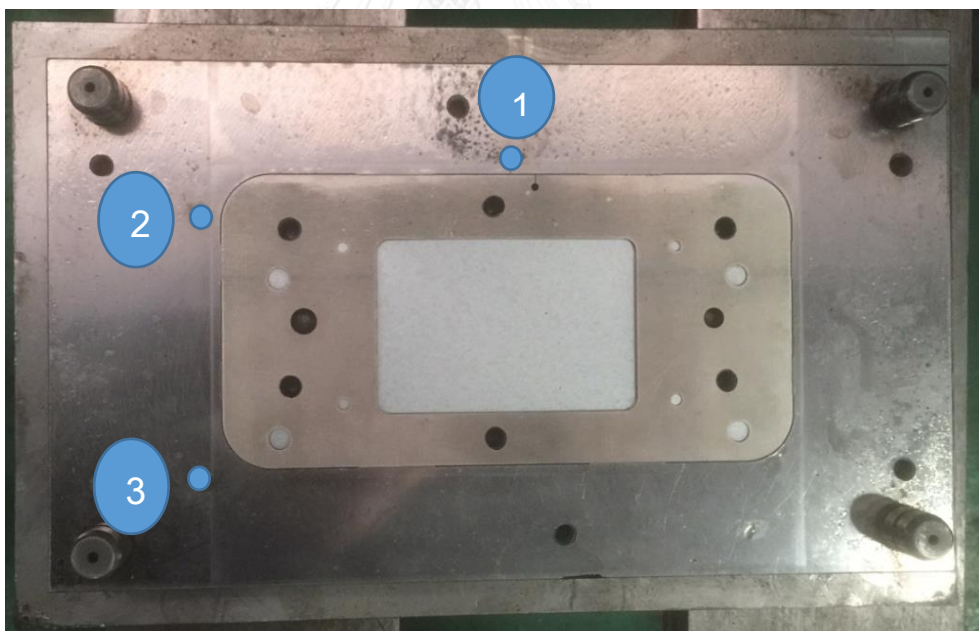
ตารางที่ 5. 15 ระยะห่างของชิ้นงานจากขอบแผ่นเหล็ก (มม.)

แผ่นที่	A1		A2		A3		ผลสรุป
	มาตรฐาน	ค่าที่วัด	มาตรฐาน	ค่าที่วัด	มาตรฐาน	ค่าที่วัด	
1	≥2.25	2.52	≥2.25	2.73	≥2.25	2.68	ผ่าน
2	≥ 2.25	2.12	≥ 2.25	2.71	≥ 2.25	2.72	ไม่ผ่าน
3	≥ 2.25	2.58	≥ 2.25	2.72	≥ 2.25	2.70	ผ่าน
4	≥ 2.25	2.56	≥ 2.25	2.71	≥ 2.25	2.70	ผ่าน
5	≥ 2.25	17.55*	≥ 2.25	2.69	≥ 2.25	2.73	ผ่าน

หมายเหตุ \* หมายถึง แผ่นสุดท้ายมีพื้นที่เศษที่ปลาย 15 มม.

จากตารางที่ 5.15 แสดงให้เห็นว่าในแผ่น Scrap Strip ในช่องที่ 2 ที่จุด A1 มีค่าระยะห่างของชิ้นงานจากขอบเหล็กมีค่าเท่ากับ 2.12 มม. ซึ่งไม่อยู่ในค่ามาตรฐาน ทำการตรวจสอบกระบวนการป้อน พบว่าพนักงานใส่แผ่นเหล็กไม่ชนรางบังคับ ทำให้ระยะห่างของชิ้นงานจากขอบแผ่นเหล็กมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน และส่งผลทำให้ชิ้นงานแผ่นรองเครื่องเล่นซีดีชิ้นที่ 3 เกิดครีบที่ความสูงเท่ากับ 0.11 มม. ส่วนแผ่นอื่นๆมีขนาดประมาณ 0.09 มม. โดยสาเหตุที่ทำให้มีครีบสูงขึ้นซึ่งเกิดจากพื้นที่ในการจับเนื้อเหล็กมีน้อย เนื่องจากระยะห่างจากขอบเหล็กถึงชิ้นงานมีน้อยกว่า 2.25 ทำให้เกิดการยึดตัวของเหล็กในขณะที่ทำการตัด จะส่งผลต่อครีบที่มีความยาวสูงขึ้น หรืออาจจะส่งผลให้ชิ้นงานแหงงได้

จากการศึกษาแม่พิมพ์ในกระบวนการตัด และเจาะ พบว่าวิธีในการวางแผ่นเหล็ก คือต้องใส่แผ่นเหล็กให้ชนรางบังคับ 3 ตำแหน่ง ซึ่งห่างจากขอบของแผ่นเหล็กตำแหน่ง A1 ตามรูปที่ 5.6 มีค่าเท่ากับ 2.5 มม. และตำแหน่ง A2 และ A3 ตามรูปที่ 5.6 มีค่าเท่ากับ 2.70 มม. ซึ่งค่าใกล้เคียง โดยมีลักษณะแม่พิมพ์ตามรูปที่ 5.8



รูปที่ 5. 8 แม่พิมพ์กระบวนการตัด และ เจาะ ของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี

จากรูปที่ 5.8 แสดงให้เห็นว่ารางบังคับของแม่พิมพ์แผ่นรองเครื่องเล่นซีดีมีทั้งหมด 3 จุด โดยตำแหน่งที่ 1 ห่างจากขอบชิ้นงานเท่ากับ 2.5 มม. ส่วนตำแหน่งที่ 2 และ 3 ห่างจากขอบชิ้นงาน 5 มม. โดยจากการที่เก็บข้อมูลในตารางที่ 5.12 พบว่าพนักงานดันแผ่นเหล็กไม่ชนรางบังคับตำแหน่งที่

A1 ทำให้เมื่อตัดเหล็กมีเนื้อที่ในการจับเหล็กน้อยส่งผลทำให้เกิดครีบสูงขึ้น และทำการแก้ไขโดยลดขนาดรางบังคับในตำแหน่งที่ 1 เพื่อให้ห่างออกจากขอบแผ่นดาดจาก 2.5 มม. เป็น 5 มม. เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการจับเหล็ก และลดโอกาสเกิดการแหงนของชิ้นงาน ซึ่งหากนำปัจจัยการวางชิ้นงานในกระบวนการตัดและเจาะไปทำการทดลอง อาจส่งผลให้ปัจจัยนี้เป็นปัจจัยรบกวน (Noise Factor) เนื่องจากในการทดลองต้องใช้การวัดระยะของการใส่เข้าไปในแม่พิมพ์ห่างจากขอบของช่องตัด หากชิ้นงานไม่ถึงระยะที่วัดไว้ หรือใส่ชิ้นงานเอียง อาจส่งผลกระทบต่อผลของการทดลอง ดังนั้นจึงปรับปรุงระยะรางบังคับ ตามรูปที่ 5.9



รูปที่ 5. 9 ตำแหน่งรางบังคับ

หลังจากปรับปรุงตำแหน่งรางบังคับตามรูปที่ 5.9 โดยการปรับระยะรางบังคับจาก 2.25 มม. เป็น 5 มม. และทำการทดลองป้อนชิ้นงานและทำการวัดเชิงปริมาณของระยะห่างของชิ้นงานจากขอบแผ่นเหล็กตามรูปที่ 1.22 โดยมีผลเป็นไปตามตารางที่ 5.16

ตารางที่ 5. 16 ระยะห่างของชิ้นงานจากขอบแผ่นเหล็ก (มม.)

แผ่นที่	A1		A2		A3		ผลสรุป
	มาตรฐาน	ค่าที่วัด	มาตรฐาน	ค่าที่วัด	มาตรฐาน	ค่าที่วัด	
1	≥2.25	4.98	≥2.25	4.99	≥2.25	5.01	ผ่าน
2	≥ 2.25	4.99	≥ 2.25	4.96	≥ 2.25	5.04	ผ่าน
3	≥ 2.25	4.99	≥ 2.25	5.00	≥ 2.25	5.00	ผ่าน
4	≥ 2.25	4.99	≥ 2.25	4.98	≥ 2.25	5.02	ผ่าน
5	≥ 2.25	4.98	≥ 2.25	4.99	≥ 2.25	5.01	ผ่าน

จากตารางที่ 5.16 พบว่าระยะห่างของชิ้นงานจากขอบแผ่นเหล็กมีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 5 มม. และทำการวัดขนาดของความสูงครีบบีความสูงครีบเท่ากับ 0.09 มม. ของทุกชิ้นงานโดยทำการเก็บ

ข้อมูลในช่วงสโตรกที่ 25,000 ซึ่งการปรับปรุงระยะวางบังคับทำให้พนักงานสามารถวางชิ้นงานบนแม่พิมพ์ให้ชนรางบังคับได้ ยังส่งผลทำให้ครีบบีมีความสูงใกล้เคียงกันในช่วงสโตรกที่ใกล้เคียงกัน

5.2.6 แร่งกำหนดเหมาะสมกับชนิดของวัสดุดิบ

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้วัสดุดิบชนิด SPCC ซึ่งมีความเค้นดึงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 270 N/mm<sup>2</sup> และสูงสุดเท่ากับ 410 N/mm<sup>2</sup> โดยคำนวณจากสมการด้านล่างนี้

$$\tau = \frac{S}{A} \quad \text{_____ (2.15)}$$

$$S = \tau A \quad \text{_____ (5.1)}$$

โดยที่  $\tau$  = ค่าความเค้นเฉือน หน่วยเป็น N/mm<sup>2</sup>หรือ GPa

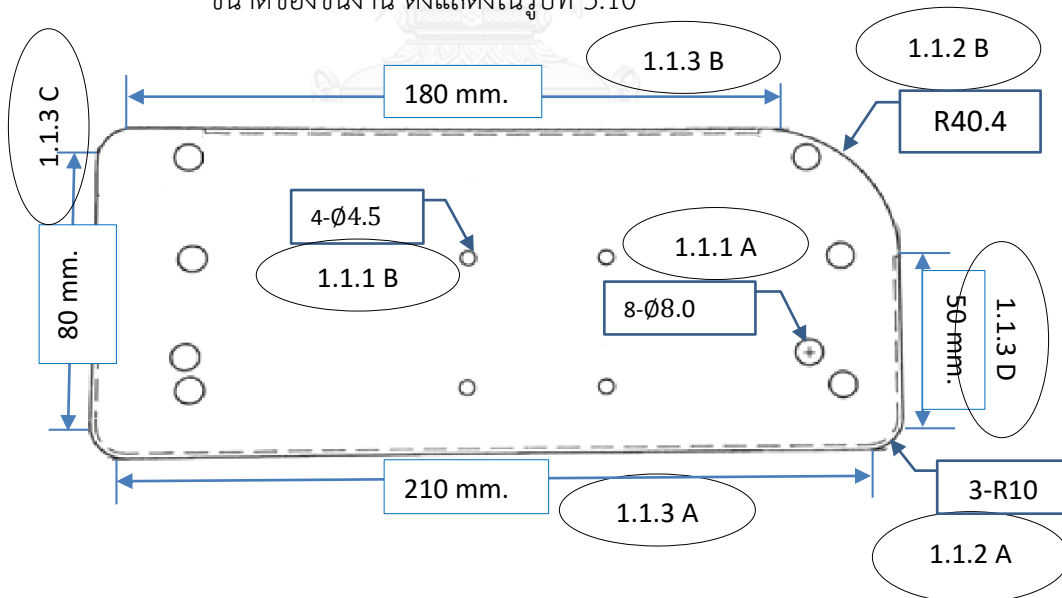
(0.8 เท่าของความเค้นดึงสูงสุด หรือเท่ากับ  $0.8 \times 410 \text{ N/mm}^2 = 328 \text{ N/mm}^2$ )

$S$  = แรงเฉือน หน่วยเป็น N

$A$  = พื้นที่ตัด หน่วยเป็น mm<sup>2</sup>

คำนวณพื้นที่ตัดของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี

ขนาดของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 5.10



รูปที่ 5. 10 พื้นที่ตัดของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี

จากรูปที่ 5.8 สามารถคำนวณพื้นที่ตัดของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดีได้ ดังนี้

$$1. \text{พื้นที่ตัดของวงกลม} = \pi X d X t \quad \text{_____ (5.2)}$$

โดยที่  $d$  = เส้นผ่านศูนย์กลาง หน่วยเป็น mm.

$t$  = ความหนา หน่วยเป็น mm.

แทนค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดต่างๆ ลงในสมการที่ 7

A รัศขนาด  $\varnothing$  8.0 mm. มีพื้นที่ตัดเท่ากับ  $\pi \times 8 \times 1.5 = 37.69 \text{ mm.}^2$

มีจำนวน 8 วง รวมเท่ากับ  $301.52 \text{ mm.}^2$

B รัศขนาด  $\varnothing$  4.5 mm. มีพื้นที่ตัดเท่ากับ  $\pi \times 4.5 \times 1.5 = 21.21 \text{ mm.}^2$

มีจำนวน 4 วง รวมเท่ากับ  $84.84 \text{ mm.}^2$

$$2. \text{ พื้นที่ตัดส่วนโค้ง} = l_B \times t \quad \text{_____ (5.3)}$$

โดยที่  $l_B$  = ความยาวของส่วนโค้ง หน่วยเป็น mm.

$$\text{ความยาวส่วนโค้ง } (l_B) = \frac{\pi \times r \times \alpha}{180^\circ} \quad \text{_____ (5.4)}$$

$r$  = รัศมีของส่วนโค้ง หน่วยเป็น mm.

$\alpha$  = มุมที่ศูนย์กลาง หน่วยเป็น องศา

$t$  = ความหนา หน่วยเป็น mm.

แทนค่าส่วนตัดของวงกลมรัศมีขนาดต่างๆลงในสมการที่ 9

- ส่วนตัดของวงกลมรัศมี 10 mm. มีความยาวส่วนโค้งเท่ากับ  $\frac{\pi \times 10 \times 90^\circ}{180^\circ} = 15.71 \text{ mm.}$

- ส่วนตัดของวงกลมรัศมี 40.4 mm. มีความยาวส่วนโค้งเท่ากับ  $\frac{\pi \times 40.4 \times 90^\circ}{180^\circ} = 63.46 \text{ mm.}$

แทนค่าความยาวส่วนโค้งขนาดต่างๆลงในสมการพื้นที่ตัดส่วนตัดของวงกลมลงในสมการที่ 8

A ส่วนตัดของวงกลมรัศมี 10 mm. มีพื้นที่ตัดเท่ากับ  $15.71 \times 1.5 = 23.57 \text{ mm.}^2$

มีจำนวน 3 จุด รวมเท่ากับ  $70.70 \text{ mm.}^2$

B ส่วนตัดของวงกลมรัศมี 40.4 mm. มีพื้นที่ตัดเท่ากับ  $63.46 \times 1.5 = 95.19 \text{ mm.}^2$

$$3. \text{ พื้นที่ตัดเส้นตรง} = l \times t \quad \text{_____ (5.5)}$$

โดยที่  $l$  = ความยาว หน่วยเป็น mm.

$t$  = ความหนา หน่วยเป็น mm.

แทนค่าความยาวขนาดต่างๆลงในสมการที่ 10

A ความยาว 210 mm. มีพื้นที่ตัดเท่ากับ  $210 \times 1.5 = 315 \text{ mm.}^2$

B ความยาว 180 mm. มีพื้นที่ตัดเท่ากับ  $180 \times 1.5 = 270 \text{ mm.}^2$

C ความยาว 80 mm. มีพื้นที่ตัดเท่ากับ  $80 \times 1.5 = 120 \text{ mm.}^2$

D ความยาว 50 mm. มีพื้นที่ตัดเท่ากับ  $50 \times 1.5 = 75 \text{ mm.}^2$

ดังนั้นพื้นที่ตัดของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดีเท่ากับ  $1332.25 \text{ mm.}^2$

5.2.6.1 คำนวณหาแรงเฉือนจากสูตร  
แทนค่าพื้นที่ตัด และความเค้นเฉือนลงในสมการที่ 6

$$\begin{aligned}
 S &= 328 \times 1332.25 \\
 &= 436,978 \text{ N} \\
 \text{แปลงหน่วย } 1,000 \text{ N} &= 1 \text{ kN} \\
 436,978 \text{ N} &= 436.98 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าแรงกำหนดของเครื่องปั๊มต้องมากกว่า 436.98 kN (43.7 ตัน) ปัจจุบันใช้เครื่องปั๊มในกระบวนการตัดและเจาะ คือประมาณ 450 kN (45 ตัน) และ 800 kN (80 ตัน) ซึ่งมากกว่าค่าแรงเฉือนจากการคำนวณ ซึ่งบริษัทกรณีศึกษามีเครื่องปั๊มทั้งขนาด 45 และ 80 ตัน โดยส่วนใหญ่จะใช้เครื่องปั๊มขนาด 80 ตัน และจะใช้เครื่องปั๊มที่มีขนาด 45 ตันในกรณีเครื่องปั๊มขนาด 80 ตันชำรุด หรือการผลิตที่ไม่ทันต่อเวลา และเครื่องปั๊มที่ใช้ในการศึกษาคือที่ขนาดแรงกำหนดเท่ากับ 80 ตันเท่านั้น

จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการปั๊มทับ พบว่าปัจจัยที่ทำให้เกิดครีบสูง คือ อายุการใช้งานของแท่งตัด และแผ่นด้ายตัด อายุการใช้งานของยางยูรีเทน ความแข็งของยางยูรีเทน ความเร็วในการตัดเฉือน และการวางชิ้นงานบนแม่พิมพ์ในกระบวนการตัดและเจาะ ส่วนปัจจัยแรงกำหนดของเครื่องปั๊ม ไม่มีผลต่อความสูงครีบเนื่องจากในปัจจุบันทางบริษัทกรณีศึกษาใช้เครื่องปั๊มที่มีแรงกำหนดเท่ากับ 800 kN (80 ตัน) และการวางชิ้นงานในกระบวนการตัดและเจาะเพื่อลดปัจจัยรบกวน สามารถแก้ไขโดยการเพิ่มระยะของรางบังคับจากขอบชิ้นงานจาก 2.25 mm. เป็น 5.00 mm. ดังรูปที่ 5.9 ดังนั้นปัจจัยที่จะใช้ในการทดลอง มี 4 ปัจจัย คือ อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัด อายุการใช้งานของยางยูรีเทน ความแข็งของยางยูรีเทน ความเร็วในการตัดเฉือน

### 5.3 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองในระยะวิเคราะห์สาเหตุของปัญหานี้ ประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

1. การกำหนดวัตถุประสงค์ของการทดลอง
2. การกำหนดตัวแปรตอบสนองของการทดลอง
3. การเลือกรูปแบบในการทดลอง
4. การกำหนดระดับปัจจัยนำเข้าเพื่อใช้ในการทดลอง
5. การออกแบบการทดลอง

## 6. การกำหนดขนาดตัวอย่าง

### 7. วิธีการทดลอง

ซึ่งในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียด ดังนี้

#### 5.3.1 การกำหนดวัตถุประสงค์ของการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการทดลองของการศึกษาครั้งนี้ คือ การลดค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการบีบทับของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี ซึ่งจากการคัดกรองปัจจัยโดยการวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าของปัญหาพบว่า มีปัจจัยทั้งหมด 6 ปัจจัย ซึ่งปัจจัยแรงกำหนดของเครื่องจักรจะทำการศึกษาเฉพาะเครื่องจักรที่มีแรงกำหนดเท่ากับ 800 kN หรือ 80 ตัน เท่านั้น และปัจจัยการวางชิ้นงานบนแม่พิมพ์ได้ทำการปรับปรุงระยะวางบังคับจาก 2.25 มม. เป็น 5.00 มม. ซึ่ง 2 ปัจจัยนี้จะไม่ใช้ในการทดลอง ส่วนปัจจัยนำเข้าที่จะนำมาใช้ในการออกแบบการทดลองทั้งหมด 4 ปัจจัย โดยแยกปัจจัยออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ ปัจจัยแปรผัน และปัจจัยคุณลักษณะ ซึ่งปัจจัยแปรผันประกอบด้วย อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด อายุการใช้งานของยางยูรีเทน และความเร็วในการตัดเฉือน ซึ่งปัจจัยคุณลักษณะ ประกอบด้วย ความแข็งของยางยูรีเทน และวิธีการวางแผ่นเหล็กลงในแม่พิมพ์

ระยะวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจะทำการแก้ไขในส่วนของวิธีการวางชิ้นงานบนแม่พิมพ์ และปัจจัยแรงกำหนดของเครื่องจักร อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด อายุการใช้งานของยางยูรีเทน ความแข็งของยางยูรีเทน และความเร็วในการตัดเฉือน จะไปทำการทดลองในส่วนของระยะแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)

#### 5.3.2 ตัวแปรตอบสนอง

งานวิจัยครั้งนี้มีความต้องการในการลดค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต ดังนั้นตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าใช้จ่ายรวมซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีบทับ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นตายตัด ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนยางยูรีเทน

#### 5.3.3 การเลือกรูปแบบการทดลอง

ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการทดลองด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปฏิกริยาร่วมระหว่างปัจจัยโดยทำการทดลองปัจจัยผันแปร 4 ปัจจัย คือ อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด อายุการใช้งานของยางยูรีเทน ความแข็งของ

ยางยูรีเทน ความเร็วในการตัดเฉือน และใช้แผนการทดลองแบบ Faced – Center Central Composite Design

#### 5.3.4 การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้า

การออกแบบการทดลองในครั้งนี้จะเลือกนำปัจจัยผันแปรทั้ง 4 มาทำการทดลอง คือ อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด อายุการใช้งานของยางยูรีเทน ความแข็งของยางยูรีเทน ความเร็วในการตัดเฉือน โดยมีระดับปัจจัยดังตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5. 17 ระดับปัจจัยในการทดลอง

สัญลักษณ์	ปัจจัยนำเข้า	ลักษณะตัวแปร	หน่วย	ระดับพารามิเตอร์ในการทดลอง			ระดับพารามิเตอร์ปัจจุบัน
				ต่ำ	กลาง	สูง	
A	อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด	ผันแปร	สโตรก	30,000	40,000	50,000	50,000
B	อายุการใช้งานของยางยูรีเทน	ผันแปร	สโตรก	30,000	40,000	50,000	50,000
C	ความแข็งของยางยูรีเทน	คุณลักษณะ	Shore	35 Shore A	90 Shore A	95 Shore A	90 Shore A
D	ความเร็วในการตัดเฉือน	ผันแปร	spm	15	20	25	30

จากตารางที่ 5.17 เป็นตารางระดับของปัจจัย 4 ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด อายุการใช้งานของยางยูรีเทน ความเร็วในการตัดเฉือน และความแข็งของยางยูรีเทน

#### 5.3.5 การออกแบบการทดลอง

นำปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด อายุการใช้งานของยางยูรีเทน ความเร็วในการตัดเฉือน และความแข็งของยางยูรีเทน มาทำการออกแบบเมทริกซ์การทดลอง โดยในการทดลองครั้งนี้จะใช้โดยในการวิจัยครั้งนี้จะใช้การออกแบบการทดลองแบบ CCD โดยใช้แผนการทดลองแบบ Faced – Center Central Composite Design เนื่องจากปัจจัยไม่สามารถปรับตั้งเป็นจุด



ทศนิยมได้ โดยในการทดลองจะมีการกำหนดลำดับการทดลองของปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัด และแผ่นตายตัด ปัจจัยอายุการใช้งานของยางยูรีเทน และความแข็งของยางยูรีเทน เนื่องจากเป็น ปัจจัยที่สามารถเปลี่ยนระดับได้ยาก เพราะต้องทำการป้อนแท่งตัดและแผ่นตายตัดตามระดับปัจจัยที่ 30,000 40,000 และ 50,000 สโตรก ซึ่งส่งผลกระทบต่อเวลา และค่าใช้จ่ายในการหยุดเครื่องจักร เพื่อทำการเปลี่ยนแท่งตัดและแผ่นตายตัด และการเปลี่ยนยางยูรีเทน ส่วน ปัจจัยความเร็วในการตัด เฉือน ให้มีลำดับการทดลองแบบสุ่ม โดยมีเมทริกซ์การทดลองดังตารางที่ 5.18

ตารางที่ 5. 18 เมทริกซ์ออกแบบของปัจจัยนำเข้า 4 ปัจจัย

StdOrder	RunOrder	A	B	C	D
1	1	-1	-1	-1	-1
2	2	-1	-1	-1	1
3	3	-1	-1	1	-1
4	4	-1	-1	1	1
5	5	-1	1	-1	-1
6	6	-1	1	-1	1
7	7	-1	1	1	-1
8	8	-1	1	1	1
9	23	1	-1	-1	-1
10	24	1	-1	-1	1
11	25	1	-1	1	-1
12	26	1	-1	1	1
13	27	1	1	-1	-1
14	28	1	1	-1	1
15	29	1	1	1	-1
16	30	1	1	1	1
17	17	0	0	0	-1
18	18	0	0	0	1
19	19	0	0	-1	0

ตารางที่ 5.18 เมทริกซ์ออกแบบของปัจจัยนำเข้า 4 ปัจจัย (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	A	B	C	D
20	20	0	0	1	0
21	21	0	-1	0	0
22	22	0	1	0	0
23	9	-1	0	0	0
24	31	1	0	0	0
25	10	0	0	0	0
26	11	0	0	0	0
27	12	0	0	0	0
28	13	0	0	0	0
29	14	0	0	0	0
30	15	0	0	0	0
31	16	0	0	0	0

หมายเหตุ A คือ อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด

B คือ อายุการใช้งานของยางยูรีเทน

C คือ ความแข็งของยางยูรีเทน

D คือ ความเร็วในการตัดเฉือน

### 5.3.6 คำนวณขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

การคำนวณตัวอย่างที่ใช้ในการเก็บข้อมูลที่นำเสนอโดย Bisgaard และ Fuller, (1994) ซึ่งเป็น การหาขนาดตัวอย่างขั้นต่ำที่ต้องทำในแต่ละการทดลอง โดยมีรูปแบบสมการ ดังต่อไปนี้

$$n = (z_{1-\alpha/2} + z_{1-\beta})^2 / (N\delta^2) \quad \text{--- (5.6)}$$

โดยที่ n คือ ขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้

N คือ จำนวนการทดลองเชิงแฟกทอเรียลที่ทำการทดลอง

$\delta$  คือ ค่าความแตกต่างของข้อบกพร่องที่ได้แปลงค่าแล้ว

จากการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองเพื่อให้ความแปรปรวนคงที่ด้วยวิธีรากที่สองของ Arcsin เนื่องจากเงื่อนไขในการผลิตในปัจจุบันอยู่ที่จุดยอดจะใช้การคำนวณตัวอย่างด้านเดียว ดังนั้น ค่าของความแตกต่างของข้อบกพร่องที่ได้แปลงค่าแล้ว จะเป็นไปดังสมการต่อไปนี้

$$\delta = \arcsin\sqrt{p_0} - \arcsin\sqrt{p_0 - \Delta} \quad (5.7)$$

โดยที่  $p_0$  คือ สัดส่วนของเสีย

$\Delta$  คือ สัดส่วนของเสียเป้าหมาย

โดยแทนค่า  $p_0 = 0.011$  และ  $\Delta = 0.0055$  ดังนั้น  $\delta = 0.031$  จากนั้นแทนค่า  $Z_{1-\alpha/2} = 1.96$   $Z_{1-\beta} = 0.84$   $N = 16$  และ  $\delta = 0.031$  ลงในสมการที่ 5.8 จะได้ค่า  $n = 545$  ตัวอย่าง/  
รัน

ทำการเก็บตัวอย่างอย่างน้อยจำนวน 545 ตัวอย่าง โดยมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 31 รัน เนื่องจากต้องมีการเปรียบเทียบจำนวนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการบีบทับกับค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นตายตัด และการเปลี่ยนยางยูรีเทน ซึ่งในแต่ละสภาวะการทดลองต้องทำการเก็บข้อมูล 600 ข้อมูล/รัน จะทำให้จำนวนในการเปรียบเทียบต่ำที่สุด คือ 600,000 สโตรก เนื่องจากอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด และการเปลี่ยนยางยูรีเทน มี 3 ระดับ คือ 30,000 40,000 และ 50,000 ต้องทำการเปรียบเทียบข้อมูลแต่ละรัน ใช้วิธีการหาครน.ของทั้ง 3 ระดับ โดยต้องทำการเก็บค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีบทับ และค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี และปรับตั้งเครื่องปั๊มตามเมทริกซ์ออกแบบตามตารางที่ 5.16 และจะทำการทดลองระยะแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)

### 5.3.7 วิธีการทดลอง

ในการทดลองต้องมีการกำหนดระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดระดับต่ำจะมีค่าเท่ากับ 30,000 สโตรก โดยจะต้องทำการปั๊มสโตรกที่ 1 ถึง 29,999 สโตรก และตั้งแต่สโตรกที่ 30,000 จะนำไปทำการทดลองในสภาวะการทดลองต่างๆ โดยปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดเป็นปัจจัยที่กำหนดลำดับในการทดลอง ซึ่งการจัดลำดับแบบสุ่มทำได้ยากเนื่องจากใช้เวลาในการเปลี่ยนชุดแท่งตัดและแผ่นตายตัดเป็นเวลานาน และค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง โดยการเก็บข้อมูลในสภาวะปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดที่ระดับต่ำมีค่าเท่ากับ 30,000 สโตรก ในการทดลองครั้งที่ 1 ของระดับต่ำจะทำการเก็บข้อมูลความสูงครีบทที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดเท่ากับสโตรกที่ 30,000 ในการทดลองครั้งที่ 2 จะทำการเก็บข้อมูลความสูงครีบทที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดเท่ากับสโตรกที่ 30,600 ส่วนการทดลองอื่นๆจะเก็บข้อมูลความสูงครีบทที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดที่เพิ่มครั้งละ 600 สโตรกตามการคำนวณตัวอย่างในการทดลองจนครบสภาวะการทดลองที่ระดับต่ำ

หากทำการทดลองต่อที่ระดับกลางมีค่าเท่ากับ 40,000 สโตรก โดยในการทดลองครั้งที่ 1 ของระดับกลางจะทำการเก็บข้อมูลความสูงครีบริบที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดเท่ากับสโตรกที่ 40,000 ในการทดลองครั้งที่ 2 จะทำการเก็บข้อมูลความสูงครีบริบที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดเท่ากับสโตรกที่ 40,600 ส่วนการทดลองอื่นๆจะเก็บข้อมูลความสูงครีบริบที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดที่เพิ่มครั้งละ 600 สโตรกตามการคำนวณตัวอย่างในการทดลองจนครบสภาวะการทดลองที่ระดับกลาง หากการทดลองที่ปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดที่ระดับสูงมีค่าเท่ากับ 50,000 สโตรก โดยในการทดลองครั้งที่ 1 ของระดับสูงจะทำการเก็บข้อมูลความสูงครีบริบที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดเท่ากับสโตรกที่ 50,000 ในการทดลองครั้งที่ 2 จะทำการเก็บข้อมูลความสูงครีบริบที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดเท่ากับสโตรกที่ 50,600 ส่วนการทดลองอื่นๆจะเก็บข้อมูลความสูงครีบริบที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดเพิ่มครั้งละ 600 สโตรกตามการคำนวณตัวอย่างในการทดลองจนครบสภาวะการทดลองที่ระดับสูง

ปัจจัยอายุการใช้งานของยางยูรีเทน และความแข็งของยางยูรีเทน โดยจะเป็นปัจจัยที่กำหนดลำดับจึงต้องทำการเตรียมยางยูรีเทนทั้ง 3 ชนิดให้พร้อมสำหรับการทดลองในทั้ง 3 ระดับ โดยในการทดลองระดับต่ำจะต้องทำการป้อนยางยูรีเทนทั้ง 3 ชนิดตั้งแต่สโตรกที่ 1 ถึง 29,999 สโตรก และใช้ยางยูรีเทนนั้นในการทดลองระดับต่ำในการป้อนสโตรกที่ 30,000 ในการทดลองระดับกลางจะต้องทำการป้อนยางยูรีเทนทั้ง 3 ชนิดตั้งแต่สโตรกที่ 1 ถึง 39,999 สโตรกและใช้ยางยูรีเทนนั้นในการทดลองระดับกลางในการป้อนสโตรกที่ 40,000 ส่วนการทดลองในระดับสูงจะต้องทำการป้อนยางยูรีเทนทั้ง 3 ชนิดตั้งแต่สโตรกที่ 1 ถึง 49,999 สโตรกและใช้ยางยูรีเทนนั้นในการทดลองระดับสูงในการป้อนสโตรกที่ 50,000 ซึ่งยางยูรีเทนทั้ง 3 ชนิด ซึ่งทั้งสามชนิดต้องถูกตัดแบ่งจากยางยูรีเทนแท่งยาวของแต่ละชนิด และแต่ละสภาวะการทดลองเพิ่มครั้งละ 600 สโตรกตามการคำนวณตัวอย่างในการทดลองจนครบสภาวะการทดลองของแต่ละระดับ

ปัจจัยความเร็วในการตัดเฉือนจะเป็นปัจจัยที่กำหนดลำดับแบบสุ่ม เป็นปัจจัยที่ปรับตั้งจากเครื่องจักรโดยในระดับต่ำมีการปรับตั้งค่าเท่ากับ 15 spm ระดับกลางมีการปรับตั้งค่าเท่ากับ 20 spm และ ระดับสูงเท่ากับ 25 spm

การใช้ระดับของปัจจัยต่างๆ ในการทดลองจะเป็นไปตามเมทริกซ์ออกแบบ ดังแสดงในตารางที่ 5.19

#### 5.4 สรุประยะวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากระยะการวิเคราะห์ระบบการวัดพบว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการป้อนทับ คือ อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด อายุการใช้งานของยางยูรีเทน ความแข็งของยางยูรีเทน ความเร็วในการตัดเฉือน วิธีการวางชิ้นงานบนแม่พิมพ์ และแรงกำหนดของเครื่องป้อน โดยในระยะวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาได้ทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยทั้งหมด พบว่าปัจจัยที่ส่งผลที่ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการป้อนทับ คือ อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด อายุการใช้งานของยางยูรีเทน ความแข็งของยางยูรีเทน ความเร็วในการตัด วิธีการวางชิ้นงานบนแม่พิมพ์ ส่วนปัจจัยที่ไม่ส่งผล คือ แรงกำหนดของเครื่องป้อน เนื่องจากปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษาใช้เครื่องป้อนที่มีแรงกำหนดเท่ากับ 800 kN ซึ่งมีแรงกำหนดมากกว่า 436.98 kN และปัจจัยวิธีการวางชิ้นงานบนแม่พิมพ์ ได้ทำการปรับปรุงโดยการปรับระยะวางบังคับห่างจากขอบชิ้นงาน จาก 2.25 mm. เป็น 5.00 mm. ตามรูปที่ 5.9 และทำการเก็บข้อมูลพบว่าความสูงครีบทั้งแผ่นเหล็กมีขนาดเท่ากับ 0.09 mm. ซึ่งไม่พบความแตกต่างจากความสูงครีบทั้งช่วงสโตรกเดียวกัน และทำการออกแบบการทดลองโดยมีปัจจัยนำเข้า 4 ปัจจัย คือ อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด อายุการใช้งานของยางยูรีเทน ความแข็งของยางยูรีเทน และความเร็วในการตัด และจะทำการทดลองระยะแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)

## บทที่ 6

### ระยะการปรับปรุงกระบวนการ (Improve phase : I)

ในระยจะนี้จะทำการทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) ตามแบบการออกแบบส่วนประสมกลาง หรือ CCD ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้จะใช้แผนการทดลองแบบ Faced – Center Central Composite Design ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab และนำผลการทดลองมาทำการตั้งค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตลดลง ซึ่งค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง และค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีมทับ

#### 6.1 ผลการทดลอง

จากการออกแบบการทดลองในตารางที่ 5.19 มาทำการทดลองเพื่อหาค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการผลิตต่ำที่สุดและหาค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีมทับ และค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต โดยทำการทดลองทั้งหมด 31 วัน ซึ่งจะทำการเก็บข้อมูลรันละ 600 ชิ้น และเนื่องจากในการทดลองต้องทำการคิดค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตดังนั้นต้องมีการคำนวณค่าใช้จ่ายที่อายุการใช้งานที่เท่ากันของยางยูรีเทนซึ่งมีด้วย 3 ระดับ คือ 30,000 40,000 และ 50,000 ซึ่งจากการคูณร่วมน้อยของอายุการใช้งานของแท่งและแผ่นด้ายตัดและอายุการใช้งานของยางยูรีเทนทั้ง 3 ระดับมีค่าเท่ากับ 600,000 สโตรก เพื่อให้เปรียบเทียบ ณ ช่วงสโตรกเดียวกัน โดยมีผลการทดลองเป็นไปดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ผลการทดลอง

Std Order	Unroded Unit				Coded Unit				จำนวน 600 ชิ้น / รัน						จำนวน 600,000 สวิตช์				ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยผลิต				
	A	B	C	D	A	B	C	D	ความไม่สมบูรณ์ ของการกด	รอยจากการ นึ่งทับ		ข้อบกพร่อง ประเภท		Total Expense of Defect	ค่าใช้จ่ายในการ ซ่อมบำรุง		Total Defect Cost	ค่าใช้จ่ายในการ ซ่อมบำรุง		Total Expense per Unit			
										Rework	Scrap	Cost	ชิ้น		Cost	ชิ้น		จำนวน	เสีย		จำนวน	เสีย	
1	30,000	30,000	35	15	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	4475	1058	0	89500	21160	0.00	0.15	0.04	0.18
2	30,000	30,000	35	25	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	4475	1058	0	89500	21160	0.00	0.15	0.04	0.18
3	30,000	30,000	95	15	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	4475	2461	0	89500	49220	0.00	0.15	0.08	0.23
4	30,000	30,000	95	25	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	4475	2461	0	89500	49220	0.00	0.15	0.08	0.23
5	30,000	50,000	35	15	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	4675	1258	0	93500	15096	0.00	0.16	0.03	0.18
6	30,000	50,000	35	25	-1	-1	-1	0	0	1	96	0	0	96	4675	1258	96000	93500	15096	0.16	0.16	0.03	0.34
7	30,000	50,000	95	15	-1	-1	-1	0	0	1	36	0	0	36	4675	2661	36000	93500	31932	0.06	0.16	0.05	0.27
8	30,000	50,000	95	25	-1	-1	-1	0	0	1	36	0	0	36	4675	2661	36000	93500	31932	0.06	0.16	0.05	0.27
23	30,000	40,000	90	20	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4675	2020	0	93500	30800	0.00	0.16	0.05	0.21
25	40,000	40,000	90	20	0	0	0	3	723	15	3	720	0	1443	4475	1820	1443000	67125	27300	2.41	0.11	0.05	2.56
26	40,000	40,000	90	20	0	0	0	3	750	17	2	732	0	1482	4475	1820	1482000	67125	27300	2.47	0.11	0.05	2.63
27	40,000	40,000	90	20	0	0	0	3	723	15	4	780	0	1503	4475	1820	1503000	67125	27300	2.51	0.11	0.05	2.66
28	40,000	40,000	90	20	0	0	0	2	725	18	3	828	0	1553	4475	1820	1553000	67125	27300	2.59	0.11	0.05	2.75
29	40,000	40,000	90	20	0	0	0	3	777	17	2	732	0	1509	4475	1820	1509000	67125	27300	2.52	0.11	0.05	2.67
30	40,000	40,000	90	20	0	0	0	2	833	18	1	788	0	1541	4475	1820	1541000	67125	27300	2.57	0.11	0.05	2.73
31	40,000	40,000	90	20	0	0	0	2	779	19	2	804	0	1583	4475	1820	1583000	67125	27300	2.64	0.11	0.05	2.80
17	40,000	40,000	90	15	0	0	-1	3	372	10	2	480	0	852	4475	1820	852000	67125	27300	1.42	0.11	0.05	1.58

ตารางที่ 6.1 ผลการทดลอง (ต่อ)

Std Order	Unroled Unit				Coded Unit		จำนวน 000 ชิ้น / รัน						จำนวน 000,000 สติ๊ก				ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยผลิต								
	A	B	C	D	A	B	C	D	ความไม่สมบูรณ์ของการกด	รอยจากการหนีบทับ	ข้อบกพร่อง 2 ประเภท	Total Expense of Defect	ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง	ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง	Total Defect Cost	ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง	ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง	Total Expense per Unit							
18	40,000	40,000	90	25	0	0	0	1	30	4	1126	20	5	1020	0	0	2146	4475	1820	67125	27300	3.58	0.11	0.05	3.73
19	40,000	40,000	35	20	0	0	-1	0	22	2	732	15	3	720	0	0	1472	4475	1058	67125	15870	2.45	0.11	0.03	2.59
20	40,000	40,000	95	20	0	0	1	0	23	2	779	12	4	672	0	0	1451	4475	2461	67125	36915	2.42	0.11	0.06	2.59
21	40,000	30,000	90	20	0	-1	0	0	24	1	727	16	3	756	0	0	1483	4475	1258	70125	18870	2.47	0.12	0.03	2.62
22	40,000	50,000	90	20	0	1	0	0	23	2	779	19	2	804	0	0	1583	4475	2661	70125	39915	2.64	0.12	0.07	2.82
9	50,000	30,000	35	15	1	-1	-1	15	2	563	13	3	648	1	63	1274	4675	1258	56100	25160	2.12	0.09	0.04	2.26	
10	50,000	30,000	35	25	1	-1	-1	34	12	1866	27	8	1452	3	189	3507	4675	1258	56100	25160	5.85	0.09	0.04	5.98	
11	50,000	30,000	95	15	1	-1	-1	15	3	642	13	2	588	1	63	1293	4675	2661	56100	53220	2.16	0.09	0.09	2.34	
12	50,000	30,000	95	25	1	-1	1	39	10	1843	27	6	1332	3	189	3364	4675	2661	56100	53220	5.61	0.09	0.09	5.79	
13	50,000	50,000	35	15	1	-1	-1	17	4	775	15	3	720	2	126	1621	4475	1058	53700	12696	2.70	0.09	0.02	2.81	
14	50,000	50,000	35	25	1	-1	-1	46	11	2111	26	7	1356	4	252	3719	4475	1058	53700	12696	6.20	0.09	0.02	6.31	
15	50,000	50,000	95	15	1	1	-1	15	5	800	15	2	660	1	63	1523	4475	2461	53700	29532	2.54	0.09	0.05	2.68	
16	50,000	50,000	95	25	1	1	1	43	12	2109	28	5	1308	5	315	3732	4475	2461	53700	29532	6.22	0.09	0.05	6.36	
24	50,000	40,000	90	20	1	0	0	37	5	1394	24	4	1104	1	63	2561	4675	2020	56100	36300	4.27	0.09	0.05	4.41	

หมายเหตุ A คือ อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด

B คือ อายุการใช้งานของยางยูรีเทน

C คือ ความแข็งของยางยูรีเทน D คือ ความเร็วในการตัดเฉือน



## 6.2 ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

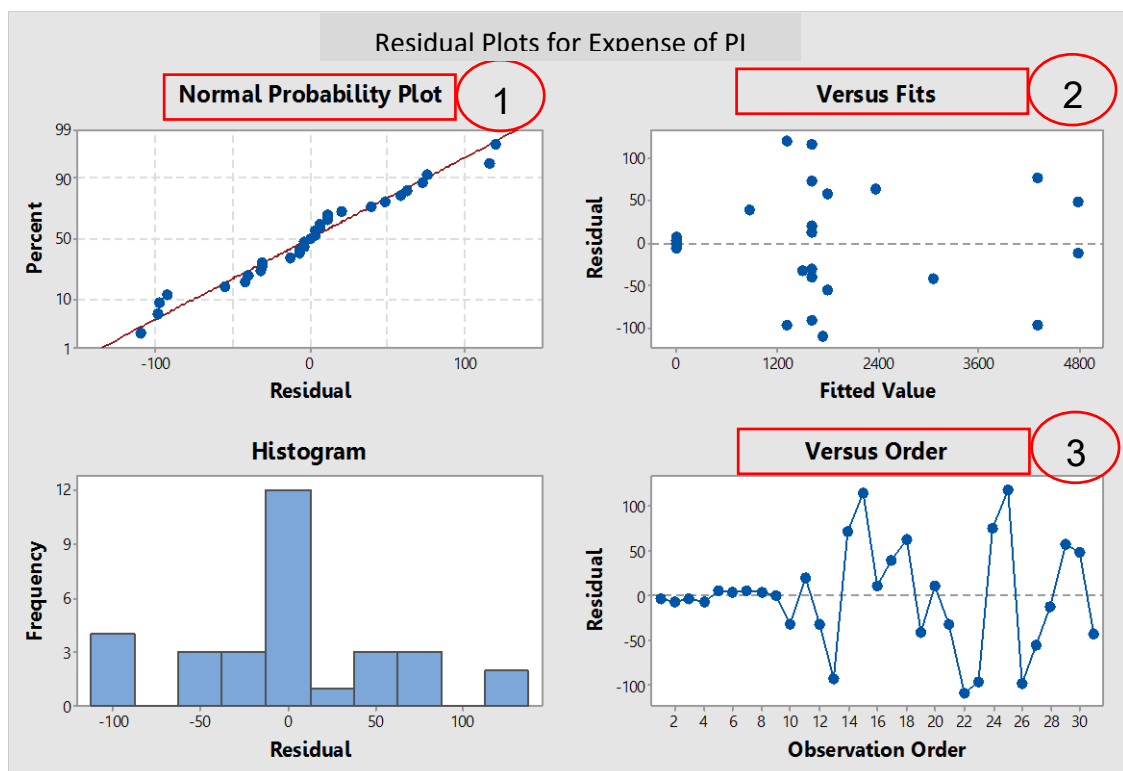
การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ว่ามีคุณสมบัติเป็นไปตามหลักการ NID ( $0, \sigma^2$ ) หรือไม่ โดยทำการวิเคราะห์ค่าส่วนตกค้างของการทดลอง ประกอบด้วยเงื่อนไข 3 ประการ ดังนี้

1. ทดสอบการแจกแจงปกติ (Normality Assumption)
2. ทดสอบความเป็นอิสระ (Independent)
3. ทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน (Variance Stability)

ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด รอยจากการบีบทับ และค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต ด้วยการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Minitab ซึ่งมีผลลัพธ์ ดังนี้

6.2.1 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด

ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลองค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดเป็นไปดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6. 1 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด

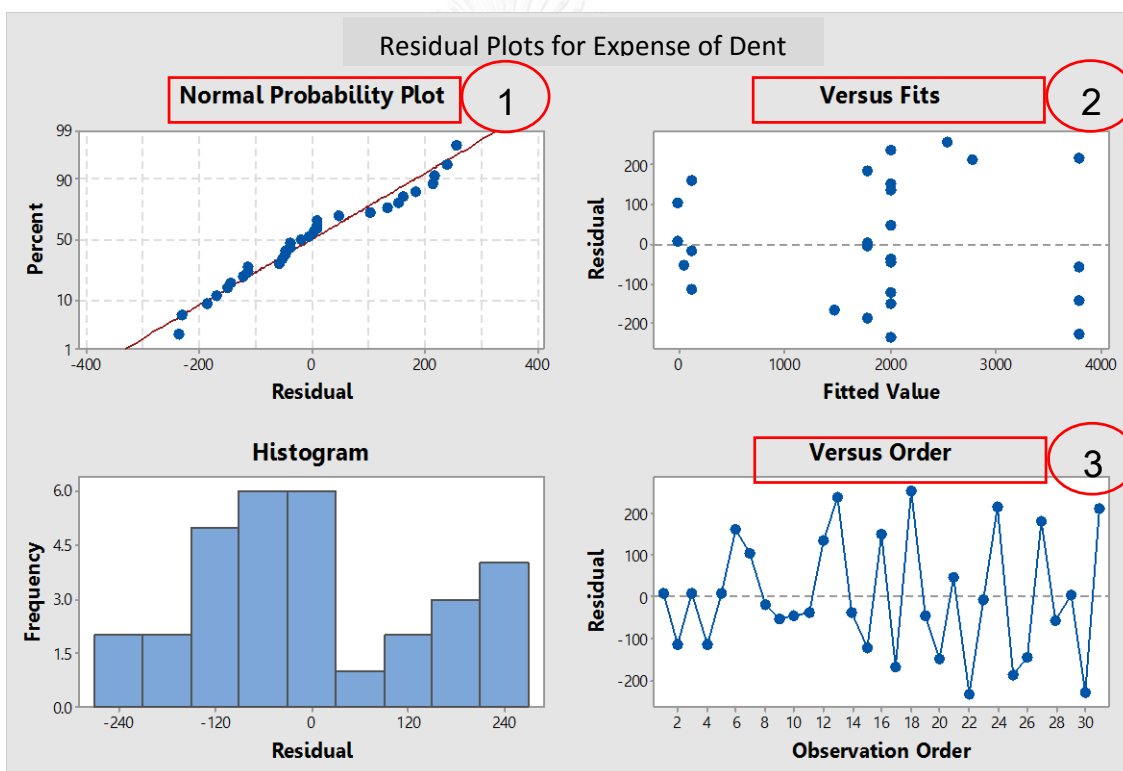
จากรูปที่ 6.1 สามารถตีความหมายของความถูกต้องของแบบจำลองค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด ดังนี้

1. ทดสอบการแจกแจงแบบปกติ พิจารณาจากกราฟ Normal Probability Plot พบว่าการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (Residual) และความน่าจะเป็นสะสมของค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง แสดงว่าชุดข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ
2. ทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน พิจารณาจากกราฟ Versus Fits พบว่าชุดข้อมูลค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด มีการกระจายตัวเป็นอิสระ และไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน แสดงว่าชุดข้อมูลค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดมีเสถียรภาพของความแปรปรวน

3. ทดสอบความเป็นอิสระ พิจารณาจากกราฟ Versus Order พบว่าชุดข้อมูลค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดมีการกระจายในรูปแบบที่แน่นอนเพราะในช่วงแรกส่วนตักค้ำมีค่าน้อยและช่วงหลังมีส่วนตักค้ำมีค่ามากขึ้น

6.2.2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการบีบทับ

ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลองค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการบีบทับ เป็นไปดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6. 2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการบีบทับ

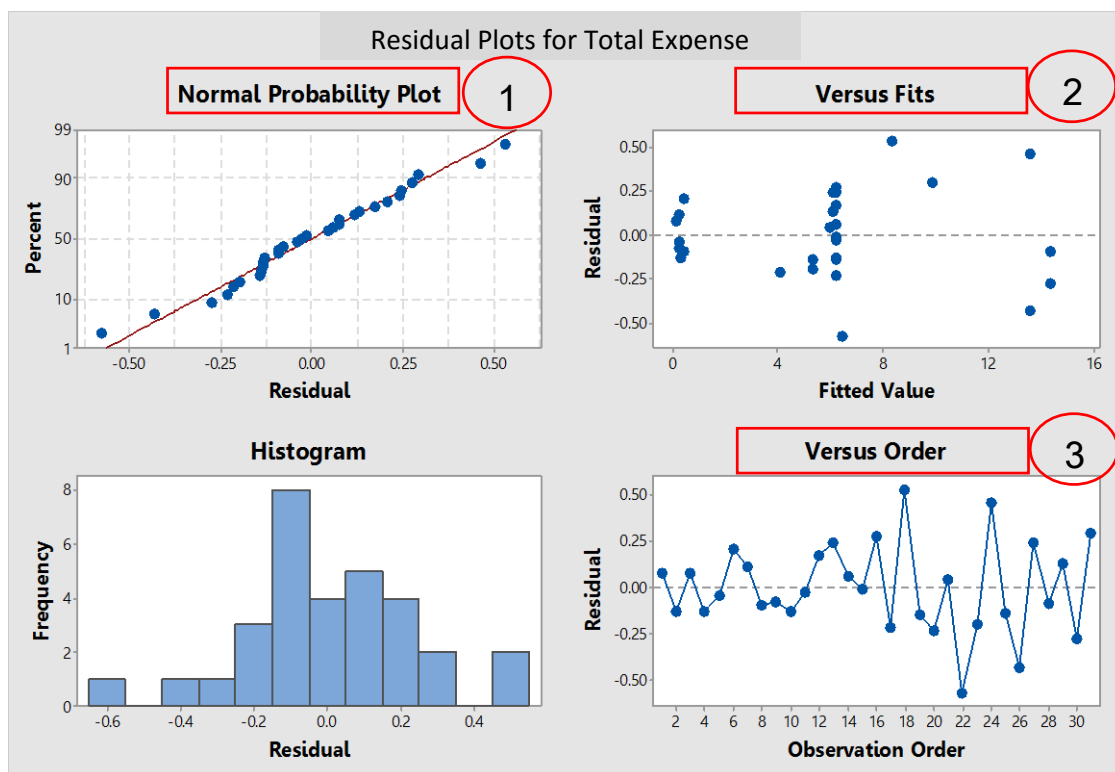
จากรูปที่ 6.2 สามารถตีความหมายของความถูกต้องของแบบจำลองค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการบีบทับ ดังนี้

1. ทดสอบการแจกแจงแบบปกติ พิจารณาจากกราฟ Normal Probability Plot พบว่าการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (Residual) และมีความน่าจะเป็นสะสมของค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการบีบทับมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง แสดงว่าชุดข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ
2. ทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน พิจารณาจากกราฟ Versus Fits พบว่าชุดข้อมูลค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการบีบทับ มีการกระจายตัวเป็นอิสระ และไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน แสดงว่าชุดข้อมูลค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการบีบทับมีเสถียรภาพของความแปรปรวน
3. ทดสอบความเป็นอิสระ พิจารณาจากกราฟ Versus Order พบว่าชุดข้อมูลค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการบีบทับมีการกระจายตัวในรูปแบบที่แน่นอน เพราะในช่วงแรกส่วนตกค้างมีค่าน้อยและช่วงหลังมีส่วนตกค้างมีค่ามากขึ้น

#### 6.2.3 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต

ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลองค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต เป็นไปตามรูปที่

6.3



รูปที่ 6.3 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต

จากรูปที่ 6.2 สามารถตีความหมายของความถูกต้องของแบบจำลองค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต ดังนี้

1. ทดสอบการแจกแจงแบบปกติ พิจารณาจากกราฟ Normal Probability Plot พบว่าการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (Residual) และมีความน่าจะเป็นสะสมของค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตเป็นเส้นตรง แสดงว่าชุดข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ
2. ทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน พิจารณาจากกราฟ Versus Fits พบว่าชุดข้อมูลค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตมีการกระจายตัวเป็นอิสระ และไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน แสดงว่าชุดข้อมูลค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตมีเสถียรภาพของความแปรปรวน
3. ทดสอบความเป็นอิสระ พิจารณาจากกราฟ Versus Order พบว่าชุดข้อมูลค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตมีการกระจายตัวในรูปแบบที่แน่นอนเพราะในช่วงแรกส่วนตกค้างมีค่าน้อย และช่วงหลังมีส่วนตกค้างมีค่ามากขึ้น

### 6.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

6.3.1 วิเคราะห์ผลการทดลองที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด

การวิเคราะห์ผลการทดลองของปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด (A) อายุการใช้งานของยางยูรีเทน (B) ความแข็งของยางยูรีเทน (C) และความเร็วในการตัดเฉือน (D) ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด โดยใช้โปรแกรม Minitab มีผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

#### Response Surface Regression: Expense of PI versus A, B, C, D

##### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	14	11886833	849059	623.13	0.000
Linear	4	74909	18727	13.74	0.000
A	1	3675	3675	2.70	0.120
B	1	415	415	0.30	0.589
C	1	82	82	0.06	0.809
D	1	27929	27929	20.50	0.000
Square	4	44723	11181	8.21	0.001
A*A	1	11640	11640	8.54	0.010
B*B	1	312	312	0.23	0.639
C*C	1	98	98	0.07	0.792
D*D	1	582	582	0.43	0.523
2-Way Interaction	6	1708066	284678	208.93	0.000
A*B	1	48510	48510	35.60	0.000
A*C	1	836	836	0.61	0.445
A*D	1	1657013	1657013	1216.08	0.000
B*C	1	336	336	0.25	0.626
B*D	1	1243	1243	0.91	0.354
C*D	1	129	129	0.10	0.762
Error	16	21801	1363		
Lack-of-Fit	10	11774	1177	0.70	0.703
Pure Error	6	10028	1671		
Total	30	11908634			

##### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
36.9132	99.82%	99.66%	99.37%

##### Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		1302	382	3.40	0.004	
A	-0.0630	-0.0315	0.0192	-1.64	0.120	486.23
B	-0.0212	-0.0106	0.0192	-0.55	0.589	486.23
C	-5.6	-2.8	11.5	-0.25	0.809	2017.09
D	-347.4	-173.7	38.4	-4.53	0.000	486.23
A*A	-0.000001	-0.000001	0.000000	-2.92	0.010	446.81
B*B	-0.000000	-0.000000	0.000000	-0.48	0.639	446.81
C*C	0.0468	0.0234	0.0874	0.27	0.792	1909.16
D*D	-1.198	-0.599	0.917	-0.65	0.523	446.81
A*B	0.000001	0.000001	0.000000	5.97	0.000	37.00
A*C	0.000046	0.000023	0.000030	0.78	0.445	27.91

A*D	0.012873	0.006436	0.000185	34.87	0.000	37.00
B*C	-0.000029	-0.000015	0.000030	-0.50	0.626	27.91
B*D	0.000353	0.000176	0.000185	0.95	0.354	37.00
C*D	-0.0365	-0.0183	0.0593	-0.31	0.762	27.91

#### Regression Equation in Uncoded Units

Expense of PI = 1302 - 0.0315 A - 0.0106 B - 2.8 C - 173.7 D - 0.000001 A\*A  
 - 0.000000 B\*B + 0.0234 C\*C - 0.599 D\*D + 0.000001 A\*B + 0.000023 A\*C  
 + 0.006436 A\*D - 0.000015 B\*C + 0.000176 B\*D - 0.0183 C\*D

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจาก  
 ข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ได้แก่ ปัจจัยอายุการใ้  
 งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด (A) ปัจจัยจำนวนอายุการใช้งานของยางยูรีเทน (B) ปัจจัยความเร็วใน  
 การตัดเฉือน (D) ผลกระทบของพจน์กำลังสองของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด (A<sup>2</sup>)  
 ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดและอายุการใช้งานของยางยูรี  
 เทน (AB) และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดและปัจจัย  
 ความเร็วในการตัดเฉือน (AD) จากนั้นนำข้อมูลไปทำการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธี Stepwise  
 Regression โดยโปรแกรม minitab ซึ่งมีผลลัพธ์ ดังนี้

#### Response Surface Regression: Expense of PI versus A, B, C, D

Stepwise Selection of Terms

$\alpha$  to enter = 0.05,  $\alpha$  to remove = 0.05

The stepwise procedure added terms during the procedure in order to maintain  
 a hierarchical model at each step.

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	6	11882095	1980349	1790.88	0.000
Linear	3	995104	331701	299.97	0.000
A	1	2303	2303	2.08	0.162
B	1	26871	26871	24.30	0.000
D	1	871832	871832	788.42	0.000
Square	1	54433	54433	49.23	0.000
A*A	1	54433	54433	49.23	0.000
2-Way Interaction	2	1705523	852761	771.17	0.000
A*B	1	48510	48510	43.87	0.000
A*D	1	1657013	1657013	1498.48	0.000
Error	24	26539	1106		
Lack-of-Fit	18	16511	917	0.55	0.849
Pure Error	6	10028	1671		
Total	30	11908634			

#### Model Summary

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
33.2535	99.78%	99.72%	99.66%

#### Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		1220	271	4.51	0.000	

A	-0.0312	-0.0156	0.0108	-1.44	0.162	189.62
B	-0.03368	-0.01684	0.00342	-4.93	0.000	19.00
D	-383.72	-191.86	6.83	-28.08	0.000	19.00
A*A	-0.000002	-0.000001	0.000000	-7.02	0.000	153.62
A*B	0.000001	0.000001	0.000000	6.62	0.000	37.00
A*D	0.012873	0.006436	0.000166	38.71	0.000	37.00

Regression Equation in Uncoded Units

Expense of PI = 1220 - 0.0156 A - 0.01684 B - 191.86 D - 0.000001 A\*A  
+ 0.000001 A\*B + 0.006436 A\*D

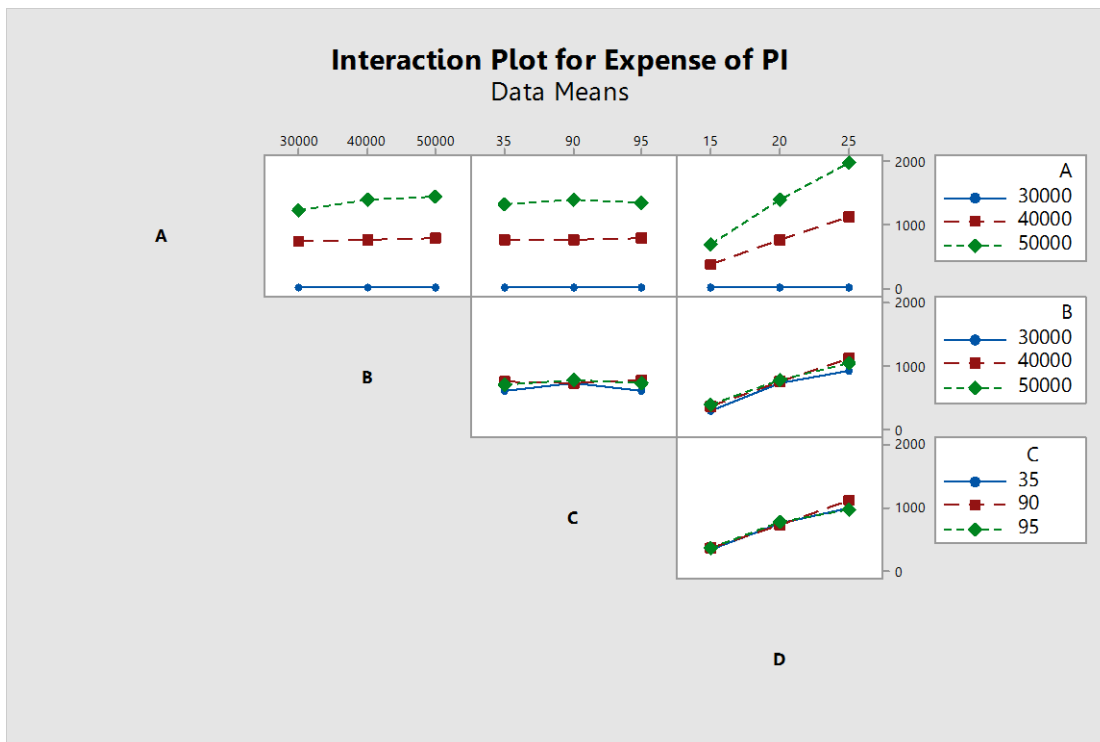
จากการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธี Stepwise Regression พบว่ามีปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด ดังแสดงในสมการความสัมพันธ์ ดังนี้

Expense of PI = 1220 - 0.0156 A - 0.01684 B - 191.86 D - 0.000001 A<sup>2</sup> + 0.000001 AB  
+ 0.006436 AD

ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R<sup>2</sup>) มีค่าเท่ากับร้อยละ 99.78 และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (R<sup>2</sup> (adj)) มีค่าเท่ากับร้อยละ 99.72 เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าสูง แสดงว่าสมการสามารถอธิบายความผันแปรของข้อมูลได้ดี

จากสมการพบว่าผลกระทบร่วมมีนัยสำคัญ ได้แก่ ปัจจัยอายุการใช้งาน-v' แห่งตัดและแผ่นตายตัด (A) ปัจจัยอายุการใช้งานของยางยูรีเทน (B) ปัจจัยความเร็วในการตัดเฉือน (D) ผลกระทบของพจน์กำลังสองของอายุการใช้งานของแห่งตัดและแผ่นตายตัด (A<sup>2</sup>) ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยอายุการใช้งานของแห่งตัดและแผ่นตายตัดและอายุการใช้งานของยางยูรีเทน (AB) ดังแสดงในรูปที่ 6.4





รูปที่ 6. 4 ผลกระทบร่วมของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภท ความไม่สมบูรณ์ของการกด

จากรูปที่ 6.4 จะเห็นได้ว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลกระทบร่วมระหว่างอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดกับอายุการใช้งานของยางยูรีเทน (AB) สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ผลของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดมากขึ้น ไม่ว่าจะอายุการใช้งานของยางยูรีเทนอยู่ในระดับใดก็ตาม

2. ผลของอายุการใช้งานของยางยูรีเทน ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด ขึ้นอยู่กับระดับของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด ดังนี้

2.1. ที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดระดับต่ำ หรือ 30,000 สโตรก หากมีการเปลี่ยนระดับอายุการใช้งานที่ใช้งานของยางยูรีเทนจะไม่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด ทั้งนี้เนื่องจากอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น จะเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด แต่อายุการใช้งานของยางยูรีเทนมากขึ้น ยังไม่ส่งผลค่าใช้จ่ายที่เกิดจาก

ของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด เนื่องด้วยยางยูรีเทนทั้ง 3 ความแข็งสามารถรับแรงได้มากกว่า 80 ตัน และยางยูรีเทนยังไม่เสียรูป

2.2. ที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดที่ระดับกลาง หรือ 40,000 สโตรก และระดับสูง หรือ 50,000 สโตรก หากมีการเปลี่ยนระดับอายุการใช้งานของยางยูรีเทนจากน้อยไปมาก จะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น จะทำให้เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น หากอายุการใช้งานของยางยูรีเทนมากขึ้น จะทำให้เกิดการเสียรูปของยางยูรีเทนเนื่องจากการรับแรงอัดสะสม จะส่งผลให้เกิดครีบสูงขึ้น ทำให้ส่งผลต่อการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดสูงขึ้นเล็กน้อย

ผลกระทบร่วมระหว่างอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดกับความเร็วในการตัดเฉือน (AD) สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ผลของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดมากขึ้น ไม่ว่าจะความเร็วในการตัดเฉือนอยู่ในระดับใดก็ตาม

2. ผลของความเร็วในการตัดเฉือน ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด ขึ้นอยู่กับระดับของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดดังนี้

2.1. ที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดระดับต่ำ หรือ 30,000 สโตรก หากมีการเปลี่ยนระดับความเร็วในการตัดเฉือนจะไม่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด ทั้งนี้เนื่องจากอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดที่ระดับต่ำ และใช้ความเร็วตัดเฉือนในระดับต่างๆ จะไม่ส่งผลทำให้เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นตายตัดเกินค่าที่ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด

2.2. ที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดที่ระดับกลาง หรือ 40,000 สโตรก และระดับสูง หรือ 50,000 สโตรก หากมีการเปลี่ยนระดับความเร็วในการตัดเฉือนน้อยไปมาก จะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดที่ระดับสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น จะทำให้เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น หากความเร็วในการตัดเฉือนมาก จะทำให้เกิดการความสึกหรอของแท่งตัดและ

แผ่นตายตัดมากขึ้น จะส่งผลการเกิดครีบสูงขึ้น ทำให้ส่งผลต่อการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดสูงขึ้น

### 6.3.2 วิเคราะห์ผลการทดลองที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการป้อนทับ

การวิเคราะห์ผลการทดลองของปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด (A) อายุการใช้งานของยางยูรีเทน (B) ความแข็งของยางยูรีเทน (C) และความเร็วในการตัดเฉือน (D) ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการป้อนทับ โดยใช้โปรแกรม Minitab มีผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

#### Response Surface Regression: Expense of Dent versus A, B, C, D

##### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	14	6067657	433404	147.60	0.000
Linear	4	154378	38594	13.14	0.000
A	1	83245	83245	28.35	0.000
B	1	506	506	0.17	0.683
C	1	13516	13516	4.60	0.048
D	1	6133	6133	2.09	0.168
Square	4	391606	97901	33.34	0.000
A*A	1	106986	106986	36.43	0.000
B*B	1	1617	1617	0.55	0.469
C*C	1	13520	13520	4.60	0.048
D*D	1	66	66	0.02	0.883
2-Way Interaction	6	473005	78834	26.85	0.000
A*B	1	1296	1296	0.44	0.516
A*C	1	1825	1825	0.62	0.442
A*D	1	467856	467856	159.33	0.000
B*C	1	251	251	0.09	0.774
B*D	1	1764	1764	0.60	0.450
C*D	1	13	13	0.00	0.947
Error	16	46982	2936		
Lack-of-Fit	10	34187	3419	1.60	0.291
Pure Error	6	12795	2133		
Total	30	6114639			

##### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
54.1885	99.23%	98.56%	96.35%

##### Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		-3571	561	-6.36	0.000	
A	0.2999	0.1500	0.0282	5.32	0.000	486.23
B	-0.0234	-0.0117	0.0282	-0.42	0.683	486.23
C	72.2	36.1	16.8	2.15	0.048	2017.09
D	-162.8	-81.4	56.3	-1.45	0.168	486.23
A*A	-0.000004	-0.000002	0.000000	-6.04	0.000	446.81

B*B	0.000000	0.000000	0.000000	0.74	0.469	446.81
C*C	-0.551	-0.275	0.128	-2.15	0.048	1909.16
D*D	-0.40	-0.20	1.35	-0.15	0.883	446.81
A*B	-0.000000	-0.000000	0.000000	-0.66	0.516	37.00
A*C	-0.000069	-0.000034	0.000044	-0.79	0.442	27.91
A*D	0.006840	0.003420	0.000271	12.62	0.000	37.00
B*C	0.000025	0.000013	0.000044	0.29	0.774	27.91
B*D	-0.000420	-0.000210	0.000271	-0.78	0.450	37.00
C*D	-0.0117	-0.0058	0.0870	-0.07	0.947	27.91

Regression Equation in Uncoded Units

Expense of Dent = -3571 + 0.1500 A - 0.0117 B + 36.1 C - 81.4 D  
 - 0.000002 A\*A + 0.000000 B\*B - 0.275 C\*C - 0.20 D\*D - 0.000000 A\*B  
 - 0.000034 A\*C + 0.003420 A\*D + 0.000013 B\*C - 0.000210 B\*D - 0.0058 C\*D

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการบีบอัดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้แก่ ปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด (A) ความเร็วในการตัดเฉือน (D) ผลกระทบของพจน์กำลังสองของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด (A<sup>2</sup>) และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและความเร็วในการตัดเฉือน (AD) จากนั้นนำข้อมูลไปทำการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธี Stepwise Regression โดยโปรแกรม Minitab ซึ่งมีผลลัพธ์ ดังนี้

#### Response Surface Regression: Expense of Dent versus A, B, C, D

Stepwise Selection of Terms

$\alpha$  to enter = 0.05,  $\alpha$  to remove = 0.05

The stepwise procedure added terms during the procedure in order to maintain a hierarchical model at each step.

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	4	6041590	1510398	537.59	0.000
Linear	2	759957	379978	135.24	0.000
A	1	292642	292642	104.16	0.000
D	1	228703	228703	81.40	0.000
Square	1	405566	405566	144.35	0.000
A*A	1	405566	405566	144.35	0.000
2-Way Interaction	1	467856	467856	166.52	0.000
A*D	1	467856	467856	166.52	0.000
Error	26	73049	2810		
Lack-of-Fit	20	60254	3013	1.41	0.353
Pure Error	6	12795	2133		
Total	30	6114639			

#### Model Summary

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
53.0055	98.81%	98.62%	98.30%

#### Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		-2993	372	-8.04	0.000	
A	0.3341	0.1670	0.0164	10.21	0.000	171.62

D	-196.5	-98.3	10.9	-9.02	0.000	19.00
A*A	-0.000005	-0.000002	0.000000	-12.01	0.000	153.62
A*D	0.006840	0.003420	0.000265	12.90	0.000	37.00

Regression Equation in Uncoded Units

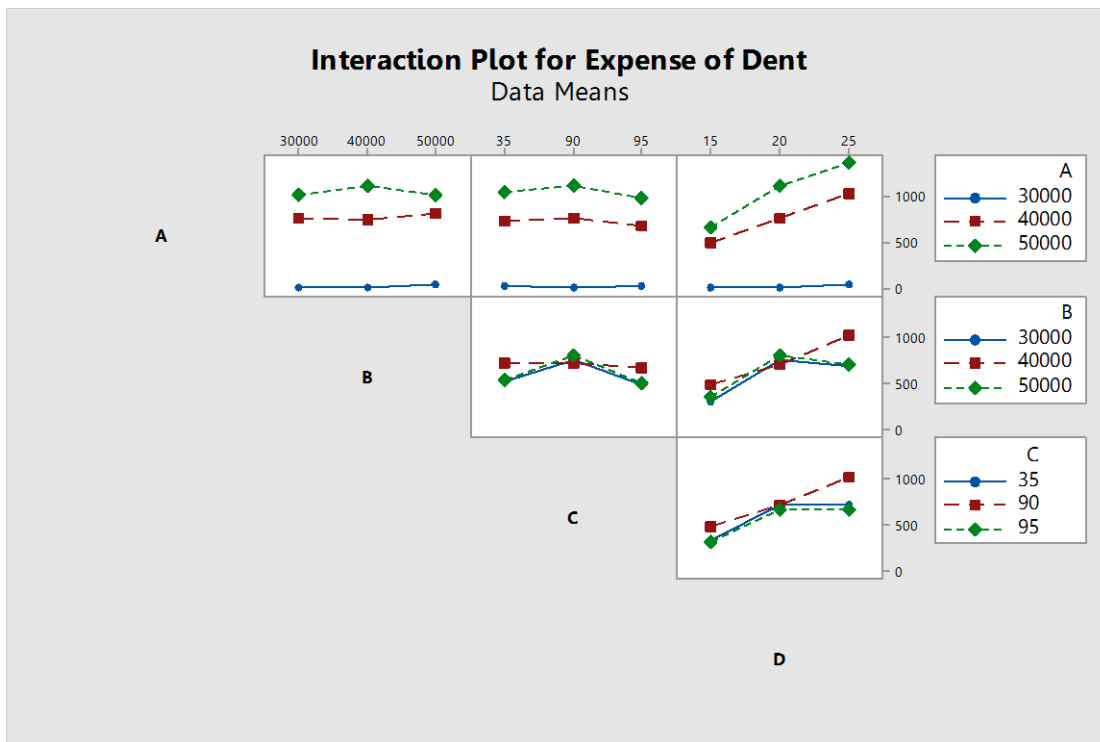
Expense of Dent = -2993 + 0.1670 A - 98.3 D - 0.000002 A\*A + 0.003420 A\*D

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธี Stepwise Regression พบว่ามีปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการป้อนทับ ดังแสดงในสมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\text{Expense of dent} = -2993 + 0.1670 A - 98.3 D - 0.000002 A^2 + 0.003420 AD$$

ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) มีค่าเท่ากับร้อยละ 98.81 และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว ( $R^2$  (adj)) มีค่าเท่ากับร้อยละ 98.62 เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าสูง แสดงว่าสมการสามารถอธิบายความผันแปรของข้อมูลได้ดี

จากสมการพบว่าผลกระทบร่วมที่มีนัยสำคัญ ได้แก่ ปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด (A) ความเร็วในการตัดเฉือน (D) ผลกระทบของพจน์กำลังสองของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด ( $A^2$ ) และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและความเร็วในการตัดเฉือน (AD) โดยมีรายละเอียดดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6. 5 ผลกระทบร่วมของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการปั๊มทับ

จากรูปที่ 6.5 จะเห็นได้ว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลกระทบร่วมระหว่างอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดกับความเร็วในการตัดเฉือน (AD) สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ผลของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการปั๊มทับมากขึ้น ไม่ว่าจะความเร็วตัดในเดือนระดับใดก็ตาม

2. ผลของความเร็วในการตัดเฉือน ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการปั๊มทับ ขึ้นอยู่กับระดับของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด ดังนี้

2.1. ที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดระดับต่ำ หรือ 30,000 สโตรก หากระดับความเร็วในการตัดเฉือนอยู่ในระดับต่ำจะไม่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการปั๊มทับ แต่จะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการปั๊มทับที่เปลี่ยนความเร็วในการตัดเฉือนเป็นมากขึ้นยิ่งทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก หากมีการเปลี่ยนระดับความเร็วในการตัดเฉือนน้อยไปมาก จะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดที่ระดับสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้

เนื่องจาก อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น จะทำให้เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น หากความเร็วในการตัดยิ่งมาก จะทำให้เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น จะส่งผลเกิดการเกิดครีบสูงขึ้น ทำให้ส่งผลต่อการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการป้อนที่บวมสูงขึ้น

2.2. ที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดที่ระดับกลาง หรือ 40,000 สโตรก และระดับสูง หรือ 50,000 สโตรก หากมีการเปลี่ยนระดับความเร็วในการตัดเดือนจากน้อยไปมาก จะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องรอยจากการป้อนที่ระดับสูงขึ้นไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น จะทำให้เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น หากความเร็วในการตัดยิ่งมาก จะทำให้เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น จะส่งผลเกิดการเกิดครีบสูงขึ้น ทำให้ส่งผลต่อการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการป้อนที่บวมสูงขึ้น

### 6.3.3 วิเคราะห์ผลการทดลองที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต

การวิเคราะห์ผลการทดลองของปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด (A) อายุการใช้งานของยางยูรีเทน (B) ความแข็งของยางยูรีเทน (C) และความเร็วในการตัดเดือน (D) ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต โดยใช้โปรแกรม Minitab มีผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

#### Response Surface Regression: Total expense per unit versus A, B, C, D

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	14	93.2799	6.6629	504.47	0.000
Linear	4	0.2624	0.0656	4.97	0.009
A	1	0.1263	0.1263	9.56	0.007
B	1	0.0059	0.0059	0.45	0.514
C	1	0.0271	0.0271	2.05	0.171
D	1	0.1637	0.1637	12.39	0.003
Square	4	1.7504	0.4376	33.13	0.000
A*A	1	0.4914	0.4914	37.21	0.000
B*B	1	0.0022	0.0022	0.16	0.691
C*C	1	0.0257	0.0257	1.95	0.182
D*D	1	0.0034	0.0034	0.26	0.618
2-Way Interaction	6	10.8771	1.8128	137.26	0.000
A*B	1	0.0817	0.0817	6.18	0.024
A*C	1	0.0006	0.0006	0.04	0.841
A*D	1	10.7940	10.7940	817.25	0.000
B*C	1	0.0001	0.0001	0.01	0.920
B*D	1	0.0001	0.0001	0.01	0.923
C*D	1	0.0006	0.0006	0.05	0.830
Error	16	0.2113	0.0132		
Lack-of-Fit	10	0.1747	0.0175	2.86	0.105

Pure Error	6	0.0366	0.0061
Total	30	93.4913	

## Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.114924	99.77%	99.58%	98.97%

## Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		-3.20	1.19	-2.69	0.016	
A	0.000369	0.000185	0.000060	3.09	0.007	486.23
B	-0.000080	-0.000040	0.000060	-0.67	0.514	486.23
C	0.1023	0.0511	0.0357	1.43	0.171	2017.09
D	-0.841	-0.421	0.119	-3.52	0.003	486.23
A*A	-0.000000	-0.000000	0.000000	-6.10	0.000	446.81
B*B	0.000000	0.000000	0.000000	0.40	0.691	446.81
C*C	-0.000759	-0.000380	0.000272	-1.40	0.182	1909.16
D*D	-0.00290	-0.00145	0.00285	-0.51	0.618	446.81
A*B	0.000000	0.000000	0.000000	2.49	0.024	37.00
A*C	-0.000000	-0.000000	0.000000	-0.20	0.841	27.91
A*D	0.000033	0.000016	0.000001	28.59	0.000	37.00
B*C	-0.000000	-0.000000	0.000000	-0.10	0.920	27.91
B*D	-0.000000	-0.000000	0.000001	-0.10	0.923	37.00
C*D	-0.000080	-0.000040	0.000185	-0.22	0.830	27.91

## Regression Equation in Uncoded Units

Total expense per unit = -3.20 + 0.000185 A - 0.000040 B + 0.0511 C - 0.421 D - 0.000000 A\*A + 0.000000 B\*B - 0.000380 C\*C - 0.00145 D\*D + 0.000000 A\*B - 0.000000 A\*C + 0.000016 A\*D - 0.000000 B\*C - 0.000000 B\*D - 0.000040 C\*D

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้แก่ ปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด (A) ปัจจัยจำนวนอายุการใช้งานของยางยูรีเทน (B) ความเร็วในการตัดเฉือน (D) ผลกระทบของพจน์กำลังสองของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด (A<sup>2</sup>) ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดและปัจจัยจำนวนอายุการใช้งานของยางยูรีเทน (AB) และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและความเร็วในการตัดเฉือน (AD) จากนั้นนำข้อมูลไปทำการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธี Stepwise Regression โดยโปรแกรม Minitab ซึ่งมีผลลัพธ์ ดังนี้

**Response Surface Regression: Total expense per unit versus A, B, C, D**

Stepwise Selection of Terms

 $\alpha$  to enter = 0.05,  $\alpha$  to remove = 0.05

The stepwise procedure added terms during the procedure in order to maintain a hierarchical model at each step.

## Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	6	93.2366	15.5394	1464.41	0.000



Linear	3	8.3879	2.7960	263.49	0.000
A	1	0.5779	0.5779	54.46	0.000
B	1	0.0326	0.0326	3.08	0.092
D	1	5.5378	5.5378	521.87	0.000
Square	1	1.9967	1.9967	188.17	0.000
A*A	1	1.9967	1.9967	188.17	0.000
2-Way Interaction	2	10.8756	5.4378	512.45	0.000
A*B	1	0.0817	0.0817	7.69	0.011
A*D	1	10.7940	10.7940	1017.21	0.000
Error	24	0.2547	0.0106		
Lack-of-Fit	18	0.2180	0.0121	1.98	0.203
Pure Error	6	0.0366	0.0061		
Total	30	93.4913			

## Model Summary

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
0.103011	99.73%	99.66%	99.59%

## Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		-2.840	0.838	-3.39	0.002	
A	0.000493	0.000247	0.000033	7.38	0.000	189.62
B	-0.000037	-0.000019	0.000011	-1.75	0.092	19.00
D	-0.9671	-0.4835	0.0212	-22.84	0.000	19.00
A*A	-0.000000	-0.000000	0.000000	-13.72	0.000	153.62
A*B	0.000000	0.000000	0.000000	2.77	0.011	37.00
A*D	0.000033	0.000016	0.000001	31.89	0.000	37.00

## Regression Equation in Uncoded Units

Total expense per unit = -2.840 + 0.000247 A - 0.000019 B - 0.4835 D - 0.000000 A\*A + 0.000000 A\*B + 0.000016 A\*D

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธี Stepwise Regression พบว่ามีปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต ดังแสดงในสมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\text{Total expense per unit} = -2.840 + 0.000247 A - 0.000019 B - 0.4835 D - 0.000000 A^2 + 0.000000 AB + 0.000016 AD$$

ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) มีค่าเท่ากับร้อยละ 99.73 และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว ( $R^2$  (adj)) มีค่าเท่ากับร้อยละ 99.66 เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าสูง แสดงว่าสมการสามารถอธิบายความผันแปรของข้อมูลได้ดี จากสมการพบว่าผลกระทบร่วมที่มีนัยสำคัญ ได้แก่ ปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด (A) ความเร็วในการตัดเฉือน (D) ผลกระทบของพจน์กำลังสองของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด ( $A^2$ ) ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดและอายุการใช้งานของยางยูรีเทน (AB) และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยอายุการใช้งานก่อนของแท่งตัดและความเร็วในการตัดเฉือน (AD) โดยมีรายละเอียดดังรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 ผลกระทบร่วมของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต

จากรูปที่ 6.6 จะเห็นได้ว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลกระทบร่วมระหว่างอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดกับอายุการใช้งานของยางยูรีเทน (AB) สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ผลของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตมากขึ้น ไม่ว่าจะอายุการใช้งานของยางยูรีเทนอยู่ในระดับใดก็ตาม
2. ผลของอายุการใช้งานของยางยูรีเทน ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตขึ้นอยู่กับระดับของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด ดังนี้

2.1. ที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดระดับต่ำ หรือ 30,000 สโตรก หากอายุการใช้งานของยางยูรีเทนที่ระดับต่ำจะไม่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต แต่จะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตเมื่อเปลี่ยนอายุการใช้งานของยางยูรีเทนเป็นระดับสูง ทั้งนี้เนื่องจากอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น จะทำให้เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น หากความเร็วในการตัดยิ่งมาก จะทำให้เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น จะส่งผลให้เกิดครีบสูงขึ้น ทำให้ส่งผลต่อการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการปัมพ์สูงขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต

2.2. ที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดที่ระดับกลาง หรือ 40,000 สโตรก และระดับสูง หรือ 50,000 สโตรก หากมีการเปลี่ยนระดับอายุการใช้งานของยางยูรีเทนจากน้อยไปมาก จะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตที่ระดับสูงขึ้นไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจาก ทั้งนี้เนื่องจากอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น จะทำให้เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น หากความเร็วในการตัดยิ่งมาก จะทำให้เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น จะส่งผลการเกิดครีบสูงขึ้น ทำให้ส่งผลการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีบทับสูงขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต

ผลกระทบร่วมระหว่างอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดกับความเร็วในการตัดเฉือน (AD) สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ผลของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตมากขึ้น ไม่ว่าจะความเร็วตัดเฉือนในระดับใดก็ตาม

2. ผลของความเร็วในการตัดเฉือน ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต ขึ้นอยู่กับระดับของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด ดังนี้

2.1. ที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดระดับต่ำ หรือ 30,000 สโตรก หากความเร็วในการตัดเฉือนที่ระดับต่ำจะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต แต่จะส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตเมื่อเปลี่ยนความเร็วในการตัดเฉือนมากขึ้นยิ่งทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น จะทำให้เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น หากความเร็วในการตัดยิ่งมาก จะทำให้เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น จะส่งผลการเกิดครีบสูงขึ้น ทำให้ส่งผลการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการบีบทับสูงขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต

2.2. ที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดที่ระดับกลาง หรือ 40,000 สโตรก และระดับสูง หรือ 50,000 สโตรก หากมีการเปลี่ยนระดับความเร็วในการตัดเฉือนจากน้อยไปมาก จะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตที่ระดับสูงขึ้นไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น จะทำให้เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น หากความเร็วในการตัดยิ่งมาก จะทำให้เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น จะส่งผลการเกิดครีบสูงขึ้น ทำให้ส่งผลการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีบทับสูงขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต

## 6.4 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด

การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัจจัยที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตต่ำที่สุด โดยใช้โปรแกรม Minitab ซึ่งจะใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer เป็นการแสดงระดับที่เหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต ซึ่งเป้าหมายในการทดลอง คือ ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตเท่ากับ 0 บาท/ชิ้น เพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตต่ำที่สุด หรือใกล้เคียง 0 มากที่สุด และค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตสูงสุดที่ยอมรับได้เท่ากับ 0.3 บาท/ชิ้น ได้อ้างอิงมาจากการเสนอราคาของชิ้นงานได้ทำการคิดค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตเท่ากับ 0.3 บาท/ชิ้น โดยมีรายละเอียด ดังนี้

Parameters						
Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
Total Expense	Minimum		0	0.3	1	1

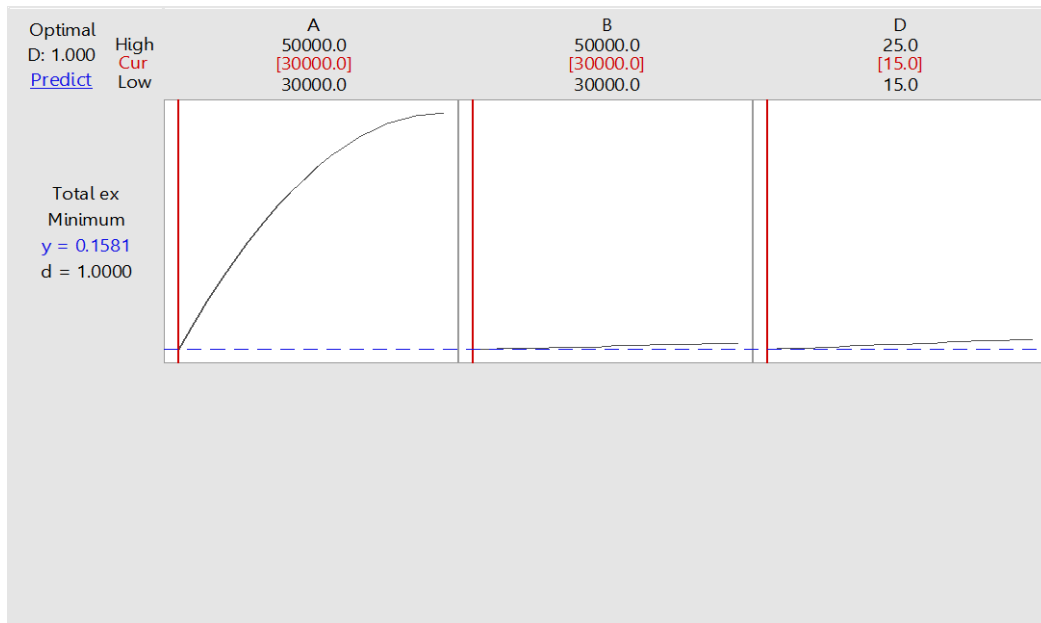
  

Solution						
Solution	A	B	D	Total Expense Fit	Composite Desirability	
1	30,000	30,000	30,000	0.109372	0.635427	

Multiple Response Prediction						
Variable	Setting					
A	30,000					
B	30,000					
D	15					
			95% Lower	95% Lower		
			Confidence	Prediction		
Response	Fit	SE Fit	Bound	Bound		
Total Expense	0.109	0.159	-0.163	-0.427		

### Optimization Plot



รูปที่ 6. 7 Optimization Plot จากการวิเคราะห์ผลด้วย Minitab

จากรูปที่ 6.7 พบว่าหากต้องการทำตั้งค่าปัจจัยที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตต่ำที่สุด คือ ทำการตั้งค่าปัจจัยดังนี้ อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นคายตัดเท่ากับ 30,000 สโตรก (ระดับ -1) อายุการใช้งานของยางยูรีเทนเท่ากับ 30,000 สโตรก (ระดับ -1) และ ความเร็วในการตัดเฉือนเท่ากับ 15 spm (ระดับ -1) ส่วนชนิดของยางยูรีเทนจะใช้ยางยูรีเทนที่มีความแข็งเท่ากับ 35 Shore A (ระดับ -1) เนื่องจากที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ความแข็งของยางยูรีเทนไม่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต และค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบิ่นทับ ค่าใช้จ่ายของยางยูรีเทนที่มีความแข็ง 35 Shore A มีค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนต่ำที่สุด สามารถสรุประดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดได้ดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6. 2 ระดับของปัจจัยที่เหมาะสม

ปัจจัย	ระดับที่เหมาะสม	ค่าที่ต้องปรับตั้ง	หน่วย
อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นคายตัด	-1	30,000	สโตรก
อายุการใช้งานของยางยูรีเทน	-1	30,000	สโตรก
ความแข็งของยางยูรีเทน	-1	35	Shore A
ความเร็วในการตัดเฉือน	-1	15	spm

จากตารางที่ 6.3 เป็นระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี ซึ่งจะทดลองใช้ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมในการเก็บข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบก่อนการปรับปรุง และหลังการปรับปรุงในระยะควบคุมกระบวนการ (Control Phase : C)

## 6.5 สรุประยะปรับปรุงกระบวนการ

จากการทดลองปัจจัยนำเข้า 4 ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต ซึ่งประกอบด้วย อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด (A) อายุการใช้งานของยางยูรีเทน (B) ความแข็งของยางยูรีเทน (C) และ ความเร็วในการตัดเฉือน (D) โดยใช้วิธีตามแบบการออกแบบส่วนประสมกลาง หรือ CCD ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้จะใช้แผนการทดลองแบบ Faced – Center Central Composite Design และมีตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต แล้วนำข้อมูลมาตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ว่าข้อมูลนั้นเป็นไปตามเงื่อนไขการออกแบบการทดลอง คือ  $NID(0, \sigma^2)$  ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่าค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต พบว่าข้อมูลผ่านเกณฑ์ทั้งสาม คือ ทดสอบการแจกแจงปกติ ทดสอบความเป็นอิสระ ทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน จากนั้นนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ผลกระทบรวมที่จะทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าที่ต้องการ โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต คือ ปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด (A) ปัจจัยอายุการใช้งานของยางยูรีเทน (B) ความเร็วในการตัดเฉือน (D) ผลกระทบของพจน์กำลังสองของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด ( $A^2$ ) ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดและปัจจัยอายุการใช้งานของยางยูรีเทน (AB) และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและความเร็วในการตัดเฉือน (AD) และขั้นตอนต่อไปทำการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการตั้งระดับปัจจัย โดยใช้ Response Optimizer ใน Minitab คือ อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดเท่ากับ 30,000 สโตรก (ระดับ -1) อายุการใช้งานของยางยูรีเทนเท่ากับ 30,000 สโตรก (ระดับ -1) และ ความเร็วในการตัดเท่ากับ 15 spm. (ระดับ -1) ส่วนชนิดของยางยูรีเทนจะใช้ยางยูรีเทนที่มีความแข็งเท่ากับ 35 Shore A (ระดับ -1) สามารถสรุประดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดได้ดังตารางที่ 6.3

ในระยะต่อไป คือ ระยะควบคุมกระบวนการ (Control Phase : C) จะทำการตั้งค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม เก็บข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง และทำเอกสารมาตรฐานการทำงานและแผนควบคุมกระบวนการ

## บทที่ 7

### ระยะควบคุมกระบวนการ (Control Phase : C)

ในระยะควบคุมกระบวนการ เป็นระยะสุดท้ายของทฤษฎีซิกซ์ ซิกมา ซึ่งเป็นระยะในการยืนยันผลการทดลองและจัดทำวิธีการในการควบคุมกระบวนการ ในการทดลองยืนยันผลได้ทำการเก็บข้อมูลระยะเวลา 5 รอบของการซ่อมบำรุง คือ ตั้งแต่สโตรกที่ 1 ถึง 30,000 ทำการซ่อมบำรุงโดยการเจียรไนแท่งตัดและแผ่นตายตัด และเปลี่ยนยางยูรีเทน จากนั้นคำนวณค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากเสียประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการบวมทับเป็นไปตามผลการปรับปรุงที่พอใจ จึงจัดทำมาตรฐานในการผลิตคือ มาตรฐานการติดตั้งแม่พิมพ์ และแผนควบคุมกระบวนการผลิต (Control Plan) เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการทำการที่สอดคล้องกับการปฏิบัติงานหลังปรับปรุงกระบวนการ

#### 7.1 การทดสอบยืนยันผลการทดลอง

การทดสอบยืนยันผลการทดลองเป็นการนำการตั้งค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมจากระยะปรับปรุงกระบวนการ โดยศึกษาปริมาณของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการบวมทับ และข้อมูลเชิงปริมาณของความสูงของฐานสลักจากแผ่นเหล็ก และความสูงครีป ซึ่งข้อมูลทั้งสองเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการบวมทับที่ได้วิเคราะห์ในระยะเวลาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ซึ่งจะใช้ระดับของปัจจัยนำเข้าทั้งหมดเป็นไปดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7. 1 ระดับปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการยืนยันผลการทดลอง

ปัจจัย	ระดับที่เหมาะสม	ค่าที่ต้องปรับตั้ง	หน่วย
อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด	-1	30,000	สโตรก
อายุการใช้งานของยางยูรีเทน	-1	30,000	สโตรก
ความแข็งของยางยูรีเทน	-1	35	Shore A
ความเร็วในการตัดเฉือน	-1	15	spm

จากตารางที่ 7.1 เป็นการแสดงระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับ 4 ปัจจัย ทำการตั้งค่าปัจจัย ดังนี้ อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัดเท่ากับ 30,000 สโตรก (ระดับ -1) อายุการใช้งานของ ยางยูรีเทนเท่ากับ 30,000 สโตรก (ระดับ -1) และ ความเร็วในการตัดเฉือนเท่ากับ 15 spm (ระดับ -1) ส่วนชนิดของยางยูรีเทนจะใช้ยางยูรีเทนที่มีความแข็งเท่ากับ 35 Shore A (ระดับ -1) เนื่องจากที่ ระดับนัยสำคัญ 0.05 ความแข็งของยางยูรีเทนไม่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต และ ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีบ ทับ ค่าใช้จ่ายของยางยูรีเทนที่มีความแข็ง 35 Shore A มีค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนต่ำที่สุด เพื่อใช้ในการ ยืนยันผลการทดลอง ซึ่งจะทำให้การเก็บข้อมูลความสูงครีบ ความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็ก จำนวนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีบทับ และนำไป คำนวณค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต

## 7.2 ขั้นตอนในการเก็บข้อมูลเพื่อยืนยันผลการทดลอง

ทำการทดลองโดยการเตรียมแม่พิมพ์ เครื่องมือและเครื่องจักรให้เรียบร้อย ทำการปรับตั้งค่า ระดับปัจจัยที่เหมาะสมเป็นไปตามตารางที่ 7.1 ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1. ทำการเตรียมประกอบแม่พิมพ์ตัดและเจาะ โดยใช้แท่งตัด แผ่นด้ายตัด และยางยูรีเทน ที่สโตรกที่ 1
2. ทำการวางแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊มขนาด 80 ตัน และทำการล๊อคแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องปั๊ม
3. ทำการตั้งค่าความเร็วในการปั๊มที่ 15 spm.
4. ทำการคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อใช้ในการเก็บสัดส่วนของเสีย จากสมการที่ 7.1

$$n = \frac{Z^2 \alpha/2 pq}{e^2} \quad (7.1)$$

n = ขนาดตัวอย่าง

$Z_{\alpha/2}$  = ค่าปกติมาตรฐานที่สอดคล้องกับระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $\alpha = 0.05$ )

p = สัดส่วนของลักษณะที่สนใจของประชากร = 0.055 (สัดส่วนของเสียลดลงร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุง)

e = ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของค่าประมาณได้จากค่าจริง (ยอมรับที่ร้อยละ 1)

แทนค่าในสมการที่ 7.1

$$n = \frac{1.96^2 0.055(0.945)}{0.01^2} = 1,996.67 = 1,997 \text{ ตัวอย่าง}$$



จากการคำนวณขนาดตัวอย่างพบว่าต้องเก็บตัวอย่างอย่างน้อย 1,997 ตัวอย่าง ซึ่งในแต่ละรอบจะทำการเก็บข้อมูลชุดละ 2,000 ตัวอย่าง จะเริ่มเก็บตัวอย่างเพิ่มตั้งแต่สโตรกที่ 1 ถึง 32,000

5. ทำการปั๊มตั้งแต่สโตรกที่ 1 ถึง 32,000 และเก็บข้อมูลของเสียประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการปั๊มทับ หลังจากนั้นทำการซ่อมบำรุงโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นคายตัด และทำการซ่อมบำรุงโดยการเปลี่ยนยูรีเทน
6. ในระหว่างทำการปั๊มตั้งแต่สโตรกที่ 1 ถึง 32,000 ให้ทำการสุ่มตัวอย่างสโตรกที่ 1 10,001 20,001 และ 32,000 มาทำการวัดความสูงครีบ ความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็ก ขนาดของรอยจากการปั๊มทับ และทำการกราฟแสดงความสัมพันธ์ความสูงครีบและความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็ก
7. ทำการจดบันทึกผลการทดลองในขั้นตอนที่ 5 และ 6 และทำซ้ำ 5 รอบ
8. ทำการวิเคราะห์ผล และเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง

### 7.3 ผลการยืนยันผลการทดลอง การวิเคราะห์และการเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง

จากการเก็บข้อมูลความสูงครีบ ความสูงของฐานสลักที่สูงจากแผ่นเหล็ก จำนวนของเสียประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการปั๊มทับจำนวน 150,000 สโตรก หรือ 5 รอบการซ่อมบำรุง และเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบเป็นค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตได้ คือตั้งแต่สโตรกที่ 1 ถึง 30,000 จะทำการเก็บข้อมูลสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการปั๊มทับทุกตัว เมื่อครบ 30,000 สโตรก จะทำการเก็บข้อมูลต่อจนถึง 32,000 สโตรก และทำการซ่อมบำรุงแท่งตัดโดยการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นคายตัดและเปลี่ยนยางยูรีเทน นับเป็น 1 รอบสำหรับการซ่อมบำรุง และทำการเก็บข้อมูลจำนวน 5 รอบการซ่อมบำรุงของการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นคายตัดและเปลี่ยนยางยูรีเทน โดยมีผลการเก็บข้อมูลเป็นไปดังตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7. 2 ผลการยืนยันผลการทดลอง

รอบ ที่	สโตรกที่	ความไม่ สมบูรณ์ของ การกด (ชั้น)		รอยจากการ บีบทับ (ชั้น)		สโตรก ที่	ความ สูง ครีบ (มม.)	รอยจาก การบีบทับ (มม. X มม.)	ความ สูงของ ฐาน สลัก (มม.)
		ทำซ้ำ	ทิ้ง	ทำซ้ำ	ทิ้ง				
1	1 - 10,000	0	0	0	0	1	0.05	0 x 0	0.15
	10,001 - 20,000	0	0	0	0	10,001	0.06	0 x 0	0.18
	20,001 - 30,000	0	0	0	0	20,001	0.07	0 x 0	0.21
	30,001 - 32,000	0	0	3	0	32,000	0.08	1.3 x 3.5	0.24
2	1 - 10,000	0	0	0	0	1	0.05	0 x 0	0.15
	10,001 - 20,000	0	0	0	0	10,001	0.06	0 x 0	0.18
	20,001 - 30,000	0	0	0	0	20,001	0.07	0 x 0	0.22
	30,001 - 32,000	0	0	4	0	32,000	0.09	1.3 x 3.2	0.24
3	1 - 10,000	0	0	0	0	1	0.05	0 x 0	0.14
	10,001 - 20,000	0	0	0	0	10,001	0.07	0 x 0	0.17
	20,001 - 30,000	0	0	0	0	20,001	0.08	0 x 0	0.21
	30,001 - 32,000	0	0	6	1	32,000	0.09	1.3 x 3.2	0.25

ตารางที่ 7. 2 ผลการยืนยันผลการทดลอง (ต่อ)

รอบ ที่	สไตรกที่	ความไม่ สมบูรณ์ของ การกุด (ชิ้น)		รอยจากการปี้ม ทับ (ชิ้น)		สไตรก ที่	ความ สูง ครีบ (มม.)	รอยจาก การปี้มทับ (มม. X มม.)	ความ สูง ของ ฐาน สลัก (มม.)
		ทำซ้ำ	ทิ้ง	ทำซ้ำ	ทิ้ง				
4	1 - 10,000	0	0	0	0	1	0.05	0 x 0	0.14
	10,001 - 20,000	0	0	0	0	10,001	0.08	0 x 0	0.18
	20,001 - 30,000	0	0	0	0	20,001	0.07	0 x 0	0.22
	30,001 - 32,000	0	0	5	2	32,000	0.09	1.4 x 3.1	0.24
5	1 - 10,000	0	0	0	0	1	0.05	0 x 0	0.14
	10,001 - 20,000	0	0	0	0	10,001	0.08	0 x 0	0.18
	20,001 - 30,000	0	0	0	0	20,001	0.07	0 x 0	0.22
	30,001 - 32,000	0	0	7	2	32,000	0.09	1.4 x 3.5	0.26

จากตารางที่ 7.2 เป็นผลการยืนยันผลการทดลอง ซึ่งทำการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 5 รอบของการซ่อมบำรุง คือตั้งแต่สไตรกที่ 1 ถึง 30,000 โดยพบว่าเริ่มพบของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกุด และรอยจากการปี้มทับในช่วงสไตรกที่ 30,001 – 32,000 จากนั้นนำผลก่อนการปรับปรุงมาเปรียบเทียบ โดยใช้ข้อมูลของเสียตั้งแต่สไตรกที่ 1 ถึง 50,000 โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.3 ข้อมูลของเสียจากการผลิตก่อนการปรับปรุง

สโตรกที่	ความไม่สมบูรณ์ของการกด (ชิ้น)		รอยจากการปั๊มทับ (ชิ้น)	
	ทำซ้ำ	ทิ้ง	ทำซ้ำ	ทิ้ง
1 - 10,000	0	0	0	0
10,001 - 20,000	0	0	0	0
20,001 - 30,000	1	0	5	0
30,001 - 40,000	25	17	38	5
40,001 - 50,000	76	25	102	16
รวม	102	42	145	21

จากตารางที่ 7.3 เป็นข้อมูลของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และ รอยจากการปั๊มทับ ตั้งแต่สโตรกที่ 1 ถึง 50,000 หรือ 1 รอบการซ่อมบำรุงก่อนการปรับปรุง และทำการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อมูลในตารางที่ 7.2 และ 7.3 หลังการปรับปรุงจะทำการวิเคราะห์สโตรกที่ 1 - 30,000 โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำเมื่อเกิดข้อบกพร่อง (Rework)

หลังการปรับปรุง

ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำเมื่อพบของเสียจากข้อบกพร่อง =  $52 \text{ บาท/ชิ้น} \times 0 \text{ ชิ้น} = 0 \text{ บาท}$

ประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดจำนวน 0 ชิ้น

ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำเมื่อพบของเสียจากข้อบกพร่อง =  $90 \text{ บาท/ชิ้น} \times 0 \text{ ชิ้น} = 0 \text{ บาท}$

ประเภทรอยจากการปั๊มทับจำนวน 0 ชิ้น

ก่อนการปรับปรุง

ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำเมื่อพบของเสียจากข้อบกพร่อง =  $52 \text{ บาท/ชิ้น} \times 102 \text{ ชิ้น} = 5,304 \text{ บาท}$

ประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดจำนวน 102 ชิ้น

ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำเมื่อพบของเสียจากข้อบกพร่อง =  $90 \text{ บาท/ชิ้น} \times 145 \text{ ชิ้น} = 13,050 \text{ บาท}$

ประเภทรอยจากการปั๊มทับจำนวน 145 ชิ้น

## 2. ค่าใช้จ่ายในการทิ้งเมื่อเกิดของเสีย (Scrap)

### หลังการปรับปรุง

ค่าใช้จ่ายในการทิ้งเมื่อพบของเสียจากข้อบกพร่อง =  $217 \text{ บาท/ชิ้น} \times 0 \text{ ชิ้น} = 0 \text{ บาท}$   
 ประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกุดจำนวน 0 ชิ้น  
 ค่าใช้จ่ายในการทิ้งเมื่อพบของเสียจากข้อบกพร่อง =  $181 \text{ บาท/ชิ้น} \times 0 \text{ ชิ้น} = 0 \text{ บาท}$   
 ประเภทรอยจากการบีบอัดจำนวน 0 ชิ้น

### ก่อนการปรับปรุง

ค่าใช้จ่ายในการทิ้งเมื่อพบของเสียจากข้อบกพร่อง =  $217 \text{ บาท/ชิ้น} \times 42 \text{ ชิ้น} = 9,114 \text{ บาท}$   
 ประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกุดจำนวน 42 ชิ้น  
 ค่าใช้จ่ายในการทิ้งเมื่อพบของเสียจากข้อบกพร่อง =  $181 \text{ บาท/ชิ้น} \times 21 \text{ ชิ้น} = 3,801 \text{ บาท}$   
 ประเภทรอยจากการบีบอัดจำนวน 21 ชิ้น

ทำการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตจากสมการค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตดัง  
 แสดงในสมการความสัมพันธ์ ในสมการที่ 7.1 ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

$$\text{Total expense per unit} = -2.840 + 0.000247 A - 0.000019 B - 0.4835 D - 0.0000000091 A^2 + 0.00000000491 AB + 0.000016 AD \quad \text{--- (7.1)}$$

โดย A คือ อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด

B คือ อายุการใช้งานของยางยูรีเทน

D คือ ความเร็วในการตัดเฉือน

ซึ่งมีรายละเอียดการคำนวณค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต ดังนี้

### 1. การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตหลังการปรับปรุง

ทำการแทนค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมลงในสมการที่ 7.1 โดยที่ปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด (A) อายุการใช้งานของยางยูรีเทน (B) และความเร็วในการตัดเฉือน (D) ที่ระดับต่ำ เพื่อหาค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการผลิตที่ต่ำที่สุด

$$\begin{aligned} \text{Total expense per unit} &= -2.840 + 0.000247 (30,000) - 0.000019 (30,000) - 0.4835 (15) \\ &- 0.0000000091 (30,000)^2 + 0.00000000491 (30,000 \times 30,000) + 0.000016 (30,000 \times 15) \\ \text{Total expense per unit} &= 0.177 \text{ Baht / Unit} \end{aligned}$$

จากการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ของปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด (A) อายุการใช้งานของยางยูรีเทน (B) และความเร็วในการตัดเฉือน (D) ที่ระดับต่ำ พบว่าค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตมีค่าเท่ากับ 0.177 บาทต่อหน่วย

จากการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตของบริษัทกรณีศึกษา พบว่ามีค่าใช้จ่ายเป็นไปดังสมการที่ 4.2

$$\text{ค่าใช้จ่ายโดยรวมต่อหน่วยการผลิต} = \frac{X_1 Y_1 + X_2 Y_2 + X_3 Y_3 + X_4 Y_4}{\text{ครน.ของ A และ B}} \quad (4.2)$$

โดย  $X_1$  คือ ค่าใช้จ่ายและค่าแรงช่างในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรไนแท่งตัดและแผ่นตายตัดต่อครั้ง

$Y_1$  คือ จำนวนครั้งในการซ่อมบำรุงโดยการเจียรไนแท่งตัดและแผ่นตายตัดภายในอายุใช้งานที่เท่ากับ ครน.ของ A และ B

$X_2$  คือ ค่าใช้จ่ายและค่าแรงช่างในการเปลี่ยนยางยูรีเทนต่อครั้ง

$Y_2$  คือ จำนวนครั้งในการเปลี่ยนยางยูรีเทนภายในอายุใช้งานที่เท่ากับ ครน.ของ A และ B

$X_3$  คือ ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำของของเสียต่อชิ้น

$Y_3$  คือ จำนวนของของเสียที่ต้องทำซ้ำอายุใช้งานที่เท่ากับ ครน.ของ A และ B

$X_4$  คือ ค่าใช้จ่ายในการทิ้งของเสียต่อชิ้น

$Y_4$  คือ จำนวนของของเสียที่ต้องทิ้งอายุใช้งานที่เท่ากับ ครน.ของ A และ B

ทำการแทนค่าตัวแปรต่างๆตามที่ได้เก็บข้อมูลในตารางที่ 7.2 โดยมีผลลัพธ์ ดังนี้

$$\text{ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิต} = \frac{\left[ \left( \frac{52 \frac{\text{บาท}}{\text{ชิ้น}}}{\text{ชิ้น}} \times 0 \text{ ชิ้น} \right) + \left( 90 \frac{\text{บาท}}{\text{ชิ้น}} \times 0 \text{ ชิ้น} \right) \right] + \left[ \left( 217 \frac{\text{บาท}}{\text{ชิ้น}} \times 0 \text{ ชิ้น} \right) + \left( 181 \frac{\text{บาท}}{\text{ชิ้น}} \times 0 \text{ ชิ้น} \right) \right]}{150,000} + \frac{\left( 4,475 \frac{\text{บาท}}{\text{ครั้ง}} \right) (5 \text{ ครั้ง}) + \left( 1,058 \frac{\text{บาท}}{\text{ครั้ง}} \right) (5 \text{ ครั้ง})}{150,000}$$

$$\text{ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิต} = 0.184 \text{ บาท/ชิ้น}$$

จากการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตตามโครงสร้างค่าใช้จ่ายของบริษัทกรณีศึกษาพบว่า ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต หลังการปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 0.184 บาทต่อหน่วย ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตด้วยสมการความสัมพันธ์มีค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการผลิต หลังการปรับปรุงเท่ากับ 0.177 บาท มีความแตกต่างกันเท่ากับร้อยละ 9.62 ซึ่งแตกต่างกันไม่มากนัก จากสมการที่ 4.2 ไม่มีการคิดค่าใช้จ่ายในส่วนของคุณภาพในการตัดเฉือน แสดงให้เห็นว่าค่าใช้จ่ายในส่วนของคุณภาพในการตัดเฉือนได้มีการแปลงรูปอยู่ในส่วนของของเสียจากข้อบกพร่องประเภท

ความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีบอัด ทำให้ค่าใช้จ่ายที่คิดทั้งสองสมการมีความแตกต่างกันไม่มากนัก

## 2. การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตก่อนการปรับปรุง

ทำการแทนค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมลงในสมการที่ 7.1 โดยที่ปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด (A) อายุการใช้งานของยางยูรีเทน (B) และความเร็วในการตัดเฉือน (D) ที่ระดับสูง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับข้อมูลหลังการปรับปรุง

$$\text{Total expense per unit} = -2.840 + 0.000247 (50,000) - 0.000019 (50,000) - 0.4835 (25) - 0.0000000091 (50,000)^2 + 0.00000000491 (50,000 \times 50,000) + 0.000016 (50,000 \times 25)$$

$$\text{Total expense per unit} = 6.000 \text{ Baht / Unit}$$

จากการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ของปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด (A) อายุการใช้งานของยางยูรีเทน (B) และความเร็วในการตัดเฉือน (D) ที่ระดับต่ำ พบว่าค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตมีค่าเท่ากับ 6.00 บาทต่อหน่วย

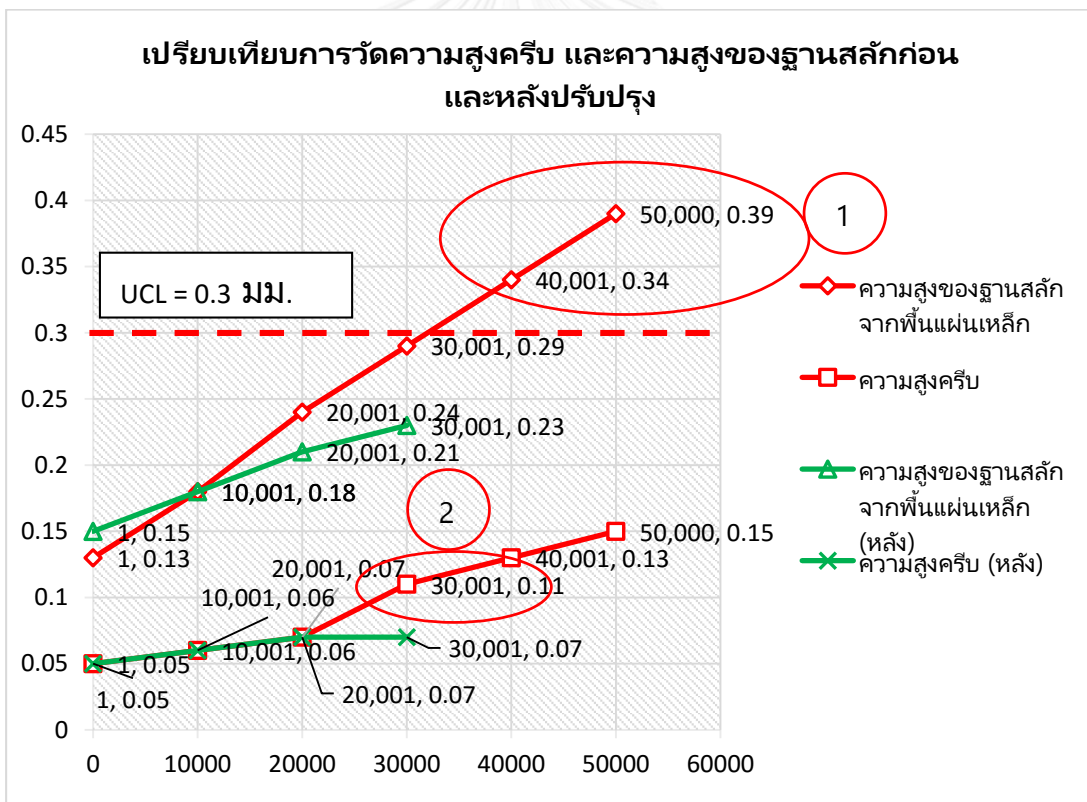
จากการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตพบว่าก่อนการปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 6.00 บาท/ชิ้น และค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตเท่ากับ 0.177 บาท/ชิ้น ซึ่งสัดส่วนค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตลดลงเท่ากับร้อยละ 97.05 หรือค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตลดลงเท่ากับ 5.823 บาท/ชิ้น หาก 1 เดือนทำการผลิตที่ 110,000 ชิ้น/เดือน จะสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้เท่ากับ 640,530 บาท / เดือน

## 3. การวิเคราะห์ความสูงของฐานสลักจากพื้นแผ่นเหล็กและความสูงครีบ เทียบกับอายุการใช้งานก่อนและหลังการปรับปรุง

ก่อนการปรับปรุงพบว่าพบค่าความสูงของฐานสลักจากพื้นแผ่นเหล็กเกินค่าควบคุม และค่าความสูงครีบส่งผลให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีบอัด และหลังการปรับปรุงพบว่าไม่มีค่าค่าความสูงของฐานสลักจากพื้นแผ่นเหล็กเกินขอบเขตควบคุม และค่าความสูงครีบไม่ส่งผลให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีบอัด ดังรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 7.6 และรูปที่ 7.1

ตารางที่ 7. 4 ข้อมูลค่าความสูงของฐานสลักจากพื้นแผ่นเหล็กและความสูงครีบก่อนและหลังปรับปรุง

สโตรก ที่	ก่อนการปรับปรุง		หลังการปรับปรุง	
	ความสูงของฐานสลัก จากพื้นแผ่นเหล็ก	ความสูงครีบ	ความสูงของฐานสลัก จากพื้นแผ่นเหล็ก	ความสูงครีบ
1	0.13	0.05	0.15	0.05
10,001	0.18	0.06	0.18	0.06
20,001	0.24	0.07	0.21	0.07
30,001	0.29	0.11	0.23	0.07
40,001	0.34	0.13		
50,000	0.39	0.15		



รูปที่ 7. 1 เปรียบเทียบการความสูงของฐานสลัก และความสูงครีบก่อนและหลังปรับปรุง

จากรูปที่ 7.1 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานในการบ่มเทียบกับความสูงของฐานสลักจากพื้นแผ่นเหล็ก และความสูงครีบ ซึ่งก่อนปรับปรุงพบว่าตั้งแต่ช่วงสโตรก 40,001 -



50,000 พบว่าค่าความสูงของฐานสลักจากพื้นแผ่นเหล็กเกินค่าขอบเขตควบคุม โดยพบว่า 1.) ความสูงของฐานสลักจากพื้นแผ่นเหล็กมีค่าเท่ากับ 0.34 และ 0.39 ตามลำดับ และ 2.) ค่าความสูงครีบบมีค่าเท่ากับ 0.11 ซึ่งมีค่าไม่เกินค่าขอบเขตควบคุม แต่พบของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการปั๊มทับ และหลังการปรับปรุง พบว่าค่าความสูงของฐานสลักจากพื้นแผ่นเหล็กมีค่าอยู่ในขอบเขตควบคุม และสโตรกที่ 30,000 พบว่าความสูงของฐานสลักจากพื้นแผ่นเหล็กน้อยกว่าก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 0.06 มม. ส่วนความสูงของครีบบอยู่ในขอบเขตควบคุม และสโตรกที่ 30,000 สโตรก พบว่าความสูงครีบบน้อยกว่าก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 0.04 มม. และไม่พบของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด และรอยจากการปั๊มทับ

#### 7.4 การควบคุมกระบวนการ

การควบคุมกระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี คือ จัดทำมาตรฐานในการติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊ม และแผนการควบคุมกระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี


7.4.1 มาตรฐานในการติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊ม จัดทำมาตรฐานในการติดตั้งแม่พิมพ์ โดยมีขั้นตอนในการติดตั้ง ดังนี้

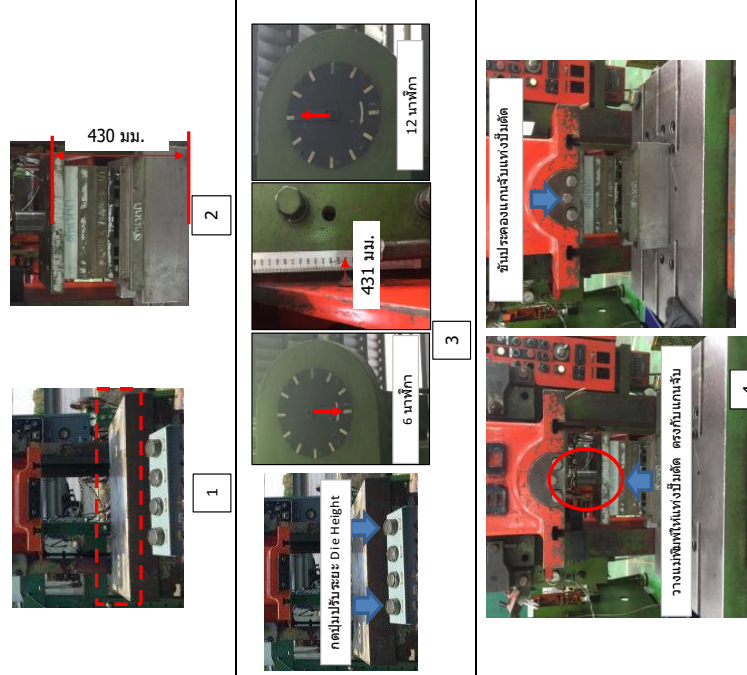
1. ทำความสะอาด Bolster Plate และตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม เช่น เศษเหล็ก หรือ สิ่งอื่นๆ
2. วัดความสูงของแม่พิมพ์ หากมีหมอนรองแม่พิมพ์ให้วัดรวมหมอนรองแม่พิมพ์ด้วย
3. ปรับระยะ Die Height ให้เข็มบนหน้าปัดลงมาที่ 6 นาฬิกา ให้มีความสูงใกล้เคียงความสูงของแม่พิมพ์ และปรับระยะ Die Height ให้เข็มบนหน้าปัดขึ้นไป 12 นาฬิกา และนำแม่พิมพ์มาวางบน Bolster Plate
4. ปรับระยะ Die Height ให้เข็มบนหน้าปัดลงมาที่ 6 นาฬิกา และทำการยึดแกนจับแต่งปั๊มตัด ปรับระยะ Die Height ลงให้เป็นไปตามต้องการ
5. ชันแน่นระยะตัด โดยสังเกตจากยูริเทนต้องยุบตัวเล็กน้อย หรือด้านบนต้องไม่มีแสงลอดผ่าน
6. ทำการขันแน่นแกนจับยึดแกนแต่งตัดให้แน่น ส่วนด้านล่างทำการขันประแจประคองค้ำให้แม่พิมพ์ด้านบน และล่างแยกออกจากกัน

7. ค่อยๆกดปรับระยะ Die Height ให้เข็มบนหน้าปัดขึ้นไปที 12 นาฬิกา และค่อยๆกดปรับระยะ Die Height ให้เข็มบนหน้าปัดลงมาที่ 6 นาฬิกา ทำการยึดตัวล้อแม่พิมพ์ด้านล่าง โดยยึดข้างซ้ายให้แน่นและยึดข้างขวาให้แน่น
  8. เริ่มทำการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดีได้
  9. ข้อควรระวัง ในการซ่อมบำรุงให้ทำการเจียรระไนแท่งตัดและแผ่นตายตัด และเปลี่ยนยางยูรีเทนที่ระยะเท่ากับ 30,000 สโตรก
- มาตรฐานในการติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊ม โดยมีรายละเอียดดังรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 มาตรฐานในการติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊ม

WORK INSTRUCTION		Prepared By	Review By	Approved By
<b>วิธีการติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องจักร</b> Pat Name : CD FLAVOUR BAKER De No : 15-012      ฉบับแก้ไขครั้งที่ 00 Pat No : DC-127-00      W-15-PD-012      Effective Date : 22/3/2016      Date : 21/3/2016		osa	ksl.	[Signature]
ลำดับ	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	เลขที่ (Seq)	เวลา	อุปกรณ์
1	วัดความสะอาด Buter Pate และตรวจสอบเส้นสไลดรวม เช่น เส้นเหล็ก และ ลีลา	60		เศษเก่า ไม้กวาดแข็ง ที่ขัดขยะ
2	ใช้ดรัมวัดวัดความสูงของแม่พิมพ์และหาความสูงแม่พิมพ์ 430 มม	30		ดรัมเมตร
3	ถอดลิ้นระยะ De-Hégt ให้สัมพันธ์ได้สูงเท่ากับ 6 มม. ที่ขีดความสูง 431 มม. และถอดลิ้นระยะ De Hégt ให้สัมพันธ์ได้ขึ้นไปที่ 12 มม. ที่ และนำแม่พิมพ์มาวางบน Buter Pate	60		ลู่วิ่ง ลู่วิ่งเก่า
4	วางแม่พิมพ์บนเครื่องขึ้นกับลิ้นระยะ De Hégt ให้สัมพันธ์ได้สูงเท่ากับ 6 มม. ที่ขีด และทำการยึดลิ้นรวมเส้นสไลดรวมขึ้นยึด	600		Hard Lift ลู่วิ่งเก่า
วัตถุประสงค์ของแม่พิมพ์บนเครื่องจักร  ให้ง่ายขึ้นต่อว่า ด้านหน้าเข้าทางผู้ติดตั้ง				
Date	Revision	Date		Revision
21/3/2016	00	New Issued		
				รายละเอียด
				รายละเอียด
				รายละเอียด



รูปที่ 7.2 มาตรฐานในการติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊ม (ต่อ)

WORKINSTRUCTION				Prepared By	Review By	Approved By
วิธีการติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องจักร				osa	ksl.	
Part Name : CDPLAYERBRAKET	De No : 15-012	หมายเลขสาร	Page	Issue date	21/3/2016	Rev.
Part No : DC-127-00		W-15FD-012	2/2	Effective date	22/3/2016	00
ลำดับ	ขั้นตอนการทำงาน	เวลา(Sec)	อุปกรณ์	รูปภาพ		
5	ขันแม่แรงด้วยสว่านไฟฟ้าหรือค้อนในกรณีเสถียร	60	ชุดประต ลูกเหล็ก	<p>ใช้สว่านขนาดประมาณ 1 มม.</p>		
6	ทำการขันแม่แรงแล้วยึดตามข้อตั้งใหม่แล้วทำการขันประต ประตของเครื่องพิมพ์ตาม และลงเยกจากที่	120	ชุดประต ลูกเหล็ก	<p>ขันแม่แรงกับแม่พิมพ์</p> <p>ขันแม่แรงกับแม่พิมพ์</p>		
7	ตรวจสอบที่ระยะ De Hight ให้พิมพ์ตามที่ได้ขึ้นไว้ที่ 12 นาฬิกา และตรวจสอบที่ระยะ De Hight ให้พิมพ์ตามที่ได้ขึ้นไว้ที่ 6 นาฬิกา ทำการยึดตัวล็อคแม่พิมพ์ตาม โดยยึดข้างซ้ายให้แน่นเสร็จยึดข้างขวาให้แน่น	300	ชุดประต ลูกเหล็ก	<p>12 นาฬิกา</p> <p>430 มม.</p> <p>6 นาฬิกา</p> <p>7</p>		
8	เริ่มการผลิต	1200	205 นาที			
9	ขั้นตอนอื่น 1. การขันแม่แรงข้อตั้ง และแม่แรงข้อตั้งให้ทำการขันแม่แรงจาก 30,000 สติต 2. การขันแม่แรงข้อตั้ง 30,000 สติต					
Date	Revision	งานเสร็จ		งานเสร็จ		
21/3/2016	00	NewIssued				

7.4.2 แผนควบคุมกระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี (Control Plan) จัดทำแผนควบคุมกระบวนการขึ้นเพื่อควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตที่สำคัญ และเป็น การควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 7.5





ตารางที่ 7.5 แผนควบคุมกระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี (ต่อ)

PROCESS		Quality Control Management										Abnormal Treatment			Remark
		Process Name (Step Content)	Importance	Control Item	Value Of Standard	Management Value	Reason	Frequency Initial Daily	Inspection/Verification Inspect/Verify Method	Record	Person In Charge	How	Related Standard		
	<b>CONTROL PLAN</b> Title Proc. <input type="checkbox"/> No. <input type="checkbox"/> Mass Production Part No. <input type="checkbox"/> Process Chart DC127-100 Supplier/Factory STAMPING PLUS Car Model Customer CD PLAYER BRACKET Part Name. Responsibility name/Phone No. Approved date of customer technical department: Approved date of customer quality department:														
	ส่งมอบ EDP		ชนิดสิ่งงาน จำนวน (ชิ้นงาน) จำนวน (บรรจุภัณฑ์)	CD PLAYER BRACKET อ้างอิงตาม Purchase Order อ้างอิงตาม Purchase Order	Purchase Order	พนักงาน ↑ ↑ ↑	AOL ↑ ↑ ↑	ตรวจสอบด้วยสายตา ↑ ↑ ↑	ใบส่งสินค้า ↑ ↑ ↑	พนักงาน ↑ ↑ ↑	แจ้งกลับ Leader ↑ ↑ ↑				
	รับงานแม่สี		ชนิดสิ่งงาน จำนวน (ชิ้นงาน) จำนวน (บรรจุภัณฑ์)	CD PLAYER BRACKET อ้างอิงตาม Invoice อ้างอิงตาม Invoice	บิลแจ้งหนี้ ↑ ↑	สตีฟ ↑ ↑	AOL ↑ ↑	ตรวจสอบด้วยสายตา ↑ ↑	ใบตรวจรับ ↑ ↑	พนักงาน ↑ ↑	แจ้งกลับ Leader ↑ ↑				
	ตรวจสอบชิ้นงานขั้นสุดท้าย		ขนาดของชิ้นงาน รูลักษณะภายนอก	อ้างอิง Final inspection report อ้างอิง QC-004-DC-127 ตามแผนควบคุม	Final inspection Report QC-004-DC-127	QC ↑ ↑	5 Pcs, 6 Pcs ↑ ↑	ตรวจสอบด้วยเครื่องมือวัด ↑ ↑	Final Inspection Production Daily Report ↑ ↑	QC ↑ ↑	แจ้งกลับ Leader ↑ ↑				
	บรรจุภัณฑ์		ชนิดสิ่งงาน จำนวน (บรรจุภัณฑ์)	CD PLAYER BRACKET DC-127 อ้างอิงตาม PACKING STANDARD	PACKING STANDARD	พนักงาน ↑ ↑	100% ↑ ↑	ตรวจสอบด้วยสายตา ↑ ↑	ใบส่งสินค้า ↑ ↑	พนักงาน ↑ ↑	แจ้งกลับ Leader ↑ ↑				
	ส่งสินค้าเข้าสตีฟ		ชนิดสิ่งงาน จำนวน (ชิ้นงาน) จำนวน (บรรจุภัณฑ์)	CD PLAYER BRACKET อ้างอิงตาม ใบส่งสินค้า อ้างอิงตาม ใบส่งสินค้า	ใบส่งสินค้า ↑ ↑	พนักงาน ↑ ↑	AOL ↑ ↑	ตรวจสอบด้วยสายตา ↑ ↑	ใบส่งสินค้า ↑ ↑	พนักงาน ↑ ↑	แจ้งกลับ Leader ↑ ↑				
	ส่งสินค้า		ชนิดสิ่งงาน จำนวน (ชิ้นงาน) จำนวน (บรรจุภัณฑ์)	CD PLAYER BRACKET อ้างอิงตาม Purchase Order อ้างอิงตาม Purchase Order	Purchase Order ↑ ↑	พนักงาน ↑ ↑	AOL ↑ ↑	ตรวจสอบด้วยสายตา ↑ ↑	ใบส่งสินค้า ↑ ↑	พนักงาน ↑ ↑	แจ้งกลับ Leader ↑ ↑				

## 7.5 สรุประยะควบคุมกระบวนการ

ในระยะการควบคุมกระบวนการ เป็นระยะสุดท้ายของซิกซ์ ซิกมา เริ่มจากทำการปรับตั้งค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นคายตัด อายุการใช้งานของยางยูรีเทน ความแข็งของยางยูรีเทน ความเร็วในการตัดเฉือน และทำการเก็บข้อมูลเพื่อยืนยันผลการทดลอง โดยทำการเก็บข้อมูลจำนวน 150,000 สโตรก ซึ่งพบว่าค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตลดลงจาก 5.823 บาท/ชิ้น เป็น 0.177 บาท/ชิ้น ลดลงเป็นสัดส่วนร้อยละ 97.05 หรือค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตลดลงเท่ากับ 5.646 บาท/ชิ้น หรือสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้เท่ากับ 640,530 บาท / เดือน และจัดทำมาตรฐานในการติดตั้งแม่พิมพ์ และแผนควบคุมกระบวนการ เพื่อเป็นควบคุมกระบวนการให้มีประสิทธิภาพ





## บทที่ 8

### สรุปผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ทำการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยวิธีปั๊ม หรือกระแทก ด้วยวิธีซิกซ์ ซิกมา ซึ่งมีเป้าหมายในการลดค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต โดยมีขั้นตอนดำเนินการ 5 ระยะ ประกอบด้วย ระยะกำหนดปัญหา (Define Phase) ระยะที่สองคือระยะวิเคราะห์ระบบการวัด (Measure Phase) ระยะวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase) ระยะปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase) และระยะควบคุมกระบวนการ (Control Phase)

#### 8.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ในการลดค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตสูงที่สุด มีแนวโน้มคงที่จนถึงปีพ.ศ. 2562 และของเสียสูงที่สุด ซึ่งประกอบด้วยของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการปั๊มทับ มีสัดส่วนของเสียเท่ากับร้อยละ 41.85 และ 37.06 ตามลำดับ โดยงานวิจัยในครั้งนี้ได้นำวิธีซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้ทั้ง 5 ระยะ ซึ่งมีขอบเขตการวิจัยเฉพาะแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี โดยการวิเคราะห์สาเหตุที่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตด้วยวิธีการระดมสมองและคัดกรองสาเหตุด้วยตัววิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่อง และผลกระทบ พบว่ามี 6 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดของเสีย ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการผลิตโดยตรง คือ อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด อายุการใช้งานของยางยูรีเทน ความแข็งของยางยูรีเทน ความเร็วในการตัดเฉือน วิธีวางชิ้นงานบนแม่พิมพ์ และแรงกำหนด และทำการทดลองโดยมีปัจจัยตอบสนอง คือ ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตต่ำที่สุด

งานวิจัยครั้งนี้ใช้แบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง Faced – Center Central Composite Design พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต คือ อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด อายุการใช้งานของยางยูรีเทน และความเร็วในการตัดเฉือน ซึ่งผลการวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการผลิตที่มีนัยสำคัญ คือ ปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด (A) ปัจจัยอายุการใช้งานของยางยูรีเทน (B) ความเร็วในการตัดเฉือน (D) ผลกระทบของพจน์กำลังสองของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด ( $A^2$ ) ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดและปัจจัยอายุการใช้งานของ

ยางยูรีเทน (AB) และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัด และความเร็วในการตัดเฉือน (AD) และได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบร่วมที่มีนัยสำคัญต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต ซึ่งผลการวิเคราะห์ มี ดังนี้

1. ผลกระทบร่วมระหว่างอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัดกับอายุการใช้งานของยางยูรีเทน (AB) สามารถอธิบายได้ดังนี้

1.1. ผลของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัดที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตมากขึ้น ไม่ว่าจะอายุการใช้งานของยางยูรีเทนอยู่ในระดับใดก็ตาม

1.2. ผลของอายุการใช้งานของยางยูรีเทน ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตขึ้นอยู่กับระดับของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัด ดังนี้

1.2.1. ที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัดระดับต่ำ หรือ 30,000 สโตรก หากอายุการใช้งานของยางยูรีเทนที่ระดับต่ำจะไม่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต แต่จะส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตเมื่อเปลี่ยนอายุการใช้งานของยางยูรีเทนเป็นระดับสูง ทั้งนี้เนื่องจากอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัดมากขึ้น จะทำให้เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัดมากขึ้น หากความเร็วในการตัดยิ่งมาก จะทำให้เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัดมากขึ้น จะส่งผลการเกิดครีบสูงขึ้น ทำให้ส่งผลต่อการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการบีบทับสูงขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต

1.2.2. ที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัดที่ระดับกลาง หรือ 40,000 สโตรก และระดับสูง หรือ 50,000 สโตรก หากมีการเปลี่ยนระดับอายุการใช้งานของยางยูรีเทนจากน้อยไปมาก จะส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตที่ระดับสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจาก ทั้งนี้เนื่องจากอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัดมากขึ้น จะทำให้เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัดมากขึ้น หากความเร็วในการตัดยิ่งมาก จะทำให้เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัดมากขึ้น จะส่งผลการเกิดครีบสูงขึ้น ทำให้ส่งผลต่อการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีบทับสูงขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต

2. ผลกระทบร่วมระหว่างอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัดกับความเร็วในการตัดเฉือน (AD) สามารถอธิบายได้ดังนี้

2.1. ผลของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นด้ายตัดที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตมากขึ้น ไม่ว่าจะความเร็วตัดในเฉือนระดับใดก็ตาม

2.2. ผลของความเร็วในการตัดเฉือน ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต ขึ้นอยู่กับระดับของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัด ดังนี้

2.2.1. ที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดระดับต่ำ หรือ 30,000 สโตรก ความเร็วในการตัดเฉือนที่ระดับต่ำจะไม่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต แต่จะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตเมื่อเปลี่ยนความเร็วในการตัดเฉือนมากขึ้นยิ่งทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น จะทำให้เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น หากความเร็วในการตัดยิ่งมาก จะทำให้เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น จะส่งผลให้เกิดครีบสูงขึ้น ทำให้ส่งผลต่อการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการบิ่นทับสูงขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต

2.2.2. ที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดที่ระดับกลาง หรือ 40,000 สโตรก และระดับสูง หรือ 50,000 สโตรก หากมีการเปลี่ยนระดับความเร็วในการตัดเฉือนจากน้อยไปมาก จะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตที่ระดับสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น จะทำให้เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น หากความเร็วในการตัดยิ่งมาก จะทำให้เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นตายตัดมากขึ้น จะส่งผลให้เกิดครีบสูงขึ้น ทำให้ส่งผลต่อการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกัดและรอยจากการบิ่นทับสูงขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต

ซึ่งทำการตั้งค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด คือ อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดเท่ากับ 30,000 สโตรก (ระดับ -1) อายุการใช้งานของยางยูรีเทนเท่ากับ 30,000 สโตรก (ระดับ -1) และความเร็วในการตัดเท่ากับ 15 spm (ระดับ -1) ส่วนชนิดของยางยูรีเทนจะใช้ยางยูรีเทนที่มีความแข็งเท่ากับ 35 Shore A (ระดับ -1) เนื่องจากที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ความแข็งของยางยูรีเทนไม่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิต และค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกัดและรอยจากการบิ่นทับ และทำการติดตามผลการทดลองจำนวน 150,000 สโตรก ซึ่งพบว่าค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตลดลงจาก 6.00 บาท/ชิ้น เป็น 0.177 บาท/ชิ้น ลดลงเป็นสัดส่วนร้อยละ 97.05 หรือค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตลดลงเท่ากับ 5.823 บาท/ชิ้น หาก 1 เดือนทำการผลิตที่ 110,000 ชิ้น/เดือน จะสามารถลดค่าใช้จ่ายได้เท่ากับ 640,530 บาท/เดือน

## 8.2 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทราบความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี
2. ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยการผลิตของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดีลดลง
3. ลดค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการผลิตของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี ที่เกิดจากของเสียประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดและรอยจากการบีบทับ และขจัดค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำ หรือทิ้งได้
4. ความรู้ที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ แผ่นระบายความร้อนในเครื่องเล่นซีดี และที่ล้อคขาเก้าอี้ในรถยนต์ เนื่องจากมีลักษณะการตัดและเจาะ และการขึ้นรูปและอัดสลักใกล้เคียงกัน

## 8.3 ข้อจำกัดและอุปสรรคในการทำงานวิจัย

1. การทดลองไม่สามารถทำแบบสุ่มสมบูรณ์ได้ เนื่องจากใช้เวลานาน ทำได้ยาก และค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง เนื่องจากการเตรียมแท่งตัด แผ่นตายตัด และความแข็งของยางยูรีเทนค่อนข้างใช้เวลานาน และค่าใช้จ่ายในการทดลองจะสูง ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองแบบจัดลำดับ
2. ความรู้ที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ สามารถนำไปใช้งานในกระบวนการตัดและเจาะ ซึ่งมีสาเหตุมาจากครีบบริเวณขอบชิ้นงาน ต้องเป็นวัสดุที่เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ หรือเหล็กโลหะ เช่น SPCC และต้องคำนึงถึงความหนาของแผ่นเหล็ก
3. การซ่อมบำรุงโดยการเจียรระโนแท่งตัดและแผ่นตายตัดขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้งาน แท่งตัดและแผ่นตายตัด อาจส่งผลให้อายุการใช้งานแท่งตัดและแผ่นตายตัดที่สูงขึ้น

## 8.4 ข้อเสนอแนะ

1. สามารถขนาดลดแรงกำหนดของเครื่องปั๊มให้ต่ำกว่า 80 ตันได้เพื่อให้ลดต้นทุนในการผลิต แต่เครื่องจักรต้องมีขนาดแรงกำหนดมากกว่า 43.7 ตัน
2. สามารถทำการปรับปรุงเพิ่มเติมในการลดของเสียจากข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณของเสียรองลงมา เช่น ตัวยึดเก้าอี้ในรถยนต์จะพบของเสียประเภทรอยจากการบีบทับ โดยเกิดจากการออกแบบ ตัวกำหนดตำแหน่ง (Guide) ไม่ครอบคลุม ทำให้เกิดการวางชิ้นงานบนหน้าแม่พิมพ์เอียงได้เล็กน้อย ส่งผลให้ครีบลุดออกมาจากขอบชิ้นงานสูงเร็วกว่าปกติ

3. ควรศึกษาช่วงอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดออกนอกช่วงอายุของงานวิจัยนี้ เพื่อให้เห็นค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด เช่น ศึกษาช่วงอายุแท่งตัดและแผ่นตายตัดที่ 20,000 จะทำให้เห็นค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการผลิตที่สูงขึ้น เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงต่อหน่วยผลิตสูงขึ้น แต่ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียของข้อบกพร่องทั้งสองประเภทเป็น 0 เช่นเดียวกันกับที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นตายตัดที่ 30,000 สโตรก

4. ในการวิจัยครั้งนี้มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการตัดเฉือนลง ส่งผลให้ผลิตภาพ (Productivity) ในการผลิตลดลง แต่งานวิจัยครั้งนี้การลดความเร็วในการตัดเฉือน ไม่ส่งผลต่อผลิตภาพ เนื่องจากกำลังการผลิตของเครื่องจักรมีเพียงพอต่อการผลิต สำหรับกรณีศึกษาอื่นๆ ในการกำหนดความเร็วตัดเฉือนที่เหมาะสม จำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อผลิตภาพด้วย

5. ในการวิจัยครั้งนี้มีปัจจัยความแข็งของยางยูรีเทน ดังนั้นจึงควรศึกษาค่ามอดูลัสของการกดเพิ่มเติมซึ่งเป็นค่าความยืดหยุ่นของยางยูรีเทน เพื่อใช้ในการออกแบบการรับแรงตัดเฉือนของแม่พิมพ์ ในกระบวนการตัดและเจาะรูให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นต่อไป

## รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ,(2553). การวิเคราะห์ระบบการวัด MSA. กรุงเทพมหานคร, สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

ชมพูนุช เต็มสายทอง,(2554). การลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นสำหรับโครงหลังคาเหล็กถาวรระยะ. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชลธาร รัตนพานิช,(2553). การลดของเสียสำหรับชิ้นส่วนอะไหล่ประตูดานยนต์. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชาญชัย ทรัพย์ากร, ประสิทธิ์ สวัสดิ์สรรพ์ และวิรุฬประเสริฐ วรนนท์,(2557). การออกแบบแม่พิมพ์. กรุงเทพมหานคร, สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

ปารเมศ ชูติมา,(2545). การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. บริษัทด้านอุตสาหกรรมพิมพ์, สำนักพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปิติวัฒน์ อุดมลักษณ์,(2554). การลดของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนในกระบวนการผลิตกระจกวัดฤดูบในอุตสาหกรรม ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วารุณี เปรมานนท์ และพงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์,(2557). แม่พิมพ์โลหะแผ่น. กรุงเทพมหานคร, สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

วารุณี เปรมานนท์ และอรจิรา เตียววณิชย์,(2557). วัสดุทำแม่พิมพ์และขึ้นงาน. กรุงเทพมหานคร, สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

วิทยา เจนจิวัฒน์กุล,(2554). การลดของเสียในกระบวนการพิมพ์พลาสติกโดยแนวทางซิกซ์ ซิกมา. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วีระยุทธ หล้าอมรชัยกุล,(2554). การออกแบบแม่พิมพ์ปั๊มโลหะด้วยเทคนิคการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

ศิริเวทย์ อัสวไชยวงศ์,(2556). การลดความแปรปรวนของคุณสมบัติของกระดาษทิชชูประเภทกระดาษชำระม้วน ใหญ่. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชมภาพร เพื่อนดวง,(2554). การวิเคราะห์และการหาสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสุป้าโดยใช้ หอกลับแบบเกิดปฏิกิริยา. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สลักจิตร พุทจักร,(2556). การลดรอบเวลาในการผลิตของกระบวนการผลิตปลั๊กปืนเม็ดกลม. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สาวิตรี วงศ์สาย และช่อแก้ว จตุรานนท์,(2554). การลดปริมาณความบกพร่องของผลิตภัณฑ์แผ่นล้อยางเพื่อทำยวรถ  
กระบบแม่พิมพ์ต่อเนื่องโดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัย  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ภาษาอังกฤษ

AIAG,(2008). POTENTIAL FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS.

AIAG และASQ,(2002). Measurement Systems Analysis (Msa), The Automotive Industries  
Action Group.

Bisgaard, S. และ Fuller, H.,(1994). Analysis of Factorial Experiments with Defects or  
Defectives as the Response.

Jiju, A.,(2014). "Design of Experiments and its Role Within Six Sigma." Elsevier(Design of  
Experiments for Engineers and Scientists): 201-208.

Jiju, A.,(2014). "Fundamentals of Design of Experiments." Elsevier(Design of Experiments  
for Engineers and Scientists): 7-17.

Jiju, A.,(2014). "A Systematic Methodology for Design of Experiments." Elsevier(Design of  
Experiments for Engineers and Scientists): 33-50.

Madani, S., Gheshlaghi, R. และMahdavi, M. A.,(2015). "Optimization of the performance  
of a double-chamber microbial fuel cell through factorial design of experiments and  
response surface methodology." Elsevier(Fuel): 434-440.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY





### ค่าใช้จ่ายจากชิ้นงานที่สามารถนำไปทำซ้ำ (Rework)

1 กระบวนการตัดและเจาะ มีข้อบกพร่อง 3 ประเภท คือ

#### 1.1 ข้อบกพร่องประเภทรอยจากการป้อนทับ

ทำการศึกษาค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อชิ้นที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการป้อนทับในกระบวนการตัดและเจาะ ดังแสดงในตารางที่ ก-1

ตารางที่ ก-1 ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อชิ้นที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการป้อนทับในกระบวนการตัดและเจาะ

กระบวนการ	ทรัพยากรที่ใช้		ค่าแรง	ค่าวัสดุ
	จำนวน (คน)	เวลา		
1. ตรวจสอบ	1	30 วินาที	2.50	0.00
2. เจียร	1	30 วินาที	2.50	1.00
3. ขัดตกแต่ง	1	1 นาที	5.00	2.00
4. ตรวจสอบ	1	1 นาที	5.00	0.00
รวม			15.00	3.00

จากตารางที่ ก-1 พบว่าค่าใช้จ่ายการทำซ้ำต่อชิ้นเมื่อเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยจากการป้อนทับในกระบวนการตัดและเจาะ เท่ากับ 18 บาท/ชิ้น

#### 1.2 ข้อบกพร่องประเภทเจาะรูไม่ทะลุ

ทำการศึกษาค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อชิ้นที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทเจาะรูไม่ทะลุในกระบวนการตัดและเจาะ ดังแสดงในตารางที่ 1.6

ตารางที่ ก-2 ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อชิ้นที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทเจาะรูไม่ทะลุในกระบวนการตัดและ เจาะ

กระบวนการ	ทรัพยากรที่ใช้		ค่าแรง	ค่าใช้จ่ายในกระบวนการทำซ้ำ
	จำนวน (คน)	เวลา		
1. ตรวจสอบ	1	30 วินาที	2.50	0.00
2. ป้อน	1	30 วินาที	2.50	2.00
4. ตรวจสอบ	1	30 วินาที	2.50	0.00
รวม			20.00	2.00

จากตารางที่ ก-2 พบว่าค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อชิ้นที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทเจาะรูไม่ทะลุ  
ในกระบวนการตัดและเจาะ เท่ากับ 22 บาท/ชิ้น

### 1.3 ข้อบกพร่องประเภทครีป

ทำการศึกษาค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อชิ้นเมื่อเกิดข้อบกพร่องประเภทครีปใน  
กระบวนการตัด และเจาะ ดังแสดงในตารางที่ ก-3  
ตารางที่ ก-3 ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อชิ้นที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทครีปในกระบวนการตัด และ  
เจาะ

กระบวนการ	ทรัพยากรที่ใช้		ค่าแรง	ค่าวัสดุ
	จำนวน (คน)	เวลา		
1. ตรวจสอบ	1	30 วินาที	2.50	0.00
2. เจียร	1	2 นาที	10.00	3.00
4. ตรวจสอบ	1	30 วินาที	2.50	0.00
รวม			15.00	3.00

จากตารางที่ ก-3 พบว่าค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อชิ้นเมื่อเกิดข้อบกพร่องประเภทครีปใน  
กระบวนการตัดและเจาะเท่ากับ 18 บาท/ชิ้น

2 กระบวนการขึ้นรูปและทำการอัดสลัก มีข้อบกพร่อง 4 ประเภท คือ

#### 2.1 ข้อบกพร่องประเภทรอยจากการป้อน

ทำการศึกษาค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อชิ้นเกิดจากข้อบกพร่องประเภทครีปในกระบวนการขึ้น  
รูปและทำการอัดสลัก ดังแสดงในตารางที่ ก-4

ตารางที่ ก-4 ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อชิ้นที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทรอยจากการป้อนใน  
กระบวนการขึ้นรูป และอัดสลัก

กระบวนการ	ทรัพยากรที่ใช้		ค่าแรง	ค่าวัสดุ
	จำนวน (คน)	เวลา		
1. ตรวจสอบ	1	30 วินาที	2.50	0.00
2. เจียร	1	30 วินาที	2.50	1.00
3. ขัดตกแต่ง	1	2 นาที	10.00	4.00
4. ตรวจสอบ	1	1 นาที	5.00	0.00
รวม			20.00	5.00

จากตารางที่ ก-4 พบว่าค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อชิ้นเมื่อเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยจากการปั๊ม  
ทับในกระบวนการขึ้นรูปและอัดสลัก เท่ากับ 25 บาท/ชิ้น

## 2.2 ข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกด

ทำการศึกษาค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อชิ้นที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของ  
การกดในกระบวนการขึ้นรูปและทำการอัดสลัก ดังแสดงในตารางที่ ก-5

ตารางที่ ก-5 ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อชิ้นที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทความไม่สมบูรณ์ของการกดใน  
กระบวนการขึ้นรูป และอัดสลัก

กระบวนการ	ทรัพยากรที่ใช้		ต้นทุนค่าแรง	ค่าใช้จ่ายในกระบวนการทำซ้ำ
	จำนวน (คน)	เวลา		
1. ตรวจสอบ	1	2 นาที	10.00	0.00
2. ปั๊ม	1	1 นาที	5.00	2.00
4. ตรวจสอบ	1	2 นาที	10.00	0.00
รวม			25.00	2.00

จากตารางที่ ก-5 พบว่าค่าใช้จ่ายการทำซ้ำต่อชิ้นเมื่อเกิดข้อบกพร่องประเภทความไม่  
สมบูรณ์ของการกดในกระบวนการขึ้นรูปและอัดสลัก เท่ากับ 27 บาท/ชิ้น

## 2.3 ข้อบกพร่องประเภทพับไม่ฉาก

ทำการศึกษาค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อชิ้นที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทพับไม่ฉากใน  
กระบวนการขึ้นรูปและทำการอัดสลัก ดังแสดงในตารางที่ ก-6

ตารางที่ ก-6 ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อชิ้นที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทพับไม่ฉากในกระบวนการขึ้น  
รูป และอัดสลัก

กระบวนการ	ทรัพยากรที่ใช้		ค่าแรง	ค่าใช้จ่ายในกระบวนการทำซ้ำ
	จำนวน (คน)	เวลา		
1. ตรวจสอบ	1	30 วินาที	2.50	0.00
2. ปั๊ม	1	1 นาที	5.00	2.00
4. ตรวจสอบ	1	30 วินาที	2.50	0.00
รวม			10.00	2.00

จากตารางที่ ก-6 พบว่าค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อชิ้นเมื่อเกิดข้อบกพร่องประเภทพับไม่ฉากในกระบวนการขึ้นรูปและอัดสลัก เท่ากับ 12 บาท/ชิ้น

#### 2.4 ข้อบกพร่องประเภทครีบ

ทำการศึกษาค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อชิ้นที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทครีบในกระบวนการขึ้นรูปและทำการอัดสลัก ดังแสดงในตารางที่ ก-7

ตารางที่ ก-7 ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อชิ้นที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทครีบในกระบวนการขึ้นรูปและอัดสลัก

กระบวนการ	ทรัพยากรที่ใช้		ค่าแรง	ค่าวัสดุ
	จำนวน (คน)	เวลา		
1. ตรวจสอบ	1	30 วินาที	2.50	0.00
2. เจียร	1	2 นาที	10.00	3.00
4. ตรวจสอบ	1	30 วินาที	2.50	0.00
รวม			15.00	3.00

จากตารางที่ ก-7 พบว่าค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อชิ้นเมื่อเกิดข้อบกพร่องประเภทครีบในกระบวนการขึ้นรูป และอัดสลัก เท่ากับ 18 บาท/ชิ้น

3 กระบวนการปั๊มสัญลักษณ์ มีข้อบกพร่อง 1 ประเภทคือ

#### 3.1 สัญลักษณ์ไม่ชัด

ทำการศึกษาค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อชิ้นที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทสัญลักษณ์ไม่ชัดในกระบวนการปั๊มสัญลักษณ์ ดังแสดงในตารางที่ ก-8

ตารางที่ ก-8 ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อชิ้นที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทสัญลักษณ์ไม่ชัดในกระบวนการปั๊มสัญลักษณ์

กระบวนการ	ทรัพยากรที่ใช้		ค่าแรง	ค่าใช้จ่ายในกระบวนการทำซ้ำ
	จำนวน (คน)	เวลา		
1. ตรวจสอบ	1	30 วินาที	2.50	0.00
2. ปั๊ม	1	2 นาที	10.00	1.00
4. ตรวจสอบ	1	30 วินาที	2.50	0.00
รวม			15.00	1.00

จากตารางที่ ก-8 พบว่าค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อชิ้นเมื่อเกิดข้อบกพร่องประเภทสัญลักษณ์ไม่ชัดในกระบวนการปั๊มสัญลักษณ์ เท่ากับ 16 บาท/ชิ้น

4 กระบวนการชุบสี มีข้อบกพร่อง 2 ประเภท คือ

ผิวชุบไม่สวย และชุบไม่ติด

ทำการศึกษาค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อชิ้นที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทผิวชุบไม่สวย และชุบไม่ติดในกระบวนการชุบสี ดังแสดงในตารางที่ ก-9

ตารางที่ ก-9 ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อชิ้นที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทผิวชุบไม่สวย และชุบไม่ติดในกระบวนการชุบสี

กระบวนการ	ทรัพยากรที่ใช้		ค่าแรง	ค่าใช้จ่ายในกระบวนการทำซ้ำ
	จำนวน (คน)	เวลา		
1. ตรวจสอบ	1	1 นาที	5.00	0.00
2. ส่งชุบใหม่	1	2 นาที	10.00	5.00
4. ตรวจสอบ	1	1 นาที	5.00	0.00
รวม			20.00	5.00

จากตารางที่ ก-9 พบว่าค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อชิ้นเมื่อเกิดข้อบกพร่องประเภทผิวชุบไม่สวย และชุบไม่ติดในกระบวนการชุบสีเท่ากับ 30 บาท/ชิ้น



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายปกรณ์ วิริยะกอบบุญ เกิดเมื่อวันที่ 01 กันยายน พ.ศ. 2531 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ในปีการศึกษา 2552 หลังจากจบการศึกษาได้เข้าทำงานที่ บริษัท ไทย โคเออีที จำกัด ในตำแหน่งวิศวกรคุณภาพสินค้าจากผู้รับเหมาช่วง จากนั้นได้ทำการเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557

