Chulalongkorn University
Chula Digital Collections

Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)

2021

การประยุกต์ใช้แนวทางลีน ซิกซ์ ซิกมา เพื่อลดการสิกหรอของแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ขนาดเล็ก

ปิยะธิดา การสร้าง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Follow this and additional works at: https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd

Recommended Citation

การสร้าง, ปิยะธิดา, "การประยุกต์ใช้แนวทางลีน ซิกซ์ ซิกมา เพื่อลดการสิกหรอของแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ขนาดเล็ก" (2021). *Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)*. 5177.
https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/5177

This Thesis is brought to you for free and open access by Chula Digital Collections. It has been accepted for inclusion in Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD) by an authorized administrator of Chula Digital Collections. For more information, please contact ChulaDC@car.chula.ac.th.

การประยุกต์ใช้แนวทางลีน ซิกซ์ ซิกมา เพื่อลดการสึกหรอของแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ขนาดเล็ก

น.ส.ปิยะธิดา การสร้าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม (สหสาขาวิชา) สหสาขาวิชาธุรกิจเทคโนโลยีและ
การจัดการนวัตกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF LEAN SIX SIGMA METHODOLOGY FOR THE WEAR REDUCTION OF SMALL DIE CUT AND PUNCH

Miss Piyathida Karnsarng

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Technopreneurship and Innovation Management
Inter-Department of Technopreneurship and Innovation Management
GRADUATE SCHOOL
Chulalongkorn University
Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้แนวทางลีน ซิกซ์ ซิกมา เพื่อลดการสึกหรอของแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ขนาดเล็ก
โดย	น.ส.ปิยะธิดา การสร้าง
สาขาวิชา	ธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม (สหสาขาวิชา)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร.ขวัญรัฐ ส่วนพงษ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

---------- คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา ฉัพพรรณรัตน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

---------- ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.สนอง เอกสิทธิ์)

---------- อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา)

---------- อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร.ขวัญรัฐ ส่วนพงษ์)

---------- กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

---------- กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ เดไปวา)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปิยะธิดา การสร้าง : การประยุกต์ใช้แนวทางลีน ซิกซ์ ซิกมา เพื่อลดการสึกหรอของแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ขนาดเล็ก. (APPLICATION OF LEAN SIX SIGMA METHODOLOGY FOR THE WEAR REDUCTION OFSMALL DIE CUT AND PUNCH) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร.ปารเมศ ชุติมา, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ. ดร.ขวัญรัฐ ส่วนพงษ์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดของแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ขนาดเล็กในโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีปัญหาเพิ่มมากขึ้น รวมถึงมีต้นทุนค่าใช้จ่ายทากระบวนการผลิตที่สูงขึ้น โดยการปรับปรุงกระบวนการผลิตจะนำแนวคิดลีน ซิกซ์ ซิกมา (Lean Six Sigma) มาประยุกต์ใช้

ในการดำเนินงานวิจัยจะดำเนินตามหลักการซิกซ์ ซิกมา ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน โดยเริ่มจากการ ศึกษากระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ขนาดเล็ก สำรวจสภาพปัญหาในปัจจุบันโดยอ้างอิงจากข้อมูลทางสถิติ และกำหนดขอบเขตในงานวิจัย ต่อมา รวบรวมข้อมูลทางสถิติเพื่อหาปัจจัยที่เป็นไปได้ และคัดกรองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดการสึกหรอในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์อย่างแท้จริง ซึ่งมีทั้งหมด 2 ปัจจัย คือ น้ำมันหล่อลื่น และ การเคลือบผิว ในระยะปรับปรุงกระบวนการ ได้ทำการทดสอบสมมติฐาน พบว่า กลุ่มแม่พิมพ์และพันช์ที่มีการใช้น้ำมันหล่อลื่นและการเคลือบผิวมีสัดส่วนของเสียน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้น้ำมันหล่อลื่นและการเคลือบผิว จึงทำการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Full Factorial Design) เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการลดการสึกหรอ ซึ่งค่าของระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ การใช้การเคลือบผิวชนิด PVD – AlCrN และ การใช้น้ำมันว่านหางจระเข้ ต่อมานำค่าระดับปัจจัยที่ได้ไปปรับใช้กับกระบวนการผลิตจริงเพื่อยืนยันผลการทดลอง พบว่า สามารถลดแม่พิมพ์และพันช์ที่มีการสึกหรอจากเดิมที่พบ 25 ตัวต่อเดือนโดยเฉลี่ย เหลือเพียง 3 ตัวต่อเดือนโดยเฉลี่ย และสามารถลดค่าใช้จ่ายทางกระบวนการผลิตที่เกิดจากของเสียลดลงจาก 72,566 บาทต่อเดือน เหลือ 8,766 ต่อเดือนโดยเฉลี่ย จากการศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยีการเคลือบผิวบางแบบ PVD และน้ำมันว่านหางจระเข้ไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ ซึ่งเป็นรูปแบบการอนุญาตให้ใช้สิทธิ โดยไม่จำกัดสิทธิผู้ได้รับอนุญาต จากการวางแผนธุรกิจในกรณีปกติ (Based Case) จะมีระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period) อยู่ที่ 1 ปี มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อยู่ที่ 2,858,006.17 บาท และมีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เท่ากับ 342.35%

สาขาวิชา	ธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม (สหสาขาวิชา)	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2564	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

6380167520 : MAJOR TECHNOPRENEURSHIP AND INNOVATION MANAGEMENT
KEYWORD: Lean Six Sigma, Die cut and Punch, Wear

Piyathida Karnsarng : APPLICATION OF LEAN SIX SIGMA METHODOLOGY FOR THE WEAR REDUCTION OFSMALL DIE CUT AND PUNCH . Advisor: Prof. PARAMES CHUTIMA, Ph.D. Co-advisor: Dr. Kwanrat Suanpong

The purpose of this research is to prevent wear on the cutting edge of small die cuts and punches in a case study factory, which is the primary reason for an increase in defective products and extremely high production costs. In addition, the Lean Six Sigma approach is implemented to improve the production process.

The research conducted the Six Sigma methodology, which consists of five phases, beginning with reviewing the manufacturing process for small die-cutting and punch. Then, utilizing statistical data to identify the problem statement. Subsequently, screen and determine the potential factors causing wear, which are the lubricant and the coating. The hypothesis was tested during the process improvement phase, and it was observed that the die and punch groups that used lubricant and coating had a lower percentage of waste than the groups that did not use lubricant and coating. As a result, a full factorial design experiment was carried out to identify the optimal factor level for minimizing wear. The PVD-AlCrN coating and aloe vera oil were the optimal settings. After validating the experimental results, the optimal setting was applied to the production process. It was discovered that the average number of worn dies and punches per month was reduced from 25 to just 3. Additionally, it can reduce production expenses associated with waste, reducing monthly costs by an average of 72,566 baht to 8,766 baht. The study revealed that a non-exclusive licensing approach is feasible for commercializing PVD thin coating technology and aloe vera oil. According to business planning, the payback period for a based case will be one year, with a net present value (NPV) of 2,858,006.17 baht and an internal rate of return (IRR) of 342.35%.

Field of Study:	Technopreneurship and Innovation Management	Student's Signature .....
Academic Year:	2021	Advisor's Signature .....
		Co-advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องด้วยความอนุเคราะห์และการเสียสละเวลาจากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ขวัญรัฐ ส่วนพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ซึ่งให้ความช่วยเหลือ และคำปรึกษาตั้งแต่เริ่มต้นโครงร่างวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ ตลอดจนให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานวิจัย รวมถึงให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยอย่างสม่ำเสมอซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. สนอง เอกสิทธิ์ ประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล กรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ เดไปวา กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ให้ความกรุณาสละเวลาในการให้คำแนะนำเพื่อแก้ไขปัญหาและตรวจสอบข้อบกพร่อง ซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณโรงงานกรณีศึกษาเป็นอย่างสูงที่อนุญาตให้ใช้สถานที่ในการศึกษาทำวิจัย และให้ความร่วมมือในการทำวิจัยตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จ ตลอดจนพนักงานที่ช่วยระดมความคิด และแนะนำข้อมูลซึ่งเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ข้าพเจ้า ขอขอบคุณพนักงานและเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาทุกท่านที่ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในด้านการดำเนินเอกสารมาโดยตลอด และ ขอบคุณเพื่อนๆ รุ่น 14 รวมถึง รุ่นพี่ ทุกท่านในหลักสูตรธุรกิจ เทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม ผู้ซึ่งช่วยเหลือ ให้คำแนะนำทั้งในด้านการเรียนและการดำเนินงานวิจัย รวมถึงให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบิดา มารดา น้องสาว และครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจและการสนับสนุนแก่ผู้วิจัยเสมอมา และขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่คอยให้ความสนับสนุนจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ปิยะธิดา การสร้าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฐ
สารบัญรูป ..... ณ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ข้อมูลเบื้องต้นโรงงานกรณีศึกษา 1
1.1.1 ข้อมูลกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แต่ละประเภท 1
1.1.2 กระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดของโรงงานกรณีศึกษา 2
1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 3
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 13
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย 13
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 14
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย 15
1.7 แผนการดำเนินงาน 16
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 17
2.1 แม่พิมพ์แบบตัด (Die-cut) 17
2.1.1 ลักษณะของแม่พิมพ์แบบตัดหรือแม่พิมพ์ไดคัท 17
2.2 หลักการของแม่พิมพ์ในการตัดวัสดุ 20
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัด 20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3.1 ทฤษฎีการตัดเฉือน 20
2.3.2 องค์ประกอบสำคัญในกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ไดคัท 21
2.3.3 ประเภทมีดที่ใช้ในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัด.....21
2.4 การสึกหรอ.....24
2.4.1 การสึกหรอที่เกิดขึ้นในพันช์สำหรับงานแม่พิมพ์แบบตัด 25
2.4.2 ลักษณะการสึกหรอที่เกิดในงานแม่พิมพ์แบบตัด.....26
2.5 น้ำมันหล่อลื่น.....29
2.6 กระบวนการเคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็ง 31
2.6.1 การเคลือบผิวแข็งด้วยกระบวนการไอเคมี (Chemical Vapor Deposition: CVD) ...31
2.6.2 การเคลือบผิวแข็งด้วยกระบวนการไอทางกายภาพ (Physical Vapor Deposition: PVD) 32
2.7 ลีน (Lean) 33
2.7.1 ความหมายของลีนและระบบการผลิตแบบลีน.....33
2.7.2 ความเป็นมาของแนวคิดเกี่ยวกับลีน.....33
2.7.3 การขจัดความสูญเปล่า.....36
2.8 ซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma) 39
2.8.1 นิยามของแนวทางซิกซ์ ซิกมา 39
2.8.2 ประวัติและความเป็นมาของซิกซ์ ซิกมา.....40
2.8.3 กรอบแนวคิดของซิกซ์ ซิกมา.....40
2.8.4 กระบวนการปรับปรุงคุณภาพตามแนวทางของซิกซ์ ซิกมา.....43
2.9 แนวคิดลีน ซิกซ์ ซิกมา (Lean Six Sigma).....45
2.10 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools).....49
2.10.1 ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram).....49
2.10.2 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram).....51

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.10.3 แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart).....52
2.10.4 แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram).....53
2.10.5 ใบตรวจสอบ (Check sheet).....54
2.10.6 ฮิสโตแกรม (Histogram).....55
2.10.7 แผนภูมิควบคุม (Control Chart).....55
2.11 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments, DOE).....56
2.11.1 หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง.....56
2.11.2 ส่วนประกอบของการออกแบบการทดลอง.....57
2.11.3 รูปแบบของการออกแบบการทดลอง.....58
2.12 นวัตกรรม.....60
2.12.1 การแบ่งประเภทของนวัตกรรม.....61
2.13 มาตรฐานระบบการจัดการนวัตกรรม (ข้อแนะนำ) ISO 56002.....62
2.14 ทฤษฎี TRIZ.....64
2.15 แนวทางการบูรณาการแนวทางซิกซ์ ซิกมา ร่วมกับระบบ ISO 56002 และทฤษฎี TRIZ....65
2.16 บทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....70
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....78
3.1 กรอบแนวคิด.....78
3.2 ขั้นตอนการนิยามปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงงานกรณีศึกษา.....80
3.2.1 เลือกกระบวนการผลิตที่ต้องการศึกษา.....80
3.2.2 ศึกษาสภาพปัญหาในปัจจุบันของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์และพันช์.....80
3.2.3 กำหนดเป้าหมายและขอบเขต.....80
3.3 ขั้นตอนการรวบรวมและวัดสภาพปัญหาของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์.....81
3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์.....81
3.4.1 สาเหตุของปัญหาในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์.....81

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.4.2 การจัดลำดับความสำคัญสาเหตุของปัญหาในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์.....82
3.4.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่มีความสำคัญในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์.....82
3.5 ขั้นตอนการแก้ไขปรับปรุงปัญหาของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์.....84
3.5.1 ตัวชี้วัดในการทดลอง.....84
3.5.2 การปรับปรุงปัญหาด้านข้อบกพร่องในการผลิตแม่พิมพ์และพันช์.....85
3.6 ขั้นตอนการควบคุม.....87
3.7 สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ.....87
บทที่ 4 การนิยามปัญหา (Define Phase).....88
4.1 จัดตั้งคณะทำงาน.....88
4.2 ผลการศึกษากระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ขนาดเล็กของโรงงานกรณีศึกษา.....88
4.3 การนิยามปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต.....93
4.3.1 ปัญหาด้านของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต.....94
4.3.2 การกำหนดเป้าหมายและตัวชี้วัดทางธุรกิจ (Business Metric).....96
4.4 สรุประยะนิยามปัญหา.....97
บทที่ 5 การวัดสภาพปัญหา (Measure Phase).....98
5.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงของระบบวัด.....98
5.2 ผลการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงของระบบวัด.....100
5.3 สรุประยะการวัดสภาพปัญหา.....107
บทที่ 6 การวิเคราะห์ปัญหา (Analyze Phase).....108
6.1 การหาปัจจัยนำเข้าโดยใช้แผนผังแสดงเหตุและผล.....108
6.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix).....110
6.3 การวิเคราะห์คุณลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่ตามมา (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA).....115
6.4 สรุประยะการวิเคราะห์ปัญหา.....117

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 7 การปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase) 119
7.1 ปัจจัยนำเข้าสำหรับการทดลอง 119
7.2 การทดสอบสมมติฐาน 119
7.2.1 ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐาน 120
7.2.2 การกำหนดสมมติฐานในการทดสอบ 120
7.2.3 การกำหนดตัวชี้วัดลักษณะชิ้นงานดีและชิ้นงานเสีย 120
7.2.4 การคำนวณปริมาณชิ้นงานตัวอย่างในการทดสอบ 121
7.2.4 ผลการทดสอบสมมติฐาน 122
7.2.5 สรุปผลการทดสอบสมมติฐาน 123
7.3 การกำหนดปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ 124
7.4 ตัวแปรตอบสนอง 127
7.5 ปัจจัยควบคุม 127
7.6 การออกแบบการทดลอง 127
7.7 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง 128
7.8 ผลการทดลอง 131
7.9 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง 132
7.9.1 การตรวจสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติ 132
7.9.2 การตรวจสอบสมมติฐานความเป็นอิสระ 134
7.9.3 การตรวจสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล 135
7.10 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 136
7.11 การหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม 139
7.12 สรุประยะการปรับปรุงกระบวนการ 141
บทที่ 8 การควบคุมกระบวนการ (Control Phase) 142
8.1 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง 142

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

8.1.1 ขั้นตอนในการทดลองเพื่อยืนยันผล 142
8.1.2 ผลการทดลองสำหรับยืนยันผล 143
8.2 การกำหนดแผนภูมิควบคุม 144
8.3 แนวทางการควบคุมระดับของปัจจัย 145
8.4 ข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต 151
8.5 สรุประยะการควบคุมกระบวนการ 153
บทที่ 9 แผนการนำเทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ 154
9.1 รายละเอียดของเทคโนโลยีและนวัตกรรม 154
9.2 ความพร้อมของเทคโนโลยี 156
9.3 ความเป็นไปได้ในการต่อยอดเชิงพาณิชย์ 158
9.3.1 การนำเทคโนโลยีออกสู่ตลาด (Technology Exploitation Approach) 158
9.4 แผนธุรกิจ 161
9.4.1 การกำหนดกลุ่มเป้าหมาย 161
9.4.2 ปัญหาของกลุ่มเป้าหมาย 161
9.4.3 การประเมินความเสี่ยง 161
9.4.4 ความเป็นไปได้ทางการตลาด 162
9.4.5 ความเป็นไปได้ด้านการบริหารจัดการ 162
9.4.6 ความเป็นไปได้ด้านการเงิน 162
บทที่ 10 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 168
10.1 บทสรุประยะนิยามปัญหา 168
10.2 บทสรุประยะการวัดสภาพปัญหา 169
10.3 บทสรุประยะการวิเคราะห์ปัญหา 169
10.4 บทสรุประยะการปรับปรุงกระบวนการ 170
10.5 บทสรุประยะการควบคุมกระบวนการ 170

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

10.6 บทสรุปความเป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ 171
10.7 ข้อจำกัดในการดำเนินงานวิจัย..... 172
10.8 ข้อเสนอแนะ 172
บรรณานุกรม 174
ภาคผนวก ก ข้อมูลระยะนิยามปัญหา..... 183
ภาคผนวก ข ข้อมูลระยะการวัดสภาพปัญหา..... 191
ภาคผนวก ค ข้อมูลระยะการปรับปรุงกระบวนการ 198
ประวัติผู้เขียน 202

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ปัญหาที่พบในกระบวนการผลิตและแนวทางการแก้ไขปัญหาของโรงงานกรณีศึกษา 7

ตารางที่ 1.2 ปัญหาที่พบด้านผลิตภัณฑ์จากลูกค้าร้องเรียนและแนวทางการแก้ไขปัญหาของโรงงานกรณีศึกษา 7

ตารางที่ 1.3 สาเหตุที่ส่งผลให้เกิดการสึกหรอในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ 11

ตารางที่ 1.4 รายละเอียดระยะเวลาการดำเนินการวิจัย 16

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบระหว่างบล็อกไดคัท แม่พิมพ์ตัดแบบเรียบและแม่พิมพ์ตัดแบบโค้งเมื่ออยู่ในกระบวนการตัดเฉือน 19

ตารางที่ 2.2 ประเภทของมีดและการใช้งานที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ไดคัท 23

ตารางที่ 2.3 ความหนาและความสูงของมีดแต่ละชนิด 24

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันหล่อลื่นที่มีพื้นฐานจากน้ำมันแร่ การสังเคราะห์และทางชีวภาพ 31

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบวิธีการแบบเก่า และแบบใหม่ (Lean Six Sigma) 48

ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบแนวทางซิกซ์ ซิกมา ทฤษฎี TRIZ และ ISO 56002 66

ตารางที่ 2.7 งานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับปัจจัยการลดการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ 74

ตารางที่ 4.1 จำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องเทียบกับจำนวนการผลิตจริงตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 93

ตารางที่ 5.1 เกณฑ์ในการตัดสินความเที่ยงตรงของระบบวัด 99

ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์ของระบบวัด 100

ตารางที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงาน 101

ตารางที่ 5.4 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานด้วยหลักของสัมประสิทธิ์ Kappa 102

ตารางที่ 5.5 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของพนักงานแต่ละคนเปรียบเทียบค่ามาตรฐาน 102

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.6 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการตัดสินใจตรงกับค่ามาตรฐาน..... 103
ตารางที่ 5.7 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการตัดสินใจตรงกับค่ามาตรฐานตามเกณฑ์ AIAG.. 103
ตารางที่ 5.8 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการตัดสินใจตรงกับค่ามาตรฐานด้วยหลักของสัมประสิทธิ์ Kappa..... 104
ตารางที่ 5.9 ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างผู้ตรวจสอบกับผู้ตรวจสอบอื่น..... 104
ตารางที่ 5.10 ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างผู้ตรวจสอบกับผู้ตรวจสอบอื่นด้วยหลักของสัมประสิทธิ์ Kappa..... 105
ตารางที่ 5.11 ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างผู้ตรวจสอบทั้งหมดกับค่ามาตรฐาน 105
ตารางที่ 5.12 ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างผู้ตรวจสอบทั้งหมดกับค่ามาตรฐานด้วยหลักของสัมประสิทธิ์ Kappa 106
ตารางที่ 6.1 เกณฑ์การประเมินความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล 110
ตารางที่ 6.2 ผลสรุปคะแนนของแต่ละปัจจัยนำเข้า 112
ตารางที่ 6.3 ปัจจัยนำเข้าที่มีคะแนนสูงสุด 5 อันดับ..... 113
ตารางที่ 6.4 ผลการวิเคราะห์ FMEA เรียงลำดับแต่ละปัจจัยตามค่า RPN 116
ตารางที่ 7.1 การกำหนดระดับปัจจัยในการทดสอบสมมติฐาน..... 119
ตารางที่ 7.2 ผลการทดสอบสมมติฐาน..... 122
ตารางที่ 7.3 คุณสมบัติทางเคมีของแต่ละชนิดน้ำมันหล่อลื่น..... 124
ตารางที่ 7.4 ลักษณะและคุณสมบัติการเคลือบผิวแบบ PVD ที่ใช้ในการทดลอง..... 126
ตารางที่ 7.5 ปัจจัยและระดับของปัจจัยสำหรับการทดลอง 126
ตารางที่ 7.6 ผลการทดลองการสึกหรอหลังจากปั๊มตัดวัสดุ 10,000 ครั้ง 131
ตารางที่ 7.7 ค่าที่เหมาะสมสำหรับลดการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดของแม่พิมพ์และพันช์..... 141
ตารางที่ 8.1 ระดับค่าปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงกระบวนการผลิต 142
ตารางที่ 8.2 สัดส่วนของเสียและน้ำหนักเหล็กที่ลดลงหลังจากปรับปรุงกระบวนการ 143
ตารางที่ 8.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงานควบคุมกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์..... 146
ตารางที่ 8.4 เปรียบเทียบจำนวนของเสียและต้นทุนของเสียก่อนและหลังปรับปรุง 152

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 9.1 ความพร้อมของเทคโนโลยีการชะลอการสึกหรอบริเวณขอบคมตัด..... 157
ตารางที่ 9.2 ผลประเมินรูปแบบการนำเทคโนโลยีออกสู่ตลาด 159
ตารางที่ 9.3 เหตุผลการสนับสนุนและคัดค้านในการประเมินรูปแบบการนำเทคโนโลยีออกสู่ตลาด 160
ตารางที่ 9.4 แผนประมาณการทางการเงิน..... 164
ตารางที่ 9.5 ประมาณการรายได้ ค่าใช้จ่าย และกระแสเงินสดสุทธิในกรณีปกติ (Based Case)... 165
ตารางที่ 9.6 ประมาณการรายได้ ค่าใช้จ่าย และกระแสเงินสดสุทธิในกรณีแย่ที่สุด (Worst Case)165
ตารางที่ 9.7 ประมาณการรายได้ ค่าใช้จ่าย และกระแสเงินสดสุทธิในกรณีที่ดีที่สุด (Best Case). 166
ตารางที่ 9.8 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ในกรณีปกติ (Based Case)..... 166
ตารางที่ 9.9 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ในกรณีแย่ที่สุด (Worst Case)..... 167
ตารางที่ 9.10 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ในกรณีที่ดีที่สุด (Best Case)..... 167

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 แม่พิมพ์แบบตัด 1

รูปที่ 1.2 แม่พิมพ์โลหะฝังไม้ 2

รูปที่ 1.3 ขั้นตอนกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัด 3

รูปที่ 1.4 ลักษณะดายที่มีรอยบิ่นและขึ้นสนิม 5

รูปที่ 1.5 ลักษณะพันช์ทั่วไปที่ใช้ในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัด 5

รูปที่ 1.6 ลักษณะพันช์ที่มีรอยบิ่น การสึกหรอและขึ้นสนิม 5

รูปที่ 1.7 ปริมาณการผลิตเมื่อเทียบกับของเสียตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน 2563 ถึง เดือนมีนาคม 2564 8

รูปที่ 1.8 จำนวนของเสียที่พบตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน 2563 ถึง เดือนมีนาคม 2564 โดยแบ่งตามของเสียที่พบในกระบวนการผลิตและของเสียที่พบจากลูกค้าร้องเรียน 9

รูปที่ 1.9 มูลค่าความเสียหายที่เกิดจากการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน 2563 ถึง เดือนมีนาคม 2564 10

รูปที่ 1.10 แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) แสดงสาเหตุที่อาจส่งผลต่อการสึกหรอในแม่พิมพ์และพันช์ 12

รูปที่ 2.1 ลักษณะของบล็อกมีดไดคัท 17

รูปที่ 2.2 ลักษณะของแม่พิมพ์ตัดแบบเรียบ และแม่พิมพ์ตัดแบบโค้ง 18

รูปที่ 2.3 หลักการของแม่พิมพ์ในการตัดวัสดุ 20

รูปที่ 2.4 ตำแหน่งการสึกหรอที่เกิดขึ้นบนพันช์และดาย 25

รูปที่ 2.5 การสึกหรอแบบเชื่อมหรือยึดเกาะติด 26

รูปที่ 2.6 กลไกการสึกหรอแบบขัดถูระหว่างวัตถุสองชิ้นและสามชิ้น 27

รูปที่ 2.7 (A) ลักษณะการสึกหรอแบบขัดถูระหว่างวัตถุสองชิ้น (B) ลักษณะการสึกหรอแบบขัดถูระหว่างวัตถุสามชนิด 27

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 2.8 การสึกหรอเนื่องจากความล้าตัว....28
รูปที่ 2.9 การสึกหรอจากการกัดกร่อน....28
รูปที่ 2.10 ขั้นตอนในการผลิตน้ำมันหล่อลื่น....29
รูปที่ 2.11 กระบวนการเคลือบผิวแข็งด้วยกระบวนการไอเคมี....32
รูปที่ 2.12 กระบวนการเคลือบผิวแข็งด้วยกระบวนการไอทางกายภาพ....33
รูปที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์และความผิดพลาดที่มีโอกาสเกิดขึ้นต่อโอกาสล้านครั้งภายใต้ค่าซิกซ์มาในแต่ละระดับ....41
รูปที่ 2.14 กระจายตัวภายใต้เส้นโค้งปกติของแนวทาง Six Sigma....42
รูปที่ 2.15 กระบวนการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยลดความผันแปร....42
รูปที่ 2.16 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาในแนวทาง DMAIC....44
รูปที่ 2.17 การบูรณาการของแนวทางลีน และแนวทางซิกซ์ ซิกมา....46
รูปที่ 2.18 กรอบแนวคิดของแนวทางลีน ซิกซ์ ซิกมา....47
รูปที่ 2.19 ผังแสดงเหตุและผล....49
รูปที่ 2.20 แผนภูมิพาเรโต....51
รูปที่ 2.21 สัญลักษณ์ในแผนภูมิกระบวนการไหล....52
รูปที่ 2.22 รูปแบบแผนภาพการกระจาย....53
รูปที่ 2.23 ฮิสโตแกรม....55
รูปที่ 2.24 แผนภูมิควบคุม....56
รูปที่ 2.25 โครงสร้างการบริหารจัดการนวัตกรรมตามมาตรฐาน ISO 56002:2019....63
รูปที่ 2.26 ผลลัพธ์จากการค้นหาด้วย Google สำหรับทฤษฎีการสร้างนวัตกรรม....64
รูปที่ 2.27 การเปรียบเทียบแนวทางซิกซ์ ซิกมา รวมกับทฤษฎี TRIZ และ ISO 56002....68
รูปที่ 2.28 แนวทางการบูรณาการแนวทางซิกซ์ ซิกมา ร่วมกับ ISO 56002....69
รูปที่ 2.29 กรอบแนวคิดในการศึกษาเพื่อหาตัวแปรที่ส่งผลต่อการลดการสึกหรอ....73
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนหลักในการดำเนินงานวิจัย....79

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 3.2 เกณฑ์การวัดผลลัพธ์ในการทดลอง 84
รูปที่ 4.1 ลักษณะแบบกระเป๋าตัวอย่าง 89
รูปที่ 4.2 การออกแบบลักษณะชิ้นงานตัวอย่างด้วยโปรแกรม AutoCAD.....89
รูปที่ 4.3 วิธีการดัดงอมีดเหล็ก 90
รูปที่ 4.4 การติดตั้งพันช์บนแม่พิมพ์.....91
รูปที่ 4.5 ขั้นตอนของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์.....92
รูปที่ 4.6 มูลค่าของต้นทุนทางการผลิตที่เพิ่มขึ้นจากการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 94
รูปที่ 4.7 แผนภูมิพาเรโตแสดงสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีประเภทแยกตามสาเหตุของข้อบกพร่องตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2564.....95
รูปที่ 6.1 แผนภาพการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดของแม่พิมพ์และพันช์ 109
รูปที่ 6.2 กราฟแสดงลำดับคะแนนของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ 113
รูปที่ 6.3 แผนภาพพาเรโตเรียงลำดับความสำคัญแต่ละปัจจัยตามค่า RPN..... 117
รูปที่ 7.1 ขนาดตัวอย่างชิ้นงานต้นแบบ..... 121
รูปที่ 7.2 ตัวอย่างขนาดชิ้นงานเสีย..... 121
รูปที่ 7.3 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน..... 122
รูปที่ 7.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการใช้น้ำมันหล่อลื่นและการเคลือบผิว 123
รูปที่ 7.5 น้ำมันว่านหางจระเข้ (Aloe Vera Oil)..... 128
รูปที่ 7.6 น้ำมันละหุ่ง (Castor Oil)..... 129
รูปที่ 7.7 น้ำมันมะพร้าว (Coconut Oil)..... 129
รูปที่ 7.8 น้ำมันแร่ (Mineral Oil)..... 129
รูปที่ 7.9 พันช์ที่ผ่านการเคลือบผิวเรียบร้อยแล้ว 130
รูปที่ 7.10 ผลตรวจสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติด้วยแผนภูมิพาเรโต..... 132
รูปที่ 7.11 ผลตรวจสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติของค่าส่วนตกค้าง..... 133

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 7.12 ผลการตรวจสอบสมมติฐานความเป็นอิสระ 134
รูปที่ 7.13 ผลการตรวจสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล 135
รูปที่ 7.14 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดของแม่พิมพ์และพันช์ 136
รูปที่ 7.15 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยด้านการเคลือบผิวและน้ำมันหล่อลื่น 137
รูปที่ 7.16 ลักษณะการสึกหรอของการเคลือบผิวชนิด PVD – AlCrN 138
รูปที่ 7.17 ลักษณะการสึกหรอของการเคลือบผิวชนิด PVD – TiCN 138
รูปที่ 7.18 ลักษณะการสึกหรอของพันช์ที่ใช้น้ำมันว่านหางจระเข้ 138
รูปที่ 7.19 ตัวอย่างการสึกหรอของแม่พิมพ์ที่ไม่มีการเคลือบผิวและไม่มีการใช้น้ำมันหล่อลื่น 139
รูปที่ 7.20 ผลการหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย (Response Optimization) 140
รูปที่ 8.1 แผนภูมิควบคุม I-MR ของอัตราของเสียในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ 145
รูปที่ 8.2 ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์แบบใหม่ 150
รูปที่ 8.3 กราฟวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตหลังปรับปรุง 152
รูปที่ 9.1 ขั้นตอนการพัฒนานวัตกรรมกระบวนการ 155
รูปที่ 9.2 Technology Readiness of Level (TRL) 156
รูปที่ 9.3 อัตราคิดลดที่ใช้ในการเจรจาต่อรองการอนุญาตใช้สิทธิ 163

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ข้อมูลเบื้องต้นโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษา เป็นโรงงานผลิตแม่พิมพ์หลายประเภท เช่น แม่พิมพ์แบบตัด แม่พิมพ์อัดฉีด แม่พิมพ์โลหะฝังไม้ เป็นต้น ก่อตั้งขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2546 ตั้งอยู่ ณ แขวงบางแค เขตบางแค จังหวัดกรุงเทพมหานคร โรงงานเปิดทำการวันจันทร์ – เสาร์ เวลา 8:00 – 17:00 น. มีพนักงานประมาณ 12 คน งานวิจัยนี้สนใจศึกษาเฉพาะกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัด

1.1.1 ข้อมูลกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แต่ละประเภท

โรงงานกรณีศึกษามีการผลิตแม่พิมพ์ โดยแบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก คือ แม่พิมพ์แบบตัด และ แม่พิมพ์โลหะฝังไม้ โดยแบ่งตามลักษณะการนำไปใช้ตัดชิ้นงาน ดังนี้

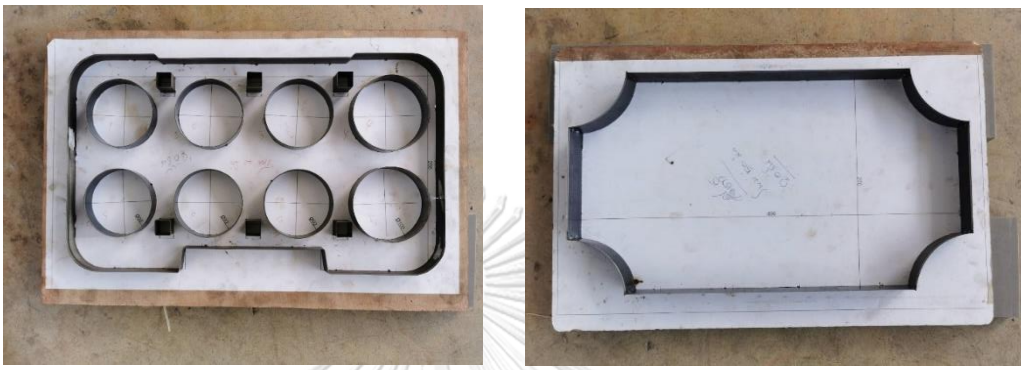
1. แม่พิมพ์แบบตัด

แม่พิมพ์แบบตัดหรือเรียกอีกอย่างได้ว่า บล็อกมีดไดคัท (Die cut) เป็นการนำโลหะมาดัดเป็นรูปทรงต่างๆ เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานที่ไม่ต้องการความละเอียดสูงมากนัก เช่น รองเท้า กระเป๋า ตุ๊กตา เป็นต้น

รูปที่ 1.1 แม่พิมพ์แบบตัด

2. แม่พิมพ์โลหะฝังไม้

แม่พิมพ์โลหะฝังไม้เป็นแม่พิมพ์ที่เหมาะกับงานที่ต้องการความละเอียดสูงและคงทน มีลักษณะกระบวนการผลิต คือ นำไม้มาเลื่อยฉลุให้เป็นรูปทรงที่ต้องการ จากนั้นนำโลหะไปใส่ยังรูปทรงที่เจาะไว้แล้ว



รูปที่ 1.2 แม่พิมพ์โลหะฝังไม้

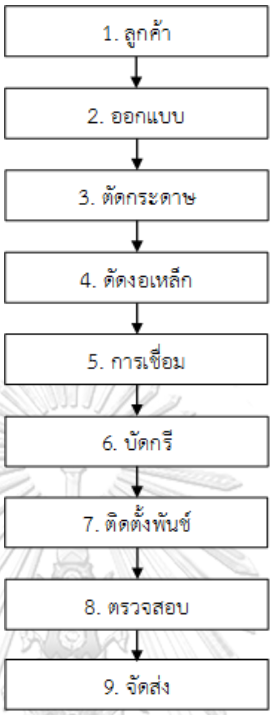
1.1.2 กระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาใช้แรงงานที่มีความเชี่ยวชาญเป็นหลัก และมีการใช้เครื่องมือในกระบวนการผลิตบางขั้นตอน รูปที่ 1.3 แสดงขั้นตอนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ลูกค้า - รับรายละเอียดของงานจากลูกค้า
2. ออกแบบ - ออกแบบรูปร่างของชิ้นงาน (Pattern) ตามที่ได้รับมอบหมาย โดยใช้โปรแกรม AutoCAD เป็นหลัก
3. ตัดกระดาษ - ตัดรูปร่างของชิ้นงานที่ต้องการในรูปแบบของกระดาษแข็ง เพื่อนำไปเข้าสู่กระบวนการผลิต
4. ดัดงอเหล็ก - ดัดเหล็กตามรูปทรงของกระดาษ โดยในขั้นตอนนี้ใช้แรงงานฝีมือในการทำ
5. การเชื่อม - เชื่อมโลหะเข้าด้วยกัน
6. บัดกรี - เชื่อมต่อโลหะระหว่างกันเพื่อป้องกันไม่ให้มีดล้มในระหว่างการปั๊มตัด
7. พันช์ (Punch) - ติดตั้งพันช์ ในกรณีที่ต้องการให้ชิ้นงานมีการเจาะขาดในลักษณะเป็นทรงกลม
8. ตรวจสอบ – ตรวจสอบชิ้นงานให้เรียบร้อย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

9. จัดส่ง – จัดใส่กล่องบรรจุและส่งมอบให้ลูกค้า



รูปที่ 1.3 ขั้นตอนกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัด

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในประเทศไทย ภาคอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจอย่างมากซึ่งอุตสาหกรรมที่เป็นตัวขับเคลื่อนหลักในการสร้างมูลค่าเพิ่ม ประกอบไปด้วย 3 อุตสาหกรรมหลักขนาดใหญ่ ได้แก่ ยางและพลาสติก ยานยนต์ และอิเล็กทรอนิกส์ (ชุติกา เกียรติเรืองไกร, พรชนก เทพขาม และ ชินวรวัฒนา, 2563) จากอุตสาหกรรมที่กล่าวมาข้างต้นล้วนใช้แม่พิมพ์ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนต่างๆ โดยแม่พิมพ์เป็นวัสดุที่สำคัญในการงานปั๊มขึ้นรูปโลหะ (Pressing) ดังนั้นแม่พิมพ์จึงมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตอย่างยิ่ง แม่พิมพ์ที่มีประสิทธิภาพจะส่งผลให้การดำเนินงานในกระบวนการผลิตสามารถผลิตชิ้นส่วนได้อย่างรวดเร็ว และขนาดตรงตามมาตรฐาน อีกทั้งสามารถลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตซึ่ง ส่งผลให้เกิดความได้เปรียบในการแข่งขันภายในอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม ในส่วนของอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมหรือ SMEs ที่เป็นภาคธุรกิจเกี่ยวเนื่องกับกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ในประเทศไทยมีนวัตกรรมค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับประเทศอื่น (M Report, 2018) ดังนั้นในอนาคต อุตสาหกรรมแม่พิมพ์จำเป็นต้องมีการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตรวมถึงทักษะของบุคลากร เพื่อที่จะรองรับการเติบโตและความต้องการของภาคส่วนอื่นๆในอุตสาหกรรม 4.0

แม่พิมพ์ในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้หลายประเภท ได้แก่ แม่พิมพ์อัดฉีด แม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึก แม่พิมพ์ตัดเฉือน แม่พิมพ์ปั๊มลาย เป็นต้น ซึ่งแม่พิมพ์แต่ละประเภทจะเหมาะกับแต่ละอุตสาหกรรมหรือผลิตภัณฑ์ต่างกันไป ตัวอย่างเช่น แม่พิมพ์อัดฉีด เป็นแม่พิมพ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์เป็นส่วนใหญ่ (วารุณี เปรมานนท์ และ พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2551)

ในงานวิจัยนี้จะดำเนินการศึกษาในโรงงานกรณีศึกษาซึ่งแม่พิมพ์ที่ใช้ในการวิจัย คือ แม่พิมพ์แบบตัดหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าบล็อกมีดไดคัท หรือ แม่พิมพ์ไดคัท (Die-cut) ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในกระบวนการผลิตรองเท้า ตุ๊กตา กระเป๋า คอปกเสื้อ เป็นต้น ยิ่งไปกว่านั้น ในช่วงที่มีการแพร่ระบาดของไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 (COVID 19) แม่พิมพ์แบบตัดเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการผลิตหน้ากากผ้า และ Face shield ซึ่งช่วยให้ภาคธุรกิจขนาดย่อมและกลางมีรายได้รวมทั้งส่งเสริมให้ผู้คนสามารถเข้าถึงสิ่งที่สามารถป้องกันตนเองจากการแพร่เชื้อไวรัสโคโรนา สายพันธุ์ใหม่ 2019 (Anon, Denne and Rees, 2020) อย่างไรก็ตามแม่พิมพ์ประเภทนี้ยังขาดการพัฒนานวัตกรรมและมีของเสียในกระบวนการผลิตสูง รวมถึงบุคลากรที่มีความรู้ในการทำแม่พิมพ์ไดคัทมีจำนวนน้อย และต้องมีความเชี่ยวชาญสูงเมื่อเทียบกับการทำแม่พิมพ์ประเภทอื่น นอกจากนี้การประยุกต์ใช้เครื่องจักรในกระบวนการทำแม่พิมพ์ประเภทนี้เป็นไปได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากแบบชิ้นงานมีความแตกต่างกันตามประเภทงาน ในบางชิ้นงานมีขนาดเล็กและใช้ความประณีตสูงทำให้ไม่สามารถใช้เครื่องจักรได้จึงจำเป็นต้องใช้แรงงานฝีมือ จึงทำให้การออกแบบแม่พิมพ์ไดคัทมีการพัฒนาด้านกระบวนการออกแบบและปรับปรุงในเชิงนวัตกรรมไม่มากเมื่อเทียบกับแม่พิมพ์ประเภทอื่น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการทำการศึกษาหาแนวทางเชิงนวัตกรรมมาประยุกต์ใช้เพื่อลดของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพของแม่พิมพ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการปั๊มขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ คือ แม่พิมพ์มีการสึกหรอหรือบิ่นอย่างรวดเร็วดังแสดงในรูปที่ 1.4 ในบางกรณี เมื่อเกิดสนิมร่วมด้วยส่งผลให้ไม่มีประสิทธิภาพพอที่จะสามารถตัดชิ้นงานให้ขอบเรียบได้โดยส่วนใหญ่จะเกิดที่บริเวณพันช์กับดายดังรูปที่ 1.6 โดยจากผลเหล่านี้จะส่งผลให้กระบวนการผลิตงานมีความล่าช้าและต้นทุนสูงขึ้นเนื่องจากคุณภาพของชิ้นงานไม่ได้ตรงตามเป้าหมาย ในกระบวนการทำแม่พิมพ์จึงต้องมีการเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุในการใช้ทำแม่พิมพ์เพื่อให้ทนต่อแรงกดและการเสียดสีสูง โดยทั่วไปบริเวณพันช์จะมีการชุบแข็งเพียงอย่างเดียวเนื่องจากใช้เวลาน้อยและเพื่อให้มีความคงทนมากขึ้น อย่างไรก็ตามปัญหาที่พบคืออายุการใช้งานสั้นและต้องมีการเปลี่ยนพันช์ใหม่บ่อยครั้งทำให้มีต้นทุนทางการผลิตสูง จึงจำเป็นต้องหาแนวทางการชุบแข็งแบบใหม่ให้เหมาะสมกับประเภทงาน

รูปที่ 1.4 ลักษณะดายที่มีรอยบิ่นและขึ้นสนิม

รูปที่ 1.5 ลักษณะพันช์ทั่วไปที่ใช้ในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 1.6 ลักษณะพันช์ที่มีรอยบิ่น การสึกหรอและขึ้นสนิม

ปัจจุบันโรงงานมีกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ไดคัทเป็นส่วนใหญ่โดยคิดเป็นร้อยละ 90 ของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ทั้งหมด ในส่วนที่เหลือแบ่งเป็นแม่พิมพ์โลหะฝังไม้ แม่พิมพ์ปั๊มลาย และแม่พิมพ์ตัดเฉือน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำแม่พิมพ์ไดคัทมาเป็นผลิตภัณฑ์ในการศึกษา

จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญและพนักงานในกระบวนการผลิตและศึกษาสภาพโรงงานกรณีศึกษาจากข้อมูลอ้างอิงในอดีต รวมถึงการนำข้อมูลจากการที่ลูกค้าร้องเรียนในด้านผลิตภัณฑ์มาพิจารณาร่วมด้วย ทำให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในสายการผลิต โดยมีรายละเอียดดังนี้

ปัญหาที่พบในกระบวนการผลิต

1. ในกระบวนการเจาะรูและติดตั้งพันช์ จำเป็นต้องมีการกำหนดตำแหน่งพันช์อย่างรอบคอบ ทำให้ในบางกรณีต้องการงานเร่งด่วนทำให้เกิดของเสียจำนวนมาก เนื่องจากไม่สามารถกำหนดตำแหน่งพันช์ได้ตามแบบที่ร่างไว้ ส่งผลให้เกิดของเสียและสูญเสียเวลา

2. ในกระบวนการตรวจสอบแม่พิมพ์ขั้นสุดท้ายเป็นกระบวนการที่ต้องใช้เวลานานและความละเอียดในการตรวจสอบ ทำให้ในบางครั้งต้องใช้พนักงานจากตำแหน่งอื่นมาช่วยในกระบวนการตรวจสอบ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียทรัพยากรแรงงานและเวลา

3. พื้นที่จัดเก็บวัสดุไม่เพียงพอ ทำให้ผลิตภัณฑ์และกระดาษแบบร่างปะปนกัน รวมถึงมีการจัดเก็บวัสดุและเครื่องมือไว้สถานที่เดียวกัน ทำให้เสียเวลาในการค้นหาผลิตภัณฑ์และวัสดุ และส่งผลให้เกิดต้นทุนที่สูงขึ้นและสูญเสียเวลาในด้านการเคลื่อนย้ายเครื่องมือและวัสดุโดยไม่จำเป็น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปัญหาที่ลูกค้าร้องเรียน

1. เมื่อปั๊มชิ้นงานไปได้ระยะหนึ่ง เกิดการสึกหรอบริเวณดายและพันช์ทำให้ไม่สามารถตัดขอบวัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพและสวยงาม หลังจากนั้นแม่พิมพ์ที่มีการสึกหรอจะทำให้วัสดุชิ้นงานเกิดความเสียหายและกลายเป็นของเสียในที่สุด

2. การเชื่อมบริเวณข้อต่อระหว่างเหล็กกับเหล็กไม่มีประสิทธิภาพ ทำให้เศษเชื่อมกระเด็นเยอะ และมีการเชื่อมไม่ทั่วถึง ทำให้เมื่อนำแม่พิมพ์ไปปั๊มงานเป็นระยะเวลาหนึ่ง แม่พิมพ์จะมีการแตกหักและเสียหายง่าย

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไขภายในโรงงานกรณีศึกษา โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ ปัญหาที่พบในกระบวนการผลิต และปัญหาที่พบโดยอ้างอิงจากลูกค้าร้องเรียน ดังแสดงในตารางที่ 1.1 และ 1.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1.1 ปัญหาที่พบในกระบวนการผลิตและแนวทางการแก้ไขปัญหาของโรงงานกรณีศึกษา

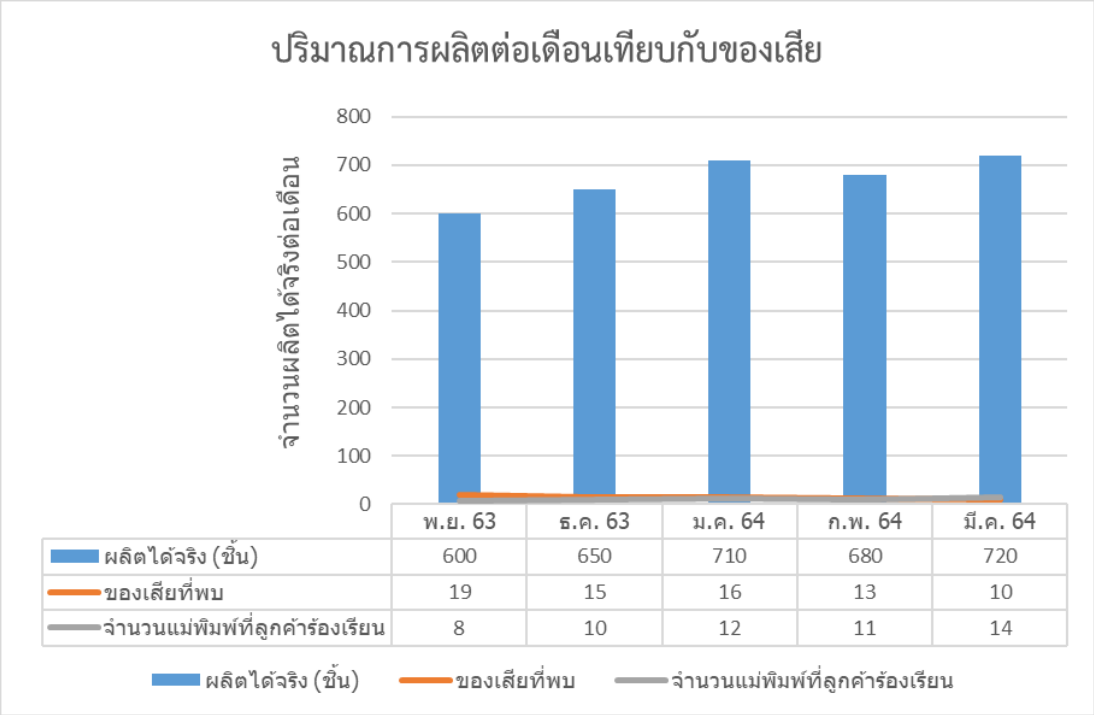
ปัญหาที่พบในกระบวนการผลิต	
ปัญหาที่พบ	แนวทางแก้ไข
ในกระบวนการเจาะรูและติดตั้งพันช์เกิดของเสียและสูญเสียเวลา เนื่องจากต้องกำหนดตำแหน่งพันช์อย่างละเอียด	วิเคราะห์สาเหตุกับทีมงาน รวมถึงจัดทำแผนพัฒนาบุคลากรให้มีความเชี่ยวชาญมากขึ้น และพิจารณาการใช้เครื่องจักรช่วยในบางขั้นตอน
ในกระบวนการตรวจสอบแม่พิมพ์ขั้นสุดท้ายเกิดการสูญเสียทรัพยากรแรงงานและเวลาเนื่องจากต้องใช้เวลานานและความละเอียดในการตรวจสอบ	วิเคราะห์หาสาเหตุและกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหาโดยพิจารณาการใช้เครื่องมือช่วยในบางขั้นตอน รวมถึงพัฒนาบุคลากรให้มีความเชี่ยวชาญ
พื้นที่จัดเก็บวัสดุไม่เพียงพอ ทำให้ผลิตภัณฑ์ วัสดุ เครื่องมือและกระดาษแบบร่างปะปนกัน ทำให้เสียเวลาในการค้นหาผลิตภัณฑ์และวัสดุ และส่งผลให้เกิดต้นทุนที่สูงขึ้นและสูญเสียเวลาในด้านการเคลื่อนย้าย	จัดวางพื้นที่การเก็บสินค้าให้มีความเป็นระเบียบ มีการติดป้ายแจ้งสถานะเพื่อง่ายต่อการค้นหา

ตารางที่ 1.2 ปัญหาที่พบด้านผลิตภัณฑ์จากลูกค้าร้องเรียนและแนวทางการแก้ไขปัญหาของโรงงานกรณีศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปัญหาที่พบด้านผลิตภัณฑ์จากลูกค้าร้องเรียน	
ปัญหาที่พบ	แนวทางแก้ไข
เกิดการสึกหรอบริเวณดายและพันช์เมื่อปั๊มชิ้นงานไปได้ระยะหนึ่ง ทำให้ไม่สามารถตัดขอบวัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพและสวยงาม	วิเคราะห์หาสาเหตุของการสึกหรอบริเวณขอบดายและพันช์ เพื่อหาแนวทางแก้ไขในการลดของเสีย
การเชื่อมบริเวณข้อต่อระหว่างเหล็กกับเหล็กไม่มีประสิทธิภาพ และมีการเชื่อมไม่ทั่วถึง ทำให้เมื่อนำแม่พิมพ์ไปปั๊มงานเป็นระยะเวลาหนึ่งแม่พิมพ์จะมีการแตกหักและเสียหายง่าย	ระดมความคิดกับผู้เชี่ยวชาญเพื่อวิเคราะห์สาเหตุและแนวทางการแก้ไขในการลดข้อบกพร่อง จัดทำแผนบำรุงอุปกรณ์ (ตู้เชื่อม) และดำเนินการตามที่แผนที่วางไว้ รวมถึงเปลี่ยนส่วนที่ชำรุด

ตามที่กล่าวข้างต้นเกี่ยวกับปัญหาที่พบในโรงงานกรณีศึกษา ได้กำหนดแนวทางและดำเนินการแก้ไขปัญหาที่พบเจอในกระบวนการผลิต (ข้อ 1 และ 2) โดยมีการซ่อมแซมและเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ชำรุด รวมถึงการนำเครื่องมือมาช่วยสนับสนุนในบางครั้งตอนเพื่อลดการสูญเสียเวลาและทรัพยากรแรงงาน อีกทั้งมีการวางแผนพัฒนาบุคลากรและดำเนินการตามแผนที่วางไว้ ในส่วนของปัญหาทางด้านคลังจัดเก็บสินค้าไม่เพียงพอในข้อ 3 ทางโรงงานกรณีศึกษามีการวางแผนพื้นที่สำหรับจัดเก็บวัสดุและอุปกรณ์ให้เป็นระเบียบมากขึ้น และจัดสรรพื้นที่เป็นสัดส่วนเพื่อให้ง่ายต่อการค้นหาและนำมาใช้งาน สำหรับปัญหาที่พบด้านผลิตภัณฑ์จากการที่ลูกค้าร้องเรียน ในข้อ 2 คือ ปัญหาด้านการเชื่อมที่ส่งผลให้แม่พิมพ์แตกหักง่าย โรงงานกรณีศึกษาได้ทำการสำรวจอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมและพบอะไหล่ชำรุด เมื่อมีการซ่อมแซมและบำรุงเครื่องจักรเรียบร้อยแล้ว พบว่าของเสียลดน้อยลง ในส่วนของปัญหาทางด้านการสึกหรอบริเวณดายและพันช์ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้วัสดุเสียหาย ยังไม่มีแนวทางการแก้ไขปัญหาในโรงงานกรณีศึกษา

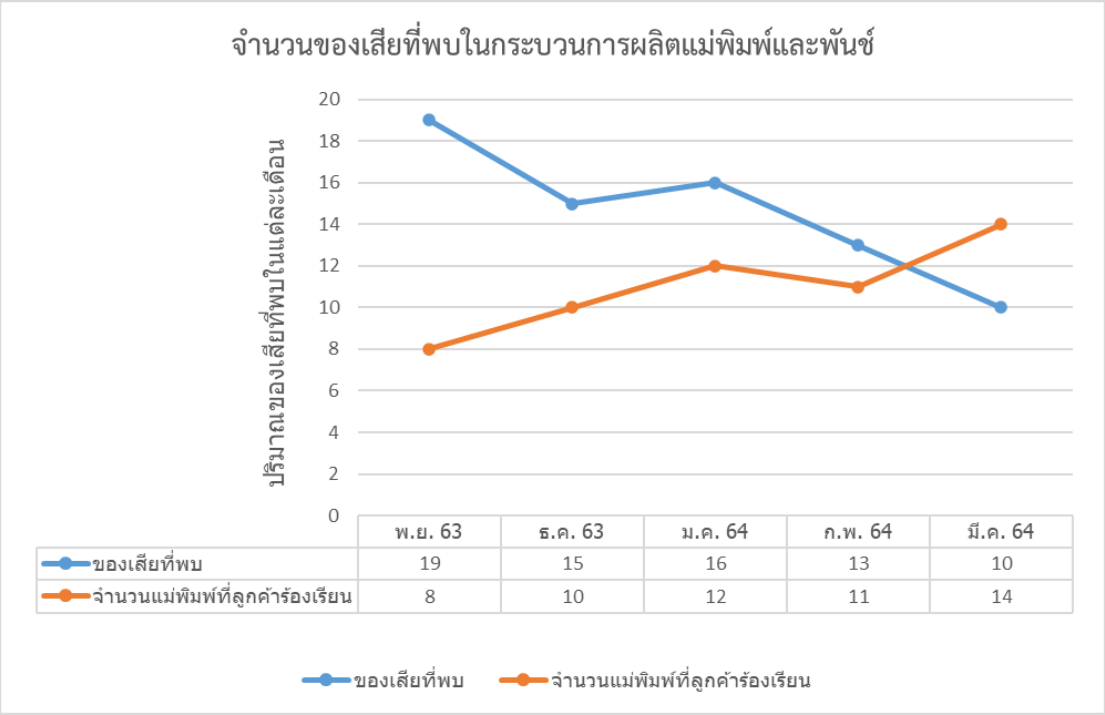


	พ.ย. 63	ธ.ค. 63	ม.ค. 64	ก.พ. 64	มี.ค. 64
ผลิตได้จริง (ชิ้น)	600	650	710	680	720
ของเสียที่พบ	19	15	16	13	10
จำนวนแม่พิมพ์ที่ลูกค้าร้องเรียน	8	10	12	11	14

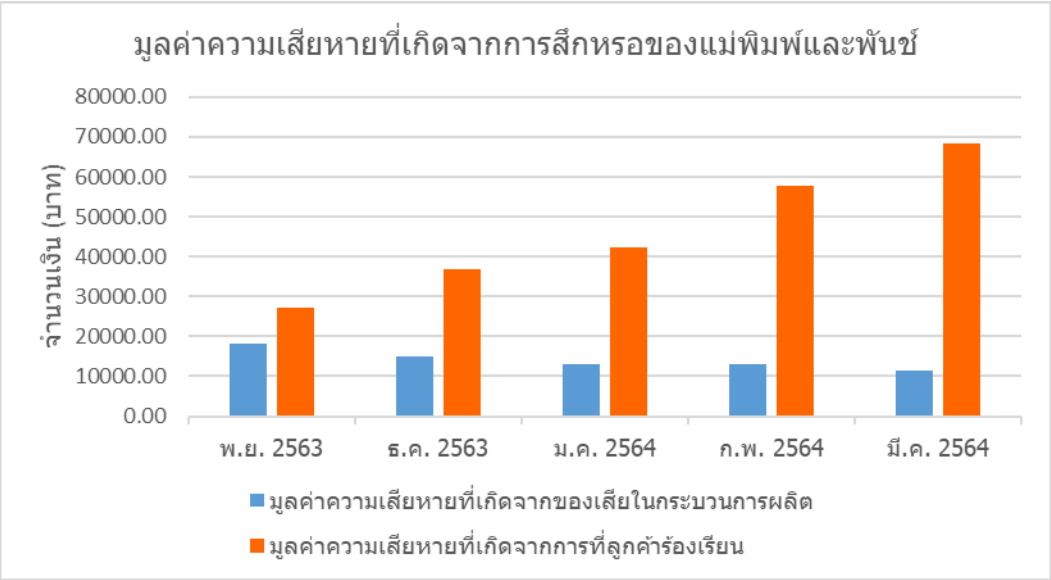
รูปที่ 1.7 ปริมาณการผลิตเมื่อเทียบกับของเสียตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน 2563 ถึง เดือนมีนาคม 2564

ดังแสดงในรูปที่ 1.7 จากข้อมูลปัญหาที่พบเมื่อเทียบกับจำนวนการผลิตในโรงงานกรณีศึกษา โดยอ้างอิงจากบันทึกทางสถิติระหว่างเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2563 ถึง มีนาคม พ.ศ. 2564 พบว่าในปริมาณการผลิตแต่ละเดือนพบจำนวนของเสียโดยเฉลี่ยร้อยละ 3 ของปริมาณการผลิตได้จริงต่อเดือน

ในส่วนของแม่พิมพ์ที่มีข้อบกพร่องที่พบจากการที่ลูกค้าร้องเรียนมีจำนวนร้อยละ 2 ของปริมาณผลิตได้จริง อย่างไรก็ตาม หลังจากที่โรงงานกรณีศึกษาได้ดำเนินการแก้ไขปัญหาเบื้องต้นพบว่าแนวโน้มของเสียที่พบจากกระบวนการผลิตลดน้อยลง ตรงกันข้ามกับปริมาณของเสียที่พบจากการร้องเรียนจากลูกค้าสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1.8 โดยสาเหตุที่พบส่วนใหญ่ คือ การสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ จากปัญหาที่พบก่อให้เกิดต้นทุนทางการผลิตเพิ่มขึ้นและอาจส่งผลต่อความเชื่อมั่นในผลิตภัณฑ์ของโรงงาน



รูปที่ 1.8 จำนวนของเสียที่พบตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน 2563 ถึง เดือนมีนาคม 2564 โดยแบ่งตามของเสียที่พบในกระบวนการผลิตและของเสียที่พบจากลูกค้าร้องเรียน



รูปที่ 1.9 มูลค่าความเสียหายที่เกิดจากการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน 2563 ถึง เดือนมีนาคม 2564

จากรูปที่ 1.9 แสดงให้เห็นถึงมูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นจากข้อบกพร่องของแม่พิมพ์ โดยแสดงเป็นค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมต่อเดือนจากปัจจัยด้านของเสียที่พบ 2 ประเภท ถึงแม้ว่าจำนวนแม่พิมพ์ที่ลูกค้าร้องเรียนมามีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณแม่พิมพ์ที่สามารถผลิตได้จริงต่อเดือน อย่างไรก็ตาม จากกราฟแสดงให้เห็นว่าความเสียหายจากปัจจัยนี้ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตที่สูงขึ้น ได้แก่ ค่าชดใช้สินค้าและวัสดุที่เสียหายซึ่งเกิดจากการสึกหรอของแม่พิมพ์ ค่าใช้จ่ายด้านการซ่อมแม่พิมพ์และพันช์ เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยจึงนำแนวทางของลีน ซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างยั่งยืน โดยใช้หลักการ 4M1E เพื่อจำแนกกลุ่มปัจจัยและวิเคราะห์สาเหตุต่างๆดังแสดงในตารางที่ 1.3

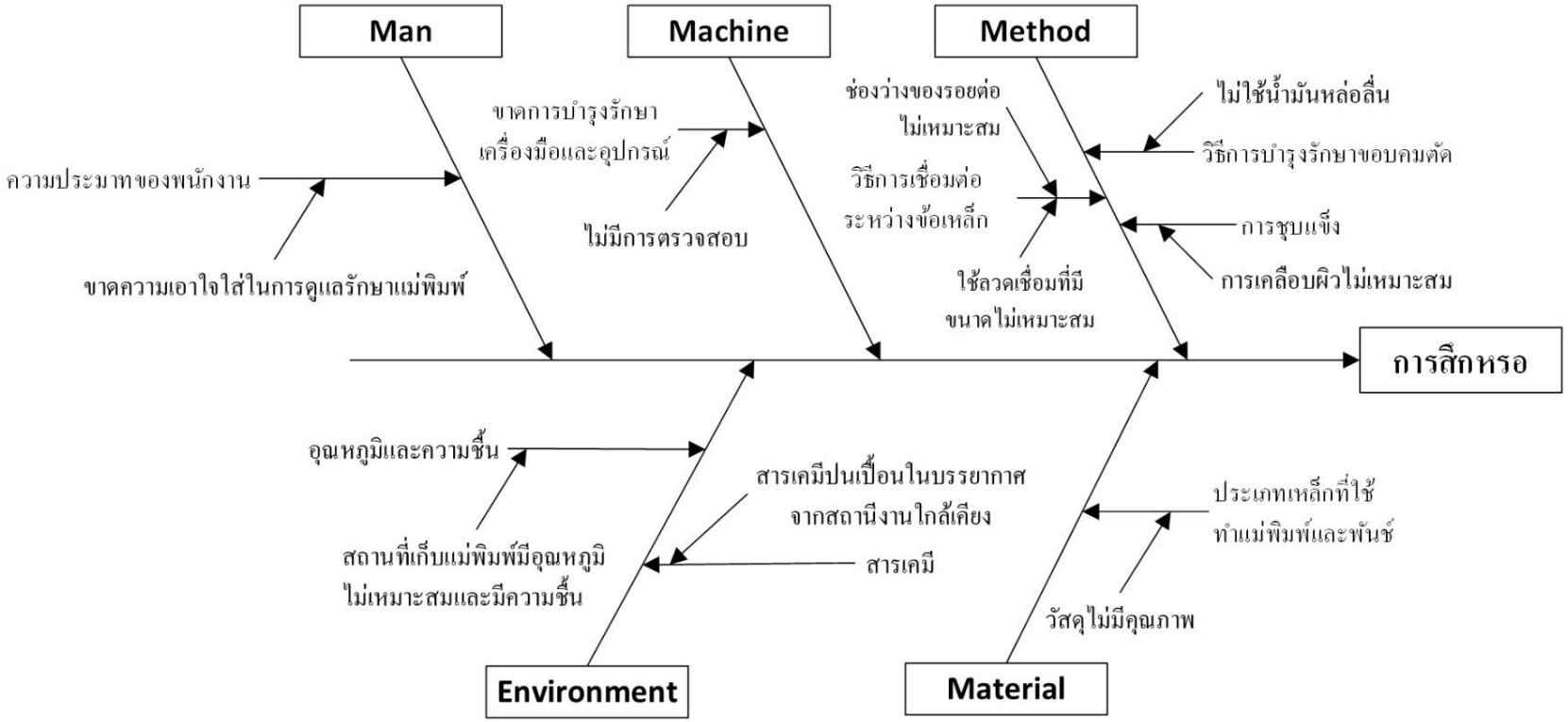
ผู้วิจัยจึงเลือกปัญหาที่พบบ่อยและมีความเสียหายสูงในกระบวนการทำแม่พิมพ์ตัดขาดในอุตสาหกรรมไดคัทโดยใช้กรณีศึกษาเป็นโรงงานขนาดกลางและย่อม โดยนำวิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางลีน ซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อการลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพของพันช์และดายและหาแนวทางนวัตกรรมที่เหมาะสมที่จะใช้ในการแก้ปัญหาที่ทำให้ผลกระทบในกระบวนการผลิตลดลง

ตารางที่ 1.3 สาเหตุที่ส่งผลให้เกิดการสึกหรอในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์

ปัจจัย	ลำดับ	สาเหตุ
Man	1	ความประมาทของพนักงาน
Machine	1	ขาดการบำรุงรักษาเครื่องมือและอุปกรณ์
Material	1	ประเภทเหล็กที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์และพันช์
Method	1	วิธีการเชื่อมต่อระหว่างข้อเหล็ก
	2	วิธีการบำรุงรักษาขอบคมตัด
	3	การชุบแข็ง
Environment	1	อุณหภูมิและความชื้น
	2	สารเคมี

จากตารางที่ 1.3 สามารถนำมาเขียนแผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ได้ดังรูปที่ 1.10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 1.10 แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) แสดงสาเหตุที่อาจส่งผลต่อการสึกหรอในแม่พิมพ์และพันช์

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต (Production Process) ในการลดปริมาณของเสียที่เกิดจากปัญหาการสึกหรอในการปั๊มขึ้นรูปของแม่พิมพ์แบบตัดขนาดเล็กและพันช์
2. เพื่อพัฒนานวัตกรรมกระบวนการในการช่วยออกแบบ ปรับแต่ง หรือซ่อมบำรุง ที่มีประสิทธิภาพ
3. เพื่อหารูปแบบมาตรฐานในการชะลอการสึกหรอที่เหมาะสมต่ออุตสาหกรรมที่ใช้แม่พิมพ์แบบตัดขนาดเล็กและพันช์ในการปั๊มขึ้นรูปโดยประยุกต์ใช้แนวทางลีน ซิกซ์ ซิกมา (Lean Six Sigma)

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ในการวิจัยนี้ทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์แบบตัดขนาดเล็กและพันช์ สำหรับโรงงานกรณีศึกษา
2. ประยุกต์ใช้แนวทางลีน ซิกซ์ ซิกมา ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่แท้จริง เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตและลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น โดยอ้างอิงบริบทของโรงงานกรณีศึกษา
3. ใช้ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง (Design of experiment) ในการทดลองเพื่อศึกษาผลลัพธ์ในการลดการสึกหรอจากปัจจัยด้านการชุบแข็ง และน้ำมันหล่อลื่น (ตัวแปรจากผลการทดลองเบื้องต้น) โดยไม่พิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถของเครื่องจักร
4. ทำการวิเคราะห์ผลจากการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab 19 ในการวิเคราะห์ผลทางสถิติ และวิเคราะห์ข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต
5. ตัวชี้วัดในงานวิจัย คือ คุณภาพของขอบตัดชิ้นงานซึ่งพิจารณาจากภาพรวม และน้ำหนักระยะ รวมถึงลักษณะการสึกหรอของขอบคมตัดของแม่พิมพ์ โดยใช้เครื่องมือต่างๆในการวัดค่า เทียบกับกระบวนการเดิมก่อนการปรับปรุง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินวิจัยเพื่อที่จะบรรลุเป้าหมายในการลดของเสียและปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์และพันช์ โดยอ้างอิงแนวทางของลีน ซิกซ์ ซิกมา มีรายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. สำรวจงานวิจัยและศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย
    1.1 ทฤษฎีลีน ซิกซ์ ซิกมา
    1.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการชุบแข็งและการเคลือบผิวดายและพันช์
    1.3 ทฤษฎีการลดการสึกหรอและชะลอการเกิดสนิมของน้ำมันสกัดจากธรรมชาติ
    1.4 ศึกษากระบวนการผลิตและสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์
2. กำหนดปัญหาที่จะดำเนินการวิจัย (Define Phase)
    2.1 รวบรวมสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์และพันช์
    2.2 กำหนดวัตถุประสงค์ เป้าหมายและตัวแปรที่ใช้ทำการวิจัย
    2.3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอในกระบวนการผลิตเพื่อหาสาเหตุและผลกระทบของกระบวนการที่เลือก
3. การวัดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)
    3.1 สำรวจและบันทึกสภาพปัญหาโดยศึกษากระบวนการผลิต ขั้นตอนการทำงาน วิธีการควบคุมคุณภาพและลักษณะการสึกหรอที่เกิดขึ้น
    3.2 เก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสภาพของปัญหา เช่น ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการการผลิต จำนวนของเสียในแต่ละประเภท เป็นต้น และนำข้อมูลเหล่านั้นมาสรุป และวิเคราะห์
4. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)
    4.1 สร้างเป็นแผนผังก้างปลา เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่แท้จริง
    4.2 หาข้อสรุปและปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดผลกระทบในกระบวนการผลิตเพื่อนำไปทำการทดลองขั้นต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5. การปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase)

5.1 ออกแบบการทดลองโดยใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการชะลอการสึกหรอและเพิ่มประสิทธิภาพการตัดเฉือนชิ้นงานของแม่พิมพ์และพันช์

5.2 เก็บข้อมูลหลังจากได้ผลการทดลอง โดยทำการเปรียบเทียบผลที่ได้ก่อนและหลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต

6. การควบคุมกระบวนการ (Control Phase)

กำหนดแผนการเพื่อใช้ในการควบคุม เช่น สัดส่วนในการเคลือบผิวดายและพันช์, ความร้อนในการชุบแข็ง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงาน

7. สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการนำนวัตกรรมด้านกระบวนการผลิตไปสู่การใช้งานได้จริงในอุตสาหกรรมไดคัท
2. ทราบถึงสภาวะและปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับปรุงความต้านทานการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ ในกระบวนการปั๊มขึ้นรูป
3. สามารถลดต้นทุนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์
4. ปริมาณของเสียที่เกิดจากปัญหาการสึกหรอลดน้อยลง
5. สามารถนำองค์ความรู้ในการปรับปรุงความต้านทานการสึกหรอประยุกต์ใช้กับงานแม่พิมพ์และงานอื่นทั่วไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.7 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.4 รายละเอียดระยะเวลาการดำเนินการวิจัย

ลำดับ	แผนการดำเนินงานวิจัย	2564					2565					
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
1	ศึกษาข้อมูลจากเอกสารวิชาการและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง											
2	จัดทำโครงร่างวิทยานิพนธ์											
3	ยื่นแบบเสนอขออนุมัติสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์											
4	ดำเนินการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์											
5	ศึกษาทฤษฎีและทำการออกแบบการทดลอง											
6	วิเคราะห์ผลการทดลองจากกระบวนการผลิตจริง											
7	ดำเนินการสรุป และอภิปรายผลการวิจัย พร้อมข้อเสนอแนะ											
8	นำเสนอผลงานเชิงวิชาการและตีพิมพ์ลงในสิ่งตีพิมพ์ทางวิชาการ											
9	จัดทำรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์											
10	ดำเนินการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์											

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แม่พิมพ์แบบตัด (Die-cut)

แม่พิมพ์แบบตัดหรือแม่พิมพ์ไดคัท (Die-cut) เป็นแม่พิมพ์ประเภทหนึ่งที่ใช้ตัดเฉือนวัสดุที่มีความแข็งแรงต่ำ เช่น ยาง ผ้า กระดาษ กระดาษลูกฟูก กระดาษแข็ง พลาสติก โฟม และแผ่นโลหะ ซึ่งสามารถตัดขอบได้ตามรูปทรงที่ต้องการ ไม่จำเป็นต้องเป็นเส้นตรง สินค้าทั่วไปที่ใช้กระบวนการนี้ในการผลิตมีอยู่หลากหลาย ได้แก่ ปะเก็น ฉลาก รองเท้า ตุ๊กตา กระเป๋า กล่องกระดาษลูกฟูก และซองจดหมาย

2.1.1 ลักษณะของแม่พิมพ์แบบตัดหรือแม่พิมพ์ไดคัท

ลักษณะของแม่พิมพ์ไดคัทแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

1. บล็อกมีดไดคัท เป็นการนำเหล็กมาดัดหรือโค้งงอตามรูปแบบที่ต้องการ หลังจากนั้นนำเหล็กมาเชื่อมติดกันเพื่อให้มีความแข็งแรงดังรูปที่ 2.1 หลังจากนั้นจึงนำไปปั๊มชิ้นงานตามรูปแบบที่กำหนดไว้ สินค้าที่นิยมใช้บล็อกมีดไดคัทในกระบวนการผลิต ได้แก่ บรรจุภัณฑ์ รองเท้า กระเป๋า ตุ๊กตา เป็นต้น ข้อดีคือมีต้นทุนที่ต่ำ เหมาะกับชิ้นงานที่มีขนาดไม่ใหญ่มากและปริมาณน้อย อย่างไรก็ตามการออกแบบบล็อกมีดไดคัทต้องทำโดยผู้ที่มีประสบการณ์และความชำนาญเนื่องจากสามารถใช้เครื่องจักรช่วยได้น้อย

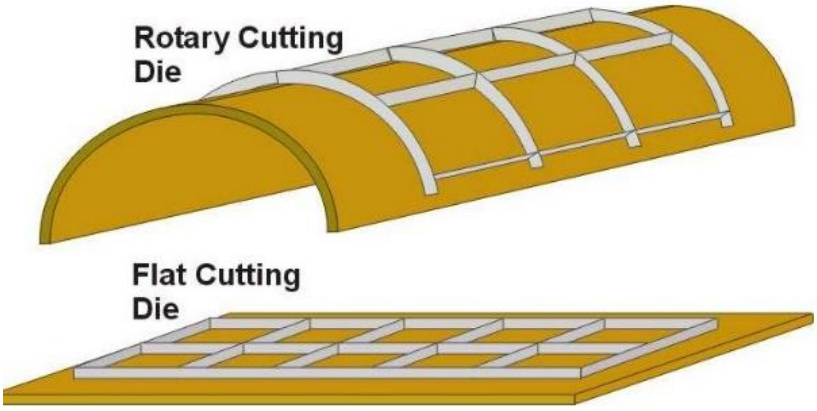
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.1 ลักษณะของบล็อกมีดไดคัท

2. แม่พิมพ์ตัดแบบเรียบ (Flat Die-cut) จะมีส่วนประกอบหลักในการออกแบบคือ ไม้ และเหล็กที่มีใบมีดคม ซึ่งแผ่นไม้ที่ใช้นำมาเป็นฐานจะต้องมีความเรียบ ไม่โค้งงอ ในขณะที่ความหนาของไม้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำไปตัดเฉือน โดยการออกแบบจะใช้เครื่องแท่นเลื่อยฉลุหรือเครื่องตัดแบบเลเซอร์เจาะฐานไม้ตามรูปทรงต่างๆที่ต้องการ หลังจากนั้นจึงนำเหล็กมาใส่ตามร่องที่เจาะไว้แล้วให้เรียบร้อย

ข้อดีของแม่พิมพ์ตัดแบบเรียบ คือ สามารถตัดเฉือนวัสดุที่มีขนาดใหญ่และมีความหนา และการตัดเฉือนชิ้นงานสำเร็จมีโอกาสเกิดความเสียหายเล็กน้อย ในส่วนของข้อจำกัด คือ ไม่เหมาะสมกับการใช้งานในกระบวนการผลิตทั้งหมดและมีการตัดเฉือนที่ช้ากว่าแม่พิมพ์ประเภทอื่น (Ronquillo, 2021)

3. แม่พิมพ์ตัดแบบโค้ง (Rotary Die-cut) ฐานไม้มีลักษณะเป็นทรงโค้งและมีการตัดเฉือนในลักษณะของการกลิ้งตัด ซึ่งมีการใช้เครื่องปั๊มโลหะที่แตกต่างจากแม่พิมพ์ประเภทอื่น แม่พิมพ์ตัดแบบโค้งเป็นวิธีการตัดที่ให้ความถูกต้องสูงเป็นอย่างมาก เหมาะกับกระบวนการผลิตปริมาณสูง ข้อจำกัดคือมีต้นทุนที่สูง



รูปที่ 2.2 ลักษณะของแม่พิมพ์ตัดแบบเรียบ และแม่พิมพ์ตัดแบบโค้ง (Owen, 2018)

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบระหว่างบล็อกไดคัท แม่พิมพ์ตัดแบบเรียบและแม่พิมพ์ตัดแบบโค้งเมื่ออยู่ในกระบวนการตัดเฉือน

ข้อได้เปรียบ	Block Die-cut	Flat Die-cut	Rotary Die-cut
มีการตัดเฉือนชิ้นงานอย่างแม่นยำ ความคลาดเคลื่อนน้อย			●
ขอบตัดชิ้นงานมีความคมกว่า		●	
ต้นทุนทางเครื่องมือต่ำ (ในระยะสั้น)	●	●	
มีความเร็วในการตัดเฉือนชิ้นงาน			●
มีความทนทาน			●
สามารถตัดเฉือนวัสดุที่มีขนาดใหญ่		●	
การเสียรูปของวัสดุน้อยที่สุด		●	
รับแรงกดดันน้ำหนักได้มากที่สุด		●	
เหมาะสมกับการผลิตในปริมาณน้อยหรือในระยะสั้น	●	●	
เหมาะสมกับการผลิตในปริมาณมากหรือในระยะยาว			●

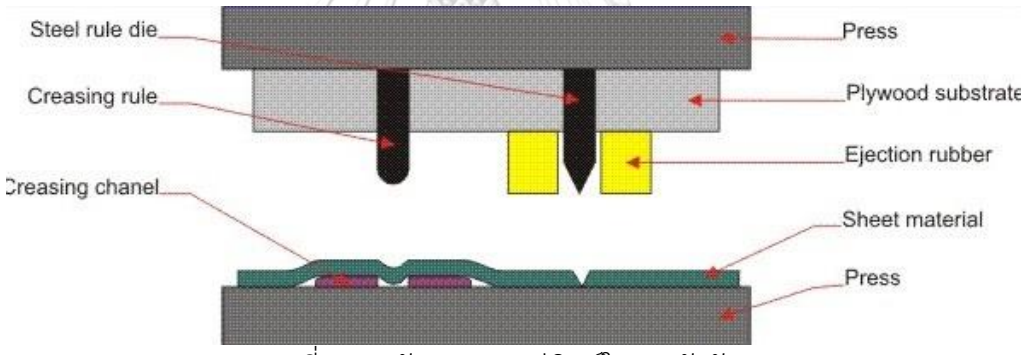
จากตารางที่ 2.1 บล็อกมีดไดคัท เหมาะกับการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตที่มีปริมาณไม่มาก แต่ข้อดีคือมีต้นทุนที่ต่ำกว่าแม่พิมพ์ประเภทอื่นๆ และนำไปใช้ในกระบวนการผลิตที่เป็นสินค้าอุปโภคบริโภคได้หลากหลาย ในขณะที่แม่พิมพ์ตัดแบบเรียบเหมาะกับการนำไปตัดเฉือนชิ้นงานที่ต้องการขอบตัดที่คมชัด อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการตัดเฉือนจะมีความแม่นยำน้อยกว่าและความคลาดเคลื่อนมากกว่า เนื่องจากมีต้นทุนทางเครื่องมือที่ต่ำในกระบวนการตัดทำให้เหมาะสำหรับโครงการที่มีงบประมาณไม่สูงมากและมีปริมาณในการผลิตน้อย ในส่วนของแม่พิมพ์ตัดแบบโค้งเมื่ออยู่ในกระบวนการตัดเฉือนมีความสามารถในการตัดชิ้นงานอย่างรวดเร็วและสามารถตัดชิ้นงานได้ในปริมาณมากเนื่องจากเครื่องปั๊มโลหะที่ทำงานร่วมกับแม่พิมพ์ตัดแบบโค้งมีแรงดันคงที่และต่อเนื่องเหมาะสำหรับการผลิตระยะยาว นอกจากนี้ แม่พิมพ์ตัดแบบเรียบมีต้นทุนในการออกแบบไม่สูงมาก แต่มีความคงทนน้อยกว่า ซึ่งอาจจะต้องมีการปรับเปลี่ยนหรือแก้ไขในระหว่างการผลิตส่งผลให้ต้นทุนทางระยะยาวสูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2 หลักการของแม่พิมพ์ในการตัดวัสดุ

กระบวนการตัดของแม่พิมพ์ คือ การตัดวัสดุออกจากกันโดยใช้เครื่องปั๊มโลหะส่งแรงผ่านขอบคมตัดของพันช์กดลงบนพื้นผิววัสดุจนทำให้แรงเค้นกระทำมากกว่าจุดความต้านทานแรงดึงสูงสุด ส่งผลให้วัสดุขาดออกจากกันและได้รูปทรงตามที่ต้องการ ดังรูปที่ 2.3

ขั้นตอนในการตัดเฉือนชิ้นงานเริ่มจากการนำแม่พิมพ์วางเหนือพื้นผิววัสดุ หลังจากนั้นเมื่อมีแรงกดที่พันช์กดลงบนพื้นผิววัสดุโลหะ และนำพาเนื้อวัสดุเข้าไปในบริเวณช่องว่างของดายพันช์และดายจนเกินกว่าค่าความยืดหยุ่น (Elastic Limits) ของวัสดุ เมื่อแรงกดเพิ่มขึ้น ขอบคมตัดของพันช์และดายจะเจาะทะลุส่วนบนสุดของพื้นผิววัสดุ จากนั้นวัสดุจะเริ่มฉีกขาดออกจากกันตามรูปร่างคมมีดของแม่พิมพ์ ซึ่งระยะช่องว่างคมตัดระหว่างพันช์และดาย (Clearance) จะเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการฉีกขาดของวัสดุ การคำนวณระยะช่องว่างที่ผิดพลาดส่งผลให้ระยะระหว่างพันช์และดายมีมากไปหรือน้อยไป ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงาน เช่น รอยฉีกขาด ครีบ และยังมีส่วนให้เกิดการสึกหรอของพันช์และดาย



รูปที่ 2.3 หลักการของแม่พิมพ์ในการตัดวัสดุ
(Paperfox, n.d.)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัด

2.3.1 ทฤษฎีการตัดเฉือน

แรงตัดเฉือน (Cutting Force) เป็นแรงที่เกิดจากเครื่องมือตัดขณะกลึงชิ้นงานโดยแรงนั้นจะใช้ในการดันพันช์และขอบคมตัดของดายให้ทะลุผ่านเนื้อของวัสดุ ในกรณีที่แม่พิมพ์มีพันช์หลายตัวจะส่งผลให้แรงตัดเพิ่มมากขึ้นจากพันช์ที่ใช้ในแต่ละตัว ในส่วนของแม่พิมพ์ตัดหรือแม่พิมพ์ไดคัท ประเภทของวัสดุที่ต้องการตัดเฉือนจะเป็นปัจจัยในการพิจารณาเลือกใช้ชนิดของมีด ในส่วนของแรงตัดเป็นสิ่งที่จะนำมาพิจารณาในการเลือกเครื่องปั๊มโลหะ

2.3.2 องค์ประกอบสำคัญในกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ไดคัท

2.3.2.1 การคำนวณช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์หรือระยะเคลียแรนซ์ (Clearance)

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลถึงคุณภาพของขอบตัดชิ้นงาน คือ การกำหนดระยะระหว่างแม่พิมพ์และพันช์ โดยจำเป็นต้องพิจารณาถึงชนิดของวัสดุในด้านของความแข็งอ่อนร่วมด้วย ในกรณีที่กำหนดระยะเคลียแรนซ์ไม่เหมาะสมกับปัจจัยด้านต่างๆจะส่งผลต่อสภาพชิ้นงานที่ไม่มีความสวยงามและไม่ได้มาตรฐาน รวมถึงส่งผลต่อขนาดของชิ้นงานที่อาจจะมีขนาดใหญ่หรือเล็กกว่าที่ออกแบบไว้ ในกรณีที่ระยะเคลียแรนซ์น้อยเกินไปจะทำให้ระหว่างการเคลื่อนที่สัมพัทธ์เกิดการเสียดสีระหว่างขอบคมตัดกับชิ้นงาน เป็นเหตุให้แรงเค้นบริเวณดังกล่าวมีค่าสูง ส่งผลให้เกิดการสึกหรอต่อขอบคมตัดของพันช์และดายเร็วกว่าการกำหนดระยะเคลียแรนซ์กว้าง เมื่อเกิดการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดของพันช์และดายจะส่งผลให้ช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์กว้างขึ้นซึ่งเป็นปัจจัยให้ไม่ได้ชิ้นงานตามขนาดที่ออกแบบไว้

โดยทั่วไปลักษณะของขอบชิ้นงานหลังจากกระบวนการตัดเฉือนในแม่พิมพ์ไดคัท มีรายละเอียดดังนี้

1. กรณีระยะช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์เหมาะสม (Optimum Cutting Clearance)

การกำหนดระยะช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์และพันช์อย่างพอดีจะส่งผลให้เกิดส่วนโค้งมนบริเวณขอบชิ้นงานน้อยที่สุด ความหนาและขอบตัดของวัสดุมีความสม่ำเสมอและเกิดความสูงครีบ (Burr) น้อย ทำให้ได้ขนาดชิ้นงานตามที่ต้องการ

2. กรณีระยะช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์น้อยเกินไป (Insufficient Cutting Clearance)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การกำหนดระยะห่างระหว่างตำแหน่งพันช์และขอบคมตัดแคบเกินไปจะส่งผลต่อการฉีกขาดของเนื้อผิววัสดุ เนื่องจากขอบชิ้นงานที่ได้มีโอกาสที่จะขรุขระหรือไม่สม่ำเสมอ ในบางกรณีที่ระยะห่างระหว่างขอบดายและพันช์น้อยมาก เมื่อเข้าสู่กระบวนการปั๊มโลหะจะทำให้แรงกดในการตัดวัสดุมากกว่าแม่พิมพ์ที่มีระยะเคลียแรนซ์เหมาะสมส่งผลให้วัสดุมีโอกาสฉีกขาดได้

2.3.3 ประเภทมีดที่ใช้ในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัด

กระบวนการตัดเฉือนของแม่พิมพ์แบบตัดหรือแม่พิมพ์ไดคัทเป็นการตัดเฉือนวัสดุโดยการกดคมมีดลงไปในเนื้อผิววัสดุกับพื้นผิวเรียบ คมตัดของมีดจะทำให้ชิ้นส่วนวัสดุแยกออกจากกันตามรูปร่างของแม่พิมพ์ที่ออกแบบไว้ อย่างไรก็ตามลักษณะชิ้นงานที่ต้องการหรือประเภทของวัสดุที่ต้องการตัด

เฉือนจะเป็นปัจจัยสำคัญในการพิจารณาเลือกชนิดของมีดมาใช้ในกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ในกรณีที่ใช้ชนิดมีดไม่เหมาะสมกับการใช้งานจะส่งผลให้คุณภาพของขอบตัดวัสดุขรุขระหรือไม่สม่ำเสมอ อีกทั้งวัสดุอาจไม่ฉีกขาดออกจากกันในการปั๊มครั้งแรกเป็นเหตุให้เนื้อผิววัสดุเสียหายและมีค่าใช้จ่ายทางต้นทุนเพิ่มขึ้น การใช้ประเภทมีดไม่เหมาะสมกับชิ้นงานมีโอกาสทำให้แม่พิมพ์และพันช์สึกหรอเร็วขึ้นอีกด้วย

ประเภทของชนิดมีดที่เหมาะกับการใช้งานในการตัดวัสดุแต่ละประเภท มีรายละเอียดดังนี้

1. มีดสำหรับตัดชิ้นงานชั้นเดียว (Single-layer Cutting)

- AE คือ มีดชนิดเปิดคมกลาง สำหรับผ่าชิ้นงานประเภทหนัง (Leather) นิยมใช้ในการนำไปทำแม่พิมพ์เพื่อตัดวัสดุประเภทหนังในการใช้ทำรองเท้าหนัง

- BD คือ มีดที่มีคมตัดทั้งสองด้าน หรือ เรียกอีกว่า มีดสอง นิยมใช้ในการตัดวัสดุประเภทหนังเช่นเดียวกับมีด AE โดยเหมาะสำหรับทำชิ้นงานสำเร็จที่มีลักษณะเป็นคู่ ได้แก่ รองเท้าหนัง ถุงมือหนัง เนื่องจากมีดมีคมทั้งสองด้านทำให้ต้นทุนต่ำ

- BE คือ มีดที่มีลักษณะการใช้งานเหมือนมีด BD โดยสามารถใช้ตัดชิ้นงานทั่วไป ข้อแตกต่างคือมีด BE มีคมแค่ด้านเดียว

- BEP คือ มีดที่มีคมด้านใดด้านหนึ่ง หรือ มีดคมเดียว คุณสมบัติของมีดมีความคมสูง เหมาะสำหรับนำไปตัดชิ้นงานที่ต้องการความสวยงามเนื่องจากสามารถตัดวัสดุได้อย่างสม่ำเสมอและมีคุณภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- SEG คือ มีดที่มีลักษณะเป็นคมเรียบ เหมาะสำหรับตัดวัสดุที่มีลักษณะแข็ง ได้แก่ ปะเก็น พื้นรองเท้า

- SES คือ มีดที่มีความคมเป็นพิเศษ เหมาะสำหรับตัดชิ้นงานที่มีความแข็งมากเป็นพิเศษ เช่น พลาสติก ไม้ เพื่อป้องกันการดิ้นหนีของวัสดุ โดยชิ้นงานสำเร็จที่นิยมใช้มีด SES ในการทำแม่พิมพ์ คือ กล่องพลาสติก แผ่นรองเท้าด้านใน เป็นต้น

2. มีดสำหรับตัดชิ้นงานหลายชั้น (Multi-layer Cutting)

- TEG คือ มีดที่ได้รับความนิยมมากที่สุดสำหรับการตัดชิ้นงานหลายชั้น โดยสามารถตัดชิ้นงานได้เท่ากันทั้งหมด

- TEK คือ มีดที่มีความคมมากเป็นพิเศษ สำหรับชิ้นงานที่มีลักษณะบางแต่แข็ง

ตารางที่ 2.2 ประเภทของมีดและการใช้งานที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ไดคัท

ประเภทมีดสำหรับทำไดคัท	**มีดสำหรับตัดชิ้นงานชั้นเดียว**						**มีดสำหรับตัดชิ้นงานหลายชั้น**	
	AE	BD	BE	BEP	SEG	SES	TEG	TEK
มีดคมเดียว	●		●	●	●	●	●	●
มีดสองคม		●						
การใช้งาน	สำหรับตัดชิ้นงานชั้นเดียว						สำหรับตัดชิ้นงานหลายชั้น	
รองเท้าหนัง	●	●	●	●				
ถุงมือหนัง		●	●					
กระเป๋าหนัง			●					
พื้นรองเท้าด้านนอก					●			
ปะเก็น					●			
ยาง, ไม้, แผ่นรองเท้าด้านใน						●		
ผ้าใยสังเคราะห์, TPU							●	●

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตามตารางที่ 2.3 แสดงความหนาและความสูงของแต่ละประเภทมีด ความสูงของมีดจะนำมาพิจารณาในการใช้ตัดวัสดุ ตัวอย่างเช่น การตัดวัสดุหลายชั้นนิยมใช้มีดที่มีความสูงมาก เนื่องจากขนาดของแม่พิมพ์มีความลึกทำให้เมื่อมีแรงกดต่อวัสดุจึงทำให้วัสดุสามารถเข้าไปยังบริเวณแม่พิมพ์ได้หลายชั้น ในส่วนของความหนาของมีดเป็นปัจจัยสำคัญในการนำไปพิจารณาเครื่องปั๊มโลหะ ประเภทของมีดที่มีความหนาเหมาะกับการตัดวัสดุทั่วโดยไม่คำนึงถึงความสวยงามมากเนื่องจากมีแรงต้านสูงและเหมาะกับเครื่องปั๊มโลหะทั่วไป สำหรับประเภทมีดที่มีความบางเหมาะกับการนำไปตัดชิ้นงานที่ต้องการความสวยงามและต้องใช้เครื่องปั๊มโลหะประเภทพิเศษ

ตารางที่ 2.3 ความหนาและความสูงของมีดแต่ละชนิด

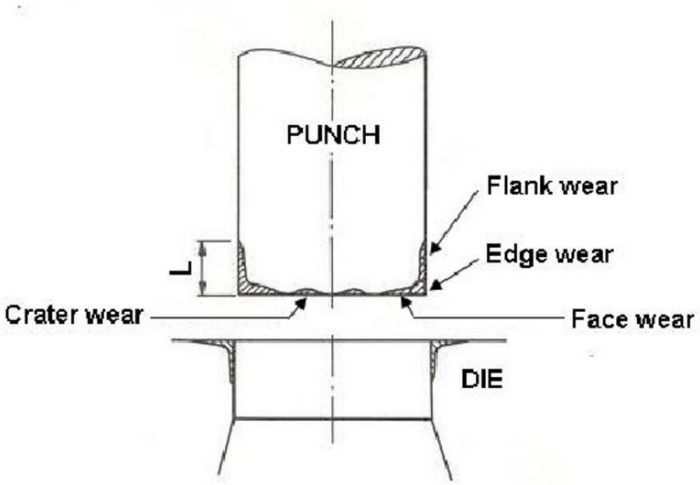
ความสูง (mm)	ความหนา (mm)	มีดสำหรับตัดชิ้นงานชั้นเดียว						มีดสำหรับตัดชิ้นงานหลายชั้น	
		AE	BD	BE	BEP	SEG	SES	TEG	TEK
19	2.0	●	●	●	●	●		●	
	2.5	●	●	●		●			
32	1.8								●
	2.0	●	●	●	●	●	●	●	
	2.5	●	●	●		●	●	●	
	2.8			●					
50	2.5							●	
	2.8			●				●	

2.4 การสึกหรอ

อ้างอิงจาก Tsujimoto, Barkmeier, Fischer et al. (2018) การสึกหรอ คือ การสูญเสียสารที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทางกลระหว่างพื้นผิวสัมผัสทั้งสองซึ่งอยู่ในการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ โดยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบสามประการ คือ (1) โครงสร้าง (2) เงื่อนไขปฏิสัมพันธ์ และ (3) สภาพแวดล้อมและสภาพพื้นผิว การสึกหรอเป็นความเสียหายที่เกิดจากการกระทำทางกลหรือทางเคมี ซึ่งในรูปแบบเชิงกลเกิดมาจากกระบวนการกระแทกเพื่อตัดเฉือนชิ้นงานของแม่พิมพ์ ทำให้วัสดุสัมผัสกับผิวพันธ์และดายภายในบริเวณช่องว่างของแม่พิมพ์โดยเมื่อวัสดุขัดสีกันในระหว่างชิ้นส่วนต่างๆเป็นเวลานานส่งผลให้เกิดรอยสึกหรอ (Affatato, 2012) สาเหตุของการสึกหรอขึ้นอยู่กับตัวแปรที่แตกต่างกัน เช่น ลักษณะแม่พิมพ์ การสัมผัสกัน วัสดุที่ใช้ทำพันธ์และดาย เครื่องเพลส และสารหล่อลื่น พฤติกรรมการสึกหรอเป็นส่วนที่ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นเพราะต้องมีการปรับแก้ไขและหยุดกระบวนการผลิต ชั่วคราว วารุณี เปรมานนท์ และพงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์ (2552) ได้สรุปสาเหตุและปัจจัยที่ทำให้เกิดการสึกหรอในกระบวนการตัดเฉือนแม่พิมพ์ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.4.1 การสึกหรอที่เกิดขึ้นในพันช์สำหรับงานแม่พิมพ์แบบตัด



รูปที่ 2.4 ตำแหน่งการสึกหรอที่เกิดขึ้นบนพันช์และดาย
(Schey, 1983)

2.4.1.1 การสึกหรอบริเวณด้านข้างหรือตามแนวยาว (Flank wear or Side wear) เป็นส่วนที่มีผลทำให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานสำเร็จเนื่องจากขนาดของพันช์เล็กลง และดายจะมีขนาดใหญ่ขึ้นส่งผลให้บริเวณคมตัดและขนาดช่องว่างของแม่พิมพ์เปลี่ยนไป โดยปกติการสึกหรอในลักษณะนี้จะเกิดตามบริเวณแกน บริเวณด้านข้างหรือตามแนวยาวของพันช์และดาย

2.4.1.2 การสึกหรอบริเวณขอบคมตัดหรือมุม (edge wear) จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของครีบ (Burr) บริเวณชิ้นงานได้ เมื่อคมตัดเกิดการสึกหรอจะเป็นสาเหตุให้การตัดชิ้นงานไม่มีความสมบูรณ์ และเมื่อมีการตัดชิ้นงานในปริมาณที่มากขึ้นจะส่งผลให้เกิดครีบสูงขึ้น โดยการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดหรือมุมจะพบก่อนการสึกหรอด้านข้างเสมอ

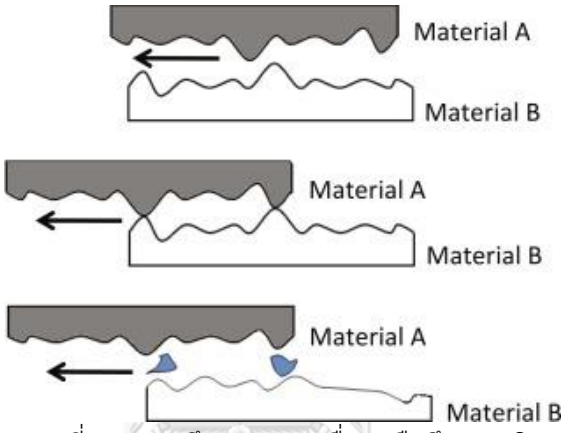
2.4.1.3 การสึกหรอบริเวณด้านหน้า (Face wear) เกิดจากการใช้แรงกระแทกซ้ำหลายครั้งกับชิ้นงานและมีปริมาณการตัดชิ้นงานจำนวนมากส่งผลให้เกิดความล้าบริเวณผิวพันช์ดังรูปที่ 2.5 และเป็นสาเหตุทำให้เกิดการสึกหรอ

2.4.1.4 การสึกหรอลักษณะเป็นหลุม (Crater wear) เกิดขึ้นจากการกระแทกหลายครั้งระหว่างบริเวณผิวพันช์และผิวชิ้นงาน ในขณะที่ทำการตัดเฉือนจะเกิดความยืดหยุ่นบริเวณผิวชิ้นงานและมีการเสียดสีระหว่างกัน โดยจะเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าใกล้จุดศูนย์กลางของพันช์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.4.2 ลักษณะการสึกหรอที่เกิดในงานแม่พิมพ์แบบตัด

2.4.2.1 การสึกหรอแบบเชื่อมหรือยึดเกาะติด (Adhesive wear) เกี่ยวข้องกับกระบวนการสัมผัสหรือเสียดสีกันบนพื้นผิวทั้งสองชนิดที่มีความยึดเกาะสูงและมีพื้นที่สัมผัสกันมาก ส่งผลให้เกิดความเค้นเทียบเท่าหรือเกินกว่าจุดครากตัวของวัสดุ (Yield Point) เมื่อชิ้นงานมีการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องและเกิดการเสียดสีบนพื้นผิวมากขึ้นทำให้เกิดการแตกหักของรอยต่อของพันธะทางโลหะ ทุกครั้งที่รอยต่อของพันธะขาดจะเกิดอนุภาคสึกหรอ โดยปกติวัสดุที่มีความแข็งแรงน้อยกว่าจะสูญเสียเนื้อวัสดุไปยังคู่ผิวสัมผัสที่มีความแข็งแรงมากกว่า

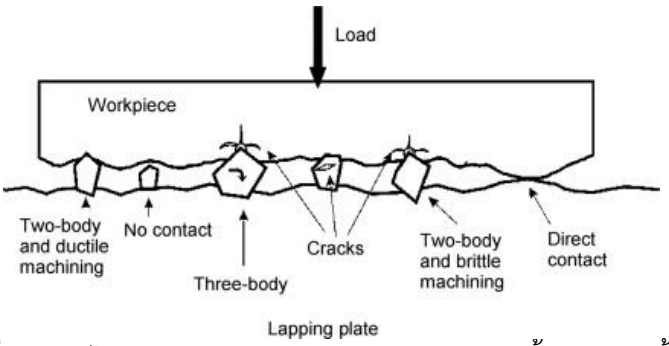


รูปที่ 2.5 การสึกหรอแบบเชื่อมหรือยึดเกาะติด
(Tanzi, Farè and Candiani, 2019)

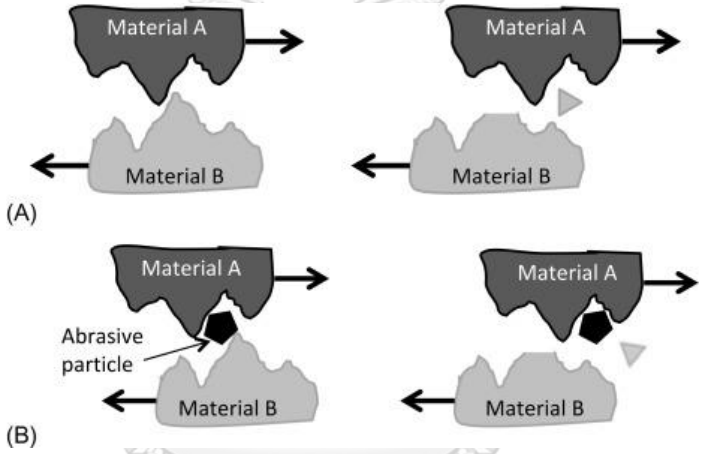
2.4.2.2 การสึกหรอแบบขัดถู (Abrasive wear) เกิดขึ้นจากการกระแทกในลักษณะขีดข่วน ถูหรือเฉือน โดยวัสดุที่มีค่าความแข็งแรงกว่าเคลื่อนที่ไปมาอย่างต่อเนื่องบนวัสดุที่มีความแข็งแรงน้อยกว่าด้วยแรงเสียดทาน ส่งผลให้เนื้อวัสดุที่อ่อนกว่าหลุดไปในลักษณะอนุภาคขนาดเล็ก โดยการสึกหรอดังกล่าวจะเกิดขึ้นภายใต้สองสภาวะ ดังนี้

1) ลักษณะการสึกหรอแบบขัดถูระหว่างวัตถุสองชิ้น (Two-body abrasive wear) เกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวหนึ่ง (มักจะแข็งกว่าพื้นผิวอื่น) เคลื่อนที่หรือถูไปมาบนพื้นผิววัสดุที่อ่อนกว่าทำให้เศษของวัสดุพื้นผิวที่อ่อนกว่าหลุดออกมา

2) ลักษณะการสึกหรอแบบขัดถูระหว่างวัตถุสามชิ้น (Three-body abrasive wear) เกิดขึ้นจากอนุภาคแข็งหรือแปลกปลอมที่ติดอยู่ระหว่างพื้นผิวทั้งสองชนิดถูและเลื่อนไปมาดัง



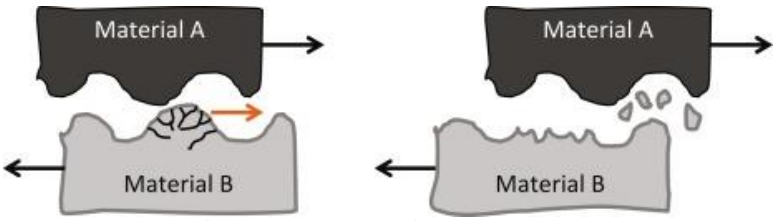
รูปที่ 2.6 กลไกการสึกหรอแบบขัดถูระหว่างวัตถุสองชิ้นและสามชิ้น
(Marinescu, Rowe, Dimitrov and Inaski, 2004)



รูปที่ 2.7 (A) ลักษณะการสึกหรอแบบขัดถูระหว่างวัตถุสองชิ้น
(B) ลักษณะการสึกหรอแบบขัดถูระหว่างวัตถุสามชนิด
(Tanzi, Farè, 2019)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

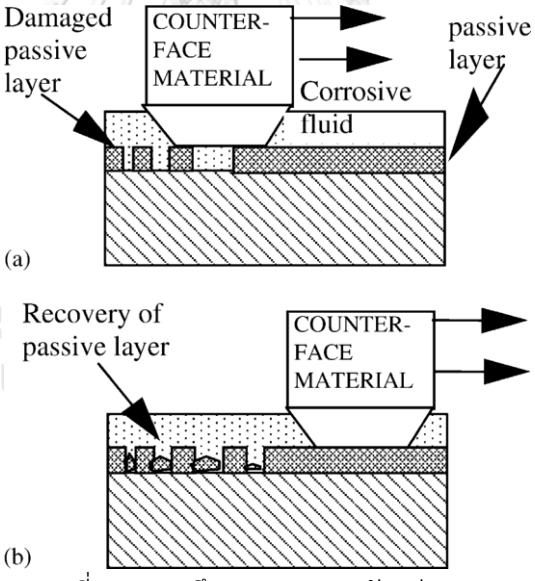
2.4.2.3 การสึกหรอเนื่องจากความล้าตัว (Fatigue wear) เกิดจากการที่ชิ้นงานได้รับการกระทำในรูปแบบไม่คงที่ในลักษณะการกระแทกซ้ำ อัดสลับกันไปมา การหมุนหรือการเลื่อนเป็นเวลานาน (Cyclic Load) ไม่ว่าจะเป็นการมีหรือปราศจากสารหล่อลื่น ส่งผลให้วัสดุในจุดที่รับความเค้นสัมผัส (Contact Stress) เกิดความล้าตัวใต้ผิวของชิ้นงานทำให้ผิวของชิ้นงานเกิดรอยแตกร้าวและหลุดออกไปในที่สุด ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การสึกหรอเนื่องจากความล้าตัว

(Tanzi, Farè, 2019)

2.4.2.4 การสึกหรอจากการกัดกร่อน (Corrosion wear) หรือเรียกอีกอย่างได้ว่า การสึกหรอจากสารเคมี (Chemical wear) เป็นความเสียหายบนพื้นผิวของวัสดุที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีและไฟฟ้าเคมีระหว่างพื้นผิวและปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมเป็นหลัก เมื่อพื้นผิวที่มีฤทธิ์กัดกร่อนถูกทำลายหรือถูกขจัดออกผ่านการเลื่อนหรือการเสียดสี ทำให้พื้นผิวบริเวณอื่นสัมผัสกันเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นชั้นอื่นจะเริ่มก่อตัวขึ้นและกระบวนการกำจัดและการเกิดชั้นที่มีฤทธิ์กัดกร่อนจะเกิดขึ้นซ้ำ (Alojali and Benyounis, 2016) และทำให้เกิดการสึกหรอ ดังรูปที่ 2.9



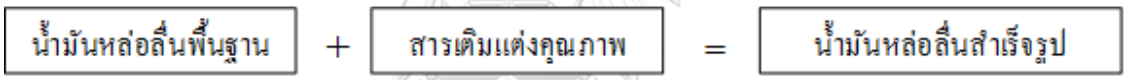
รูปที่ 2.9 การสึกหรอจากการกัดกร่อน

(Dearnley, Dahm and Çimenoglu, 2004)

2.5 น้ำมันหล่อลื่น

น้ำมันหล่อลื่น (Lubricant) เป็นสารที่ใช้ในการปกป้องพื้นผิวในการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของวัตถุที่เป็นของแข็งโดยการลดแรงเสียดทานและการสึกหรอระหว่างพื้นผิวที่มีปฏิสัมพันธ์กัน ซึ่งอาจจะอยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ โดยทั่วไปสารหล่อลื่นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในหลากหลายอุตสาหกรรมมักจะอยู่ในสถานะของเหลว ได้แก่ น้ำมันหล่อลื่น หรือ สารที่มีลักษณะหนืด เช่น จาระบี เป็นต้น (Uhler, Stout, Douglas, Healey and Emsbo-Mattingly, 2016)

น้ำมันหล่อลื่นเป็นสารที่อยู่ในสถานะของเหลวซึ่งทำมาจากปิโตรเลียม หรือไฮโดรคาร์บอนสังเคราะห์ที่ผลิตขึ้นเพื่อลดการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ หรือพื้นผิวโลหะที่เกิดการเสียดสีระหว่างการทำงาน นอกจากนั้นสามารถใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งานของเครื่องยนต์และเครื่องจักรได้ น้ำมันหล่อลื่นทั้งหมดเริ่มต้นด้วยน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน ไม่ว่าจะเป็นจาระบี น้ำมันเบรก น้ำมันหล่อลื่นลวดสลิง หรือน้ำมันเกียร์ คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปนั้นพิจารณาจากชนิดของน้ำมันพื้นฐานที่ใช้และสารเติมแต่งคุณภาพต่างๆ



รูปที่ 2.10 ขั้นตอนในการผลิตน้ำมันหล่อลื่น

อ้างอิงจาก USACE (2016) น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Base oil) ที่มีการใช้เป็นส่วนใหญ่แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ น้ำมันแร่ (Mineral oil) น้ำมันสังเคราะห์ (Synthetic oil) และน้ำมันชีวภาพ (Bio-based oil) โดยน้ำมันแร่เป็นน้ำมันที่ผู้คนนิยมใช้มากที่สุดเนื่องจากมีคุณภาพดีและราคาถูก ในส่วนของน้ำมันชีวภาพและน้ำมันสังเคราะห์มีราคาค่อนข้างสูง จะใช้เฉพาะในงานที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษ เช่น ความหนืดสูง การระเหยต่ำ เป็นต้น โดยรายละเอียดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่กล่าวมา มีดังนี้

1. น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากน้ำมันแร่หรือจากปิโตรเลียม (Mineral oil) เป็นน้ำมันหล่อลื่นที่ผู้คนส่วนใหญ่นิยมใช้ เนื่องจากต้นทุนต่ำและมีคุณภาพที่เหมาะสมกับราคา น้ำมันชนิดนี้ได้มาจากกระบวนการกลั่นภายใต้สุญญากาศโดยการนำเอาส่วนที่อยู่บริเวณก้นหอกลั่นมาแยกเป็นน้ำมันหล่อลื่นชนิดข้นและชนิดใส สำหรับส่วนที่เหลือในรูปแบบกากสามารถนำไปผลิตยางมะตอยได้ ชนิดของน้ำมันดิบที่นำมากลั่นเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อชนิดและปริมาณของน้ำมันแร่ที่แยกออกมา น้ำมันดิบบางชนิดไม่สามารถนำมาผลิตเป็นน้ำมันแร่ได้ โดยปกติเมื่อน้ำมันแร่กระบวนกลั่นเรียบร้อย

แล้วจะยังคงมีคุณภาพต่ำซึ่งจำเป็นต้องมีการขจัดสารที่ไม่พึงประสงค์ออกไป น้ำมันแร่ที่สามารถนำมาทำเป็นน้ำมันหล่อลื่นสามารถแบ่งได้ตามค่าดัชนีความข้นใส ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ ประเภทที่มีดัชนีที่มีความข้นใสระดับสูง ปานกลาง และต่ำ

2. น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากการสังเคราะห์ (Synthetic oil) ถูกใช้มากขึ้นในระบบไฮดรอลิกและระบบเครื่องกลไฟฟ้า น้ำมันสังเคราะห์เป็นของเหลวที่ถูกสร้างขึ้นด้วยโมเลกุลที่ออกแบบตามหลักวิทยาศาสตร์ โดยทั่วไป ข้อได้เปรียบของน้ำมันสังเคราะห์ในการนำไปใช้งาน ได้แก่ มีความคงตัวหรือความต้านทานการเกิดออกซิเดชันที่และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ต่ำกว่าทำให้สามารถทำงานได้ดีในอุณหภูมิสูง ค่าความหนืดที่ดีและจุดไหลเทที่ต่ำกว่าช่วยให้สามารถทำงานที่อุณหภูมิต่ำได้ ข้อจำกัดที่สำคัญของน้ำมันเครื่องสังเคราะห์ คือ ต้นทุนสูงกว่าน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากน้ำมันสองถึงสามเท่า (หรือมากกว่า) อย่างไรก็ตาม อายุการใช้งานยาวนานกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่มีพื้นฐานจากปิโตรเลียมถึงสามเท่า

ปัจจัยที่ต้องพิจารณาเมื่อใช้น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ในการทำงาน คือ ประสิทธิภาพและความสามารถในการนำไปใช้กับสถานการณ์เฉพาะใดๆขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำมันพื้นฐานสังเคราะห์และสารเติมแต่ง การผสมสารหล่อลื่นที่เข้ากันไม่ได้อาจทำให้ประสิทธิภาพการทำงานไม่ดีและทำให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องจักรได้

3. น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากชีวภาพ (Bio-based oil) มีพื้นฐานมาจากพืชผลหรือสัตว์ ได้แก่ น้ำมันพืช น้ำมันหมู น้ำมันคาโนลา น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันถั่วเหลือง สิ่งเหล่านี้เป็นน้ำมันหล่อลื่นในรูปแบบของเหลวที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันหล่อลื่นที่มีพื้นฐานจากพืชมีคุณสมบัติในการทำงานระดับอุณหภูมิต่ำได้น้อยมากและเริ่มเสื่อมสภาพขณะใช้งานในอุณหภูมิสูง ส่งผลให้เมื่อน้ำมาใช้งานต้องมีกระบวนการปรับปรุงคุณภาพทำให้มีต้นทุนที่สูงขึ้น ความนิยมใช้งานจึงลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำมาพิจารณาในการใช้งานที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษบางอย่างเท่านั้น อย่างไรก็ตาม น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพสามารถผสมกับน้ำมันพื้นฐานอื่นๆเพื่อแก้ปัญหานี้ได้ สิ่งสำคัญคือต้องพิจารณาข้อจำกัดของอุณหภูมิเมื่อเลือกน้ำมันหล่อลื่นชีวภาพสำหรับเครื่องจักรขับเคลื่อน การใช้งานของสารหล่อลื่นชีวภาพส่วนใหญ่จะถูกนำมาใช้ระบบไฮดรอลิก น้ำมันเกียร์ ลวดและโซ่ การเปลี่ยนจากน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันแร่ไปเป็นน้ำมันชีวภาพพบปัญหาค่อนข้างน้อย เนื่องจากเกือบทั้งหมดสามารถผสมกับน้ำมันแร่ได้ อย่างไรก็ตาม ในการใช้งานควรรักษาการปนเปื้อนด้วยน้ำมันแร่ให้น้อยที่สุดเพื่อไม่ให้กระทบต่อความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันหล่อลื่นที่มีพื้นฐานจากน้ำมันแร่ การสังเคราะห์และทางชีวภาพ

คุณสมบัติ	น้ำมันแร่	น้ำมันสังเคราะห์	น้ำมันชีวภาพ
ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ	ต่ำมาก	สูงมาก	สูง
เสถียรภาพทางความร้อน	ดี	ปานกลาง	ดีมาก
ช่วงอุณหภูมิ	กว้าง	ปานกลางถึงต่ำ	กว้างมาก
การต้านทานการเกิดออกซิเดชั่น	ดี	ปานกลาง	ดีมาก
ความสามารถในการผสมน้ำมันแร่	ได้	ได้	ขึ้นอยู่กับประเภท

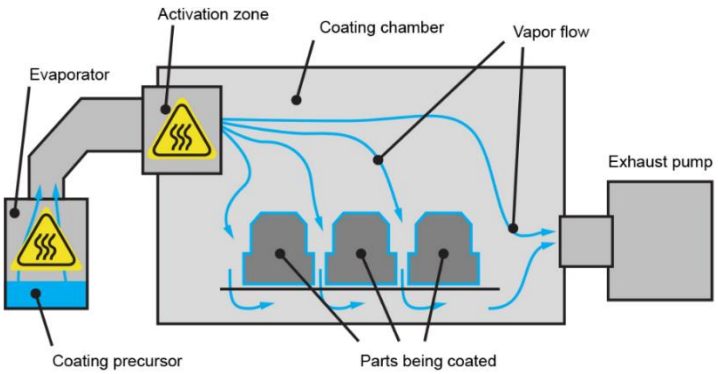
โดยสรุป คือ น้ำมันแร่มีพื้นฐานมาจากปิโตรเลียมและกระบวนการกลั่นเป็นตัวกำหนดคุณภาพ เมื่อผสมกับสารเติมแต่ง คุณภาพจะสูงขึ้น น้ำมันสังเคราะห์เป็นของเหลวที่มนุษย์สร้างขึ้น ในส่วนของสารหล่อลื่นชีวภาพส่วนใหญ่มีพื้นฐานจากพืชหรือสัตว์ ซึ่งเป็นของเหลวที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ น้ำมันชีวภาพให้คุณสมบัติการหล่อลื่นที่ดีเยี่ยม ไม่เป็นพิษ และราคาไม่สูงมากเมื่อเทียบกับของเหลวสังเคราะห์ อย่างไรก็ตาม น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพก็มีข้อเสียบางประการตามตารางที่ 2.4

2.6 กระบวนการเคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็ง

การเคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็งเป็นกรรมวิธีหนึ่งที่ใช้ในการชะลอการสึกหรอจากการเสียดสีจากการกระแทกซ้ำๆ ซึ่งช่วยยืดอายุของพื้นผิวให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยการนำสารประกอบที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมเคลือบลงบนพื้นผิวที่ต้องการ ทำให้ค่าความแข็งบริเวณพื้นผิวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ลดค่าความเสียดทานระหว่างพื้นผิวสัมผัส โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.6.1 การเคลือบผิวแข็งด้วยกระบวนการไอเคมี (Chemical Vapor Deposition: CVD)

การเคลือบผิวแข็งด้วยกระบวนการไอเคมี หรือ CVD Coating เป็นกรรมวิธีเคลือบผิวพันธ์ซึ่งอาศัยการทำปฏิกิริยาเคมีของสารตั้งต้นในสถานะไอหรือแก๊สในห้องสุญญากาศเพื่อป้องกันการรั่วไหลของไอเคมีและการปนเปื้อนจากอากาศภายนอก (อรุณี หลักคำ, วิทวัช วงศ์พิศาล และ สินธุ จันทพันธ์, 2557) กรรมวิธีคือนำพันธ์เข้าไปในตู้เคลือบแล้วปล่อยไอเคมีจนถึงความดันในระดับที่ต้องการ ในขณะเดียวกับความร้อนภายในตู้เคลือบจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์การเคลือบผิว หลังจากนั้นจะดูดซึมไอเสียที่เกิดจากกระบวนการออก ดังรูปที่ 2.11

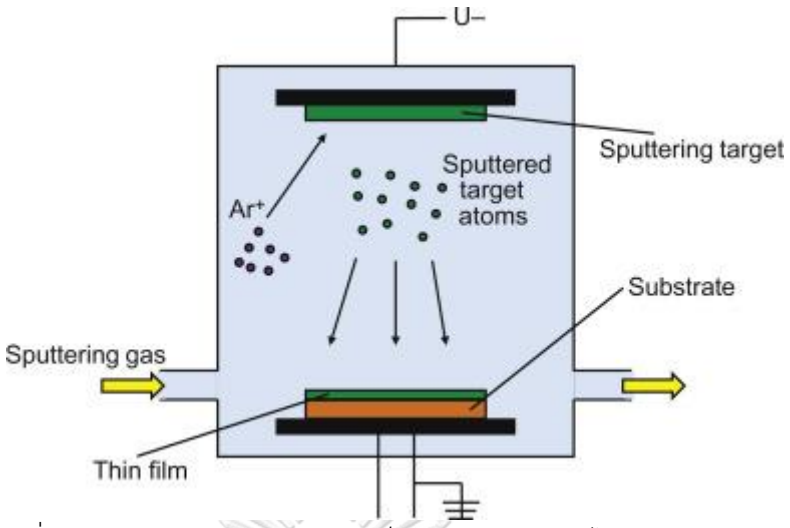


รูปที่ 2.11 กระบวนการเคลือบผิวแข็งด้วยกระบวนการไอเคมี (DropWise, n.d.)

ข้อได้เปรียบของกระบวนการเคลือบผิวแบบ CVD คือสามารถใช้เคลือบพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอขรุขระ รวมทั้งเกลียวและส่วนเว้าได้โดยเป็นการเคลือบผิวอย่างทั่วถึงและมีความสม่ำเสมอ กระบวนการนี้สามารถประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลาย เนื่องจากผิวเคลือบที่ผ่านกรรมวิธีนี้มีลักษณะเป็นฟิล์มบางที่มีความบริสุทธิ์และความหนาแน่นสูง อีกทั้งเป็นกระบวนการเคลือบผิวที่ต้นทุนต่ำ อย่างไรก็ตามต้องทำการเคลือบผิวในอุณหภูมิสูง (700 – 1100 °C) และไอเคมีที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นพิษทำให้อาจเกิดอันตรายได้

2.6.2 การเคลือบผิวแข็งด้วยกระบวนการไอทางกายภาพ (Physical Vapor Deposition: PVD)

การเคลือบผิวแข็งด้วยกระบวนการไอทางกายภาพเป็นกรรมวิธีในระบบสุญญากาศซึ่งอาศัยให้อะตอมของสารระเหยการเป็นไอ โดยให้ความร้อนในอุณหภูมิตั้งแต่ 150 – 500 °C หลังจากนั้นไอในรูปแบบของอะตอมจะถูกสะสมบริเวณพื้นผิวทำให้เกิดชั้นฟิล์มบางดังรูปที่ 2.12 ข้อดีคือในกระบวนการนี้ อุณหภูมิพื้นผิวจะต่ำกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของวัตถุอย่างมากทำให้เคลือบวัสดุที่ไวต่ออุณหภูมิได้ แต่มีข้อจำกัดในเรื่องเนื้อของชั้นฟิล์มที่มีความบกพร่อง ส่งผลให้ผิวเคลือบมีความแข็งแรงและความหนาที่ต่ำกว่ามาตรฐาน



รูปที่ 2.12 กระบวนการเคลือบผิวแข็งด้วยกระบวนการไอทางกายภาพ
(Faraji, Kim and Kashi, 2018)

2.7 ลีน (Lean)

2.7.1 ความหมายของลีนและระบบการผลิตแบบลีน

ลีน (Lean) แปลว่า ผอม ซึ่งแนวคิดหลักของระบบลีน คือ การระบุและกำจัดขั้นตอนที่ไม่สามารถเพิ่มมูลค่าในกระบวนการได้ ขั้นตอนเหล่านี้ทำให้สิ้นเปลืองทรัพยากรและเกิดข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต การกำจัดขั้นตอนดังกล่าวสามารถลดต้นทุนและทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น (วิโรจน์ ลักขณาอดิศ, 2552)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ระบบการผลิตแบบลีน คือ กระบวนการในการผลิตที่ก่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุดหรือเป็นศูนย์ในการผลิต ของเสีย (Muda ในภาษาญี่ปุ่น) มีหลายรูปแบบ เช่น วัสดุ เวลา ความจุที่ไม่ได้ใช้ ความเกียจคร้าน และสินค้าคงคลัง ดังนั้นการผลิตแบบลีนจึงมุ่งเน้นไปที่การกำจัดของเสียในแง่ของการปฏิบัติงาน งาน เครื่องมือ อุปกรณ์ และทรัพยากรโดยทั่วไปที่ไม่สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าหรือบริการได้

2.7.2 ความเป็นมาของแนวคิดเกี่ยวกับลีน

ในช่วงเริ่มต้นของการผลิตสมัยใหม่ Henry Ford เป็นบุคคลแรกที่รวมระบบการผลิตที่เรียกว่า 'การผลิตจำนวนมาก (Mass-production)' ซึ่งเป็นการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ได้มาตรฐานในปริมาณมาก ฟอร์ดได้ทำการคิดค้นการผลิตแบบไหลลื่น (Flow production) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของสิ่งต่างๆอย่างต่อเนื่องในกระบวนการผลิต ฟอร์ดใช้ระบบการผลิตจำนวนมากเพื่อ

ประดิษฐ์และประกอบชิ้นส่วนรถยนต์ภายในไม่กี่นาทีแทนที่จะใช้เวลาเป็นชั่วโมงหรือเป็นวัน ต่างจากการผลิตงานฝีมือ กระบวนการนี้ประสบความสำเร็จอย่างมากและทำให้บริษัท Ford Motor สามารถผลิตรถยนต์รุ่น Model T ได้มากกว่า 15 ล้านคันระหว่างปี ค.ศ. 1908 ถึง 1927 ในช่วงสงครามโลกครั้งที่สอง กองทัพสหรัฐได้นำระบบการผลิตของ Ford มาใช้ (Smith and Hawkins, 2004)

หลังจากนั้นผู้คนมีพฤติกรรมการบริโภคที่เปลี่ยนไป พวกเขาต้องการตัวเลือกรถยนต์ที่หลากหลาย ในขณะที่ผู้ผลิตรถยนต์รายอื่นสามารถตอบสนองความต้องการได้ แต่ฟอร์ดกลับประสบปัญหาหลายอย่างในกระบวนการผลิต ทำให้บริษัทเพื่อเครื่องจักรที่ทันสมัยและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพส่งผลให้สามารถลดต้นทุนในแต่ละขั้นตอนได้จำนวนหนึ่ง อย่างไรก็ตามปริมาณงานและสินค้าคงคลังมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง รวมถึงมีการรอคอยในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต จึงจำเป็นต้องนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้เพื่อวางแผนการจัดการวัสดุ

ในปี ค.ศ. 1926 ซากิจิ โทโยดะ ได้ก่อตั้งบริษัท Toyoda Automatic Loom Works หลายปีต่อมา บริษัทได้เปลี่ยนชื่อเป็น Toyota เมื่อเริ่มผลิตรถยนต์ ในปี ค.ศ. 1950 เออิจิ โทโยดะ หลานชายของซากิจิ ได้เยี่ยมชมโรงงานของฟอร์ดในเดียร์บอร์น รัฐมิชิแกนเป็นเวลาสามเดือน ในขณะนั้น โรงงานที่เดียร์บอร์นเป็นโรงงานผลิตที่ใหญ่ที่สุดและซับซ้อนที่สุดของฟอร์ด ซึ่งสามารถผลิตได้เกือบ 8,000 คันต่อวัน ในขณะที่โตโยต้าผลิตได้เพียง 2,500 คันต่อปี

หลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 องค์กรต่างๆในประเทศญี่ปุ่นประสบสภาวะขาดแคลนเงินทุนและทรัพยากรต่างๆเนื่องจากการแพ้สงคราม ส่งผลให้ไม่สามารถผลิตสินค้าในปริมาณมากได้ (Mass Production) ซึ่งหลังจากมีการวิเคราะห์ถึงปัญหาจะต้องมีแนวทางการแก้ไข ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- มีระบบการผลิตแบบพอดีกับความต้องการ เนื่องจากไม่มีทรัพยากรและเงินทุนเพียงพอที่จะนำไปใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าคงคลัง
- ใช้ต้นทุนต่ำในการผลิต
- มีความยืดหยุ่นในกระบวนการผลิต
- กำจัดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต

หลังจากนั้น Kiichiro Toyoda, Taiichi Ohno และบุคคลอื่นๆที่บริษัทโตโยต้าได้รับแรงบันดาลใจจากแนวคิดการผลิตที่ไหลลื่น (Flow production) ของฟอร์ด นำมาเปลี่ยนแปลงบางส่วนและปรับปรุง หลังจากนั้นจึงคิดค้นระบบการผลิตของโตโยต้า (Toyota Production System) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แนวคิดแบบลีน ซึ่งมีแนวคิดหลัก 3 ประการ คือ

1. ระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just-in-Time Production System: JIT) เป็นการผลิตในเวลาที่เหมาะสมและในปริมาณที่จำเป็น รวมถึงลดปริมาณการผลิตที่เกินกว่าความจำเป็น โดยแนวคิด JIT เป็นการผลิตที่มุ่งเน้นไปที่ความต้องการของลูกค้าเป็นหลัก ซึ่งสามารถกำหนดจำนวนการผลิตและปริมาณวัตถุดิบได้ ส่งผลให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพและผลิตในปริมาณที่พอดี และไม่มีความสูญเปล่าจากการรอคอยในขั้นตอนก่อนหน้า จากระบบ JIT จะทำให้ไม่มีงานระหว่างทำ (Work In Process) และการจัดเก็บวัสดุคงคลังในปริมาณที่เหมาะสม วัตถุประสงค์ของการผลิตแบบทันเวลาพอดี คือ

- Zero Inventory คือ วัสดุคงคลัง ได้แก่ วัตถุดิบ (Raw Material), งานระหว่างทำ (WIP : Work In Process) และสินค้าสำเร็จรูปเพื่อรอจำหน่าย (Finished Goods Inventory) อยู่ในระดับที่น้อยที่สุดหรือเท่ากับศูนย์
- Zero Defect คือ ปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตเป็นศูนย์ เมื่อพบว่าสินค้ามีความบกพร่องจำเป็นต้องแก้ไข หรือผลิตใหม่ ทำให้สิ้นเปลืองวัตถุดิบและมีค่าใช้จ่ายมากขึ้น
- Zero Delay คือ ระยะเวลาในการรอคอยในกระบวนการผลิตน้อยที่สุดหรือเท่ากับศูนย์
- Zero Accident อุบัติเหตุในกระบวนการทำงานเป็นศูนย์

2. การหยุดกระบวนการผลิตเมื่อพบของเสีย (Autonomation หรือ JIDOKA) การใช้อุปกรณ์หรือเครื่องจักรในการป้องกันไม่ให้เกิดของเสียในกระบวนการต่างๆ เมื่อพบความผิดพลาดเกิดขึ้นในกระบวนการ ระบบอัตโนมัติจะทำการหยุดการทำงานเพื่อไม่ให้สินค้ามีความบกพร่องหรือเสียหายส่งไปยังขั้นตอนต่อไป รวมถึงช่วยให้สินค้าไม่ได้มาตรฐานส่งไปถึงลูกค้า ในกรณีที่ไม่มีการตรวจสอบหรือป้องกันจะมีของเสียจำนวนมากในกระบวนการทำให้เกิดความสูญเปล่า (Waste) ในระบบ ได้แก่ การเสียเวลาในการตรวจสอบสินค้า การรอคอยในแต่ละกระบวนการ และสินค้ามีความบกพร่องเสียหายหรือไม่ได้มาตรฐาน หลักการสำคัญของ Jidoka มีอยู่ 3 ประการ ได้แก่ การแบ่งการทำงานระหว่างพนักงานและเครื่องจักร การนำเครื่องมือมาประยุกต์ใช้หรือพัฒนาเพื่อป้องกันไม่ให้สินค้าเสียหายและไม่ได้คุณภาพ และสุดท้าย ประยุกต์ใช้กับกระบวนการประกอบชิ้นส่วนต่างๆเข้าด้วยกัน

3. ความสม่ำเสมอในกระบวนการผลิต (Stability หรือ Heijunka) คือ การปรับระดับการผลิต (การค้นหาและการรักษาปริมาณการผลิตโดยเฉลี่ย) และใช้เพื่อทำให้การผลิตในกระบวนการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ระบบการผลิตของโตโยต้าใช้ Heijunka เพื่อแก้ปัญหาในการประกอบรุ่นต่างๆในแต่ละชุดงาน และทำให้แน่ใจว่ามีสินค้าคงคลังตามสัดส่วนเพียงพอต่อความต้องการ แนวทางในการแก้ไขปัญหา คือ ใช้ทฤษฎี PDCA ดังนี้

1) Plan คือ การหาสาเหตุของปัญหา

2) Do คือ การดำเนินการแก้ไขปัญหา

3) Check คือ ตรวจสอบว่าสามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างถูกต้อง

4) Act คือ บันทึกและดำเนินการเป็นมาตรฐานเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาเดิม

2.7.3 การขจัดความสูญเปล่า

ภายใต้แนวทางการผลิตของโตโยต้าและแนวทางของลีน ปัจจัยสำคัญที่ทำให้การผลิตหรือการบริการมีประสิทธิภาพลดลงหรือทำให้การดำเนินงานไม่ประสบความสำเร็จ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม โดยเป็นคำมาจากภาษาญี่ปุ่นเรียกว่า 3Mus หรือ 3M ได้แก่ Muda, Mura และ Muri ซึ่งความสูญเปล่าเหล่านั้นควรถูกกำจัดออกไปเพื่อให้กระบวนการผลิตดำเนินได้อย่างราบรื่น โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.7.3.1. Muda

มีความหมายว่า สูญเปล่า (Watse) เป็นการกระทำหรือกิจกรรมใดๆที่ใช้ทรัพยากรไม่ว่าจะเป็น เวลา แรงงาน เงินหรืออื่นๆ โดยไม่สามารถสร้างมูลค่าให้กับลูกค้า กิจกรรมที่มอบคุณค่าได้จะทำให้ลูกค้ายินดีที่จะจ่าย โดยทั่วไปสามารถแบ่งกิจกรรมในการดำเนินงานได้ 2 ประเภท คือ

1) กิจกรรมที่สามารถมอบคุณค่าให้กับลูกค้าได้ (Value Added Activity: VA) ส่วนใหญ่พบเพียงร้อยละ 5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) กิจกรรมที่ไม่สามารถมอบคุณค่าให้กับลูกค้าได้ (Non Value Added Activity: NVA) พบได้สูงถึงร้อยละ 95 โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

2.1) ชนิดที่ 1 เป็นกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่า แต่จำเป็นต้องมีอยู่ ตัวอย่างเช่น การตรวจสอบและทดสอบความปลอดภัยของสินค้าไม่ได้เพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์โดยตรง แต่เป็นกิจกรรมที่จำเป็นต้องทำเพื่อให้แน่ใจว่าผลิตภัณฑ์ปลอดภัยสำหรับลูกค้า ซึ่งประเภทนี้พบได้ประมาณร้อยละ 60

2.2) ชนิดที่ 2 เป็นกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์หรือบริการและไม่จำเป็นต้องมีอยู่ พบได้ประมาณร้อยละ 35

โดยทั่วไปแล้วเมื่อทำการประเมินกิจกรรมทั้งหมดควรตรวจสอบเพื่อหากิจกรรมที่ไม่สามารถมอบคุณค่าให้กับลูกค้าได้ (Non Value Added Activity: NVA) หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์เพื่อดูว่ากิจกรรมที่พบเป็นชนิดที่ 1 หรือชนิดที่ 2 ในกรณีที่เป็นชนิดที่ 2 ไม่ควรทำการแก้ไขปรับปรุงและควรกำจัดทิ้ง ในส่วนที่กิจกรรมเป็นชนิดที่ 1 ต้องทำการวางแผนเพื่อลดต้นทุนหรือลดกระบวนการอื่นๆแต่ยังคงประสิทธิภาพเท่าเดิม

2.7.3.1.1 ความสูญเปล่า 7 ประการ

ในส่วนของ Muda สามารถจำแนกความสูญเปล่า 7 ประการที่สามารถขจัดออกจากกระบวนการทางธุรกิจเพื่อลดต้นทุนและเวลาได้ (Liker and Meier, 2006) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ความสูญเปล่าจากการรอคอยงาน (Waiting) คือ การสูญเสียเวลาจากการที่วัสดุหรืออุปกรณ์ไม่สามารถใช้งานได้ในกระบวนการทำงานเนื่องจากเวลาในกระบวนการผลิตไม่สม่ำเสมอ รวมถึงการที่พนักงานรอคอยวัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อใช้ในการทำงาน เช่น การรอให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำงาน เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้อาจส่งผลให้สินค้าคงคลังมีมากเกินความจำเป็นและก่อให้เกิดต้นทุนแฝงตามมา วิธีการแก้ไขเบื้องต้น คือ ออกแบบกระบวนการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้เวลาในแต่ละขั้นตอนอย่างสม่ำเสมอ ตรวจสอบอุปกรณ์เพื่อหาจุดบกพร่อง เป็นต้น

2. ความสูญเปล่าจากการผลิตที่มากเกินไป (Overproduction) เกิดจากการผลิตผลิตภัณฑ์มากเกินกว่าความต้องการของลูกค้า เนื่องจากไม่ต้องการเสียโอกาสการขายสินค้าให้กับลูกค้าหรือต้องการผลิตให้มากที่สุดเมื่อพนักงานว่างงาน ก่อให้เกิดต้นทุนการจัดเก็บสินค้าและต้นทุนในกระบวนการผลิตที่สูงขึ้น วิธีการแก้ไข คือ ออกแบบและวางแผนการผลิตให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า

3. ความสูญเปล่าจากการผลิตของเสียและการปรับปรุงงานเสีย (Rework) เกิดจากการที่ผลิตภัณฑ์ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานส่งผลให้เกิดการผลิตซ้ำ แก้ไขงานเสียหรือทิ้งผลิตภัณฑ์ อาจนำไปสู่การเพิ่มต้นทุนในการดำเนินงาน วิธีการแก้ไข 4 ประการ คือ 1) หาจุดบกพร่องที่เกิดขึ้น 2) วางแผนเพื่อตรวจข้อบกพร่องก่อนนำไปสู่กระบวนการผลิต 3) ออกแบบกระบวนการใหม่เพื่อไม่ให้เกิดข้อบกพร่อง 4) ตรวจสอบว่ากระบวนการผลิตได้มาตรฐานและปราศจากข้อบกพร่อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4. ความสูญเปล่าจากการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น (Motion) คือ การเคลื่อนที่รวมถึงการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ หรือเครื่องจักรโดยไม่จำเป็น งานที่จำเป็นต้องใช้การเคลื่อนไหวค่อนข้างมากควรมีการออกแบบกระบวนการใหม่เพื่อปรับปรุงกระบวนการทำงานและเพิ่มความปลอดภัยให้แก่บุคลากร การแก้ไข คือ จัดพื้นที่ให้เป็นสัดส่วน จัดวางวัสดุหรืออุปกรณ์ที่ใช้งานบ่อยในตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อลดการเดิน เอื้อม ยืดและดึง

5. ความสูญเปล่าจากกระบวนการที่มากเกินไป (Over Processing) คือ การมีขั้นตอนเกินความจำเป็นหรือเพิ่มส่วนประกอบเกินกว่าความต้องการของลูกค้า รวมถึงการใช้อุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูงมากเกินความจำเป็นในกระบวนการผลิต การแก้ไข คือ เข้าใจและคำนึงถึงความต้องการของลูกค้าโดยผลิตสินค้าให้มีคุณภาพตามที่ลูกค้าคาดหวัง และทำการผลิตเฉพาะขั้นตอนที่จำเป็น

6. ความสูญเปล่าจากสินค้าคงคลังมากเกินความจำเป็น (Inventory) เกิดจากการจัดเก็บวัตถุดิบในการผลิต หรือสินค้าสำเร็จรูปในปริมาณที่มากเกินความจำเป็น ส่งผลให้บางส่วนของวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ และการจัดสรรเงินทุนอย่างไม่มีประสิทธิภาพ การแก้ไข คือ ซื้อวัสดุในปริมาณที่จำเป็น และวางแผนเพื่อผลิตในปริมาณที่ต้องการเท่านั้น

7. ความสูญเปล่าจากขนส่งที่ไม่จำเป็น (Unnecessary Transporting) เกิดจากการเคลื่อนย้ายบุคลากร เครื่องมือ สินค้าคงคลัง หรือผลิตภัณฑ์มากเกินความจำเป็น อาจส่งผลให้เกิดความเสียหายและข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการสูญเสียเวลาเนื่องจากระยะทางระหว่างเคลื่อนย้าย การแก้ไข คือ มีการจัดวางแผนผังโรงงานที่เหมาะสม และวางแผนกระบวนการผลิตที่ดีเพื่อลดปริมาณการเคลื่อนย้ายสิ่งของ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.7.3.2. Mura

ความไม่สม่ำเสมอในกระบวนการทำงาน (Variation) เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของงาน และเป็นอุปสรรคในการควบคุมประสิทธิภาพและมาตรฐานของผลิตภัณฑ์หรือการบริการ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือMura มีส่วนที่ทำให้เกิดความสูญเปล่า 7 ประการ ตัวอย่างเช่น การดำเนินงานโดยมีขั้นตอนที่ไม่แน่นอนทำให้พนักงานเกิดความสับสนในกระบวนการ ส่งผลให้ไม่สามารถรักษามาตรฐานและคุณภาพสินค้าหรือบริการได้ ซึ่งภายใต้แนวคิดของระบบ Just-In-Time สามารถ

หลีกเลี่ยงการเกิดความไม่สม่ำเสมอได้ โดยช่วยให้สามารถส่งมอบและผลิตสินค้าในปริมาณและเวลาที่เหมาะสม (Singh and Ahuja, 2012)

2.7.3.3. Muri

การฝืนทำงานจนถึงสภาวะที่เกินกำลัง (overburden) ส่งผลให้เกิดความล้าสะสมและทำให้เกิดผลกระทบระยะยาวในภายหลัง นำไปสู่การทำงานที่ไม่มีประสิทธิภาพ หรือบาดเจ็บเสียหายจนไม่สามารถทำการผลิตต่อได้ เช่น การทำงานเกินเวลาเป็นประจำ ทำให้ร่างกายอ่อนเพลียและสูญเสียขวัญกำลังใจส่งผลให้การทำงานมีประสิทธิภาพลดลง การวางแผนการทำงานอย่างมีระบบและมีมาตรฐานสามารถหลีกเลี่ยงการเกิด Muri ได้โดยการกระจายปริมาณงานอย่างสม่ำเสมอและไม่ทำให้พนักงานหรืออุปกรณ์ใดๆทำงานหนักเกินไป

2.8 ซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma)

2.8.1 นิยามของแนวทางซิกซ์ ซิกมา

ซิกซ์ ซิกมา เป็นแนวทางปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการโดยการระบุและกำจัดสาเหตุของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น และลดความแปรปรวนในกระบวนการผลิตและขั้นตอนการดำเนินงาน (Dinesh, 2015)

ซิกซ์ ซิกมา เป็นปรัชญาและวิธีการปรับปรุงคุณภาพโดยการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหาด้านคุณภาพและดำเนินการควบคุม ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตและกระบวนการทางธุรกิจอื่นๆ (Markarian, 2004)

ซิกซ์ ซิกมา คือ วิธีการแก้ปัญหาในธุรกิจอย่างมีประสิทธิภาพ โดยพื้นฐานประกอบด้วยสององค์ประกอบ คือ เสียงของลูกค้าและปัญหาในกระบวนการ เพื่อลดความแปรปรวนของกระบวนการทำงานในองค์กร รวมถึงการศึกษาความต้องการของลูกค้าอย่างเป็นขั้นตอนเพื่อระบุปัญหาในกระบวนการส่งผลให้ข้อบกพร่องลดน้อยลง (Sarkar, 2004)

ซิกซ์ ซิกมา เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการจัดการปัญหาที่เกิดขึ้นในธุรกิจ โดยให้ความสำคัญกับลูกค้าเป็นอันดับแรก และใช้ข้อเท็จจริงและข้อมูลที่มีอยู่เพื่อแก้ปัญหาให้ดีขึ้น ซึ่งมีเป้าหมายหลักสามอย่าง คือ การปรับปรุงความพึงพอใจของลูกค้า, ลดระยะเวลา และลดข้อบกพร่อง (Holpp and Pande, 2002)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.8.2 ประวัติและความเป็นมาของซิกซ์ ซิกมา

ซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma) คือ แนวทางหรือกลยุทธ์สำหรับการปรับปรุงกระบวนการเดิมที่มีอยู่เพื่อค้นหาสาเหตุและขจัดปัญหา พัฒนาขึ้นโดยบริษัท Motorola ในปี ค.ศ. 1986 เพื่อนำมาปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์จากการลดความแปรปรวนและของเสียที่เกิดขึ้น ในขณะนั้น Motorola กำลังเผชิญกับการคุกคามของการแข่งขันของญี่ปุ่นในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และจำเป็นต้องดำเนินการปรับปรุงคุณภาพสินค้าอย่างมาก (Kadry, 2018) วิศวกรชื่อ Mikel Harry ผู้ซึ่งทำงานอยู่ที่บริษัท Motorola ตระหนักว่ากระบวนการใดๆที่ผันแปรมากเกินไปส่งผลให้ลูกค้าไม่พึงพอใจและขาดประสิทธิภาพในการตอบสนองความต้องการของลูกค้า ดังนั้นการวัดความผันแปรในกระบวนการต่างๆขององค์กรเป็นสิ่งสำคัญและควรเป็นระบบที่ไม่ซับซ้อน หลังจากนั้นจึงได้ทำงานร่วมกับ Bob Galvin (ประธานเจ้าหน้าที่บริหาร) และเจ้าหน้าที่ระดับสูงหลายคนในการลดและควบคุมความผันแปรในกระบวนการที่มีประสิทธิภาพต่ำ ก่อให้เกิดปรัชญา Six Sigma และเริ่มนำมาประยุกต์ใช้กับองค์กร

ภายหลัง Bob Galvin ได้พบกับ Lawrence Bossidy ผู้ซึ่งออกจากบริษัท General Electric ในปี ค.ศ. 1991 เพื่อทำงานในกลุ่มบริษัทขนาดใหญ่ชื่อ AlliedSignal ซึ่งบริษัทกำลังอยู่ในสถานการณ์ที่ไม่ค่อยดีมากนัก หลังจากนั้นเขาจึงนำกลยุทธ์ Six Sigma ไปใช้กับองค์กร ภายในไม่กี่เดือนองค์กรสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพจากการมุ่งเน้นไปที่การวัดประสิทธิภาพของลูกค้า ภายในสามปี บริษัท AlliedSignal สามารถลดต้นทุนได้หลายล้านดอลลาร์และปรับปรุงชื่อเสียงขององค์กร รวมถึงสามารถลดต้นทุนโดยที่ไม่จำเป็นต้องลดขนาดองค์กรหรือเลิกจ้างพนักงาน (Bhote, 2002)

หลังจากนั้น Jack Welch ซึ่งเป็นผู้นำผู้บริหารระดับสูงของบริษัท General Electric ได้นำกลยุทธ์ซิกซ์ ซิกมา มาพัฒนาที่บริษัท General Electric ในปี ค.ศ. 1995 และประสบความสำเร็จอย่างมาก ภายในสองปี หลังจากการใช้ Six Sigma ในการประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตภายในบริษัท General Electric สามารถสร้างรายได้มากกว่า 320 ล้านดอลลาร์ ภายในปี ค.ศ. 1998 บริษัทสามารถลดต้นทุนได้สามในสี่พันล้านดอลลาร์ และคาดว่าจะประหยัดต้นทุนได้กว่าพันล้านดอลลาร์ภายในปี ค.ศ. 1999 ทำให้แนวทางซิกซ์ ซิกมาเป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวาง และปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ในหลากหลายภาคอุตสาหกรรม (Gupta, 2015)

2.8.3 กรอบแนวคิดของซิกซ์ ซิกมา

Sigma เป็นคำมาจากอักษรกรีก ซึ่งสัญลักษณ์ Sigma (σ) เป็นหน่วยวัดทางสถิติใช้ในการกำหนดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation) เพื่อวัดการกระจายตัวของ

ข้อมูลที่มีการเบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยมาตรฐาน ในกรณีที่ค่าซิกมาอยู่ในระดับสูงแสดงว่ามีความแปรปรวน (การกระจายตัวของข้อมูล) อยู่ในระดับสูง ดังนั้นกระบวนการ Six Sigma มีข้อบกพร่องน้อยกว่ากระบวนการ 3**σ** 4**σ** หรือ 5**σ** ซึ่งสอดคล้องกับความล้มเหลวด้านคุณภาพประมาณ 3.4 รายการต่อหนึ่งล้านชิ้นส่วนที่ผลิต ดังรูปที่ 2.13 (Truscott, 2003)

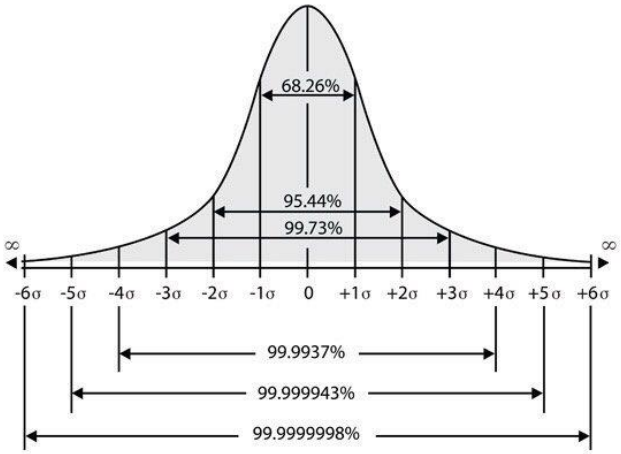
Six-Sigma Sigma value	*Faults (or events) per million opportunities*	*Yield (%)*
1	691 462	30.85
2	308 538	69.146
3	66 807	93.319
4	6210	99.379
5	233	99.9767
6	3.4	99.99966

รูปที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์และความผิดพลาดที่มีโอกาสเกิดขึ้นต่อโอกาสล้านครั้งภายใต้ค่าซิกซ์มาในแต่ละระดับ

(Truscott, 2003)

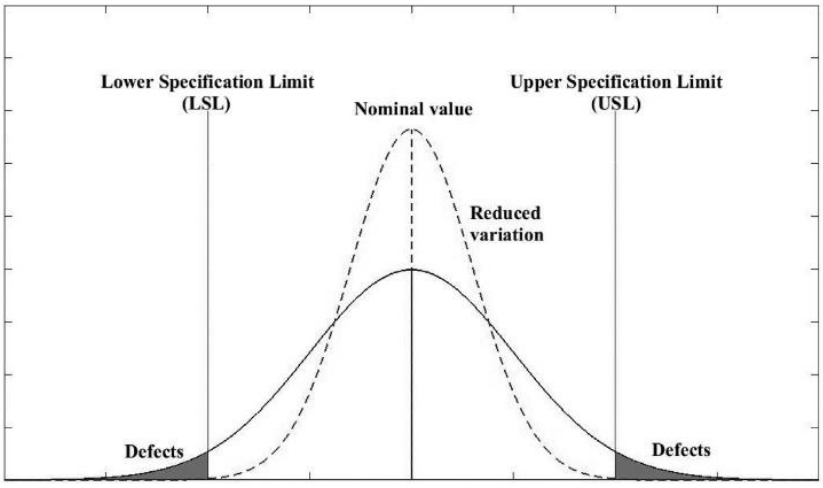
การวัดระดับคุณภาพในกระบวนการผลิตตามหลักของซิกซ์ ซิกมา ตามรูปที่ 2.14 รูปกราฟมีขนาดแคบลงเมื่อการกระจายตัวของข้อมูลน้อย (ความแปรผันน้อย) ค่าซิกมาหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีขนาดเล็กลง เมื่อพิจารณาที่ ±1 ทำให้เกิดข้อบกพร่อง 691462.5 ต่อโอกาสหนึ่งล้านครั้ง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่น่าพอใจเพียง 30.854% เท่ากับว่าสินค้าและบริการมีประสิทธิภาพต่ำและไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ภายใต้ระดับของ ± สามซิกมา แสดงให้เห็นถึงโอกาสเกิดข้อบกพร่อง 66807.2 ต่อโอกาสหนึ่งล้านครั้ง โดยให้ผลลัพธ์คือ 93.319% ซึ่งตัวเลขอยู่ในระดับที่ดี อย่างไรก็ตามยังคงเกิดข้อบกพร่องสูงและไม่สามารถตอบสนองลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากรูปที่ 2.14 กราฟแสดงการกระจายตัวภายใต้เส้นโค้งปกติในลักษณะคล้ายรูประฆังคว่ำภายในข้อพิกัดของข้อกำหนดที่ ±6 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการทำงานต่างๆภายใต้ข้อกำหนดของ 6**σ** มีโอกาสเกิดข้อบกพร่องเพียง 3.4 รายการต่อ 1 ล้านชิ้นส่วน หรืออีกนัยหนึ่งคือสามารถผลิตสินค้าที่มีคุณภาพตรงตามมาตรฐานได้ถึง 99.99966% โดยไม่เกิดข้อบกพร่องหรือของเสีย



รูปที่ 2.14 กระจายตัวภายใต้เส้นโค้งปกติของแนวทาง Six Sigma
(Jones, 2019)

โดยทั่วไปแล้ว Six Sigma มุ่งเน้นไปที่การลดความผันแปรและข้อบกพร่องในประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ (Zhan and Xuru, 2016) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 กระบวนการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยลดความผันแปร
(Zhan and Xuru, 2016)

2.8.4 กระบวนการปรับปรุงคุณภาพตามแนวทางของซิกซ์ ซิกมา

แนวทาง Six Sigma โดยทั่วไปประกอบด้วยกระบวนการในการดำเนินงาน 5 ขั้นตอน หรือเรียกว่า DMAIC คือ ขั้นตอนการระบุปัญหา (Define phase) ขั้นตอนการวัดสภาพปัญหา (Measure phase) ขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze phase) ขั้นตอนการแก้ไขปรับปรุง (Improve phase) และขั้นตอนสุดท้าย ขั้นตอนการควบคุมและติดตามหลังการปรับปรุง (Control phase) (El-Haik and Al-Aomar, 2006) วิธีการปรับปรุงคุณภาพอย่างเป็นระบบช่วยในการแก้ปัญหาของข้อบกพร่องที่พบเจอ ซึ่งมีส่วนช่วยให้ต้นทุนต่ำลง และได้บริการหรือผลิตภัณฑ์ตรงตามความต้องการของลูกค้า (Antony, Laux and Cudney, 2019) โดยมีรายละเอียดการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอน ดังนี้

2.8.4.1 ขั้นตอนการระบุปัญหา (Define phase: D)

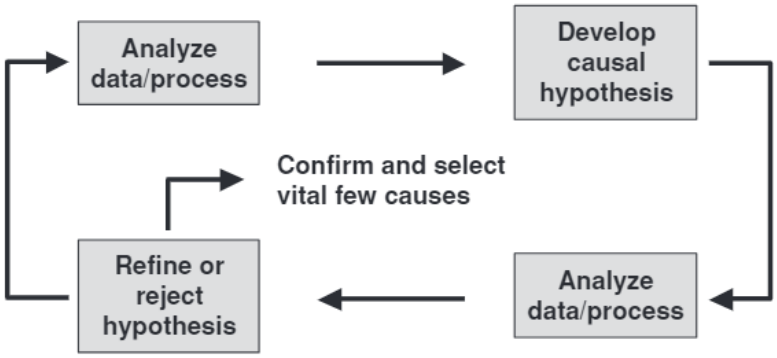
การระบุปัญหาเป็นขั้นตอนแรกที่มีความสำคัญของแนวทาง DMAIC เพื่อปรับปรุงขั้นตอนการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยกำหนดปัญหาแบบเฉพาะเจาะจง ไม่คลุมเครือ ยกตัวอย่างเช่น คำจำกัดความควรอธิบายปัญหาอย่างถูกต้องด้วยการแสดงตัวเลข เช่น “สินค้าสำเร็จรูปที่เสียหายจากสายการผลิตเพิ่มขึ้น 17 เปอร์เซ็นต์ในช่วงสามเดือนที่ผ่านมา” (Gupta, 2015) คำจำกัดความของปัญหาหรือโครงการไม่ควรใช้คำว่า “คุณภาพลดลง” ซึ่งในขั้นตอนการผลิตเมื่อเจอปัญหาสินค้าเสียหายจากกระบวนการผลิต บางทีสาเหตุอาจเกิดจากเครื่องจักรบางตัวเสียหายแต่คุณภาพสินค้ายังดีอยู่ โดยทีมต้องร่วมกันระดมความคิดเพื่อเข้าใจและระบุปัญหาได้อย่างชัดเจน และปัญหานั้นต้องมีความสำคัญเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างสูงสุดในขั้นตอนของการเลือกปัญหาจะเริ่มจากการกำหนดตัวลูกค้าและศึกษาความต้องการ

2.8.4.2 ขั้นตอนการวัดสภาพปัญหา (Measure phase: M)

เมื่อระบุปัญหาได้แล้วจะต้องมีการวัดหรือเก็บข้อมูลเพื่อให้ทราบถึงสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น ตัวอย่างเช่น สินค้าสำเร็จรูปที่เสียหายจากสายการผลิตเพิ่มขึ้น 17 เปอร์เซ็นต์ในช่วงสามเดือนที่ผ่านมา ดังนั้นต้องมีการเก็บข้อมูลเพื่ออธิบายถึงปัญหาเพิ่มเติมว่าสินค้าเสียหายเมื่อใดและมีระดับความเสียหายระดับใด ซึ่งข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลที่สำคัญในการปรับปรุงปัญหาที่พบในกระบวนการต่างๆ

2.8.4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze phase: A)

เมื่อมีการเก็บรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมเรียบร้อยแล้ว ในขั้นตอนนี้จะนำข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา นำไปสู่การแก้ไขปัญหาได้อย่างตรงจุดและถูกต้องที่สุด ระบุความแตกต่างระหว่างประสิทธิภาพการดำเนินงานในปัจจุบันและเป้าหมายที่ต้องการ หลังจากนั้นประเมินทรัพยากรที่จำเป็นเพื่อให้บรรลุเป้าหมาย เพื่อวางแผนวิธีการหรือกลยุทธ์ที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้แก้ปัญหา (Smetkowska and Mrugalska, 2018) โดยภาพรวมของกระบวนการในขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา จะแสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาในแนวทาง DMAIC
(Tang, Goh, Yam and Yoap, 2007)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.8.4.4 ขั้นตอนการแก้ไขปรับปรุง (Improve phase: I)

หลังจากวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา จากนั้นจึงหาวิธีที่เหมาะสมสำหรับการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น โดยจะต้องมีการวางแผนอย่างเป็นลำดับขั้นตอนและมีการวางแผนสำรองเผื่อกรณีที่ไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลังจากนั้นจะต้องรวบรวมข้อมูล เพื่อนำมาประกอบการวัดผลการแก้ไขปัญหาได้สำเร็จและนำไปสู่ผลลัพธ์ที่มีการเปลี่ยนไปในทางที่ดีขึ้นได้และตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า เครื่องมือส่วนใหญ่ที่ใช้ในขั้นตอนนี้ ได้แก่ Design of experiments (DOE) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้แก้ปัญหาจากกระบวนการหรือระบบที่ซับซ้อนซึ่งมีปัจจัยหลายอย่างที่มีอิทธิพลต่อผลลัพธ์และไม่สามารถแยกปัจจัยหรือตัวแปรหนึ่งออกจากปัจจัยอื่นได้เมื่อกระบวนการผลิตได้รับการปรับปรุงแล้ว ขั้นตอนนี้ก็จะเป็นวิธีการออกแบบ

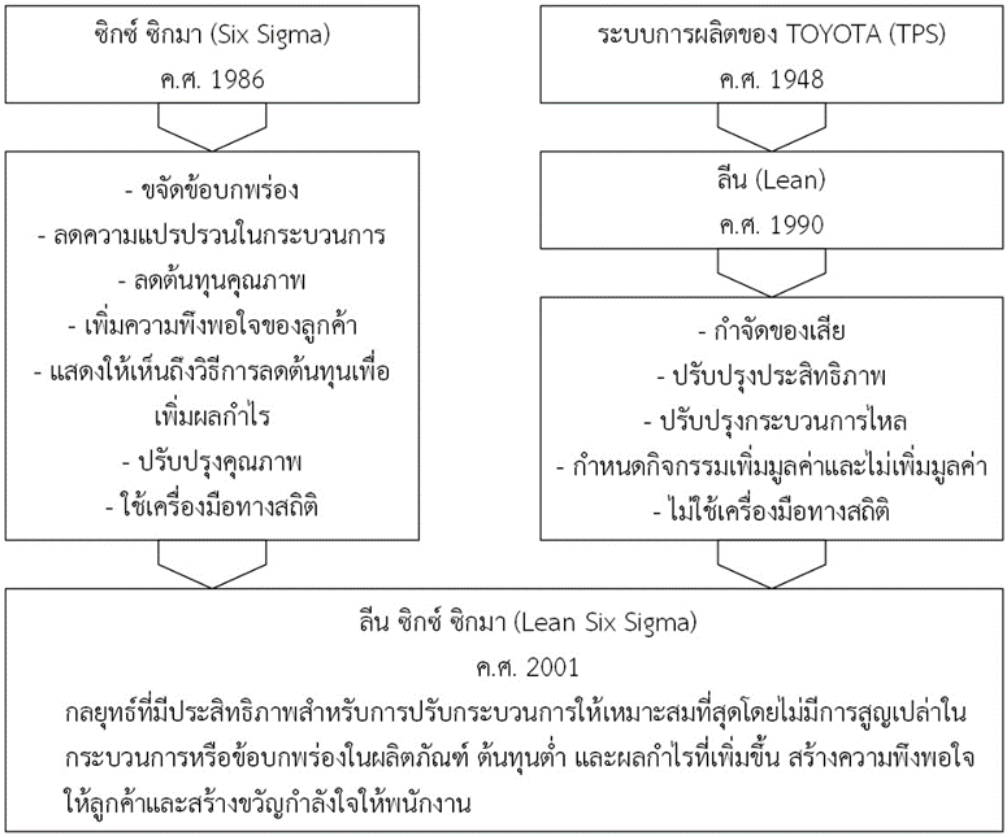
2.8.4.5 ขั้นตอนการควบคุมและติดตามหลังการปรับปรุง (Control phase: C)

เป้าหมายของขั้นตอนการควบคุม คือ การตรวจสอบเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างแท้จริง โดยต้องมีการวางแผนในการตรวจสอบ เช่น กำหนดตารางเวลาในการติดตามผล ระบุชื่อผู้ตรวจสอบอย่างชัดเจน เป็นต้น รวมถึงการคาดการณ์ในอนาคตเพื่อจัดทำแผนการในกรณีที่วิธีการแก้ไขปัญหาเดิมมีประสิทธิภาพลดลง สุดท้ายรวบรวมปัญหาและวิธีการแก้ไขที่สำคัญโดยบันทึกไว้เป็นเอกสารเพื่อสำหรับการค้นหาและนำไปใช้ในการดำเนินงานด้านอื่นๆ เครื่องมือที่นิยมใช้ในขั้นตอนนี้ ได้แก่ ระบบควบคุมการทำงาน 5ส, Control Charts, Poka-Yoke (Mistake-Proofing) เป็นต้น

2.9 แนวคิดลีน ซิกซ์ ซิกมา (Lean Six Sigma)

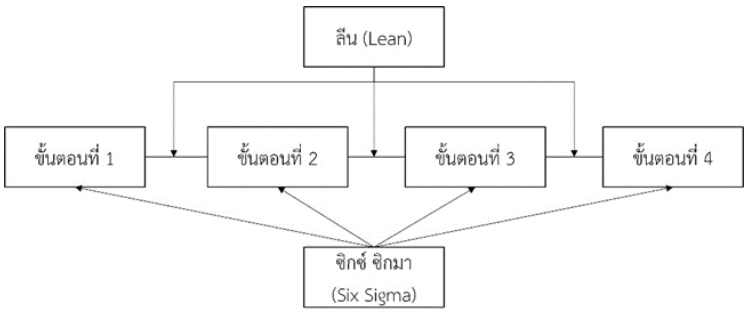
ถึงแม้ว่าแนวทางลีน และ แนวทางซิกซ์ ซิกมาสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการสำคัญ แต่ก็มีข้อจำกัดบางประการ George (2002) อธิบายว่าแนวทางลีนไม่เหมาะกับการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนซึ่งต้องใช้การวิเคราะห์ข้อมูลอย่างเข้มข้นและเครื่องมือทางสถิติขั้นสูง ซึ่งลีนมุ่งเน้นไปที่การไหลของงาน ในขณะที่การประยุกต์ใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมาภายในองค์กรไม่สามารถกำจัดของเสียทุกประเภทออกจากกระบวนการทางธุรกิจได้ (Albliwi, Antony and halim Lim, 2015) ในบางปัญหาไม่จำเป็นต้องใช้ระยะเวลานานในการรวบรวมข้อมูลเพื่อแก้ไข ซึ่งแนวทางลีนมีความเหมาะสมมากกว่าเนื่องจากใช้เวลาไม่มากในการรวบรวมข้อมูลและบรรลุผลในได้อย่างรวดเร็ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.17 การบูรณาการของแนวทางลีน และแนวทางซิกซ์ ซิกมา
(Albliwi, Antony and halim Lim, 2015)

ดังนั้นจึงมีการนำแนวทางลีน และแนวทางซิกซ์ ซิกมา บูรณาการเข้าด้วยกัน ก่อให้เกิดแนวทางลีน ซิกซ์ ซิกมา ซึ่งเป็นวิธีการขจัดความสูญเปล่าและข้อบกพร่อง สร้างกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นสำหรับการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง รวมถึงปรับปรุงสภาพการทำงานเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้ดียิ่งขึ้น (Antony, Vijaya, Laux et al., 2019) ตามตารางที่ 2.5 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของวิธีการแบบเก่า และวิธีการของลีน ซิกซ์ ซิกมา บริษัทหลายแห่งนำแนวทางลีน ซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้ในองค์กรและประสบความสำเร็จอย่างมากไม่เพียงแต่ในด้านการผลิตเท่านั้น แต่ยังรวมถึงอุตสาหกรรมบริการด้วย เนื่องจากแนวทางลีนคำนึงถึงความต้องการของลูกค้าและทำให้ลูกค้าพึงพอใจ รวมถึงสามารถสร้างความสัมพันธ์ที่ดีกับลูกค้าในปัจจุบันและในอนาคต ดังนั้นการบูรณาการสองแนวทางนี้ดังรูปที่ 2.17 และ 2.18 ทำให้องค์กรมีประสิทธิภาพมากขึ้น และช่วยให้บรรลุผลการปฏิบัติงานที่เร็วกว่าการนำแต่ละแนวทางไปปฏิบัติแบบแยกส่วน ดังรูปที่ 2.17 แสดงให้เห็นถึงแนวทางลีนในการปรับปรุงกระบวนการไหลของระหว่างขั้นตอนย่อยของกระบวนการผลิต และแนวทางซิกซ์ ซิกมา ในการปรับปรุงภายในขั้นตอนย่อยของกระบวนการผลิต



รูปที่ 2.18 กรอบแนวคิดของแนวทางลีน ซิกซ์ ซิกมา
(Singh and Rathi, 2019)

ขั้นตอนในการดำเนินการของแนวทางลีน ซิกซ์ ซิกมา ใช้ขั้นตอน DMAIC ของแนวทางซิกซ์ ซิกมา ซึ่งมีอยู่ 5 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกระบุปัญหาโดยใช้เครื่องมือแผนผังสายธารแห่งคุณค่า (Value stream map) และ แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) เพื่อให้เห็นภาพรวมของกระบวนการทั้งหมดจากมุมมองของลูกค้าและวิเคราะห์สิ่งที่จำเป็นเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า (Zhan and Ding, 2015) ขั้นที่สอง วัดประสิทธิภาพของกระบวนการและเก็บข้อมูลเพื่ออธิบายถึงปัญหาโดยประยุกต์ใช้เครื่องมือแผนภูมิพาเรโต (Pareto chart) เพื่อวิเคราะห์ความถี่ของปัญหาหรือสาเหตุ ขั้นที่สาม การวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าของปัญหาและข้อบกพร่อง โดยการใช้เครื่องมือ การวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) หรือ ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์สาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น ขั้นที่สี่ ปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการโดยระบุและกำจัดสาเหตุของปัญหาที่แท้จริง โดยใช้เครื่องมือการออกแบบการทดลอง (Design of experiments: DOE) เพื่อแก้ปัญหาจากกระบวนการหรือระบบที่ซับซ้อนซึ่งมีปัจจัยหลายอย่างที่มีอิทธิพลต่อผลลัพธ์และไม่สามารถแยกปัจจัยหรือตัวแปรหนึ่งออกจากปัจจัยอื่นได้ ขั้นสุดท้าย ควบคุมกระบวนการที่ได้รับการปรับปรุงและวางแผนสำหรับกระบวนการในอนาคต โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือ แผนการควบคุมคุณภาพ ในการบันทึกและควบคุมกระบวนการให้ได้ประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบวิธีการแบบเก่า และแบบใหม่ (Lean Six Sigma)

ปัญหาที่พบ	**วิธีแก้ไขเดิม**	**วิธีแก้ไขใหม่ (Lean Six Sigma)**
ด้านการออกแบบ	ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์	ความสามารถในการผลิตผลิตภัณฑ์
การวิเคราะห์	จากประสบการณ์	จากข้อมูล
ปัญหา	แก้ไขปัญหา	ป้องกันการเกิดปัญหา
การผลิต หรือ การขึ้นรูป	ทดลองและหาข้อผิดพลาด	ออกแบบอย่างมุ่งมั่นและแข็งแกร่ง
ระดับสินค้าคงคลัง	ผลิตในปริมาณสูง	ปริมาณการผลิตน้อยตามต้องการ
บุคลากร	ต้นทุนของบริษัท	ทรัพย์สินของบริษัท
การจัดการ	ต้นทุน และ เวลา	คุณภาพ และ เวลา
เป้าหมายของพนักงาน	บริษัท	ลูกค้า
วิศวกรรมผลิตภัณฑ์	ข้อมูลจากลูกค้าน้อย	ข้อมูลจากลูกค้ามาก
มุ่งเน้นที่คุณภาพ	ผลิตภัณฑ์	กระบวนการ
การปรับปรุงกระบวนการ	ใช้เทคนิคหุ่นยนต์ในการแก้ไข	เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพ
การตรวจสอบ	จากประสบการณ์	จากสถิติ
แนวโน้มของบริษัท	วางแผนระยะสั้น	วางแผนระยะยาว
ความพึงพอใจของลูกค้า	การผลิตในระดับคุณภาพที่ยอมรับทางสถิติ	ข้อบกพร่องน้อยลง ปริมาณตามที่ลูกค้าต้องการ
ตารางการผลิต	คาดการณ์	ตามคำสั่งซื้อของลูกค้า
ต้นทุนการผลิต	เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง	มั่นคงและลดลงตามลำดับ

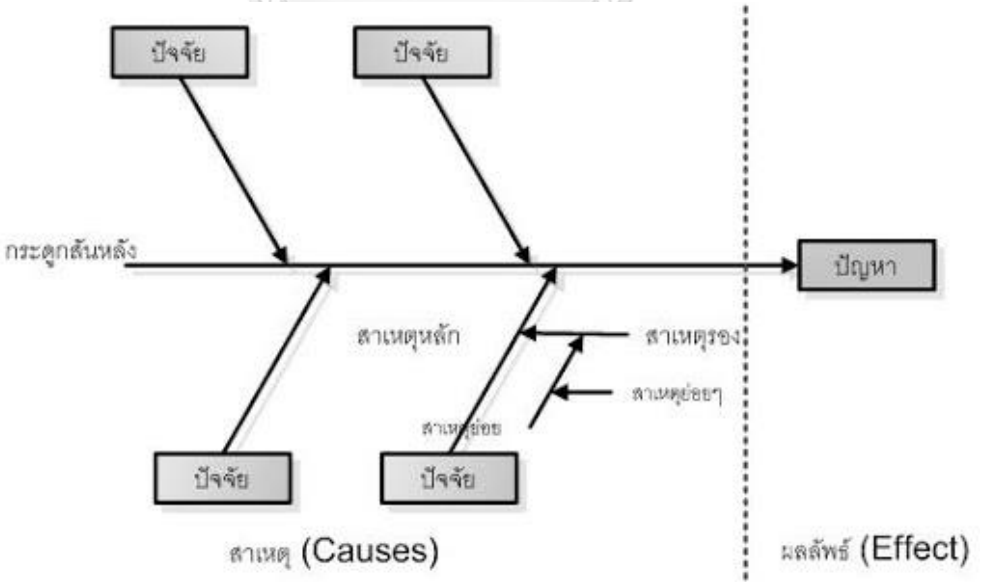
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.10 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools)

เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด ได้รับการพัฒนาโดยศาสตราจารย์ด้านวิศวกรรมชาวญี่ปุ่นชื่อ Kaoru Ishikawa สิ่งเหล่านี้ถูกนำไปใช้โดยโครงการฝึกอบรมด้านอุตสาหกรรมของญี่ปุ่นในช่วงหลังสงครามของประเทศ ซึ่งใช้การควบคุมคุณภาพทางสถิติเป็นหลักประกันคุณภาพภายใต้เป้าหมาย 2 ประการ คือ สามารถใช้งานได้ง่ายโดยผู้ปฏิบัติงานจากภูมิหลังต่างๆสามารถนำไปใช้ได้โดยไม่จำเป็นต้องมีการฝึกอบรมอย่างละเอียด และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับองค์กรและภาคอุตสาหกรรมทั่วไป โดยรายละเอียดโดยสังเขปของเครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด มีดังนี้

2.10.1 ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

ผังแสดงเหตุและผล หรือเรียกว่าแผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) ในบางครั้งรู้จักกันในนามของแผนผังอิชิกาว่า (Ishikawa Diagram) ซึ่งตั้งชื่อตามศาสตราจารย์ Kaoru Ishikawa แห่งมหาวิทยาลัยโตเกียว ผู้ซึ่งพัฒนาเครื่องมือนี้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1943 เป็นเครื่องมือที่ช่วยระบุ จัดเรียง และแสดงสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ส่งผลกระทบต่อปัญหา แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์และปัจจัยทั้งหมดอย่างเป็นระบบ (Vivek, 2008) ผล (หรือ หัวปลา) เป็นปัจจัยที่ต้องเพิ่มขึ้น (หรือลดลง) กระดูกปลาขนาดใหญ่บ่งบอกถึงประเภทหลักหรือสาเหตุที่เป็นไปได้ ในส่วนของกระดูกปลาขนาดเล็กเป็นประเภทรองหรือสาเหตุที่เป็นไป ผังแสดงเหตุและผลคล้ายกับแผนที่ความคิด (Mind Map) แต่มีความเฉพาะเจาะจงมากกว่าในการใช้งาน



รูปที่ 2.19 ผังแสดงเหตุและผล
(เกรียงศักดิ์ ปรีชา, 2553)

รูปที่ 2.19 แสดงโครงสร้างของผังแสดงเหตุและผลหรือแผนผังก้างปลามีส่วนประกอบดังนี้

1) หัวปลา เป็นส่วนปัญหาหรือผลลัพธ์ (Problem or Effect)

2) ส่วนสาเหตุ (Causes) แสดงอยู่บริเวณก้างปลา แบ่งออกเป็น

- ปัจจัย (Factors) เป็นส่วนที่ส่งผลกระทบต่อปัญหา (หัวปลา)

- สาเหตุหลัก อยู่บริเวณก้างปลาหลัก

- สาเหตุย่อย อยู่บริเวณก้างปลาขนาดเล็ก

Kent (2016) อธิบายถึงกระบวนการสร้างผังแสดงเหตุและผล มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ระบุปัญหาที่บริเวณหัวปลา ซึ่งอาจมาจากการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมืออื่น

2. ระดมความคิดเพื่อระบุสาเหตุหลักที่นำไปสู่ผลลัพธ์ที่ตามมา โดยปัญหาที่ระบุจะเกี่ยวข้องกับวัสดุ (Material) กำลังคน (Manpower) เครื่องจักร (Machines) การวัดผล (Measurement) วิธีการทำงาน (Methods) และสภาพแวดล้อม (Mother Nature) หรือเรียกว่าสาเหตุหลัก 6Ms โดยอาจเพิ่มหรือลดสาเหตุที่เป็นไปได้ตามแต่ความเหมาะสมในแต่ละสถานการณ์

3. ระบุสาเหตุหลักจากปัจจัยหลัก (6Ms) บริเวณลูกศรหลัก และระบุสาเหตุที่เป็นไปได้จากสาเหตุหลักโดยการลากเส้นออกบริเวณด้านข้างของลูกศรหรือก้างปลา ซึ่งสาเหตุที่เป็นไปได้จะสัมพันธ์กับสาเหตุหลัก

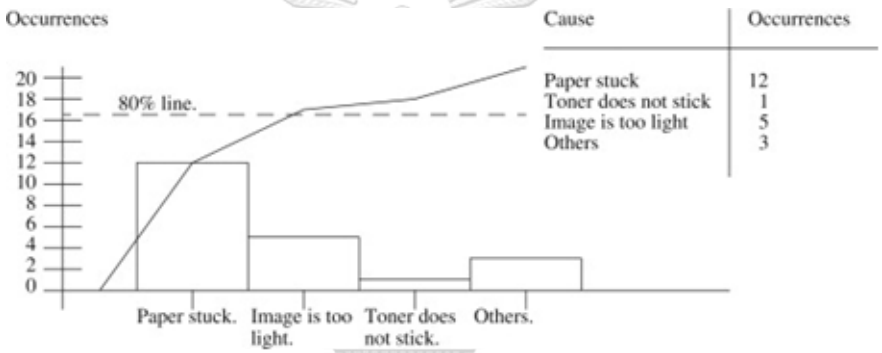
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4. วิเคราะห์เพื่อค้นหาสาเหตุที่แท้จริง โดยใช้เครื่องมือ 5Whys ในการวิเคราะห์สาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาอย่างแท้จริง

5. จัดลำดับความสำคัญของแต่ละสาเหตุ

2.10.2 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram)

หลักการพาเรโตได้รับการตั้งชื่อตามนักเศรษฐศาสตร์ชาวอิตาลี ชื่อว่า วิลเฟรโด พาเรโต ซึ่งศึกษาการกระจายความมั่งคั่ง เขาพบว่าความมั่งคั่งไม่ได้กระจายอย่างเท่าเทียมกันและมีเพียงไม่กี่คนที่ควบคุมความมั่งคั่งส่วนใหญ่ Jack (2013) อธิบายว่าหลักการพาเรโตมีพื้นฐานแนวคิดว่าปัญหาร้อยละ 80 เกิดจากสาเหตุที่เกิดขึ้นจำนวนร้อยละ 20 เช่น พนักงาน เครื่องจักร วัตถุดิบ โดยพื้นฐานแล้วหลักการพาเรโตเป็นวิธีการแยกส่วนสิ่งที่สำคัญน้อยออกจากสิ่งที่ไม่สำคัญจำนวนมาก ตัวอย่างเช่น 80% ของการร้องเรียนจะมาจาก 20% ของลูกค้า แผนภูมิพาเรโตเป็นเครื่องมือเพื่อตรวจสอบปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ซึ่งนำสาเหตุที่เป็นไปได้มาแบ่งแยกประเภท หลังจากนั้นจึงเรียงลำดับความสำคัญจากมากไปน้อย รูปที่ 2.20 เป็นตัวอย่างแสดงแผนภูมิพาเรโต



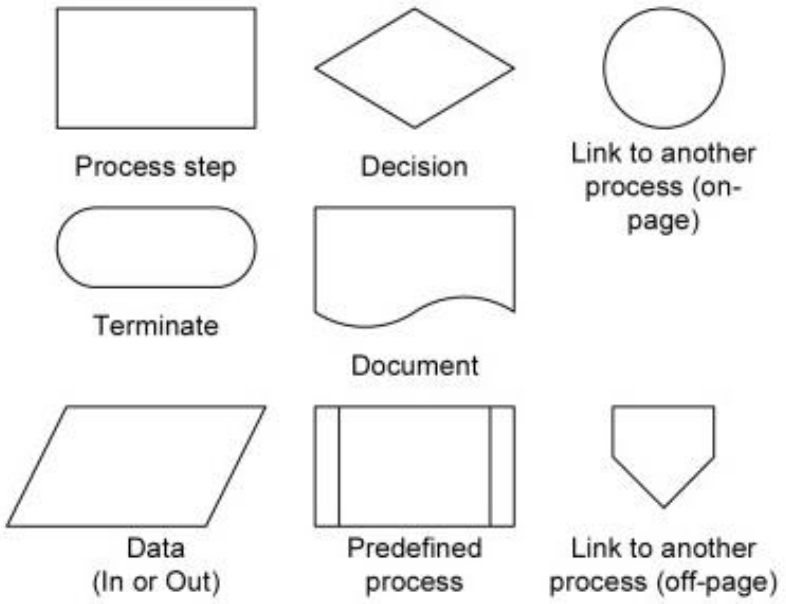
รูปที่ 2.20 แผนภูมิพาเรโต

(Jack, 2013)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.10.3 แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart)

แผนภูมิกระบวนการไหล คือ การแสดงสัญลักษณ์ที่แสดงลำดับของกิจกรรมภายในกระบวนการโดยใช้สัญลักษณ์พื้นฐาน 5 ตัว ซึ่งกำหนดโดย ASME (American Society of Mechanical Engineer) ดังรูปที่ 2.21 โดยเป็นแผนภูมิที่แสดงขั้นตอนในกระบวนการทำงานตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนถึงลำดับสุดท้าย แผนภูมิกระบวนการไหลใช้เพื่อบันทึกและวิเคราะห์กิจกรรมที่ประกอบเป็นกระบวนการเพื่อตรวจสอบว่ากิจกรรมใดไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มและกิจกรรมใดที่ก่อให้เกิดมูลค่า (Kent, 2016) กิจกรรมอาจประกอบไปด้วยการดำเนินการ การตรวจสอบ การจัดเก็บ การขนส่ง และการดำเนินการล่าช้าใดๆที่ดำเนินการโดยพนักงานหรือเครื่องจักร

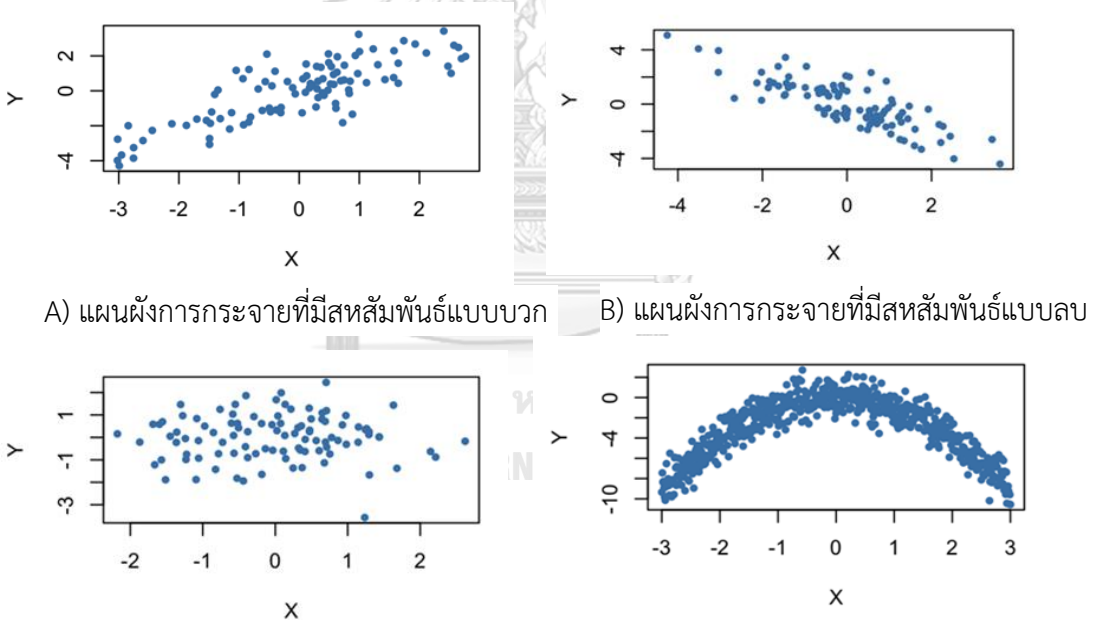


CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 2.21 สัญลักษณ์ในแผนภูมิกระบวนการไหล
(Kent, 2016)

2.10.4 แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram)

แผนภาพการกระจาย เป็นวิธีการแสดงว่าตัวแปรสองตัวมีความสัมพันธ์หรือเกี่ยวข้องกันหรือไม่ โดยประกอบไปด้วยสองแกน สำหรับแกนตั้ง (แกน Y) เป็นค่าของข้อมูลชุดตัวแปรที่ 1 และแกนนอน (แกน x) เป็นค่าของข้อมูลชุดตัวแปรที่ 2 โดยแนวทางของจุดที่พล็อตสามารถระบุความสัมพันธ์ได้หลายประเภท ในกรณีที่จุดมีการกระจายตัวอย่างไม่มีรูปแบบหรือกระจายตัวในลักษณะสุ่ม ดังรูปที่ 2.22(C) แสดงว่าชุดข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กัน ถ้าจุดมีลักษณะชันขึ้นดังรูปที่ 2.22(A) แสดงความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันหรือความสัมพันธ์เชิงบวกเกิดเนื่องจากค่าของตัวแปรหนึ่งเพิ่มขึ้นตามค่าของตัวแปรอื่นเพิ่มขึ้น ในทางตรงข้ามถ้าจุดมีลักษณะชันลงดังรูปที่ 2.22(B) แสดงว่าความสัมพันธ์เป็นไปในทิศทางตรงกันข้ามหรือความสัมพันธ์เชิงลบ ถ้าแนวโน้มของจุดมีลักษณะคล้ายรูประฆังคว่ำหรือเป็นไปในแนวโค้งดังรูปที่ 2.22(D) แสดงความตัวแปรมีความสัมพันธ์กันแต่ไม่เป็นเชิงเส้น



A) แผนผังการกระจายที่มีสหสัมพันธ์แบบบวก B) แผนผังการกระจายที่มีสหสัมพันธ์แบบลบ

C) ผังการกระจายไม่มีสหสัมพันธ์ D) ผังการกระจายมีสหสัมพันธ์ไม่เชิงเส้นเชิง

รูปที่ 2.22 รูปแบบแผนภาพการกระจาย

(Hanck, Arnold, Gerber and Schmelzer, 2019)

2.10.5 ใบตรวจสอบ (Check sheet)

ใบตรวจสอบเป็นเอกสารอย่างง่ายอยู่ในรูปแบบของตารางหรือรูปภาพใช้สำหรับการบันทึกและรวบรวมข้อมูล โดยพื้นฐานจะกำหนดมาเป็นรูปแบบซึ่งมีรายละเอียดที่ครอบคลุมและชัดเจน เช่น วันและเวลาที่ตรวจสอบ รายละเอียดปัญหาที่พบ ผู้ตรวจสอบ เป็นต้น อย่างไรก็ตามการออกแบบใบตรวจสอบต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ในการใช้งาน ใบตรวจสอบจะอยู่ในรูปแบบฟอร์มเพื่อบันทึกข้อมูลที่ต้องการอย่างรวดเร็ว ง่ายดาย และมีประสิทธิภาพส่งผลให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ผล โดยทั่วไปใบตรวจสอบแบ่งตามวัตถุประสงค์การใช้งานซึ่งส่วนใหญ่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมด้านการผลิตมีทั้งหมด 6 รูปแบบ (เรืองลักษณ์ บุตรเพ็ชร, จุฑาวรรณ อ้นสุวรรณ และ ธิดาเดียว มยุรีสวรรค์, 2559) มีดังนี้

1) ใบตรวจสอบการผลิต ใช้เพื่อบันทึกข้อมูลของผลิตภัณฑ์หรือชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ เช่น วัดขนาดของแต่ละผลิตภัณฑ์ ทำให้ทราบว่าผลิตภัณฑ์ชิ้นใดมีข้อบกพร่อง ข้อมูลที่บันทึกได้จะเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ

2) ใบตรวจสอบข้อบกพร่อง ใช้เพื่อบันทึกข้อบกพร่องของแต่ละผลิตภัณฑ์โดยการแยกประเภทและลักษณ์ของข้อบกพร่อง ทำให้ทราบถึงจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน

3) ใบตรวจสอบตำแหน่งข้อบกพร่อง ใช้เพื่อบันทึกตำแหน่งที่พบจุดบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ โดยทำตำแหน่งบนรูปภาพของผลิตภัณฑ์ ในกรณีที่พบข้อบกพร่องหลายประเภทจะมีการใช้เครื่องหมายหรือสัญลักษณ์ที่แตกต่างกัน ทำให้ทราบถึงตำแหน่งที่พบจุดบกพร่องและสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหาได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

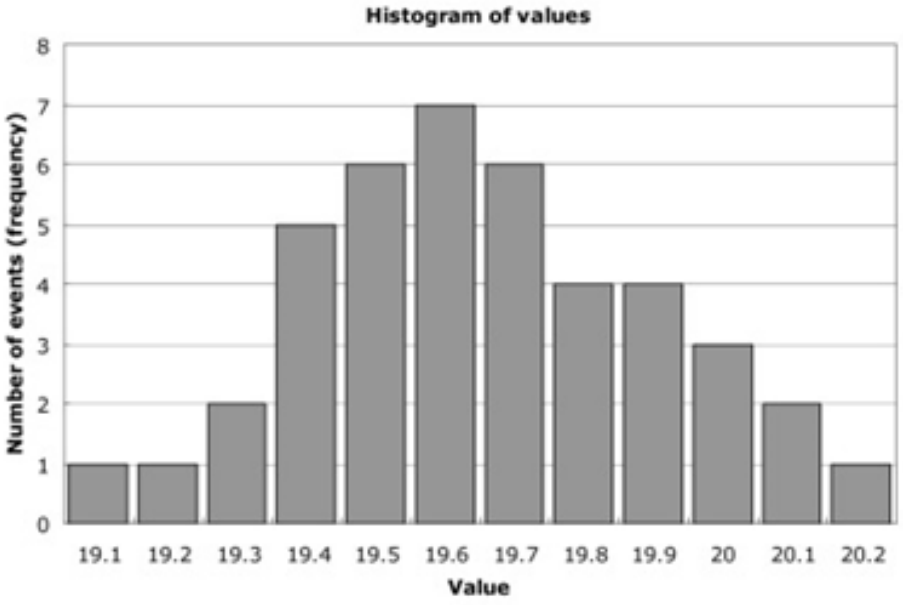
4) ใบตรวจสอบสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง ใช้บันทึกเพื่อตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้นจากความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องจักร คนและข้อบกพร่อง ผู้ตรวจสอบจะทำสัญลักษณ์หรือเครื่องหมายที่แตกต่างกันตามลักษณะของข้อบกพร่องที่พบ ทำให้ทราบถึงสาเหตุที่แท้จริงของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น

5) ใบตรวจสอบสุดท้าย เป็นใบตรวจสอบที่มีลักษณะการบันทึกคล้ายกับใบตรวจสอบที่กล่าวมาข้างต้น โดยบันทึกเพื่อยืนยันการตรวจสอบและป้องกันในการเกิดข้อผิดพลาดในการบันทึก เช่น การซ่อมบำรุงเครื่องจักร โดยสามารถบันทึกได้หลายรายการและต้องสอดคล้องกับกระบวนการตรวจสอบตามความเป็นจริง

6) ใบตรวจสอบอื่นๆ เป็นใบตรวจสอบในลักษณะเฉพาะกรณีที่พบข้อบกพร่องหรือต้องการเก็บข้อมูลในลักษณะอื่น โดยสามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์การใช้งาน

2.10.6 ฮิสโตแกรม (Histogram)

ฮิสโตแกรม เป็นเครื่องมือที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของข้อมูลนำไปสู่การวิเคราะห์ในการตรวจสอบความผิดปกติหรือการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการผลิต โดยนำเสนอข้อมูลในลักษณะกราฟแท่ง (Kent, 2016) ดังรูปที่ 2.23 แกนตั้งแสดงความถี่ ในส่วนของแกนนอนเป็นคุณสมบัติของข้อมูลที่ต้องการแสดง ฮิสโตแกรมสามารถนำมาวิเคราะห์ความถี่ของข้อมูลเพื่อตรวจสอบความบกพร่องของกระบวนการผลิตและค้นหาแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น



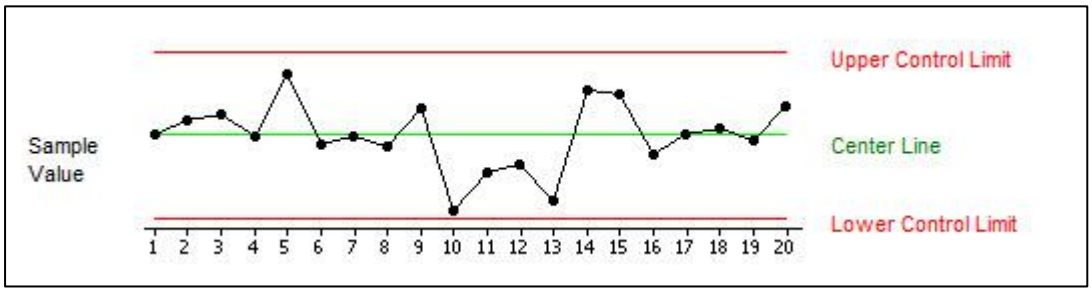
รูปที่ 2.23 ฮิสโตแกรม
(Kent, 2016)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.10.7 แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

แผนภูมิควบคุม เป็นเครื่องมือใช้เพื่อตรวจสอบและติดตามค่าของตัวแปรว่ามีการแปรผันเกินกว่าที่กำหนดไว้หรือไม่ ในกรณีที่พบว่าเกินกำหนดจำเป็นต้องวิเคราะห์และวางแผนปรับปรุงก่อนที่ผลิตภัณฑ์จะเกิดความเสียหาย (กาญจนา กาญจนสุนทร, 2559) โดยนำเสนอข้อมูลในรูปแบบกราฟ และ ข้อมูลจะถูกพล็อตตามลำดับเวลา ดังรูปที่ 2.24 แสดงแผนภูมิควบคุมซึ่งประกอบไปด้วยเส้นควบคุม 3 เส้น คือ เส้นกลาง (Central Line: CL) สำหรับแสดงค่าเฉลี่ย เส้นควบคุมบน (Upper

Control Limit: UCL) สำหรับแสดงขีดจำกัดการควบคุมบน และเส้นควบคุมล่าง (Lower Control Limit: LCL) สำหรับขีดจำกัดการควบคุมด้านล่าง เส้นเหล่านี้กำหนดจากข้อมูลในอดีต



รูปที่ 2.24 แผนภูมิควบคุม
(หน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์, ม.ป.ป.)

2.11 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments, DOE)

การออกแบบการทดลอง คือ วิธีการที่เป็นระบบในการลดจำนวนการทดลองจากการนำหลักทางสถิติมาประยุกต์ใช้ โดยการเปลี่ยนแปลงตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ในกระบวนการทดลองเพื่อค้นหาสาเหตุหรือความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการและผลลัพธ์ที่ได้ (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551) โดยมีจุดมุ่งหมายหลัก คือ

1) เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือ การตรวจสอบเพื่อยืนยันข้อเท็จจริง หรือทฤษฎี หรือสมมติฐานจากประสบการณ์ที่พบเจอเกี่ยวกับกระบวนการผลิต

2) เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยใหม่ที่ส่งผลต่อกระบวนการ

2.11.1 หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง

หลักสำคัญในการออกแบบการทดลองประกอบด้วย 3 ประการเพื่อช่วยให้การทดลองมีประสิทธิภาพและเที่ยงตรง (ปารเมศ ชุติมา, 2545) มีดังนี้

1) การสุ่มตัวอย่าง (Randomization) คือ การจัดลำดับในกระบวนการทดลองในลักษณะสุ่ม เช่น ลำดับวัสดุที่ใช้ในการทดลอง โดยหลักการสุ่มเกี่ยวข้องกับการรักษาสมดุลของหน่วยทดลองเพื่อหลีกเลี่ยงความเอนเอียงของผู้ทดลอง และลดผลกระทบจากอิทธิพลของปัจจัยภายนอกที่ไม่ทราบสาเหตุซึ่งอาจส่งผลต่อการทดลองให้เกิดความผิดพลาด

2) การทดลองซ้ำ (Replication) คือ การทดลองตั้งแต่กระบวนการแรกถึงกระบวนการสุดท้ายภายใต้เงื่อนไขเดียวกันมากกว่าหนึ่งครั้ง เพื่อให้ผู้ทดลองประมาณค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลอง (Error or Random Noises) เพื่อนำไปวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อการทดลอง ข้อดีคือสามารถหาค่าความแปรปรวนและนำมาวิเคราะห์เพื่อให้การทดลองได้ผลที่แม่นยำมากขึ้น อย่างไรก็ตามการทดลองซ้ำจะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองทรัพยากร

3) การบล็อก (Blocking) เป็นเทคนิคในการจัดการกับปัจจัยรบกวนซึ่งอาจส่งผลต่อการทดลองเป็นบางกรณีซึ่งไม่สามารถคาดการณ์ได้หรือส่งผลต่อการทดลองตลอดเวลาอย่างเป็นระบบ ผู้ทดลองจำเป็นต้องค้นหาปัจจัยรบกวนและควบคุมหรือลดความแปรผันที่เกิดขึ้น โดยการกระทำเหล่านั้นเรียกว่า การบล็อก ซึ่งช่วยให้การทดลองเกิดความเที่ยงตรงและลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดในการทดลอง

2.11.2 ส่วนประกอบของการออกแบบการทดลอง

1) ทรีตเมนต์ (Treatment) คือ สิ่งหรือวิธีการที่ปฏิบัติต่อสิ่งที่ใช้ทดลอง เพื่อนำผลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

2) หน่วยทดลอง (Experiment unit) เป็นบรรทัดฐานหรือหน่วยที่ใช้ในการทดลอง โดยได้รับทรีตเมนต์ในลักษณะเดียวกัน ซึ่งมีขนาดไม่จำกัด อาจจะเป็นหน่วยเดี่ยวหรือหน่วยกลุ่มก็ได้ โดยในการทดลองจำเป็นต้องให้คำจำกัดความของหน่วยทดลองอย่างชัดเจน

3) ปัจจัย (Factor) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ตัวแปรอิสระ โดยสามารถเป็นได้ทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ปัจจัยเป็นกลุ่มของทรีตเมนต์ที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องระหว่างกัน โดยสามารถแบ่งออกเป็น

3.1) ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) คือ ปัจจัยที่ใช้ในการดำเนินการทดลองซึ่งสามารถกำหนดค่าได้

3.2) ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) คือ ปัจจัยที่ใช้ในการดำเนินการทดลองซึ่งไม่สามารถกำหนดค่าได้ เนื่องจากมีข้อจำกัดบางประการ โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น

- ตัวแปรรบกวน (Noise Variable) เป็นตัวแปรที่ควบคุมได้ยากหรือเป็นไปไม่ได้ โดยส่วนใหญ่เกี่ยวเนื่องกับสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ เช่น อุณหภูมิ ลม เป็นต้น โดยตัวแปรเหล่านี้มีผลต่อตัวแปรตอบสนองในการทดลอง อย่างไรก็ตามไม่ใช่ปัจจัยที่ต้องการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- ตัวแปรแทรกซ้อน (Nuisance Variable) เป็นตัวแปรที่ไม่ต้องการซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระที่ตั้งสมมติฐานไว้ภายในการศึกษาทดลองแต่ไม่ทราบมาก่อน โดยวิธีการสุ่มสามารถกำจัดอิทธิพลของตัวแปรแทรกซ้อนได้

4) ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) เรียกอีกนัยหนึ่งได้ว่า ตัวแปรตาม เป็นตัวแปรที่สามารถสังเกต และสามารถบ่งบอกถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระ โดยในการทดลองบางอย่างสามารถวัดค่าตัวแปรตามมากกว่า 1 ดังนั้น ความไว ความน่าเชื่อถือ การแจกแจงของตัวแปร และความเป็นไปได้ในเชิงปฏิบัติ ควรนำมาพิจารณาในการเลือกตัวแปรตาม

2.11.3 รูปแบบของการออกแบบการทดลอง

1) การออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD เป็นประเภทการออกแบบที่ง่ายที่สุดสำหรับการทดลองเปรียบเทียบ เนื่องจากใช้หลักการพื้นฐานเพียงสองประการของการออกแบบการทดลอง คือ การสุ่มและการทำซ้ำ จากการที่วิธีการนี้ได้รับอิทธิพลของทรีตเมนต์โดยปราศจากปัจจัยอื่น ทำให้เหมาะกับการทดลองที่ไม่สามารถจำแนกได้ว่าหน่วยทดลองมีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใดก่อนการทดลอง ข้อมูลในการทดลองลักษณะนี้ เรียกว่าข้อมูลแบกแจกแจงทางเดียว (One-Way Classification)

เพื่อการทดลองที่มีประสิทธิภาพ หน่วยทดลองควรมีความคล้ายคลึงกัน และอยู่ในลักษณะที่สม่ำเสมอ (Homogenous) เพื่อลดความผันแปรให้น้อยที่สุด เช่น น้ำหนัก อายุ เป็นต้น สิ่งสำคัญของการทดลองประเภทนี้ คือ ควรมีการจัดทรีตเมนต์ให้หน่วยทดลองดำเนินการในลักษณะสุ่มโดยไม่คำนึงถึงข้อจำกัดในการสุ่ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) การออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCB) มีความแตกต่างจากการออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ คือ หน่วยทดลองถูกจัดกลุ่มเป็นบล็อก ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีทั้งหมดของการจำแนกแบบสองทาง (Two-Way Classification) โดยมีหน่วยทดลองที่แตกต่างกัน คือ ในลักษณะทางแนวนอน (Row) และในลักษณะทางแนวตั้ง (Column) หลักการสำคัญ คือ จัดหน่วยทดลองที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน หรือเรียกว่า บล็อก ส่งผลให้ความแปรปรวนภายในบล็อกเดียวกันอยู่ในระดับต่ำ และมีความแตกต่างระหว่างบล็อกอยู่ในระดับสูง ซึ่งในแต่ละบล็อกจะดำเนินการทดลองในลักษณะสุ่ม

ในบางกรณี หน่วยทดลองที่ใช้ไม่มีความสม่ำเสมอทำให้ประสบปัญหาในการทดลองส่งผลให้การประยุกต์ใช้การทดลองแบบสุ่มตลอดอาจไม่ได้ผลที่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เนื่องจากความผันแปรเกิดจากหน่วยทดลองด้วยโดยจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทดลอง

3) การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Design) เป็นการทดลองที่เหมาะกับกรณีที่มีปัจจัย (Factor) ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยปัจจัยหมายถึงตัวแปรอิสระ การทดลองประเภทนี้เป็นการทดลองที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเนื่องจากจะศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยไปพร้อมๆกัน หรือเรียกอีกนัยหนึ่งว่า อันตรกิริยา (Interactions) ผลกระทบที่เกิดขึ้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

(1) ผลกระทบหลัก (Main Effect) หรือเรียกว่า ผลกระทบปัจจัยเดี่ยว เป็นการพิจารณาเฉพาะผลที่ตามมาของปัจจัยเดี่ยว ได้แก่ สิ่งที่เกิดผลจากปัจจัย A สิ่งที่เกิดผลจากปัจจัย B เป็นต้น

(2) ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย (Two-Factor or 2-Ways Interactions) คือ การพิจารณาผลที่ตามมาของปัจจัยแบบคู่ โดยพิจารณาพร้อมกันทั้ง 2 ปัจจัย ได้แก่ สิ่งที่เกิดผลจากปัจจัยร่วม AB, BC

(3) ผลกระทบร่วม 3 ปัจจัย (Three-Factor or 3-Ways Interactions) คือ การพิจารณาผลกระทบที่เกิดจากสามปัจจัยพร้อมกัน ได้แก่ ผลกระทบร่วม ABC

ในส่วนของการทดลองแฟกทอเรียล สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1) การทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Experiment) โดยส่วนใหญ่นิยมศึกษาปัจจัยเพียง 2 ระดับ และ 3 ระดับเท่านั้น โดยสามารถเรียกการทดลองในลักษณะนี้ว่า 2^k และ 3^k การทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูป

2) การทดลองแฟกทอเรียลบางส่วนหรือแบบเศษส่วน (Fractional Factorial Experiment) เป็นวิธีที่เหมาะกับการทดลองที่ไม่สามารถทำให้ครบทุกเงื่อนไขการทดลอง เนื่องจากมีข้อจำกัดบางประการ โดยสามารถเรียกการทดลองในลักษณะนี้ว่า 2^{k-p} และ 3^{k-p} การทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน

2.12 นวัตกรรม

นวัตกรรม เป็นคำที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในช่วงหลายปีที่ผ่านมา โดย สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (2553) ได้ให้คำจำกัดความว่า นวัตกรรม คือ สิ่งใหม่ซึ่งเกิดจากการใช้ความคิดสร้างสรรค์และความรู้ที่มีอยู่ให้เป็นประโยชน์เชิงเศรษฐกิจและสังคม

ในขณะที่ Rothwell and Gardiner (1988) นิยามว่า นวัตกรรมมีความหมายรวมถึงสิ่งประดิษฐ์ และนวัตกรรมย้อนกลับ (Reverse Innovation) ซึ่งสร้างผลประโยชน์ให้แก่ผู้บริโภค ซึ่งไม่จำเป็นต้องนำเสนอเทคโนโลยีที่พัฒนาใหม่เท่านั้น หรือนวัตกรรมแบบก้าวกระโดด (Radical Innovation) แต่ยังรวมถึงการพัฒนาหรือปรับปรุงแบบค่อยเป็นค่อยไป (Incremental innovation)

จากคู่มือ Oslo ฉบับที่สาม (OECD, 2005) กล่าวว่า นวัตกรรม คือ ผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการใหม่หรือที่ได้รับการปรับปรุง ซึ่งแตกต่างจากผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการก่อนหน้าที่มีอยู่

ในเชิงนวัตกรรมทางอุตสาหกรรม หมายถึง การผลิต การออกแบบ หรือพัฒนาตลาดสินค้าใหม่ รวมถึงการนำเสนอ หรือปรับปรุงกระบวนการผลิต หรืออุปกรณ์ใหม่ให้สามารถออกสู่ตลาดในเชิงพาณิชย์ได้ (Freeman and Soete, 1997)

เพื่อสร้างความเข้าใจร่วมกันของคำว่านวัตกรรม ISO 56000:2020 นำเสนอคำจำกัดความของนวัตกรรม คือ สิ่งใหม่หรือสิ่งที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เช่น ผลิตภัณฑ์ บริการ กระบวนการ รูปแบบ วิธีการ หรือการรวมกันของสิ่งเหล่านั้นซึ่งส่งผลให้เกิดคุณค่าที่รับรู้โดยตอบสนองความต้องการและความคาดหวัง ในแง่นี้ ความแปลกใหม่และคุณค่าถูกกำหนดโดยการรับรู้ขององค์กรและผู้มีส่วนได้เสียที่เกี่ยวข้อง มูลค่าอาจเป็นได้ทั้งทางการเงินและไม่ใช่ทางการเงิน เช่น รายได้ เงินออม ผลิตภาพ ความยั่งยืน ความพึงพอใจ การเพิ่มขีดความสามารถ การมีส่วนร่วม ประสบการณ์ ความไว้วางใจ (ISO 56000, 2020)

จากที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถสรุปความหมายของนวัตกรรมได้ว่า “นวัตกรรม คือ การพัฒนากระบวนการให้แตกต่างไปจากเดิม หรือพัฒนาสิ่งใหม่ออกสู่ตลาดในเชิงพาณิชย์โดยสร้างผลเชิงบวกให้แก่ผู้บริโภค โดยไม่จำเป็นต้องเป็นเทคโนโลยีใหม่ทั้งหมด ”นวัตกรรมเป็นสิ่งที่ทำให้แต่ละองค์กรสามารถสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันได้ และสามารถสร้างโอกาสหรือเพิ่มบริการใหม่ๆ ให้แก่ธุรกิจของตนเอง (Drucker, 2014)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.12.1 การแบ่งประเภทของนวัตกรรม

ขึ้นอยู่กับบริบทของนวัตกรรมซึ่งพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงในแง่มุมใดในองค์กร และวัตถุประสงค์ในการดำเนินกิจกรรมนวัตกรรม นวัตกรรมสามารถแบ่งได้หลายประเภทตามแต่ละกฎเกณฑ์ที่ถูกกำหนดขึ้น โดยการศึกษานี้จะมุ่งเน้นไปที่การแบ่งตามกลยุทธ์นวัตกรรม (Innovation Strategy)

2.12.1.1 การแบ่งตามกลยุทธ์นวัตกรรม (Innovation Strategy)

การแบ่งประเภทของนวัตกรรมมีหลายรูปแบบด้วยกัน ในส่วนของการแบ่งตามกลยุทธ์นวัตกรรม คือ การแบ่งนวัตกรรมภายในองค์กร Tidd, Bessant and Pavitt (2009) กล่าวว่าแท้จริงแล้วนวัตกรรมเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 มิติ ดังนี้

1) นวัตกรรมผลิตภัณฑ์ (Product Innovation) เป็นการปรับปรุงสินค้าเดิมที่มีอยู่ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น หรือพัฒนาสินค้าใหม่เพื่อนำออกสู่ตลาด เช่น หุ่นยนต์ รถยนต์ หูฟัง เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านั้นจำเป็นต้องมีคุณสมบัติใหม่หรือดีขึ้นกว่าเดิมเพื่อสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้มากขึ้น

2) นวัตกรรมกระบวนการ (Process Innovation) คือ การพัฒนาวิธีการผลิตหรือการส่งมอบใหม่ หรือที่ได้รับการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญ เช่น การนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้จัดการขั้นตอนทั้งหมดในกระบวนการผลิตที่มีอยู่ทำให้องค์กรลดต้นทุนและสามารถผลิตสินค้าได้มากขึ้น

3) นวัตกรรมการระบุตำแหน่ง (Position Innovation) คือ การวางตำแหน่งใหม่หรือเปลี่ยนแปลงการนำเสนอผลิตภัณฑ์หรือบริการในตลาดใหม่ เพื่อเปลี่ยนแปลงการรับรู้ของผู้บริโภคเกี่ยวกับตำแหน่งของสินค้าและบริการในรูปแบบใหม่ ตัวอย่างองค์กรที่มีการนำนวัตกรรมการระบุตำแหน่งมาประยุกต์ใช้ คือ Airbnb แต่เดิมมีการวางตำแหน่งการตลาดไว้สำหรับผู้ที่เดินทางมาประชุม หลังจากนั้นจึงเปลี่ยนเป็นสำหรับผู้ที่เดินทางมาท่องเที่ยว

4) นวัตกรรมด้านกรอบความคิด (Paradigm Innovation) เป็นการเปลี่ยนแปลงกระบวนทัศน์ในด้านกรอบความคิดพื้นฐานขององค์กรที่ต้องการจะเป็น

ในการประยุกต์ใช้ในองค์กร นวัตกรรมทั้ง 4 ประเภทที่กล่าวไปข้างต้นสามารถเกิดขึ้นไปพร้อมกับนวัตกรรมแบบค่อยเป็นค่อยไป (Incremental Innovation) หรือนวัตกรรมแบบก้าวกระโดด (Radical Innovation) ได้ โดยขึ้นอยู่กับแต่ละองค์กรในการพิจารณาว่านวัตกรรมใน

รูปแบบใดเหมาะสมกับองค์กรและสามารถก่อให้เกิดผลกระทบเชิงบวกต่อองค์กรได้มากที่สุด ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้มุ่งเน้นศึกษาด้านนวัตกรรมกระบวนการ

2.12.1.2 นวัตกรรมกระบวนการ (Process Innovation)

Romero, Larsson, Ronnback and Stahre (2017) ได้ให้คำจำกัดความของนวัตกรรมกระบวน คือ กระบวนการผลิตที่พัฒนาหรือเป็นวิธีการแบบใหม่มาประยุกต์ใช้ หรือการส่งมอบสินค้าหรือบริการด้วยวิธีการใหม่ หรือพัฒนาอย่างมีนัยสำคัญเพื่อปรับปรุงความสามารถในระบบการผลิต หรือระบบขนส่งเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับบริษัท ในขณะที่นวัตกรรมผลิตภัณฑ์ (Product Innovation) เป็นเรื่องเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์หรือบริการ Bullinger (2008) กล่าวว่านวัตกรรมกระบวนการเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงวิธีการภายในสำหรับการสร้างและส่งมอบผลิตภัณฑ์หรือบริการ ซึ่งประกอบด้วยกิจกรรมการเพิ่มประสิทธิภาพและการขจัดปัญหาออกจากระบบ

ในการนิยามนวัตกรรมกระบวนการไม่ว่าจะเป็นในลักษณะของการพัฒนาแบบก้าวกระโดด (Incremental Development) หรือการพัฒนาแบบค่อยเป็นค่อยไป (Radical Development) จะมีจุดประสงค์คล้ายกัน คือ นวัตกรรมกระบวนการสามารถปรับปรุงความพึงพอใจของลูกค้าผ่านการลดต้นทุนและเวลา หรือปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิต (Schallmo, Brecht and Ramosaj, 2018) นอกจากการปรับปรุงความพึงพอใจของลูกค้าแล้ว ความยั่งยืนยังเป็นส่วนหนึ่งในเป้าหมายของนวัตกรรมกระบวนการอีกด้วย (Gaziulusoy and Brezet, 2015)

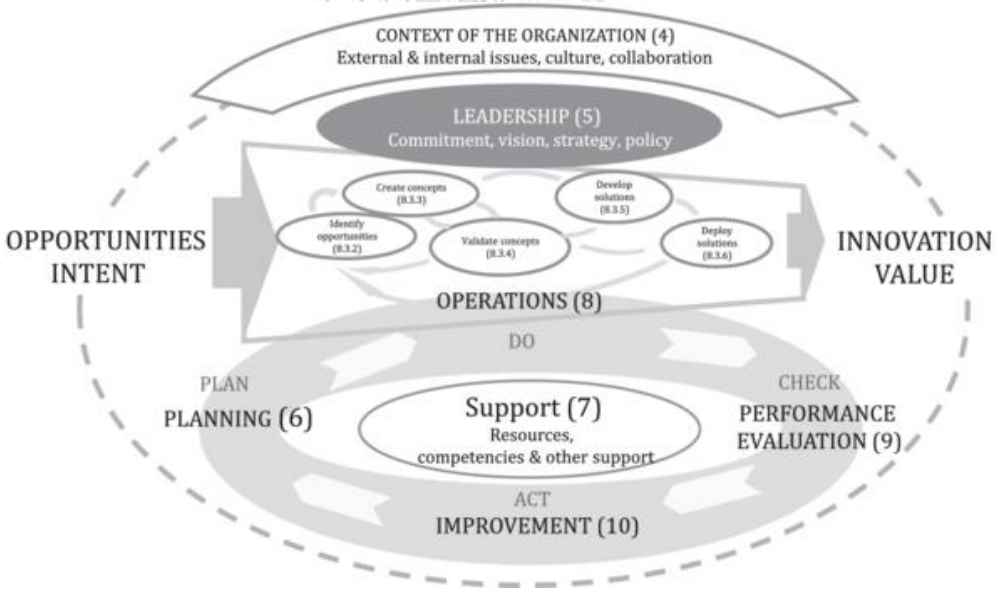
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.13 มาตรฐานระบบการจัดการนวัตกรรม (ข้อแนะนำ) ISO 56002

ISO (International Organization for Standardization) เป็นองค์กรเอกชนระหว่างประเทศซึ่งประกอบไปด้วยหน่วยงานมาตรฐานมาจาก 165 ประเทศ ก่อตั้งอย่างเป็นทางการตั้งแต่ปี ค.ศ. 1947 (ISO, 2021) วัตถุประสงค์หลักขององค์กร คือ จัดทำมาตรฐานเพื่อเป็นแนวทางเดียวกันในด้านต่างๆในการนำไปประยุกต์ใช้ตั้งแต่ธุรกิจขนาดเล็กจนถึงองค์กรระดับสากล (Heires, 2008) โดยในปัจจุบันได้มีการพัฒนามาตรฐานสากลกว่า 21,000 ฉบับ ซึ่งครอบคลุมเกือบทุกประเภทของธุรกิจ (Hussein, Abou-Nassif, Aridi, Chamas and Khachfe, 2017) ISO ที่ได้รับการจัดทำจะมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกแนวทางของมาตรฐานที่แตกต่างกัน ในประเทศไทยประเภทของ ISO ที่มีการนำมาเป็นแนวทางในการพัฒนาองค์กรอย่างแพร่หลาย ได้แก่ ISO 9000

เป็นระบบการบริหารเพื่อประกันคุณภาพ ISO 14000 เป็นมาตรฐานในการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 27001 สำหรับเป็นแนวทางในการจัดการความปลอดภัยของข้อมูล เป็นต้น

ในปี ค.ศ. 2019 ได้มีการเผยแพร่ชุด ISO 56000 ซึ่งประกอบไปด้วย 7 มาตรฐาน ซึ่งเป็นชุดมาตรฐานระบบการจัดการนวัตกรรม โดยมีจุดมุ่งหมายหลัก คือ เพื่อให้ธุรกิจสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอันรวดเร็วได้อย่างมีประสิทธิภาพ นำไปสู่การเพิ่มโอกาสในการเติบโต และการพัฒนาในองค์กร พร้อมทั้งลดความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้น (ISO 56002, 2019) ในส่วนของ ISO 56002 ที่เป็นมาตรฐานเสริมสำคัญในการใช้เป็นแนวทางปฏิบัติตาม อย่างไรก็ตามไม่สามารถขอการรับรองได้ โดย ISO 56002 (2019) มีองค์ประกอบทั้งหมด 7 องค์ประกอบสำหรับการบริหารจัดการนวัตกรรม คือ 1) บริบทขององค์กร 2) บทบาทของผู้นำองค์กร 3) การวางแผน 4) การสนับสนุน 5) การวางแผนดำเนินงาน 6) การประเมินสมรรถนะ 7) การปรับปรุงและพัฒนา โดยความสัมพันธ์แต่ละองค์ประกอบของการบริหารจัดการนวัตกรรมตามมาตรฐาน ISO 56002:2019 สามารถเชื่อมโยงได้ดังรูปที่ 2.25



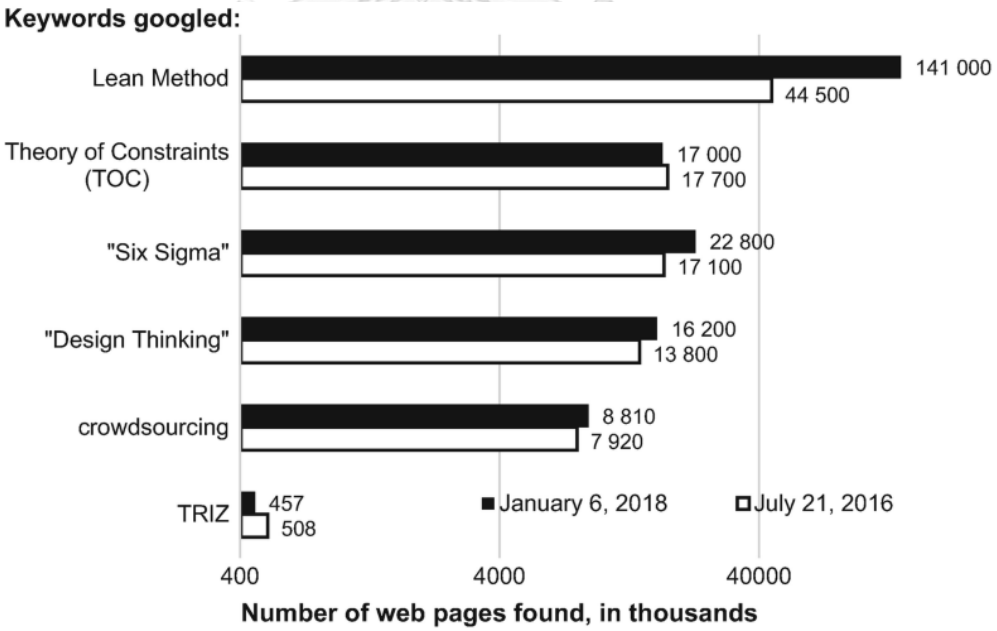
รูปที่ 2.25 โครงสร้างการบริหารจัดการนวัตกรรมตามมาตรฐาน ISO 56002:2019 (ISO, 2019)

Hyland (2020) อธิบายว่า มาตรฐานนี้จะสนับสนุนให้องค์กรไม่ว่าจะขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่สามารถสร้างคุณค่าและส่งมอบสิ่งที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้สูงสุด โดยการปฏิบัติตามมาตรฐาน ISO 56002 จะทำให้มีศักยภาพและเกิดประโยชน์ต่อองค์กรสูงสุด รวมทั้งสามารถสร้างวัฒนธรรมด้านนวัตกรรมในองค์กรอย่างค่อยเป็นค่อยไป

อย่างไรก็ตาม ISO 56002 แสดงถึงแนวทางในระดับทั่วไป ซึ่งไม่ได้อธิบายรายละเอียดในการนำไปปฏิบัติภายในองค์กรอย่างละเอียด รวมถึงไม่ได้กำหนดเครื่องมือหรือวิธีการโดยเฉพาะ โดยมีลักษณะเดียวกันกับมาตรฐานระบบการจัดการอื่นของ ISO เช่น ISO 9001 ISO 14001 ISO 27001 เป็นต้น

2.14 ทฤษฎี TRIZ

TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving) หรือ ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้นซึ่งนักประดิษฐ์ชาวรัสเซียชื่อว่า Genrikh Altshuller คิดค้นขึ้นมาในปี ค.ศ. 1946 Chang and Chen (2004) อธิบายว่า ทฤษฎี TRIZ เป็นเครื่องมือสำหรับการคิดค้นนวัตกรรมโดยใช้หลักการ 40 หลักการ และตารางเมทริกซ์ความขัดแย้งทางเทคนิค 39 ข้อ โดย Liu, Feng and Wang (2020) ได้นำทฤษฎี TRIZ มาประยุกต์ใช้ในการสร้างนวัตกรรม เริ่มจากวิเคราะห์ปัญหาในด้านข้อจำกัดของทรัพยากรเพื่อจัดหาวิธีแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพ Sojka and Lepsik (2020) ได้ศึกษาการใช้ทฤษฎี TRIZ ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นโดยใช้ร่วมกับเครื่องมือประเภทอื่น โดยพบว่าทฤษฎี TRIZ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง อย่างไรก็ตามมีความซับซ้อนในการใช้งาน ซึ่งควรนำมาสนับสนุนหรือเสริมเครื่องมืออื่นอาจจะมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ทฤษฎี TRIZ ตามลำพัง



รูปที่ 2.26 ผลลัพธ์จากการค้นหาด้วย Google สำหรับทฤษฎีการสร้างนวัตกรรม (Abramov and Sobolev, 2019)

ดังรูปที่ 2.26 แสดงให้เห็นถึงข้อมูลของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎี TRIZ บนอินเทอร์เน็ต น้อยกว่าวิธีการอื่นๆ นอกจากนี้ พบว่ามีแนวโน้มที่ผู้คนนิยมใช้ทฤษฎี TRIZ ลดลงเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆที่ใช้ในงานวิจัยอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากมีข้อจำกัดในการใช้งานและซับซ้อน อย่างไรก็ตาม Abramov and Sobolev (2019) กล่าวว่า การนำทฤษฎี TRIZ บูรณาการร่วมกับแนวทางอื่นเช่น Six Sigma, DFSS, TOC และอื่นๆ สามารถช่วยส่งเสริมให้การแก้ไขปัญหามีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.15 แนวทางการบูรณาการแนวทางซิกซ์ ซิกมา ร่วมกับระบบ ISO 56002 และทฤษฎี TRIZ

จากการนำกรอบแนวคิดของ 3 ทฤษฎีมาเปรียบเทียบกัน ได้แก่ แนวทางซิกซ์ ซิกมา ระบบ ISO 56002 และทฤษฎี TRIZ ดังตารางที่ 2.6 พบว่า แนวทางซิกซ์ ซิกมา และทฤษฎี TRIZ มีกรอบแนวคิดที่คล้ายคลึงกัน โดยแตกต่างกันที่เครื่องมือในการใช้งานภายในแต่ละขั้นตอน รวมถึงแนวซิกซ์ ซิกมา สามารถนำไปประยุกต์ใช้อย่างเป็นระบบได้มากกว่า และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในหลากหลายอุตสาหกรรมโดยไม่ซับซ้อน โดยทั้งสองทฤษฎีมีวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้ในลักษณะเดียวกัน คือ การนำไปปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ในส่วนของแนวทางซิกซ์ ซิกมา และมาตรฐานระบบ ISO 56002 มีวัตถุประสงค์กรอบแนวคิดเหมือนกัน คือ การปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง โดยระบบ ISO 56002 จะเน้นไปทางด้านนวัตกรรม แต่เป็นการเสนอแนวทางแนะนำในการปฏิบัติซึ่งไม่มีเครื่องมือเฉพาะเจาะจงในการนำมาประยุกต์ใช้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

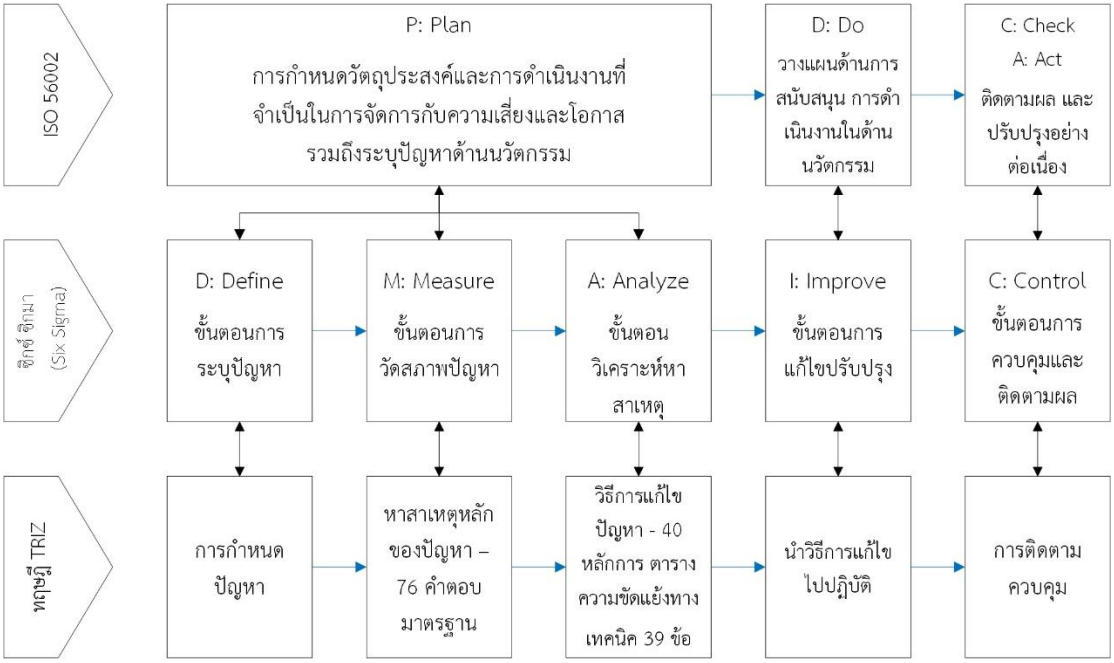
ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบแนวทางซิกซ์ ซิกมา ทฤษฎี TRIZ และ ISO 56002

ซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma)	**ทฤษฎี TRIZ**	**ISO 56002**
การระบุปัญหา (Define phase: D)		Plan
• ระบุ และตรวจสอบโอกาสในการปรับปรุงทางธุรกิจ • กำหนดความคาดหวังลูกค้า ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย และข้อกำหนดทางธุรกิจ • กำหนดบทบาทของสมาชิกในทีมในการแก้ไขปัญหา	การวิเคราะห์เครื่องมือ หรือปัญหา	• ทำความเข้าใจองค์กรและบริบทด้านนวัตกรรม • เข้าใจความต้องการและความคาดหวังของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย • กำหนดขอบเขตของการจัดการนวัตกรรมในองค์กร
การวัดสภาพปัญหา (Measure phase)		Plan
• ระบุแหล่งที่มาของข้อมูลด้านปัญหา • พัฒนาแผนการวัดผลประสิทธิภาพของกระบวนการ • รวบรวมข้อมูล และสภาพปัญหาที่พบ	พัฒนาวิธีการวัด ปรับปรุงเครื่องมือโดยใช้การวิเคราะห์ความขัดแย้ง	
วิเคราะห์สาเหตุ (Analyze phase)		Plan
• วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทำความเข้าใจสาเหตุของปัญหา และระบุสาเหตุที่เป็นไปได้ • ตรวจปัญหาด้านความสามารถของกระบวนการ ปริมาณงาน รอบเวลา และอื่นๆ • ดำเนินการวิเคราะห์สาเหตุและตรวจสอบสาเหตุที่แท้จริง	การวิเคราะห์ความขัดแย้ง	

ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบแนวทางซิกซ์ ซิกมา ทฤษฎี TRIZ และ ISO 56002 (ต่อ)

ซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma)	**ทฤษฎี TRIZ**	**ISO 56002**
การแก้ไขปรับปรุง (Improve phase)		Do-Check
• พัฒนาปรับปรุงศักยภาพของกระบวนการ • ประเมินและเลือกวิธีแก้ปัญหาขั้นสุดท้ายที่มีนัยสำคัญ • ตรวจสอบหลังจากปรับปรุงกระบวนการ • พัฒนาแผนการจัดการกระบวนการอย่างต่อเนื่อง	สร้างแนวคิดผลิตภัณฑ์ กระบวนการและบริการใหม่ (ขจัดความขัดแย้งโดยการแก้ไขปัญหา)	
การควบคุมและติดตามหลังการปรับปรุง (Control phase)		Check-Act
• กำหนดแผนการควบคุม • ตรวจสอบและควบคุมลักษณะเฉพาะของกระบวนการที่สำคัญ • สรุปการปรับปรุง และแนวทางในการดำเนินงานในอนาคตโดยจัดทำในรูปแบบเอกสาร	การติดตามผล	• ตรวจสอบสิ่งที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด และปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง • วัด วิเคราะห์ และประเมินผลการปฏิบัติงานของแผนนวัตกรรม

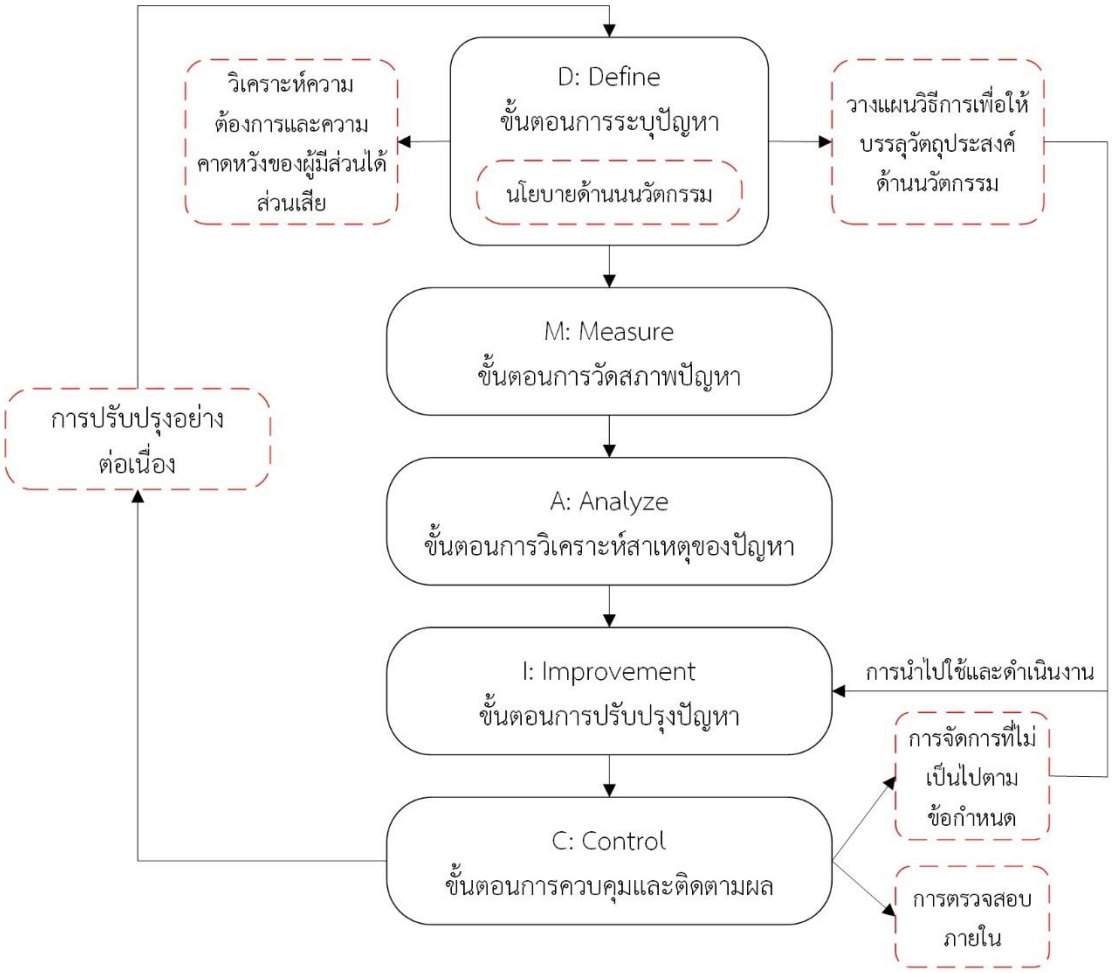
ดังตารางที่ 2.26 แสดงการเปรียบเทียบกรอบแนวคิดของ 3 ทฤษฎีร่วมกัน คือ แนวทางซิกซ์ ซิกมา ทฤษฎี TRIZ และ ระบบ ISO 56002 โดยจากรูปจะเห็นได้ว่าทฤษฎีทั้งหมดมีกรอบแนวคิดที่คล้ายคลึงกัน โดยนำกรอบแนวคิดของแนวทางซิกซ์ ซิกมาเป็นหลักในการเปรียบเทียบ โดยสรุป เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 ทฤษฎีร่วมกัน เห็นว่าการนำทฤษฎีมาบูรณาการมีความเป็นไปได้ อย่างไรก็ตาม ทฤษฎี TRIZ มีกระบวนการในการดำเนินงานลักษณะเดียวกันกับแนวทางซิกซ์ ซิกมา ซึ่งเป็นแนวทางหลักในการศึกษาวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ดังนั้นจึงมีการนำ ระบบ ISO 56002 เท่านั้น มาสนับสนุนในขั้นตอนดำเนินการของซิกซ์ ซิกมา ดังแสดงให้รูปที่ 2.27 เนื่องจาก ระบบ ISO 56002 สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในแง่นวัตกรรมในองค์กรและในด้านธุรกิจให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น



รูปที่ 2.27 การเปรียบเทียบแนวทางซิกซ์ ซิกมา รวมกับทฤษฎี TRIZ และ ISO 56002

ดังรูปที่ 2.28 แสดงแนวทางการบูรณาการแนวทางซิกซ์ ซิกมา ร่วมกับแนวคิดของการจัดการนวัตกรรม ISO 56002 โดยเน้นที่การปรับปรุงกระบวนการผลิตของหลักการจัดการคุณภาพในกระบวนการนวัตกรรมขององค์กร โดยระบบ ISO 56002 สามารถสนับสนุนขั้นตอนการระบุปัญหา (Define phase) การปรับปรุงและการแก้ไขปัญหา (Improve phase) และ การควบคุมและติดตามผล (Control phase)ของแนวทางซิกซ์ ซิกมาได้ โดยการวางแผนดำเนินงานในด้านนวัตกรรมเพื่อสร้างแนวคิดที่เป็นนวัตกรรมใหม่ในการตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่มีต่อข้อกำหนดด้านคุณภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นและใช้ทรัพยากรน้อยที่สุดในขั้นตอนการระบุปัญหา (Define

phase) จากนั้นนำนโยบายด้านนวัตกรรมนำไปใช้และดำเนินการสนับสนุนในขั้นตอนการปรับปรุงปัญหา (Improve phase) สุดท้าย ในขั้นตอนการควบคุม (Control phase) ดำเนินการตรวจสอบภายใน และค้นหาสิ่งที่ไม่เป็นไปตามแผนที่ดำเนินการไว้เพื่อหาข้อแก้ไข และดำเนินการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องตามลำดับ



รูปที่ 2.28 แนวทางการบูรณาการแนวทางซิกซ์ ซิกมา ร่วมกับ ISO 56002

จากกรอบแนวคิดข้างต้น เมื่อนำไปใช้ในกรณีศึกษาที่เกี่ยวข้องด้านการผลิตแม่พิมพ์ ข้อผิดพลาดในกระบวนการผลิตจะถูกนำมาปรับปรุง ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตจะดำเนินการวัดจากมุมมองทางสถิติ และระบุวิธีการกำจัดความแปรผัน นอกจากนี้ สามารถวิเคราะห์ปัจจัยสำคัญในด้านนวัตกรรมขององค์กรด้วยวิธีการขจัดอุปสรรคที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยพิจารณาจากความต้องการของผู้มีส่วนได้เสียเป็นหลัก โดยสรุป คือ การประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกมา ร่วมกับการสนับสนุนของระบบ ISO 56002 มีผลกระทบเชิงบวกต่อประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต รวมถึงสามารถช่วยให้องค์กรสร้างกระบวนการนวัตกรรมภายในองค์กร

2.16 บทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากความต้องการที่จะลดต้นทุนในกระบวนการผลิตเนื่องจากการสึกหรอของเครื่องมือจึงได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง โดยสาเหตุที่ส่งผลต่อการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์มีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องด้วยกัน ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา วิธีที่เหมาะสมที่สุดในการลดการเสียดสีในกระบวนการปั๊มของแม่พิมพ์ และเครื่องมือโลหะอื่น คือ การรักษาพื้นผิวโดยการเคลือบบางๆบริเวณพื้นผิวเครื่องมือเพื่อลดแรงเสียดทานและการสึกหรอ (Straffelini, Bizzotto and Zanon, 2010) โดย Fernandes, Silva (2017) อ้างว่า ในบางอุตสาหกรรมไม่นิยมใช้สารหล่อลื่นในการลดการสึกหรอเนื่องจากผู้บริโภคมีความกังวลในการปนเปื้อน ได้แก่ อุตสาหกรรมด้านบรรจุภัณฑ์อาหารขึ้นอยู่กับชนิดของแผ่นโลหะที่ใช้และสภาพการทำงาน ดังนั้นพวกเขาจึงทำการศึกษาด้านการเคลือบ PVD ขั้นสูงสองแบบ คือ B_4C และ Mo โดยผลที่ได้จากการศึกษา คือ การเคลือบผิวแบบ PVD Mo สามารถต้านทานการสึกหรอได้ดีกว่า อย่างไรก็ตาม ต้องมีการเคลือบหลายครั้งเนื่องจากมีความแข็งน้อยกว่าการเคลือบแบบ B_4C ในส่วนของ Kascak, Mucha (2017) มีการศึกษาการลดการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ด้วยการเคลือบ PVD สามประเภท คือ ZrN, CrN และ TiCN เช่นเดียวกัน โดยผลจากการทดลองพบว่าการเคลือบ PVD แบบ CrN และ ZrN มีแนวโน้มในการปรับปรุงความต้านทานการสึกหรอมากกว่าการเคลือบแบบ TiCN ในทางเดียวกัน พุฒิธร เขตเจริญ (2560) ได้ศึกษาแนวทางการลดการสึกหรอของแม่พิมพ์ในกระบวนการผลิตเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 1 บาทด้วยการชุบแบบ PVD ด้วยสารเคลือบผิวประเภท TiCN และ TiN พบว่า การสึกหรอของการเคลือบผิวแบบ TiCN มีมากกว่า ซึ่งเป็นไปในลักษณะคล้ายกันกับการศึกษาที่ผ่านมา อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาของ ปกรณ์ ชุมรุม, วารุณี เปรมานนท์ (2559) พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการชุบด้วย CVD พบว่าการเคลือบผิวแบบ TiCN มีแนวโน้มการลดอัตราการสึกหรอของแม่พิมพ์ได้มากกว่าผิวเคลือบประเภทอื่น

จากการศึกษางานวิจัยด้านการเคลือบผิวพบว่า มีการศึกษาการเคลือบผิวแบบ PVD มากกว่าเนื่องจากการเคลือบแบบ PVD มีความเหมาะสมกับงานประเภทแม่พิมพ์ เนื่องจากลักษณะเป็นฟิล์มบาง ทำให้ขนาดไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากการเคลือบ และกระบวนการเคลือบเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (อรุณี หลักคำ, วิทวัช วงศ์พิศาล, 2557) ดังนั้นงานวิจัยประเภทแม่พิมพ์จึงมีการศึกษาด้วยการเคลือบแบบ PVD เป็นส่วนใหญ่ในการลดการสึกหรอ อย่างไรก็ตามไม่สามารถทราบแน่ชัดว่าการเคลือบ PVD ประเภทใดสามารถต้านทานการสึกหรอได้ดีที่สุด โดยต้องพิจารณาถึงวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ และการนำไปใช้งานเป็นหลัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารหล่อลื่นเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการปรับปรุงความต้านทานการสึกหรอ โดยมีการศึกษาในทศวรรษที่ผ่านมาจำนวนมาก ซึ่งจะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาการใช้น้ำมันพืชทดแทนการใช้น้ำมันแร่ เนื่องจากมีความเป็นต่อสิ่งแวดล้อม และอันตรายต่อผู้ใช้น้อยกว่าสารหล่อลื่นประเภทอื่น (Onuoha, Abu, Lawal, Mudiare and Adeyemi, 2016) จากการศึกษาในการลดการเสียดทานและการสึกหรอของแม่พิมพ์ซึ่งวัสดุทำจากเหล็กกล้า AISI 304L ของ Jeevan and Jayaram (2020) โดยนำน้ำมันสะเดา (neem oil) และน้ำมันมะซาง (mahua oil) ที่ดัดแปลงทางเคมีมาทดสอบ ผลการทดลองพบว่าน้ำมันพืชสามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันแร่สำหรับการขึ้นรูปโลหะได้ ในทางเดียวกัน Afifah, Syahrullail and Rahim (2018) ได้ศึกษาการใช้น้ำมันพืชในการทดแทนน้ำมันสังเคราะห์เพื่อใช้ลดการสึกหรอ ผลการศึกษาพบว่าน้ำมันเมล็ดในปาล์มมีประสิทธิผลลดการเสียดทานเทียบเท่าน้ำมันหล่อลื่นเชิงพาณิชย์ ในส่วนของ Wang, Li, Zhang, Ding, Yang, Gao, Cao, Xu, Wang and Said (2020) ได้ศึกษาวิธีการหล่อลื่นในปริมาณน้อย (Minimum quantity lubrication) พบว่าการกลึงที่ใช้การหล่อลื่นในปริมาณน้อย (MQL) โดยย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญเพื่อให้เกิดกระบวนการผลิตที่ยั่งยืน ช่วยลดปริมาณน้ำมันตัดกลึงที่ต้องการได้อย่างมาก และสามารถเข้าถึงบริเวณขอบตัดได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้เกิดการหล่อลื่นที่ดี ซึ่งนำไปสู่การลดการเสียดทานและการสึกหรอ

จากการศึกษาปัจจัยด้านสารหล่อลื่นที่ส่งผลต่อการลดการสึกหรอพบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่มีแนวโน้มศึกษาการใช้น้ำมันพืช มากขึ้นในการทดแทนน้ำมันหล่อลื่นแบบเดิมในการลดการสึกหรอ เนื่องจากมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้ และมีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพสูง โดยการใช้สารหล่อลื่นต้องคำนึงถึงการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตแต่ละอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมด้านอาหาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ระยะช่องว่างของคมตัดเป็นปัจจัยที่สำคัญในการออกแบบแม่พิมพ์และพันช์ เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อการสึกหรอของขอบคมตัด จากการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ ซึ่งทดลองจากการกำหนดระยะช่องว่างคมตัด 4 ระดับคือ 7%, 10%, 13% และ 16% ผลการศึกษาพบว่า ระยะช่องว่างของคมตัดน้อยมีโอกาสเกิดการสึกหรอของแม่พิมพ์มากที่สุด (เฉลิมพล คล้ายนิล, จิณกมล ลุยจันทร์ และ พงศกร หลีตระกูล, 2560) ในส่วนของ Akyurek, Yaman (2017) ได้ศึกษาระยะห่างที่เหมาะสมของแม่พิมพ์และพันช์เพื่อช่วยให้เครื่องมือมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้นและคุณภาพผลิตภัณฑ์ดีขึ้นด้วยการลดการสึกหรอ ผลจากการทดลองพบว่า ระยะห่างที่เหมาะสมที่สุด คือ 5% ของความหนาของแผ่นสำหรับการเจาะ คือ 55 HRC Subramonian, Altan,

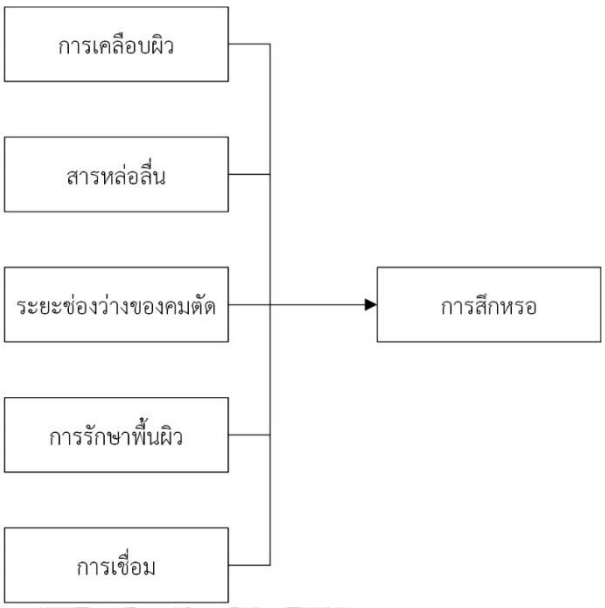
Ciocirlan and Campbell (2013) ได้สนับสนุนแนวคิดด้านระยะช่องว่างของคมตัดเพิ่มเติม คือ ต้องพิจารณาจากความหนาของวัสดุ และตามรูปทรงของชิ้นส่วน โดยการเว้นระยะที่เหมาะสมสามารถช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือได้มากถึง 3 เท่า

กระบวนการรักษาพื้นผิวของขอบคมตัดเป็นกระบวนการที่ยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์และสามารถลดการสึกหรอได้ในระดับหนึ่ง จากการศึกษาของ Emamverdian, Sun (2021) พบว่าการรักษาพื้นผิวมีหลายวิธีด้วยกัน ได้แก่ กระบวนการไนไตรดิ้ง (Nitriding) ขั้นตอนไฮบริด การเชื่อมด้วยแผ่น เทคโนโลยีบีม (Beam techniques) และการปรับสภาพทางกล โดยพวกเขาได้ทำการทดลองควบคู่ไปกับการเคลือบผิวแบบ CVD, PVD, การเคลือบสองด้าน, PACVD และ TRD จากผลการทดลองพบว่าการรักษาพื้นผิวผ่านการชุบเย็นด้วยอุณหภูมิ -185°C สามารถปรับปรุงการสึกหรอได้เป็นอย่างดี ในส่วนของด้านการเคลือบผิว CVD, PVD และ PACVD สามารถช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือได้เพิ่มมากขึ้น Aizawa and Morita (2018) อ้างว่ากระบวนการไนไตรดิ้ง (Nitriding) มีส่วนช่วยในการลดการสึกหรอของแม่พิมพ์ได้ดีแม้ผ่านกระบวนการปั๊มไปกว่าหนึ่งล้านครั้ง

โดยสรุป จากการศึกษางานวิจัยเบื้องต้น พบว่า ส่วนใหญ่มีการศึกษาในด้านการเคลือบผิวและสารหล่อลื่น ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ รองลงมา เป็นการศึกษาด้านระยะช่องว่างของคมตัด และกระบวนการรักษาพื้นผิว ได้แก่ การชุบแข็ง กระบวนการไนไตรดิ้ง (Nitriding) ในส่วนของงานวิจัยที่ศึกษาในด้านแม่พิมพ์แบบตัดหรือแม่พิมพ์ไดคัทมีค่อนข้างน้อย แต่สามารถอ้างอิงจากแม่พิมพ์ประเภทอื่นที่ใช้วัสดุคล้ายกันได้ เนื่องจากมีหลักการในกระบวนการปั๊มคล้ายกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การรักษาพื้นผิวของแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ ได้แก่ การใช้สารหล่อลื่นที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อทดแทนน้ำมันแร่ที่มีการใช้อยู่ในปัจจุบัน และได้ประสิทธิผลที่ไม่ดีนัก และการเคลือบผิวแบบ PVD เป็นหลัก อย่างไรก็ตามจะทำการคัดเลือกตัวแปรที่จะนำมาทดลองโดยการใช้แผนภูมิพาเรโตวัดผล โดยข้อแตกต่างจากงานวิจัยที่ศึกษาเบื้องต้น คือ ในงานวิจัยนี้ใช้แม่พิมพ์แบบตัด หรือแม่พิมพ์ไดคัท ซึ่งมีกระบวนการผลิต วัสดุที่ใช้ และลักษณะค่อนข้างแตกต่างจากแม่พิมพ์ที่มีการศึกษามา โดยในการทดลองจะใช้มีดคมเดียวซึ่งทำมาจาก ความสูง 32 มิลลิเมตร และพันช์ซึ่งทำจากเหล็กกล้า SKD11 ในการทดลอง



รูปที่ 2.29 กรอบแนวคิดในการศึกษาเพื่อหาตัวแปรที่ส่งผลต่อการลดการสึกหรอ

ดังรูปที่ 2.29 แสดงถึงกรอบแนวคิดของตัวแปรที่ส่งผลต่อการปรับปรุงความต้านทานการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ โดยรวบรวมจากงานวิจัยที่ผ่านมาข้างต้น และนำเสนองานวิจัยที่ศึกษาโดยสรุปดังตารางที่ 2.7 ในจำนวนตัวแปรทั้งหมดที่แสดงดังรูปที่ 2.29 จะมีการคัดเลือกเพื่อหาตัวแปรที่มีนัยสำคัญ 2 ปัจจัย เพื่อนำมาทดลองในการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการชะลอการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ โดยดำเนินการเลือกตามขั้นตอนของซิกซ์ ซิกมา ซึ่งมีเกณฑ์ในการพิจารณาคัดเลือกเบื้องต้น คือ ความเป็นไปได้ในการแก้ไขปัญหา ต้นทุนในการแก้ไขปัญหา และความรุนแรงของสาเหตุที่ส่งผลต่อปัญหา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.7 งานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับปัจจัยการลดการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์

ลำดับงานวิจัย	เนื้อหางานวิจัย	รายละเอียดงานวิจัย			แหล่งที่มา
		ประเภทแม่พิมพ์ และชนิดเหล็ก	ปัจจัยที่ส่งผลต่อการสึกหรอ	สรุปผล	
1	ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ จากระยะช่องว่างคมตัด 4 ระดับคือ 7%, 10%, 13% และ 16%	แม่พิมพ์ที่ใช้ตัดเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง JIS SKS3	ระยะช่องว่างของคมตัด	ระยะช่องว่างของคมตัดน้อย มีโอกาสเกิดการสึกหรอของแม่พิมพ์มากที่สุด	เฉลิมพล คล้ายนิล, จิณกมล ลุยจันทร์ และ พงศกร หลีตระกูล (2560)
2	ศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของชุดคมตัดแม่พิมพ์ผ่านกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งในสภาพไม่ใช้สารหล่อเย็น ด้วยกระแสไฟ 120, 130 และ 140A	พันช์ที่ทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือ. JIS SKD 11 ขนาด 10X10 มิลลิเมตร	การเชื่อมพอกผิวแข็ง	การเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยกระแสไฟฟ้า 130A มีการสึกหรอของพันช์น้อยที่สุด	มาโนช ริทินโย, อมรศักดิ์ มาใหญ่ และ พงษ์ศักดิ์ รุนกระโทก (2560)
3	ศึกษาการนำสารหล่อลื่นที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับแทนที่คลอริเนเต็ดพาราฟินที่เป็นอันตราย เพื่อหลีกเลี่ยงผลที่เกิดจากการสึกหรอบริเวณพันช์และดาย	พันช์ทำจากเหล็กกล้า AISI M3	น้ำมันหล่อลื่น	น้ำมันแร่ที่มีสารเติมแต่ง Ca-, P- และ S สามารถใช้ทดแทนได้	Moghadam, Villa, Moreau, Dubois, Dubar, Nielsen and Bay (2020)

ตารางที่ 2.7 งานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับปัจจัยการลดการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ (ต่อ)

ลำดับงานวิจัย	เนื้อหางานวิจัย	รายละเอียดงานวิจัย			แหล่งที่มา
		ประเภทแม่พิมพ์และชนิดเหล็ก	ปัจจัยที่ส่งผลต่อการสึกหรอ	สรุปผล	
4	ศึกษาวิธีการรักษาพื้นผิว (ไนไตรดิ้ง, ขั้นตอนไฮบริด, การเชื่อมแผ่น, เทคโนโลยีบีม และการรักษาทางกล) และเทคนิคการเคลือบผิว (CVD, PVD, การเคลือบสองด้าน, PACVD และ TRD) เพื่อยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือดายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปโลหะ	แม่พิมพ์ขึ้นรูปร้อน	การเคลือบผิว การรักษาพื้นผิว	การรักษาพื้นผิวผ่านการชุบเย็น และการเคลือบผิวแบบ CVD, PVD และ PACVD สามารถยืดอายุการใช้งานได้ดี	Emamverdian, Sun, Cao, Pruncu and Wang (2021)
5	นำกระบวนการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลวมาศึกษาเพื่อหาแนวทางการสึกหรอของแม่พิมพ์	แม่พิมพ์แบบยึดติด	กระบวนการชุบแข็ง	กระบวนการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลวที่ใช้เวลา 300 นาที	ชาญยุทธ ตระกูลสรณคมน์ (2563)
6	ศึกษาการต้านทานการสึกหรอของแม่พิมพ์ด้วยการเคลือบผิวของฟิล์มแข็ง ได้แก่ TiC-CVD TiCN-CVD TiCN-PVD VC-TD และไม่เคลือบผิวเพื่อหลีกเลี่ยงผลที่เกิดจากการสึกหรอบริเวณพันช์และดาย	แม่พิมพ์และพันช์จากเหล็กกล้า SKD11	การเคลือบผิว	การเคลือบผิวด้วย TiCN-CVD มีแนวโน้มการลดอัตราการสึกหรอของแม่พิมพ์ได้มากกว่าผิวเคลือบประเภทอื่น	ปกรณ์ ชุมรุม, วารุณี เปรมานนท์ และ คมกริช ละวรรณวงษ์ (2559)

ตารางที่ 2.7 งานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับปัจจัยการลดการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ (ต่อ)

ลำดับงานวิจัย	เนื้อหางานวิจัย	รายละเอียดงานวิจัย			แหล่งที่มา
		ประเภทแม่พิมพ์ และชนิดเหล็ก	ปัจจัยที่ส่งผลต่อการสึกหรอ	สรุปผล	
7	ศึกษาการลดแรงเสียดทานและการสึกหรอของกระบวนการขึ้นรูปโลหะ ด้วยน้ำมันสะเดาและน้ำมันมะซางที่ดัดแปลงทางเคมี	แม่พิมพ์ลากขึ้นรูป AISI 304L	น้ำมันหล่อลื่น	น้ำมันชีวภาพเป็นทางเลือกที่ดีกว่าเพื่อใช้แทนน้ำมันแร่สำหรับลดการสึกหรอ	Jeevan and Jayaram (2020)
8	ศึกษาการปรับปรุงการสึกหรอของพันช์และดายในกระบวนการปั๊มด้วยการเคลือบ PVD ขั้นสูงสองแบบ (B4C และ Mo)	แม่พิมพ์และพันช์ทำจากเหล็กกล้า AISI D2	การเคลือบผิว	การเคลือบผิวแบบ PVD Mo สามารถต้านทานการสึกหรอได้ดีกว่าแต่ความแข็งน้อยกว่า ต้องมีการเคลือบผิวบ่อยครั้ง	Fernandes, Silva, Andrade, Alexandre, Baptista and Rodrigues (2017)
9	ศึกษาระยะห่างของรูเจาะที่เหมาะสมเพื่อช่วยให้เครื่องมือมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้นและคุณภาพผลิตภัณฑ์ดีขึ้นด้วยการลดการสึกหรอของแม่พิมพ์	แม่พิมพ์ทำจากเหล็กกล้า AISI D2	ระยะช่องว่างของคมตัด	ระยะห่างที่เหมาะสมที่สุด คือ 5% ของความหนาของแผ่นสำหรับการเจาะ 55 HRC	Akyurek, Yaman and Tekiner (2017)

ตารางที่ 2.7 งานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับปัจจัยการลดการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ (ต่อ)

ลำดับงานวิจัย	เนื้อหางานวิจัย	รายละเอียดงานวิจัย			แหล่งที่มา
		ประเภทแม่พิมพ์และชนิดเหล็ก	ปัจจัยที่ส่งผลต่อการสึกหรอ	สรุปผล	
10	ศึกษาการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ด้วยการเคลือบ PVD สามประเภท (ZrN, CrN และ TiCN)	แม่พิมพ์และพันช์ทำจากเหล็กเกรด 1.3343	การเคลือบผิว	การเคลือบ PVD แบบ CrN และ ZrN มีแนวโน้มลดการสึกหรอมากกว่าการเคลือบแบบ TiCN	Kascak, Mucha, Spisak and Kubik (2017)
11	ศึกษาการใช้น้ำมันชีวภาพ และกรดบอริกในการลดความต้านทานการเสียดสีและปกป้องแม่พิมพ์จากการสึกหรอ	แม่พิมพ์ทำจากเหล็กเกรด 1.4021	น้ำมันหล่อลื่น	น้ำมันคาโนลาที่มีสารเติมแต่งของกรดบอริกทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลดลงอย่างมาก	Wieckowski, Adamus and Dyner (2020)
12	ศึกษาการลดการสึกหรอโดยใช้น้ำมันหล่อลื่นชนิดต่างๆ และใช้การอบชุบด้วยความร้อนหลังจากการผ่านกรรมวิธีแบบเย็น	แม่พิมพ์ที่ 1 ทำจากเหล็กกล้า AISI H13 แม่พิมพ์ที่ 2 ทำด้วยเหล็กกล้า 1045	น้ำมันหล่อลื่น การอบชุบโลหะ	สามารถใช้น้ำมันชีวภาพทดแทนน้ำมันแร่ได้โดยไม่สูญเสียความสมบูรณ์ของพื้นผิว โดยเฉพาะน้ำมันข้าวโพด ผลลัพธ์บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพที่เหนือกว่าน้ำมันแร่	Oliveira, Neves, De Paula and Junior (2020)

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 กรอบแนวคิด

ในการดำเนินงานวิจัย ผู้วิจัยนำแนวทางลีน และซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้เพื่อหาแนวทางในกระปรับปรุงกระบวนการและลดของเสียในกรณีศึกษาของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ และนำระบบ ISO 56002 มาสนับสนุนในบางขั้นตอนของซิกซ์ ซิกมา เพื่อสร้างกระบวนการทางนวัตกรรมภายในองค์กร โดยมีเป้าหมาย คือ ปรับปรุงคุณภาพในกระบวนผลิต สามารถตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้าได้มากยิ่งขึ้น และลดต้นทุนในกระบวนการผลิต โดยมีขั้นตอนหลักในการวิจัย 5 ขั้นตอน ตามแนวทางของซิกซ์ ซิกมา คือ DMAIC ประกอบไปด้วย

1. ขั้นตอนการระบุปัญหา (Define phase: D)
2. ขั้นตอนการวัดสภาพปัญหา (Measure phase: M)
3. ขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze phase: A)
4. ขั้นตอนการแก้ไขปรับปรุง (Improve phase: I)
5. ขั้นตอนการควบคุมและติดตามหลังการปรับปรุง (Control phase: C)

งานวิจัยมุ่งเน้นการปรับปรุงกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์โดยนำแนวทางการผลิตแบบลีน และแนวทางซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางหลัก และนำระบบ ISO 56002 มาสนับสนุนในบางขั้นตอน โดยเริ่มจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ต่อมาศึกษาขั้นตอนในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์และพันช์ และหาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาการสึกหรอในแม่พิมพ์พันช์ รวมถึงระบุประเด็นปัญหาด้านนวัตกรรมในกระบวนการผลิต จากนั้นวางแผนเพื่อหาแนวทางปรับปรุงในการศึกษา จะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพก่อนทดลองและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต นำแนวทางมาปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตให้ดียิ่งขึ้น และลดขั้นตอนในกระบวนการผลิตที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า ประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาพร้อมข้อเสนอแนะ โดยรายละเอียดวิธีการและขั้นตอนหลักในการวิจัยแสดงในรูปที่ 3.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1. การระบุปัญหา (Define phase)

- ศึกษารายละเอียดของขั้นตอนในกระบวนการผลิตโดยใช้สายธารคุณค่าและวิเคราะห์ปริมาณของปัญหาที่เกิดขึ้นในอดีต เพื่อคัดเลือกปัญหา กำหนดเป้าหมายและขอบเขต

⇩

ปัญหาของเสีย

2. การวัดสภาพปัญหา (Measure phase)

- ศึกษาปริมาณของเสียและการสึกหรอที่พบในกระบวนการผลิต

⇩

3. การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze phase)

- วิเคราะห์สาเหตุที่มีความเป็นไปได้สูงโดยใช้แผนผังแสดงเหตุและผล จากนั้นคัดเลือกสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดของเสียและการสึกหรอเพื่อหาแนวทางแก้ไข

⇩

4. การแก้ไขปรับปรุง (Improve phase)

- ใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of experiment) เพื่อหาปัจจัยที่ชะลอการสึกหรอและลดของเสีย หลังจากนั้นจึงปรับปรุงกระบวนการ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

⇩

5. การควบคุมและติดตามหลังการปรับปรุง (Control phase)

- กำหนดมาตรฐานวิธีปฏิบัติงาน จัดทำเอกสารและใบตรวจสอบเพื่อคงสภาพมาตรฐานการทำงานไว้อย่างต่อเนื่องและเป็นเป็นแนวทางการแก้ไขปัญหาในอนาคต

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนหลักในการดำเนินงานวิจัย

3.2 ขั้นตอนการนิยามปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงงานกรณีศึกษา

ขั้นตอนนี้เพื่อให้เห็นภาพรวมของกระบวนการทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการศึกษาและปรับปรุง ตรวจสอบปัญหาที่สร้างความเสียหายมากที่สุด กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา โดยมีรายละเอียดขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.2.1 เลือกกระบวนการผลิตที่ต้องการศึกษา

ศึกษากิจกรรมทั้งหมดของกระบวนการผลิตอย่างละเอียดเกี่ยวกับขั้นตอนการไหลของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์และการติดตั้งพันช์ เพื่อตรวจสอบว่ากระบวนการใดก่อให้เกิดปัญหา และส่งผลให้ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างเต็มที่ โดยทำการระดมความคิดร่วมกับบุคลากรภายในโรงงานเบื้องต้น รวมถึงตรวจสอบและศึกษาจากข้อมูลปัญหาที่พบระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 หลังจากนั้นเลือกกระบวนการผลิตพบปัญหามากที่สุด และดำเนินการการปรับปรุงเป็นลำดับถัดไป

3.2.2 ศึกษาสภาพปัญหาในปัจจุบันของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์และพันช์

ในการศึกษากระบวนการผลิตแม่พิมพ์และพันช์ในกรณีศึกษา จะใช้แผนผัง Flow Chart เพื่อให้ทราบถึงภาพรวมของกระบวนการผลิต ได้แก่ ขั้นตอนในแต่ละกระบวนการย่อยทั้งหมด เวลาที่ใช้ในแต่ละกระบวนย่อย ซึ่งทำให้สามารถระบุกิจกรรมที่จำเป็นต้องได้รับการปรับปรุง ในส่วนของปัญหาด้านการสึกหรอที่พบซึ่งส่งผลต่อการตัดวัสดุไม่มีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาที่พบในโรงงานกรณีศึกษาโดยอ้างอิงจากเอกสารบันทึกย้อนหลังเป็นเวลา 5 เดือน เพื่อคัดเลือกปัญหาที่พบมากที่สุด โดยอาศัยแผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) ในการจัดลำดับเพื่อนำปัญหามาทำการปรับปรุงและแก้ไขต่อไป

Chulalongkorn University

3.2.3 กำหนดเป้าหมายและขอบเขต

เมื่อศึกษากระบวนการผลิตแม่พิมพ์และพันช์ในกรณีศึกษาเบื้องต้น ผู้วิจัยได้กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตในการศึกษาโดยอ้างอิงจากความต้องการของลูกค้าและโรงงานกรณีศึกษาร่วมด้วย โดยมีเป้าหมาย คือ พบปัญหาด้านคุณภาพของการตัดวัสดุลดน้อยลง รวมถึงลดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

ในส่วนของขอบเขตของการศึกษา คือ ศึกษาเฉพาะกระบวนผลิตแม่พิมพ์และปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์

3.3 ขั้นตอนการรวบรวมและวัดสภาพปัญหาของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์

สำหรับขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดวิธีการวัดสภาพปัญหาและวิเคราะห์เครื่องมือที่ใช้วัด เพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่มีความผันแปรต่อระบบการวัดน้อยที่สุด รวมถึงทำการศึกษาและทำความเข้าใจรายละเอียดของแต่ละกิจกรรม โดยใช้สายธารแห่งคุณค่าเพื่อศึกษาและตรวจสอบขั้นตอนการไหลของกระบวนการผลิตอย่างละเอียด ทำให้ทราบถึงกิจกรรมใดที่ก่อให้เกิดปัญหาที่เป็นสาเหตุให้แม่พิมพ์และพันช์ไม่สามารถตัดวัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งส่งผลให้ไม่สามารถตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้าได้อย่างเต็มที่ โดยศึกษาจากความสามารถของบุคลากร อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการผลิต และตรวจสอบปัญหาที่พบร่วมด้วย สุดท้ายระดมความคิดร่วมกับโรงงานกรณีศึกษาเพื่อเลือกปัญหาหลักที่จะทำการปรับปรุง

ในการตรวจสอบกระบวนการผลิตโดยใช้แผนผังวิธีการทำงานในปัจจุบัน ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการนำแนวทางลีนมาปรับปรุงกระบวนการ โดยต้องระบุตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนถึงขั้นตอนสุดท้าย ในกรณีศึกษานี้ คือ ขั้นตอนเริ่มต้นดัดมีดเพื่อทำเป็นแม่พิมพ์ การติดตั้งพันช์ จนถึงการตรวจสอบงาน ซึ่งเป็นกิจกรรมสุดท้ายในกระบวนการผลิต

3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์

สำหรับขั้นตอนของการวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา ผู้วิจัยจะใช้แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) และสายธารแห่งคุณค่าสถานะอนาคต ในการวิเคราะห์เพื่อหาตัวแปรที่มีความสำคัญที่สุดในกระบวนการซึ่งเป็นปัจจัยหลักให้เกิดสาเหตุที่ต้องการศึกษา โดยนำข้อมูลจากขั้นตอนการวัดสภาพปัญหาที่ได้รวบรวมมาเพื่อเป็นการวางแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการสำหรับขั้นตอนถัดไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 สาเหตุของปัญหาในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์

การสร้างแผนผังแสดงเหตุและผลจำเป็นต้องมีการระดมความคิดกับผู้ปฏิบัติงานจริงและผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ไดคัท โดยวิเคราะห์จาก 5 ปัจจัยหลัก คือ ผู้ปฏิบัติงาน (Man) วิธีการ (Method) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) และ สภาพแวดล้อม (Environment) คือ แผนผังแสดงสาเหตุและผลของปัญหาแม่พิมพ์ตัดวัสดุไม่มีประสิทธิภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4.2 การจัดลำดับความสำคัญสาเหตุของปัญหาในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์

ลำดับต่อมา ผู้วิจัยและโรงงานกรณีศึกษาจะร่วมกันระดมความคิดเพื่อคัดเลือกปัญหาหลักที่จะนำมาแก้ไขโดยจัดลำดับความสำคัญของแต่ละสาเหตุโดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) และได้กำหนดเกณฑ์ในการคัดเลือกอย่างเหมาะสมต่อการปรับปรุงคุณภาพกระบวนการ โดยจะพิจารณาจากระดับความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนอง

โดยเกณฑ์มีการให้คะแนนถ่วงน้ำหนักที่แตกต่างกันแบ่งออกเป็น 4 ระดับ ซึ่งมีเกณฑ์ในการประเมินเรียงลำดับจากน้อยไปมาก ดังนี้

- 0 คะแนน = ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนอง กล่าวคือ ปัจจัยดังกล่าวไม่มีผลต่อการเกิดการสึกหรอ

- 1 คะแนน = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนองในระดับต่ำ กล่าวคือ ปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อการเกิดการสึกหรอค่อนข้างน้อย

- 3 คะแนน = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนองในระดับปานกลาง กล่าวคือ ปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อการเกิดการสึกหรอในระดับปานกลาง

- 9 คะแนน = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนองในระดับปานสูง กล่าวคือ ปัจจัยดังกล่าวมีผลอย่างมากต่อการเกิดการสึกหรอ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การให้คะแนนในการประเมินแต่ละสาเหตุ จะถูกรวบรวมจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ปฏิบัติงานจริงทั้งสิ้น 3 ท่าน คือ หัวหน้าช่างผู้ซึ่งควบคุมกระบวนการทั้งหมด ช่างผู้มีความชำนาญ และพนักงานในกระบวนการ หลังจากนั้นคำนวณคะแนนในแต่ละสาเหตุที่คาดว่าจะมีผลต่อปัญหาการสึกหรอของแม่พิมพ์ โดยนำสาเหตุที่ได้คะแนนรวมสูงสุดมาหาแนวทางปรับปรุงโดยการประชุมภายในโรงงานกรณีศึกษาร่วมกับผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต

3.4.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่มีความสำคัญในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น จะทำการวิเคราะห์คุณลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่ตามมา (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) โดยเป็นการวิเคราะห์สาเหตุและแนวโน้มผลกระทบที่เป็นไปได้จะเกิดขึ้น รวมถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดปัญหา โดยพิจารณาจากปัจจัยที่

ได้จากผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) ซึ่งพิจารณาจากรายละเอียดดังต่อไปนี้

- Severity (S) เป็นการประเมินจากผลกระทบที่ส่งผลให้เกิดการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดของแม่พิมพ์และพันช์ โดยมีหลักเกณฑ์การให้คะแนน 1-10 ดังนี้

1 = ไม่มีผลกระทบที่สามารถสังเกตได้

10 = มีความรุนแรงของผลกระทบมากที่สุด

- Occurrence (O) เป็นการประเมินจากความเป็นไปได้ที่สาเหตุของปัญหาจะเกิดขึ้น โดยมีหลักเกณฑ์การให้คะแนน 1-10 ดังนี้

1 = ไม่มีโอกาส หรือ แทบไม่มีโอกาสเกิดข้อบกพร่อง

10 = ความถี่ของโอกาสเกิดข้อบกพร่องอยู่ในระดับสูงที่สุด

- Detection (D) เป็นการประเมินความสามารถในการตรวจจับปัญหา โดยมีหลักเกณฑ์การให้คะแนน 1-10 ดังนี้

1 = ระบบควบคุมตรวจจับปัญหาหรือข้อบกพร่องได้อย่างแน่นอน

10 = ระบบควบคุมไม่สามารถตรวจจับปัญหาหรือข้อบกพร่องได้

จากนั้นประเมินลำดับแสดงความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN) ซึ่งคำนวณได้จากผลคูณของความรุนแรงของผลกระทบ (S) โอกาสในการเกิดข้อบกพร่อง (O) และการตรวจจับปัญหา (D) ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$RPN = S \times O \times D \quad (3)$$

หลังจากวิเคราะห์เรียบร้อยแล้วจะดำเนินการสร้างแผนภูมิพาเรโตเพื่อคัดเลือกสาเหตุของปัญหาที่คาดว่าจะมีผลต่อการสึกหรอและข้อบกพร่องของแม่พิมพ์และพันช์ โดยคัดเลือกสาเหตุของปัญหาที่มีคะแนนรวมมากจากขั้นตอนก่อนหน้า ต่อมานำสาเหตุดังกล่าวทำการออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอและข้อบกพร่องของแม่พิมพ์และพันช์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

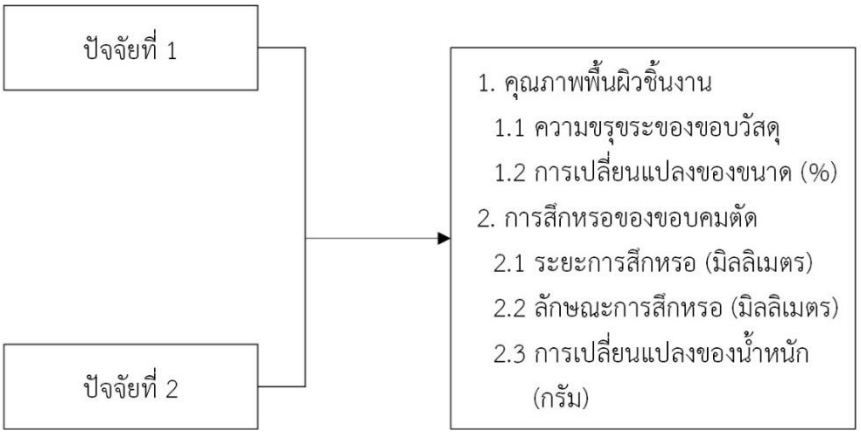
3.5 ขั้นตอนการแก้ไขปรับปรุงปัญหาของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์

ขั้นตอนการปรับปรุงปัญหาตามแนวทางในข้อ 3.4 จะเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีและเทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงปัญหา รวมถึงการออกแบบอุปกรณ์และเครื่องมือที่ต้องใช้ในกระบวนการ ในปัจจุบัน โรงงานกรณีศึกษาสามารถผลิตแม่พิมพ์ไดคัทได้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า ดังนั้น การวิจัยนี้จึงไม่คำนึงถึงเรื่องการเพิ่มกำลังผลิตหรืออุปกรณ์ โดยจะมีการปรับปรุงการไหลของกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น อีกนัยหนึ่งคือการลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต โดยหลังจากการปรับปรุงระบบการไหลจะต้องไม่กระทบถึงคุณภาพของแม่พิมพ์ ในด้านของการปรับปรุงข้อบกพร่องในการติดตั้งพันช์และการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ต้องคำนึงถึงต้นทุนในการปรับปรุงกระบวนการรวมถึงเกิดความผันแปรด้านคุณภาพน้อยที่สุด โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.5.1 ตัวชี้วัดในการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองจะมีการกำหนดตัวแปรตอบสนอง (Response) เพื่อหาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแต่ละปัจจัย (factors) ของกระบวนการ โดยจะมีการกำหนดตัวแปรเข้า (Input factors) ได้แก่ น้ำมันหล่อลื่น การเคลือบผิว การเชื่อม ระยะช่องว่างคมตัด เป็นต้น ซึ่งตัวแปรทั้งหมดจะมีการคัดเลือกให้เหลือเพียงสองปัจจัยเพื่อใช้ในการทดลองแบบ Full Factorial Design โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมาในการดำเนินการ และจะแสดงผลโดยใช้แผนภูมิพาเรโต สำหรับผลลัพธ์ (Y) ของกระบวนการ หรือตัวตอบสนอง (Output factors) คือ ระยะและลักษณะการสึกหรอ การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักแม่พิมพ์และพันช์ และการเปลี่ยนแปลงขนาดของชิ้นงาน จะเป็นตัวชี้วัดที่ใช้ในการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 3.2 เกณฑ์การวัดผลลัพธ์ในการทดลอง

ดังรูปที่ 3.2 แสดงเกณฑ์ในการวัดผลลัพธ์ในการทดลอง ซึ่งจะมีรายละเอียด ดังนี้

1) คุณภาพพื้นผิวชิ้นงาน

1.1) การตรวจสอบภาพรวมของขอบตัดชิ้นงานหลังจากกระบวนการปั๊มตัด โดยจะเก็บข้อมูลทุกๆ 1,000 ครั้ง โดยจะตรวจสอบรอยขรุขระของขอบคมตัดว่ามีความรุนแรงเพียงใด โดยพิจารณาจากภาพรวมของส่วนโค้งมน รอยตัดเฉือน และรอยฉีกขาด

1.2) ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของขนาดชิ้นงานหลังจากกระบวนการปั๊มตัด โดยจะเก็บข้อมูลทุกๆ 500 ครั้ง โดยจะมีการวัดขนาดเปรียบเทียบกับขนาดของแบบร่างจริงที่ออกแบบไว้ ในกรณีที่ชิ้นงานมีการหดตัวหรือขยายตัวมากกว่า 2% ของขนาดที่ต้องการจะถือว่าเป็นของเสียในกระบวนการผลิต

2) การวัดการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์

หลังจากดำเนินการปั๊มตัดชิ้นงานจะมีการตรวจสอบชุดแม่พิมพ์และพันช์ทุกๆ 1,000 ครั้ง โดยมีข้อพิจารณา ดังนี้

2.1) ระยะการสึกหรอของชุดคมตัด โดยจะมีหน่วยในการวัด คือ มิลลิเมตร

2.2) ลักษณะการสึกหรอ โดยจะทำการตรวจสอบตำแหน่งและลักษณะการสึกหรอ ได้แก่ ส่วนโค้งมน (Edge Radius) ส่วนรอยแตก (Break) และส่วนที่เกิดครีบ (Burr) โดยมีหน่วยวัดเป็นมิลลิเมตร

2.3) การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักแม่พิมพ์และพันช์ โดยจะมีหน่วยในการวัด คือ กรัม ซึ่งจะทำการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง

โดยจากหลักเกณฑ์ทั้งหมดจะมีการเก็บข้อมูลทั้งก่อนและหลังกระบวนการทดลอง โดยจะมีการปั๊มตัดวัสดุจนถึง 10,000 ชิ้น และทำการบันทึกผล จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป

3.5.2 การปรับปรุงปัญหาด้านข้อบกพร่องในการผลิตแม่พิมพ์และพันช์

ข้อบกพร่องที่พบในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์และพันช์ คือ พันช์ไม่สามารถยึดติดบนแม่พิมพ์ได้เป็นระยะเวลานานหลังจากผ่านการตัดวัสดุหลายครั้ง ส่งผลให้การตัดวัสดุไม่มีประสิทธิภาพ ขอบคมตัดเฉือนไม่มีคุณภาพ ในบางครั้งส่งผลให้ชิ้นงานเสียหาย โดยสาเหตุอาจเกิดจากได้หลายกรณี ได้แก่ การที่ลูกค้านำแม่พิมพ์ไปใช้ตัดชิ้นงานอย่างผิดวิธี การใส่น้ำมันหล่อลื่นที่ไม่ได้คุณภาพ หรือเกิด

จากการเชื่อมส่วนประกอบระหว่างแม่พิมพ์และการติดตั้งพันช์ไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งสาเหตุหลังเป็นการยากที่จะควบคุมเนื่องจากส่วนใหญ่พนักงานจะทำตามความถนัดของตนเองและกระบวนการทั้งหมดทำด้วยมือ ในปัจจุบันพบว่าพนักงานมักจะแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าตามความรู้สึก และน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ไม่ช่วยปกป้องขอบคมตัดของแม่พิมพ์และพันช์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) แบบเต็มจำนวน (Full Factorial Design) เพื่อแก้ไขปัญหา สำหรับการกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัยจะมาจากการระดมความคิดกับผู้ปฏิบัติงานจริงและผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ ต่อมาจึงดำเนินการทดลอง โดยการออกแบบการทดลองมีจุดประสงค์เพื่อ

- วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการลดการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์
- เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อการสึกหรอ และผลตอบสนองของการทดลอง (Response) คือ จำนวนน้ำหนักของแม่พิมพ์และพันช์ที่มีการเปลี่ยนแปลงไป เมื่อทำการทดลองปั๊มชิ้นงาน 10,000 ครั้ง
- เป้าหมายของการทดลอง คือ หาตัวแปรที่เหมาะสมและมีผลต่อปัจจัยอย่างมีนัยสำคัญเพื่อให้ได้ผลตอบของการทดลอง คือ จำนวนน้ำหนักของแม่พิมพ์และพันช์ที่มีการเปลี่ยนแปลงไป น้อยที่สุด

หลังจากดำเนินการทดลองเสร็จสิ้น นำมาวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab 19 โดยใช้เทคนิคทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แล้วจึงวิเคราะห์ส่วนตกค้างเพิ่มเติม (Residual Analysis) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสมการทำนายผล และดูความสอดคล้องของสมมติฐานร่วมด้วย โดยการวิเคราะห์ผลทางสถิติใช้ Analysis of Variance (ANOVA) เพื่อทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียที่มีสาเหตุจากการสึกหรอ เมื่อได้ค่าที่มีผลและเหมาะสมในแต่ละปัจจัยแล้วทำ การทดลองเพื่อยืนยันผลอีกทั้งหมด 10 ครั้ง ในส่วนของการทดสอบสมมติฐานด้วยวิธี 2 Sample T-Test เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการเกิดการสึกหรอก่อนและหลังการปรับปรุง สุดท้ายนำผลการทดลองที่ได้ทั้งหมดวิเคราะห์ด้วย Response Optimizer เพื่อหาระดับปัจจัยที่ดีที่สุดในการลดของเสียเนื่องมาจากการสึกหรอโดยศึกษาระดับปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.6 ขั้นตอนการควบคุม

เพื่อเป็นการวางระบบการทำงานให้เป็นไปตามมาตรฐานใหม่ และควบคุมให้แนวทางการทำงานที่มีประสิทธิภาพดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่องตามเป้าหมาย จะดำเนินการตรวจสอบข้อกำหนดที่ไม่เป็นไปตามแผนที่วางไว้ รวมถึงวางแผนการดำเนินงานเพื่อเป็นแนวทางปฏิบัติสำหรับแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า หรือปัญหาที่ไม่คาดหวัง เพื่อเป็นแนวทางสำหรับดำเนินงานในอนาคต โดยจะมีการตรวจสอบภายใน (Internal Audit) เมื่อได้รับการยอมรับจากทุกฝ่ายในองค์กร ผู้วิจัยจะจัดทำแผนมาตรฐานการปฏิบัติงานใหม่เพื่อนำเสนอแก่โรงงานกรณีศึกษา จากนั้นติดตามและตรวจสอบผลการดำเนินก่อนและหลังปฏิบัติตามแผนว่ามีความเปลี่ยนแปลงมากน้อยเพียงใด เมื่อข้อบกพร่องจะทำการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเพื่อให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพสูงสุด

3.7 สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ

สำหรับขั้นตอนสุดท้าย จะดำเนินการสรุปผลการวิจัย อภิปรายผลการวิจัยในด้านต่างๆ ข้อจำกัดสำหรับงานวิจัย และข้อเสนอแนะเพิ่มเติม โดยจะสรุปตามเป้าหมายของการศึกษา คือ พบปัญหาด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้อยลง และลดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ในด้านของเศรษฐศาสตร์ มีการสรุปผลในด้านระยะเวลาการคืนทุนจากการใช้ระบบปฏิบัติงานใหม่โดยใช้วิธีคิดอย่างง่าย (ไม่คำนึงถึงผลกระทบของดอกเบี้ย) โดยใช้สมการ (2) ในการคำนวณ ดังต่อไป

$$\text{ระยะเวลาการคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุนทั้งหมด}}{\text{ผลตอบแทนจากการลงทุน}} \quad (2)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในการศึกษานี้ ผลตอบแทนจากการลงทุน คือ กำไรที่เพิ่มขึ้นต่อเดือน และรายจ่ายในการลงทุนต่อเดือนภายในโรงงานกรณีศึกษาสำหรับแนวทางการปรับปรุงคุณภาพใหม่ในกระบวนการผลิต

ในส่วนของการจัดการนวัตกรรม จะดำเนินการสรุปผลที่เกี่ยวข้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดตลอดจนการเสนอแนวทางการแก้ไขในอนาคต เพื่อดำเนินการการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องในด้านต่างๆของการจัดการนวัตกรรมภายในองค์กร

บทที่ 4
การนิยามปัญหา (Define Phase)

ขั้นตอนนี้เป็นการทำความเข้าใจกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ขนาดเล็ก โดยศึกษาจากขั้นตอนในกระบวนการผลิตอย่างละเอียด จัดตั้งคณะทำงาน กำหนดวัตถุประสงค์ รวมถึงตัวชี้วัดทางธุรกิจ (Business Metric) และขอบเขตที่ต้องการจะศึกษา หลังจากนั้นระบุสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อนำไปดำเนินการแก้ไขในลำดับถัดไป

4.1 จัดตั้งคณะทำงาน

ในการระบุปัญหา จนไปถึงขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการผลิต จำเป็นต้องมีการจัดตั้งคณะทำงานที่มีความเชี่ยวชาญและมีประสบการณ์ในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์และพันช์ เพื่อที่จะสามารถหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตได้อย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ โดยจุดประสงค์หลักของการจัดตั้งคณะทำงาน คือ สามารถระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่ต้องแก้ไขได้อย่างถูกต้อง และ มีการวางแผนดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งคณะทำงานประกอบไปด้วยบุคลากร ดังนี้

1. หัวหน้าฝ่ายการผลิต
2. หัวหน้าส่วนวางแผนการดำเนินงานผลิต
3. หัวหน้าส่วนควบคุมคุณภาพ
4. หัวหน้าคนงาน
5. ผู้วิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2 ผลการศึกษากระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ขนาดเล็กของโรงงานกรณีศึกษา

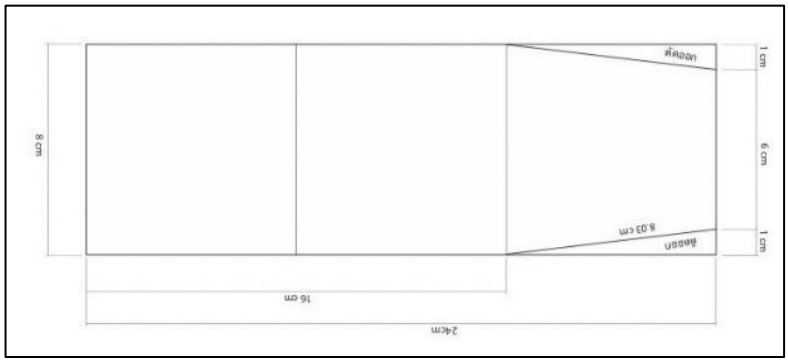
เพื่อทำการศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต จำเป็นต้องทำความเข้าใจภาพรวมของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ขนาดเล็กเพื่อระบุปัญหา และหาโอกาสในการปรับปรุง และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาแต่ละขั้นตอนกระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา โดยประกอบไปด้วย 9 ขั้นตอนหลัก ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการรับรายละเอียดโครงงานจากลูกค้า เป็นการรับรายละเอียดโครงงานที่ต้องการจะทำ โดยระบุผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิตด้วยแม่พิมพ์ วัสดุที่จะใช้ผลิต และรายละเอียดอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 เป็นรูปภาพลักษณะกระเป๋าที่ต้องการผลิต โดยจะทำการออกแบบในขั้นตอนถัดไป

รูปที่ 4.1 ลักษณะแบบกระเป๋าตัวอย่าง

- ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการออกแบบ เป็นการออกแบบโครงร่างหรือต้นแบบที่จะนำไปผลิตแม่พิมพ์และพันช์โดยรูปร่างขึ้นอยู่กับงานที่ได้รับมอบหมาย ซึ่งมีทั้งการออกแบบผ่านโปรแกรม AutoCAD และออกแบบด้วยมือ อ้างอิงจากขั้นตอนข้างต้น รูปที่ 4.2 แสดงภาพการออกแบบลักษณะกระเป๋าที่จะนำไปเป็นแม่แบบในการผลิตแม่พิมพ์และพันช์ โดยใช้โปรแกรม AutoCAD ในการออกแบบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.2 การออกแบบลักษณะชิ้นงานตัวอย่างด้วยโปรแกรม AutoCAD

- ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการตัดกระดาษ นำโครงร่างชิ้นงานที่ออกแบบไว้ ทากาวลงบนกระดาษแข็ง หลังจากนั้นจึงตัดชิ้นงานด้วยมีดคัตเตอร์ (Cutter) หรือกรรไกร

- ขั้นตอนที่ 4 กระบวนการดัดงอมีดเหล็ก เป็นการนำแบบกระดาษที่ตัดเรียบร้อยมาเป็นแม่แบบในการดัดมีดเหล็ก โดยขั้นตอนนี้ ช่างผู้มีฝีมือจะเป็นผู้ลงมือปฏิบัติ รูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นถึงวิธีการดัดงอมีดเหล็ก

รูปที่ 4.3 วิธีการดัดงอมีดเหล็ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- ขั้นตอนที่ 5 กระบวนการเชื่อม เป็นการเชื่อมมีดเหล็กที่ดัดเรียบร้อยแล้วเข้าด้วยกัน

- ขั้นตอนที่ 6 กระบวนการบัดกรี เป็นการนำเหล็กมาเชื่อมระหว่างกันเพื่อป้องกันแม่พิมพ์เสียหายขณะทำการปั๊มตัดวัสดุ

- ขั้นตอนที่ 7 กระบวนการติดตั้งพันช์ (Punch) ในกรณีที่ต้องการให้วัสดุหรือชิ้นงานตัดขาดในลักษณะเป็นวงกลม หรือรูตาไก่ ต้องทำการติดตั้งพันช์ลงบนแม่พิมพ์ โดยมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.4

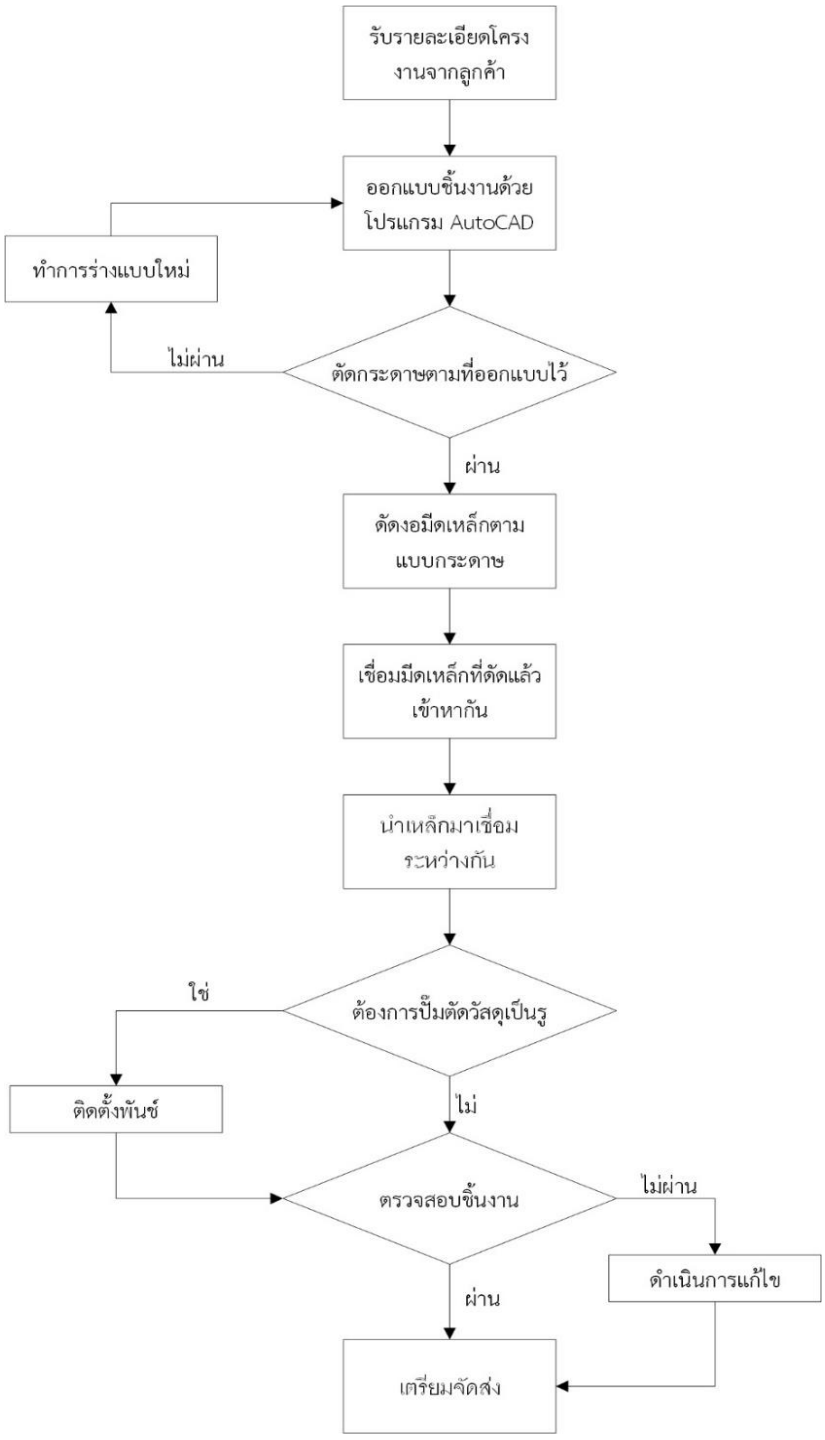
รูปที่ 4.4 การติดตั้งพันช์บนแม่พิมพ์

- ขั้นตอนที่ 8 กระบวนการตรวจสอบ เป็นการตรวจสอบแม่พิมพ์เพื่อหาข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนก่อน จากนั้นดำเนินการแก้ไขให้เรียบร้อย

- ขั้นตอนที่ 9 กระบวนการจัดส่ง เป็นการจัดเตรียมผลิตภัณฑ์บรรจุลงในกล่องให้เรียบร้อย หลังจากนั้นจึงนำส่งมอบให้ลูกค้าต่อไป

จาก 9 ขั้นตอนหลักที่กล่าวไปข้างต้นสามารถนำมาแสดงเป็นแผนผังของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์และพันช์ ดังแสดงในรูปที่ 4.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.5 ขั้นตอนของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์

4.3 การนิยามปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

อ้างอิงจากข้อมูลทางสถิติตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 เกี่ยวกับปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์และพันช์ พบว่ามีปัญหาจาก 2 แหล่งที่มาด้วยกัน คือ ปัญหาที่พบในกระบวนการผลิต และ ปัญหาที่พบจากการที่ลูกค้าร้องเรียนด้านผลิตภัณฑ์ โดยปัญหาที่พบระหว่างทำการผลิต ส่วนใหญ่จะเป็นปัญหาด้านการเชื่อมและบัดกรีแม่พิมพ์ ซึ่งจากการแก้ไขปัญหาที่พบเบื้องต้น ได้แก่ การบำรุงและซ่อมแซมตู้เชื่อมที่ทำงานผิดพลาด พบว่าแนวโน้มของสัดส่วนของเสียในกระบวนการผลิตลดน้อยลง ในทางตรงกันข้าม ปัญหาที่พบจากการที่ลูกค้าร้องเรียนด้านผลิตภัณฑ์ยังคงมีจำนวนเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.1 โดยสาเหตุหลักที่มีการร้องเรียนมา คือ มีการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดของแม่พิมพ์หลังจากมีการปั๊มตัดวัสดุไปได้ระยะหนึ่ง ทำให้ทางโรงงานกรณีศึกษาต้องมีการสูญเสียทรัพยากรและมีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมจากการซ่อมแซมผลิตภัณฑ์ หรือผลิตแม่พิมพ์และพันช์ใหม่ทดแทนให้ ในบางกรณีจำเป็นต้องจ่ายค่าชดเชยหากวัสดุมีการเสียหายเนื่องจากแม่พิมพ์และพันช์สึกหรอ

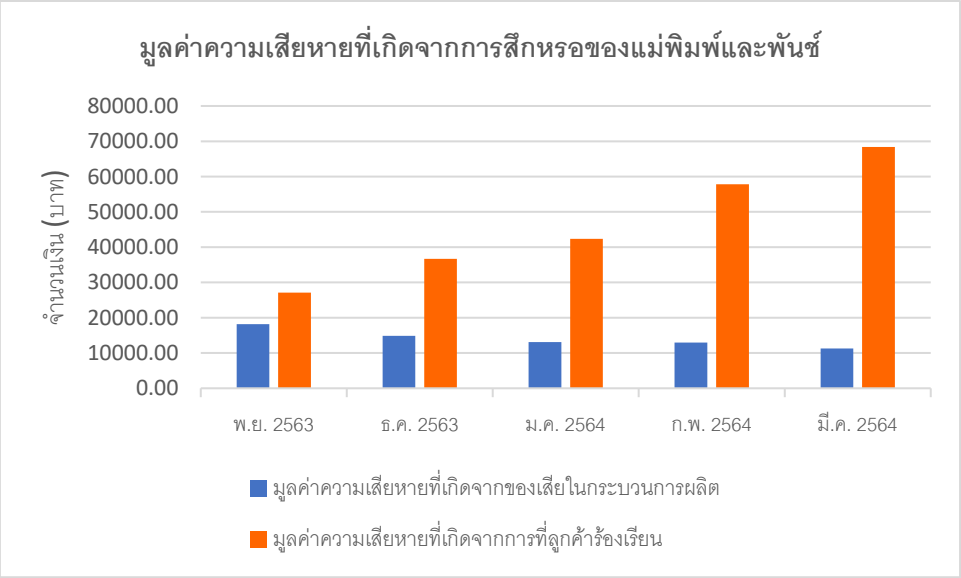
ตารางที่ 4.1 จำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องเทียบกับจำนวนการผลิตจริงตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2564

ปี	เดือน	จำนวนการผลิต	จำนวนของเสีย	จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าร้องเรียน
		(ชิ้นต่อเดือน)		
2563	พฤศจิกายน	600	19	8
2563	ธันวาคม	650	15	10
2564	มกราคม	710	16	12
2564	กุมภาพันธ์	680	13	11
2564	มีนาคม	720	9	14
เฉลี่ย		672	14	11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.1 ปัญหาด้านของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

ในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ พบว่ามีต้นทุนทางกระบวนการผลิตที่สูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.6 โดยพบว่ามีต้นทุนของเสียโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 72,566 บาทต่อเดือน ซึ่งมีสาเหตุมาจาก 2 ประการ คือ จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต และ จำนวนของเสียที่ลูกค้าร้องเรียนมา โดยจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีปัญหาจากการที่ลูกค้าร้องเรียนมาก่อให้เกิดต้นทุนทางกระบวนการผลิตมากที่สุด ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดของปัญหาได้ดังนี้



รูปที่ 4.6 มูลค่าของต้นทุนทางการผลิตที่เพิ่มขึ้นจากการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2564

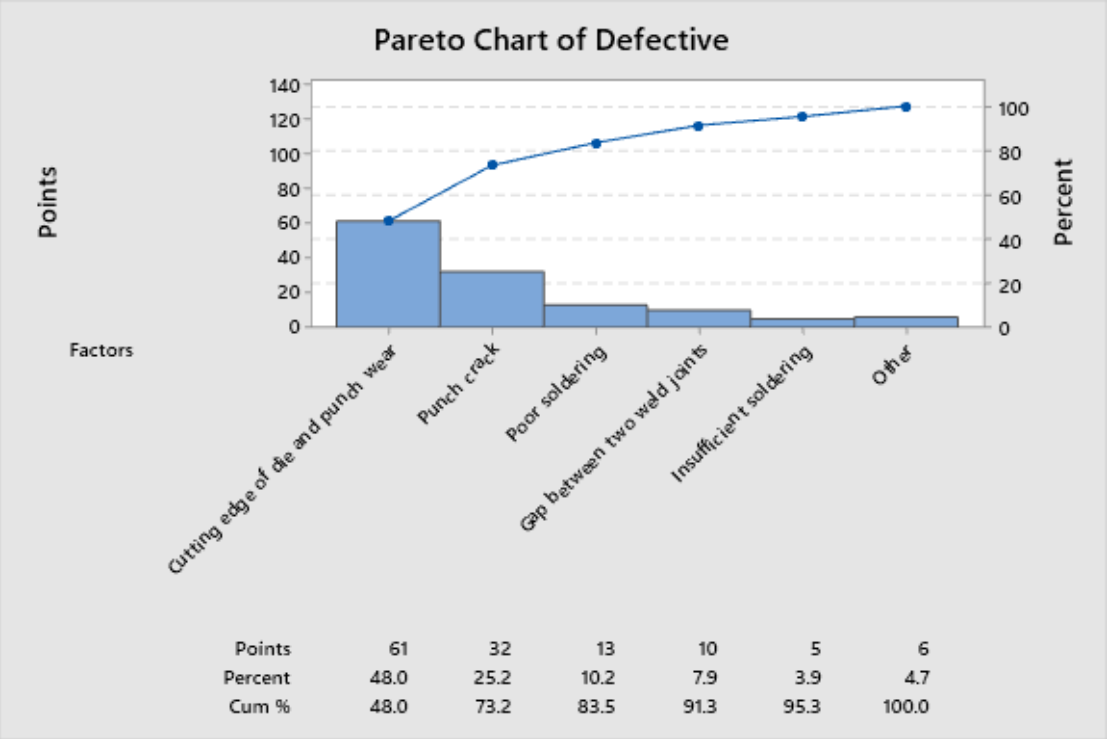
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1. การเกิดของเสียในกระบวนการผลิตซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่มาจากปัญหาด้านการบัดกรี และการเชื่อมข้อต่อเหล็กระหว่างกัน ซึ่งความผิดพลาดในลักษณะนี้มีการตรวจพบก่อนนำส่งให้ลูกค้า ทำให้สามารถดำเนินการแก้ไขได้ทันท่วงที อย่างไรก็ตาม จากสาเหตุดังกล่าวก่อให้เกิดเวลาในการผลิตที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า (Non-Value Added Time) ทำให้กระทบต่อกระบวนการไหลของงาน และด้านประสิทธิภาพของผลผลิต

2. จำนวนของเสียที่พบจากการที่ลูกค้าร้องเรียนซึ่งมีจำนวนเพิ่มสูงขึ้น และก่อให้เกิดต้นทุนทางกระบวนการผลิตจำนวนมาก โดยสาเหตุหลักมาจากการสึกหรอบริเวณขอบคมตัด ทำให้เมื่อเข้าสู่กระบวนการปั๊มตัดไปได้ระยะเวลาหนึ่ง แม่พิมพ์จะเกิดการแตกหัก และไม่สามารถทำการปั๊มตัดวัสดุต่อไปได้ รวมถึงทำให้วัสดุไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการ และมีลักษณะรูปร่างที่ผิดเพี้ยนไปจากเดิม โดย

จากปัจจัยเหล่านี้ทำให้โรงงานกรณีศึกษาต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายในการแก้ไขแม่พิมพ์และพันช์ให้กับลูกค้า รวมถึงการชดเชยค่าเสียหายในกรณีที่วัสดุเกิดการบิดงอ หรือได้ขนาดที่ไม่ถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ นอกจากนั้น ยังเกิดข้อตำหนิจากลูกค้าเกี่ยวกับด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจส่งผลกระทบในระยะยาวเกี่ยวกับด้านชื่อเสียงของโรงงาน ดังนั้นทางโรงงานกรณีศึกษา จึงมีเป้าหมายที่ต้องการจะลดหรือขจัดของเสียที่เกิดจากการสึกหรอให้ได้มากที่สุด

จากข้อมูลอ้างอิงด้านกระบวนการผลิตที่บันทึกไว้ และความต้องการของโรงงานกรณีศึกษาจำเป็นต้องมีการรวบรวมสาเหตุของปริมาณของเสียเบื้องต้น โดยนำข้อมูลเกี่ยวกับสาเหตุของปริมาณของเสียเป็นเวลา 5 เดือน (1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563 – 31 มีนาคม พ.ศ. 2564) มาทำการวิเคราะห์ ซึ่งพิจารณาจากประเภทของเสียโดยใช้แผนภูมิพาเรโต ดังแสดงในรูปที่ 4.7 พบว่าสาเหตุของปริมาณของเสียที่ต้องได้รับการปรับปรุงอย่างเร่งด่วน คือ การสึกหรอของแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์



รูปที่ 4.7 แผนภูมิพาเรโตแสดงสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีประเภทแยกตามสาเหตุของข้อบกพร่องตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2564

4.3.2 การกำหนดเป้าหมายและตัวชี้วัดทางธุรกิจ (Business Metric)

จากการผลิตภัณฑ์มีปัญหาด้านการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดส่งผลให้เกิดสัดส่วนของเสียและค่าใช้จ่ายทางกระบวนการผลิตที่เพิ่มมากขึ้น ในด้านผลิตภัณฑ์ เป้าหมายที่ต้องการปรับปรุง คือ การลดปริมาณของเสียที่เจอในกระบวนการผลิตและจากการที่ลูกค้าร้องเรียน โดยจะต้องลดลงจากก่อนปรับปรุง 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งตัวชี้วัดในงานวิจัยนี้ คือ เปอร์เซ็นต์ของเสีย ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของเสีย} = \frac{\text{จำนวนของเสียที่พบ}}{\text{ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตทั้งหมด}} \times 100 \quad (3)$$

ในส่วนของผลประโยชน์ทางด้านธุรกิจที่จะได้รับหลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตเป็นระยะเวลา 1 ปี ได้อย่างสำเร็จ มีเป้าหมายที่ตั้งไว้ คือ สามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากผลิตภัณฑ์บกพร่อง โดยมีรายละเอียดการคำนวณ ดังนี้

จำนวนของเสียก่อนปรับปรุงโดยเฉลี่ยต่อเดือน	= 25 ตัว
จำนวนของเสียหลังปรับปรุงที่คาดการณ์ต่อเดือน	= น้อยกว่า 5 ตัว
คาดการณ์ปริมาณของเสียลดลงโดยเฉลี่ยต่อเดือน	= 20 ตัว
ค่าใช้จ่ายด้านของเสียโดยเฉลี่ยต่อเดือน	= 60,500 บาท
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ โดยเฉลี่ยต่อเดือน (ค่าขนส่ง ค่าไฟฟ้า)	= 12,000 บาท
ค่าใช้จ่ายด้านของเสียโดยเฉลี่ยต่อชิ้น	= 60,500/25 = 2,420 บาท
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ โดยเฉลี่ยต่อชิ้น (ค่าขนส่ง ค่าไฟฟ้า)	= 12,000/25 = 480 บาท
ลดต้นทุนได้ต่อปี	= [20 x (2,420 + 480) x 12]
	= 696,000 บาท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.4 สรุประยะนิยามปัญหา

สำหรับขั้นตอนการนิยามหรือกำหนดปัญหา ได้มีการจัดตั้งคณะทำงาน และ ศึกษากระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดขนาดเล็ก และพันช์ และศึกษาสภาพปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจของลูกค้า ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยรวม และส่งผลกระทบต่อต้นทุน อ้างอิงจากข้อมูลทางสถิติและปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยได้เลือกศึกษาการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากแม่พิมพ์และพันช์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักของโรงงานกรณีศึกษา และส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายส่วนเกินทางกระบวนการผลิตมากที่สุด จากการศึกษาพบว่าปัญหาหลักของปริมาณของเสียที่เพิ่มขึ้นในกระบวนการผลิต คือ การสึกหรอบริเวณขอบคมตัดของแม่พิมพ์และพันช์ จากข้อมูลเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2563 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ.2564 พบว่า มีปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นต่อเดือนโดยเฉลี่ย 25 ชิ้นต่อเดือน โดยส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการสึกหรอบริเวณขอบคมตัด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงกำหนดวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ คือ การลดปริมาณของเสียที่เกิดจากปัญหาการสึกหรอในการปั๊มขึ้นรูปของแม่พิมพ์แบบตัดขนาดเล็กและพันช์ และการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านกระบวนการผลิตที่เกิดจากปริมาณของเสีย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
การวัดสภาพปัญหา (Measure Phase)

ในขั้นตอนการวัดสภาพปัญหา จะเป็นการตรวจสอบและวิเคราะห์ระบบวัดว่ามีความแม่นยำและเที่ยงตรงหรือไม่ เพื่อให้สามารถรวบรวมข้อมูลและทำการทดลองได้อย่างถูกต้องและน่าเชื่อถือ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเป็นการวิเคราะห์ด้วยการวัดซ้ำและประเมินซ้ำด้วยข้อมูลแบบนับ (Attribute Data) ระบบวัดที่ขาดความเที่ยงตรงหรือการที่พนักงานขาดความชำนาญจะส่งผลให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้อย่างถูกต้อง และเมื่อนำไปวิเคราะห์ผลต่อจะทำให้ได้ผลลัพธ์ออกมาไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นจำเป็นต้องดำเนินการทดสอบเพื่อให้ได้ค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และมีระบบวัดที่ถูกต้องและแม่นยำ

5.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงของระบบวัด

เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของระบบการวัด จำเป็นต้องประเมินความสามารถของผู้ทดสอบในการตรวจสอบคุณภาพและผลิตภัณฑ์ที่อยู่นอกเหนือเกณฑ์ที่กำหนดไว้ โดยจะทำการวิเคราะห์ด้วยการวัดซ้ำและประเมินซ้ำด้วยข้อมูลแบบนับ (Attribute Data) โดยเลือกผู้ทดสอบจำนวน 3 คนที่มีความเชี่ยวชาญในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ มาทำการทดสอบความสามารถในการตรวจสอบของพนักงานว่ามีความแม่นยำและเที่ยงตรงหรือไม่ โดยตัดสินว่าแม่พิมพ์และพันช์ที่มีการสึกหรอเกินกว่าเกณฑ์ที่รับได้จะถูกตัดสินว่าเป็น ‘งานเสีย’ ในส่วนของแม่พิมพ์และพันช์ที่ยังสามารถทำการปั๊มตัดต่อไปได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อวัสดุจะถูกตัดสินว่าเป็น ‘งานดี’ ซึ่งจะใช้การวิเคราะห์โดยโปรแกรม Minitab 19 ด้วยหลักการสัมประสิทธิ์ Kappa ซึ่งจะพิจารณาจากเกณฑ์อ้างอิงของ AIAG Measurement System Analysis Manual 4th edition ดังแสดงในตารางที่ 5.1 กล่าวคือ เป็นการวัดความสอดคล้องของผู้ตรวจสอบโดยวิเคราะห์ทางสถิติว่าผู้ตรวจสอบมีการตัดสินตรงกันมากหรือน้อย โดยพิจารณาจากเกณฑ์ดังนี้ (AIAG Measurement System Analysis Manual 4th edition, หน้า 137)

- ในกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.75 แสดงว่า ผู้ตรวจสอบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้
- ในกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.40 แสดงว่า ผู้ตรวจสอบอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สามารถยอมรับได้

ตารางที่ 5.1 เกณฑ์ในการตัดสินความเที่ยงตรงของระบบวัด

การตัดสินใจ ระบบการวัด	**ร้อยละการตัดสินใจตรงกับค่ามาตรฐาน**	**%Miss Rate**	**%False Alarm Rate**
ผู้ตรวจสอบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้	≥90%	≤2%	≤5%
อาจจะยอมรับได้ – ต้องปรับปรุงเพิ่มเติม	≥80%	≤5%	≤10%
ไม่สามารถยอมรับได้	<80%	>5%	>10%

ในการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลแบบนับ (Attribute Data) จะทำการตรวจสอบโดยพิจารณาจาก 2 ปัจจัย คือ คุณภาพโดยรวมของแม่พิมพ์และพันช์ และ การสึกหรอบริเวณขอบคมตัด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- คุณภาพโดยรวมของแม่พิมพ์และพันช์ จะทำการพิจารณาจากจุดการเชื่อม หรือการบัดกรี ลักษณะและรูปร่างของแม่พิมพ์ว่า การแอ่นตัวของเหล็กโดยสังเกตจากการแนบไปกับพื้นราบได้โดยไม่มีช่องว่าง
- การสึกหรอบริเวณขอบคมตัด โดยจะพิจารณาว่าลักษณะและตำแหน่งการสึกหรอที่พบเมื่อนำไปเข้าสู่กระบวนการปั๊มตัดจะส่งผลต่อขนาดรูปร่าง และลักษณะของวัสดุหรือไม่

โดยจะใช้ตัวอย่างในการทดสอบทั้งหมด 30 ชิ้น ซึ่งเป็นแม่พิมพ์และพันช์ที่ผ่านกระบวนการปั๊มประมาณ 100 - 500 ครั้ง ซึ่งเป็นชิ้นงานตัวอย่างที่เป็นงานดีจำนวน 22 ชิ้น ชิ้นงานตัวอย่างที่เป็นงานเสียจำนวน 8 ชิ้น โดยมีชิ้นงานที่เกือบดี (Marginal to Pass) จำนวน 2 ชิ้น และ ชิ้นงานที่เกือบเสีย (Marginal to Fail) จำนวน 1 ชิ้น โดยเลือกพนักงานจำนวน 3 คน แต่ละคนทำการทดสอบ 2 ครั้ง โดยมีการสุ่มชิ้นงานตัวอย่างเพื่อป้องกันการจดจำของพนักงาน ซึ่งสามารถสรุปผลทดสอบได้ตามตารางที่ 5.2 (P = ผ่าน หรือ ชิ้นงานดี และ F = ไม่ผ่าน หรือ ชิ้นงานเสีย)

5.2 ผลการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงของระบบวัด

ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์ของระบบวัด

ชิ้นงาน ตัวอย่างที่	ค่ามาตรฐาน	พนักงาน A		พนักงาน B		พนักงาน C	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	ชิ้นงานดี	P	P	P	P	P	P
2	ชิ้นงานเสีย	F	F	F	F	F	F
3	ชิ้นงานดี	P	P	P	P	P	P
4	ชิ้นงานดี	P	P	P	P	P	P
5	ชิ้นงานดี	P	P	P	P	P	P
6	ชิ้นงานดี (เกือบเสีย)	P	P	P	P	P	P
7	ชิ้นงานดี	P	P	P	P	F	P
8	ชิ้นงานเสีย	F	F	F	F	F	F
9	ชิ้นงานดี	P	P	P	P	P	P
10	ชิ้นงานดี	P	P	P	P	P	P
11	ชิ้นงานดี	P	P	P	P	P	P
12	ชิ้นงานเสีย	F	F	F	F	F	F
13	ชิ้นงานเสีย (เกือบดี)	F	F	F	P	F	F
14	ชิ้นงานดี	P	P	P	P	P	P
15	ชิ้นงานดี	P	P	P	P	P	P
16	ชิ้นงานดี	P	P	P	P	P	P
17	ชิ้นงานดี	P	P	P	P	P	P
18	ชิ้นงานเสีย (เกือบดี)	F	F	F	F	F	F
19	ชิ้นงานดี	P	P	P	P	P	P
20	ชิ้นงานดี	P	P	P	P	P	P
21	ชิ้นงานดี	P	P	P	P	P	P
22	ชิ้นงานเสีย	F	F	F	F	F	F
23	ชิ้นงานดี	P	P	P	P	P	P

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์ของระบบวัด (ต่อ)

ชิ้นงาน ตัวอย่างที่	ค่ามาตรฐาน	พนักงาน A		พนักงาน B		พนักงาน C	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
24	ชิ้นงานดี	P	P	P	P	P	P
25	ชิ้นงานเสีย	F	F	F	F	F	F
26	ชิ้นงานดี	P	P	P	P	P	P
27	ชิ้นงานดี	P	P	P	P	P	P
28	ชิ้นงานเสีย	F	F	F	F	F	F
29	ชิ้นงานดี	P	P	P	P	P	P
30	ชิ้นงานดี	P	P	P	P	P	P

จากข้อมูลผลลัพธ์การทดสอบในตารางที่ 5.2 สามารถนำไปวิเคราะห์ความสอดคล้องของข้อมูลแบบนับ (Attribute Agreement analysis) ด้วยโปรแกรม Minitab 19 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) การวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) ของพนักงาน (Within Appraisers)

ตารางที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงาน

ผู้ตรวจสอบ	จำนวนชิ้นงานตัวอย่าง	ตรวจถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ (%)	ช่วงความเชื่อมั่น 95%
A	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
B	30	29	96.67	(82.78, 99.92)
C	30	29	96.67	(82.78, 99.92)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 5.3 แสดงสถิติความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานแต่ละคน พบว่า

- พนักงาน A มีเปอร์เซ็นต์การตรวจงานถูกต้อง เท่ากับ 100%
- พนักงาน B และ C มีเปอร์เซ็นต์การตรวจงานถูกต้อง เท่ากับ 96.67%

จากผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ผู้ตรวจสอบทั้ง 3 คนมีความสอดคล้องในการตรวจสอบชิ้นงานตรงกันมากกว่าร้อยละ 90.00 ซึ่งเมื่ออ้างอิงจากเกณฑ์ในตารางที่ 5.1สามารถสรุปได้ว่า ผู้ตรวจสอบทั้ง 3 คนเป็นผู้ตรวจสอบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ นอกจากนั้น เมื่อพิจารณาช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่า ในกรณีที่มีการตรวจสอบชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 100 ครั้ง ผู้

ตรวจสอบ A จะสามารถตรวจสอบชิ้นงานถูกต้องมากถึงร้อยละ 90.50 – 100 จากการตรวจสอบชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 95 ครั้ง และผู้ตรวจสอบ B และ C สามารถตรวจสอบชิ้นงานถูกต้องได้ถึงร้อยละ 82.78 – 99.92 จากการตรวจสอบชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 95 ครั้ง กล่าวคือ ในกรณีที่มีการตรวจสอบซ้ำอีกครั้ง ได้ผลร้อยละของการตรวจสอบชิ้นงานถูกต้องอยู่ในช่วงเดียวกัน จะถือว่าผลวิเคราะห์มีลักษณะไปในทิศทางเดียวกัน

ตารางที่ 5.4 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานด้วยหลักของสัมประสิทธิ์ Kappa

ผู้ตรวจสอบ	Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(VS > 0)
A	ชิ้นงานเสีย (F)	1.0000	0.1825	5.4772	0.0000
	ชิ้นงานดี (P)	1.0000	0.1825	5.4772	0.0000
B	ชิ้นงานเสีย (F)	0.9111	0.1825	4.9903	0.0000
	ชิ้นงานดี (P)	0.9111	0.1825	4.9903	0.0000
C	ชิ้นงานเสีย (F)	0.9179	0.1825	5.0276	0.0000
	ชิ้นงานดี (P)	0.9179	0.1825	5.0276	0.0000

เมื่อพิจารณาผลลัพธ์เพิ่มเติมตามตารางที่ 5.4 ด้วยหลักการของสัมประสิทธิ์ Kappa พบว่า ผู้ตรวจสอบทั้ง 3 คน มีค่าสัมประสิทธิ์มากกว่า 0.75 แสดงว่า ผู้ตรวจสอบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ กล่าวคือ ผู้ตรวจสอบทั้งหมดมีการตรวจสอบที่สอดคล้องกันทั้งการตรวจสอบชิ้นงานดีและชิ้นงานเสีย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2) การวิเคราะห์ความสามารถของพนักงานแต่ละคนเปรียบเทียบค่ามาตรฐาน (Each Appraiser vs Standard)

ตารางที่ 5.5 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของพนักงานแต่ละคนเปรียบเทียบค่ามาตรฐาน

ผู้ตรวจสอบ	จำนวนชิ้นงานตัวอย่าง	ตรวจถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ (%)	ช่วงความเชื่อมั่น 95%
A	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
B	30	29	96.67	(82.78, 99.92)
C	30	29	96.67	(82.78, 99.92)

จากตารางที่ 5.5 แสดงสถิติความสอดคล้องของพนักงานแต่ละคนเมื่อเทียบกับมาตรฐาน พบว่า

- พนักงาน A มีเปอร์เซ็นต์การตรวจงานสอดคล้องตามมาตรฐาน เท่ากับ 100%
- พนักงาน B และ C มีเปอร์เซ็นต์การตรวจงานสอดคล้องตามมาตรฐาน เท่ากับ 96.67%

จากผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ผู้ตรวจสอบทั้ง 3 คนมีความสอดคล้องในการตรวจสอบชิ้นงานตรงกันมากกว่าร้อยละ 90.00 ซึ่งเมื่ออ้างอิงจากเกณฑ์ในตารางที่ 5.1 พบว่าเป็นผู้ตรวจสอบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์เพิ่มเติมเพื่อให้ได้ผู้ตรวจสอบที่มีความถูกต้องและแม่นยำ โดยแสดงผลลัพธ์ดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการตัดสินใจตรงกับค่ามาตรฐาน

ผู้ตรวจสอบ	งานดี/งานเสีย (P/F) Miss Rate		งานเสีย/งานดี (F/P) False Alarm Rate		ชิ้นงานก้ำกึ่ง Mixed	
	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
A	0	0.00	0	0.00	0	0.00
B	0	0.00	0	0.00	1	3.33
C	0	0.00	0	0.00	1	3.33

เมื่อพิจารณาผลลัพธ์เพิ่มเติมตามตารางที่ 5.6 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความสามารถในการตัดสินใจตรงกับค่ามาตรฐาน จะเห็นได้ว่า พนักงานทั้ง 3 คน ไม่มีผู้ใดตรวจสอบชิ้นงานตัวอย่างที่เป็นงานเสีย แต่ตัดสินใจเป็นชิ้นงานดี (Miss Rate) และในทางเดียวกัน ไม่มีผู้ใด ตรวจสอบชิ้นงานตัวอย่างที่เป็นงานดี แต่ตัดสินใจเป็นชิ้นงานเสีย (False Alarm Rate) อย่างไรก็ตาม ผู้ตรวจสอบ B และ C มีการตัดสินใจชิ้นงานก้ำกึ่งไม่ตรงกันอยู่ ร้อยละ 3.33

ตารางที่ 5.7 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการตัดสินใจตรงกับค่ามาตรฐานตามเกณฑ์ AIAG

ผู้ตรวจสอบ	Miss Rate		False Alarm Rate	
	จำนวน	%	จำนวน	%
A	$\frac{0*2+0}{8*2}$	0.00	$\frac{0*2+0}{22*2}$	0.00
B	$\frac{0*2+0}{8*2}$	0.00	$\frac{1*2+0}{22*2}$	4.54
C	$\frac{0*2+0}{8*2}$	0.00	$\frac{1*2+0}{22*2}$	4.54

อย่างไรก็ตาม จากการคำนวณตามเกณฑ์ของ AIAG ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 5.7 เมื่อพิจารณาจากเกณฑ์ของ AIAG Measurement System Analysis Manual 4th edition ดังตารางที่ 5.1 แสดงให้เห็นว่าผู้ตรวจสอบทั้ง 3 คน ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ตารางที่ 5.8 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการตัดสินใจตรงกับค่ามาตรฐานด้วยหลักของสัมประสิทธิ์ Kappa

ผู้ตรวจสอบ	Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(VS > 0)
A	ชิ้นงานเสีย (F)	1.0000	0.1290	7.7459	0.0000
	ชิ้นงานดี (P)	1.0000	0.1290	7.7459	0.0000
B	ชิ้นงานเสีย (F)	0.9555	0.1290	7.4017	0.0000
	ชิ้นงานดี (P)	0.9555	0.1290	7.4017	0.0000
C	ชิ้นงานเสีย (F)	0.9589	0.1290	7.4280	0.0000
	ชิ้นงานดี (P)	0.9589	0.1290	7.4280	0.0000

เมื่ออ้างอิงจากผลการวิเคราะห์เพิ่มเติมด้วยหลักการของสัมประสิทธิ์ Kappa ตามตารางที่ 5.8 พบว่า ผู้ตรวจสอบทั้ง 3 คน มีค่าสัมประสิทธิ์มากกว่า 0.75 แสดงว่า ผู้ตรวจสอบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ กล่าวคือ ผู้ตรวจสอบทั้งหมดมีการตรวจสอบที่สอดคล้องกันทั้งการตรวจสอบชิ้นงานดี และชิ้นงานเสีย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) การวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างผู้ตรวจสอบกับผู้ตรวจสอบอื่น (Between Appraisers)

ตารางที่ 5.9 ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างผู้ตรวจสอบกับผู้ตรวจสอบอื่น

จำนวนชิ้นงานตัวอย่าง	ตรวจถูกต้องตรงกัน	เปอร์เซ็นต์ (%)	ช่วงความเชื่อมั่น 95%
30	28	93.33	(77.93, 99.18)

จากตารางที่ 5.9 แสดงสถิติความสอดคล้องของพนักงานแต่ละคนเมื่อเทียบกับมาตรฐานสำหรับการวัดความสามารถในการประเมินซ้ำ (Reproducibility) พบว่า พนักงานทั้ง 3 คน มีเปอร์เซ็นต์การตรวจงานสอดคล้องกัน เท่ากับ 93.33% และมีช่วงความเชื่อมั่นอยู่ที่ 77.93% -

99.18% ซึ่งเมื่ออ้างอิงจากเกณฑ์ในตารางที่ 5.1 พบว่า ผู้ตรวจสอบทั้ง 3 คนเป็นผู้ตรวจสอบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ตารางที่ 5.10 ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างผู้ตรวจสอบกับผู้ตรวจสอบอื่นด้วยหลักของสัมประสิทธิ์ Kappa

Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(VS > 0)
ชิ้นงานเสีย (F)	0.9431	0.0471	20.0079	0.0000
ชิ้นงานดี (P)	0.9431	0.0471	20.0079	0.0000

เมื่ออ้างอิงข้อมูลจากตารางที่ 5.10 ด้วยหลักการของสัมประสิทธิ์ Kappa พบว่า ผู้ตรวจสอบทั้ง 3 คน มีค่าสัมประสิทธิ์มากกว่า 0.75 ทั้งการตรวจสอบชิ้นงานดีและชิ้นงานเสีย แสดงว่า ผู้ตรวจสอบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ กล่าวคือ ผู้ตรวจสอบแต่ละคนมีการตรวจสอบที่สอดคล้องกับผู้ตรวจสอบอื่นทั้งการตรวจสอบชิ้นงานดี และชิ้นงานเสีย

4) การวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างผู้ตรวจสอบทั้งหมดกับค่ามาตรฐาน (All Appraisers vs Standard)

ตารางที่ 5.11 ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างผู้ตรวจสอบทั้งหมดกับค่ามาตรฐาน

จำนวนชิ้นงานตัวอย่าง	ตรวจถูกต้องตรงกัน	เปอร์เซ็นต์ (%)	ช่วงความเชื่อมั่น 95%
30	28	93.33	(77.93, 99.18)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อ้างอิงจากตารางที่ 5.11 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความสามารถในการตัดสินใจซ้ำของพนักงานว่ามีความสอดคล้องกับค่ามาตรฐานหรือไม่ โดยจากผลลัพธ์ พบว่า ผู้ตรวจสอบทั้ง 3 คนมีความสอดคล้องในการตรวจสอบชิ้นงานทั้ง 2 ครั้ง ตรงกับค่ามาตรฐาน เท่ากับ 93.33% และมีช่วงความเชื่อมั่นอยู่ที่ 77.93% - 99.18% ซึ่งเมื่ออ้างอิงจากเกณฑ์ในตารางที่ 5.1 สามารถสรุปได้ว่าเป็นผู้ตรวจสอบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ตารางที่ 5.12 ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างผู้ตรวจสอบทั้งหมดกับค่ามาตรฐานด้วยหลักของสัมประสิทธิ์ Kappa

Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(VS > 0)
ชิ้นงานเสีย (F)	0.9715	0.0745	13.0341	0.0000
ชิ้นงานดี (P)	0.9715	0.0745	13.0341	0.0000

จากการวิเคราะห์เพิ่มเติมตามตารางที่ 5.12 จะเห็นได้ว่า ผู้ตรวจสอบทั้ง 3 คน มีค่าสัมประสิทธิ์มากกว่า 0.75 ทั้งการตรวจสอบชิ้นงานดีและชิ้นงานเสีย แสดงว่า ผู้ตรวจสอบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ กล่าวคือ ผู้ตรวจสอบทั้งหมดมีการตรวจสอบที่สอดคล้องกันเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานทั้งการตรวจสอบชิ้นงานดี และชิ้นงานเสีย

โดยสรุป จากการวิเคราะห์ระบบวัดของข้อมูลแบบนับ (Attribute Data) ด้วยพนักงานทั้งหมด 3 คน ซึ่งแต่ละคน มีการสุ่มตรวจสอบทั้งหมด 2 ครั้ง และทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Minitab 19 ทั้งหมด 4 ส่วนด้วยกัน คือ

- วิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานทั้ง 3 คนว่ามีการตรวจสอบทั้ง 2 ครั้งเหมือนกันหรือไม่ (Within Appraisers)
- วิเคราะห์ความสามารถในการตรวจสอบของพนักงานแต่ละคน เทียบกับค่ามาตรฐาน (Each Appraiser vs Standard)
- วิเคราะห์ความสามารถในการตรวจสอบซ้ำของพนักงานทั้ง 3 คน ซึ่งเปรียบเทียบว่าการวัดในแต่ละครั้ง การตัดสินใจของทุกคนมีการสอดคล้องกันหรือไม่ (Between Appraisers)
- วิเคราะห์ความสามารถในการตรวจสอบซ้ำของพนักงานทั้ง 3 คน เทียบกับค่ามาตรฐาน (All Appraisers vs Standard)

อ้างอิงจากเกณฑ์ของ AIAG, Measurement System Analysis Manual 4th edition พบว่า ผู้ตรวจสอบ A ผู้ตรวจสอบ B และ ผู้ตรวจสอบ C อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในการตรวจสอบคุณภาพของแม่พิมพ์และพันช์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.3 สรุประยะการวัดสภาพปัญหา

สำหรับขั้นตอนการวัดสภาพปัญหา เริ่มแรกจะเป็นการวิเคราะห์ระบบการวัดปัญหาโดยการตรวจสอบความถูกต้องและเที่ยงตรงของระบบวัดสภาพปัญหา เพื่อให้การทดลองมีความเชื่อถือได้ ซึ่งทำการวิเคราะห์ด้วยการวัดซ้ำและประเมินซ้ำด้วยข้อมูลแบบนับ (Attribute Data) หลังจากการคัดเลือกพนักงานผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ทั้งหมด 3 คน มาทำการทดสอบโดยอ้างอิงจากเกณฑ์ของ AIAG Measurement System Analysis Manual 4th edition ในการวิเคราะห์ค่าผลลัพธ์ พบว่า อ้างอิงจากหลักการของสัมประสิทธิ์ Kappa ผู้ตรวจสอบทั้ง 3 คน มีค่าสัมประสิทธิ์มากกว่า 0.75 ทั้งการตรวจสอบชิ้นงานดีและชิ้นงานเสีย แสดงว่า ผู้ตรวจสอบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และจากการวิเคราะห์เพิ่มเติมพบว่าผู้ตรวจสอบทั้งหมดมีการตรวจสอบที่สอดคล้องกันทั้งการตรวจสอบชิ้นงานดีและชิ้นงานเสีย ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า ระบบวัดสามารถเก็บข้อมูลได้อย่างแม่นยำและเที่ยงตรงซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6
การวิเคราะห์ปัญหา (Analyze Phase)

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาจะเป็นการคัดกรองปัจจัยที่เป็นไปได้ต่อการเกิดการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดในกระบวนการปั๊มตัดวัสดุของแม่พิมพ์และพันช์ โดยการระดมความคิดร่วมกับคณะทำงานซึ่งมีประสบการณ์และความรู้ในกระบวนการผลิตในการระบุปัจจัยด้วยแผนผังแสดงเหตุและผล จากนั้นคัดเลือกปัจจัยที่เป็นไปได้ด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) ในการเรียงลำดับความสำคัญจากน้อยไปมาก สุดท้าย วิเคราะห์คุณลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่ตามมา (Failure Mode and Effects) เพื่อหาปัจจัยที่คาดว่าส่งผลต่อการสึกหรออย่างมีนัยสำคัญเพื่อนำไปปรับปรุงกระบวนการผลิตต่อไป

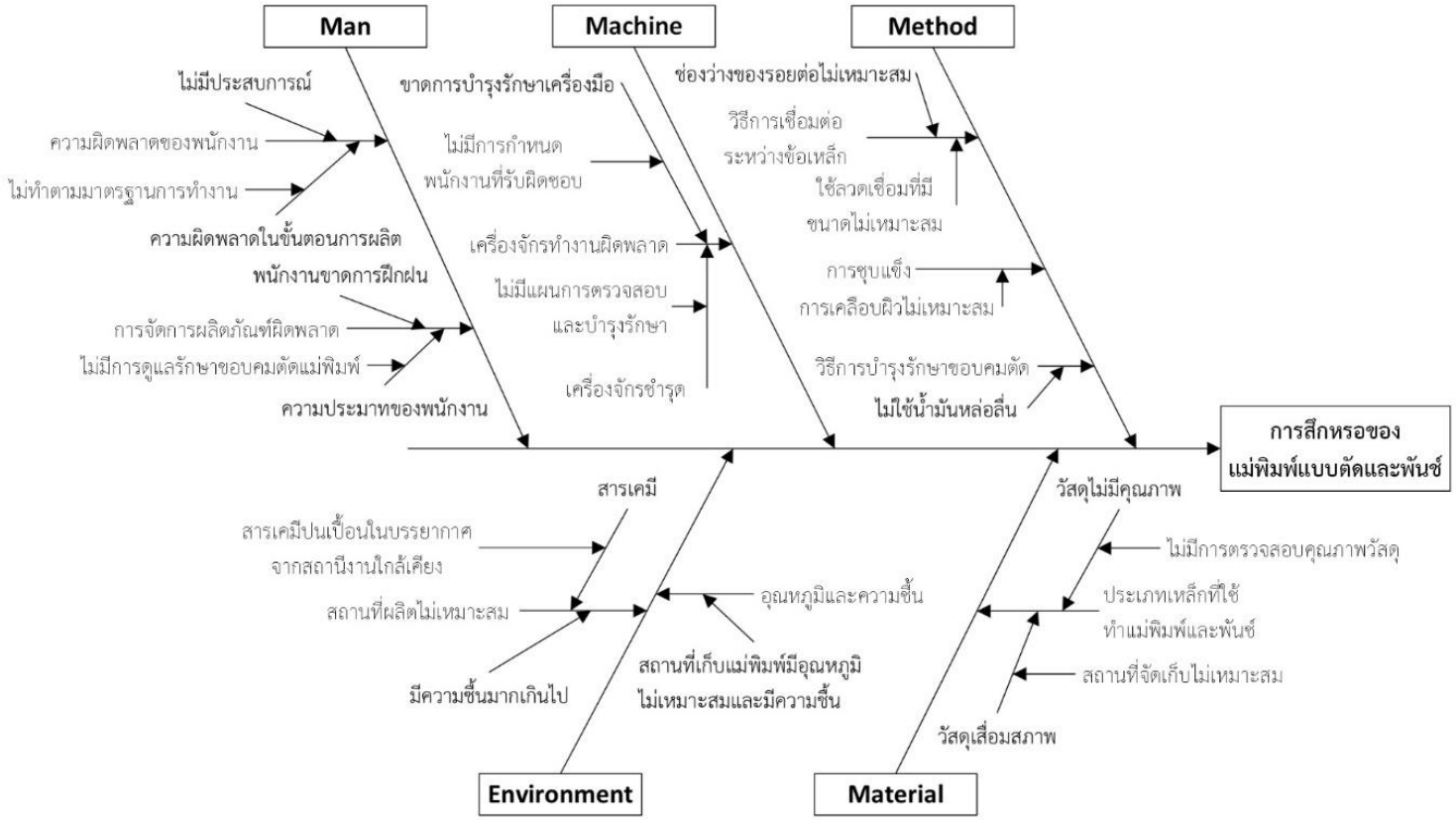
6.1 การหาปัจจัยนำเข้าโดยใช้แผนผังแสดงเหตุและผล

การหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาของเสียในกระบวนการผลิตที่เกิดจากการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์จะถูกวิเคราะห์โดยใช้แผนผังแสดงเหตุและผล ซึ่งพิจารณาจากปัจจัย 5 ด้าน ดังนี้

- ปัจจัยด้านปัญหาที่เกิดจากพนักงาน (Man)
- ปัจจัยด้านปัญหาที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine)
- ปัจจัยด้านปัญหาที่เกิดจากแนวทางการทำงาน (Method)
- ปัจจัยด้านปัญหาที่เกิดจากวัตถุดิบ (Material)
- ปัจจัยด้านปัญหาที่เกิดจากสภาพแวดล้อม (Environment)

จากการรวบรวมข้อมูลผ่านบันทึกทางสถิติ และการระดมความคิดร่วมกับผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการผลิต สามารถวิเคราะห์สาเหตุหลักของการเกิดการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ซึ่งส่งผลกระทบต่อการเกิดของเสียในกระบวนการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 6.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 6.1 แผนภาพการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดของแม่พิมพ์และพันช์

6.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

จากการระดมความคิดร่วมกับผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการผลิตด้วยแผนผังแสดงเหตุและผล ดังแสดงในรูปที่ 6.1 แสดงปัจจัยและสาเหตุที่เป็นไปได้ในการส่งผลให้เกิดการสึกหรอของแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ ทั้งหมด 18 ปัจจัย โดยขั้นตอนต่อมา ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่รวบรวมมาได้เพื่อหาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล โดยจะแสดงในรูปแบบของตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) ซึ่งขั้นตอนในการวิเคราะห์มีรายละเอียด ดังนี้

1) ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับปัจจัยที่ได้มาทั้งหมด 18 ปัจจัย จากนั้นนำปัจจัยทั้งหมดใส่ลงในตาราง ต่อจากนั้น หัวหน้าควบคุมกระบวนการผลิต ช่างผู้มีความชำนาญการในกระบวนการผลิต และพนักงานที่ปฏิบัติจริง ทำการประเมินและลงคะแนนในแต่ละปัจจัยซึ่งในการลงคะแนน เพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่เป็นไปได้ที่มีผลต่อการเกิดการสึกหรอ ในกระบวนการลงคะแนนจะเป็นอิสระต่อกัน กล่าวคือ สมาชิกในทีมจะไม่มีการปรึกษาซึ่งกันและกัน โดยเกณฑ์คะแนนอยู่ในช่วง 0-9 ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 เกณฑ์การประเมินความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล

คะแนน	รายละเอียด
0	ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนอง
1	มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนองในระดับต่ำ
3	มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนองในระดับปานกลาง
9	มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนองในระดับสูง

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2) เมื่อสมาชิกในทีมลงคะแนนเรียบร้อยแล้ว ทำการรวบรวมคะแนนที่ได้มาทั้งหมด และพิจารณาคะแนนในแต่ละปัจจัยอย่างถี่ถ้วนเพื่อสรุปการให้คะแนน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

2.1) ในกรณีที่แต่ละบุคคลประเมินคะแนนในปัจจัยนั้นอยู่ในช่วงเกณฑ์ใกล้เคียงกัน ได้แก่ 0-1, 1-3 หรือ 0-3 คะแนน จะทำการตัดสินคะแนนจากช่วงคะแนนประเมินที่มีผู้ลงมากกว่า และจะทำการสรุปคะแนนตามเสียงข้างมาก เช่น สาเหตุที่ 1 มีการประเมินคะแนน 3 คะแนน เป็นจำนวน 4 คน มีการประเมินคะแนน 1 คะแนน เป็นจำนวน 3 คน จะทำการตัดสินคะแนนในสาเหตุที่ 1 เท่ากับ 3 คะแนน

2.2) ในกรณีที่การประเมินคะแนนไม่ได้เป็นไปในแนวทางใกล้เคียงกัน ได้แก่ 0-9, 1-9 หรือ 3-9 คะแนน จะดำเนินการอภิปรายร่วมกันภายในทีม และตัดสินคะแนนในแต่ละหัวข้อจนครบทุกปัจจัย

3) เมื่อได้ผลคะแนนครบทุกปัจจัยแล้ว ผู้วิจัยจะทำการสรุปคะแนนที่ได้ในแต่ละปัจจัย แสดงผลโดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล ดังแสดงในตารางที่ 6.2 หลังจากนั้นจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ โดยเรียงลำดับจากคะแนนมากไปยังคะแนนน้อยด้วยแผนภาพพาเรโต ดังแสดงในรูปที่ 6.2.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

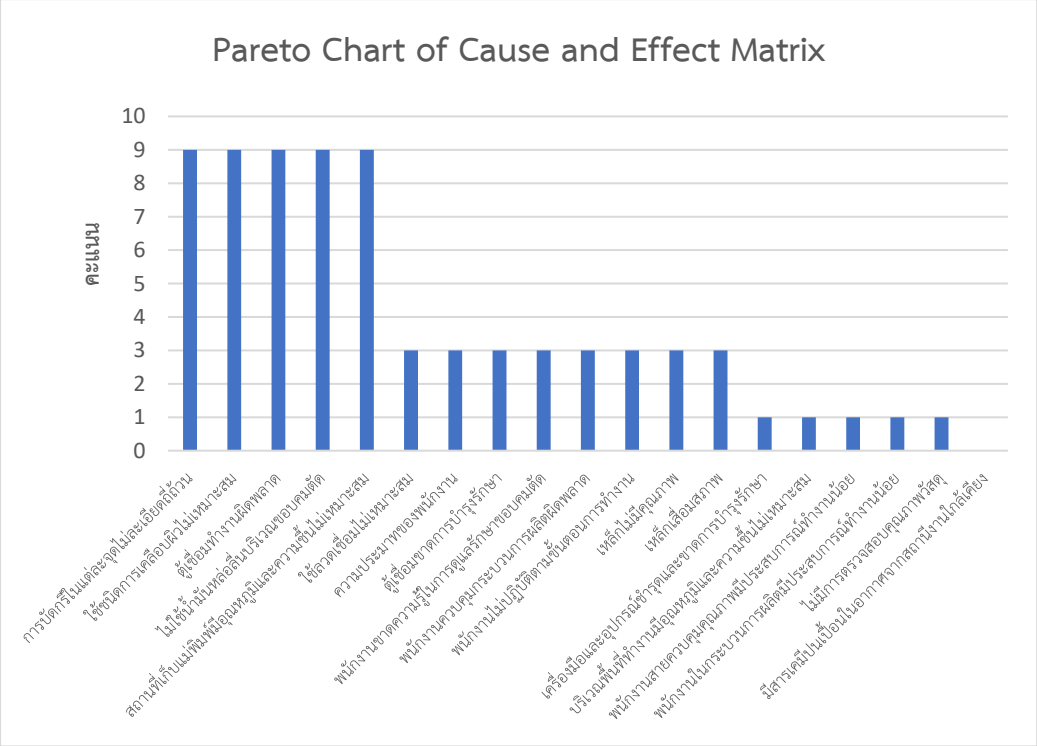
ตารางที่ 6.2 ผลสรุปคะแนนของแต่ละปัจจัยนำเข้า

ลำดับ	กลุ่มปัจจัย	สาเหตุ		ผลสรุปการให้คะแนน
1	Man	พนักงานในกระบวนการผลิต	ประมาท	3
2			ไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการทำงาน	3
3			ควบคุมกระบวนการผลิตผิดพลาด	3
4			ประสบการณ์ทำงานน้อย	1
5		พนักงานในกระบวนการควบคุมคุณภาพ	ขาดความรู้ ความเข้าใจในการดูแลรักษาขอบคมตัด	3
6			ประสบการณ์ทำงานน้อย	1
7	Machine	ตู้เชื่อม	ทำงานผิดพลาด	9
8			ขาดการบำรุงรักษา	3
9		เครื่องมือทั่วไป	ชำรุดและขาดการบำรุงรักษา	1
10	Material	เหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์	ไม่มีคุณภาพ	3
11			เสื่อมสภาพ	3
12			ไม่มีการตรวจสอบคุณภาพวัสดุ	1
13	Method	บริเวณขอบคมตัด	ไม่ใช้น้ำมันหล่อลื่น	9
14			ใช้ชนิดการเคลือบผิวไม่เหมาะสม	9
15		การเชื่อม	ใช้ลวดเชื่อมไม่เหมาะสม	3
16			การบัดกรีในแต่ละจุดไม่ละเอียดถี่ถ้วน	9
17	Environment	สถานที่เก็บแม่พิมพ์	มีอุณหภูมิและความชื้นไม่เหมาะสม	9
18		บริเวณพื้นที่ทำงาน	สารเคมีปนเปื้อนในอากาศจากสถานีงานใกล้เคียง	0
19			มีอุณหภูมิและความชื้นไม่เหมาะสม	1

รูปที่ 6.2 แสดงแผนภูมิพาเรโตซึ่งอ้างอิงจากการสรุปคะแนนของตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล โดยเลือกปัจจัยที่มีคะแนนความสัมพันธ์สูงสุดเท่ากัน คือ 9 คะแนน ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 5 ปัจจัยที่เป็นไปได้ในการส่งผลต่อการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ ซึ่งแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 6.3 โดยจะนำปัจจัยเหล่านี้ไปทำการวิเคราะห์คุณลักษณะความเสียหายและผลกระทบที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตามมา (Failure mode and effect analysis) เพื่อหาปัจจัยที่เป็นไปได้ที่ส่งผลกระทบมากที่สุดไป ทำการวิเคราะห์ปัญหา และปรับปรุงเป็นลำดับถัดไป



รูปที่ 6.2 กราฟแสดงลำดับคะแนนของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์

ตารางที่ 6.3 ปัจจัยนำเข้าที่มีคะแนนสูงสุด 5 อันดับ

กลุ่มปัจจัย	ปัจจัยหลัก	ปัจจัยย่อย
Machine	ตู้เชื่อม	ทำงานผิดพลาด
Method	บริเวณขอบคมตัด	ไม่ใช้น้ำมันหล่อลื่น
Method	บริเวณขอบคมตัด	ใช้ชนิดการเคลือบผิวไม่เหมาะสม
Method	การเชื่อม	การบัดกรีในแต่ละจุดไม่ละเอียดถี่ถ้วน
Environment	สถานที่เก็บแม่พิมพ์	มีอุณหภูมิและความชื้นไม่เหมาะสม

จากตารางที่ 6.3 แสดงภาพรวมของปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยที่เป็นสาเหตุที่เป็นไปได้ในการเกิดการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ ซึ่งก่อให้เกิดของเสีย รวมถึงความล่าช้าในกระบวนการผลิต โดยจากการปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต สามารถสรุปรายละเอียดของเหตุผลในการเลือกแต่ละปัจจัย ดังนี้

1. การบัดกรีในแต่ละจุดไม่ละเอียดถี่ถ้วน เป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลต่อโครงสร้างของแม่พิมพ์แบบตัด โดยในการเชื่อมเหล็กเข้าหากันเป็นรูปร่างต่างๆ จำเป็นต้องทำการบัดกรีระหว่างข้อต่ออย่างละเอียดถี่ถ้วน เพื่อให้สามารถใช้งานแม่พิมพ์และพันช์ได้อย่างยาวนาน ในกรณีนี้ การบัดกรีในแต่ละจุดอย่างหละหลวมส่งผลให้แม่พิมพ์แตกหัก และเสียหายง่าย เมื่อเข้าสู่กระบวนการปั๊มตัด เมื่อเข้าสู่กระบวนการตัดวัสดุไปได้ในระยะหนึ่งจะทำให้แม่พิมพ์สึกหรอ และไม่สามารถใช้งานได้ในที่สุด
2. ใช้ชนิดการเคลือบผิวไม่เหมาะสม ได้แก่ ไม่เหมาะสมต่อการใช้งาน ไม่เหมาะสมต่อประเภทพื้นผิวโลหะ เป็นต้น เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดของแม่พิมพ์และพันช์ได้โดยง่ายเมื่อทำการปั๊มตัดวัสดุไปได้ระยะเวลาหนึ่ง รวมถึงส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของโลหะที่นำไปใช้ทำแม่พิมพ์ โดยในปัจจุบันมีเพียงการทาสี และชุบโลหะทองแดง ซึ่งอาจไม่เหมาะสมต่อการนำแม่พิมพ์และพันช์ไปใช้งานในบางประเภท ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาวิธีการเคลือบผิวให้เหมาะสม
3. ตู้เชื่อมทำงานผิดพลาด การที่อุปกรณ์สำคัญในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ ได้แก่ ตู้เชื่อมเกิดการทำงานผิดปกติ จะส่งผลให้ควบคุมกระแสไฟเชื่อม แรงดัน และความเร็วในการเชื่อม ได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพ จากตัวแปรเหล่านี้จะส่งผลให้ไม่สามารถควบคุมปริมาณความร้อนในกระบวนการเชื่อมได้ และส่งผลโดยตรงต่อรูปร่างของรอยเชื่อม โครงสร้างของแม่พิมพ์ และอาจเกิดการบิดตัวเสียรูปของโลหะ ดังนั้นเมื่อนำเข้าสู่กระบวนการปั๊มตัดจะทำให้แม่พิมพ์และพันช์เกิดการสึกหรอและเสียหายโดยง่าย
4. ไม่ใช้น้ำมันหล่อลื่นบริเวณขอบคมตัด จากสาเหตุนี้ส่งผลโดยตรงต่อการเกิดการสึกหรอเป็นเวลารวดเร็วหลังจากผ่านกระบวนการปั๊มตัดไปได้ระยะเวลาหนึ่ง เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นที่มีคุณภาพและเหมาะสมต่อการใช้งานสามารถลดแรงเสียดทาน ลดการกัดกร่อน และการสึกหรอได้ จากการน้ำมันหล่อลื่นทำหน้าที่เป็นแผ่นฟิล์มป้องกันระหว่างผิวสัมผัส ดังนั้นเมื่อไม่มีการใช้น้ำมันหล่อลื่น หรือใช้น้ำมันหล่อลื่นที่ไม่มีคุณภาพ จะทำให้เกิดการกัดกร่อนและการสึกหรอ จากการเสียดสีระหว่างพื้นผิวโลหะและพื้นผิววัสดุหลายครั้งในขณะแม่พิมพ์เข้าสู่กระบวนการปั๊มตัดวัสดุ
5. สถานที่เก็บแม่พิมพ์มีอุณหภูมิและความชื้นไม่เหมาะสม สภาวะอุณหภูมิของบริเวณที่เก็บแม่พิมพ์และพันช์ควรจะต้องมีอุณหภูมิที่เหมาะสมเนื่องจากแม่พิมพ์และพันช์ทำมาจากวัสดุประเภทโลหะซึ่งเหล็กหรือโลหะเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำและความชื้นใน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อากาศจะส่งผลให้เกิดสนิมตรงบริเวณใดบริเวณหนึ่ง และอาจลุกลามไปยังบริเวณอื่นอีกได้ โดยจากปัจจัยนี้จะส่งผลทางอ้อมที่ทำให้โลหะเกิดการกัดกร่อน และการสึกหรอบริเวณขอบคมตัด

6.3 การวิเคราะห์คุณลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่ตามมา (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA)

สำหรับขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุและแนวโน้มผลกระทบที่เกิดขึ้นจะเป็นการประเมินลักษณะข้อบกพร่องที่เป็นไปได้ สาเหตุ รวมถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง โดยพิจารณาจากปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) ในขั้นตอนก่อนหน้านี้ เพื่อทำการคัดกรองปัจจัยที่เป็นไปได้ทั้งหมด 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดการสึกหรอในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์อย่างแท้จริง ต่อจากนั้นนำปัจจัยที่ได้ไปเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ปัญหา และปรับปรุงกระบวนการเป็นลำดับถัดไป โดยขั้นตอนการวิเคราะห์คุณลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่ตามมา จะทำการประเมินความร้ายแรงของผลกระทบในแต่ละปัจจัย หลังจากนั้นนำค่าที่ได้จากการประเมินมาคูณกันเพื่อวิเคราะห์ตัวเลขแสดงลำดับความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN) ซึ่งพิจารณาจากรายละเอียดดังต่อไปนี้

- Severity (S) เป็นการประเมินความรุนแรงของผลกระทบ ซึ่งพิจารณาจากผลกระทบที่ส่งผลให้เกิดการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดของแม่พิมพ์และพันช์ โดยมีหลักเกณฑ์การให้คะแนน 1-10 ดังนี้

  1 = ไม่มีผลกระทบที่สามารถสังเกตได้

  10 = มีความรุนแรงของผลกระทบมากที่สุด

- Occurrence (O) เป็นการประเมินโอกาสการเกิดขึ้นของข้อบกพร่อง ซึ่งพิจารณาจากความเป็นไปได้ที่สาเหตุของปัญหาจะเกิดขึ้น โดยมีหลักเกณฑ์การให้คะแนน 1-10 ดังนี้

  1 = ไม่มีโอกาส หรือ แทบไม่มีโอกาสเกิดข้อบกพร่อง

  10 = ความถี่ของโอกาสเกิดข้อบกพร่องอยู่ในระดับสูงที่สุด

- Detection (D) เป็นการประเมินความสามารถในการตรวจจับปัญหา ซึ่งพิจารณาจากความสามารถของระบบป้องกัน หรือระบบควบคุมที่ออกแบบไว้ในปัจจุบัน โดยมีหลักเกณฑ์การให้คะแนน 1-10 ดังนี้

  1 = ระบบควบคุมตรวจจับปัญหาหรือข้อบกพร่องได้อย่างแน่นอน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

10 = ระบบควบคุมไม่สามารถตรวจจับปัญหาหรือข้อบกพร่องได้

จากนั้นประเมินลำดับแสดงความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN) ซึ่งคำนวณได้จากผลคูณของความรุนแรงของผลกระทบ (S) โอกาสในการเกิดข้อบกพร่อง (O) และการตรวจจับปัญหา (D) ดังแสดงในสมการที่ (4)

$$RPN = S \times O \times D \quad (4)$$

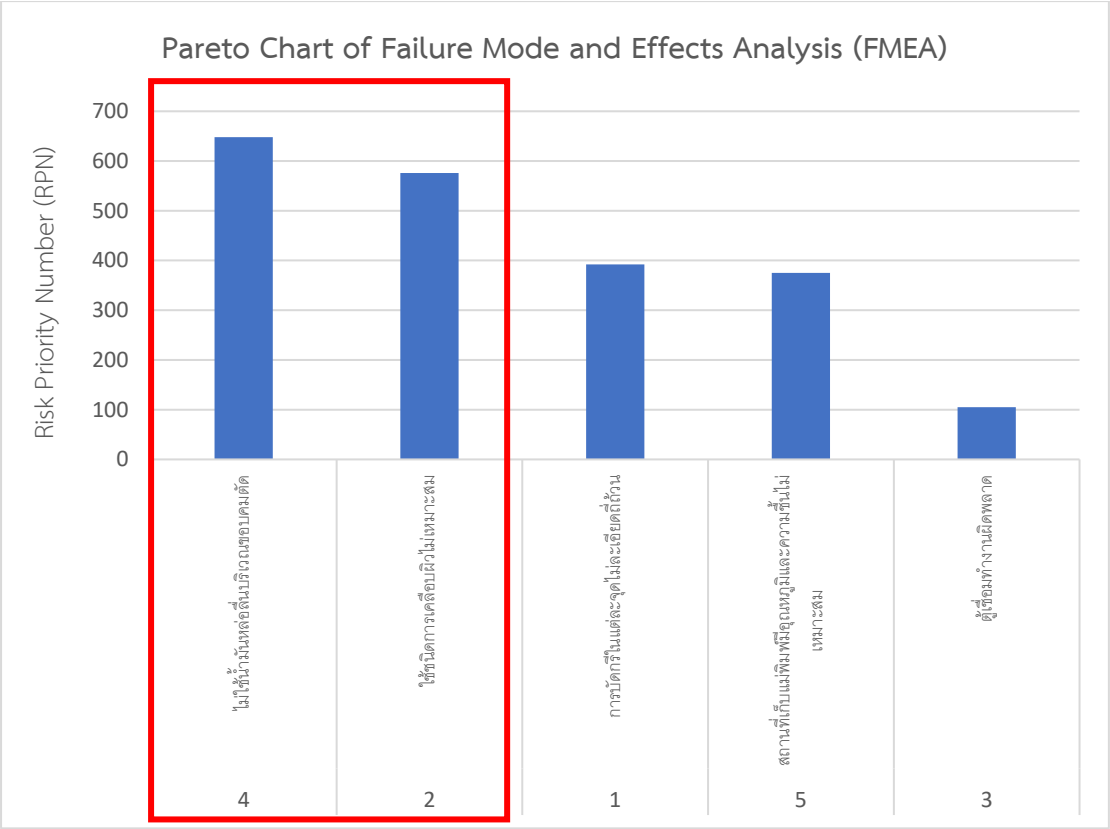
จากการระดมความคิดร่วมกับผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการผลิตเพื่อวิเคราะห์และให้คะแนนตามเกณฑ์การให้คะแนนของการวิเคราะห์สาเหตุและแนวโน้มผลกระทบที่เกิดขึ้น (FMEA) ได้ผลลัพธ์แสดงลำดับความเสี่ยง (RPN) ดังแสดงในตารางที่ 6.4 และสามารถสรุปผลโดยเรียงค่าลำดับความเสี่ยง (RPN) ในแต่ละปัจจัยด้วยแผนภาพพาเรโต ดังแสดงในรูปที่ 6.3

ตารางที่ 6.4 ผลการวิเคราะห์ FMEA เรียงลำดับแต่ละปัจจัยตามค่า RPN

ลำดับ	ลักษณะของข้อบกพร่อง	ค่า RPN
4	ไม่ใช้น้ำมันหล่อลื่นบริเวณขอบคมตัด	648
2	ใช้ชนิดการเคลือบผิวไม่เหมาะสม	576
1	การบัดกรีในแต่ละจุดไม่ละเอียดถี่ถ้วน	392
5	สถานที่เก็บแม่พิมพ์มีอุณหภูมิและความชื้นไม่เหมาะสม	375
3	ตู้เชื่อมทำงานผิดพลาด	105

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการวิเคราะห์คุณลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่ตามมา (FMEA) ได้นำค่าแสดงลำดับความเสี่ยง (RPN) จากค่ามากไปยังค่าน้อย เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีความสำคัญที่สุด โดยใช้แผนภาพพาเรโตในการเรียงลำดับปัจจัยด้วยค่า RPN ดังแสดงในรูปที่ 6.3 จะเห็นได้ว่า ค่า RPN ที่สูงที่สุด คือ 648 และ ค่า RPN รองลงมา คือ 576 มีทั้งหมด 2 ปัจจัย ได้แก่ ไม่ใช้น้ำมันหล่อลื่นบริเวณขอบคมตัด และ ใช้ชนิดการเคลือบผิวไม่เหมาะสม ซึ่ง 2 ปัจจัยนี้จะนำไปวิเคราะห์สภาพปัญหาและเข้าสู่ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการออกแบบการทดลองในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 6.3 แผนภาพพาเรโตเรียงลำดับความสำคัญแต่ละปัจจัยตามค่า RPN

6.4 สรุประยะการวิเคราะห์ปัญหา

ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา เป็นการศึกษาเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ในการเกิดการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ โดยใช้เครื่องมือแผนผังแสดงเหตุและผล ผ่านการระดมความคิดจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ปฏิบัติงานจริงในกระบวนการผลิต พบว่ามีปัจจัยที่เป็นไปได้ทั้งหมด 19 ปัจจัยที่ก่อให้เกิดการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดของแม่พิมพ์และพันช์ ต่อจากนั้นนำปัจจัยที่ได้มาทำการวิเคราะห์ด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) เพื่อคัดกรองปัจจัยตามเกณฑ์คะแนนที่กำหนดไว้ ซึ่งจากผลลัพธ์ทำให้มีปัจจัยคงเหลือ 5 ปัจจัยสุดท้าย ขั้นตอนสุดท้าย คือ นำปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยไปทำการวิเคราะห์คุณลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่ตามมา (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) เพื่อคัดเลือกสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดการสึกหรอในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์อย่างแท้จริง โดยเมื่อพิจารณาจากการเรียงลำดับความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN) จากค่ามากไปยังค่าน้อย จะได้ปัจจัยที่ทำให้เกิดลักษณะ

ข้อบกพร่องทั้งหมด 2 ปัจจัย ได้แก่ การไม่ใช้น้ำมันหล่อลื่นบริเวณขอบคมตัด และ ใช้ชนิดการเคลือบผิวไม่เหมาะสม ซึ่งจะนำ 2 ปัจจัยนี้ไปทำการวิเคราะห์ และปรับปรุงกระบวนการผลิตเป็นลำดับต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 7
การปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase)

สำหรับบทนี้จะเป็นการนำปัจจัยจากบทที่ 6 ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการระดมความคิดและวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือต่างๆ โดยมีทั้งหมด 2 ปัจจัย คือ การไม่ใช้น้ำมันหล่อลื่นบริเวณขอบคมตัด และ ใช้ชนิดการเคลือบผิวไม่เหมาะสม ซึ่งเป็นปัจจัยที่เป็นไปได้มากที่สุดที่ก่อให้เกิดการสึกหรอบริเวณขอบตัดของแม่พิมพ์และพันช์ มาทำการวิเคราะห์เพื่อทดสอบสมมติฐานทางสถิติว่าปัจจัยทั้งสองปัจจัยที่ผ่านการคัดกรองมาส่งผลต่อการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดของแม่พิมพ์และพันช์อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล

7.1 ปัจจัยนำเข้าสำหรับการทดลอง

จากขั้นตอนการวัดสภาพปัญหาโดยใช้หลักการการวิเคราะห์คุณลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่ตามมา (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) พบว่าปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการสึกหรอของแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ มีทั้งหมด 2 ปัจจัย คือ

1. ไม่ใช้น้ำมันหล่อลื่นบริเวณขอบคมตัด
2. ใช้ชนิดการเคลือบผิวไม่เหมาะสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

7.2 การทดสอบสมมติฐาน

ในการทดสอบสมมติฐาน ผู้วิจัยจะทำการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล เนื่องจากมีเพียง 2 ปัจจัย และแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 7.1 โดยจะทำการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ และหาอิทธิพลร่วมของปัจจัย เพื่อลดการสูญเสียค่าใช้จ่ายในการทำการทดลองในบทต่อไปที่ต้องทำไปพร้อมกับกระบวนการผลิตจริง

ตารางที่ 7.1 การกำหนดระดับปัจจัยในการทดสอบสมมติฐาน

ลำดับ	ปัจจัยนำเข้า	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย
1	น้ำมันหล่อลื่น	A	ไม่ใช้ทั้งคู่
2	การเคลือบผิว	B	ใช้ทั้งคู่

7.2.1 ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐาน

1) กำหนดแม่พิมพ์และพันช์เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ไม่มีการใช้น้ำมันหล่อลื่นและการเคลือบผิวบริเวณขอบคมตัด และ กลุ่มที่มีการใช้น้ำมันหล่อลื่นและการเคลือบผิวบริเวณขอบคมตัด
2) นำแม่พิมพ์และพันช์ทั้ง 2 กลุ่ม เข้าสู่กระบวนการปั๊มตัดวัสดุ
3) ทำการตรวจสอบการสึกหรอบริเวณขอบคมตัด รวมถึงความเสียหายของวัสดุชิ้นงานตัวอย่าง จากนั้นทำการบันทึกข้อมูล

7.2.2 การกำหนดสมมติฐานในการทดสอบ

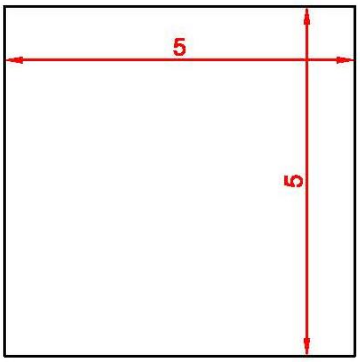
H_0 = สัดส่วนของเสียและการสึกหรอระหว่างสองกลุ่มไม่แตกต่างกัน

H_1 = สัดส่วนของเสียและการสึกหรอในกลุ่มที่ไม่ใช้น้ำมันหล่อลื่นและการเคลือบผิวมากกว่ากลุ่มที่ใช้น้ำมันหล่อลื่นและการเคลือบผิว

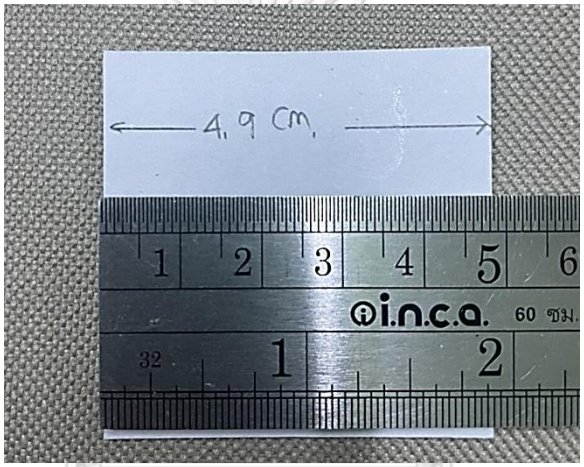
7.2.3 การกำหนดตัวชี้วัดลักษณะชิ้นงานดีและชิ้นงานเสีย

เกณฑ์ที่ใช้ในการวัดคุณภาพของชิ้นงานว่าชิ้นงานนั้นเป็นชิ้นงานดีหรือชิ้นงานเสียจะพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของขนาดชิ้นงาน โดยชิ้นงานหลังจากผ่านกระบวนการปั๊มตัดจะต้องมีขนาดเท่ากับตัวอย่างชิ้นงานต้นแบบ หรือ ในกรณีที่เกิดการสึกหรอเพียงเล็กน้อยชิ้นงานที่ยอมรับได้จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์ของขนาดที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น ดังรูปที่ 7.1 เป็นขนาดของตัวอย่างชิ้นงานต้นแบบซึ่งมีขนาด 5 เซนติเมตร ในกรณีที่เป็นชิ้นงานดีจะต้องมีขนาด 5 เซนติเมตร เท่าต้นแบบ หรือ เปลี่ยนแปลงจากขนาดต้นแบบน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 เปอร์เซ็นต์ กล่าวคือ มีขนาดไม่น้อยกว่า 4.95 เซนติเมตร หรือไม่เกิน 5.05 เซนติเมตร ในกรณีที่ชิ้นงานเสีย คือ มีการเปลี่ยนแปลงของขนาดมากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ กล่าวคือ ชิ้นงานมีขนาดน้อยกว่า 4.95 เซนติเมตร หรือ มีขนาดมากกว่า 5.05 เซนติเมตร ดังรูปที่ 7.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 7.1 ขนาดตัวอย่างชิ้นงานต้นแบบ



รูปที่ 7.2 ตัวอย่างขนาดชิ้นงานเสีย

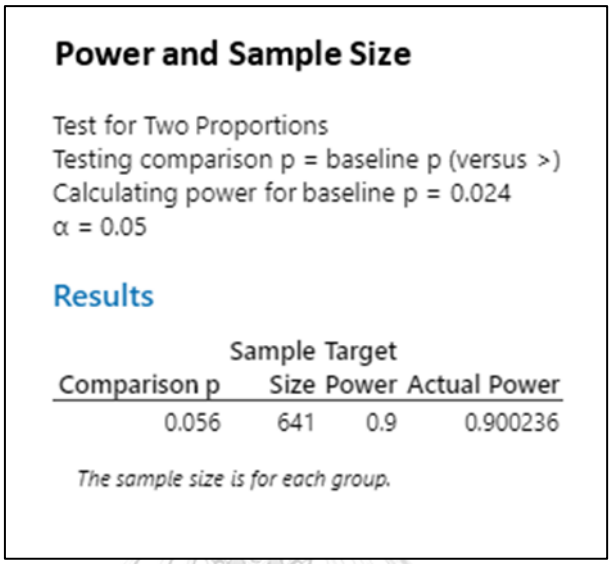
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

7.2.4 การคำนวณปริมาณชิ้นงานตัวอย่างในการทดสอบ

จากข้อมูลบันทึกทางด้านสถิติเกี่ยวกับสัดส่วนและปริมาณชิ้นงานตัวอย่างที่มีปัญหาในกระบวนการผลิตซึ่งเก็บข้อมูลชิ้นงานมาทั้งหมด 1,500 ชิ้น โดยจากข้อมูลอ้างอิงพบว่า ในกรณีที่แม่พิมพ์และพันช์ที่ไม่มีการใช้น้ำมันหล่อลื่นและไม่มีการเคลือบผิว เมื่อเข้าสู่กระบวนการปั๊มตัดวัสดุไปได้ระยะหนึ่ง จะมีสัดส่วนชิ้นงานไม่ได้มาตรฐานเท่ากับ 5.6% ในทางตรงกันข้าม แม่พิมพ์และพันช์ที่มีการใช้น้ำมันหล่อลื่นและมีการเคลือบผิว พบว่ามีสัดส่วนชิ้นงานไม่ได้มาตรฐานเท่ากับ 2.4% โดยเมื่อนำมาคำนวณเพื่อหาจำนวนชิ้นงานตัวอย่างในการทดลอง

ดังแสดงในรูปที่ 7.3 จะเห็นได้ว่า ต้องมีการเก็บข้อมูลชิ้นงานตัวอย่างในการทดลองเป็นจำนวนอย่างน้อย 641 ชิ้น ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อย่างไรก็ตาม จากการที่มีบันทึกข้อมูล

เกี่ยวกับชิ้นงานตัวอย่างทั้งหมด 1,500 ชิ้น ในกรณีนี้จึงไม่จำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพิ่มเติม และสามารถนำข้อมูลชุดนี้ไปวิเคราะห์เพื่อทดสอบสมมติฐานต่อไปได้



Power and Sample Size

Test for Two Proportions
Testing comparison p = baseline p (versus >)
Calculating power for baseline p = 0.024
α = 0.05

Results

Comparison p	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.056	641	0.9	0.900236

The sample size is for each group.

รูปที่ 7.3 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

7.2.4 ผลการทดสอบสมมติฐาน

หลังจากการทดสอบสมมติฐานเบื้องต้น ผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 7.2 จะเห็นได้ว่า กลุ่มที่ไม่มีการใช้น้ำมันหล่อลื่นและการเคลือบผิวบริเวณขอบคมตัด มีสัดส่วนชิ้นงานที่มีปัญหามากถึง 5.6% และมีการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดเป็นจุดที่มีขนาดเล็กหลายจุดบริเวณขอบคมตัด.โดยเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่มีการใช้น้ำมันหล่อลื่นและการเคลือบผิวบริเวณขอบคมตัดมีสัดส่วนชิ้นงานที่มีปัญหา 2.4% และมีการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดน้อยกว่า เมื่อวิเคราะห์ด้วยหลักการทางสถิติ พบว่าค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงดังรูปที่ 7.4

ตารางที่ 7.2 ผลการทดสอบสมมติฐาน

วิธีทดสอบในแม่พิมพ์และพันช์	**จำนวนชิ้นงานตัวอย่าง**	**ของเสีย**	
	(ชิ้น)	**จำนวน (ชิ้น)**	**สัดส่วน (%)**
ไม่ใช้น้ำมันหล่อลื่นและการเคลือบผิว	1,500	84	5.6
ใช้น้ำมันหล่อลื่นและการเคลือบผิว	1,500	36	2.4

Test and CI for Two Proportion

Descriptive Statistics

Sample	N	Event	Sample p
Sample 1	1500	84	0.056000
Sample 2	1500	36	0.024000

Estimation for Difference

Difference	95% Lower Bound for Difference
0.032	0.020270

CI based on normal approximation

Test

Null hypothesis	H_0: $p_1 - p_2 = 0$
Alternative hypothesis	H_1: $p_1 - p_2 > 0$

Method	Z-Value	P-Value
Normal approximation	4.49	0.000
Fisher's exact		0.000

รูปที่ 7.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการใช้น้ำมันหล่อลื่นและการเคลือบผิว

7.2.5 สรุปผลการทดสอบสมมติฐาน

จากการทดสอบสมมติฐานด้วยการใช้น้ำมันหล่อลื่นและมีการเคลือบผิวบริเวณขอบคมตัด พบว่ามีปริมาณชิ้นงานตัวอย่างที่มีปัญหาลดลงจาก 5.6% เป็น 2.4% หรือลดลงไปกว่า 48 ชิ้น รวมถึงมีการสึกหรอบริเวณขอมคมตัดน้อยลง โดยเมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ทางสถิติ จะเห็นได้ว่ามีค่า P-value เท่ากับ 0.00 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่ามีการปฏิเสธสมมติฐานหลัก และยอมรับสมมติฐานรอง กล่าวคือ แม่พิมพ์และพันช์ที่ไม่ใช้น้ำมันหล่อลื่นไม่มีการเคลือบผิวมีสัดส่วนของเสียและก่อให้เกิดการสึกหรอมากกว่าแม่พิมพ์และพันช์ที่ใช้น้ำมันหล่อลื่นและมีการเคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญ

7.3 การกำหนดปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

จากปัจจัยนำเข้าที่กล่าวไว้เบื้องต้นในหัวข้อ 7.1 ซึ่งมีทั้งหมด 2 ปัจจัย คือ น้ำมันหล่อลื่น และการเคลือบผิว ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญ และจะนำมากำหนดระดับปัจจัยเพื่อทำการศึกษาโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล โดยมีการกำหนดระดับปัจจัยอยู่ที่ 3 ระดับ และ 4 ระดับ โดยมีรายละเอียดในการเลือกระดับปัจจัยในแต่ละปัจจัย ดังนี้

1) น้ำมันหล่อลื่น

น้ำมันหล่อลื่นมีหลากหลายประเภท โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลัก คือ น้ำมันชีวภาพ น้ำมันแร่ และน้ำมันสังเคราะห์ โดยปกติ น้ำมันหล่อลื่นที่โรงงานใช้อยู่ในปัจจุบัน คือ น้ำมันสังเคราะห์ ซึ่งมีความอันตรายต่อผู้ใช้งานทั้งด้านสุขภาพ ได้แก่ การสัมผัสผ่านทางผิวหนัง การสูดดมกลิ่น รวมถึงกระทบด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การทิ้งอย่างผิดวิธีอาจทำให้ปนเปื้อนสู่ดิน หรือแหล่งน้ำ นอกจากนั้นประสิทธิภาพการลดการสึกหรอยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ซึ่งจากงานวิจัยที่ศึกษาเบื้องต้น พบว่า น้ำมันชีวภาพมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และปลอดภัยต่อผู้ใช้ รวมถึงสามารถชะลอการสึกหรอได้อย่างดี ดังนั้นจึงเลือกใช้ น้ำมันว่านหางจระเข้ น้ำมันมะพร้าว และ น้ำมันละหุ่ง ซึ่งหาได้ง่ายในประเทศไทย และมีต้นทุนไม่สูงมาก โดยจะมีการใช้ น้ำมันแร่ นำมาทดลองร่วมด้วยเพื่อนำมาเปรียบเทียบ และหาค่าที่ดีที่สุดในการลดการสึกหรอ ซึ่งข้อมูลของคุณสมบัติทางเคมีของประเภทน้ำมันหล่อลื่นที่เลือกใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.3 คุณสมบัติทางเคมีของแต่ละชนิดน้ำมันหล่อลื่น

ชนิด น้ำมันหล่อลื่น	**คุณสมบัติ**		
	จุดเดือด (°C)	**ความหนืดที่ 100°C (mm^2/s)**	**จุดวาบไฟ (°C)**
น้ำมันละหุ่ง	313	19.7	250
น้ำมันมะพร้าว	270-280	6	296
น้ำมันว่านหางจระเข้	442.5±45.0	10	350
น้ำมันแร่	260 - 330	11	193

2) การเคลือบผิว

จากกระบวนการผลิตในปัจจุบันของโรงงาน สำหรับเหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์และพันช์จะทำการชุบแข็งก่อนนำมาผลิตเท่านั้น ทำให้ก่อให้เกิดการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดเมื่อผ่านการใช้งานไปได้ระยะเวลาหนึ่ง ในปัจจุบัน นิยมใช้การเคลือบฟิล์มบางมาปรับใช้เนื่องจากสามารถใช้งานได้หลากหลาย และมีต้นทุนต่ำ โดยจากการศึกษางานวิจัยเบื้องต้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ การเคลือบฟิล์มบางแบบไอกายภาพ (Physical Vapor Deposition, PVD) เนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้กับงานได้หลากหลายอุตสาหกรรม โดยเฉพาะกับงานประเภทแม่พิมพ์ ซึ่งสามารถช่วยยืดอายุการใช้งาน ลดการสึกหรอ และสามารถลดของเสียได้ โดยระดับปัจจัยที่เลือกนำมาใช้ในการทดลองมี 3 ระดับ คือ ชนิดฟิล์มบางประเภท TiCN ชนิดฟิล์มบางประเภท TiAlN และ ชนิดฟิล์มบางประเภท AlCrN ซึ่งลักษณะการเคลือบผิวแบบ PVD ทั้ง 3 ชนิด มีวิธีการคล้ายคลึงกัน คือ ใช้เทคโนโลยีแคโทดหมุนด้านข้างในการสร้างฟิล์มบางที่ใช้กลไกทางกายภาพ เช่น สปัตเตอริง (sputtering) และการระเหย เพื่อทำให้สารตั้งต้นเกิดการควบแน่นและระเหยกลายเป็นไอ จากนั้นไอ (สามารถเป็นได้ทั้งอะตอมหรือไอออน) ที่เกิดขึ้นจะตกเคลือบบนชิ้นงานที่นำไปเคลือบผิว (อรุณี หลักคำ, วิทวัช วงศ์พิศาล, 2557) ซึ่งคุณสมบัติในแต่ละชนิดการเคลือบผิวที่ใช้ทดลองมีรายละเอียดเบื้องต้น (Coatings, n.d.) ดังตารางที่ 7.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 7.4 ลักษณะและคุณสมบัติการเคลือบผิวแบบ PVD ที่ใช้ในการทดลอง

ลักษณะและคุณสมบัติ	**การเคลือบผิวแบบ PVD**		
	TiCN	**TiAlN**	**AlCrN**
อุณหภูมิในกระบวนเคลือบ	448°C	476°C	398°C
ประเภทพื้นผิวที่เหมาะกับการเคลือบ	- เหล็ก - เหล็กชุบแข็ง - ไทเทเนียม - สเตนเลส	- เหล็ก - เหล็กชุบแข็ง	- เหล็ก - เหล็กชุบแข็ง
ความหนา	1–4 ไมครอน	1–4 ไมครอน	1–4 ไมครอน
จุดเด่น	- ลดแรงเสียดทาน - ทนทานต่อการสึกหรอ	- ทนความร้อน - ลดแรงเสียดทาน - ทนทานต่อการสึกหรอสูง - ทนต่อการเกิดออกซิเดชัน	- ทนความร้อน - ลดแรงเสียดทาน - ทนทานต่อการสึกหรอสูง - ทนต่อการเกิดออกซิเดชัน - ทนต่อสารเคมี
สีที่ได้หลังการเคลือบผิว	สีโรสโกลด์	สีม่วง หรือ สีดำ	สีเงินเมทัลลิก

+

จากการกำหนดปัจจัยในการทดลองมีทั้งหมด 2 ปัจจัย การเคลือบผิว และ น้ำมันหล่อลื่น โดยกำหนดระดับปัจจัยอยู่ที่ 3 ระดับ และ 4 ระดับ ซึ่งแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 7.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 7.5 ปัจจัยและระดับของปัจจัยสำหรับการทดลอง

สัญลักษณ์	**ปัจจัย**	**ระดับปัจจัย**			
Lubricant	น้ำมันหล่อลื่น	น้ำมันว่านหางจระเข้ (Aloe vera oil)	น้ำมันมะพร้าว (Coconut oil)	น้ำมันละหุ่ง (Castor oil)	น้ำมันแร่ (Mineral oil)
Coating	การเคลือบผิว	PVD - AlCrN	PVD - TiAlN	PVD - TiCN	-

7.4 ตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรตอบสนองที่กำหนดในกระบวนการทดลอง คือ การสึกหรอที่เกิดขึ้นบริเวณขอบคมตัดของแม่พิมพ์และพันช์ โดยวัดจากน้ำหนักของเหล็กที่ลดลงหลังจากการเข้าสู่กระบวนการปั๊มตัด เหล็กที่มีการสึกหรอจำนวนมากจะมีน้ำหนักที่ลดลงค่อนข้างมาก ในทางตรงข้ามกัน เหล็กที่มีการสึกหรอน้อยจะมีน้ำหนักที่ลดลงน้อย

7.5 ปัจจัยควบคุม

ในกระบวนการทดลอง อาจมีปัจจัยอื่นที่ไม่ได้ต้องการศึกษา แต่ส่งผลให้ผลการทดลองเปลี่ยนไปหรือคลาดเคลื่อน ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดปัจจัยควบคุม ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1) วัสดุที่ใช้ในการผลิตแม่พิมพ์ และพันช์ ต้องมาจากเหล็กประเภทเดียวกัน แหล่งผลิตที่เหมือนกัน และเป็นล็อตเดียวกัน ประเภทวัสดุสำหรับทำแม่พิมพ์และพันช์ที่ใช้ในการทดลอง คือ เหล็ก SKD-11 ซึ่งเป็นเหล็กที่มีความแข็งแรง และความทนทานต่อการสึกหรอสูง โดยนิยมใช้ผลิตแม่พิมพ์แบบตัด แม่พิมพ์ปั๊ม แม่พิมพ์พลาสติก และอื่นๆ ซึ่งจะทำการชุบแข็งให้ได้ค่าความแข็ง 60±2 HRC ที่ระดับเดียวกัน
2) วัสดุที่ใช้ในกระบวนการปั๊มตัดเป็นวัสดุประเภทเดียวกันทุกการทดลอง ในกรณีนี้จะใช้วัสดุประเภทหนัง มาเป็นวัสดุในการตัดเฉือน
3) ในการทดลองจะใช้พนักงานคนเดียวกันในการควบคุมการปั๊มตัดตลอดระยะเวลากระบวนการปรับปรุง
4) เครื่องเพลสที่ใช้ในกระบวนการปั๊มตัด เป็นเครื่องเพลสเครื่องเดียวกัน และมีการตั้งค่าที่เหมือนกันทุกการทดลอง
5) วิเคราะห์ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักวอร์เนียร์ไฮเกจแบบตัวเลขด้วยเครื่องเดียวกันในทุกการทดลอง
6) จำนวนครั้งในการปั๊มตัด คือ 500 ครั้ง ก่อนนำไปวิเคราะห์ผล

7.6 การออกแบบการทดลอง

ขั้นตอนนี้จะเป็นการกำหนดวิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล ซึ่งมีปัจจัยนำเข้าสำคัญทั้งหมด 2 ปัจจัย โดยปัจจัยที่ 1 มี 3 ระดับ และ ปัจจัยที่ 2 มี 4 ระดับ ซึ่งมีรายละเอียดการออกแบบการทดลอง ดังนี้

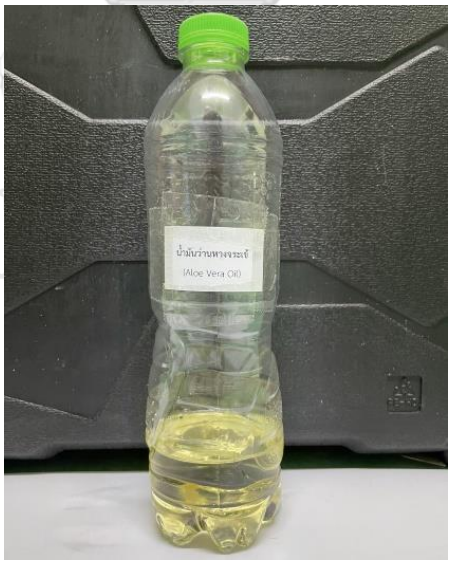
1) การทดลองจะมีลำดับขั้นตอนแบบสุ่ม (Randomization) เพื่อลดปัจจัยภายนอกที่อาจส่งผลกระทบต่อการทดลอง โดยจะมีการเรียงลำดับการสุ่ม และดำเนินการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab 19

2) ในการทดลองนี้ มีปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 2 ปัจจัย โดยแบ่งออกเป็น 3 ระดับ และ 4 ระดับ ซึ่งมีการทดลองควบคู่ไปกับกระบวนการผลิตจริง ซึ่งมีการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง โดยดำเนินการทดลองเป็นเวลา 2 วัน เพื่อตรวจสอบความแม่นยำในผลการทดลองที่ได้ ดังนั้นจะมีจำนวนในการทดลอง (Runs) ทั้งหมด 24 การทดลอง

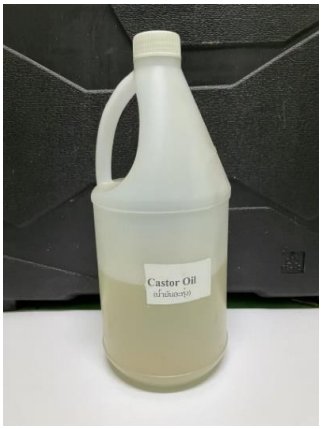
7.7 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

จากการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล ซึ่งมีทั้งหมด 2 ปัจจัย ซึ่งปัจจัยด้านน้ำมันหล่อลื่นมี 4 ระดับ และปัจจัยด้านการเคลือบผิวมี 3 ระดับ โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการทดลอง ดังนี้

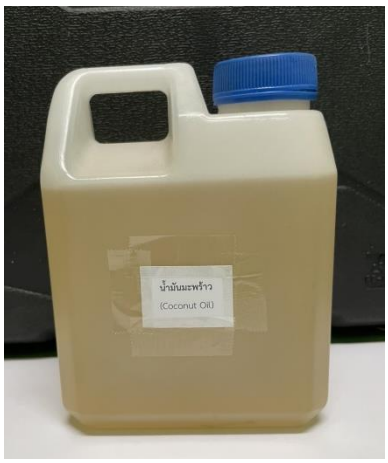
1) จัดเตรียมวัสดุ และเครื่องมือสำหรับการทดลอง



รูปที่ 7.5 น้ำมันว่านหางจระเข้ (Aloe Vera Oil)



รูปที่ 7.6 น้ำมันละหุ่ง (Castor Oil)



รูปที่ 7.7 น้ำมันมะพร้าว (Coconut Oil)

รูปที่ 7.8 น้ำมันแร่ (Mineral Oil)

รูปที่ 7.9 พันช์ที่ผ่านการเคลือบผิวเรียบร้อยแล้ว

2) วัดน้ำหนักเหล็ก และพันช์ ก่อนเข้าสู่กระบวนการปั๊มตัด จากนั้นทำการบันทึกไว้ โดยจะทำการทดลอง 2 ปัจจัย คือ น้ำมันหล่อลื่น ซึ่งแบ่งเป็น 4 ระดับ ได้แก่ น้ำมันว่านหางจระเข้ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันละหุ่ง และ น้ำมันแร่ ในส่วนของปัจจัยที่สอง คือ การเคลือบผิว ซึ่งแบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ การเคลือบฟิล์มบาง PVD ประเภท TiCN การเคลือบฟิล์มบาง PVD ประเภท TiAlN และ การเคลือบฟิล์มบาง PVD ประเภท AlCrN
3) จากนั้นนำแม่พิมพ์และพันช์เข้าสู่กระบวนการปั๊มตัด 10,000 ครั้ง หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนัก เพื่อวัดผลตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าการสึกหรอของเหล็ก
4) ตรวจสอบสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้น รวมถึงขนาด และคุณภาพของชิ้นงานตัวอย่าง พร้อมทำการบันทึกผล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

7.8 ผลการทดลอง

จากการทดลองด้วยหลักการทดลองแบบแฟกทอเรียลเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการลดการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ มีผลลัพธ์การทดลองดังแสดงในตารางที่ 7.6

ตารางที่ 7.6 ผลการทดลองการสึกหรอหลังจากปั๊มตัดวัสดุ 10,000 ครั้ง

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Coating	Lubricant	Weight Down (G)
14	1	1	2	AlCrN	Coconut	2.850
13	2	1	2	AlCrN	Aloe Vera	1.228
15	3	1	2	AlCrN	Castor	1.430
19	4	1	2	TiAlN	Castor	2.743
16	5	1	2	AlCrN	Mineral	3.143
20	6	1	2	TiAlN	Mineral	4.625
23	7	1	2	TiCN	Castor	5.526
24	8	1	2	TiCN	Mineral	7.945
17	9	1	2	TiAlN	Aloe Vera	2.342
21	10	1	2	TiCN	Aloe Vera	4.452
18	11	1	2	TiAlN	Coconut	3.298
22	12	1	2	TiCN	Coconut	6.502
5	13	1	1	TiAlN	Aloe Vera	2.418
6	14	1	1	TiAlN	Coconut	3.525
4	15	1	1	AlCrN	Mineral	3.365
11	16	1	1	TiCN	Castor	5.384
3	17	1	1	AlCrN	Castor	1.525
9	18	1	1	TiCN	Aloe Vera	4.560
8	19	1	1	TiAlN	Mineral	4.575
7	20	1	1	TiAlN	Castor	2.896
10	21	1	1	TiCN	Coconut	6.430
12	22	1	1	TiCN	Mineral	8.258
1	23	1	1	AlCrN	Aloe Vera	1.235
2	24	1	1	AlCrN	Coconut	2.953

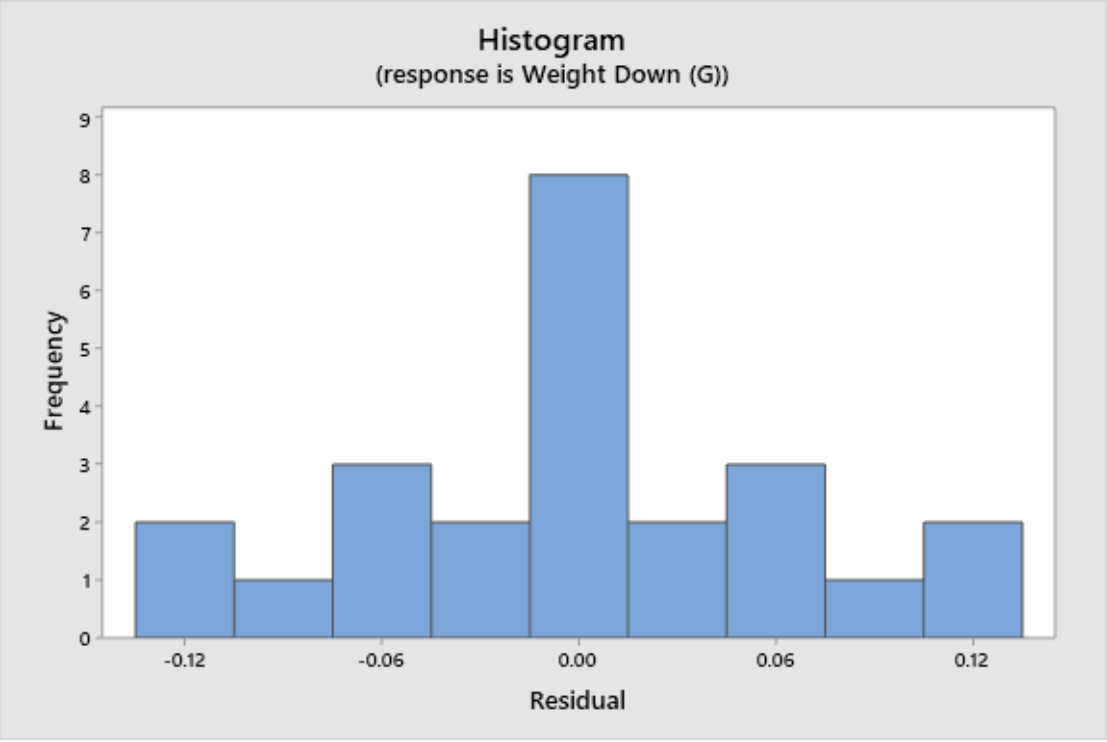
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

7.9 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

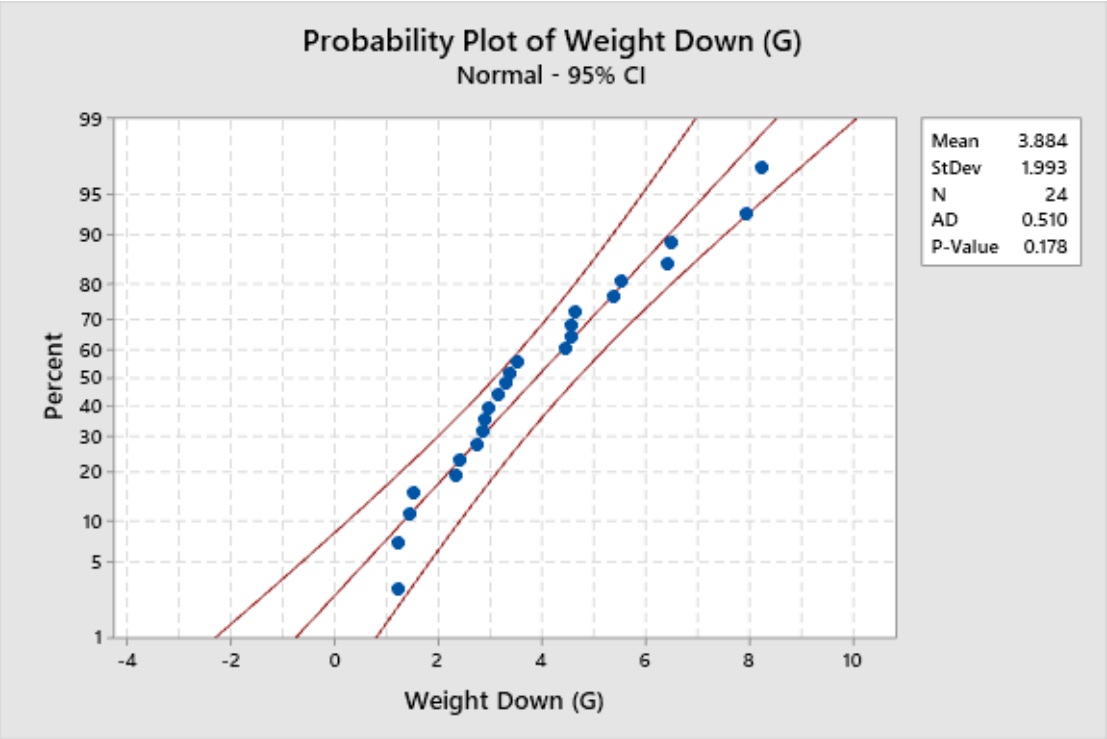
เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ ก่อนขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลองจำเป็นต้องตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานหรือแบบจำลอง (Model adequacy checking) โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะใช้โปรแกรม Minitab 19 ในการตรวจสอบทั้งหมด 3 ข้อ ได้แก่ การตรวจสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล การตรวจสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติ และการตรวจสอบสมมติฐานความเป็นอิสระ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

7.9.1 การตรวจสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติ

ในขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบว่าชุดข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองเบื้องต้นมีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ โดยสามารถตรวจสอบได้จากรูปแบบกราฟฮิสโตแกรม ซึ่งหากข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ กราฟจะต้องมีลักษณะคล้ายรูประฆังคว่ำ นอกจากนี้ ต้องพิจารณากราฟของค่าส่วนตกค้าง (Residual) ของตัวแปรตอบสนอง ในกรณีที่มีค่า P-value มากกว่าหรือเท่ากับ 0.05 จะสามารถสรุปได้ว่าชุดข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 7.10 ผลตรวจสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติด้วยแผนภูมิพาเรโต



รูปที่ 7.11 ผลตรวจสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติของค่าส่วนตกค้าง

หลังจากดำเนินการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ ได้ผลดังรูปที่ 7.10 และ รูปที่ 7.11 จะเห็นได้ว่า

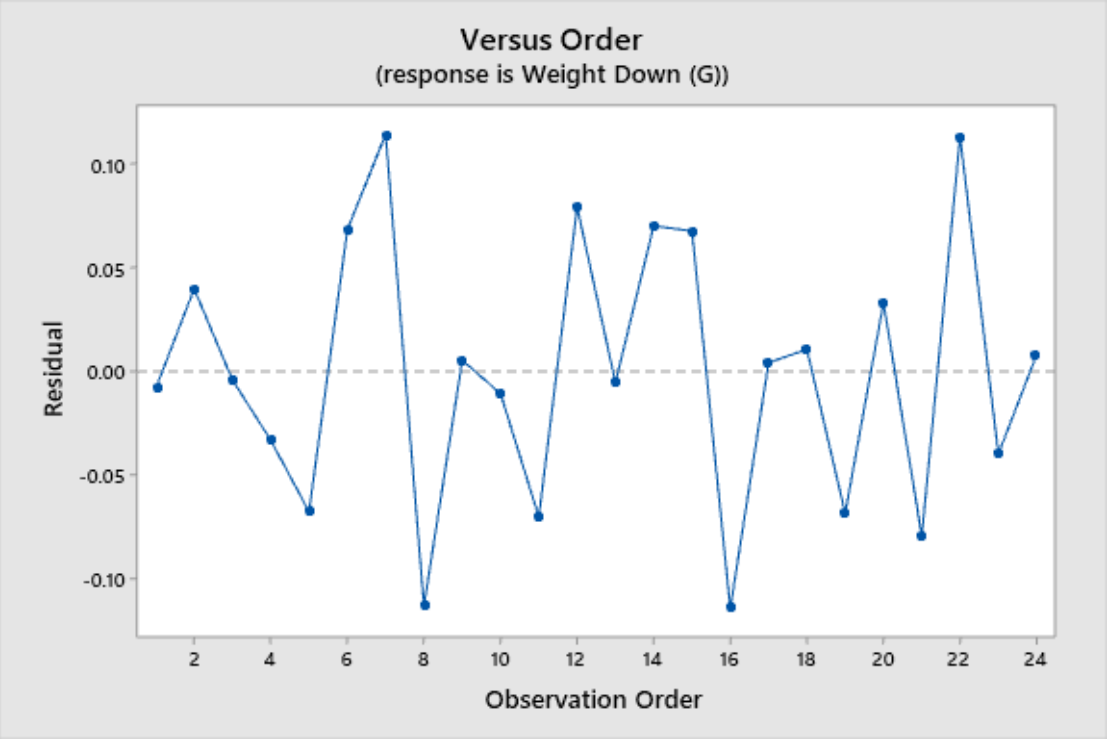
1) กราฟฮิสโตแกรมมีลักษณะคล้ายกับรูประฆังคว่ำ
2) มีค่า P-value เท่ากับ 0.178 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05
3) กราฟมีการกระจายตัวของข้อมูลในลักษณะแนวโน้มเป็นเส้นตรง

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากผลลัพธ์ที่ได้ซึ่งตรงกับเงื่อนไข ทำให้สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลชุดนี้มีการแจกแจงแบบปกติ

7.9.2 การตรวจสอบสมมติฐานความเป็นอิสระ

การตรวจสอบสมมติฐานความเป็นอิสระเป็นการพิจารณาถึงลำดับการจัดเก็บข้อมูลในการทดลอง (Observation Order) และส่วนตกค้าง (Residual) ซึ่งทดสอบชุดข้อมูลในการเป็นอิสระต่อกัน โดยการพิจารณาว่าข้อมูลที่ได้เป็นอิสระต่อกัน กราฟจะต้องมีการกระจายตัวในลักษณะสุ่ม และไม่มีรูปแบบ หรือแนวโน้ม

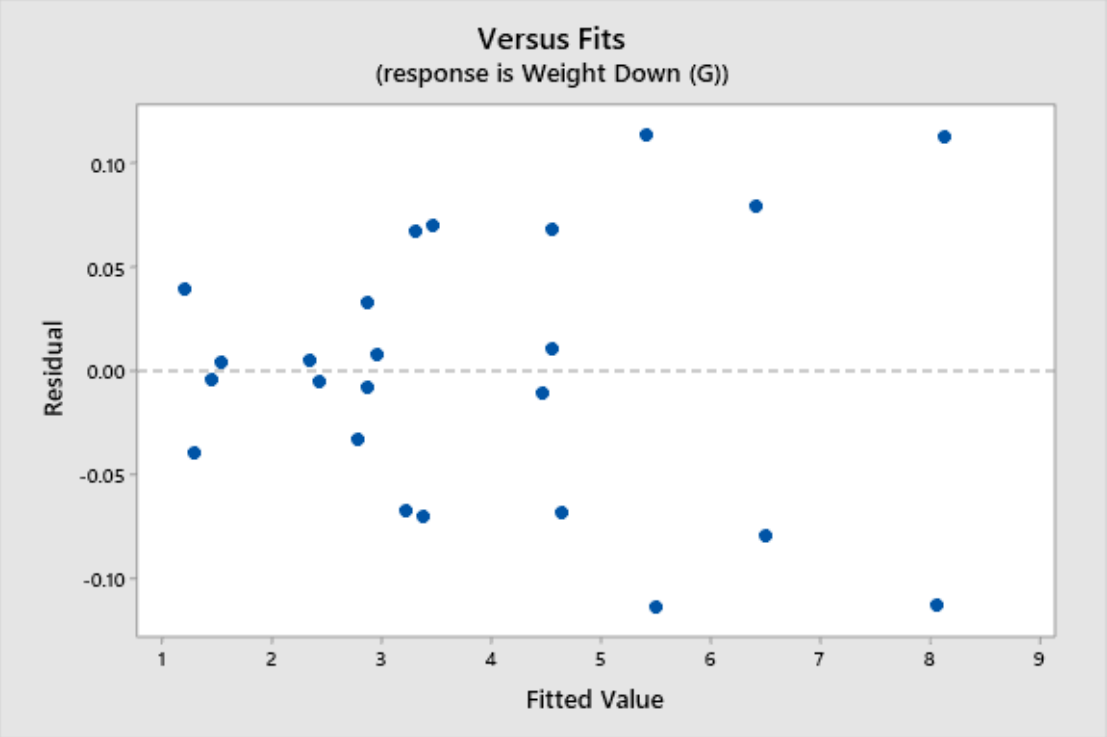
หลังจากดำเนินการทดสอบความเป็นอิสระต่อกันได้ผลดังรูปที่ 7.12 จะเห็นได้ว่า กราฟมีลักษณะการกระจายแบบสุ่ม ไม่มีลักษณะหรือแนวโน้มที่แน่นอน จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลชุดนี้มีเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 7.12 ผลการตรวจสอบสมมติฐานความเป็นอิสระ

7.9.3 การตรวจสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล

การตรวจสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนของข้อมูล สามารถพิจารณาได้จากกราฟระหว่างค่าตัวแปรสนองที่เป็นผลลัพธ์ของตัวแบบถดถอยและส่วนตกค้าง (Residual) ซึ่งการพิจารณาว่าชุดข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน กราฟจะต้องมีการกระจายตัวในลักษณะสุ่มและไม่มีรูปแบบ หรือไม่มีแนวโน้มที่แน่นอน รวมถึงข้อมูลมีความกว้างระหว่างกันคงที่ โดยจากรูปที่ 7.13 จะเห็นได้ว่ากราฟมีลักษณะการกระจายตัวไม่มีรูปแบบแน่นอน และมีช่วงความกว้างของข้อมูลค่อนข้างคงที่ ดังนั้นชุดข้อมูลจากการทดลองมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล



รูปที่ 7.13 ผลการตรวจสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล

7.10 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อได้ผลการทดลองดังตารางที่ 7.4 จึงนำค่าผลลัพธ์ที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab 19 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับค่าการสึกหรอ ซึ่งได้ผลวิเคราะห์ดังรูปที่ 7.14

General Factorial Regression: Weight Down (G) versus Blocks, Coating, Lubricant

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	12	91.3036	7.6086	849.57	0.000
Blocks	1	0.0451	0.0451	5.03	0.046
Linear	5	89.3184	17.8637	1994.64	0.000
Coating	2	65.3898	32.6949	3650.68	0.000
Lubricant	3	23.9286	7.9762	890.61	0.000
2-Way Interactions	6	1.9401	0.3233	36.10	0.000
Coating*Lubricant	6	1.9401	0.3233	36.10	0.000
Error	11	0.0985	0.0090		
Total	23	91.4021			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0946353	99.89%	99.77%	99.49%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	3.8837	0.0193	201.05	0.000	
Blocks					
1	0.0433	0.0193	2.24	0.046	1.00
Coating					
AlCrN	-1.6675	0.0273	-61.04	0.000	1.33
TiAlN	-0.5809	0.0273	-21.26	0.000	1.33
Lubricant					
Aloe Vera	-1.1778	0.0335	-35.20	0.000	1.50
Coconut	0.3760	0.0335	11.24	0.000	1.50
Castor	-0.6330	0.0335	-18.92	0.000	1.50
Coating*Lubricant					
AlCrN Aloe Vera	0.1932	0.0473	4.08	0.002	2.00
AlCrN Coconut	0.3094	0.0473	6.54	0.000	2.00
AlCrN Castor	-0.1056	0.0473	-2.23	0.047	2.00
TiAlN Aloe Vera	0.2551	0.0473	5.39	0.000	2.00
TiAlN Coconut	-0.2673	0.0473	-5.65	0.000	2.00
TiAlN Castor	0.1497	0.0473	3.16	0.009	2.00

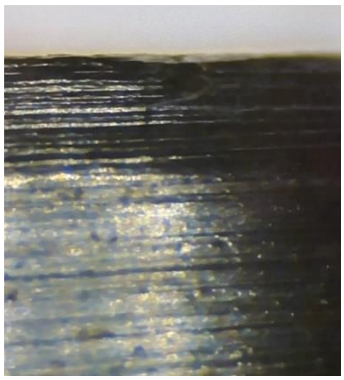
รูปที่ 7.14 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดของแม่พิมพ์และพันช์

จากรูปที่ 7.14 แสดงผลทางสถิติของการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการลดการสึกหรอของแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ โดยพิจารณาจากค่า P-value ในกรณีที่ค่า P-value มีค่าน้อยกว่าระดับ

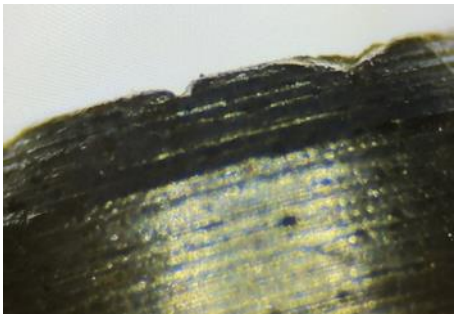
นัยสำคัญ 0.05 สามารถสรุปได้ว่า ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ปัจจัยนั้นส่งผลต่อการลดการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์อย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 7.14 จะเห็นได้ว่า มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ทั้งหมด 3 เทอม ได้แก่ ผลกระทบหลักของการเคลือบผิว (Coating) ผลกระทบหลักของน้ำมันหล่อลื่น (Lubricant) และมีผลกระทบร่วมระหว่างการเคลือบผิวกับน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งทั้งหมดมีค่า P-value อยู่ที่ 0.000 นอกจากนี้ จากการวิเคราะห์การถดถอย จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ หรือ R-Sq (adj) มีค่าเท่ากับ 99.77% ซึ่งมีค่ามากกว่า 70% จึงสามารถยอมรับได้

เมื่อพิจารณาเพิ่มเติมโดยการใช้กราฟแสดงผลกระทบหลักดังแสดงในรูปที่ 7.15 ในแง่ของผลกระทบหลักด้านการเคลือบผิว จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้การเคลือบผิวชนิด PVD – AlCrN มีสัดส่วนของน้ำหนักเหล็กลดลงน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักก่อนการเข้าสู่กระบวนการปั๊มตัดวัสดุ โดยในรูปที่ 7.16 แสดงให้เห็นถึงการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดค่อนข้างน้อย และไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า ในทางตรงกันข้ามการเคลือบผิวชนิด PVD – TiCN มีสัดส่วนของน้ำหนักเหล็กที่ลดลงมากที่สุด รวมถึงแสดงให้เห็นถึงการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดมากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 7.17

รูปที่ 7.15 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยด้านการเคลือบผิวและน้ำมันหล่อลื่น

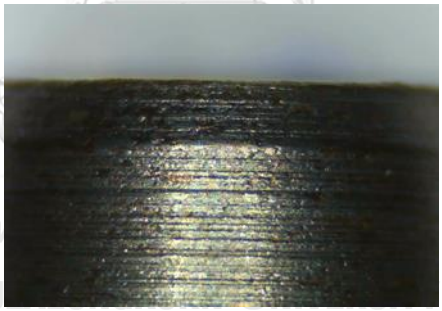


รูปที่ 7.16 ลักษณะการสึกหรอของการเคลือบผิวชนิด PVD – AlCrN



รูปที่ 7.17 ลักษณะการสึกหรอของการเคลือบผิวชนิด PVD – TiCN

ในด้านของผลกระทบหลักของน้ำมันหล่อลื่น ดังรูปที่ 7.18 จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้น้ำมันว่านหางจระเข้ มีสัดส่วนของน้ำหนักเหล็กลดลงน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักก่อนการเข้าสู่กระบวนการปั๊มตัดวัสดุ รองลงมา คือ น้ำมันละหุ่ง น้ำมันมะพร้าว ตามลำดับ โดยน้ำมันแร่ มีสัดส่วนของน้ำหนักเหล็กที่ลดลงมากที่สุด และมีส่วนในการลดการสึกหรอน้อยที่สุด



รูปที่ 7.18 ลักษณะการสึกหรอของพันช์ที่ใช้น้ำมันว่านหางจระเข้

เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 7.19 ซึ่งเป็นแม่พิมพ์แบบตัดที่ไม่มีการเคลือบผิวและไม่มีการใช้น้ำมันหล่อลื่น หลังจากการเข้าสู่กระบวนการปั๊มตัดมากกว่า 10,000 ครั้ง จะเห็นได้ว่ามีการเกิดสนิมทั่วบริเวณขอบคมตัด และมีการสึกหรออย่างเห็นได้ชัดซึ่งสามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า

รูปที่ 7.19 ตัวอย่างการสึกหรอของแม่พิมพ์ที่ไม่มีการเคลือบผิวและไม่มีการใช้น้ำมันหล่อลื่น

7.11 การหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

หลังจากการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับการลดการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ คือ ปัจจัยด้านการเคลือบผิว และ ปัจจัยด้านน้ำมันหล่อลื่นมีผลต่อการลดการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดอย่างมีนัยสำคัญ ในขั้นตอนต่อไป จะดำเนินการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า (Optimization Technique) โดยตัวแปรตอบสนองของงานวิจัยนี้ คือ การลดสึกหรอ โดยวัดจากค่าน้ำหนักของเหล็กที่ลดลง ซึ่งจากการวิเคราะห์เพื่อหาค่าระดับที่เหมาะสม โดยใช้เป้าหมายในการหาค่าของผลตอบสนอง คือ ระดับต่ำที่สุด (Minimize) ด้วยโปรแกรม Minitab 19 แสดงผลดังรูปที่ 7.20

Chulalongkorn University

Response Optimization: Weight Down (G)

Parameters

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
Weight Down (G)	Minimum		1.228	8.258	1	1

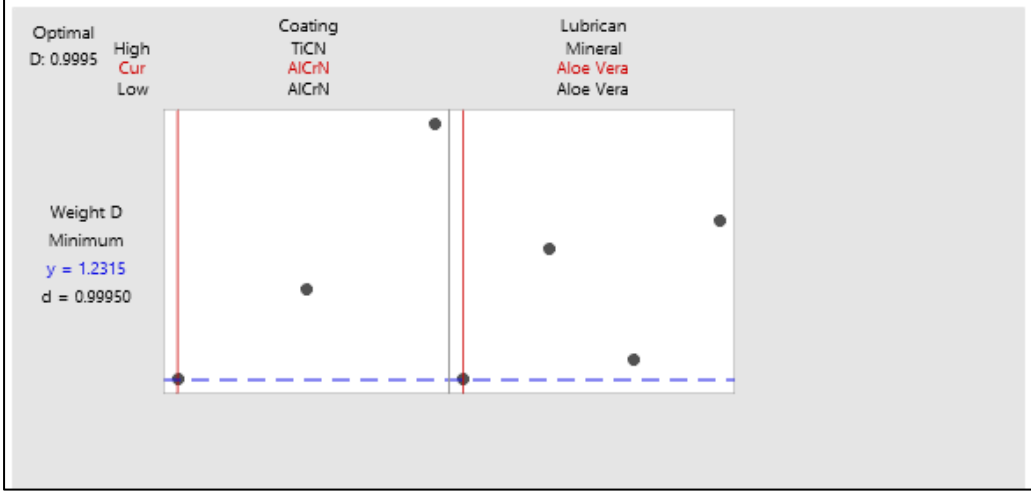
Solution

Solution	Coating	Lubricant	Weight Down (G) Fit	Composite Desirability
1	AlCrN	Aloe Vera	1.2315	0.999502

Multiple Response Prediction

Variable	Setting
Coating	AlCrN
Lubricant	Aloe Vera

Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
Weight Down (G)	1.2315	0.0669	(1.0842, 1.3788)	(0.9764, 1.4866)



รูปที่ 7.20 ผลการหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย (Response Optimization)

จากรูปที่ 7.20 สามารถสรุปได้ว่า การเคลือบผิวชนิด PVD – AlCrN และการใช้น้ำมันว่านหางจระเข้สามารถลดการสึกหรอได้มากที่สุด โดยเมื่อนำมาสรุปค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าจะแสดงดังตารางที่ 7.7

ตารางที่ 7.7 ค่าที่เหมาะสมสำหรับลดการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดของแม่พิมพ์และพันช์

ลำดับ	สัญลักษณ์	ปัจจัยนำเข้า	ระดับปัจจัยที่เหมาะสม
1	Coating	การเคลือบผิว	PVD - AlCrN
2	Lubricant	น้ำมันหล่อลื่น	น้ำมันว่านหางจระเข้

7.12 สรุประยะการปรับปรุงกระบวนการ

ในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ นำปัจจัยที่ผ่านการคัดเลือกจากขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา ได้แก่ การเคลือบผิว และ น้ำมันหล่อลื่น มาทำการออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าต่อการส่งผลในการลดการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ จากการทดสอบสมมติฐานโดยการแบ่งกลุ่มแม่พิมพ์และพันช์ที่ใช้ในการทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ไม่ใช้น้ำมันหล่อลื่นและไม่มีการเคลือบผิว กับ กลุ่มที่ใช้น้ำมันหล่อลื่นและมีการเคลือบผิว พบว่า กลุ่มของแม่พิมพ์และพันช์ที่ใช้น้ำมันหล่อลื่นและมีการเคลือบผิวก่อให้เกิดสัดส่วนของเสียน้อยกว่ากลุ่มที่ใช้น้ำมันหล่อลื่นและมีการเคลือบผิว ดังนั้นจึงได้นำปัจจัยนำเข้าทั้ง 2 ปัจจัย มาทำการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล โดยปัจจัยด้านการเคลือบผิวมี 3 ระดับ และ ปัจจัยน้ำมันด้านหล่อลื่นมี 4 ระดับ ทำการออกแบบการทดลอง 2 ครั้ง ซึ่งมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 24 การทดลอง ผลที่ได้จากการทดลองพบว่า ปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยผลต่อการสึกหรออย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเมื่อนำไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมพบว่า การใช้การเคลือบผิวชนิด PVD – AlCrN และ น้ำมันว่านหางจระเข้ส่งผลให้เกิดการสึกหรอน้อยที่สุด หลังจากนี้จะนำค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมไปทำการยืนยันผลการทดลอง และนำไปปรับใช้ในกระบวนการผลิตจริงในขั้นตอนต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 8
การควบคุมกระบวนการ (Control Phase)

ตามหลักการของซิกซ์ ซิกมา ขั้นตอนของการควบคุมกระบวนการเป็นระยะสุดท้ายของการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยจะต้องทำการทดลองอีกครั้งเพื่อยืนยันผลที่ได้มา เนื่องจากจะได้ไม่มีความผิดพลาดเมื่อนำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการผลิตจริง หลังจากนั้นทำการบันทึกผลเพื่อประเมินผลลัพธ์ รวมถึงจัดทำแผนภูมิควบคุม และแนวทางการทำงานแบบใหม่ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาด้านของเสีย และลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากปัญหาการสึกหรอ นอกจากนี้เป็นการทำให้มั่นใจว่าประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตหลังปรับปรุงอย่างยั่งยืน และต่อเนื่อง

8.1 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง

ในขั้นตอนนี้ นำปัจจัยที่ได้จากการทดลองในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการมาทำการปรับเข้ากับกระบวนการผลิตจริงเพื่อยืนยันผลลัพธ์ที่ได้ โดยปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับลดการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์มี 2 ปัจจัย ดังแสดงในตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 ระดับค่าปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงกระบวนการผลิต

สัญลักษณ์	ปัจจัย	ระดับปัจจัยที่เหมาะสม
Lubricant	น้ำมันหล่อลื่น	น้ำมันว่านหางจระเข้
Coating	การเคลือบผิวแบบ PVD	AlCrN

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

8.1.1 ขั้นตอนในการทดลองเพื่อยืนยันผล

ในการจัดเตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์ รวมถึงวัสดุในการทดลอง จะมีการประชุม และอธิบายวิธีการทดลองเพื่อยืนยันผลกับผู้เชี่ยวชาญรวมถึงพนักงานในกระบวนการผลิตเพื่อให้มีความเข้าใจที่ตรงกัน โดยมีรายละเอียดในการดำเนินการดังนี้

1. จัดเตรียมแม่พิมพ์และพันช์ที่ใช้ในการทดลอง โดยเป็นเหล็กชนิดเดียวกัน และมาจากล็อตเดียวกัน โดยจะทดสอบชิ้นงานด้วยการปั๊มตัดวัสดุทั้งหมด 4,000 ชิ้น ดำเนินการเป็นเวลาทั้งสิ้น 14 วัน แบ่งเป็นปั๊มตัดวัสดุวันละ 500 ชิ้น

2. ทำการเคลือบผิว และใช้น้ำมันหล่อลื่นบริเวณขอบคมตัดของแม่พิมพ์และพันช์ตามค่าปัจจัยที่ได้จากการทดลองตามตารางที่ 8.1
3. นำชุดแม่พิมพ์และพันช์ไปทำการปั๊มตัดวัสดุประเภทหนังด้วยเครื่องเพรสขนาด 25 ตัน
4. ตรวจสอบและบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาของเสีย และวัสดุที่มีขนาดไม่ตรงตามมาตรฐาน

8.1.2 ผลการทดลองสำหรับยืนยันผล

หลังจากดำเนินการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการปรับปรุงกระบวนการผลิต จากนั้นทำการยืนยันผลการทดลอง เป็นเวลาทั้งสิ้น 14 วัน โดยแบ่งเป็นการปั๊มตัดชิ้นงานวันละ 500 ชิ้น รวมชิ้นงานตัวอย่างทั้งหมด 7,000 ชิ้น เพื่อติดตามผลและบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาที่พบ โดยตารางที่ 8.2 แสดงสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้น และน้ำหนักแม่พิมพ์และพันช์ที่ลดลงเพื่อตรวจสอบการสึกหรอ ซึ่งจากการเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียที่พบก่อนการปรับปรุง พบว่าหลังจากการปรับปรุง สัดส่วนของเสียลดลงเหลือ 0.2 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย กล่าวคือ จากการปั๊มตัดวัสดุ 500 ชิ้นจะพบวัสดุที่มีการบิ่นหรือไม่ได้รูปร่างตามมาตรฐานอยู่ที่ 1 ตัวต่อครั้ง โดยก่อนปรับปรุง มีสัดส่วนของเสียเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย กล่าวคือ จากการปั๊มตัดวัสดุ 500 ชิ้นจะพบวัสดุที่มีการบิ่นหรือไม่ได้รูปร่างตามมาตรฐานอยู่ที่ 5 ตัวต่อครั้ง ดังนั้น จากการปรับปรุงกระบวนการผลิต สามารถลดจำนวนชิ้นงานเสียจากการปั๊มตัดไปได้ 4 ตัว ต่อการปั๊มตัด 500 ครั้ง นอกจากนี้น้ำหนักของเหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์และพันช์ที่ลดลงเป็นจำนวนน้อยทำให้ไม่เป็นปัญหาส่งผลต่อการตัดวัสดุ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 8.2 สัดส่วนของเสียและน้ำหนักเหล็กที่ลดลงหลังจากปรับปรุงกระบวนการ

วันที่	จำนวนตัวอย่างชิ้นงาน (ชิ้น)	สัดส่วนของเสีย (ชิ้น)	สัดส่วนของเสีย (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนักเหล็กลดลง (กรัม)
1	500	2	0.4	0.0015
2	500	0	0	0.0010
3	500	0	0	0.0010
4	500	1	0.2	0.0018
5	500	0	0	0.0014
6	500	2	0.4	0.0016
7	500	1	0.2	0.0012
8	500	1	0.2	0.0015

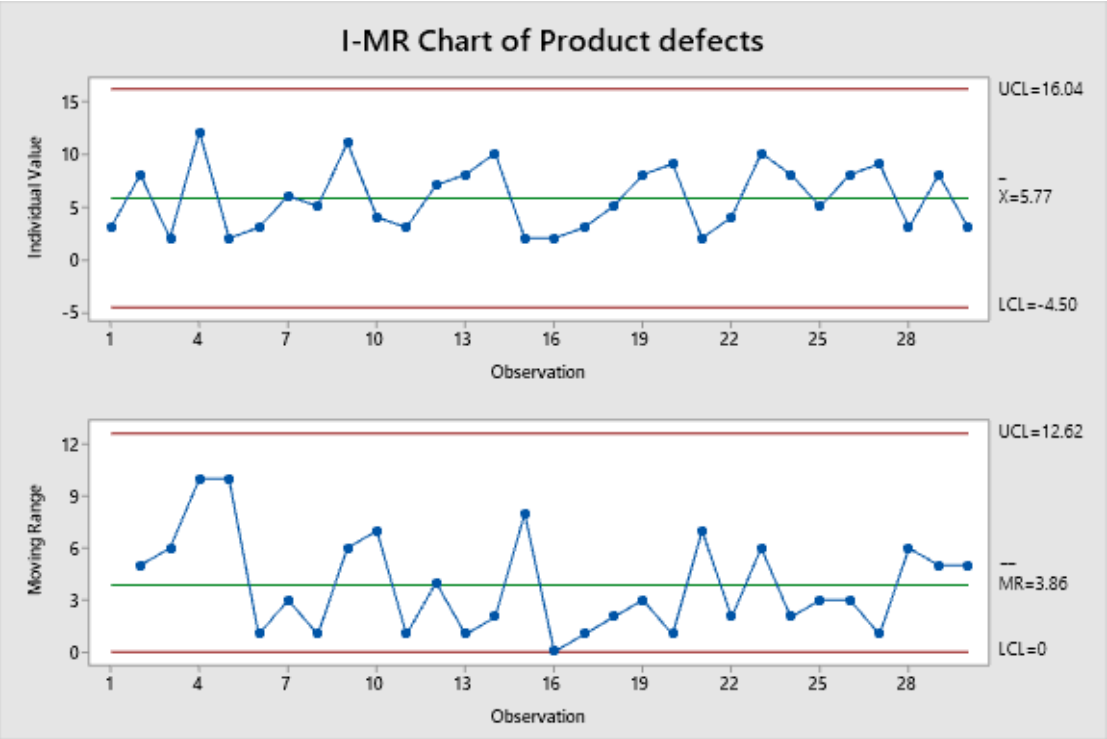
ตารางที่ 8.2 สัดส่วนของเสียและน้ำหนักเหล็กที่ลดลงหลังจากปรับปรุงกระบวนการ (ต่อ)

วันที่	จำนวนตัวอย่างชิ้นงาน	สัดส่วนของเสีย	สัดส่วนของเสีย	น้ำหนักเหล็กลดลง
	(ชิ้น)	(ชิ้น)	(เปอร์เซ็นต์)	(กรัม)
9	500	1	0.2	0.0015
10	500	1	0.2	0.0018
11	500	1	0.2	0.0014
12	500	1	0.2	0.0015
13	500	2	0.4	0.0016
14	500	0	0	0.0012
ร้อยละโดยเฉลี่ย		1	0.2	0.0014

8.2 การกำหนดแผนภูมิควบคุม

ในการควบคุมกระบวนการผลิตโดยการใช้หลักทางสถิติจะใช้แผนภูมิควบคุมมาเป็นเครื่องมือในการควบคุมกระบวนให้เป็นไปตามแผนที่วางไว้ และสามารถผลิตงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยได้นำแผนภูมิควบคุมมาใช้สำหรับสังเกตการณ์ โดยจะมีขีดจำกัดควบคุมบนและล่างสำหรับตรวจจับสิ่งผิดปกติ ซึ่งจะมีการส่งสัญญาณเตือนได้เมื่อมีการออกนอกเส้นควบคุม ดังรูปที่ 8.1 แสดงผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตแม่พิมพ์และพันช์โดยปรับเปลี่ยนประเภทการเคลือบผิว และชนิดของน้ำมันหล่อลื่น พบว่าสัดส่วนของเสียและการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์อยู่ภายใต้การควบคุม ซึ่งสัดส่วนของเสียโดยเฉลี่ย คือ 5.77 ชิ้น จากการตรวจชิ้นงานตัวอย่างเป็นเวลาทั้งหมด 30 วัน แบ่งเป็นปั๊มตัดชิ้นงานตัวอย่างวันละ 2,000 ชิ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 8.1 แผนภูมิควบคุม I-MR ของอัตราของเสียในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์

8.3 แนวทางการควบคุมระดับของปัจจัย

จากการทดลองเพื่อยืนยันผลลัพธ์ และนำไปปรับใช้กับกระบวนการผลิตจริงพบว่าสามารถลดปัญหาของเสีย และลดการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ได้ ดังนั้น เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าผลลัพธ์จากการปรับปรุงกระบวนการผลิตจะยังคงดำเนินอย่างต่อเนื่อง จำเป็นต้องกำหนดและควบคุมค่าพารามิเตอร์ซึ่งอ้างอิงจากผลการทดลอง โดยปัจจัยที่ต้องควบคุมมี 2 ปัจจัย คือ การเคลือบผิว และการใช้น้ำมันหล่อลื่น

1) การเคลือบผิว

ประเภทการเคลือบผิวเป็นสิ่งที่สามารถกำหนดได้ โดยเป็นขั้นตอนในการเตรียมวัสดุก่อนนำมาผลิตแม่พิมพ์และพันช์ โดยเหล็กที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิต จะทำการเคลือบผิวประเภท PVD แบบ AlCrN

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) น้ำมันหล่อลื่น

ชนิดของน้ำมันหล่อลื่น เป็นขั้นตอนที่ต้องกระทำหลังจากการเคลือบผิวเรียบร้อยแล้ว โดยก่อนที่แม่พิมพ์และพันช์จะเข้าสู่กระบวนการปั๊มตัด จะนำมาเป็นแม่พิมพ์และพันช์มาทำการชโลมด้วยน้ำมันว่างหางจระเข้

เพื่อให้กระบวนการผลิตแม่พิมพ์และพันช์มีประสิทธิภาพ และเกิดปัญหาน้อยที่สุด จำเป็นต้องกำหนดเอกสารการปฏิบัติงานเพื่อเป็นแนวทางในการควบคุม รวมถึงป้องกันหรือลดปัญหาที่จะเกิดขึ้นให้ได้มากที่สุด โดยเอกสารที่เป็นแนวทางในการปฏิบัติงานแสดงดังตารางที่ 8.3 และรูปที่ 8.2

ตารางที่ 8.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงานควบคุมกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์

Work Instruction	**รหัสเอกสาร**	**WI-DC-01**
	วันที่ประกาศใช้	**31/01/65**
ขั้นตอนการปฏิบัติงานควบคุมการผลิตแม่พิมพ์และพันช์	**แก้ไขครั้งที่**	**Rev. 00**
	หน้า	**1/4**

1. สถานที่

ฝ่ายผลิต และควบคุมการผลิตแม่พิมพ์และพันช์

2. วัตถุประสงค์

เพื่อใช้ควบคุมการออกแบบ และการผลิตแม่พิมพ์และพันช์ให้เป็นไปอย่างถูกต้อง มีประสิทธิภาพ และสามารถตรวจสอบได้

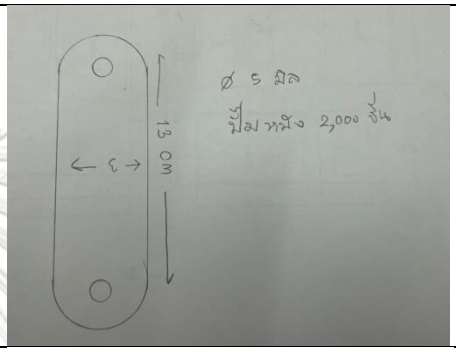
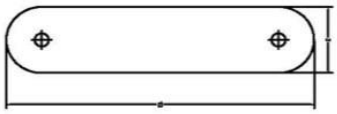
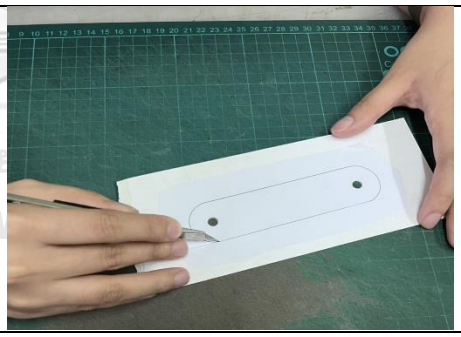
3. ขอบเขต

ครอบคลุมขั้นตอนปฏิบัติในการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดขนาดเล็กและพันช์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 8.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงานควบคุมกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ (ต่อ)

Work Instruction		รหัสเอกสาร	WI-DC-01
		วันที่ประกาศใช้	31/01/65
ขั้นตอนการปฏิบัติงานควบคุมการผลิตแม่พิมพ์และพันช์		แก้ไขครั้งที่	Rev. 00
		หน้า	2/4

ขั้นตอน	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	รูปภาพประกอบ
1	รับรายละเอียดงานจากลูกค้า โดยระบุผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิตด้วยแม่พิมพ์ วัสดุที่จะใช้ผลิต และรายละเอียดอื่นๆ	
2	ออกแบบโครงร่างหรือต้นแบบที่จะนำไปผลิตแม่พิมพ์และพันช์ ผ่านโปรแกรม AutoCAD	
3	นำโครงร่างชิ้นงานที่ออกแบบไว้ ทากาวลงบนกระดาษแข็ง หลังจากนั้นจึงตัดชิ้นงานด้วยมีดคัตเตอร์ (Cutter) หรือกรรไกร	
4	ทำการเคลือบผิวเหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์และพันช์ด้วยการเคลือบผิวแบบฟิล์มบาง PVD แบบ AlCrN	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 8.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงานควบคุมกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ (ต่อ)

Work Instruction		รหัสเอกสาร	WI-DC-01
		วันที่ประกาศใช้	31/01/65
ขั้นตอนการปฏิบัติงานควบคุมการผลิตแม่พิมพ์และพันช์		แก้ไขครั้งที่	Rev. 00
		หน้า	3/4

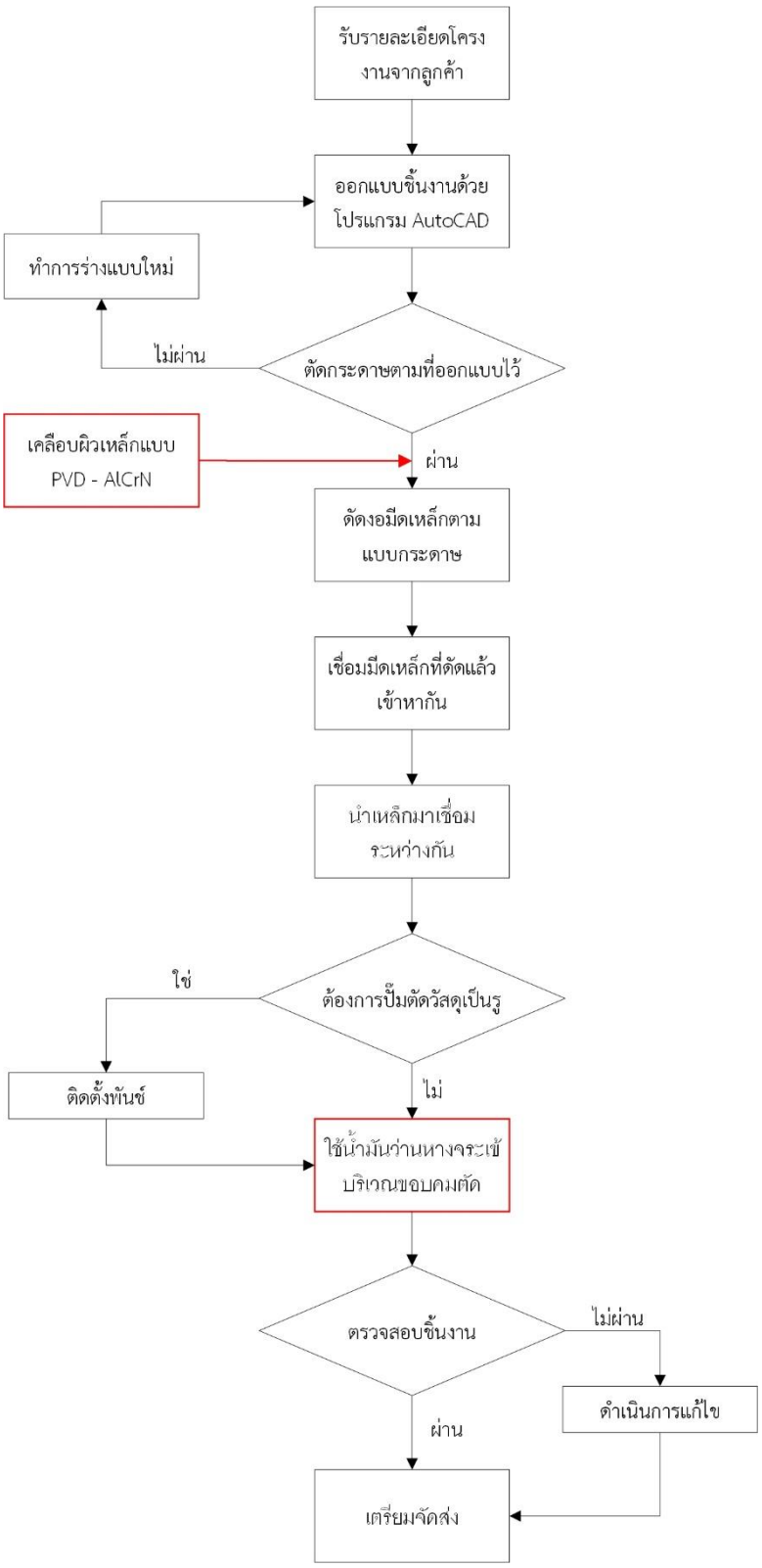
ขั้นตอน	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	รูปภาพประกอบ
5	ทำการดัดเหล็กโดยนำแบบกระดาษที่ตัดเรียบร้อยมาเป็นต้นแบบ	
6	เชื่อมเหล็กที่ดัดเรียบร้อยแล้วเข้าด้วยกันเพื่อป้องกันแม่พิมพ์เสียหายขณะทำการปั๊มตัดวัสดุ	
7	ในกรณีที่ต้องการให้วัสดุหรือชิ้นงานตัดขาดในลักษณะเป็นวงกลม หรือเจาะขาดต้องทำการติดตั้งพันช์ลงบนแม่พิมพ์	
8	ใช้น้ำมันว่านหางจระเข้ชโลมบริเวณขอบคมตัดของแม่พิมพ์และพันช์	

ตารางที่ 8.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงานควบคุมกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ (ต่อ)

Work Instruction		รหัสเอกสาร	WI-DC-01
		วันที่ประกาศใช้	31/01/65
ขั้นตอนการปฏิบัติงานควบคุมการผลิตแม่พิมพ์และพันช์		แก้ไขครั้งที่	Rev. 00
		หน้า	4/4

ขั้นตอน	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	รูปภาพประกอบ
9	ตรวจสอบแม่พิมพ์เพื่อหาข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนก่อน หลังจากนั้นจัดเตรียมผลิตภัณฑ์เพื่อส่งมอบให้ลูกค้าต่อไป	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 8.2 ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์แบบใหม่

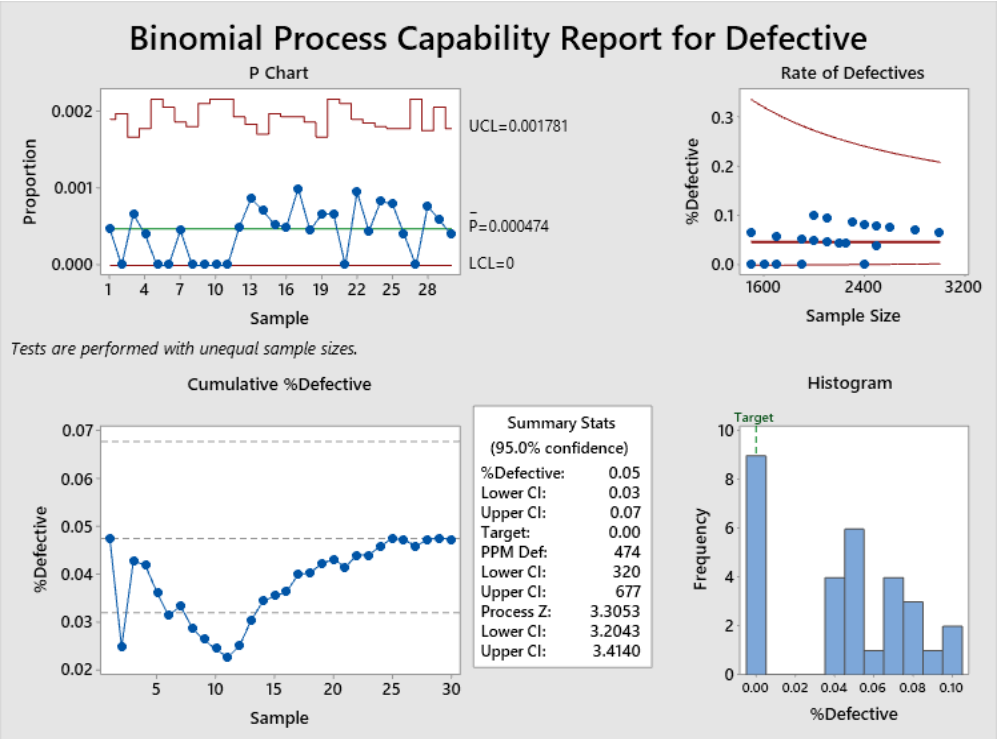
โดยพนักงานทุกคนจำเป็นต้องปฏิบัติตามแนวทางที่กำหนดไว้ ดังนี้

1. พนักงานจะต้องปฏิบัติตามแนวทางการปฏิบัติงานที่กำหนดไว้ ซึ่งครอบคลุมกระบวนการควบคุมการผลิตแม่พิมพ์และพันช์
2. พนักงานทุกคนต้องศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ใหม่ เพื่อให้กระบวนการผลิตเป็นไปอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ
3. พนักงานต้องตรวจสอบวิธีทำในแต่ละขั้นตอนอย่างละเอียด รวมถึงบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการผลิต
4. อบรมพนักงานทุกคนในแผนกการควบคุมกระบวนการผลิตเกี่ยวกับแนวทางการปฏิบัติงานใหม่เพื่อให้เกิดความเข้าใจไปในทางเดียวกัน

8.4 ข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

จากการนำค่าปัจจัยที่เหมาะสมไปปรับใช้กับกระบวนการผลิตจริง โดยอ้างอิงจากผลที่ได้จากการทดลอง ได้แก่ การใช้การเคลือบผิวแบบฟิล์มบาง PVD ชนิด AlCrN ในการเคลือบผิวบริเวณขอบคมตัด และ การใช้น้ำมันว่านหางจระเข้ซึ่งเป็นน้ำมันชีวภาพบริเวณขอบคมตัดของแม่พิมพ์และพันช์ หลังจากนั้นบันทึกข้อมูลจำนวนของเสียของวัสดุจากการปั๊มตัดของแม่พิมพ์และพันช์เป็นเวลา 30 วัน เพื่อวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิต โดยผลลัพธ์ของข้อมูลภายหลังจากปรับปรุงกระบวนการผลิตแสดงดังรูปที่ 8.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 8.3 กราฟวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตหลังปรับปรุง

จากผลการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Minitab 19 เพื่อวัดความสามารถของกระบวนการผลิตจริงดังแสดงในรูปที่ 8.3 จากแผนภูมิ P Chart พบว่าจำนวนของเสียในแต่ละวันอยู่ในเส้นควบคุม กล่าวคือ ไม่พบความผิดปกติในจำนวนของเสีย ซึ่งผลวิเคราะห์โดยสรุป แสดงให้เห็นถึง เปอร์เซ็นต์ของเสียอยู่ที่ 0.05% และมีช่วงความเชื่อมั่นอยู่ระหว่าง 0.03 – 0.07 แสดงให้เห็นว่าแม่พิมพ์และพันช์มีคุณภาพและประสิทธิภาพในการตัดวัสดุที่ดีขึ้น โดยสามารถจะพบชิ้นงานตัวอย่างที่เป็นของเสียเพียง 5 ชิ้นโดยเฉลี่ย จากการตัดวัสดุเกิน 2,000 ชิ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 8.4 เปรียบเทียบจำนวนของเสียและต้นทุนของเสียก่อนและหลังปรับปรุง

	จำนวนของเสีย	**จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าร้องเรียน**	**ต้นทุนของเสีย**
	(ชิ้นต่อเดือน)		(บาทต่อเดือน)
ก่อนปรับปรุง	11	14	72,566
ค่าพยากรณ์	2	3	14,560
หลังปรับปรุง	1	2	8,766
ผลต่างระหว่างก่อนและหลังปรับปรุง	ลดลง 10	ลดลง 12	63,800

โดยหลังจากทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตเป็นระยะเวลา 30 วัน จากปริมาณการผลิตแม่พิมพ์และพันช์ทั้งหมด 928 ตัว พบปริมาณแม่พิมพ์และพันช์ที่มีปัญหาด้านการสึกหรอทั้งหมด 3 ตัว โดยแบ่งเป็นแม่พิมพ์ที่พบในกระบวนการผลิตจำนวน 1 ตัว และ แม่พิมพ์ที่พบปัญหาจากการที่ลูกค้าร้องเรียนมาจำนวน 2 ตัว ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิตสามารถลดแม่พิมพ์และพันช์ที่มีปัญหาไปได้ 22 ตัวต่อเดือน ซึ่งมากกว่าค่าที่คาดการณ์ไว้ โดยมีสัดส่วนของเสียที่ลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตประมาณ 88 เปอร์เซ็นต์

ในส่วนของการพิจารณาทางด้านตัวชี้วัดทางธุรกิจ หรือค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการที่แม่พิมพ์และพันช์มีปัญหา โดยจากตารางที่ 8.4 พบว่าสามารถลดต้นทุนทางกระบวนการผลิตได้มากถึง 63,800 บาทต่อเดือนโดยเฉลี่ย โดยแบ่งเป็นค่าใช้จ่ายด้านของเสียโดยเฉลี่ยต่อชิ้น เป็นจำนวน 2,420 บาท และค่าใช้จ่ายอื่นๆ โดยเฉลี่ยต่อชิ้น (ค่าขนส่ง ค่าไฟฟ้า) เป็นจำนวน 480 บาท ทำให้เหลือค่าใช้จ่ายทางกระบวนการผลิตต่อเดือน 8,766 บาท ซึ่งเมื่อเทียบกับก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิต มีค่าใช้จ่ายทางด้านของเสียโดยเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ที่ 72,566 บาท ซึ่งเมื่อพยากรณ์ค่าใช้จ่ายที่สามารถลดลงได้ภายใน 1 ปี จะสามารถลดค่าใช้จ่ายได้มากถึง 765,600 ต่อปีโดยเฉลี่ย

8.5 สรุประยะการควบคุมกระบวนการ

ในระยะนี้ มีการทดลองเพื่อยืนยันผลลัพธ์ รวมถึงการควบคุมกระบวนการผลิตให้ยังคงมีผลลัพธ์ที่ดีอย่างต่อเนื่อง โดยจากการทำการทดลองเป็นระยะเวลา 14 วันเพื่อยืนยันผลที่ได้ พบว่าการปรับค่าปัจจัยใหม่ส่งผลต่อการลดการสึกหรอได้จริง รวมถึงปริมาณของเสียลดน้อยลง จากนั้นทำการจัดทำแผนภูมิควบคุม รวมถึงกำหนดแนวทางการปฏิบัติงานใหม่ โดยเมื่อนำค่าปัจจัยไปปรับใช้กับกระบวนการผลิตจริง และทำการบันทึกผลข้อมูลเป็นระยะเวลา 30 วัน จากปริมาณการผลิตแม่พิมพ์และพันช์ทั้งหมด 928 ตัว พบว่าสามารถลดการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดได้ รวมถึงสามารถลดแม่พิมพ์และพันช์ที่มีการสึกหรอไปได้ 22 ตัวต่อเดือนโดยเฉลี่ย โดยเทียบจากก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิตสามารถลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีปัญหาไปได้ถึง 88% และลดต้นทุนทางกระบวนการผลิตที่เกิดจากของเสียไปได้มากถึง 63,800 บาทต่อเดือน จากการคาดการณ์เบื้องต้น ภายใน 1 ปี บริษัทจะสามารถลดต้นทุนได้มากถึง 765,600 ต่อปีโดยเฉลี่ย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 9
แผนการนำเทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์

ในบทนี้จะเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองไปพัฒนาต่อยอดเพื่อใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ การนำเสนอผลเทคโนโลยีที่ได้จากงานวิจัย และความเป็นไปได้ในการนำนวัตกรรมกระบวนการ (Process Innovation) ประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ โดยจัดทำแผนธุรกิจ ประเมินตลาด และประมาณการรายได้ในทางการเงินในแง่มุมของผู้ประกอบธุรกิจที่ใช้แม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ในการดำเนินการผลิต

9.1 รายละเอียดของเทคโนโลยีและนวัตกรรม

ในงานวิจัยนี้เป็นการสร้างนวัตกรรมกระบวนการ (Process Innovation) โดยศึกษาในอุตสาหกรรมการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งนำเทคโนโลยีการเคลือบฟิล์มบาง และน้ำมันหล่อลื่นชีวภาพ มาพัฒนาและปรับปรุงในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ เพื่อให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ลดของเสียและต้นทุนในการผลิต รวมถึงปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยมีกระบวนการสร้างนวัตกรรมและต่อยอดเทคโนโลยีด้วยการประยุกต์ใช้แนวทางลีน ซิกซ์ ซิกมา เพื่อหาค่าที่ปัจจัยเหมาะสมในการยืดอายุการใช้งานแม่พิมพ์แบบตัด และชะลอการเกิดสึกหรอให้ได้มากที่สุด นอกจากนี้ เทคโนโลยีที่ศึกษาได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอื่นๆที่มีการใช้ชนิดใบมีดที่คล้ายคลึงกัน ได้แก่ อุตสาหกรรมการเกษตร ซึ่งมีการใช้อุปกรณ์หลายอย่างที่มีใบมีดตัดขาด เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในส่วนของกระบวนการพัฒนานวัตกรรมได้ประยุกต์ใช้แนวทางของซิกซ์ ซิกมา ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนหลักในการดำเนินการศึกษา โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1) การนิยามปัญหา (Define Phase) เป็นการระบุปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตโดยอ้างอิงจากข้อมูลบันทึกทางสถิติ โดยเป็นการหาโอกาสในการปรับปรุงกระบวนการผลิต และรับฟังความต้องการของลูกค้าที่ยังไม่ได้รับการตอบสนอง รวมถึงกำหนดขอบเขตในการพัฒนาและปรับปรุงเบื้องต้น

2) การวัดสภาพปัญหา (Measure Phase) เป็นการเตรียมการข้อมูลโดยรวบรวมรายละเอียดเกี่ยวกับสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อทำการวัดและวิเคราะห์สภาพปัญหา

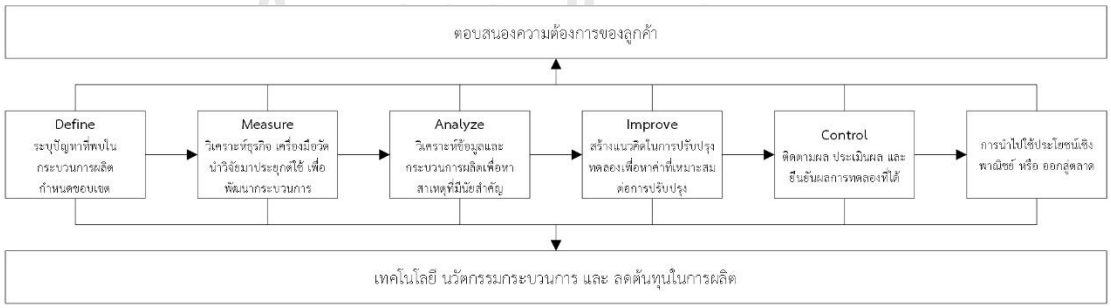
3) การวิเคราะห์ปัญหา (Analyze Phase) นำข้อมูลที่รวบรวมมาได้หาสาเหตุที่เป็นไปได้อย่างมีนัยสำคัญต่อการเกิดปัญหา เพื่อดำเนินการแก้ไขในขั้นตอนต่อไป

4) การปรับปรุงกระบวน (Improve Phase) กำหนดวิธีการปรับปรุงปัญหาโดยอ้างอิงจากผลการศึกษาและผลจากงานวิจัยในอดีต ระบุตัวแปรที่เป็นไปได้ต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตให้ดียิ่งขึ้น ดำเนินการทดลองเพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตจริง

5) การควบคุมกระบวนการ (Control Phase) เป็นการนำผลที่ได้จากขั้นตอนการพัฒนามาทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลลัพธ์ และยืนยันผลทดสอบในการประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตจริง โดยการทดลองวิธีการใหม่ในการปรับปรุงกระบวนผลิตจะทำตามเป้าหมายเดิมขององค์กรรวมถึงผสมผสานกับความต้องการของลูกค้า

โดยหลังจากการนำซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างนวัตกรรมกระบวนการ และปรับปรุงกระบวนการผลิตมุ่งเน้นไปที่การกำจัดของเสีย และลดต้นทุน หลังจากนั้นจะดำเนินการทดสอบการใช้งานในกระบวนการผลิตจริง เมื่อพบว่าสามารถประยุกต์ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะนำผลงานออกสู่ตลาดให้แก่กลุ่มลูกค้าเป้าหมายทดลองใช้จริงและใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ ซึ่งประโยชน์ของการนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้เพื่อให้บรรลุความพึงพอใจของลูกค้าในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ด้านการส่งมอบ และลดต้นทุนในกระบวนการผลิต โดยขั้นตอนการพัฒนานวัตกรรมกระบวนการโดยรวมแสดงดังรูปที่ 9.1

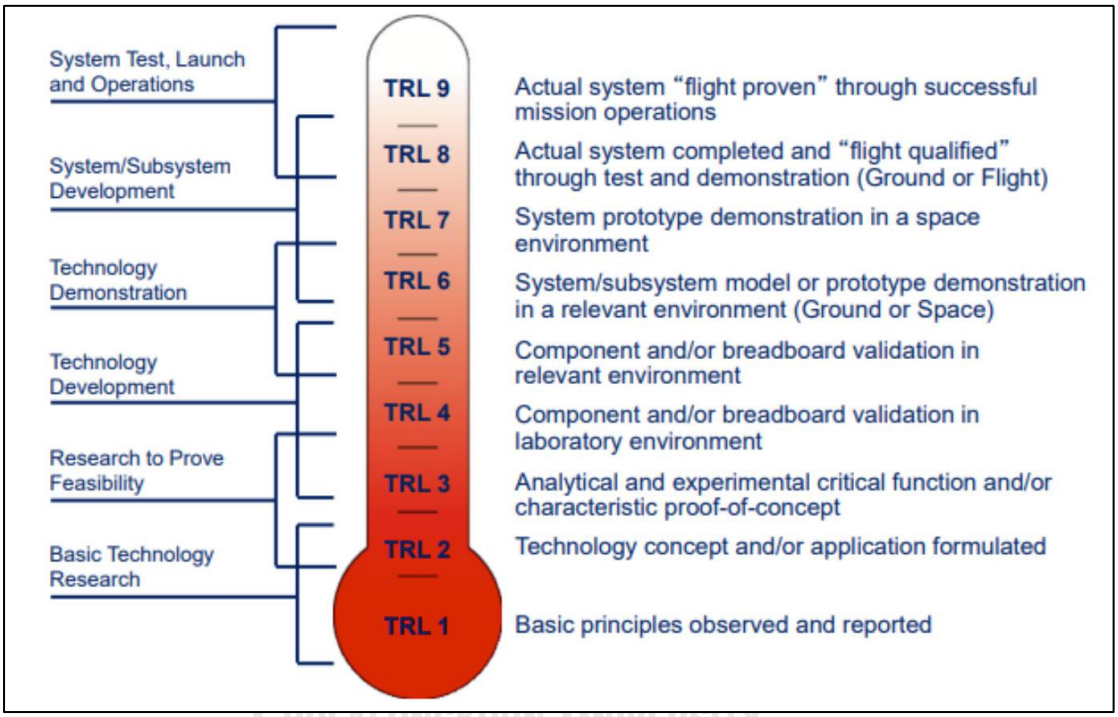
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 9.1 ขั้นตอนการพัฒนานวัตกรรมกระบวนการ

9.2 ความพร้อมของเทคโนโลยี

อ้างอิงจากระดับความพร้อมและเสถียรภาพของเทคโนโลยี (Technology Readiness Level: TRL) ดังแสดงในรูปที่ 9.2 สามารถประเมินเทคโนโลยีการยืดอายุการใช้งานแม่พิมพ์แบบตัดและการชะลอการสึกหรอบริเวณขอบคมตัด อยู่ในระดับที่ 8 :ซึ่งเป็นผลที่พร้อมจะส่งมอบให้แก่ลูกค้าและพร้อมที่จะนำไปใช้งานได้ในกระบวนการผลิตจริง โดยผ่านการพิสูจน์และยืนยันผลการทดลองเรียบร้อยแล้ว โดยได้มีการทดลองกับแม่พิมพ์หลายขนาด และผ่านกระบวนการปั๊มตัดกว่า 10,000 ครั้ง



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 9.2 Technology Readiness of Level (TRL)

(Mitchell, 2007)

ตารางที่ 9.1 ความพร้อมของเทคโนโลยีการชะลอการสึกหรอบริเวณขอบคมตัด

ระดับที่	TRL: Technology Readiness Levels	คำอธิบาย	ข้อมูลสนับสนุน
8	Actual system completed and qualified through test and demonstration.	ผลงานที่มีความสมบูรณ์ มีคุณภาพ และผ่านการทดสอบและทดลองแล้ว หรือเทคโนโลยีที่ผ่านการทดสอบคุณภาพการใช้งานขั้นสุดท้ายภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้แล้ว โดยขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นปลายทางของการพัฒนาเทคโนโลยี หรือ ผลิตภัณฑ์ที่พร้อมส่งมอบให้ลูกค้า หรือ ผู้ใช้งาน	1) รายงานผลการยืนยันผลการทดลองของการใช้เทคโนโลยีเคลือบผิวบาง PVD และน้ำมันว่านหางจระเข้สำหรับชะลอการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดแสดงดังตารางที่ 8.1 2) กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตหลังปรับปรุงแสดงดังรูปที่ 8.4 3) รายงานผลการเปรียบเทียบจำนวนของเสียและต้นทุนของเสียก่อนและหลังปรับปรุงแสดงดังตารางที่ 8.3 4) รายงานผลการทดลอง สามารถดูรายละเอียดได้ที่ภาคผนวก ค

9.3 ความเป็นไปได้ในการต่อยอดเชิงพาณิชย์

การนำเทคโนโลยีการเคลือบผิวฟิล์มบาง และน้ำมันว่านหางจระเข้มาใช้เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้ดังนี้

1) การปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิต โดยนำค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง คือ เทคโนโลยีการเคลือบฟิล์มบาง PVD ชนิด AlCrN และ น้ำมันว่านหางจระเข้ ไปประยุกต์ใช้โดยการเคลือบผิว และชโลมน้ำมันชีวภาพบริเวณขอบคมตัดของแม่พิมพ์แบบคัดและพันช์ หรือ อุปกรณ์ที่ใช้ใบมีดเหล็กชนิดคล้ายคลึงกัน เพื่อยืดอายุการใช้งานและชะลอการสึกหรอของขอบคมตัด ทำให้สามารถใช้งานได้นานยิ่งขึ้น และสามารถตัดวัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2) ลดต้นทุนทางกระบวนการผลิต จากการที่บริเวณขอบคมตัดเกิดการสึกหรออย่างรวดเร็ว ส่งผลให้อายุการใช้งานของแม่พิมพ์ลดน้อยลง รวมถึงยังไม่สามารถตัดวัสดุได้อย่างสวยงามและมีคุณภาพ ดังนั้นเมื่อนำเทคโนโลยีการเคลือบผิวฟิล์มบาง และน้ำมันว่านหางจระเข้มาประยุกต์ใช้ จะทำให้ลดต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เกิดจากปัญหาข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ได้

9.3.1 การนำเทคโนโลยีออกสู่ตลาด (Technology Exploitation Approach)

วิธีสำหรับนำเทคโนโลยีออกสู่ตลาดสามารถแบ่งออกได้ทั้งหมด 4 วิธี โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) การขายขาดเทคโนโลยี (Sell)
2) การเปิดเผยเทคโนโลยี หรือ การอนุญาตให้ใช้สิทธิ (Licensing)
3) การดำเนินร่วมทุนทางการค้า (Joint Venture)
4) การจัดตั้งบริษัทใหม่แยกออกมาก (Startup: Spin-off/Spin-out)

โดยในแต่ละรูปแบบมีข้อดีและข้อเสียในการนำเทคโนโลยีออกสู่ตลาดเหมาะสมแตกต่างกันตามแต่ละประเภทของเทคโนโลยี ดังนั้นจำเป็นต้องประเมินด้านปัจจัยต่างๆทั้งภายในและภายนอกที่มีผลต่อธุรกิจรวมทั้งประเมินสภาวะการแข่งขันในเทคโนโลยีที่มีลักษณะเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน โดยมีปัจจัยในการพิจารณาแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้

1) สิทธิในการครอบครองและการบริหาร
2) ความสะดวกในการจัดตั้งกิจการ
3) ผลตอบแทนจากการลงทุน
4) การลงทุนต่ำและมีความเสี่ยงต่ำในการทำธุรกิจ
5) โอกาสในการขยายตัวของธุรกิจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

โดยมีหลักเกณฑ์ในการประเมินแต่ละปัจจัย คือ การให้คะแนนจาก 1 ถึง 5 (1 = น้อยที่สุด, 2 = น้อย, 3 = ปานกลาง, 4 =มาก, 5 = มากที่สุด) ซึ่งผลการประเมินในแต่ละปัจจัยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 9.2

ตารางที่ 9.2 ผลประเมินรูปแบบการนำเทคโนโลยีออกสู่ตลาด

ปัจจัยในการประเมิน	**Weight**	**Sell**	**Licensing**	**Joint Venture**	**Spin - Off**
สิทธิในการครอบครองและการบริหาร	3	1	3	3	5
ความสะดวกในการจัดตั้งกิจการ	5	5	4	3	1
ผลตอบแทนจากการลงทุน	5	2	3	2	3
การลงทุนต่ำและมีความเสี่ยงต่ำในการทำธุรกิจ	4	5	4	3	1
โอกาสในการขยายตัวของธุรกิจ	3	1	1	4	5
ผลรวมคะแนน		61	**63**	58	54

จากตารางข้างต้นแสดงผลการประเมินรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการนำเทคโนโลยีไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ซึ่งได้ผลสรุป คือ การเปิดเผยเทคโนโลยี หรือ การอนุญาตให้ใช้สิทธิ (Licensing) โดยมีเหตุผลสนับสนุนในการเลือกแต่ละรูปแบบดังแสดงในตารางที่ 9.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 9.3 เหตุผลการสนับสนุนและคัดค้านในการประเมินรูปแบบการนำเทคโนโลยีออกสู่ตลาด

รูปแบบ	เหตุผลสนับสนุน	เหตุผลคัดค้าน
การขายขาดเทคโนโลยี (Sell)	- ไม่มีความเสี่ยงและไม่จำเป็นต้องใช้เงินทุนในการดำเนินธุรกิจ - ได้รับผลตอบแทนทันที	- ไม่สามารถครอบครองหรือควบคุมการบริหารได้ - ไม่มีโอกาสในการขยายธุรกิจ
การเปิดเผยเทคโนโลยี หรือการอนุญาตให้ใช้สิทธิ (Licensing)	- สามารถพัฒนาต่อยอดนวัตกรรมได้ - สามารถเปิดเผยเทคโนโลยีให้กับผู้สนใจหลายรายได้ - มีความเสี่ยงและการใช้งบประมาณอยู่ในระดับต่ำ	- ผู้อื่นสามารถดำเนินธุรกิจมาแย่งส่วนแบ่งการตลาดได้ - โอกาสในการขยายตัวทางธุรกิจและได้ผลตอบแทนค่อนข้างน้อย
การดำเนินร่วมทุนทางการค้า (Joint Venture)	- สามารถพัฒนาเทคโนโลยีร่วมกับผู้อื่นได้ ทำให้เทคโนโลยีมีประสิทธิภาพมากขึ้น - มีโอกาสในการขยายตัวทางธุรกิจและทางด้านการตลาดสูงขึ้น	- มีโอกาสขัดแย้งในด้านความคิดและการดำเนินงานทางธุรกิจ - มีการแบ่งส่วนรายได้ - มีการใช้งบประมาณและความเสี่ยงในการลงทุนอยู่ในระดับปานกลาง
การจัดตั้งบริษัทใหม่แยกออกมาก (Startup: Spin-off/ Spin-out)	- สามารถครอบครองและควบคุมการบริหารธุรกิจได้อย่างเต็มที่ - วางแผนขยายตัวทางธุรกิจได้อย่างอิสระ	- มีการใช้งบประมาณและความเสี่ยงในการลงทุนอยู่ในระดับสูง - ต้องมีการทำแผนการตลาดอย่างกว้างขวาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

9.4 แผนธุรกิจ

9.4.1 การกำหนดกลุ่มเป้าหมาย

การนำเทคโนโลยีด้านการยืดอายุการใช้งานขอบคมตัดของแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ออกสู่ตลาดจะมีการกำหนดกลุ่มเป้าหมายโดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ 1) กลุ่มเป้าหมายทางตรง คือ กลุ่มผู้ประกอบการธุรกิจที่ใช้แม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ในการดำเนินการผลิต 2) กลุ่มเป้าหมายทางอ้อม คือ กลุ่มผู้ประกอบการธุรกิจ หรือ ผู้ใช้ที่มีการใช้ใบมีดเหล็กชนิดเดียวกันหรือคล้ายคลึงกันกับแม่พิมพ์แบบตัด เช่น อุปกรณ์ตัดสำหรับการเกษตร เป็นต้น

9.4.2 ปัญหาของกลุ่มเป้าหมาย

อ้างอิงจากข้อมูลทางสถิติของโรงงานกรณีศึกษาที่มีการรวบรวมปัญหาที่เกิดขึ้นจากบริษัทมากกว่า 20 บริษัทเกี่ยวกับปัญหาด้านการสึกหรอของขอบคมตัดของแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ รวมถึงการสัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้ประกอบการที่ใช้แม่พิมพ์แบบตัดและพันช์เป็นหลักในกระบวนการผลิต พบว่า ปัญหาด้านการสึกหรอของขอบคมตัดของใบมีดส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อวัสดุ และก่อให้เกิดต้นทุนทางกระบวนการผลิตที่สูงขึ้น เนื่องจากในกระบวนการปั๊มตัด เมื่อนำแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ที่มีการสึกหรอมาตัดวัสดุจะส่งผลให้วัสดุที่ถูกตัดมีความเสียหาย ไม่ได้รูปร่างตามมาตรฐาน และไม่มีคุณภาพเพียงพอต่อการนำไปประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนถัดไป จากการที่วัสดุเสียหายทำให้กระบวนการผลิตล่าช้า รวมถึงเกิดต้นทุนค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้น

ในขณะที่การดูแลรักษาขอบคมตัดเพื่อยืดอายุการใช้งาน ส่วนใหญ่มีการใช้น้ำมันสังเคราะห์เนื่องจากหาซื้อได้ง่าย และมีราคาถูก อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่มีการทิ้งขยะไม่เหมาะสมจะส่งผลด้านเสียต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงการใช้น้ำมันสังเคราะห์เป็นระยะเวลานานอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการผลิตบรรจุภัณฑ์บรรจุอาหาร ในกระบวนการปั๊มตัดที่มีการใช้น้ำมันสังเคราะห์ในการตัดชิ้นส่วนต่างๆ อาจมีการปนเปื้อนและส่งผลต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้

9.4.3 การประเมินความเสี่ยง

จากการประเมินทางเลือกในการนำเทคโนโลยีไปใช้ในเชิงพาณิชย์พบว่าทางเลือกที่เหมาะสมมากที่สุด คือ การอนุญาตให้ใช้สิทธิ (Licensing) คือ การที่ผู้พัฒนาเทคโนโลยีการยืดอายุการใช้งานและการชะลอการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดของใบมีดเหล็กประสิทธิภาพ (Licensor) อนุญาตให้ผู้ประกอบการธุรกิจ หน่วยงาน หรือบุคคลผู้ซึ่งขอรับอนุญาตใช้สิทธิเทคโนโลยีดังกล่าว (Licensee) สามารถใช้เทคโนโลยีในการพัฒนาหรือปรับปรุงกระบวนการผลิตตามเงื่อนไขและหลักเกณฑ์ที่ยอมรับร่วมกัน โดยไม่มีสิทธิในการเปลี่ยนแปลงเจ้าของ และไม่จำกัดสิทธิผู้ได้รับอนุญาต (Non-Exclusive

Licensing) ซึ่งใช้หลักเกณฑ์ด้านผลตอบแทนจากการลงทุนและความเสี่ยงในการจัดตั้งธุรกิจเป็นหลักในการพิจารณาเลือกรูปแบบในการนำเทคโนโลยีออกสู่ตลาด ในส่วนของวิธีในการประเมินความเสี่ยงจะพิจารณาอัตราการเติบโตจากกรณีปกติ (Based case) ซึ่งมีอัตราการเติบโตร้อยละ 20 กรณีที่แย่ที่สุด (Worst case) ซึ่งมีอัตราการเติบโตต่ำกว่าร้อยละ 20 และกรณีที่เป็นไปได้มากที่สุด (Best case) ซึ่งมีอัตราการเติบโตสูงกว่าร้อยละ 40

9.4.4 ความเป็นไปได้ทางการตลาด

ผู้วิจัยเลือกวิธีการนำเทคโนโลยีไปใช้ในเชิงพาณิชย์โดยการอนุญาตให้ใช้สิทธิ (Licensing) ให้แก่หน่วยงานที่สนใจ และ ธุรกิจขนาดกลางหรือขนาดเล็ก เนื่องจากมีความเสี่ยงต่ำและลงทุนต่ำกว่าการก่อตั้งกิจการใหม่เอง และยังสามารถพัฒนาต่อยอดเทคโนโลยีเดิมได้ ซึ่งคาดว่าจะมีหน่วยงานหรือบริษัทประมาณอย่างน้อย 5 แห่ง นำเทคโนโลยีไปประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดียิ่งขึ้นได้ จากการยืดอายุการใช้งานของใบมีดตัดและชะลอการสึกหรอบริเวณขอบคมตัด ซึ่งสามารถลดต้นทุนทางกระบวนการผลิตได้และทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

9.4.5 ความเป็นไปได้ด้านการบริหารจัดการ

ในการวิจัยเทคโนโลยีจะมีค่าใช้จ่ายในการพัฒนาเทคโนโลยีในปีแรก ซึ่งเป็นทุนมาจากผู้วิจัยเอง เป็นจำนวนเงินทั้งหมด 294,000 บาท โดยแบ่งเป็นค่าใช้จ่ายต่างๆดังนี้

1) ต้นทุนในการทำวิจัยและต่อยอดเทคโนโลยี = 100,000 บาท
2) ค่าใช้จ่ายด้านการเช่าสถานที่ทดลอง = 3,000 บาทต่อเดือน
3) ค่าใช้จ่ายพนักงานวุฒิ ปวช. จำนวน 1 คน ทำหน้าที่ช่วยในการทดลอง และจัดซื้ออุปกรณ์ โดยจ้างเฉพาะปีแรก = 9,000 บาทต่อเดือน
4) ค่าใช้จ่ายอื่นๆ = 50,000 บาท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

9.4.6 ความเป็นไปได้ด้านการเงิน

อ้างอิงจาก ปรีดา ยังสุขสถาพร (2551) วิธีการประเมินมูลค่าทรัพย์สินทางปัญญาโดยทั่วไปแล้วสามารถประเมินได้ด้วย 3 วิธีหลัก คือ

1) การประเมินจากค่าใช้จ่าย (Cost Approach)
2) การประเมินจากราคาตลาด (Market Approach)
3) การประเมินจากรายได้ (Income Approach)

ในการประเมินทรัพย์สินทางปัญญา ค่าการเปิดเผยเทคโนโลยี (Disclosure Fee) เป็นสิ่งสำคัญที่ควรนำมาประเมินเพื่อหลีกเลี่ยงการประมาณกระแสเงินสดอย่างไม่ถูกต้อง (Razgaitis, 2007) โดยมีรายละเอียดในการประมาณการรายได้ ดังนี้

- ค่าการเปิดเผยเทคโนโลยี (Disclosure Fee) เป็นค่าใช้จ่ายที่ผู้ขอรับอนุญาตใช้สิทธิ (Licensee) ต้องชำระแก่ผู้พัฒนาเทคโนโลยีการยืดอายุการใช้งานขอบคมตัดใบมีดเหล็ก (Licensor) สำหรับการเข้าถึงเทคโนโลยี เพื่อแสดงถึงความตั้งใจของผู้ขอรับอนุญาตใช้สิทธิ (Licensee) เข้าถึงเทคโนโลยีการยืดอายุการใช้งานและชะลอการสึกหรอบริเวณขอบคมตัด ผู้ขอรับอนุญาตใช้สิทธิจำเป็นต้องชำระค่าธรรมเนียมทันทีภายในวันที่ลงนามสัญญา หรือ วันถัดจากการลงนามสัญญา เป็นจำนวนเงินทั้งหมด 300,000 บาท โดยชำระ 1 ครั้ง ซึ่งมีการนำอัตราคิดลดซึ่งปรับตามระดับความเสี่ยงมาพิจารณาร่วมด้วย ดังแสดงในรูปที่ 9.3

อัตราคิดลด	ลักษณะของธุรกิจและเทคโนโลยี
10 – 18%	กรณีไม่มีความเสี่ยงเลย
15 - 20%	กรณีความเสี่ยงต่ำมาก เช่น สิทธิบัตรที่มีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงไปจากเทคโนโลยีหรือสิทธิบัตรเดิม ลักษณะของเทคโนโลยีเป็นประเภทที่ตลาดหรือลูกค้าเข้าใจและรับรู้เป็นอย่างดี มีความต้องการในตัวผลิตภัณฑ์สูงอยู่แล้ว
20 – 30%	กรณีมีความเสี่ยงต่ำ เช่น สินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่มีหน้าที่ใช้สอยหรือคุณลักษณะใหม่ ลักษณะของเทคโนโลยีเป็นประเภทที่ตลาดหรือลูกค้าเข้าใจและรับรู้เป็นอย่างดี และมีข้อมูลหลักฐานที่แสดงถึงความต้องการในตัวผลิตภัณฑ์
25 -35%	กรณีมีความเสี่ยงปานกลาง เช่นเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ลักษณะของเทคโนโลยีเป็นประเภทที่ตลาดหรือลูกค้าเข้าใจและรับรู้เป็นอย่างดี และมีข้อมูลหลักฐานที่แสดงถึงความต้องการในตัวผลิตภัณฑ์
30 – 40%	กรณีมีความเสี่ยงสูง เช่น ผลิตภัณฑ์ใหม่ ต้องสร้างความเข้าใจ ความตระหนัก และการรับรู้ในเทคโนโลยีหรือสิทธิบัตร เป็นเทคโนโลยีที่สามารถทำการตลาดไปสู่กลุ่มตลาดที่มีปรากฏอยู่แล้ว
35 – 45%	กรณีมีความเสี่ยงสูงมาก เช่นเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ที่ใช้เทคโนโลยีใหม่ และมุ่งเน้นการสร้างตลาดกลุ่มใหม่
50 - 70%	กรณีมีความเสี่ยงรุนแรง เช่น เป็นลักษณะของบริษัทจัดตั้งใหม่ ผลิตภัณฑ์ใหม่ เป็นเทคโนโลยีที่ยังไม่ได้มีการทดลองพิสูจน์ กรณีนี้มีความเสี่ยงสูงมาก เนื่องจากโอกาสในการล้มเหลวที่จะพัฒนาเทคโนโลยีไม่สำเร็จ และทำให้ไม่ได้รับผลตอบแทนตามที่คาดการณ์ไว้ หรือผลตอบแทนมีค่าเป็นศูนย์

รูปที่ 9.3 อัตราคิดลดที่ใช้ในการเจรจาต่อรองการอนุญาตใช้สิทธิ
(สิทานนท์ อมตเวทย์, 2559)

จากรูปที่ 9.3 อัตราคิดลดของเทคโนโลยีการชะลอการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดของใบมีด มีอัตราคิดลดเท่ากับร้อยละ 15-20 เนื่องจากเทคโนโลยีมีความเสี่ยงต่ำมาก และผู้ใช้งานมีความเข้าใจและการรับรู้ในการใช้งานเทคโนโลยีเป็นอย่างดี

แผนประมาณการเงินจะจัดทำเป็นงบกำไรขาดทุน 5 ปี โดยประมาณการรายได้ภายใต้สมมติฐานว่าผู้ขอรับอนุญาตเป็นธุรกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก 5 ราย และมีจำนวนผู้ขอรับอนุญาตเพิ่มขึ้นปีละ 1 ราย ซึ่งมีแผนประมาณการทางการเงิน ดังตารางที่ 9.4

ตารางที่ 9.4 แผนประมาณการทางการเงิน

	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
รายได้					หน่วย : บาท
รายได้	0.00	1,500,000.00	1,800,000.00	2,100,000.00	2,400,000.00
กระแสเงินสดรับ	**0.00**	**1,500,000.00**	**1,800,000.00**	**2,100,000.00**	**2,400,000.00**
ค่าใช้จ่าย					
ต้นทุนพัฒนาเทคโนโลยี	100,000.00				
ค่าเช่าสถานที่ทดลอง	36,000.00				
เงินเดือนพนักงาน	108,000.00				
ค่าใช้จ่ายอื่น	50,000.00				
ค่าใช้จ่ายในการตลาดและการบริหารจัดการ (30% ของรายได้)		450,000.00	540,000.00	630,000.00	720,000.00
ต้นทุนต่อยอดเทคโนโลยี		100,000.00	100,000.00	100,000.00	100,000.00
กระแสเงินสดจ่าย	**294,000.00**	**550,000.00**	**640,000.00**	**730,000.00**	**820,000.00**
กระแสเงินสดสุทธิ	**(294,000.00)**	**950,000.00**	**1,160,000.00**	**1,370,000.00**	**1,580,000.00**
กระแสเงินสดสุทธิรวม					**4,766,000.00**

จากตารางที่ 9.4 สามารถนำกระแสเงินสดสุทธิในปีที่ 2-5 มาคำนวณเพื่อหามูลค่าปัจจุบันสิทธิ (Net Present Value : NPV) โดยใช้อัตราคิดลดร้อยละ 20% โดยมีรายละเอียดการคำนวณและมีสูตร ดังนี้

$$NPV = -C_0 + \sum_{i=1}^{T} \frac{C_i}{(1+r)^i}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการคำนวณจะได้เป็น

$$NPV = -294{,}000 + \frac{950{,}000}{(1+0.20)^1} + \frac{1{,}160{,}000}{(1+0.20)^2} + \frac{1{,}370{,}000}{(1+0.20)^3} + \frac{1{,}580{,}000}{(1+0.20)^4}$$

$$NPV = 2{,}858{,}006.17$$

ดังนั้น เทคโนโลยีการยืดอายุการใช้งานแม่พิมพ์ และชะลอการสึกหรอบริเวณขอบคมตัด มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อยู่ที่ 2,858,006.17 บาท (-สองล้านแปดแสนห้าหมื่นแปดพันหกบาท สิบเจ็ดสตางค์-) ในส่วนของค่าเปิดเผยเทคโนโลยี (Disclosure Fee) ผู้ขอรับสิทธิใช้เทคโนโลยี ต้องชำระค่าธรรมเนียมมูลค่า 300,000 บาท (-สามแสนบาทถ้วน-) จำนวน 1 ครั้ง

การประมาณรายได้ของการศึกษานี้จะแสดงด้วยงบกำไรขาดทุน 5 ปี โดยจะคำนวณภายใต้เงื่อนไขตามความแตกต่างของสถานการณ์ คือ กรณีธุรกิจดีกว่าปกติ กรณีปกติ และกรณีธุรกิจแย่ที่สุด ในส่วนของกรณีปกติ จะคำนวณภายใต้สมมติฐานว่ามีผู้ขอรับอนุญาตใช้สิทธิทั้งหมด 5 ราย และพยากรณ์ว่ามีจำนวนผู้ขอรับอนุญาตใช้สิทธิเพิ่มขึ้นปีละ 20% โดยผลการประมาณรายได้จะแสดงดังตารางที่ 9.5

ตารางที่ 9.5 ประมาณการรายได้ ค่าใช้จ่าย และกระแสเงินสดสุทธิในกรณีปกติ (Based Case)

	ปีที่ 1	**ปีที่ 2**	**ปีที่ 3**	**ปีที่ 4**	**ปีที่ 5**
ผู้ขอรับอนุญาตใช้สิทธิ (ราย)		5	6	7	8
รายได้ (บาท)	0.00	1,500,000.00	1,800,000.00	2,100,000.00	2,400,000.00
รวมค่าใช้จ่าย (บาท)	294,000.00	550,000.00	640,000.00	730,000.00	820,000.00
กระแสเงินสดสุทธิ	**(294,000.00)**	**950,000.00**	**1,160,000.00**	**1,370,000.00**	**1,580,000.00**

ในกรณีที่ธุรกิจอยู่ในสถานการณ์แย่ที่สุด (Worst Case) มีวิธีคำนวณภายใต้ข้อสมมติฐานดังนี้

1) ในปีแรกมีจำนวนผู้ขอรับอนุญาตใช้สิทธิทั้งหมด 2 ราย และประมาณการจำนวนผู้ขอรับอนุญาตใช้สิทธิเพิ่มขึ้น 20% ต่อ 2 ปี เนื่องจากสภาวะความผันผวนทางเศรษฐกิจ และจำนวนการผลิตที่ใช้แม่พิมพ์แบบตัดลดลง
2) ค่าใช้จ่ายด้านการต่อยอดเทคโนโลยียังคงเหมือนเดิม คือ ปีละ 100,000 บาท อย่างไรก็ตาม ค่าใช้จ่ายในการตลาดและการบริหารจัดการยังคงผันแปรตามรายได้ (30% ของรายได้)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สรุปการประมาณรายได้ ในกรณีที่ธุรกิจอยู่ในสถานการณ์แย่ที่สุด (Worst Case) จะแสดงผลดังตารางที่ 9.6

ตารางที่ 9.6 ประมาณการรายได้ ค่าใช้จ่าย และกระแสเงินสดสุทธิในกรณีแย่ที่สุด (Worst Case)

	ปีที่ 1	**ปีที่ 2**	**ปีที่ 3**	**ปีที่ 4**	**ปีที่ 5**
ผู้ขอรับอนุญาตใช้สิทธิ (ราย)		2	2	3	3
รายได้ (บาท)	0.00	600,000.00	600,000.00	900,000.00	900,000.00
รวมค่าใช้จ่าย (บาท)	294,000.00	280,000.00	280,000.00	370,000.00	370,000.00
กระแสเงินสดสุทธิ	**(294,000.00)**	**320,000.00**	**320,000.00**	**530,000.00**	**530,000.00**

ในกรณีที่ธุรกิจอยู่ในสถานการณ์ที่ดีที่สุด (Best Case) มีวิธีคำนวณภายใต้ข้อสมมติฐาน ดังนี้

1) ในปีแรกมีจำนวนผู้ขอรับอนุญาตใช้สิทธิทั้งหมด 5 ราย และประมาณการจำนวนผู้ขอรับอนุญาตใช้สิทธิเพิ่มขึ้นปีละ 40% เนื่องจากความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ใช้แม่พิมพ์แบบตัดในกระบวนการผลิตมีการเติบโตสูง
2) ค่าใช้จ่ายด้านการต่อยอดเทคโนโลยียังคงเหมือนเดิม คือ ปีละ 100,000 บาท อย่างไรก็ตาม ค่าใช้จ่ายในการตลาดและการบริหารจัดการยังคงผันแปรตามรายได้ (30% ของรายได้)

สรุปการประมาณรายได้ ในกรณีที่ธุรกิจอยู่ในสถานการณ์ที่ดีที่สุด (Best Case) จะแสดงผลดังตารางที่ 9.7

ตารางที่ 9.7 ประมาณการรายได้ ค่าใช้จ่าย และกระแสเงินสดสุทธิในกรณีที่ดีที่สุด (Best Case)

	ปีที่ 1	**ปีที่ 2**	**ปีที่ 3**	**ปีที่ 4**	**ปีที่ 5**
ผู้ขอรับอนุญาตใช้สิทธิ (ราย)		5	7	9	11
รายได้ (บาท)	0.00	1,500,000.00	2,100,000.00	2,700,000.00	3,300,000.00
รวมค่าใช้จ่าย (บาท)	294,000.00	280,000.00	280,000.00	370,000.00	370,000.00
กระแสเงินสดสุทธิ	**(294,000.00)**	**950,000.00**	**1,370,000.00**	**1,790,000.00**	**2,210,000.00**

ในการศึกษานี้ ต้นทุนในการวิจัยและทดลองอยู่ที่ 294,000 บาท โดยใช้อัตราคิดลด (Discount Rate) ร้อยละ 20% โดยอ้างอิงจากรูปที่ 9.3 โดยมีรายละเอียดความเป็นไปได้ทางการเงินสำหรับการลงทุนในโครงการนี้ ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1) ในกรณีปกติ (Based Case) อ้างอิงจากตารางที่ 9.5 มีผู้ขอรับอนุญาตใช้สิทธิทั้งหมด 5 ราย และพยากรณ์ว่ามีจำนวนผู้ขอรับอนุญาตใช้สิทธิเพิ่มขึ้นปีละ 20% ซึ่งมีระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period) อยู่ที่ 1 ปี มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อยู่ที่ 2,858,006.17 บาท และมีอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) เท่ากับ 342.35% โดยแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 9.8

ตารางที่ 9.8 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ในกรณีปกติ (Based Case)

	ปีที่ 1	**ปีที่ 2**	**ปีที่ 3**	**ปีที่ 4**	**ปีที่ 5**
กระแสเงินสดสุทธิ	(294,000.00)	950,000.00	1,370,000.00	1,790,000.00	2,210,000.00
NPV					2,858,006.17
IRR					342.35%

2) ในกรณีธุรกิจอยู่ในสถานการณ์แย่ที่สุด (Worst Case) อ้างอิงจากตารางที่ 9.6 ในปีแรกมีจำนวนผู้ขอรับอนุญาตใช้สิทธิทั้งหมด 2 ราย และประมาณการจำนวนผู้ขอรับอนุญาตใช้สิทธิเพิ่มขึ้น 20% ต่อ 2 ปี ซึ่งมีระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period) อยู่ที่ 1 ปี มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อยู่ที่ 757,195.99 บาท และมีอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) เท่ากับ 115.87% โดยแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 9.9

ตารางที่ 9.9 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ในกรณีแย่ที่สุด (Worst Case)

	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
กระแสเงินสดสุทธิ	(294,000.00)	320,000.00	320,000.00	530,000.00	530,000.00
NPV					757,195.99
IRR					115.87%

3) ในกรณีธุรกิจอยู่ในสถานการณ์ที่ดีที่สุด (Best Case) อ้างอิงจากตารางที่ 9.7 ในปีแรกมีจำนวนผู้ขอรับอนุญาตใช้สิทธิทั้งหมด 5 ราย และประมาณการจำนวนผู้ขอรับอนุญาตใช้สิทธิเพิ่มขึ้นปีละ 40% ซึ่งมีระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period) อยู่ที่ 1 ปี มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อยู่ที่ 3,550,714.51 บาท และมีอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) เท่ากับ 360.66% โดยแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 9.10

ตารางที่ 9.10 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ในกรณีที่ดีที่สุด (Best Case)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
กระแสเงินสดสุทธิ	(294,000.00)	950,000.00	1,370,000.00	1,790,000.00	2,210,000.00
NPV					3,550,714.51
IRR					360.66%

โดยสรุป คือ โครงการนี้มีความน่าลงทุนเชิงพาณิชย์ โดยมีความเป็นไปได้ด้านการบริหารจัดการ (Operational Feasibility) ความเป็นไปได้ด้านการตลาด (Market Feasibility) และความเป็นไปได้ด้านการเงิน (Financial Feasibility)

บทที่ 10
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้วัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางในการลดการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดของแม่พิมพ์แบบตัดขนาดเล็กและพันช์ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดปัญหาด้านของเสียในโรงงานกรณีศึกษา โดยได้นำแนวคิดซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน คือ การนิยามปัญหา (Define Phase) การวัดสภาพปัญหา (Measure Phase) การวิเคราะห์ปัญหา (Analyze Phase) การปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase) และ การควบคุมกระบวนการ (Control Phase)

จากการวิเคราะห์ตามแนวคิดซิกซ์ ซิกมา พบว่า ปัจจัยที่เป็นไปได้ที่มีผลต่อการสึกหรอ คือ น้ำมันหล่อลื่น และ การเคลือบผิว โดยนำทั้ง 2 ปัจจัยไปดำเนินการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล พบว่า ระดับค่าปัจจัยที่เหมาะสมต่อการลดการสึกหรอในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์และพันช์ คือ การใช้การเคลือบผิวชนิด PVD – AlCrN และ น้ำมันว่านหางจระเข้ ซึ่งจากการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตจริงเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่า จำนวนแม่พิมพ์และพันช์ที่มีการสึกหรอลดลงจาก 25 ตัวต่อเดือนโดยเฉลี่ย เหลือ 3 ตัวต่อเดือน คิดเป็น 88% ที่สามารถลดปริมาณของเสียลงได้ รวมถึงสามารถลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตจาก 72,566 บาทต่อเดือน เหลือเพียง 8,766 ต่อเดือน โดยมีรายละเอียดของการดำเนินงานแต่ละขั้นตอนโดยสรุป ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

10.1 บทสรุประยะนิยามปัญหา

ในขั้นตอนของการนิยามปัญหา ได้ทำการจัดตั้งคณะทำงานเพื่อรวบรวมสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นและศึกษาขั้นตอนในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดขนาดเล็กและพันช์ของโรงงานกรณีศึกษาอย่างละเอียด โดยจากการรวบรวมข้อมูลทางสถิติด้านค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากของเสียในกระบวนการผลิตตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2563 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ.2564 พบว่า การสึกหรอบริเวณขอบคมตัดของแม่พิมพ์และพันช์ส่งผลให้เกิดต้นทุนทางกระบวนการผลิตและสัดส่วนของเสียจำนวนมาก ซึ่งมีปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นต่อเดือนโดยเฉลี่ย 25 ชิ้นต่อเดือน และมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม หรือผลิตใหม่โดยเฉลี่ย 72,566. ต่อเดือน ดังนั้น วัตถุประสงค์หลักในงานวิจัยนี้มี 2 ประการ คือ การหาแนวทางลดการสึกหรอเพื่อปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์และลดปริมาณของเสียของแม่พิมพ์แบบตัด

ขนาดเล็กและพันช์ในกระบวนการปั๊มขึ้นรูป และ การลดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านกระบวนการผลิตที่เกิดจากปริมาณของเสีย

10.2 บทสรุประยะการวัดสภาพปัญหา

สำหรับขั้นตอนการวัดสภาพปัญหา เป็นการกำหนดและอธิบายปัญหา เริ่มแรกได้ทำการตรวจสอบและวิเคราะห์ความถูกต้องและเที่ยงตรงของระบบวัดสภาพปัญหา โดยในงานวิจัยนี้ได้การวิเคราะห์ความสอดคล้องของข้อมูลแบบนับ (Attribute Agreement analysis) และอ้างอิงเกณฑ์ของ AIAG Measurement System Analysis Manual 4th edition ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ได้ ในขั้นตอนการทดสอบ ได้นำพนักงานผู้มีความเชี่ยวชาญในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์และพันช์ทั้งหมด 3 คน มาทำการทดสอบ ด้วยการวิเคราะห์ทั้งหมด 4 ส่วน คือ 1) การวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงาน 2) การวิเคราะห์ความสามารถของพนักงานแต่ละคนเปรียบเทียบค่ามาตรฐาน 3) วิเคราะห์ความสามารถในการตรวจสอบซ้ำของพนักงานทั้ง 3 คน ซึ่งเปรียบเทียบว่าการวัดในแต่ละครั้ง การตัดสินใจของทุกคนมีการสอดคล้องกันหรือไม่ และ 4) วิเคราะห์ความสามารถในการตรวจสอบซ้ำของพนักงานทั้ง 3 คน เทียบกับค่ามาตรฐาน ผลที่ได้จากการอ้างอิงด้วยหลักการของสัมประสิทธิ์ Kappa ผู้ตรวจสอบทั้ง 3 คน มีค่าสัมประสิทธิ์มากกว่า 0.75 ผลสรุปโดยรวมพบว่า ผู้ตรวจสอบทั้ง 3 คน อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในการตรวจสอบคุณภาพของแม่พิมพ์และพันช์ ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่า ระบบวัดสภาพปัญหาสามารถเก็บข้อมูลได้อย่างแม่นยำและเที่ยงตรงซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

10.3 บทสรุประยะการวิเคราะห์ปัญหา

ในระยะการวิเคราะห์ปัญหา เป็นการหาสาเหตุที่เป็นไปได้ในการเกิดการสึกหรอของแม่พิมพ์และพันช์ โดยเริ่มจากระดมความคิดร่วมกับผู้ปฏิบัติงานจริงในกระบวนการผลิตด้วยการใช้แผนผังแสดงเหตุและผล ซึ่งพิจารณาจากปัจจัย 5 ด้าน ได้แก่ ด้านพนักงาน ด้านเครื่องจักร ด้านแนวทางการทำงาน ด้านวัตถุดิบ และด้านสภาพแวดล้อม ซึ่งพบว่ามีปัจจัยทั้งหมด 19 ปัจจัย ที่อาจส่งผลให้เกิดการสึกหรอ จากนั้นได้นำปัจจัยเหล่านั้นมาวิเคราะห์ด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) โดยทำการคัดกรองปัจจัยตามเกณฑ์คะแนนที่กำหนดไว้ จากผลลัพธ์มีปัจจัยที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อทั้งหมด 5 ปัจจัย คือ วิธีการบัดกรี การเคลือบผิว การทำงานของตู้เชื่อม น้ำมันหล่อลื่น และ สถานที่เก็บแม่พิมพ์และพันช์ ขั้นตอนสุดท้าย คือ นำปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยไปทำการวิเคราะห์คุณลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่ตามมา (Failure Mode and Effects Analysis,

FMEA) โดยวิธีการวิเคราะห์จะเรียงลำดับความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN) จากมากไปน้อย ซึ่งได้ผลลัพธ์ที่จะนำไปศึกษาต่อทั้งหมด 2 ปัจจัย ได้แก่ การไม่ใช้น้ำมันหล่อลื่นบริเวณขอบคมตัด และใช้ชนิดการเคลือบผิวไม่เหมาะสม โดยจะนำ 2 ปัจจัยนี้ไปทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมต่อการลดการสึกหรอ และปรับปรุงกระบวนการผลิตเป็นลำดับต่อไป

10.4 บทสรุประยะการปรับปรุงกระบวนการ

ในระยะการปรับปรุงกระบวนการ ขั้นตอนแรก นำปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัย ได้แก่ การเคลือบผิว และ น้ำมันหล่อลื่น มาทำการทดสอบสมมติฐานด้วยชิ้นงานตัวอย่างทั้งหมด 1,500 ชิ้น โดยการแบ่งกลุ่มแม่พิมพ์และพันช์ที่ใช้ในการทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ไม่ใช้น้ำมันหล่อลื่นและไม่มีการเคลือบผิว กับ กลุ่มที่ใช้น้ำมันหล่อลื่นและมีการเคลือบผิว ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ คือ กลุ่มที่ไม่ใช้น้ำมันหล่อลื่นและไม่มีการเคลือบผิวมีสัดส่วนชิ้นงานที่มีปัญหาเท่ากับ 5.6% ในขณะที่กลุ่มที่ใช้น้ำมันหล่อลื่นและมีการเคลือบผิวมีสัดส่วนชิ้นงานที่มีปัญหาเท่ากับ 2.4% จึงสามารถสรุปได้ว่า กลุ่มของแม่พิมพ์และพันช์ที่ใช้น้ำมันหล่อลื่นและมีการเคลือบผิวก่อให้เกิดสัดส่วนของเสียน้อยกว่ากลุ่มที่ใช้น้ำมันหล่อลื่นและมีการเคลือบผิว ดังนั้นจึงนำปัจจัยนำเข้าทั้ง 2 ปัจจัย คือ การเคลือบผิว และ น้ำมันหล่อลื่น มาทำการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล โดยปัจจัยด้านการเคลือบผิวมี 3 ระดับ และ ปัจจัยน้ำมันด้านหล่อลื่นมี 4 ระดับ ทำการออกแบบการทดลอง 2 ครั้ง ซึ่งมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 24 การทดลอง ผลที่ได้จากการทดลองพบว่า ปัจจัยด้านการเคลือบผิว และ ด้านน้ำมันหล่อลื่นส่งผลต่อการสึกหรออย่างมีนัยสำคัญ ต่อจากนั้น ทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม พบว่า การใช้การเคลือบผิวชนิด PVD – AlCrN และ น้ำมันว่านหางจระเข้ ส่งผลให้เกิดการสึกหรอน้อยที่สุด โดยในขั้นตอนต่อไป จะนำค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมไปทำการยืนยันผลการทดลอง เพื่อนำไปปรับใช้ในกระบวนการผลิตจริง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

10.5 บทสรุประยะการควบคุมกระบวนการ

ในระยะการควบคุมกระบวนการ เริ่มแรก ดำเนินการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองเป็นระยะเวลา 14 วัน ผลที่ได้พบว่า การใช้การเคลือบผิวชนิด PVD – AlCrN และ น้ำมันว่านหางจระเข้ ส่งผลต่อการลดการสึกหรอได้จริง และทำให้สัดส่วนของเสียลดน้อยลง หลังจากนั้น ได้กำหนดแนวทางการปฏิบัติงานใหม่ และจัดทำแผนภูมิควบคุม เพื่อนำไปปรับใช้เป็นมาตรฐานการทำงานในกระบวนการผลิตจริง หลังจากทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยมีปริมาณการผลิตแม่พิมพ์และ

พันช์ทั้งหมด 928 ตัว และทำการบันทึกผลข้อมูลเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่า โดยรวมสามารถลดการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดได้ และผลิตภัณฑ์มีคุณภาพเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ จำนวนแม่พิมพ์และพันช์ที่มีการสึกหรอลดลงจากเดิมที่พบ 25 ตัวต่อเดือนโดยเฉลี่ย เหลือเพียง 3 ตัวต่อเดือน ซึ่งสามารถลดสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่มีปัญหาไปได้ 88 เปอร์เซ็นต์ ต่อเดือนโดยเฉลี่ย ทำให้ค่าใช้จ่ายทางกระบวนการผลิตที่เกิดจากของเสียลดลงจาก 72,566 บาทต่อเดือน เหลือเพียง 8,766 ต่อเดือนโดยเฉลี่ย จากการคาดการณ์เบื้องต้น ภายใน 1 ปี พบว่า บริษัทจะสามารถลดต้นทุนเกี่ยวกับปัญหาของเสียได้มากถึง 765,600 ต่อปีโดยเฉลี่ย

10.6 บทสรุปความเป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำนวัตกรรมกระบวนการ (Process Innovation) ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการดำเนินตามขั้นตอนซิกซ์ ซิกมา ไปพัฒนาต่อยอดเพื่อใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ พบว่าผลที่ได้สามารถนำไปปรับปรุงกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ค่าปัจจัยที่ได้จากกการดำเนินการออกแบบการทดลองสามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ หรือ นำเทคโนโลยีออกสู่ตลาดโดยการอนุญาตให้ใช้สิทธิ (Licensing) โดยไม่มีสิทธิในการเปลี่ยนแปลงเจ้าของและไม่จำกัดสิทธิผู้ได้รับอนุญาต (Non-Exclusive Licensing) เนื่องจากสามารถพัฒนาต่อยอดนวัตกรรมและเทคโนโลยีได้ รวมถึงสามารถเปิดเผยเทคโนโลยีให้แก่ผู้สนใจหลายรายได้ ในแง่ของด้านการเงิน มีความเสี่ยงต่ำในการลงทุน และ ใช้เงินลงทุนไปกับการพัฒนาและวิจัยเป็นส่วนใหญ่เท่านั้น อย่างไรก็ตาม มีข้อเสียบางประการ คือ ผู้แข่งขันรายอื่นสามารถดำเนินธุรกิจมาแย่งส่วนแบ่งการตลาดได้ และโอกาสในการขยายตัวทางธุรกิจและได้ผลตอบแทนในอนาคตค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับวิธีการตั้งกิจการเอง (Spin-off) หรือ การดำเนินร่วมทุนทางการค้า (Joint Venture)

ในส่วนของแผนธุรกิจ กลุ่มเป้าหมายแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ 1) กลุ่มผู้ประกอบการธุรกิจที่ใช้แม่พิมพ์แบบตัดและพันช์ในการดำเนินการผลิต 2) กลุ่มผู้ประกอบการธุรกิจ หรือ ผู้ใช้ที่มีการใช้อุปกรณ์ หรือ เครื่องมือในกระบวนการผลิตที่มีใบมีดเหล็กชนิดเดียวกันหรือคล้ายคลึงกันกับแม่พิมพ์แบบตัด จากการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการตลาด คาดว่าจะมีบริษัทหรือผู้ใช้ประมาณอย่างน้อย 5 ราย นำเทคโนโลยีไปประยุกต์ใช้เพื่อยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์และชะลอการสึกหรอบริเวณขอบคมตัด ซึ่งส่งผลให้สามารถลดต้นทุนทางกระบวนการผลิตและปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ในการสร้างแผนธุรกิจ ค่าใช้จ่ายในการวิจัยเทคโนโลยีในปีแรกเป็นจำนวนเงินทั้งหมด 294,000 บาท ซึ่งเป็นทุนมาจากผู้วิจัยเอง โดยคิดค่าเปิดเผยเทคโนโลยีด้วย การประเมินจากค่าใช้จ่าย (Cost Approach) ทำให้ค่าการเปิดเผยเทคโนโลยี (Disclosure Fee) เป็นจำนวนเงินทั้งหมด 300,000 บาท โดยชำระ 1 ครั้ง ซึ่งมีอัตราคิดลดเท่ากับร้อยละ 20 เนื่องจากเทคโนโลยีมีความเสี่ยงต่ำมาก และผู้ใช้งานมีความเข้าใจและการรับรู้ในการใช้งานเทคโนโลยีเป็นอย่างดี เมื่อคำนวณในแง่มุมของความเป็นไปได้ทางการเงิน ในกรณีปกติ (Based Case) ภายใต้สมมติว่ามีผู้ขอรับอนุญาตใช้สิทธิทั้งหมด 5 ราย และพยากรณ์ว่ามีจำนวนผู้ขอรับอนุญาตใช้สิทธิเพิ่มขึ้นปีละ 20% จะมีระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period) อยู่ที่ 1 ปี มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อยู่ที่ 2,858,006.17 บาท และมีอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) เท่ากับ 342.35%

ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่ามีความเป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยีการเคลือบผิวบางแบบ PVD และน้ำมันว่านหางจระเข้ไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากมีความเป็นไปได้ด้านการบริหารจัดการ (Operational Feasibility) ความเป็นไปได้ด้านการตลาด (Market Feasibility) และความเป็นไปได้ด้านการเงิน (Financial Feasibility

10.7 ข้อจำกัดในการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยมีข้อจำกัดและอุปสรรค ดังนี้

1. งานวิจัยนี้ทำการศึกษาและปรับปรุงเพื่อลดการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดของพันช์ขนาดเล็กและแม่พิมพ์แบบตัดขนาดเล็กเท่านั้น
2. ในการยืนยันผลการทดลอง และการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตจำเป็นต้องมีการปั๊มตัดวัสดุเกินกว่า 5,000 ครั้ง และทำควบคู่ไปกับกระบวนการผลิตจริง ทำให้มีค่าใช้จ่ายด้านทรัพยากรที่สูงและส่งผลต่อระยะเวลาในการทำวิจัย

10.8 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัย มีดังนี้

1. สามารถทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปัจจัยด้านอื่นที่ทำให้เกิดการสึกหรอบริเวณขอบคมตัดแม่พิมพ์และพันช์ เช่น วิธีการเชื่อมระหว่างข้อต่อเหล็ก เพื่อหาแนวทางอื่นในการลดต้นทุนและจำนวนของเสียที่เกิดขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. ในงานวิจัยนี้พบว่า น้ำมันชีวภาพ สามารถลดแรงเสียดทานและการเกิดการสึกหรอได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นหากมีการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตเกี่ยวกับน้ำมันชีวภาพชนิดอื่นที่สามารถลดการสึกหรอได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถลดสัดส่วนของเสียได้ จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิตแม่พิมพ์และพันช์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

Abramov, O. andSobolev, S. Current stage of TRIZ evolution and its popularity. in Advances in Systematic Creativity. Palgrave Macmillan, Cham, 2019.

Affatato, S. Wear of orthopaedic implants and artificial joints. Elsevier, 2012.

Afifah, A.N., Syahrullail, S. and Rahim, E.A. Evaluation of palm oil as cold forging lubricant of aluminium A1100 using double cup extrusion test. Proceedings of Asia International Conference on Tribology (2018): 493-494.

Aizawa, T. andMorita, H. Dry Progressive Stamping of Copper-Alloy Snaps by the Plasma Nitrided Punches. Materials Science Forum 920 (2018): 28–33.

Akyurek, F., Yaman, K. and Tekiner, Z. An experimental work on tool wear affected by die clearance and punch hardness. Arabian Journal for Science and Engineering 42(11) (2017): 4683-4692.

Albliwi, S.A., Antony, J. and halim Lim, S.A. A systematic review of Lean Six Sigma for the manufacturing industry. Business Process Management Journal 21(3) (2015): 665-691.

Anon, J.B., Denne, C. and Rees, D. Patient-worn enhanced protection face shield for flexible endoscopy. Otolaryngology–Head and Neck Surgery 163(2) (2020): 280-283.

Antony, J., Laux, C. and Cudney, E. The Ten Commandments of Lean Six Sigma: A Guide for Practitioners. Emerald Group Publishing, 2019.

Bhote, K.R. The ultimate Six Sigma: beyond quality excellence to total business excellence. AMACOM Div American Mgmt Assn, 2002.

Bullinger, A. Innovation and ontologies: Structuring the early stages of innovation management. Wiesbaden: Springer Gabler, 2008.

Chang, H.-T. andChen, J.L. The conflict-problem-solving CAD software integrating TRIZ into eco-innovation. Advances in Engineering Software 35 (2004): 553-566.

Coatings, C. PVD Coating n.d. Available from: https://www.calicocoatings.com/index.php [23 March 2022]

Dearnley, P., Dahm, K. and Çimenoglu, H. The corrosion-wear behaviour of thermally oxidised CP-Ti and Ti-6Al-4V. Wear 256(5) (2004): 469-479.

DropWise. Thermally Initiated Chemical Vapor Deposition n.d. Available from: https://drop-wise.com/technology/ [20 June 2021]

Drucker, P. Innovation and entrepreneurship: Practive and Principles. London: Heinemann, 2014.

El-Haik, B. andAl-Aomar, R. Simulation-based lean six-sigma and design for six-sigma. John Wiley & Sons, 2006.

Emamverdian, A.A., Sun, Y., Cao, C., Pruncu, C. and Wang, Y. Current failure mechanisms and treatment methods of hot forging tools (dies) - a review. Engineering Failure Analysis 129 (2021).

Faraji, G., Kim, H.S. and Kashi, H.T. Introduction. in Faraji, G., Kim, H.S. and Kashi, H.T. (eds.), Severe plastic deformation: methods, processing and properties. 1-17: Elsevier, 2018.

Fernandes, L., Silva, F.J.G., Andrade, M.F., Alexandre, R., Baptista, A.P.M. and Rodrigues, C. Improving the punch and die wear behavior in tin coated steel stamping process. Surface and Coatings Technology 332 (2017): 174-189.

Gaziulusoy, A.I. andBrezet, H. Design for system innovations and transitions: A conceptual framework integrating insights from sustainablity science and theories of system innovations and transitions. Journal of cleaner production 108 (2015): 558-568.

George, M.L. Lean Six Sigma: Combining Six Sigma quality with lean production speed. . New York: McGraw-Hill Education., 2002.

Gupta, D. Success using lean six sigma in terms of operations and business processes. Anchor Academic Publishing (aap_verlag), 2015.

Hanck, C., Arnold, M., Gerber, A. and Schmelzer, M. Introduction to Econometrics with R. University of Duisburg-Essen (2019).

Heires, M. The international organization for standardization (ISO). New Political Economy 13(3) (2008): 357-367.

Holpp, L. andPande, P. What Is Six Sigma? New York: McGraw-Hill, 2002.

Hussein, B., Abou-Nassif, S., Aridi, M., Chamas, M. and Khachfe, H. Challenges and prospects of implementing ISO 9001: 2015 in Lebanese higher education institutions. J. Resour. Dev. Manage 33 (2017): 41-51.

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ISO 56000. Innovation Management – Fundamentals and Vocabulary. ISO International Oranization for Standardization, 2020.

ISO 56002. Innovation Management System – Guidance. 2019, ISO International Organization for Standardization.

ISO. ISO 56002:2019(en) Innovation management — Innovation management system — Guidance 2019. Available from: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:56002:ed-1:v1:en [29 September 2021]

ISO. MEMBERS 2021. Available from: https://www.iso.org/members.html [30 August 2021]

Jack, H. Universal Design Topics. in Engineering Design, Planning, and Management. 323-380: Academic press, 2013.

Jeevan, T.P. andJayaram, S.R. Studies on Tribological and Metal Forming Performance of Vegetable Oil-Based Lubricants. In Advances in Materials and Manufacturing Engineering (2020): 265-271.

Jeevan, T.P. andJayaram, S.R. Studies on Tribological and Metal Forming Performance of Vegetable Oil-Based Lubricants. in, pp. 265-271. Singapore: Springer Singapore, 2020.

Jones, B. Global Warming: What is the level of statistical significance in warming? 2019. Available from: https://www.quora.com/Global-Warming-What-is-the-level-of-statistical-significance-in-warming [30 August 2021]

Kadry, S. Understanding Six Sigma: Concepts, Applications and Challenges. New York: Nova Science Publishers, 2018.

Kascak, L., Mucha, J., Spisak, E. and Kubik, R. Wear study of mechanical clinching dies during joining of advanced high-strength steel sheets. Strength of Materials 49(5) (2017): 726-737.

Kent, R. Tools for quality management and improvement. in Quality Management in Plastics Processing. 197-226. Amsterdam: Elsevier, 2016.

Liker, J.K. andMeier, D. The Toyota way fieldbook: a practical guide for implementing Toyota's 4Ps. New York: McGraw-Hill Education, 2006.

Liu, Z., Feng, J. and Wang, J. Resource-constrained innovation method for sustainability: application of morphological analysis and TRIZ inventive principles. Sustainability 12(3) (2020): 917.

M Report. ทำอย่างไรเมื่ออุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทยจะก้าวสู่ยุค 4.0? 2018. Available from: https://www.mreport.co.th/news/industry-movement/079-Metalworking-MoldandDie-Industry4 [22 August 2021]

Marinescu, I.D., Rowe, W.B., Dimitrov, B. and Inaski, I. Tribology of abrasive machining processes. Elsevier, 2004.

Markarian, J. What is Six Sigma? Reinforced Plastics 48(7) (2004): 46-49.

Mitchell, J.A. Measuring the maturity of a technology: guidance on assigning a TRL. 2007, Sandia National Laboratories (SNL): California.

OECD. Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data. in Oslo Manual. (3rd ed): OECD & Statistical Office of the European Communities, 2005.

Oliveira, T.L.L., Neves, F.O., De Paula, T.C. and Junior, A.C.A. Heat treatment and lubrication analysis of the surface integrity of cold extruded metals. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology 7(2) (2020): 329-336.

Onuoha, O.J., Abu, J.O., Lawal, S.A., Mudiare, E. and Adeyemi, M.B. Determining the Effect of Cutting Fluids on Surface Roughness in Turning AISI 1330 Alloy Steel Using Taguchi Method. Modern Mechanical Engineering 6 (2016): 51-59.

Owen. Laser die by laser die cutter, this is how it works 2018. Available from: http://www.yisonggroup.com/Laser-die-by-laser-die-cutter-this-is-how-it-works.html [21 August 2021]

Paperfox. WHAT IS DIE CUTTING? n.d. Available from: https://www.paperfox.eu/what-is-die-cutting-.html [18 June 2021]

Razgaitis, R. Pricing the intellectual property of early-stage technologies: a primer of basic valuation tools and considerations. Intellectual property management in health and agricultural innovation: a handbook of best practices 1 and 2 (2007): 813-860.

Romero, D., Larsson, L., Ronnback, A.O. and Stahre, J. Strategizing for Production Innovation. in *IFIP International Conference on Advances in Production*

Management Systems, Lodding, H., Riedel, R., Thoben, K.-D., Cieminski, G.v. and Kiritsis, D., Editors. 2017, Springer International Publishing.: Cham.

Ronquillo, R. Introduction to Flatbed Die Cutting 2021. Available from: https://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/introduction-to-flatbed-die-cutting/ [18 August 2021]

Rothwell, R. andGardiner, P. Re-innovation and robust designs: Producer and user benefits. Journal of Marketing Management 3(3) (1988): 372-387.

Sarkar, D. Lessons in six sigma: 72 must-know truths for managers. SAGE Publications India, 2004.

Schallmo, D.R.A., Brecht, L. and Ramosaj, B. Process Innovation: Enabling Change by Technology: Basic Principles and Methodology: A Management Manual and Textbook with Exercises and Review Questions. Berlin: Springer Gabler, 2018.

Schey, J.A. Tribology in Metalworking: Friction, Lubrication and Wear. Metals Park, Ohio: American Society for Metals, 1983.

Singh, G. andAhuja, I.S. Just-in-time manufacturing: literature review and directions. International Journal of Business Continuity and Risk Management 3(1) (2012): 57-98.

Singh, M. andRathi, R. A structured review of Lean Six Sigma in various industrial sectors. International Journal of Lean Six Sigma 10(2) (2019): 622-664.

Smetkowska, M. andMrugalska, B. Using Six Sigma DMAIC to improve the quality of the production process: a case study. Procedia-Social and Behavioral Sciences 238 (2018): 590-596.

Sojka, V. andLepsik, P. Use of TRIZ, and TRIZ with Other Tools for Process Improvement: A Literature Review. Emerging Science Journal 4(5) (2020): 319-335.

Straffelini, G., Bizzotto, G. and Zanon, V. Improving the wear resistance of tools for stamping. Wear 269(9-10) (2010): 693-697.

Subramonian, S., Altan, T., Ciocirlan, B. and Campbell, C. Optimum selection of variable punch-die clearance to improve tool life in blanking non-symmetric shapes. International Journal of Machine Tools and Manufacture 75 (2013): 63-71.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Tang, L.C., Goh, T.N., Yam, H.S. and Yoap, T. Six sigma: advanced tools for black belts and master black belts. John Wiley & Sons, 2007.

Tanzi, M.C., Farè, S. and Candiani, G. Foundations of biomaterials engineering. Academic Press, 2019.

Tidd, J., Bessant, J. and Pavitt, K. Managing innovation: integrating technological, market and organizational change. John Wiley & Sons, 2009.

Truscott, W. Six Sigma. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2003.

Uhler, A.D., Stout, S.A., Douglas, G.S., Healey, E.M. and Emsbo-Mattingly, S.D. Chemical character of marine heavy fuel oils and lubricants. in Standard Handbook Oil Spill Environmental Forensics. 641-683: Elsevier, 2016.

USACE. Lubricants and Hydraulic Fluids. in Engineering Manual EM 1110-2-1424. U.S. Army Corps of Engineers, 2016.

Wang, X., et al. Vegetable oil-based nanofluid minimum quantity lubrication turning: academic review and perspectives. Journal of Manufacturing Processes 59 (2020): 76-97.

Wieckowski, W., Adamus, J. and Dyner, M. Sheet metal forming using environmentally benign lubricant. Archives of Civil and Mechanical Engineering 20(2) (2020): 1-12.

Zhan, W. andXuru, D. Lean Six Sigma and Statistical Tools for Engineers and Engineering Managers. New York: Momentum Press, 2016.

กาญจนา กาญจนสุนทร. การควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2559.

เกรียงศักดิ์ ปรีชา. ผังเหตุและผล 2553. แหล่งที่มา: https://www.gotoknow.org/posts/413892 [20 มิถุนายน 2564]

เฉลิมพล คล้ายนิล, จิณกมล ลุยจันทร์ และ พงศกร หลีตระกูล. การศึกษาอิทธิพลของระยะช่องว่างคมตัดที่มีผลต่อพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์สำหรับการตัดเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง. วารสารมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 24(3) (2560): 1-12.

ชาญยุทธ ตระกูลสรณคมน์. ศึกษาการปรับปรุงผิวของแม่พิมพ์แบบยึดติดสาหรับต้านทานการสึกหรอด้วยกระบวนการชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมเหลว. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ 12(2) (2563): 207-222.

ชุติกา เกียรติเรืองไกร, พรชนก เทพขาม และ ชินวรวัฒนา, ว. 10 ปีอุตสาหกรรมไทย เรามาไกลแค่ไหน. FOCUSED AND QUICK (FAQ) (165) (2563): 1-13.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปกรณ์ ชุมรุม, วารุณี เปรมานนท์ และ คมกริช ละวรรณวงษ์. การประยุกต์ใช้การปรับสภาพผิวเพื่อเพิ่มความต้านทานการสึกหรอในแม่พิมพ์ตัด. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 12(1) (2559).

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง = Design and analysis of experiments. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ท้อป, 2551.

ปรีดา ยังสุขสถาพร. ทรัพย์สินทางปัญญาน่ารู้และวิธีการประเมินมูลค่า. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ, 2551.

ปารเมศ ชุติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

พุฒิธร เขตเจริญ. การศึกษาอิทธิพลของสารเคลือบผิวแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ ชนิดราคา 1 บาท. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2560.

เรืองลักษณ์ บุตรเพ็ชร, จุฑาวรรณ อ้นสุวรรณ และ ธิดาเดียว มยุรีสวรรค์. เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด 2559. แหล่งที่มา: http://sc2.kku.ac.th/stat/statweb/images/Eventpic/60/Seminar/02_13_-7-.pdf [18 มิถุนายน 2564]

วารุณี เปรมานนท์ และพงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์. งานขึ้นรูปโลหะ เล่มที่ 1 แม่พิมพ์โลหะแผ่น. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2551.

วิโรจน์ ลักขณาอดิศ. ลีนอย่างไร-สร้างกำไรให้องค์กร = Profitable lean manufacturing. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2552.

สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ. การจัดการนวัตกรรมสำหรับผู้บริหาร ฉบับปรับปรุงใหม่. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553.

สิทานนท์ อมตเวทย์. แนวทางการประเมินมูลค่าทรัพย์สินทางปัญญาในมหาวิทยาลัย กรณีศึกษาสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร อุปกรณ์ทางการแพทย์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาบริหารธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2559.

หน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์. Control Chart ใช้ง่ายได้ประโยชน์ ม.ป.ป. แหล่งที่มา: http://ced.sci.psu.ac.th/km/km/testing-km/control-chart [15 มิถุนายน 2564]

อรุณี หลักคำ, วิทวัช วงศ์พิศาล และ สินธุ จันทพันธ์. วิศวกรรมพื้นผิว ตอนที่ 3 กระบวนการสร้างฟิล์มบางด้วยไอเคมีและไอทางกายภาพภายใต้สภาวะสุญญากาศ 2557. แหล่งที่มา: https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/291_33-42.pdf [18 มิถุนายน 2564]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
ข้อมูลระยะนิยามปัญหา

ตารางที่ ก.1 จำนวนของเสียในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์แยกตามสาเหตุของปัญหา เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563
ตารางที่ ก.2 จำนวนของเสียในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์แยกตามสาเหตุของปัญหา เดือนธันวาคม พ.ศ. 2563
ตารางที่ ก.3 จำนวนของเสียในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์แยกตามสาเหตุของปัญหา เดือนมกราคม พ.ศ. 2564
ตารางที่ ก.4 จำนวนของเสียในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์แยกตามสาเหตุของปัญหา เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564
ตารางที่ ก.5 จำนวนของเสียในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์แยกตามสาเหตุของปัญหา เดือนมีนาคม พ.ศ. 2564

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก.1 จำนวนของเสียในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์แยกตามสาเหตุของปัญหา เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563

วันที่	จำนวนการผลิต	จำนวนของเสีย	จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าร้องเรียน	สาเหตุ	
				การสึกหรอ	อื่นๆ
2 พ.ย. 2563	23	-	-	-	-
3 พ.ย. 2563	20	1	-	1	-
4 พ.ย. 2563	15	-	-	-	-
5 พ.ย. 2563	31	3	1	3	1
6 พ.ย. 2563	28	3	-	2	1
7 พ.ย. 2563	21	2	-	2	-
9 พ.ย. 2563	18	-	1	1	-
10 พ.ย. 2563	21	1	-	-	1
11 พ.ย. 2563	25	-	-	-	-
12 พ.ย. 2563	30	2	1	3	-
13 พ.ย. 2563	18	-	-	-	-
14 พ.ย. 2563	20	-	-	-	-
16 พ.ย. 2563	22	-	1	1	-
17 พ.ย. 2563	24	1	-	-	1
18 พ.ย. 2563	16	-	-	-	-
19 พ.ย. 2563	26	-	2	2	-
20 พ.ย. 2563	30	1	-	1	-
21 พ.ย. 2563	28	1	-	-	1
23 พ.ย. 2563	35	-	1	1	-
24 พ.ย. 2563	22	-	-	-	-
25 พ.ย. 2563	24	1	-	-	1
26 พ.ย. 2563	27	-	-	-	-
27 พ.ย. 2563	35	3	2	4	1
28 พ.ย. 2563	19	-	-	-	-
30 พ.ย. 2563	22	-	-	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก.2 จำนวนของเสียในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์แยกตามสาเหตุของปัญหา เดือนธันวาคม พ.ศ. 2563

วันที่	จำนวนการผลิต	จำนวนของเสีย	จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าร้องเรียน	สาเหตุ	
				การสึกหรอ	อื่นๆ
1 ธ.ค. 2563	30	2	-	2	-
2 ธ.ค. 2563	24	-	1	1	-
3 ธ.ค. 2563	21	-	-	-	-
4 ธ.ค. 2563	28	2	-	1	1
5 ธ.ค. 2563	22	-	-	-	-
7 ธ.ค. 2563	24	-	-	-	-
8 ธ.ค. 2563	33	3	1	3	1
9 ธ.ค. 2563	26	-	-	-	-
10 ธ.ค. 2563	38	2	-	1	1
11 ธ.ค. 2563	25	-	1	1	-
12 ธ.ค. 2563	28	1	-	1	-
14 ธ.ค. 2563	25	1	-	-	1
15 ธ.ค. 2563	19	-	-	-	-
16 ธ.ค. 2563	15	-	-	-	-
17 ธ.ค. 2563	20	-	-	-	-
18 ธ.ค. 2563	26	1	2	2	1
19 ธ.ค. 2563	24	-	-	-	-
21 ธ.ค. 2563	20		-	-	-
22 ธ.ค. 2563	29	2	2	3	1
23 ธ.ค. 2563	21	-	-	-	-
24 ธ.ค. 2563	22	-	2	2	-
25 ธ.ค. 2563	24	1	-	1	-
26 ธ.ค. 2563	22	-	-	-	-
28 ธ.ค. 2563	21	-	1	1	-
29 ธ.ค. 2563	20	-	-	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก.2 จำนวนของเสียในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์แยกตามสาเหตุของปัญหา เดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 (ต่อ)

วันที่	จำนวน การผลิต	จำนวน ของเสีย	จำนวน ผลิตภัณฑ์ที่ ลูกค้าร้องเรียน	สาเหตุ	
				การสึกหรอ	อื่นๆ
30 ธ.ค. 2563	20	-	-	-	-
31 ธ.ค. 2563	23	-	-	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก.3 จำนวนของเสียในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์แยกตามสาเหตุของปัญหา เดือนมกราคม พ.ศ. 2564

วันที่	จำนวนการผลิต	จำนวนของเสีย	จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าร้องเรียน	สาเหตุ	
				การสึกหรอ	อื่นๆ
4 ม.ค. 2564	35	-	1	1	-
5 ม.ค. 2564	38	2	-	1	1
6 ม.ค. 2564	28	-	-	-	-
7 ม.ค. 2564	40	3	1	2	2
8 ม.ค. 2564	32	-	3	3	-
9 ม.ค. 2564	25	-	-	-	-
11 ม.ค. 2564	31	1	-	-	1
12 ม.ค. 2564	23	-	-	-	-
13 ม.ค. 2564	20	-	-	-	-
14 ม.ค. 2564	25	-	2	2	-
15 ม.ค. 2564	32	1	-	1	-
16 ม.ค. 2564	21	-	-	-	-
18 ม.ค. 2564	24	-	-	-	-
19 ม.ค. 2564	29	1	-	-	1
20 ม.ค. 2564	34	2	1	2	1
21 ม.ค. 2564	22	-	-	-	-
22 ม.ค. 2564	40	2	1	1	2
23 ม.ค. 2564	30	-	1	1	-
25 ม.ค. 2564	23	-	-	-	-
26 ม.ค. 2564	39	1	-	-	1
27 ม.ค. 2564	31	1	-	1	-
28 ม.ค. 2564	24	-	-	-	-
29 ม.ค. 2564	29	-	2	2	-
30 ม.ค. 2564	35	2	1	1	2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก.4 จำนวนของเสียในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์แยกตามสาเหตุของปัญหา เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564

วันที่	จำนวนการผลิต	จำนวนของเสีย	จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าร้องเรียน	สาเหตุ	
				การสึกหรอ	อื่นๆ
1 ก.พ. 2564	25	-	1	1	-
2 ก.พ. 2564	20	-	-	-	-
3 ก.พ. 2564	22	-	1	1	-
4 ก.พ. 2564	32	2	-	1	1
5 ก.พ. 2564	30	-	-	-	-
6 ก.พ. 2564	28	-	3	3	-
8 ก.พ. 2564	23	-	-	-	-
9 ก.พ. 2564	25	-	2	2	-
10 ก.พ. 2564	28	1	-	-	1
11 ก.พ. 2564	41	3	-	2	1
12 ก.พ. 2564	24	-	-	-	-
13 ก.พ. 2564	32	2	1	2	1
15 ก.พ. 2564	26	-	-	-	-
16 ก.พ. 2564	33	1	-	-	1
17 ก.พ. 2564	30	-	-	-	-
18 ก.พ. 2564	29	1	-	1	-
19 ก.พ. 2564	35	1	1	1	-
20 ก.พ. 2564	30	-	-	-	-
22 ก.พ. 2564	26	-	-	-	-
23 ก.พ. 2564	24	-	-	-	-
24 ก.พ. 2564	26	-	-	-	-
25 ก.พ. 2564	35	2	-	-	2
26 ก.พ. 2564	31	-	1	1	-
27 ก.พ. 2564	25	-	1	1	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก.5 จำนวนของเสียในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์แยกตามสาเหตุของปัญหา เดือนมีนาคม พ.ศ. 2564

วันที่	จำนวนการผลิต	จำนวนของเสีย	จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าร้องเรียน	สาเหตุ	
				การสึกหรอ	อื่นๆ
1 มี.ค. 2564	31	1	-	-	1
2 มี.ค. 2564	29	-	-	-	-
3 มี.ค. 2564	25	-	-	-	-
4 มี.ค. 2564	27	-	2	2	-
5 มี.ค. 2564	30	-	-	-	-
6 มี.ค. 2564	22	-	1	1	-
8 มี.ค. 2564	24	-	-	-	-
9 มี.ค. 2564	32	2	1	1	2
10 มี.ค. 2564	22	-	-	-	-
11 มี.ค. 2564	24	-	-	-	-
12 มี.ค. 2564	28	1	2	2	1
13 มี.ค. 2564	20	-	-	-	-
15 มี.ค. 2564	21	-	-	-	-
16 มี.ค. 2564	26	-	2	2	-
17 มี.ค. 2564	25	-	-	-	-
18 มี.ค. 2564	34	1	1	2	-
19 มี.ค. 2564	22	-	-	-	-
20 มี.ค. 2564	38	2	1	1	2
22 มี.ค. 2564	25	-	-	-	-
23 มี.ค. 2564	35	1	-	1	-
24 มี.ค. 2564	20	-	-	-	-
25 มี.ค. 2564	24	-	1	1	-
26 มี.ค. 2564	26	-	-	-	-
27 มี.ค. 2564	31	1	-	1	-
29 มี.ค. 2564	21	1	-	-	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก.5 จำนวนของเสียในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แบบตัดและพันช์แยกตามสาเหตุของปัญหา เดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 (ต่อ)

วันที่	จำนวนการผลิต	จำนวนของเสีย	จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าร้องเรียน	สาเหตุ	
				การสึกหรอ	อื่นๆ
30 มี.ค. 2564	28	-	-	-	-
31 มี.ค. 2564	30	-	3	3	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ข
ข้อมูลระยะการวัดสภาพปัญหา

ตารางที่ ข.1 ผลการให้คะแนนตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)
ตารางที่ ข.2 เกณฑ์การให้คะแนนตามความรุนแรงของผลกระทบ (Severity ; S)
ตารางที่ ข.3 เกณฑ์การให้คะแนนตามโอกาสการเกิดขึ้นของข้อบกพร่อง (Occurrence ; O)
ตารางที่ ข.4 เกณฑ์การให้คะแนนตามความสามารถในการตรวจจับของระบบควบคุมกระบวนการ (Detection ; D)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.1 ผลการให้คะแนนตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

ลำดับ	กลุ่มปัจจัย	สาเหตุ		หัวหน้า				ผลสรุป
				การผลิต	วางแผน	ควบคุมคุณภาพ	คนงาน	
1	Man	พนักงานในกระบวนการผลิต	ประมาท	3	3	3	3	3
2			ไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการทำงาน	3	3	1	3	3
3			ควบคุมกระบวนการผลิตผิดพลาด	3	3	3	3	3
4			ประสบการณ์ทำงานน้อย	1	1	1	0	1
5		พนักงานในกระบวนการควบคุมคุณภาพ	ขาดความรู้ความเข้าใจในการดูแลรักษาขอบคมตัด	3	3	3	3	3
6			ประสบการณ์ทำงานน้อย	1	1	1	0	1
7	Machine	ตู้เชื่อม	ทำงานผิดพลาด	9	3	9	9	9
8			ขาดการบำรุงรักษา	1	3	3	3	3
9		เครื่องมือทั่วไป	ชำรุดและขาดการบำรุงรักษา	1	1	1	3	1
10	Material	เหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์	ไม่มีคุณภาพ	3	3	1	3	3
11			เสื่อมสภาพ	3	3	3	3	3
12			ไม่มีการตรวจสอบคุณภาพวัสดุ	1	1	1	0	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.1 ผลการให้คะแนนตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) (ต่อ)

ลำดับ	กลุ่มปัจจัย	สาเหตุ		หัวหน้า				ผลสรุป
				การผลิต	วางแผน	ควบคุมคุณภาพ	คนงาน	
13	Method	บริเวณขอบคมตัด	ไม่ใช้น้ำมันหล่อลื่น	9	9	9	9	9
14			ใช้ชนิดการเคลือบผิวไม่เหมาะสม	9	9	9	9	9
15		การเชื่อม	ใช้ลวดเชื่อมไม่เหมาะสม	3	1	3	3	3
16			การบัดกรีในแต่ละจุดไม่ละเอียดถี่ถ้วน	9	9	9	3	9
17	Environment	สถานที่เก็บแม่พิมพ์	มีอุณหภูมิและความชื้นไม่เหมาะสม	3	9	9	9	9
18		บริเวณพื้นที่ทำงาน	สารเคมีปนเปื้อนในอากาศจากสถานีงานใกล้เคียง	0	1	0	0	0
19			มีอุณหภูมิและความชื้นไม่เหมาะสม	1	1	1	0	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.2 เกณฑ์การให้คะแนนตามความรุนแรงของผลกระทบ (Severity ; S)

ผลกระทบ	ความรุนแรงของผลกระทบ	ระดับ
ผลกระทบร้ายแรงในกระบวนการผลิตโดยปราศจากสัญญาณเตือน	สามารถเห็นการสึกหรอได้อย่างชัดเจน และส่งผลให้วัสดุเสียหาย และส่งผลต่อความปลอดภัยของผู้ใช้	10
ผลกระทบร้ายแรงในกระบวนการผลิตโดยมีสัญญาณเตือน	สามารถเห็นการสึกหรอได้อย่างชัดเจน มีแนวโน้มส่งผลให้วัสดุเสียหาย และส่งผลต่อความปลอดภัยของผู้ใช้	9
สูงมาก	แม่พิมพ์สามารถใช้งานได้ แต่ระดับสมรรถนะลดลงจนทำให้ลูกค้าไม่พอใจมาก	8
สูง	แม่พิมพ์สามารถใช้งานได้ แต่ไม่สามารถตัดวัสดุได้อย่างสวยงาม	7
ปานกลาง	แม่พิมพ์สามารถใช้งานได้ มีการสึกหรอและประสิทธิภาพในการตัดวัสดุลดลง	6
ต่ำ	แม่พิมพ์สามารถใช้งานตัดวัสดุได้ ลูกค้าส่วนใหญ่ (>75%) สามารถสังเกตเห็นการสึกหรอบริเวณขอบคมตัด	5
ต่ำมาก	แม่พิมพ์สามารถใช้งานตัดวัสดุได้ ลูกค้าส่วนน้อย (<25%) สามารถสังเกตเห็นการสึกหรอบริเวณขอบคมตัด	4
มีผลกระทบเล็กน้อย	มีการสึกหรอเล็กน้อยแต่ไม่พบปัญหาการร้องเรียนจากลูกค้า	3
แทบไม่มีผลกระทบ	ไม่สามารถสังเกตการสึกหรอได้ด้วยตาเปล่า	2
ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบที่สามารถสังเกตได้	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.3 เกณฑ์การให้คะแนนตามโอกาสการเกิดขึ้นของข้อบกพร่อง (Occurrence ; O)

ความน่าจะเป็นในการเกิดปัญหา	โอกาสการเกิดขึ้นของข้อบกพร่อง	ระดับ
สูงมาก : เกิดปัญหาเป็นประจำ	ใน 1 วัน เกิดข้อบกพร่องอย่างน้อย 2 ครั้ง	10
	ใน 1 วัน เกิดข้อบกพร่อง 1 ครั้ง	9
สูง : เกิดปัญหาบ่อย	ใน 1 สัปดาห์ เกิดข้อบกพร่องอย่างน้อย 2 ครั้ง	8
	ใน 1 สัปดาห์ เกิดข้อบกพร่อง 1 ครั้ง	7
	ใน 2 สัปดาห์ เกิดข้อบกพร่องอย่างน้อย 2 ครั้ง	6
ปานกลาง : เกิดปัญหาเป็นครั้งคราว	ใน 2 สัปดาห์ เกิดข้อบกพร่อง 1 ครั้ง	5
	ใน 1 เดือน เกิดข้อบกพร่องอย่างน้อย 2 ครั้ง	4
ต่ำ : เกิดปัญหาค่อนข้างน้อย	ใน 1 เดือน เกิดข้อบกพร่อง 1 ครั้ง	3
	มีโอกาสเกิดข้อบกพร่อง	2
น้อยมาก : แทบไม่มีโอกาสเกิดปัญหา	ไม่มีข้อบกพร่องเกิดขึ้น	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.4 เกณฑ์การให้คะแนนตามความสามารถในการตรวจจับของระบบควบคุมกระบวนการ (Detection ; D) A – ระบบป้องกันความผิดพลาด B – ใช้เครื่องมือตรวจสอบ C – ตรวจสอบโดยผู้ปฏิบัติงาน

การตรวจจับ	**กฎเกณฑ์**	**ประเภทการตรวจสอบ**			**ขอบเขตวิธีการตรวจจับ**	**ระดับ**
		A	**B**	**C**		
เกือบจะเป็นไปไม่ได้	ไม่มีระบบตรวจจับได้			X	ไม่สามารถตรวจพบได้	10
เป็นไปได้ยากมาก	ไม่มีระบบตรวจจับได้			X	มีเพียงการควบคุมทางอ้อม หรือ สุ่มตรวจสอบเท่านั้น	9
เป็นไปได้ยาก	มีระบบควบคุมแต่ไม่สามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้			X	มีเพียงการควบคุมด้วยสายตาเท่านั้น	8
ต่ำมาก	มีระบบควบคุมแต่มีโอกาสน้อยมากที่สามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้			X	มีการควบคุมด้วยสายตาจำนวน 2 ครั้ง	7
ต่ำ	มีระบบควบคุมแต่มีโอกาสน้อยที่สามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้		X	X	ควบคุมด้วยการใช้แผนควบคุม SPC	6
ปานกลาง	มีระบบควบคุมและอาจตรวจจับข้อบกพร่องได้		X		มีการใช้เกจต่างๆในการตรวจสอบ	5
ค่อนข้างสูง	มีระบบควบคุมและมีโอกาสสูงที่ตรวจจับข้อบกพร่องได้	X	X		มีการควบคุมโดยใช้เครื่องมือวัดในกระบวนการย่อย โดยวัดชิ้นงานก่อนออกจากจุดปฏิบัติงาน	4
สูง	มีระบบควบคุมและมีโอกาสสูงที่ตรวจจับข้อบกพร่องได้	X	X		ตรวจพบข้อบกพร่องในจุดปฏิบัติงานหรือในกระบวนการย่อยต่างๆ ไม่มีการส่งต่อชิ้นงานเสีย	3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เกณฑ์การให้คะแนนตามความสามารถในการตรวจจับของระบบควบคุมกระบวนการ (Detection ; D) A – ระบบป้องกันความผิดพลาด B – ใช้เครื่องมือตรวจสอบ C – ตรวจสอบโดยผู้ปฏิบัติงาน (ต่อ)

การตรวจจับ	**กฎเกณฑ์**	**ประเภทการตรวจสอบ**			**ขอบเขตวิธีการตรวจจับ**	**ระดับ**
		A	B	C		
สูงมาก	มีระบบควบคุมและมีโอกาสค่อนข้างแน่นอนที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	X	X		ตรวจพบข้อบกพร่องในกระบวนการย่อย ไม่สามารถส่งต่อชิ้นงานเสียได้	2
เกือบจะมีความแน่นอน	มีระบบควบคุมและมีโอกาสแน่นอนที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	X			ไม่มีการเกิดชิ้นงานที่บกพร่องเนื่องจากมีการป้องกันความผิดพลาดโดย กระบวนการและการออกแบบผลิตภัณฑ์	1

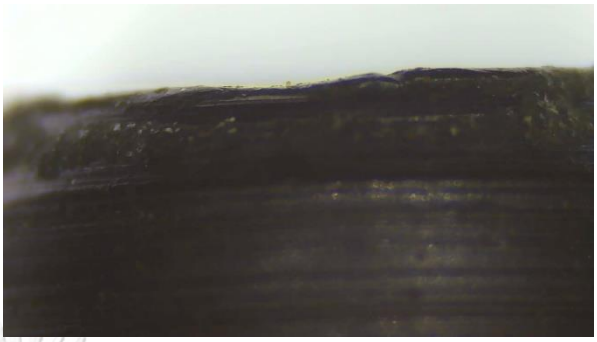
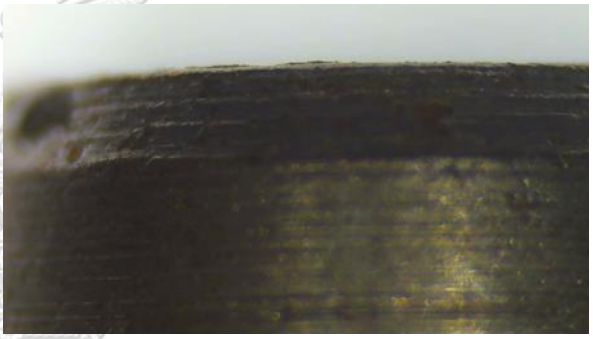
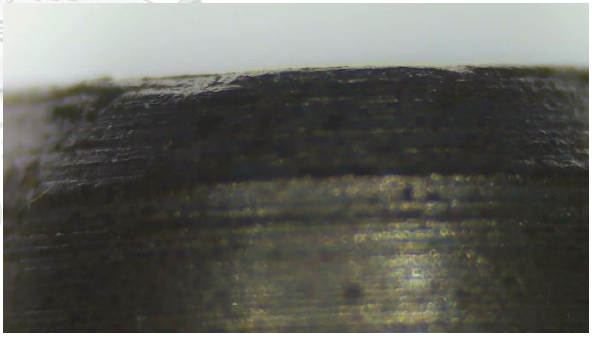
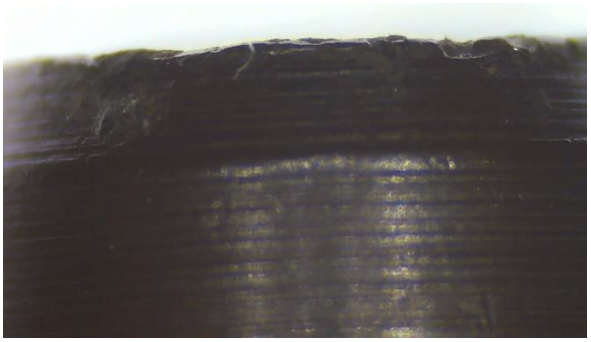
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค
ข้อมูลระยะการปรับปรุงกระบวนการ

ตารางที่ ค.1 ภาพถ่ายการสึกหรอของพันช์ที่เคลือบผิวชนิด PVD-TiCN หลังปั๊มตัด 10,000 ครั้ง
ตารางที่ ค.2 ภาพถ่ายการสึกหรอของพันช์ที่เคลือบผิวชนิด PVD-AlCrN หลังปั๊มตัด 10,000 ครั้ง
ตารางที่ ค.3 ภาพถ่ายการสึกหรอของพันช์ที่เคลือบผิวชนิด PVD-TiAlN หลังปั๊มตัด 10,000 ครั้ง

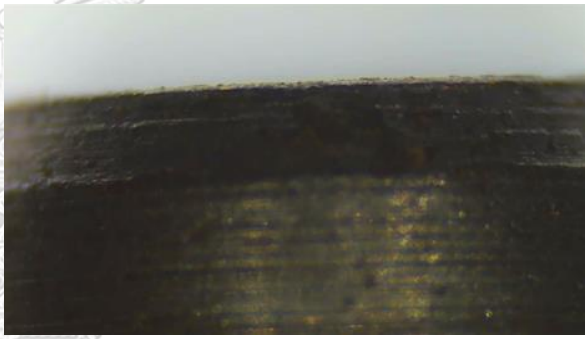
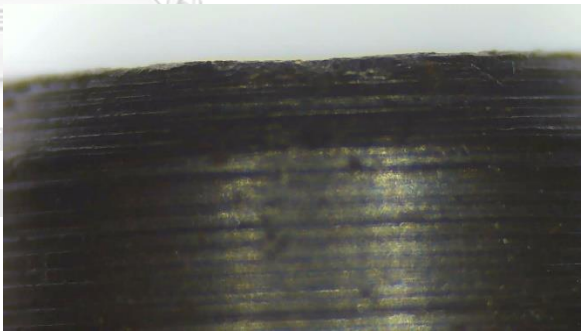
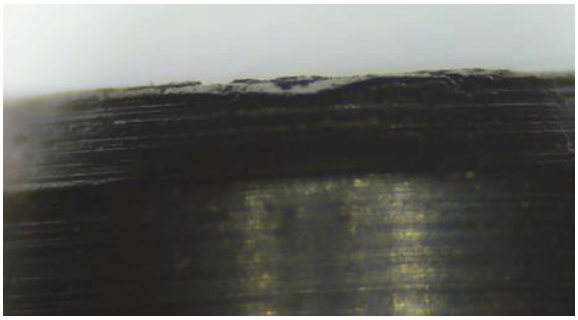
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค.1 ภาพถ่ายการสึกหรอของพันธ์ที่เคลือบผิวชนิด PVD-TiCN หลังปั๊มตัด 10,000 ครั้ง

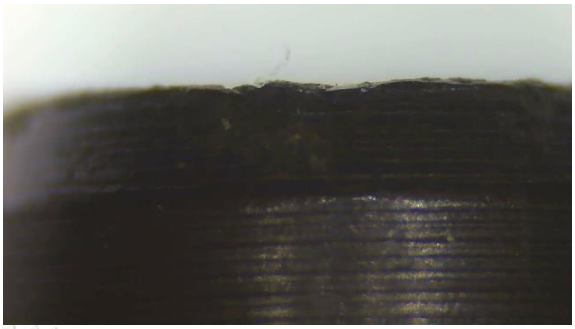
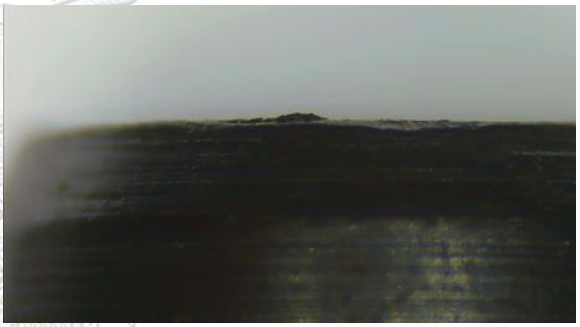
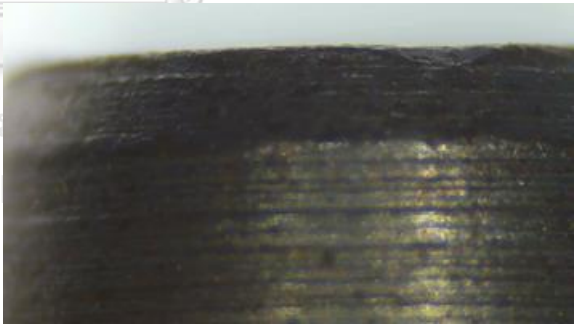
ประเภทของน้ำมันหล่อลื่น	การเคลือบผิว PVD-TiCN	ภาพถ่ายการสึกหรอ
	น้ำมันมะพร้าว (Coconut Oil)	
	น้ำมันว่านหางจระเข้ (Aloe Vera Oil)	
	น้ำมันละหุ่ง (Castor Oil)	
	น้ำมันแร่ (Mineral Oil)	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค.2 ภาพถ่ายการสึกหรอของพันช์ที่เคลือบผิวชนิด PVD-AlCrN หลังปั๊มตัด 10,000 ครั้ง

ประเภทของน้ำมันหล่อลื่น	การเคลือบผิว PVD-AlCrN	ภาพถ่ายการสึกหรอ
	น้ำมันมะพร้าว (Coconut Oil)	
	น้ำมันว่านหางจระเข้ (Aloe Vera Oil)	
	น้ำมันละหุ่ง (Castor Oil)	
	น้ำมันแร่ (Mineral Oil)	

ตารางที่ ค.3 ภาพถ่ายการสึกหรอของพันธ์ที่เคลือบผิวชนิด PVD-TiAlN หลังปั๊มตัด 10,000 ครั้ง

	การเคลือบผิว PVD-TiAlN	ภาพถ่ายการสึกหรอ
ประเภทของน้ำมันหล่อลื่น	**น้ำมันมะพร้าว** (Coconut Oil)	
	น้ำมันว่านหางจระเข้ (Aloe Vera Oil)	
	น้ำมันละหุ่ง (Castor Oil)	
	น้ำมันแร่ (Mineral Oil)	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ปิยะธิดา การสร้าง
วัน เดือน ปี เกิด	22 กันยายน 2541
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	Business Enterprise BA (Hons), University of Birmingham

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY