การลดความผันแปรของขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคในกระบวนการตัด โดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา

นางสาวปาริชาติ บุญเกลี้ยง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

VARIATION REDUCTION OF ACRYLIC FOAM TAPE WIDTH IN SLITTING PROCESS BY SIX SIGMA APPROACH

Miss Parichart Boonkliang

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดความผันแปรของขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิค ในกระบวนการตัด โดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา
โดย	นางสาวปาริชาติ บุญเกลี้ยง
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. จิตรา รู้กิจการพานิช)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย ริจิรวนิช)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปาริชาติ บุญเกลี้ยง : การลดความผันแปรของขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะครีลิคในกระบวนการตัดโดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา (VARIATION REDUCTION OF ACRYLIC FOAM TAPE WIDTH IN SLITTING PROCESS BY SIX SIGMA APPROACH)
อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ, 179 หน้า

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์แนวคิดซิกซ์ ซิกมา มาใช้ในการปรับปรุงงาน โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อลดต้นทุนของเสียจากปัญหาขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับของเทปโฟมอะคริลิค ซึ่งเป็นเทปกาวที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ และมีราคาแพง หากเกิดปัญหาดังกล่าว ก็จะต้องทิ้งเทปนั้นไป ไม่สามารถซ่อมแก้ไขได้

การดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอนตามระยะของซิกซ์ ซิกมา เริ่มจากระยะการนิยามปัญหา ได้ศึกษาสภาพปัญหา กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการปรับปรุง ต่อมาในระยะการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ได้วิเคราะห์ระบบการวัด ในด้านความแม่นยำของระบบการวัด และพิจารณาความสามารถของกระบวนการผลิตในปัจจุบัน จากนั้นทำการระดมสมอง เพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลต่อความผันแปรของขนาดหน้ากว้าง โดยการทำแผนผังกระบวนการ จัดลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าโดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล และการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ จากนั้นในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ได้ออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความผันแปรของขนาดหน้ากว้าง ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการได้หาระดับของปัจจัยที่ทำให้ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้เป้าหมายมากที่สุด และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าต่ำสุด และระยะสุดท้าย คือระยะการติดตามควบคุม ได้ทำการทดสอบยืนยันผล จัดทำแผนควบคุมโดยประยุกต์ใช้เครื่องมือคุณภาพที่เหมาะสมในการตรวจติดตาม และควบคุมทั้งปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองเพื่อรักษามาตรฐานหลังการปรับปรุง

ผลหลังการปรับปรุงพบว่า ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้ค่าเป้าหมายที่ 12 มม. มากขึ้น จาก 12.0324 มม. เป็น 12.0171 มม. และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจาก 0.1088 มม. เป็น 0.0504 มม. ส่งผลให้ค่า C_{pk} และ C_p ที่ได้ อยู่ที่ 1.87 และ 1.98 ตามลำดับ ซึ่งดีกว่าก่อนการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งอยู่ที่ 0.96 และ 1.07 ตามลำดับ และดีกว่าเกณฑ์การยอมรับมาตรฐาน ที่ 1.33 ส่งผลให้ต้นทุนของเสียลดลง 99.7% คิดเป็นมูลค่าความสูญเสียที่ลดลงได้ 4,713,992 บาทต่อปี

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2552

4971442321 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORDS : SIX SIGMA/ VARIATION REDUCTION/ WIDTH/ SLITTING PROCESS

PARICHART BOONKLIANG : VARIATION REDUCTION OF ACRYLIC FOAM TAPE WIDTH IN SLITTING PROCESS BY SIX SIGMA APPROACH. THESIS ADVISOR : ASST.PROF. NAPASSAVONG ROJANAROWAN, Ph.D., 179 pp.

This thesis applies Six Sigma approach for improving acrylic foam tape slitting process with the aim to reduce loss due to width parameter is out of specification. Acrylic foam tape which has been used in automotive industry is an expensive product. If the width is out of specification, it will be scrapped.

This thesis follows Six Sigma's main five study stages. Firstly, in the define phase, the problem, objective, and scope of the project are identified. Secondly, in the measure phase, measurement system is assessed for precision by performing measurement system analysis (MSA) and initial process capability is determined. Then, the potential causes of variation are brainstormed by developing Process Mapping. After that, the key process input variables (KPIVs) are prioritized by applying Cause and Effect Matrix and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Next, in the analysis phase, the Design of Experiment (DOE) is applied to test significance of selected KPIVs. In the improvement phase, the most suitable factors level that offer the mean width closest to target and the lowest standard deviation are identified. Finally, in the control phase, it employs the chosen levels in a pilot production to confirm the expected result. Furthermore, to maintain standard of the improved process, a control plan, which applies proper quality tools to monitor and control both KPIVs and response, is additionally organized.

As a result, it is observed that the mean width is improved from 12.0324 mm to 12.0171mm. which is closer to the target of 12 mm and the standard deviation is reduced from 0.1088 mm to 0.0504 mm. These improvement result of C_{pk} and C_p from 0.96 to 1.75 and 1.07 to 1.98 by the sequence. The saving of loss due to scrap is 99.7%. which is 4,713,992 baht per year.

Department : INDUSTRIAL ENGINEERING Student 's signature :.....

Field of study : INDUSTRIAL ENGINEERING Advisor's signature :.....

Academic year :2009

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยความช่วยเหลือและเสียสละเวลาให้คำแนะนำจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ระหว่างการทำวิทยานิพนธ์นี้ เป็นอย่างดีมาโดยตลอด ผู้ทำการวิจัยขอถือโอกาสนี้กราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช และรองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริจิรวนิช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณผู้บริหารโรงงานกรณีศึกษาเป็นอย่างสูงที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลและการทำการทดลองเป็นอย่างดี และขอบพระคุณคณะทำงานที่ช่วยกันในการระดมความคิดให้ความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และให้คำแนะนำจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา และมารดา ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งขอขอบคุณ พี่น้องในครอบครัว รวมถึง เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่มิได้กล่าวไว้ใน ณ ที่นี้ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....จ

กิตติกรรมประกาศ .....ฉ

สารบัญ .....ช

สารบัญตาราง .....ฎ

สารบัญภาพ .....ฐ

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 สภาพของปัญหา (Problem Statement).....5

1.3 กระบวนการวัดขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิค.....8

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....8

1.5 ดัชนีวัดสู่ความสำเร็จ 8

1.6 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย.....9

1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....9

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....9

1.9 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....9

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....13

2.1 ต้นทุน คุณภาพ และต้นทุนคุณภาพ.....13

2.2 ซิกซ์ ซิกมา.....17

2.3 การนำนโยบายซิกซ์ ซิกมา มาใช้ในองค์กร.....18

2.4 การดำเนินงานตามแนวคิดซิกซ์ ซิกมา.....20

2.5 ขั้นตอนการดำเนินงานตามกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกมา.....22

2.6 คุณสมบัติด้านเทคนิคของเทปโฟมอะคริลิคที่ทำการศึกษา และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับตั้งเครื่องตัดเทปโฟมอะคริลิค.....49

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....57

บทที่ 3 ผลการดำเนินงานวิจัยในระยะนิยามปัญหา (Define Phase).....65

3.1 บทนำ.....65

3.2 สภาพปัญหาในปัจจุบัน 65

หน้า

3.3 การจัดตั้งคณะทำงาน ……..……..68
3.4 เป้าหมายในโครงการซิกซ์ ซิกมา (Project Y) ……..……...68
3.5 แผนผังกระบวนการ (Process Mapping) ……..……68
3.6 กำหนดวัตถุประสงค์ เป้าหมาย และตัวชี้วัด……..……69
3.7 สรุปผลการดำเนินงานระยะนิยามปัญหา……..……..69
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานในระยะการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)…..……71
4.1 บทนำ……..……....71
4.2 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis)……..……....71
4.3 การวัดความสามารถของกระบวนการตัดเทปโฟมอะคริลิค (Initial Capability)…...75
4.3.1 การออกแบบขนาดสิ่งตัวอย่าง...……..……75
4.3.2 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการก่อนการปรับปรุง……...…76
4.4 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าหลัก (Key Process Input Variables: KPIVs) 78
4.4.1 การระดมความคิดแผนผังกระบวนการ (Process Mapping)……..…..79
4.4.2 การวิเคราะห์สาเหตุและผลโดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุ
และผล (Cause-and-Effect Matrix: C&E Matrix) ……..……..……80
4.4.3 การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA)……..……87
4.5 สรุปผลการดำเนินงานระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา……...……92
บทที่ 5 ผลการดำเนินงานวิจัยในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis phase)……...….93
5.1 บทนำ……...……...…93
5.2 ปัจจัยนำเข้าที่จะนำมาทดลองทดลอง……...……...……93
5.2.1 การทดสอบที่นำมาพิจารณา……..……94
5.2.2 การกำหนดขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน……...…...94
5.2.3 การทดสอบสมมติฐานปัจจัยนำเข้ามุมของใบมีดตัด (Angle)……..…..…95
5.2.4 สรุปปัจจัยนำเข้าที่จะทำการทดลอง……....100
5.3 การเลือกใช้รูปแบบในการทดลอง……..……..……101
5.4 ขนาดตัวอย่างสำหรับการออกแบบการทดลอง ……101
5.5 ปัจจัยนำเข้าและคุณลักษณะของปัจจัยนำเข้าที่จะนำมาออกแบบการทดลอง…..…..103
5.6 ตัวแปรตอบสนอง (Response)……..……....107
5.6.1 การกำหนดตัวแปรตอบสนอง (Response)……..……107
5.6.2 สรุปตารางการแปลงค่าสำหรับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน……..…...108

หน้า

5.7 การออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความผันแปรของ
ขนาดหน้ากว้างที่ตัดได้……109
5.8 การทำการทดลอง……111
5.9.1 การเตรียมการทดลอง……111
5.9.2 ขั้นตอนการทดลอง……111
5.9 ผลการทดลอง……112
5.10 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง……113
5.10.1 การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ (Normality Assumption)……113
5.10.2 การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independence)……114
5.10.3 สมมติฐานของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน
(Variance Stability)……115
5.11 การวิเคราะห์ผลการทดลอง ……116
5.12 สรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา……122
บทที่ 6 ผลการดำเนินงานวิจัยในระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement phase)…124
6.1 บทนำ……124
6.2 การตรวจสอบผลการวิเคราะห์การเลือกตัวแปรนำเข้าด้วย Stepwise Regression…..125
6.3 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ……126
6.4 สรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ……129
บทที่ 7 ผลการดำเนินงานวิจัยในระยะการติดตามควบคุม (Control phase)……130
7.1 บทนำ……130
7.2 การทดสอบยืนยันผล ……130
7.2.1 การทำการทดลอง……130
7.2.2 การตรวจติดตามผลโดยใช้แผนควบคุม (Control Plan)……132
7.2.3 การวิเคราะห์ผลและสรุปการทดสอบยืนยันผล……134
7.2.4 สรุปผลการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการตัด……136
7.2.5 มูลค่าความสูญเสียหลังการปรับปรุง……137
7.3 สรุปผลการดำเนินการระยะติดตามควบคุม……137
บทที่ 8 บทสรุปและข้อเสนอแนะ ……139
8.1 บทนำ……139
8.2 บทสรุประยะนิยามปัญหา……139

หน้า

8.3 บทสรุประยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา.....140
8.4 บทสรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา.....140
8.5 บทสรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ.....142
8.6 บทสรุประยะการติดตามควบคุม.....142
8.7 ข้อจำกัดในงานวิจัย.....143
8.8 ปัญหาและอุปสรรคในการทำวิจัย.....144
8.9 ข้อเสนอแนะ.....144
รายการอ้างอิง.....145
ภาคผนวก 148
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง.....149
ภาคผนวก ข ตารางเกณฑ์การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA criteria)..167
ภาคผนวก ค เอกสารมาตรฐานการปฏิบัติงาน.....176
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....179

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

ตารางที่ 1.1 ต้นทุนความล้มเหลวภายในแบ่งตามชนิดของข้อบกพร่อง
ที่เกิดกับเทปโฟมอะคริลิค.....4
ตารางที่ 1.2 ต้นทุนความล้มเหลวภายใน ปี 2008 แบ่งตามชนิดของของ
เทปโฟมอะคริลิค.....5
ตารางที่ 1.3 แผนการดำเนินงานการทำวิทยานิพนธ์ 11
ตารางที่ 2.1 ความหมายของคุณภาพ.....13
ตารางที่ 2.2 ความหมายของต้นทุนคุณภาพ 14
ตารางที่ 2.3 การให้คะแนนเกณฑ์ความร้ายแรง ความถี่ในการเกิด
และระบบการตรวจจับ.....31
ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA.....37
ตารางที่ 2.5 สูตรในการคำนวณขอบเขตควบคุมสำหรับแผนภูมิควบคุม.....48
ตารางที่ 2.6 พารามิเตอร์และขอบเขตของการปรับตั้งของเครื่องตัด.....56
ตารางที่ 3.1 แผนผังกระบวนการสำหรับกระบวนการผลิตเทปโฟมอะคริลิค 69
ตารางที่ 4.1 ผลการวัดชิ้นงานของพนักงาน A และ พนักงาน B.....72
ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดชิ้นงานของพนักงาน A และ พนักงาน B.....73
ตารางที่ 4.3 แผนผังกระบวนการจากการระดมความคิดเพื่อหาปัจจัยนำเข้าทั้งหมดของ
กระบวนการผลิตเทปโฟมอะคริลิค.....79
ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์สาเหตุและผลโดยใช้ C&E Matrix.....81
ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA).....89
ตารางที่ 5.1 ปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลต่อตัวแปรตอบสนองทั้ง 5 ปัจจัย.....93
ตารางที่ 5.2 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน.....95
ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของขนาดหน้ากว้าง
ที่เกิดจากการตั้งค่า Angle ที่ 0° ใน โหมดที่ 1 และ โหมดที่ 2.....98
ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของขนาดหน้ากว้างที่เกิดจาก
การตั้งค่า Angle ที่ 0° ใน โหมดที่ 1 และ Angle ที่ 0° ใน โหมดที่ 2.....99
ตารางที่ 5.5 ปัจจัยนำเข้าที่จะนำไปทดลองทั้ง 4 ปัจจัย.....101
ตารางที่ 5.6 กำลังและจำนวนซ้ำ (Replication) สำหรับการออกแบบการทดลอง.....102

ตาราง **หน้า**

ตารางที่ 5.7 เปรียบเทียบขนาดตัวอย่างระหว่างการทดสอบสมมติฐานและการออกแบบการทดลอง……...102
ตารางที่ 5.8 ปัจจัยนำเข้าและการกำหนดระดับพารามิเตอร์ของปัจจัยนำเข้า…….……...103
ตารางที่ 5.9 Variance-Stabilizing Transformations สำหรับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน…...…..108
ตารางที่ 5.10 รายละเอียดของการออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม MINITAB……110
ตารางที่ 5.11 การออกแบบการทดลอง (Design Matrix)โดยโปรแกรม MINITAB…….....111
ตารางที่ 5.12 รูปแบบการทดลองและผลการทดลองวัดค่าเฉลี่ยของขนาดหน้ากว้างและความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เกิดจากกระบวนการตัด…….....112
ตารางที่ 5.13 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองสำหรับค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) ……...121
ตารางที่ 5.14 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองสำหรับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S)...121
ตารางที่ 6.1 ปัจจัยนำเข้าและระดับพารามิเตอร์ของปัจจัยนำเข้า……...……124
ตารางที่ 6.2 ผลการวิเคราะห์ Stepwise Regression สำหรับค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$)…….125
ตารางที่ 6.3 ผลการวิเคราะห์ Stepwise Regression สำหรับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) …...126
ตารางที่ 6.4 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่เหมาะสมทั้ง 4 ปัจจัย…….127
ตารางที่ 6.5 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (เฉพาะปัจจัยที่มีนัยสำคัญ)……...127
ตารางที่ 6.6 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (เฉพาะปัจจัยที่มีนัยสำคัญ)……...127
ตารางที่ 6.7 ผลการหาค่าผลตอบที่เหมาะสมที่สุด (Response Optimization)……...128
ตารางที่ 6.8 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่เหมาะสมทั้ง 4 ปัจจัย…….……129
ตารางที่ 7.1 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่เหมาะสมทั้ง 4 ปัจจัย เพื่อใช้ในการทดสอบยืนยันผล……..……...130
ตารางที่ 7.2 แผนควบคุม (Control Plan) เฉพาะกระบวนการและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง……...133
ตารางที่ 7.3 เปรียบเทียบผลของความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง……137
ตารางที่ 8.1 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่เหมาะสมทั้ง 4 ปัจจัย……..142

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ **หน้า**

รูปที่ 1.1 ขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับ (Width out of Specification)……..1
รูปที่ 1.2 สกปรก (Dirty) ……..…….2
รูปที่ 1.3 เทปกาวยับ (Wrinkle)……...…….……2
รูปที่ 1.4 เทปกาวออกนอกแกน (Off Core)……..2
รูปที่ 1.5 รอยตัด 2 รอย (Double Cut)……..3
รูปที่ 1.6 ช่องว่าง (Gapping)……..……...3
รูปที่ 1.7 แผนภาพพาเรโตแสดงต้นทุนความล้มเหลวภายในแยกตามชนิดของข้อบกพร่อง……5
รูปที่ 1.8 แผนภาพพาเรโตแสดงต้นทุนของสียจากข้อบกพร่องประเภทขนาดหน้ากว้าง
ออกนอกค่าการยอมรับแยกตามชนิดของเทปโฟมอะคริลิค……..…6
รูปที่ 1. 9 ความสามารถของกระบวนการในการตัดเทปโฟมอะคริลิคที่ทำการศึกษา
ขนาดหน้ากว้าง 12 มิลลิเมตร ……..…….....7
รูปที่ 1.10 การกำหนดจุดวัดและวิธีการวัดขนาดหน้ากว้าง (Width) ของเทปโฟมอะคริลิค
ที่ทำการศึกษา…….……...8
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการคำนวณค่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ C_{pk} และ C_p
โดยใช้ MINITAB…….……17
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการนำนโยบายซิกซ์ ซิกมาไปใช้ปฏิบัติ……...……20
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างแผนภาพพาเรโต…….……25
รูปที่ 2.4 แผนภูมิอธิบายวิธีการคิดแบบ Why-Why Analysis…….26
รูปที่ 2.5 พื้นที่การยอมรับ และ ไม่ยอมรับ H_0……34
รูปที่ 2.6 การทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่ไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย (รูป A) การทดลองเชิง
แฟคทอเรียลที่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย (รูป B)……..42
รูปที่ 2.7 การออกแบบ CCD สำหรับ k=2 และ k=3 ……..…….44
รูปที่ 2.8 แผนภูมิควบคุม (Control Chart) ……..……48
รูปที่ 2.9 ชิ้นส่วนในรถยนต์ที่ยึดติดด้วยเทปโฟมอะคริลิค……...……49
รูปที่ 2.10โครงสร้างของเทปโฟมอะคริลิคที่ทำการศึกษา……...……..49
รูปที่ 2.11 การทดสอบความสามาถในการต้านการหลุดลอก……..……51
รูปที่ 2.12 การทดสอบความสามารถในการต้านแรงเฉือนสถิตของเทปโฟมอะคริลิค
ที่ทำการศึกษา……...……51

ภาพประกอบ **หน้า**

รูปที่ 2.13 ขั้นตอนการติดตั้งม้วนเทปล็อกโรล (Log roll)……..……..……..52
รูปที่ 2.14 หน้าจอควบคุม……..……..……..53
รูปที่ 2.15 หน้าจอควบคุมส่วนของพารามิเตอร์ของการตัด……..……..……...…...53
รูปที่ 2.16 ตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์……..……..……54
รูปที่ 2.17 หน้าจอควบคุม การปรับตั้งโหมดของการตัด……..……..……55
รูปที่ 3.1 แผนภาพพาเรโตแสดงต้นทุนความล้มเหลวภายในแยกตามชนิดของข้อบกพร่อง…...…65
รูปที่ 3.2 แผนภาพพาเรโตแสดงต้นทุนของสียจากข้อบกพร่องประเภทขนาดหน้ากว้าง
ออกนอกค่าการยอมรับแยกตามชนิดของเทปโฟมอะคริลิค……..……...……66
รูปที่ 3.3 ความสามารถของกระบวนการในการตัดเทปโฟมอะคริลิคชนิด A
ที่ขนาดหน้ากว้าง 12 มิลลิเมตร……..…67
รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัด (GR&R) จากโปรแกรม MINITAB……...…74
รูปที่ 4.2 การทำ Normality Test สำหรับข้อมูลค่าวัดขนาดหน้ากว้าง ……..……..77
รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ด้วยการใช้โปรแกรม MINITAB ทำ Process Capability Analysis…...77
รูปที่ 4.4 แผนภาพพาเรโตแสดงความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อขนาดหน้ากว้างของ
เทปโฟมอะคริลิคที่ได้จากกระบวนการตัด……..…84
รูปที่ 4.5 ลักษณะของปลายใบมีดตัดและมุมคมตัด……85
รูปที่ 4.6 แผนภาพพาเรโตของค่า RPN จากการวิเคราะห์ด้วย FMEA……...…91
รูปที่ 5.1 การทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานสำหรับมุมของหน้าใบมีด……..……95
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงการกระจายของค่าขนาดหน้ากว้างหลังการตั้งค่ามุม ที่ 0°
ก) โหมดที่ 1 และ ข) โหมดที่ 2……..……97
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของขนาดหน้ากว้าง
ที่เกิดจากการตั้งค่ามุม ที่ 0° ใน โหมดที่ 1 และ โหมดที่ 2 ……...…98
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของขนาดหน้ากว้างที่เกิด
จากการตั้งค่ามุมที่ 0° ใน โหมดที่ 1 และ มุมที่ 0° ใน โหมดที่ 2……...…100
รูปที่ 5.5 ส่วนประกอบของเครื่องตัดเทปโฟมอะคริลิค……...…104
รูปที่ 5.6 ลักษณะของใบมีดตัดและมุมคมตัด ……...105
รูปที่ 5.7 แผนภาพการไหลอย่างง่ายของการออกแบบการทดลอง……...106
รูปที่ 5.8 ผลการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติของข้อมูลผลค่าวัดขนาดหน้ากว้าง…..114
รูปที่ 5.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและลำดับการเก็บข้อมูลของข้อมูล
ผลค่าวัดขนาดหน้ากว้าง……...115

ภาพประกอบ **หน้า**

รูปที่ 5.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของข้อมูล
ผลค่าวัดขนาดหน้ากว้าง……..……116
รูปที่ 5.11 กราฟ Normal Plot ของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$)……..117
รูปที่ 5.12 กราฟ Normal Plot ของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าความเบี่ยงเบน
มาตรฐาน(S) ……..117
รูปที่ 5.13 แผนภาพพาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) ……..118
รูปที่ 5.14 แผนภาพพาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าความเบี่ยงเบน
มาตรฐาน(S) ……..……..118
รูปที่ 5.15 ผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) ……...…..119
รูปที่ 5.16 ผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S) ……119
รูปที่ 5.17 อันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$)…….……...…..120
รูปที่ 5.18 อันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S) …….…….……....120
รูปที่ 6.1 Optimization Plot จากโปรแกรม MINITAB ……....129
รูปที่ 7.1 แผนภาพการไหลอย่างง่ายของการทดลองในขั้นตอนยืนยันผล……..……131
รูปที่ 7.2 ตรวจสอบการกระจายข้อมูลสำหรับข้อมูลขนาดหน้ากว้างในการทดลอง
เพื่อยืนยันผล……135
รูปที่ 7.3 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการด้วยการใช้โปรแกรม MINITAB ……135

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว มีผลให้วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตหรือสนับสนุนการผลิตในอุตสาหกรรมยานยนต์มีการขยายตัวอย่างมากตามไปด้วย ผลิตภัณฑ์เทปกาวประเภทเทปโฟมอะคริลิค เป็นวัตถุดิบในการผลิตหรือสนับสนุนการผลิตที่สำคัญ ในอุตสาหกรรมยานยนต์ที่สร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจของประเทศปีละหลายพันล้านบาท

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในช่วงปีที่ผ่านมา อุตสาหกรรมผลิตเทปโฟมอะคริลิค มีสภาวะการแข่งขันในตลาดที่รุนแรงมากขึ้น มีผลให้ผู้บริหารขององค์กรการผลิตมีความตระหนักอย่างมาก ในการปรับปรุงคุณภาพของสินค้าและลดต้นทุนการดำเนินการลง เพื่อให้สามารถแข่งขันในตลาดโลกได้

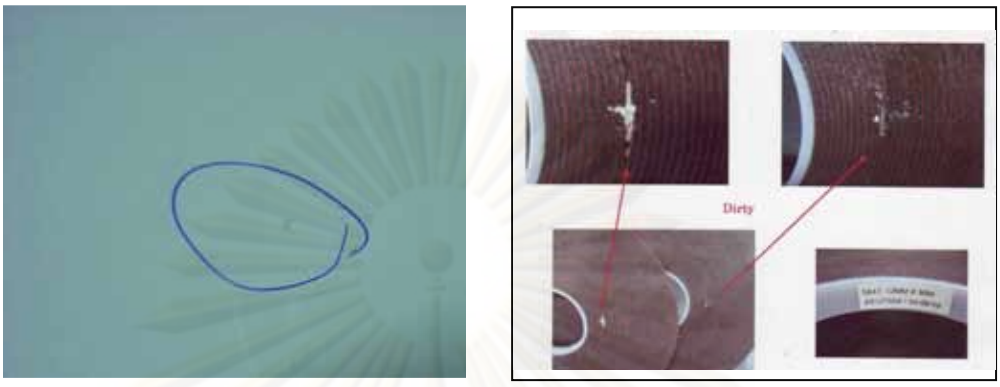
คุณภาพของผลิตภัณฑ์เทปกาวต้องเป็นไปตามความต้องการของลูกค้า ลูกค้าจึงจะยอมรับโดยผลิตภัณฑ์เทปโฟมอะคริลิค มีข้อบกพร่องหลักๆ อยู่ 6 ประเภท ที่ทำให้เกิดเป็นของเสีย คือ

1) ขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับ (Width out of Specification)

ไม่ยอมรับ เมื่อขนาดหน้ากว้างเบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายเกินกว่า +/- 0.3 มิลลิเมตร

รูปที่ 1.1 ขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับ (Width out of Specification)

2) สกปรก (Dirty) : ไม่ยอมรับ เมื่อมีสิ่งแปลกปลอมใดๆ ในเนื้อกาว



รูปที่ 1.2 สกปรก (Dirty)

3) ยับ (Wrinkle) : ไม่ยอมรับ เมื่อเทปกาวมีรอยยับ

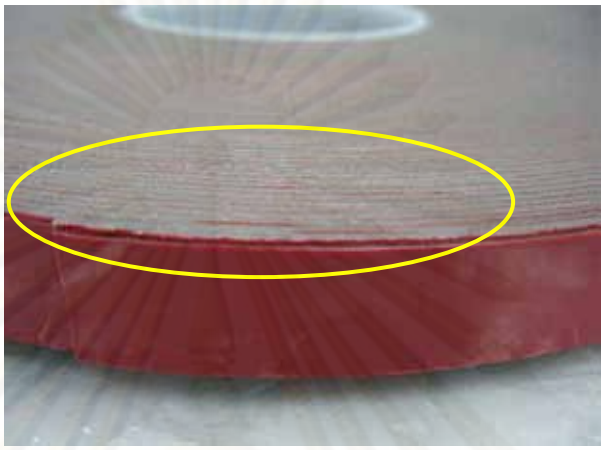
รูปที่ 1.3 เทปกาวยับ (Wrinkle)

4) เทปกาวออกนอกแกน (Off Core) : ไม่ยอมรับ เมื่อแกนยื่นออกมาจากเทปกาวเกินกว่า 1 มิลลิเมตร

รูปที่ 1.4 เทปกาวออกนอกแกน (Off Core)

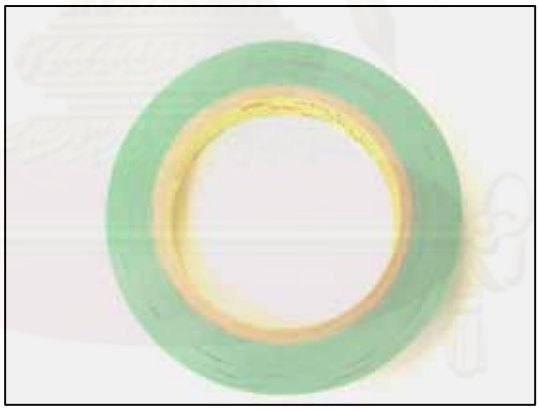
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5) รอยตัด 2 รอย (Double Cut) : ไม่ยอมรับ เมื่อขอบรอยตัดไม่เรียบ หรือ มีรอยตัดเกิดขึ้น 2 รอย



รูปที่ 1.5 รอยตัด 2 รอย (Double Cut)

6) ช่องว่าง (Gapping) : ไม่ยอมรับ เมื่อมีช่องว่างในม้วนเทปกว้างเกินกว่า 0.5 มิลลิเมตร และยาวเกินกว่า 15 มิลลิเมตร



รูปที่ 1.6 ช่องว่าง (Gapping)

ต้นทุนความล้มเหลวภายใน (Internal Failure Cost) เป็นส่วนหนึ่งของต้นทุนดำเนินการเกิดจากการที่ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า และพบก่อนที่จะมีการส่งมอบผลิตภัณฑ์ให้แก่ลูกค้า ประกอบไปด้วย

1) ต้นทุนของเสีย เป็นต้นทุนการผลิตที่สูญเสียไป เนื่องจากการผลิตสินค้าไม่ได้ตามมาตรฐาน และไม่สามารถนำสินค้ากลับมาแก้ไขได้

2) ต้นทุนการแก้ไขงานบกพร่อง เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการทำงานที่นอกเหนือจากการทำงานปกติ ซึ่งได้แก่ ค่าเสียเวลาของพนักงานดำเนินการ ค่าวัสดุสิ้นเปลืองที่ใช้ในการแก้ไขงานบกพร่อง
3) ต้นทุนการตรวจสอบซ้ำ เกิดจากค่าเสียเวลาของเจ้าหน้าที่แผนกควบคุมคุณภาพที่ต้องนำผลิตภัณฑ์ที่ทำการตรวจสอบไปแล้วมาทำการตรวจสอบใหม่อีกครั้ง
4) ต้นทุนการทำลายสินค้า เป็นค่าใช้จ่ายในการนำสินค้า ที่ไม่สามารถนำมาแก้ไขได้ไปทำลาย
5) ต้นทุนการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง และ กำหนดแนวทางในการแก้ไข เกิดจากการประชุมระดมสมองของผู้ที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาสาเหตุและกำหนดแนวทางในการแก้ไข ก่อให้เกิดค่าเสียเวลาของพนักงานที่เข้าร่วมประชุม

ต้นทุนความล้มเหลวภายในสำหรับผลิตภัณฑ์เทปโฟมอะคริลิค เมื่อจำแนกตามประเภทของ ข้อบกพร่องที่ทำให้เกิดของเสีย จะเป็นดังนี้

ตารางที่ 1.1 ต้นทุนความล้มเหลวภายในแบ่งตามชนิดของข้อบกพร่องที่เกิดกับเทปโฟมอะคริลิค

ข้อบกพร่องที่ทำให้เป็นของเสีย	**ต้นทุนความล้มเหลวภายใน**
ขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับ (Width out of Tolerance Limit)	ต้นทุนของเสีย
สกปรก (Dirty)	ต้นทุนในการแก้ไขข้อบกพร่อง, ต้นทุนในการตรวจสอบซ้ำ, ต้นทุนการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง และ กำหนดแนวทางในการแก้ไข
ยับ (Wrinkle)	ต้นทุนในการแก้ไขข้อบกพร่อง, ต้นทุนในการตรวจสอบซ้ำ, ต้นทุนการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง และ กำหนดแนวทางในการแก้ไข
เทปกาวออกนอกแกน (Off Core)	ต้นทุนในการแก้ไขข้อบกพร่อง, ต้นทุนในการตรวจสอบซ้ำ, ต้นทุนการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง และ กำหนดแนวทางในการแก้ไข
รอยตัด 2 รอย (Double Cut)	ต้นทุนของเสีย
ช่องว่าง (Gapping)	ต้นทุนในการแก้ไขข้อบกพร่อง, ต้นทุนในการตรวจสอบซ้ำ, ต้นทุนการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง และ กำหนดแนวทางในการแก้ไข

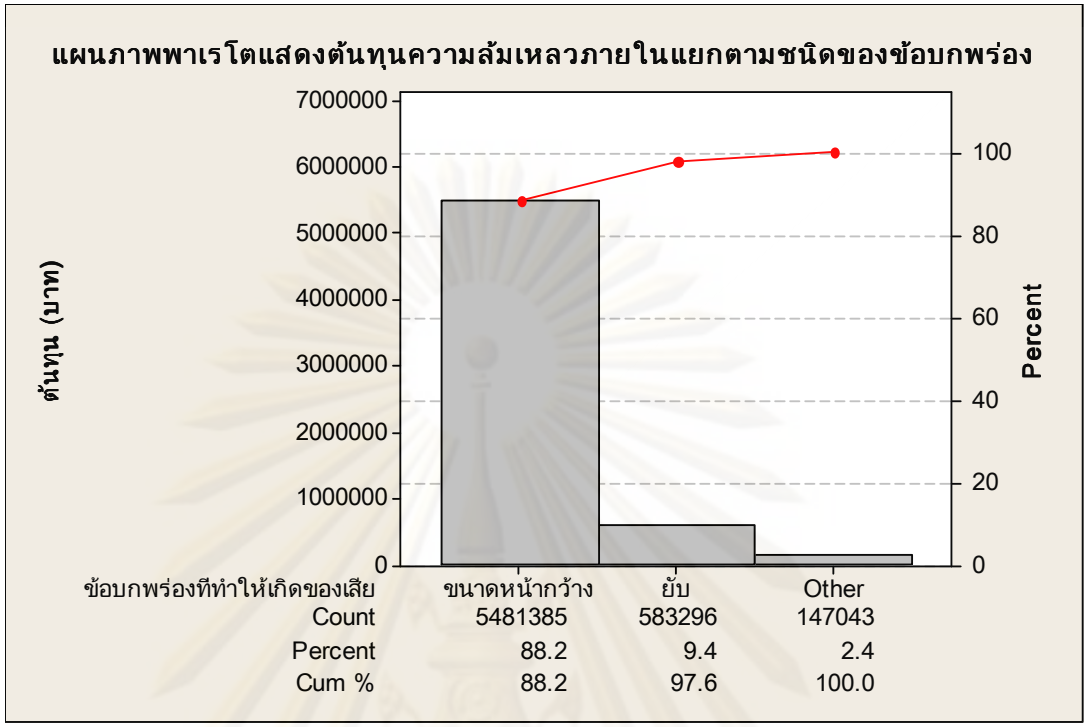
1.2 สภาพของปัญหา (Problem Statement)

ในปี พ.ศ. 2551 โรงงานกรณีศึกษามีต้นทุนความล้มเหลวภายใน ดังแสดงในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ต้นทุนความล้มเหลวภายใน ปี พ.ศ. 2551 แบ่งตามชนิดของของเทปโฟมอะคริลิค

ข้อบกพร่องที่ทำให้เป็นของเสีย		เทปโฟมอะครีลิค					รวม
		ชนิด A	ชนิด B	ชนิด C	ชนิด D	ชนิด E	
ขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับ	ต้นทุนของเสีย (บาท)	3,934,680	547,800	372,330	280,875	345,700	5,481,385
	จำนวนของเสีย (ม้วน)	32,789	5,478	3,546	2,675	3,457	47,945
	ต้นทุนของเสียต่อม้วน (บาท)	119.98	99.96	105.03	104.97	100.03	-
สกปรก	ต้นทุนของเสีย (บาท)	6,238	5,226	8,050	9,080	4,223	32,816
	จำนวนของเสีย (ม้วน)	678	568	875	987	459	3,567
	ต้นทุนของเสียต่อม้วน (บาท)	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	-
ยับ	ต้นทุนของเสีย (บาท)	90,864	122,848	122,480	156,256	90,848	583,296
	จำนวนของเสีย (ม้วน)	5,679	7,678	7,655	9,766	5,678	36,456
	ต้นทุนของเสียต่อม้วน (บาท)	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	-
เทปกาวออกนอกแกน	ต้นทุนของเสีย (บาท)	5,136	5,696	14,016	10,464	6,912	42,224
	จำนวนของเสีย (ม้วน)	321	356	876	654	432	2,639
	ต้นทุนของเสียต่อม้วน (บาท)	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	-
รอยตัด 2 รอย	ต้นทุนของเสีย (บาท)	8,040	3,400	2,205	3,570	4,100	21,315
	จำนวนของเสีย (ม้วน)	67	34	21	34	41	197
	ต้นทุนของเสียต่อม้วน (บาท)	119.98	99.96	105.03	104.97	100.03	-
ช่องว่าง	ต้นทุนของเสีย (บาท)	9,072	10,864	7,648	12,240	10,864	50,688
	จำนวนของเสีย (ม้วน)	567	679	478	765	679	3,168
	ต้นทุนของเสียต่อม้วน (บาท)	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	-

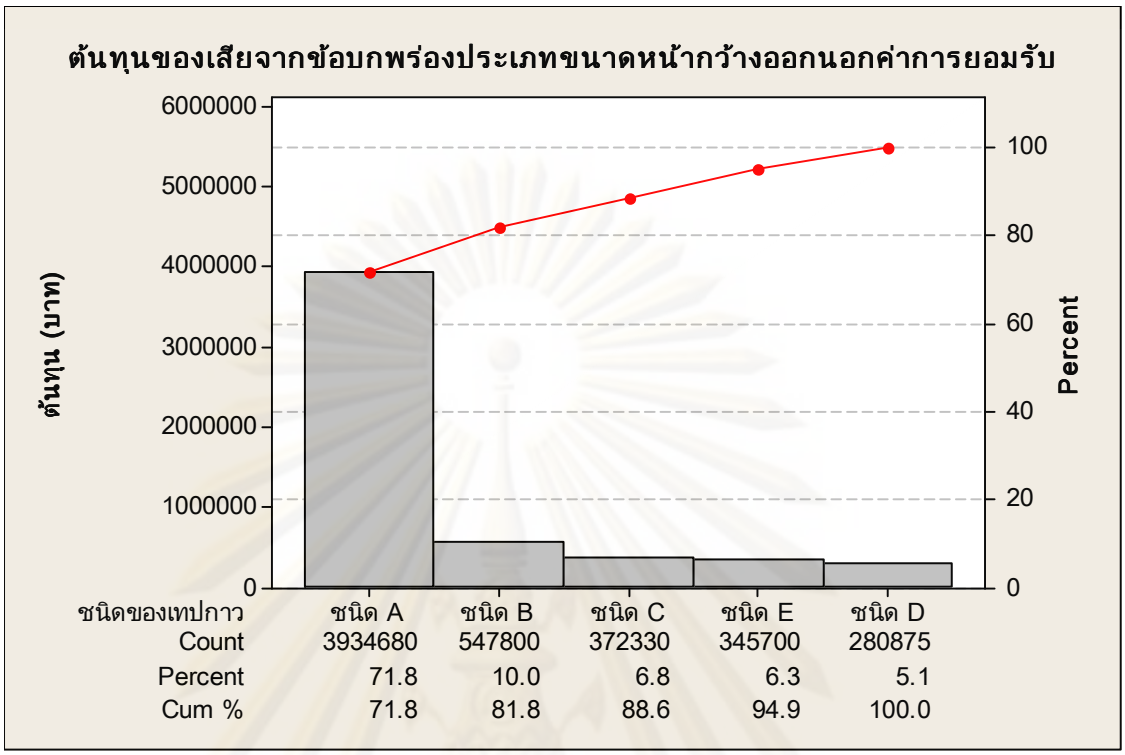
จากตารางที่ 1.2 พบว่า ข้อบกพร่องประเภท ขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับ ทำให้เกิดต้นทุนความล้มเหลวภายในสูงที่สุด ของต้นทุนความล้มเหลวภายในทั้งหมด เมื่อนำมาแสดงด้วยแผนภาพพาเรโตได้ผลดังนี้



รูปที่ 1.7 แผนภาพพาเรโตแสดงต้นทุนความล้มเหลวภายในแยกตามชนิดของข้อบกพร่อง

จากแผนภาพพาเรโตในรูปที่ 1.7 จะเห็นว่า ต้นทุนความล้มเหลวภายในจากข้อบกพร่องประเภทหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับ เท่ากับ 88.2% ของต้นทุนความล้มเหลวภายในเนื่องจากข้อบกพร่องทุกประเภทรวมกัน ซึ่งต้นทุนความล้มเหลวภายในจากข้อบกพร่องประเภทหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับเป็นต้นทุนของเสียเนื่องจากต้องทิ้งเทปเสียนั้นไป และเมื่อนำต้นทุนของเสียเนื่องจากข้อบกพร่องประเภทขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับ มาแสดงด้วยแผนภาพพาเรโตแยกตามชนิดของเทปโฟมอะคริลิค ได้ผลดังนี้

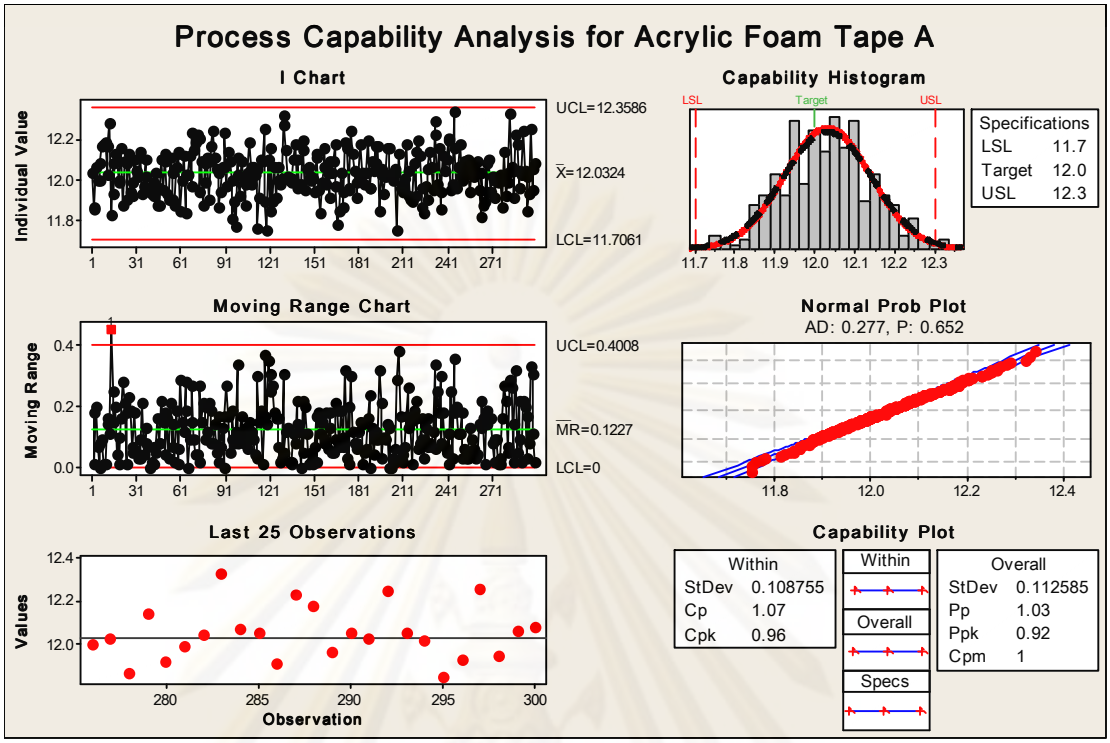
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.8 แผนภาพพาเรโตแสดงต้นทุนของสียจากข้อบกพร่องประเภทขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับแยกตามชนิดของเทปโฟมอะคริลิค

จากแผนภาพพาเรโตในรูปที่ 1.8 จะเห็นว่า ต้นทุนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับ ของเทปโฟมอะคริลิค ชนิด A เท่ากับ 71.8% ของเทปโฟมอะคริลิคทุกชนิดรวมกัน ผู้วิจัยจึงนำเทปโฟมอะคริลิค ชนิด A มาเป็นตัวแทนที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ตัวอย่างการวัดความสามารถของกระบวนการ C_{pk} และ C_p ในกระบวนการตัดเทปโฟมอะคริลิคที่ทำการศึกษา โดยปรับตั้งขนาดหน้ากว้าง 12 มิลลิเมตรที่เครื่องตัด และจำนวนที่ตัด คือ 3 ล็อกโรล สามารถตัดม้วนเทปผลิตภัณฑ์ได้จำนวน 300 ม้วน ซึ่งขอบเขตค่าการยอมรับได้ คือ 12 +/-0.3 มิลลิเมตร (11.70 มิลลิเมตร ถึง 12.30 มิลลิเมตร) โดยใช้โปรแกรม “MINITAB” ได้ผลเป็นดังนี้

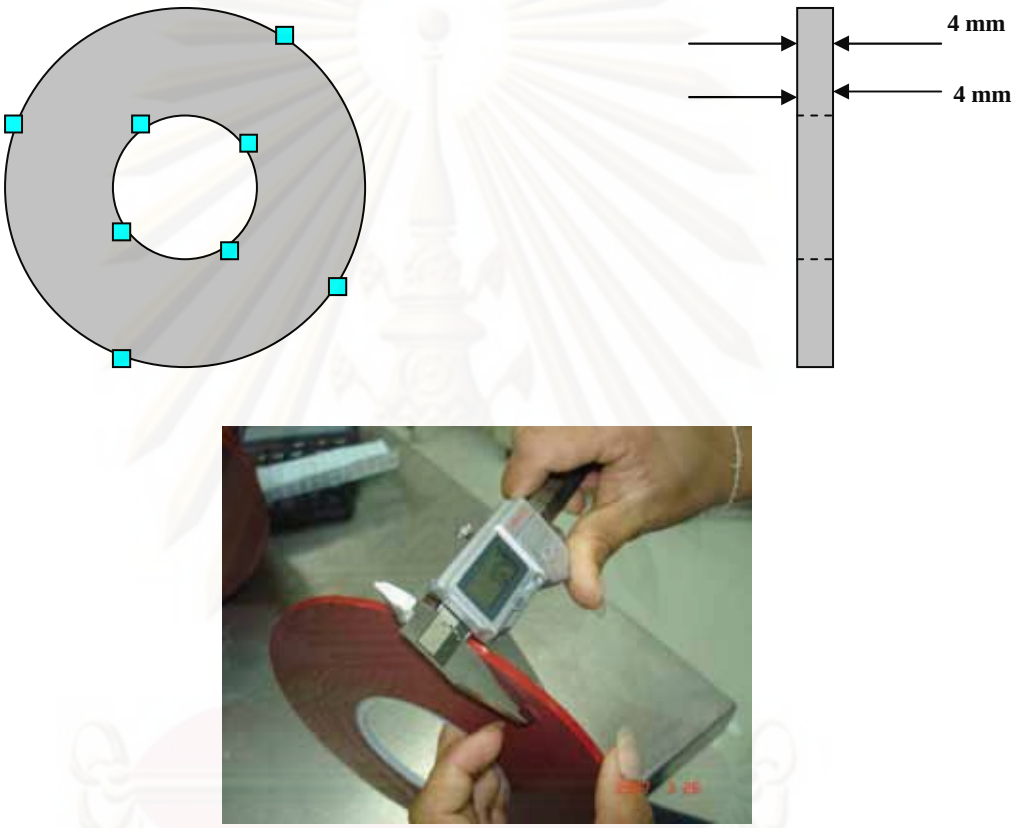


รูปที่ 1. 9 ความสามารถของกระบวนการในการตัดเทปโฟมอะคริลิคชนิด A ขนาดหน้ากว้าง 12 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 1.9 จะเห็นว่า ความสามารถของกระบวนการตัดเทปโฟมอะคริลิคที่ทำการศึกษา มีค่าค่อนข้างต่ำ โดยพิจารณาจากดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ (C_{pk}) ซึ่งมีค่า 0.96 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับของ AIAG (2001) ที่อ้างถึงใน กิติศักดิ์, 2549 ที่ 1.33 เมื่อพิจารณาค่า C_p ซึ่งเท่ากับ 1.07 ประกอบ พบว่า ค่าความกว้างมีการกระจายตัวกว้าง เมื่อเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนอนุโลม จากการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ของเสีย พบว่า กระบวนการก่อนการปรับปรุงมีเปอร์เซ็นต์ของเสียเนื่องจากขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับ คิดเป็น 4% คือ ตัด 300 ม้วน พบว่าเป็นของเสียเนื่องจากขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับ 12 ม้วน เมื่อพิจารณาค่า C_p พบว่า C_p มีค่าต่ำกว่า 1.33 และ C_{pk} ที่ 0.96 แสดงว่าค่าความผันแปรของกระบวนการมีค่าสูงเกินมาตรฐานที่ยอมรับได้ ส่วนค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายแล้ว ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการหาค่าการปรับตั้งพารามิเตอร์ของสภาวะการตัดที่เหมาะสม เพื่อให้ขนาดหน้ากว้างที่ได้จากกระบวนการตัดมีความผันแปรลดลง โดยการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) และดำเนินการวิเคราะห์เพื่อการแก้ปัญหาดังกล่าวอย่างเป็นระบบ จึงพิจารณาใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมามาใช้ในการปรับปรุงงาน

1.3 กระบวนการวัดขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิค

ในการตรวจสอบขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคเพื่อการยอมรับผลิตภัณฑ์จะกำหนดจุดวัดจำนวน 8 จุด โดยกำหนดจุดวัดบนเทปโฟมอะคริลิควงนอก 4 จุด และวงใน 4 จุด และนำเครื่องมือเวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ มาวัด ดังรูปที่ 1.10



รูปที่ 1.10 การกำหนดจุดวัดและวิธีการวัดขนาดหน้ากว้าง (Width)
ของเทปโฟมอะคริลิคที่ทำการศึกษา

จากนั้นเลือกค่าวัดซึ่งเบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายมากที่สุด (จากจุดวัดจำนวน 8 จุด) มาบันทึกเป็นขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิค ในใบรายงานการตรวจสอบผลิตภัณฑ์

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย เพื่อลดความผันแปรของขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคที่ได้จากกระบวนการตัด โดยการหาค่าปรับตั้งพารามิเตอร์ของสภาวะตัดที่เหมาะสม

1.5 ดัชนีวัดสู่ความสำเร็จ

ดัชนีวัดสู่ความสำเร็จ มีดังนี้

1. ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ C_{pk} และ C_p มีค่าเพิ่มขึ้น
2. ต้นทุนของเสียเนื่องจากขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับลดลง

1.6 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

ขอบเขตของการศึกษาวิจัย มีดังนี้

1. กระบวนการตัดเทปโฟมอะคริลิคและการตรวจสอบเพื่อยอมรับผลิตภัณฑ์
2. เทปโฟมอะคริลิคที่ทำให้เกิดต้นทุนของเสียสูงที่สุด ได้แก่ เทปโฟมอะคริลิคชนิด A
3. เครื่องตัดเทปโฟมอะคริลิคของโรงงานกรณีศึกษา ที่ใช้ในการตัดเทปโฟมอะคริลิค ชนิด A โดยเฉพาะ

1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ผลที่คาดว่าจะได้รับ มีดังนี้

1. พารามิเตอร์ในการปรับตั้งสภาวะการตัดที่เหมาะสม
2. วิธีการในการลดความผันแปรของขนาดหน้ากว้างของม้วนเทปโฟมอะคริลิคใน กระบวนการตัด

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ประกอบด้วย

1. ลดต้นทุนของเสียของกระบวนการตัดเทปโฟมอะคริลิค
2. สามารถนำมาเป็นแนวทางในการลดต้นทุนของเสียของกระบวนการผลิตอื่นๆ
3. ผลที่ได้จากการวิจัยนี้นำไปสู่การสร้างความพึงพอใจต่อลูกค้า อันเป็นหัวใจสำคัญของการปรับปรุงองค์กร

1.9 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย มีดังนี้

ระยะที่ 1 การนิยามปัญหา (Define Phase)

1. ระบุสภาพของปัญหาในการเกิดของเสียจากกระบวนการตัดเทปโฟมอะคริลิค
2. กำหนดวัตถุประสงค์ ระบุขอบเขตของงานวิจัยและกำหนดตัวชี้วัดต่างๆ

3. จัดทำแผนผังกระบวนการ เพื่อระบุถึงปัจจัยนำเข้า และปัจจัยที่ออกมาทั้งหมดที่มีผลต่อขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคที่ได้จากกระบวนการตัด

ระยะที่ 2 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

1. วิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด โดย GR&R
2. วิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการตัด โดยดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ C_{pk} และ C_p ของกระบวนการตัดในปัจจุบัน
3. วิเคราะห์ต้นทุนของเสียจากขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับ และความสามารถของกระบวนการก่อนการปรับปรุง
4. วิเคราะห์สาเหตุของความผันแปรของขนาดหน้ากว้างที่ตัดได้จากกระบวนการตัดเบื้องต้นโดยการระดมความคิดเพื่อแจกแจงหาสาเหตุและผลกระทบโดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (C&E Matrix), การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) และแผนภาพพาเรโต เพื่อเลือกปัจจัยที่มีผลต่อขนาดหน้ากว้างที่ได้จากกระบวนการตัด

ระยะที่ 3 การวิเคราะห์สาเหตุปัญหา (Analysis Phase)

ใช้วิธีการทางสถิติในการทดสอบปัจจัยที่เลือกมา ว่ามีผลต่อขนาดหน้ากว้างจากกระบวนการตัดอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยทำการ ดังนี้

1. ทดสอบสมมติฐาน (Hyphothesis Testing) และ/หรือ
2. ออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) และทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อระบุปัจจัยที่มีผลต่อขนาดหน้ากว้างที่ได้จากกระบวนการตัด

ระยะที่ 4 การหาพารามิเตอร์สำหรับสภาวะการตัดที่เหมาะสม (Improvement Phase)

1. ออกแบบและทำการทดลอง เพื่อหาระดับการปรับตั้งพารามิเตอร์ที่ทำให้ตัดได้ขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคมีความผันแปรต่ำที่สุด
2. สรุปผลระดับของพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

ระยะที่ 5 การควบคุมปัจจัยต่างๆ (Control Phase)

1. พิจารณาเลือกแผนควบคุมที่เหมาะสม
2. กำหนดวิธีการวัด ขนาดตัวอย่างและความถี่ในการวัด
3. ทำการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผล
4. ประเมินตัวชี้วัดโดยใช้ค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ C_{pk} และ C_p ของกระบวนการผลิต และต้นทุนของเสียหลังการปรับปรุงเปรียบเทียบ กับก่อนการปรับปรุง

5. สรุปผลการปรับตั้งสภาวะการตัดที่เหมาะสม

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เกี่ยวกับต้นทุนคุณภาพ การปรับปรุงกระบวนการโดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา รวมถึงทฤษฎีและปัจจัยด้านเทคนิคเกี่ยวกับเทปโฟมอะคริลิค และเครื่องตัดที่ใช้ในงานวิจัย เพื่อใช้ประกอบการดำเนินการวิจัยต่อไป

2.1 ต้นทุน คุณภาพและต้นทุนคุณภาพ

2.1.1 ต้นทุน

จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ (2543) ได้อธิบายถึงความหมายของต้นทุนและค่าใช้จ่าย ไว้ดังนี้

ต้นทุน (Cost) หมายถึง มูลค่าแลกเปลี่ยนที่ต้องชำระด้วยจำนวนเงินหรือด้วยความเสียสละที่บริษัทลงทุนไป เพื่อให้ได้มาซึ่งประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในอนาคต ซึ่งความเสียสละในที่นี้หมายถึง เงินสดหรือทรัพย์สินอื่นๆ ที่ต้องเสียไปทั้งในปัจจุบันหรือในอนาคต

ค่าใช้จ่าย (Expense) หมายถึง ปริมาณการไหลออกของสินค้าหรือบริการ ที่สอดคล้องกับการเกิดรายรับในการคำนวณผลกำไร หรือหมายถึง การลดลงของทรัพย์สินสุทธิ (Net Asset) อันเนื่องจากการใช้ทรัพยากรทางเศรษฐกิจในการก่อให้เกิดรายรับ

2.1.2 คุณภาพ

ความหมายของคำว่า “คุณภาพ” ที่นักวิชาการหลายๆ ท่านได้กล่าวไว้ มีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 ความหมายของ “คุณภาพ”

นักวิชาการ	ความหมายของคุณภาพ
Armand V. Feigenbaum	เป็นส่วนประกอบของสินค้าและคุณลักษณะของบริการที่เกี่ยวกับการตลาด วิศวกรรม การผลิต และการบำรุงรักษา ซึ่งสินค้าและบริการที่ใช้จะบรรลุความคาดหมายของลูกค้า (เรืองวิทย์ เกษสุวรรณ, 2545: 40)
Joseph M. Juran	ความเหมาะสมกับการใช้งาน (กำพล กิจชระภูมิ และสุชาติ ยุวรี, 2546: 6)
William Edwards Deming	เป้าหมายของคุณภาพควรอยู่ที่ความต้องการของลูกค้าในปัจจุบันและอนาคต (เรืองวิทย์ เกษสุวรรณ, 2545: 40)

นักวิชาการ	ความหมายของคุณภาพ
Phillip B. Crosby	การทำตามมาตรฐาน (เรืองวิทย์ เกษสุวรรณ, 2545: 109)
ISO (International Organization for Standardization)	เป็นคุณสมบัติทุกประการของผลิตภัณฑ์หรือบริการที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการทั้งที่ระบุอย่างชัดเจนและที่ไม่ได้ระบุไว้แต่สามารถทราบได้โดยนัย (Wilton, 1994: 2)
Kaoru Ishikawa	คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าจะซื้อด้วยความพึงพอใจ (ทรงธรรม ทวีโชติ, 2547: 8)

จากตารางที่ 2.1 นิยามของคำว่า คุณภาพ จะเห็นว่า ส่วนใหญ่จะกล่าวถึงคำว่า

- คุณสมบัติของสินค้าและบริการ
- ความเป็นไปตามมาตรฐาน
- ความพึงพอใจของลูกค้า

ดังนั้น อาจสรุปได้ว่า คุณภาพ หมายถึง การดำเนินการให้สินค้าและบริการมีคุณลักษณะที่สอดคล้องและเป็นไปตามความต้องการของลูกค้า เพื่อสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า

2.1.3 ต้นทุนคุณภาพ

นิยามของคำว่า “ต้นทุนคุณภาพ” ที่กล่าวไว้โดยนักวิจัยหลายๆ ท่าน สรุปดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความหมายของ “ต้นทุนคุณภาพ”

นักวิจัย	**ความหมายของต้นทุนคุณภาพ**
The European Organization for Quality Control; EOQC	เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น เพื่อควบคุมให้ผลิตภัณฑ์เป็นไปตามมาตรฐาน (Hwang and Aspinwall, 1996: 268)
G. P. Bohan and N. F. Horney	จำนวนทรัพยากรทั้งหมดขององค์กรที่เสียไป เพื่อรับประกันว่า มาตรฐานคุณภาพขององค์กรมีความคงที่ (Hwang and Aspinwall, 1996: 268)
Campanella (1999: 4)	เป็นการวัดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการที่ผลิตภัณฑ์หรือบริการเป็นไปตามข้อกำหนด หรือไม่เป็นไปตามข้อ กำหนด ต้นทุนคุณภาพแสดงความแตกต่างระหว่างต้นทุนที่แท้จริง กับต้นทุนที่ลดลงหากไม่มีความล้มเหลวของผลิตภัณฑ์หรือบริการเกิดขึ้น

นักวิจัย	ความหมายของต้นทุนคุณภาพ
กำพล กิจชระภูมิ และสุชาติ ยุวรี (2546: 10)	ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวเนื่องจากกิจกรรมต่างๆ ที่ก่อให้เกิดคุณภาพ โดยต้นทุนคุณภาพจะเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งในการวัดประสิทธิภาพการบริหารคุณภาพ
Joseph M. Juran	ต้นทุนของคุณภาพที่ต่ำ (Cost of Poor Quality) เป็นผลรวมของต้นทุนทั้งหมดที่ไม่ควรเกิด ถ้าไม่มีปัญหาคุณภาพ (Giakatis, Enkawa, and Washitani, 2001: 181)

จากความหมายของต้นทุนคุณภาพในตารางที่ 2.2 สรุปความหมายของ ต้นทุนคุณภาพ ได้ดังนี้

ต้นทุนคุณภาพ หมายถึง ต้นทุน ค่าใช้จ่าย และสิ่งอื่นๆ ที่ต้องจ่ายไป เนื่องจากการเกิดคุณภาพที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด และความพยายามที่จะรักษาคุณภาพของสินค้าและบริการให้ได้คุณภาพตามต้องการ ไม่ว่าคุณภาพนั้นจะเป็นไปตามข้อกำหนดขององค์กร หรือของลูกค้าก็ตาม

2.1.4 ประเภทและองค์ประกอบของต้นทุนคุณภาพ

แบ่งประเภทของต้นทุนคุณภาพออกเป็น 3 ประเภทตาม PAF Model ของ Armand V. Feigenbaum คือ ต้นทุนการป้องกัน (Prevention Cost) ต้นทุนการตรวจสอบ การวัด และการประเมินผล (Appraisal Cost) และต้นทุนความล้มเหลว (Failure Cost) ซึ่งความหมายเป็นดังนี้

1. ต้นทุนการป้องกัน (Prevention Cost) หมายถึง ต้นทุนที่เกิดจากการทำกิจกรรมต่างๆ เพื่อป้องกัน หรือลดความเสี่ยงในการเกิดข้อบกพร่องจากการผลิต เช่น ต้นทุนการออกแบบคุณภาพ ต้นทุนการวางแผนคุณภาพ ต้นทุนการฝึกอบรมพนักงานในเรื่องที่เกี่ยวกับคุณภาพ ต้นทุนการบำรุงรักษาเครื่องจักร เป็นต้น

2. ต้นทุนการตรวจสอบ การวัด และการประเมินผล (Appraisal Cost) หมายถึง ต้นทุนที่เกิดจากการทำกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวัด การประเมิน การตรวจสอบ การตรวจติดตามการทดสอบผลิตภัณฑ์หรือบริการ เพื่อให้ความมั่นใจว่า ผลิตภัณฑ์หรือบริการที่ได้ตรงตามข้อกำหนดของคุณภาพ และความต้องการของลูกค้า เช่น ต้นทุนการสอบเทียบเครื่องมือวัด ต้นทุนการตรวจรับวัตถุดิบ สินค้าระหว่างผลิต และสินค้าสำเร็จรูป เป็นต้น

3. ต้นทุนความล้มเหลว (Failure Cost) หมายถึง ต้นทุนที่เกิดจากความบกพร่องในการดำเนินงาน หรือผลิตภัณฑ์หรือบริการไม่เป็นไปตามข้อกำหนด หรือตามความต้องการของลูกค้า ซึ่ง สามารถแบ่งย่อยได้อีก 2 ประเภท คือ

- ต้นทุนความล้มเหลวภายใน (Internal Failure Cost) หมายถึง ต้นทุนที่เกิดจากการที่ผลิตภัณฑ์หรือบริการไม่ตรงตามความต้องการของลูกค้า และพบก่อนที่จะมีการส่งมอบผลิตภัณฑ์หรือบริการให้แก่ลูกค้า เช่น ต้นทุนของเสีย ต้นทุนการทำลายสินค้า ต้นทุนในการแก้ไขข้อบกพร่อง ต้นทุนการตรวจสอบซ้ำ ต้นทุนการลดเกรดของสินค้า เป็นต้น
- ต้นทุนความล้มเหลวภายนอก (External Failure Cost) หมายถึง ต้นทุนที่เกิดจากการที่ผลิตภัณฑ์หรือบริการไม่ตรงตามความต้องการของลูกค้า และพบหลังจากที่ได้มีการส่งมอบผลิตภัณฑ์หรือบริการให้แก่ลูกค้าแล้ว เช่น ต้นทุนการจัดการข้อร้องเรียนของลูกค้า ต้นทุนการเรียกคืนสินค้า ต้นทุนการรับประกันสินค้า ค่าปรับ เป็นต้น

2.1.5 ประโยชน์ของต้นทุนคุณภาพ

การนำระบบต้นทุนคุณภาพมาใช้ จะให้ประโยชน์ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการด้านคุณภาพ ดังต่อไปนี้

- ช่วยในการสื่อสารข้อมูลด้านคุณภาพกับผู้บริหารระดับสูง เนื่องจากเป็นการแสดงขนาดของปัญหาด้านคุณภาพในรูปแบบของภาษาทางการเงิน
- ใช้ช่วยในการวิเคราะห์จุดอ่อนและจุดแข็งในการดำเนินงานด้านคุณภาพ
- ช่วยวางแผนการดำเนินกิจกรรมด้านคุณภาพ เพื่อให้ได้รับผลตอบแทนจากการลงทุนในกิจกรรมด้านคุณภาพสูงสุด ในระยะเวลาที่เหมาะสม

2.1.6 ตัววัดระดับของคุณภาพ

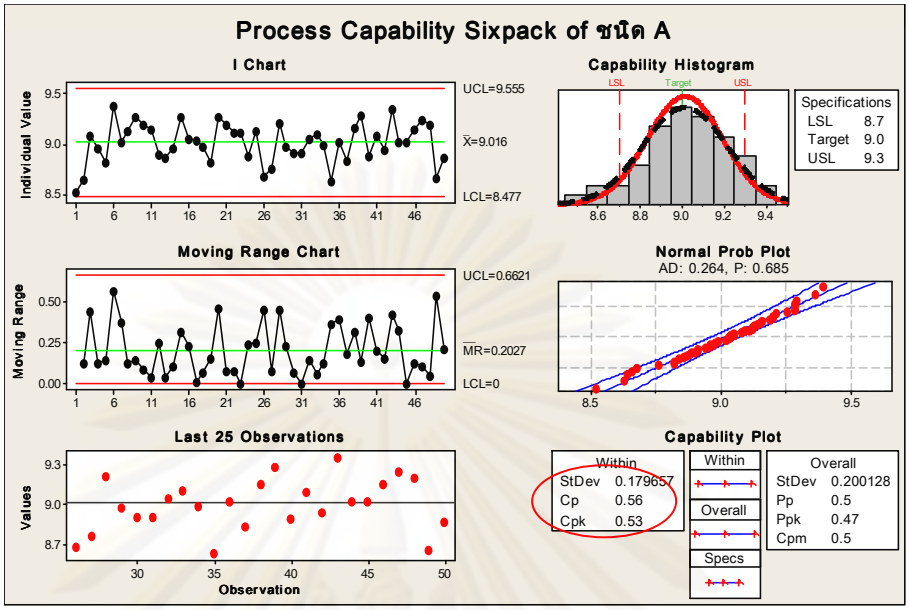
ในการเลือกตัววัดระดับคุณภาพของกระบวนการผลิต เพื่อที่จะบ่งบอกถึงระดับคุณภาพของกระบวนการนั้นมีอยู่หลายทางเลือก เช่น Yield, Rolled throughout yield, ค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ C_p, C_{pk}, ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากคุณภาพที่ไม่ดีของผลิตภัณฑ์ (Cost of poor quality) และค่า Sigma Quality Level เป็นต้น

ดัชนีความสามารถของกระบวนการ C_{pk}

$$Cpk = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \qquad (2.1)$$

เมื่อ C_{pk} คือ ดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ
USL คือ ขีดจำกัดข้อกำหนดด้านบนของลูกค้า
LSL คือ ขีดจำกัดข้อกำหนดด้านล่างของลูกค้า

ซึ่ง C_{pk} นี้สามารถคำนวณได้โดยใช้ โปรแกรม MINITAB ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการคำนวณค่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ C_p และ C_{pk} โดยใช้โปรแกรม MINITAB

2.2 ซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma)

ในแนวคิดของซิกซ์ ซิกมา การที่ผู้ผลิตจะสามารถสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าได้นั้น ผู้ผลิตจำเป็นจะต้องมีการลดความเสี่ยงหรือโอกาสที่จะทำให้ลูกค้าเกิดความไม่พึงพอใจ ซึ่งการลดความเสี่ยงนี้ จะสามารถทำได้โดยการเพิ่มความสามารถในกระบวนการผลิต อันเป็นผลทำให้กระบวนการผลิตสามารถผลิตสินค้าหรือบริการซ้ำๆ กันได้ในระดับมาตรฐานที่สูง โอกาสที่ลูกค้าจะพึงพอใจก็จะมีสูงตามไปด้วย แต่ในการเพิ่มความสามารถในกระบวนการผลิตนั้น สิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงคือ จะต้องทำการศึกษาและทำความเข้าใจถึงความผันแปรที่เกิดขึ้นตลอดช่วงการผลิต ซึ่งแหล่งของความผันแปรหลักๆ จะมาจาก วัสดุ (Material) และกระบวนการผลิต (Process) เพราะความผันแปรเหล่านี้ จะส่งผลกระทบโดยตรงกับความสามารถของกระบวนการผลิต ถ้าความผันแปรในกระบวนการผลิตมีมากความสามารถของกระบวนการผลิตก็จะต่ำ ในทางกลับกันถ้าความผันแปรในกระบวนการผลิตมีน้อยความสามารถของกระบวนการผลิตก็จะสูง ในการลดความผันแปรของกระบวนการ เรามีความจำเป็นจะต้องทำการศึกษาและหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์กับสาเหตุปัจจัยในกระบวนการผลิต ซึ่งสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ได้คือ Y = f(X1,…,XN) เมื่อ Y คือลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และ (X1,…,XN) คือสาเหตุปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการผลิต ซึ่งสาเหตุปัจจัยในกระบวนการผลิตนั้นมีจำนวนมากมายแต่สาเหตุปัจจัยที่มีความสำคัญ และส่งผลกระทบอย่างมากต่อลักษณะทางคุณภาพนั้นจะมีจำนวนเพียงเล็กน้อย (Vital few) เมื่อสาเหตุปัจจัยเหล่านี้ถูกควบคุม ความผันแปรก็จะลดลง

คุณภาพของผลิตภัณฑ์ก็จะสูงขึ้น ซึ่งนั้นหมายความว่าความสามารถในกระบวนการการผลิตก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย

Forrest W. Breyfogle III, F.W. (1999) กล่าวว่า ในการที่จะบรรลุวัตถุประสงค์ให้เกิดความสำเร็จตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ตามวิธีการทางซิกซ์ ซิกมา จะต้องมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องในทุกๆ ส่วนของการปฏิบัติงาน ซึ่งจะต้องอาศัยกลยุทธ์ในการประยุกต์ใช้เครื่องมือต่างๆในวิชาสถิติ ซึ่งในวิธีการทางซิกซ์ ซิกมา จะประยุกต์ใช้กลยุทธ์ 5 ขั้นตอนที่สำคัญในการปรับปรุงกระบวนการผลิต (Five-Phase Improvement Model) คือ Define Phase, Measure Phase, Analysis Phase, Improvement Phase และ Control Phase

ขั้นตอนทั้ง 5 ขั้นตอน ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต มีพื้นฐานมาจากขั้นตอนที่เสนอโดย W. Edwards Deming คือ Plan, Do, Check และ Act (P-D-C-A) แต่มีข้อแตกต่าง คือขั้นตอนต่างๆ ใน D-M-A-I-C ไม่ได้เป็นรูปแบบที่เรียงตัวกันอย่างเส้นตรงอย่างแท้จริง กล่าวคือเมื่อกลุ่มสมาชิกเริ่มการทดลอง เก็บรวบรวมข้อมูล อาจทำให้ค้นพบกับปัญหาและกระบวนการต่างๆ ที่เป็นสาเหตุของปัญหาที่ไม่ได้คาดคิดมาก่อนว่าจะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิต สิ่งที่ค้นพบนี้จะทำให้ทีมสามารถที่จะพิจารณาแก้ไขเป้าหมายของโครงงานใหม่ได้ แม้ว่าการทดลองจะได้ผลลัพธ์ออกมาแล้วก็ตาม หรือหลังจากที่ทำการทดสอบผลลัพธ์แล้ว กลุ่มผู้ทดลองควรที่จะทำการวิเคราะห์ผลเพิ่มต่อไป

2.3 การนำนโยบายซิกซ์ ซิกมา มาใช้ในองค์กร

การนำนโยบายและกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกมามาใช้ในทางปฏิบัติ ประกอบด้วยกัน 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของการจัดการกระบวนการทางธุรกิจ และส่วนของกรรมวิธีการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ส่วนของการจัดการกระบวนการทางธุรกิจ (Business Process Management)

การนำกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกมา มาใช้ให้ได้ผล จำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้บริหารในทุกระดับจะต้องเข้ามามีส่วนร่วมในการริเริ่ม และให้การสนับสนุนอย่างจริงจัง ซึ่งประกอบไปด้วยการดำเนินการหลักๆ ดังนี้

1. การกำหนดและให้คำมั่นสัญญาต่อนโยบายเป้าหมายการดำเนินธุรกิจ
2. การกำหนดกระบวนการหลัก, กระบวนการย่อย และกระบวนการที่เป็นไปได้
3. กำหนดผู้รับผิดชอบในแต่ละกระบวนการ
4. สร้างมาตรฐานและเครื่องมือในการวัดประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกระบวนการ
5. รวบรวมข้อมูลภายใต้เครื่องมือที่ได้รับการยอมรับ

6. กำหนดเกณฑ์ในการเลือกโครงการ

7. อาศัยเกณฑ์ที่กำหนดขึ้น ทำการเลือกโครงการ

8. ดำเนินการจัดการกระบวนการอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองนโยบายเป้าหมายขององค์กร

- ส่วนของกรรมวิธีการปรับปรุงกระบวนการ (Process Improvement Methodology)

การปรับปรุงเป็นไปได้สองแนวทาง คือ การปรับปรุงกระบวนการที่มีอยู่แล้วให้ดีขึ้น หรือการออกแบบกระบวนการใหม่ที่ดีกว่าทดแทนกระบวนการเดิม โดยกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกมา จะอาศัยการดำเนินการตามขั้นตอน D-M-A-I-C ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. ขั้นตอนการเลือกปัญหา (Define Phase) เป็นการกำหนดกลุ่มทำงานค้นหาความต้องการของกระบวนการเพื่อกำหนดปัญหาและการแก้ไขปรับปรุง

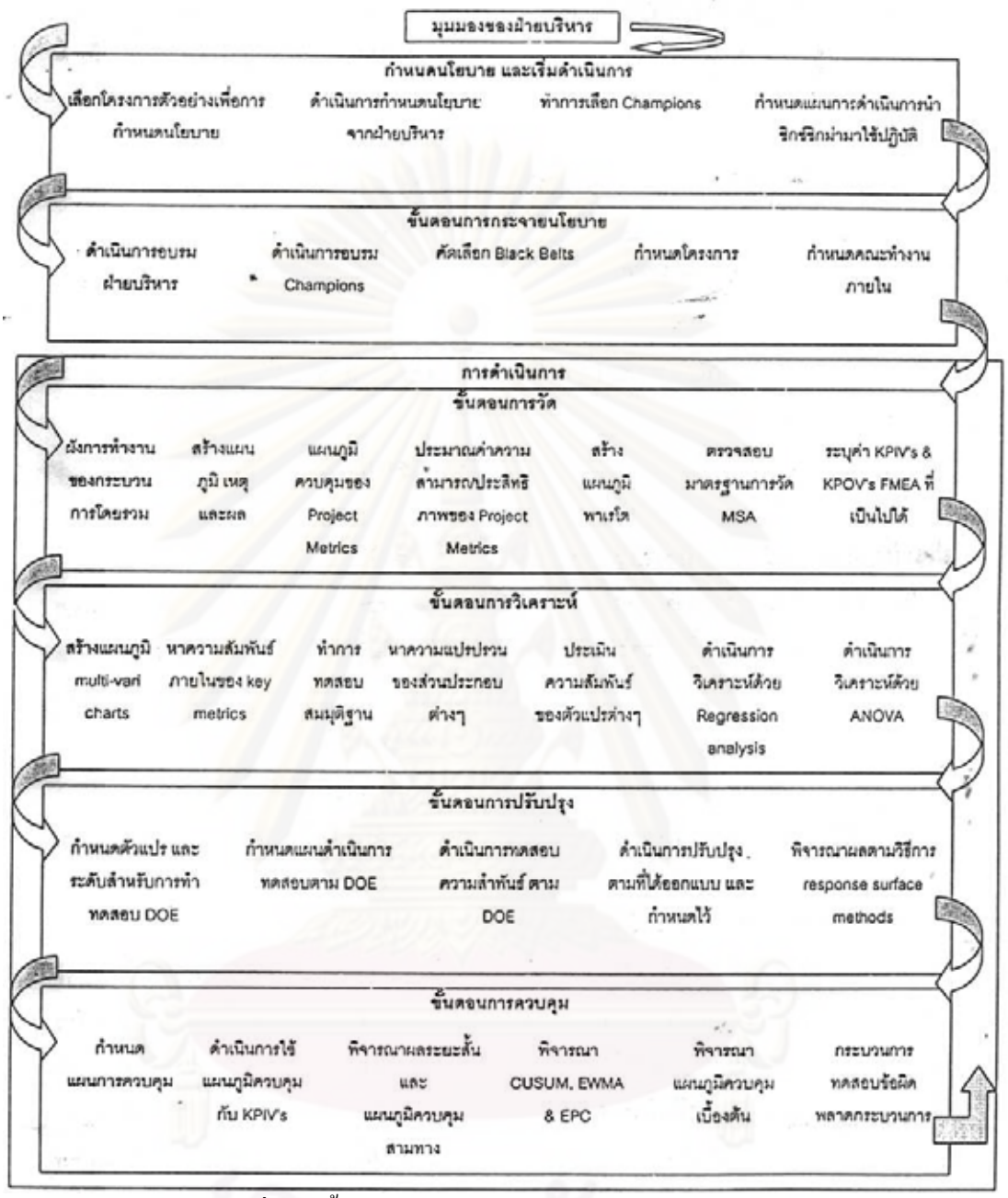
2. ขั้นตอนการวัดและการตรวจสอบ (Measure Phase) เป็นการตรวจสอบระบบการวัด, การวัดประสิทธิภาพ และประสิทธิผลของกระบวนการ แล้วแปลงค่าให้อยู่ในแนวทางของซิกซ์ ซิกมา

3. ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Phase) เป็นการที่กลุ่มทำงานร่วมกันวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเพื่อดำเนินการปรับปรุงต่อไป

4. ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase) เป็นการดำเนินการต่างๆ เพื่อหาแนวทางที่ดีที่สุด และดำเนินการปรับปรุงกระบวนการ

5. ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase) การสร้างความมั่นใจว่า แนวทางที่ได้รับการปรับปรุงจะคงอยู่ต่อไปอย่างต่อเนื่อง

ตามรูปที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการนำนโยบายซิกซ์ ซิกมาไปใช้ปฏิบัติ ซึ่งจะแสดงถึงขั้นตอนการปฏิบัติจริง และกระบวนการที่ทำให้เกิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องของกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกมา ทั้งนี้ทั้งนั้น การดำเนินการตามนโยบายซิกซ์ ซิกมา จำเป็นต้องให้ความสำคัญต่อทั้งลูกค้า กระบวนการ และพนักงาน เพราะการดำเนินการและความต้องการของทั้ง 3 ส่วนนี้ ล้วนส่งผลถึงกันทั้งสิ้น ดังนั้นการพยายามลดความผิดพลาดและความแปรปรวนต่างๆ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า และการอยู่รอดของธุรกิจ จึงต้องดำเนินการตามกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกมา โดยไม่ลืมให้ความสำคัญต่อสามองค์ประกอบนี้อย่างต่อเนื่องและทั่วถึงทั้งองค์กร



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการนำนโยบายซิกซ์ ซิกมาไปใช้ปฏิบัติ

2.4 การดำเนินงานตามแนวคิดซิกซ์ ซิกมา

การนำกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกมา มาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการให้ได้ผลควรที่จะทำความเข้าใจกับขั้นตอนต่างๆ ของกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกมาเสียก่อน ซึ่งในที่นี้จะอธิบายถึงการจัดตั้งคณะทำงาน การดำเนินงานตามขั้นตอนต่างๆ ตลอดจนเครื่องมือที่เสนอแนะให้ใช้ในแต่ละขั้นตอน

คณะทำงานตามกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกมา

การนำกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกมา มาใช้ต้องเริ่มจากการสร้างคณะทำงานที่เหมาะสมเสียก่อน ซึ่งตามระบบกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกมา ก็มีแนวทางในการกำหนดคณะทำงานไว้ดังนี้

- Champion : ผู้ให้การสนับสนุนคณะทำงาน (เจ้าของโครงงาน)

Champion มักเป็นผู้ที่มีอำนาจอยู่ในระดับบริหารของหน่วยงานนั้นๆ โดยตรง ซึ่งจะมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับคณะทำงานในหลายๆ เรื่องด้วยกัน ได้แก่ การเป็นผู้ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือคณะทำงาน เป็นผู้กำหนดนโยบายให้แก่คณะทำงานเพื่อใช้ในการกำหนดเป้าหมายของโครงการต่อไป ช่วยคณะทำงานในการเลือกโครงการ กำหนดขอบเขตของการดำเนินงานและเป้าหมายความสำเร็จของโครงการ เมื่อโครงการดำเนินไปแล้ว Champion ก็มีหน้าที่ช่วยเหลือในการกำจัดอุปสรรคที่ขัดขวางการดำเนินงานของคณะทำงาน เช่น การให้มีการสนับสนุนในเรื่องของปัจจัยการดำเนินงานต่างๆ และหน้าที่ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของ Champion คือ การช่วยตัดสินใจเลือกกระบวนการปรับปรุงในช่วงของการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งถือได้ว่าการเลือก Champion ที่เหมาะสม มีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จของโครงการ และทุกคณะทำงานจะต้องมี Champion คอยให้การสนับสนุนด้วย ผู้ที่จะมาเป็น Champion ของโครงการได้ จะต้องผ่านการอบรมความรู้พื้นฐานของกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกมา มาพอสมควรด้วย

- Black Belt และ Green Belt : หัวหน้าคณะทำงาน และคณะทำงาน Black Belt จะเป็นผู้ที่ทำงานเต็มเวลาให้กับการนำคณะทำงานในการนำกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกมามาใช้ในการดำเนินโครงการให้ประสบความสำเร็จตามเป้าหมาย และความต้องการของธุรกิจ หน้าที่หลักของ Black Belt จึงเป็นการเลือกโครงการร่วมกับ Champion จัดตั้งคณะทำงาน นำคณะทำงานในการทำงานร่วมกันให้ประสบความสำเร็จ ซึ่งจะมีหน้าที่ในการจัดการประชุม ควบคุมการทำงานของคณะทำงานให้เป็นไปตามเป้าหมาย และเป็นสื่อกลางเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างคณะทำงานกับ Champion เพื่อทำหน้าที่ต่างๆ เหล่านี้ Black Belt ที่เหมาะสมจึงไม่ใช่แต่เพียงผู้ที่มีความรู้ในงานที่ทำเป็นอย่างดี หรือผู้ที่มีความรู้ความเข้าใจในสถิติและเทคนิคต่างๆ เท่านั้น แต่ต้องเป็นผู้ที่มีทัศนคติในเชิงรุก เป็นผู้นำ และเข้ากับคนได้ง่าย ไม่อายที่จะร้องขอความช่วยเหลือ หรือถามจากผู้รู้เมื่อมีปัญหาเพราะในการดำเนินงาน Black Belt จะต้องทำหน้าที่ในการประสานงานต่างๆ เช่น ฝึกสอนให้ความรู้และนำเทคนิคต่างๆ เกี่ยวกับสถิติมาใช้อย่างเหมาะสม เป็นเสมือนพี่เลี้ยงและผู้นำของกลุ่ม ผู้ที่จะมาเป็น Black Belt โดยสมบูรณ์ได้จะต้องผ่านการ อบรมตามหลักสูตร อันประกอบด้วย ขั้นตอน D-M-A-I-C , สถิติ และ Leadership Program และต้องผ่านการสอบข้อเขียนและ ผ่านการสัมภาษณ์จาก Master Black Belt โดยปกติแล้ว องค์กรที่นำระบบกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกมา มาใช้จะมี Black Belt 1%ของพนักงานทั้งหมด แต่ก็ขึ้นกับนโยบายของแต่ละองค์กร สำหรับบางองค์กรอาจเลือกผู้ที่ยังคงทำงานอยู่ในสายงานมาเป็นหัวหน้าคณะทำงานด้วย ซึ่งจะเรียกว่า

Green Belt ซึ่งจะมีคุณสมบัติคล้ายกับ Black Belt แต่ไม่ได้ทำงานเต็มเวลาให้กับการดำเนินโครงการ หรือในบางองค์กรอาศัยทั้ง Black Belt และ Green Beltร่วมกันเป็นคณะทำงาน โดยให้ Black Belt เป็นหัวหน้าคณะทำงาน และมี Green Belt เป็นส่วนหนึ่งในคณะทำงาน

- Master Black Belt : ที่ปรึกษา Black Belt

ในการทำงานจะมี Master Black Belt เป็นส่วนหนึ่งของคณะทำงานที่ไม่ได้ทำงานเต็มเวลา แต่จะเป็นผู้ที่มีความรู้เชี่ยวชาญในกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกมา และการใช้เครื่องมือทางสถิติ และเทคนิคต่างๆ เป็นพิเศษ ซึ่งเมื่อใดที่คณะทำงานมีปัญหาทางเทคนิคในการดำเนินงาน หรือการคำนวณต่างๆ Master Black Belt ก็จะมีหน้าที่ให้คำปรึกษา แนะนำ รวมไปถึงการจัดการฝึกอบรมให้แก่คณะทำงานด้วย ในบางองค์กรการจะสอบเป็น Master Black Belt โดยสมบูรณ์ได้ ก็ต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ที่เป็น Master Black Belt ด้วย และผู้ที่จะเป็น Master Black Belt ได้ ก็เป็นผู้ที่ผ่านการสอบเป็น Black Belt แล้ว และผ่านการสอบเลื่อนขั้นเป็น Master Black Belt ด้วยเช่นกัน

- คณะทำงาน

ในคณะทำงานนอกจากจะมีผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในหน่วยงานที่เป็น Green Belt แล้ว ก็ยังมีผู้ที่มีหน้าที่รับผิดชอบโดยตรงในงานนั้นๆ เข้าร่วมอยู่ในคณะทำงานด้วย ซึ่งคณะทำงานจะร่วมกันศึกษาและดำเนินการตามกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกมา เพื่อทำการปรับปรุงกระบวนการเพื่อบรรลุตามเป้าหมายของโครงการ ซึ่งก็ควรเป็นผู้ที่มีความรับผิดชอบต่องานนั้นๆโดยตรง และมีความรู้ในงานนั้นๆ เพื่อที่จะร่วมเสนอแนะ ดำเนินการ และนำไปสู่การแก้ปัญหาที่ถูกต้องด้วย

2.5 ขั้นตอนการดำเนินงานตามกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกมา

เมื่อฝ่ายบริหารขององค์กรได้ตัดสินใจอย่างจริงจัง ที่จะดำเนินนโยบายตามระบบกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกมา แล้ว ก็จะทำการฝึกอบรมฝ่ายบริหารให้เข้าใจกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกมา เพื่อเตรียมสำหรับเป็น Champion ให้กับแต่ละโครงการ ทำการกำหนดบุคลากรที่มีความเหมาะสม เพื่อทำการฝึกอบรมเป็น Black Belt และ Green Belt ซึ่งจะเป็นไปตามขั้นตอนตามรูปที่ 3.5 ซึ่งจะเป็นการกำหนดนโยบาย และเริ่มดำเนินการของฝ่ายบริหาร ตลอดไปจนถึงการเริ่มกระจายนโยบายไปสู่การปฏิบัติ Black Belt (Green Belt) ที่ผ่านการอบรมแล้ว จะร่วมกับ Champion เพื่อทำการเลือกปัญหา กำหนดคณะทำงานและเริ่มดำเนิน งานปรับปรุงตามขั้นตอน D-M-A-I-C ดังนี้

2.5.1 ขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define Phase)

ในขั้นตอนของการเลือกปัญหาจะเริ่มจากการกำหนดตัวลูกค้า และศึกษาความต้องการของลูกค้า อาจได้จากการทำสำรวจความต้องการหรือความพึงพอใจของลูกค้า หรือจากข้อมูลการร้องเรียนของลูกค้าศึกษากระบวนการทำงานหลักขององค์กร ผู้ที่รับผิดชอบในระดับบริหารของแต่

ละกระบวนการนั้นๆ Black Belt และผู้ที่รับผิดชอบในระดับบริหารของแต่ละกระบวนการ ซึ่งจะกลายมาเป็น Champion ของโครงการ จะร่วมกันนำความต้องการของลูกค้ามากระจายเป็นปัจจัยคุณภาพที่สำคัญของแต่ละกระบวนการ ปัญหาคุณภาพต่างๆ ที่สำคัญ และตรงกับความต้องการของลูกค้า รวมถึงปัญหาที่ไม่สามารถแก้ไขได้ในหน่วยงานปกติ ก็จะถูกจัดเรียงลำดับความสำคัญ และถูกเลือกให้ดำเนินการแก้ไขปรับปรุง เมื่อ Black Belt (Green Belt) และ Champion สามารถกำหนดโครงการที่จะดำเนินการปรับปรุงได้แล้ว ก็จะร่วมกันกำหนดขอบเขตการดำเนินงาน และคณะทำงานต่อไป ดังนั้น สิ่งที่จะได้จากการดำเนินงานในขั้นตอนนี้ คือหัวข้อโครงการ, รายละเอียดของปัญหา, ขอบเขตการดำเนินงาน, เป้าหมายของโครงการ, กำหนดการดำเนินงาน, คณะทำงานและหน้าที่ความรับผิดชอบต่างๆ นอกจากนั้นการดำเนินงานในขั้นตอนนี้ยังทำให้ทราบถึงลูกค้าและความคาดหวังที่มีต่อสินค้าและบริการขององค์กร และผังกระบวนการหลักกับความสัมพันธ์กับความต้องการของลูกค้าขององค์กร

สรุปเครื่องมือทางซิกซ์ ซิกมาที่นำมาใช้

1. Project Scope Contract ใช้เป็นใบเสนอโครงการ

2. Process Mapping ใช้ศึกษากระบวนการหลักขององค์กร

2.5.2 ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

ในขั้นตอนนี้ Black Belt (Green Belt) และคณะทำงาน จะร่วมกันกำหนดแนวทางในการวัดประสิทธิ ภาพของกระบวนการ ทำการศึกษากระบวนการโดยละเอียด กำหนดปัจจัยที่ได้รับจากกระบวนการ หรือตัวแปรตอบสนองของกระบวนการ (Output or Response variable :Y) และปัจจัยนำเข้าต่างๆ (Input or Input variable : X) ของกระบวนการที่ส่งผลต่อปัจจัยที่ได้รับจากกระบวนการ ตามสมการ $Y = f(X_1, X_2, \ldots, X_n)$ จากนั้นจะทำการศึกษาแหล่งที่มาของสาเหตุของปัญหารวมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นในสาเหตุต่างๆ ซึ่งจะทำการวิเคราะห์และจัดลำดับความสำคัญในแต่ละสาเหตุที่เป็นไปได้ เพื่อที่จะเลือกสาเหตุที่คาดว่าจะมีผลกระทบรุนแรงต่อกระ บวนการผลิตมาทำการแก้ไขต่อไป

นอกจากนี้ จะทำการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดที่ใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อที่จะประกันความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัด เพื่อลดความผิดพลาดจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดในการเก็บข้อมูลและจากการทดลองต่างๆ ซึ่งความรู้และเครื่องมือทางสถิติที่เกี่ยวข้องในการศึกษากระบวนการในขั้นตอนนี้มีรายละเอียดดังนี้คือ

การระดมความคิด (Brainstorming Session)

เป็นวิธีการในการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยระดมความคิดจากบุคคลที่มีความรู้ ความชำนาญในแต่ละจุดการทำงานต่างๆ ภายในกระบวนการผลิตที่ทำการศึกษา ซึ่งในขั้นตอนนี้จุดมุ่งหมายอยู่

ที่ปริมาณของความคิดเห็นที่ได้รับเพื่อที่จะนำมาวิเคราะห์ความสำคัญด้วยเครื่องมืออื่นๆ ในขั้นตอนต่อไป

แผนภาพกระบวนการผลิต (Flow Process chart)

คือ แผนภาพที่แสดงโครงสร้างและความสัมพันธ์ของขั้นตอนในกระบวนการผลิต ซึ่งจะบอกถึงลำดับของกิจกรรมแรกที่เริ่มต้นจนถึงกิจกรรมสุดท้ายตามลำดับ เพื่อประโยชน์ในการศึกษาถึงกระบวนการผลิต ทำให้สมาชิกในกลุ่มมีความเข้าใจในกระบวนการผลิตที่ทำการศึกษาโดยละเอียดและเป็นไปในแนวทางเดียวกัน นอกจากนี้ ประโยชน์ของแผนภาพกระบวนการผลิตจะช่วยในการประเมินความสามารถของกระบวนการในแต่ละขั้นตอน ชี้ให้เห็นถึงขั้นตอนที่เป็นคอขวดของกระบวนการผลิต ชี้ให้เห็นถึงขั้นตอนหรือกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่ากับผลิตภัณฑ์ (non-value added activities) ซึ่งสามารถที่จะทำการพิจารณากำจัดออกหรือทำการเปลี่ยนแปลงแก้ไข และอธิบายกิจกรรมในการตรวจสอบ ทำให้การวางแผนการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นไปอย่างถูกต้อง ไม่เกิดข้อผิดพลาด

แผนภาพอิชิกาวา (Ishikawa or Cause-and-Effect Diagram)

เป็นแผนภาพที่ประกอบไปด้วยผลกระทบของปัญหาและกลุ่มของสาเหตุต่างๆ ที่เป็นไปได้ของปัญหาที่ทำการศึกษา เป็นเครื่องมือหนึ่งในระบบการควบคุมคุณภาพที่มีประสิทธิภาพในกระบวนแก้ปัญหา (Problem-solving process) แผนภาพนี้ได้ถูกคิดค้น และใช้โดย ดร. อิชิกาวา (Dr. K. Ishikawa) ณ มหาวิทยาลัยโตเกียว ในกลางปี 1940 โดยทั่วไปจะพิจารณาแยกสาเหตุของปัญหาออกเป็นหัวข้อหลัก 6 กลุ่มเพื่อให้ง่าย และเกิดประสิทธิภาพในการระดมความคิดเกี่ยวกับสาเหตุที่มาจากแหล่งที่มาต่างๆ ดังนี้คือ

- สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน (Man)
- สาเหตุจากเครื่องจักร (Machine)
- สาเหตุจากวัตถุดิบ (Material)
- สาเหตุจากระบบการวัด (Measurement) และ
- สาเหตุจากสภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิต (Environment)

นอกจากนี้ ยังพิจารณาถึงลักษณะของสาเหตุต่างๆ ว่าเป็นตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ ตัวแปรที่มีความสำคัญต้องทำการทดลองเพื่อพิสูจน์ข้อเท็จจริง (C = Controllable factors, N = Noise factors, X = Experimental factors) ขั้นตอนในการสร้างแผนภาพอิชิกาวา มีรายละเอียดดังนี้คือ

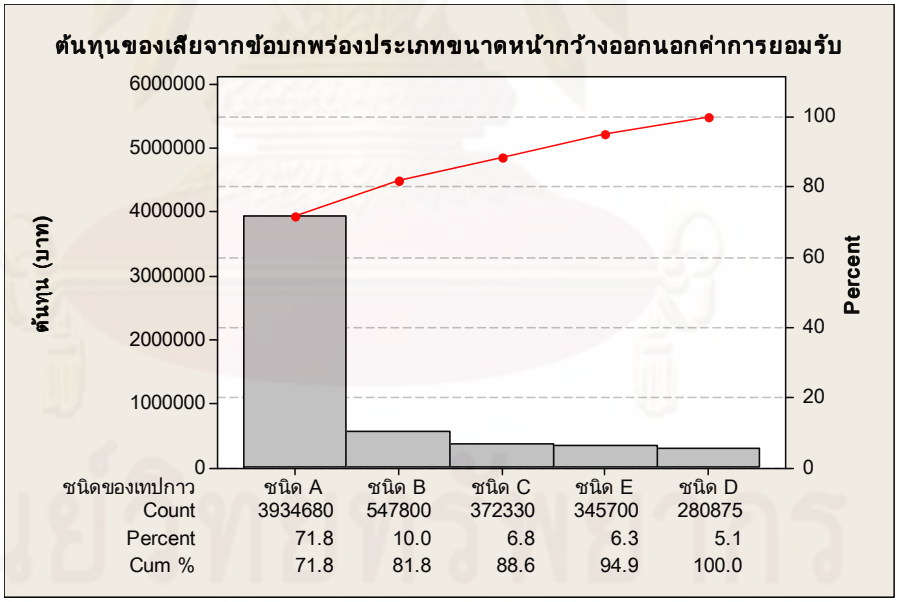
- พิจารณาลักษณะทางคุณภาพ หรือผลกระทบของปัญหาที่ทำการพิจารณาโดยใส่ไว้ในช่องขวาสุดของแกนในแนวนอน
- ทำการระดมความคิด เพื่อกำหนดสาเหตุหลักของปัญหาออกเป็นหมวดหมู่ คือ สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน เครื่องจักร วัตถุดิบ วิธีการทำงาน ระบบการวัด และ

สภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิต และอื่นๆ โดยเขียนหมวดหมู่ของสาเหตุต่างๆ นี้ในช่องสี่เหลี่ยมที่ต่อออกมาจากเส้นแกนหลักในแนวนอน

- ในแต่ละหมวดหมู่ ให้ระดมความคิดแจกแจงปัจจัยหรือสาเหตุต่างๆ ที่เกี่ยวข้องภายในหมวดหมู่ที่กำหนดไว้
- ทบทวนกระบวนการผลิตด้วยแผนภาพกระบวนการผลิต เพื่อในแน่ใจว่าได้พิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดแล้ว

แผนภาพพาเรโต (Pareto chart)

คือแผนภูมิแท่ง ที่แสดงถึงระดับความสำคัญของแหล่งที่มาของปัญหาในกระบวนการผลิต โดยหลักในการพิจารณาระดับผลกระทบของแหล่งที่มาของปัญหาคือ หลัก 20 : 80 หมายถึง ลักษณะปัญหาของกระบวนการผลิตจะมีประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ (Vital Few) ที่เป็นแหล่งที่มาของปัญหาที่มีผลกระทบเป็นส่วนมากต่อปัญหาทางคุณภาพที่ทำการศึกษา ในขณะที่จำนวนลักษณะปัญหาของกระบวนการผลิตส่วนใหญ่จำนวน 80 เปอร์เซ็นต์โดยประมาณ (Trivial Many) จะเป็นแหล่งที่มาของปัญหาที่มีผลกระทบเป็นสัดส่วนที่น้อยกว่าต่อปัญหาที่ทำการศึกษา ตัวอย่างของแผนภาพพาเรโตดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างแผนภาพพาเรโต

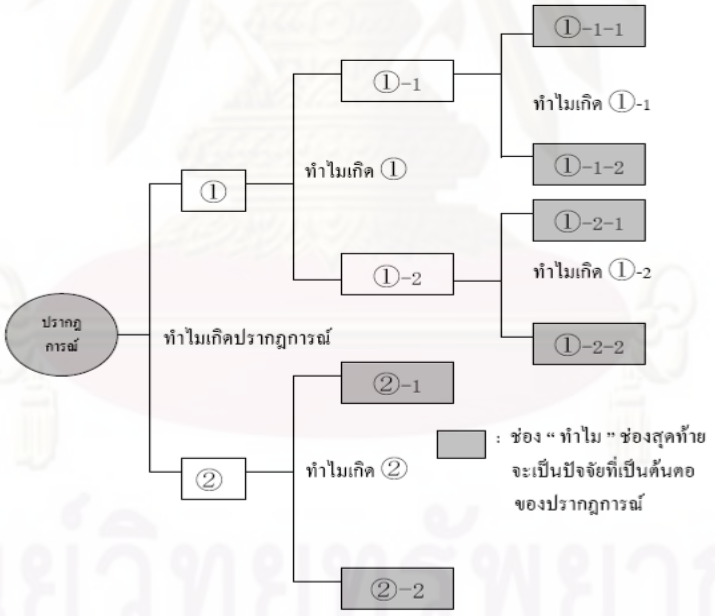
ขั้นตอนในการสร้างแผนภาพพาเรโต มีวิธีการดังต่อไปนี้

- กำหนดปัญหาและคุณลักษณะของกระบวนการที่จะทำการศึกษาให้ชัดเจน
- กำหนดช่วงระยะเวลาสำหรับการเก็บข้อมูลการศึกษา
- นับจำนวนความถี่ในการเกิดปัญหาคุณลักษณะของกระบวนการ

- ทำการจัดลำดับคุณลักษณะดังกล่าว โดยเรียงลำดับจากคุณลักษณะที่มีจำนวนความถี่จากมากไปน้อย
- พล็อตกราฟแต่ละคุณลักษณะดังกล่าวตามความถี่ในการเกิดขึ้นจากมากไปน้อย
- วิเคราะห์ผลจากแผนภาพพาเรโต โดยพิจารณาถึงคุณลักษณะหรือปัญหาที่มีความถี่มากตามลำดับในการแก้ปัญหา แต่อย่างไรก็ตามปัญหาที่มีความถี่ไม่มากแต่อาจจะมีความสำคัญก็ควรที่จะพิจารณาด้วย

เทคนิคการวิเคราะห์ Why-Why Analysis

ฮิโตชิ โอกุระ, วิเชียร เบญจวัฒนาผลและสมชัย อัครทิวา (2545) กล่าวว่า เทคนิค Why-Why Analysis เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุให้เกิดปรากฏการณ์อย่างเป็นระบบ และมีขั้นตอน โดยการถาม “ทำไม” จนกว่าจะค้นพบต้นตอสาเหตุของปรากฏการณ์ ทำให้กำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหาและใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานให้สูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เป็นการอธิบายวิธีการวิเคราะห์ ค้นหาสาเหตุ เมื่อได้ปัจจัยที่เป็นต้นตอของปรากฏการณ์ จึงนำมาหามาตรการในการแก้ไข



รูปที่ 2.4 แผนภูมิอธิบายวิธีการคิดแบบ Why-Why Analysis

ก่อนทำ Why-Why Analysis ต้องตรวจสอบสถานที่จริงและดูสภาพงานจริง อันเป็นที่มาของปัญหา เพื่อสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับรายละเอียดของปัญหาให้ถูกต้องชัดเจน และต้องทำความเข้าใจโครงสร้าง และหน้าที่ของส่วนที่เป็นปัญหา อาจเขียนออกมาเป็นผังแสดงการไหลของงานหรือภาพสเกตซ์ของส่วนที่เป็นปัญหา

แนวทางในการพิจารณาปัญหามี 2 แนวทาง คือ การมองปัญหาจากสภาพที่ควรจะเป็น และการมองปัญหาจากหลักเกณฑ์หรือทฤษฎี

1) การมองปัญหาจากสภาพที่ควรจะเป็น เป็นการมองปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างถี่ถ้วน แล้วกำหนดหัวข้อเงื่อนไขที่จำเป็น ซึ่งจะทำให้ปรากฏการณ์นั้นไม่เกิดขึ้น จากนั้นลองสำรวจ หัวข้อ เงื่อนไขแต่ละอัน โดยดูจากของจริง แล้วทำการวิเคราะห์ต่อไปเฉพาะหัวข้อที่คิดว่าผิดปกติ
2) การมองปัญหาจากหลักเกณฑ์หรือทฤษฎี จะเป็นการวิเคราะห์สาเหตุของปรากฏการณ์อย่างครบถ้วน และทำให้พบต้นตอที่แท้จริงสูงกว่า

หมายเหตุ : การมองปัญหาจากหลักเกณฑ์หรือทฤษฎี ต้องอาศัยผู้ที่มีความรู้ความชำนาญในปัญหานั้นอย่างแท้จริง

ข้อควรระวังในการทำ Why-Why Analysis

- ข้อความที่ใช้เขียนตรงช่อง “ปรากฏการณ์” และช่อง “ทำไม” ต้องสั้นและกระชับ
- หลังจากที่ทำ Why-Why Analysis แล้ว จะต้องยืนยันความถูกต้องตามหลักตรรกวิทยา โดยอ่านย้อนจากทำไม ช่องสุดท้ายกลับมายัง ปรากฏการณ์ ได้
- ให้ตรวจสอบดูว่าปัจจัยหรือสาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ก่อนหน้านั้น ได้มีการหยิบยกขึ้นมากอย่างครบถ้วนหรือยัง โดยพิจารณาย้อนกลับว่า ถ้าปัจจัยนั้นไม่เกิดขึ้นแล้ว เหตุการณ์ก่อนหน้านั้นจะไม่เกิดขึ้นหรือไม่
- ให้ถามว่า “ทำไม” ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะพบปัจจัยหรือสาเหตุที่สามารถเชื่อมโยงไปสู่การวางมาตรการป้องกันไม่ให้ปัญหาเกิดขึ้นซ้ำอีก
- ให้เขียนเฉพาะส่วนที่คิดว่าคลาดเคลื่อนไปจากสภาพปกติเท่านั้น
- ให้หลีกเลี่ยงการค้นหาสาเหตุ ที่มาจากสภาพปัญหาจิตใจของคน เช่น ใจลอย เหนื่อย
- อย่าใช้คำว่า “ไม่ดี” ในประโยค

การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA)

รศ. ธนากร เกียรติบันลือ (2543) กล่าวว่า FMEA เป็นเครื่องมือหนึ่ง ในระบบการวางแผนการควบคุมคุณภาพ ซึ่งเป็นกลุ่มกิจกรรมเพื่อใช้ในการศึกษา และวินิจฉัยลักษณะข้อบกพร่องของสาเหตุต่างๆ (Potential Failure Mode) ที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตอย่างมีระบบ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ได้ตามข้อกำหนดของลูกค้า หรือกระบวนการไม่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้ตามข้อกำหนดของทั้งลูกค้าภายในและลูกค้าภายนอก

โดยทั่วไป FMEA มักจะนำมาประยุกต์ใช้ในระหว่างขั้นตอนการออกแบบกระบวนการหรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยผ่านกระบวนการระดมความคิดของกลุ่มสมาชิกที่ได้

จัดตั้งขึ้น และรวมถึงใช้เป็นเครื่องมือในการจัดการกิจกรรมในการลดของเสียหรือข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ แต่ในงานวิจัยฉบับนี้จะใช้ FMEA ในการวิเคราะห์ปัญหาและหาตัวแปรควบคุมในระบบการควบคุมกระบวนการ โดยวิธีทางสถิติ

- จุดประสงค์ในการทำ FMEA

- เพื่อทำการวินิจฉัย วิเคราะห์ จัดลำดับความสำคัญของข้อบกพร่องที่มีความเป็นไปได้อย่างมีระบบเกี่ยวกับชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิต

- เพื่อพิจารณาวิธีการป้องกันและแก้ไขข้อบกพร่องเหล่านี้เพื่อกำจัด หรือลดโอกาสในการเกิดข้อบกพร่องเหล่านี้ในอนาคต

- เพื่อจัดทำเอกสารอ้างอิงในแผนการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตหรือผลิตภัณฑ์ในอนาคต

- ขั้นตอนการปฏิบัติ แบ่งออกเป็น 2 ระดับคือ

1) ก่อนเริ่มทำ FMEA ควรปฏิบัติดังนี้

- รวบรวมกลุ่มสมาชิกที่จะร่วมกันทำการศึกษา FMEA ซึ่งควรจะประกอบด้วยสมาชิกจากหลายหน่วยงานที่แตกต่างกัน และทำการเลือกผู้ที่จะเป็นหัวหน้ากลุ่ม

- กำหนดกระบวนการ หรือผลิตภัณฑ์ หรือตัวแปรตอบสนองที่จะทำการศึกษาให้ชัดเจน

- กำหนดขอบเขตของการศึกษาให้ชัดเจน ได้แก่ ระยะเวลาในการศึกษา ข้อจำกัดของผลิตภัณฑ์ รายจ่ายต่างๆ ที่เกิดขึ้น ทรัพยากรที่จะใช้สนับสนุน รูปแบบการรายงานผล รวมทั้งวิธีการเผยแพร่ข้อมูลการวิเคราะห์ที่ได้ และข้อจำกัดอื่นๆ ที่ต้องการ

- ควรพิจารณาขนาดของปัญหาที่ทำการศึกษา หากมีขนาดใหญ่สำหรับการทำ FMEA 1 โครงการ ควรจะแยกให้เป็นปัญหาย่อยๆ และทำการศึกษา FMEA แยกในแต่ละปัญหาย่อยนี้

2) ขั้นตอนการปฏิบัติ FMEA จะกระทำโดยการระดมความคิดเห็นของกลุ่มสมาชิกที่ได้จัดตั้งขึ้น ตั้งแต่เริ่มกระบวนการจนเสร็จสิ้นขั้นตอน และมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอน ดังนี้

- ศึกษากระบวนการการผลิตหรือผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกสำหรับการทำ FMEA สำหรับกระบวนการผลิตจะใช้เครื่องมือช่วยในการศึกษา คือ แผนภาพกระบวนการผลิต (Process Flow Diagram) ส่วนผลิตภัณฑ์มักจะใช้ตัวต้นแบบ หรือภาพการออกแบบของตัวผลิตภัณฑ์นั้นช่วยในการศึกษา เพื่อให้กลุ่มสมาชิกได้ทราบถึงรายละเอียดของกระบวนการผลิต หรือผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

- พิจารณาแจกแจงปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ หรือ “KPIV” ที่มีความเกี่ยวข้องกับปัญหาในแต่ละกระบวนการย่อย หรือชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา โดยอาศัยเครื่องมือช่วยในการศึกษา ได้แก่ แผนภูมิก้างปลา (Cause-and-Effect Diagram) ซึ่งจะพิจารณา KPIVs จากแหล่งที่มาทั้ง 6 แหล่ง ได้แก่ ผู้ปฏิบัติงาน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) วิธีการทำงาน (Method) ระบบการวัด (Measurement) และสภาพแวดล้อม (Environment) ซึ่งหากเป็นกระบวนการผลิตปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ อาจกำหนดเป็นกระบวนการย่อยในขั้นตอนต่างๆ ที่อาจจะมีผลต่อปัญหาที่เป็นหัวข้อของ FMEA ที่ศึกษาอยู่ แต่ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ KPIV อาจกำหนดเป็นชิ้นส่วนย่อยของผลิตภัณฑ์ที่อาจจะมีผลต่อปัญหาดังกล่าว

- พิจารณาแจกแจง Potential Failure Mode หรือ “PFM” สำหรับแต่ละปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ ที่ได้พิจารณาจากขั้นตอนที่แล้ว โดยอธิบายลักษณะของความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งควรที่จะพิจารณาถึงลักษณะความผิดปกติดังกล่าวของกระบวนการในขั้นตอน หรือชิ้นส่วนย่อยที่กำลังพิจารณานี้ ที่อาจเป็นสาเหตุของลักษณะความผิดปกติในกระบวนการถัดไปด้วย รวมทั้งพิจารณาลักษณะความผิดปกติในระดับนี้ ซึ่งเป็นผลกระทบมาจากกระบวนการก่อนหน้า PFMs ที่พิจารณาเป็นได้ทั้งลักษณะความผิดปกติทั้งทางกายภาพและทางเทคนิค ในขั้นตอนนี้จะใช้เวลาค่อนข้างมาก วิธีหนึ่งที่จะช่วยให้การระดมความคิดในขั้นตอนนี้เกิดประสิทธิภาพ คือ หัวหน้ากลุ่มควรจะใช้สมาชิกทุกคนได้คิดถึงลักษณะของข้อบกพร่องตามความคิดของแต่ละคนที่มี ก่อนทำการประชุมเพื่อทำการระดมความคิด ซึ่งจะทำให้ได้จำนวนความคิดเห็นเกี่ยวกับ PFMs หรือลักษณะของข้อบกพร่องที่มากกว่า และรวดเร็วกว่า แนวทางหนึ่งที่ใช้พิจารณาลักษณะของข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต คือ การศึกษาผลลัพธ์ (Output) ของแต่ละขั้นตอนย่อยในกระบวนการผลิต (จากแผนภาพกระบวนการผลิต) และพิจารณาว่ากระบวนการจะทำให้ผลลัพธ์ดังกล่าวไม่ได้ตามต้องการ หรือข้อกำหนดอย่างไร สำหรับผลิตภัณฑ์ จะแยกออกเป็นส่วนประกอบหลักๆ และพิจารณาข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนหลักดังกล่าว

- เมื่อจบขั้นตอนนี้แล้ว จะได้ตาราง FMEA ที่ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิต หรือส่วนประกอบต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ที่อาจมีผลกระทบต่อปัญหาที่ทำการศึกษา รวมถึงปัจจัยนำเข้าที่สำคัญและ Potential Failure Modes ที่สัมพันธ์กับกระบวนการผลิตหรือส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์นั้นๆ

- พิจารณาแจกแจง Potential Failure Effects ของ Potential Failure Mode แต่ละตัวที่ได้จากขั้นตอนที่แล้ว โดยจะเป็นการพิจารณาถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้ที่มีผลต่อการทำงานของผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาที่ทำการศึกษา โดย PFMs แต่ละตัวอาจจะทำให้เกิดผลกระทบขึ้นจำนวน 1 ผลกระทบหรือมากกว่าหนึ่งก็ได้

- การให้คะแนนความร้ายแรง (Severity Score : SEV) เป็นการประเมินความร้ายแรงที่เกิดขึ้นของผลกระทบในแต่ละ Potential Failure Modes ที่มีต่อชิ้นส่วนระบบ หรือกระบวนการถัดไป ซึ่งอาจจะมาจากการประเมินผลจากข้อมูลที่มีอยู่ หรือหากเป็นผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตใหม่ จะต้องอาศัยความรู้และความชำนาญทางวิศวกรรมช่วยในการวิเคราะห์

โดยทั่วไปการประเมินคะแนนของความร้ายแรงที่มีของแต่ละผลกระทบดังกล่าว มักจะอยู่ในช่วงคะแนน 1 ถึง 10 ซึ่งขึ้นกับการประยุกต์ใช้ในแต่ละลักษณะปัญหาที่ทำการศึกษา วิธีการสร้างช่วงของคะแนนความร้ายแรงสามารถอ้างอิงจากตารางที่ 2.4 ซึ่งคะแนนที่มีค่ามาก จะบอกถึงลักษณะของผลกระทบที่มีความรุนแรงมากตามลำดับคะแนน โดยทั่วไปการแก้ไขเพื่อลดระดับความรุนแรงของผลกระทบสามารถทำได้ โดยการแก้ไขการออกแบบที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ข้อสังเกตคือ Potential Failure Mode แต่ละตัวสามารถที่จะมาจากสาเหตุที่มากกว่าหนึ่งสาเหตุได้ และจากตาราง FMEA จะได้ว่าคอลัมน์ของ Potential Cause of Failure นี้จะเป็นอิสระจากคอลัมน์ของ Potential Failure Effect และคะแนนของความรุนแรง (SEV) นั่นคือ Potential Failure Effect และ SEV สามารถที่จะพิจารณาหลังจากที่ได้ใส่สาเหตุของปัญหาแล้ว

- การให้คะแนนความถี่ในการเกิด (Occurrence Score : OCC) เป็นการคาดคะเนความน่าจะเป็นที่สาเหตุของปัญหาที่ระบุจะเกิดขึ้น ซึ่งควรที่จะมาจากข้อมูลในอดีตที่เป็นจริง แต่หากเป็นการศึกษา FMEA สำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ จะต้องใช้ความรู้ทางวิศวกรรม ใช้วิธีการคาดคะเน หรือถ้าเป็นไปได้อาจมาจากผลการทดลอง (Design of Experiment) แต่ไม่ว่าจะใช้วิธีการใดในการพิจารณาก็ตาม ช่วงของคะแนนความถี่นี้ควรที่จะเป็นช่วงของตัวเลขที่เหมือนกับการสร้างช่วงคะแนนของความร้ายแรง

- พิจารณาระบบการตรวจจับในปัจจุบัน (Current Design Control) เป็นการอธิบายการควบคุมที่สามารถจะป้องกันไม่ให้ Potential Failure Mode เกิดขึ้นหรือตรวจจับการเกิดขึ้นของ Potential Failure Mode เพื่อที่จะพิจารณาหรือกำจัดสาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นก่อนที่ผลิตภัณฑ์จะออกจากหน่วยการผลิตไปสู่ลูกค้า ซึ่งเครื่องมือที่ใช้มีอยู่หลายชนิด เช่น ใบตรวจสอบ แผนภูมิควบคุมและ Poke-Yoke เป็นต้น การให้คะแนนการตรวจจับ (Detection Score : DET) เป็นการประเมินคะแนนของความสามารถของการหลุดลอดจากการตรวจจับ Potential Failure Mode ของระบบการควบคุมที่ได้ระบุไว้ คะแนนนี้จะทำให้เห็นประสิทธิภาพของระบบการควบคุมที่ใช้ในปัจจุบันในการตรวจจับข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกิดขึ้นก่อนที่ผลิตภัณฑ์จะออกจากหน่วยการผลิตตัวอย่างการกำหนดช่วงคะแนนการตรวจจับ

ตารางที่ 2.3 การให้คะแนนเกณฑ์ความร้ายแรง ความถี่ในการเกิด และระบบการตรวจจับ

Rating	Severity of Effect	Likelihood of Occurrence	Ability of Detect
10	Hazardous without warning	Very high : Failure is almost inevitable	Can not detect
9	Hazardous with warning		Very remote chance of detection
8	Loss of primary function	High : Repeated failures	Remote chance of detection
7	Reduced primary function performance		Very low chance of detection
6	Loss of secondary function	Moderate : Occasional failures	Low chance of detection
5	Reduced secondary function performance		Moderate chance of detection
4	Minor defect noticed by most customers		Moderately high chance of detection
3	Minor defect noticed by some customers	Low : Relatively few failures	High chance of detection
2	Minor defect noticed by discriminating customers		Very high chance of detection
1	Not effect	Remote : Failure is unlikely	Almost certain detection

- คำนวณคะแนน RPN (Risk Priority Number) ในแต่ละแถวของตาราง FMEA ซึ่งเป็นผลคูณระหว่างคะแนน SEV, OCC และ DET ในแต่ละแถว

$$RPN = SEV * OCC * DET \quad (2.2)$$

เมื่อได้คะแนน RPN ในแต่ละแถวแล้ว ให้ทำการรวมคะแนนทั้งหมด เป็นคะแนน RPN รวม ซึ่งจะนำไปใช้วิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

- จัดเรียงลำดับ Potential Failure Mode และ Potential Cause of Failure ตามคะแนน RPN ที่ได้ คะแนน RPN ที่มีค่ามากจะบอกถึง Failure Mode และ Cause ที่มีความวิกฤตมาก และเนื่องจาก RPN เป็นการวัดค่าความวิกฤตรวมของขั้นตอนการผลิตหรือชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ จึงได้ว่าคะแนน RPN ที่มีค่ามาก ลำดับความสำคัญในการแก้ไขจะต้องมาก่อนขั้นตอนการผลิตหรือชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีคะแนน RPN ที่น้อยกว่า เครื่องมือที่นำมาใช้ช่วยในการพิจารณาลำดับ Failure Mode/ Cause ด้วยคะแนน RPN จะใช้แผนภูมิพาเรโตช่วยในการพิจารณา

- กำหนดกิจกรรมเพื่อทำการลดระดับค่าคะแนนของ SEV, OCC และ/ หรือ DET ของ Failure Mode โดยเริ่มจากค่า RPN สูงสุดจากแผนภูมิพาเรโต ซึ่งจากหลักการของพาเรโตคือจะเลือกจำนวน Failure Mode/cause ที่มีค่าประมาณ 80% ของคะแนน RPN รวมทั้งหมด

- หลังจากที่ได้กำหนดกิจกรรมในการลดค่าคะแนนทั้งสามแล้วให้จัดทำเอกสารสำหรับกิจกรรมเหล่านี้ในรูปแบบของ FMEA และ พิจารณาแผนในการนำกิจกรรมเหล่านี้ไปใช้ รวมทั้งคำนวณค่าของคะแนน RPN ใหม่ตามแผนการแก้ไขปัญหานี้ ซึ่งทำให้สามารถที่จะประเมินผลการปรับปรุงได้จากการหาค่าความแตกต่างระหว่างคะแนน RPN เดิมและคะแนน RPN ตามแผนการแก้ไขที่วางไว้

นอกจากนี้ยังรวมถึงการกำหนดผู้รับผิดชอบในแต่ละกิจกรรม รวมถึงระยะเวลาในการดำเนินการแก้ไขปรับปรุงด้วย

การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis)

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2549) ได้กล่าวไว้ว่า วัตถุต่างๆ ล้วนแล้วแต่มีค่าคงที่ของคุณสมบัติเฉพาะต่างๆค่าหนึ่ง ซึ่งถือว่าเป็น “ค่าจริง” ของวัตถุตามคุณสมบัติเฉพาะนั้นๆ โดยการวัด จะเป็นการกำหนดค่าที่เป็นตัวเลขให้กับคุณสมบัติเฉพาะเหล่านั้น ในกระบวนการวัดหรือระบบการวัดจะมีองค์ประกอบหลักๆ คือ เครื่องมือวัด, พนักงานวัด, วิธีการวัด และสิ่งแวดล้อมในการวัด แต่เนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้จะมีความไม่เท่ากัน จึงส่งผลให้เกิดความผันแปรจากระบบการวัดขึ้น ซึ่งความผันแปรนี้ มีอยู่ด้วยกันสองลักษณะ คือ ความผันแปรที่เป็นไปโดยสาเหตุธรรมชาติ (Common cause of variation) ซึ่งความผันแปรนั้นจะอยู่ในเสถียรภาพที่สามารถทำนายได้ ส่วนความผันแปรอีกลักษณะหนึ่ง คือ ความผันแปรที่เป็นไปได้โดยสาเหตุจากความผิดพลาด (Special cause of variation) ความผันแปรนี้จะไม่เสถียรและไม่สามารถทำนายได้ ในการทำการวัดเพื่อประกันคุณภาพจึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการตรวจจับสาเหตุแห่งความผิดพลาด แล้วทำการกำจัดทิ้ง โดยจะทำควบคู่ไปกับการพยายามลดสาเหตุธรรมชาติแห่งความผันแปรอย่างต่อเนื่อง สาเหตุ ด้านความผันแปรของระบบการวัดเหล่านี้ จะมีผลทำให้ค่าวัดที่ได้มาเบี่ยงเบนไปจากค่าจริง ของสิ่งวัดเสมอ กล่าวคือ ถ้าให้ X แทนค่าที่วัดได้ และ μ แทนค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัด จะได้ว่า $Xi= \mu - \varepsilon I$ โดยให้ ε แทนค่าความคลาดเคลื่อนของค่าวัด (Measurement error) ซึ่งในการวิเคราะห์ระบบการวัดนี้ มีจุดประสงค์สำคัญในการวิเคราะห์ คือ วิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด แล้วทำการแก้ไขปรับปรุงจากความคลาดเคลื่อนของค่าวัดที่มีการรวมกันอยู่ของทั้งปริมาณที่สามารถกำจัดได้ และกำจัดไม่ได้ จึงต้องดำเนินการกำจัดปริมาณที่สามารถควบคุมได้ก่อน เช่น ความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาด ซึ่งเป็นสาเหตุมาจากการขาดความรู้และความเข้าใจเกี่ยว กับเครื่องมือวัด ซึ่งจะสามารถกำจัดได้โดยการกำหนดขั้นตอนและวิธีการวัดที่แน่นอนไว้ การฝึกอบรมพนักงานที่ทำการวัด การจัดทำมาตรฐานของสิ่งที่ได้รับการวัด เป็นต้น และเมื่อดำเนินการทำให้ระบบการวัดเป็นมาตรฐานแล้ว ก็จะดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือเพื่อการกำจัดความคลาด เคลื่อนเชิงระบบ และหลังจากนั้นจะต้องมีการลดค่าความคลาดเคลื่อน

แบบสุ่ม ซึ่งมีสาเหตุมาจากธรรมชาติต่างๆ ด้วยการประเมินถึงแหล่งความผันแปรต่างๆทั้งจากเครื่องมือวัด พนักงานวัด ตลอดจนสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการวัดด้วย

การวิเคราะห์ระบบการวัด เป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัด เพื่อทำการแยกแยะแหล่งความผันแปรต่างๆ และดำเนินการปรับปรุง โดยในการวิเคราะห์จะให้ความสนใจการวิเคราะห์ถึงความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด แล้วพยายามปรับให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งความแม่นยำของระบบการวัดจะประกอบไปด้วย

- ความสามารถในการทำซ้ำ หรือรีพีททะบิลิตี้ (Repeatability) หมายถึง ค่าความแตกต่างในการวัดอย่างต่อเนื่องกับงานชิ้นเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกัน และด้วยพนักงานคนเดียวกัน ซึ่งโดยปกติจะใช้ค่านี้ในการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดในระยะสั้น หรือจะพูดได้ว่าเป็นความผันแปรภายใต้เงื่อนไขการวัดเดียวกัน
- ความสามารถในการทำเหมือน หรือรีโปรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility) หมายถึง ค่าความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของการวัดกับชิ้นงานเดียวกัน ด้วยเครื่องมือเดียวกัน แต่ต่างพนักงานกัน และโดยปกติแล้วจะใช้ค่ารีโปรดิวซิบิลิตี้ในการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดในระยะยาว หรือจะกล่าวได้ว่าเป็นความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของการวัด

สรุปเครื่องมือทางซิกซ์ ซิกมาที่นำมาใช้

1. Process Mapping , Cause and Effect Matrix , FMEA ใช้ในการศึกกระบวนการที่มีปัญหา เพื่อหาสาเหตุ และปัจจัยนำเข้า (KPIV) / ปัจจัยที่ได้จากกระบวนการ (KPOV) ของกระบวนการ
2. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) , Gage R&R ใช้วิเคราะห์ระบบการวัด

2.5.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

ขั้นตอนนี้จะนำปัจจัยนำเข้าที่สำคัญของกระบวนการต่างๆ มาทำการวิเคราะห์ผ่านวิธีการทดสอบทางสถิติเชิงอนุมาน หรือออกแบบการทดลองเชิงสถิติ เพื่อดูว่าปัจจัยต่างๆเหล่านี้มีผลต่อกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงของกระบวนการ หากปัจจัยใดที่ทดสอบแล้วพบว่ามีผลต่อตัวแปรที่สำคัญที่ได้รับจากกระบวนการของกระบวนการ ก็จะนำไปดำเนินการในขั้นตอนต่อไป จากการดำเนินงานในขั้นตอนนี้ทำให้เข้าใจกระบวนการมากขึ้น และมาตรฐานการทำงานต่างๆ จะถูกทบทวนและปรับปรุงใหม่ ตัวแปรต่างๆ จะถูกกำหนดและศึกษาและทำให้ทราบว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อตัวแปรที่สำคัญที่ได้รับจากกระบวนการอย่างมาก ซึ่งจะเป็นปัจจัยที่เหมาะสมที่นำไปทำการแก้ไขต่อไป

1. การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

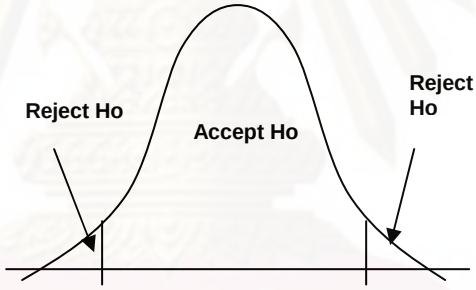
เป็นการตรวจสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ ซึ่งจะทดสอบในระหว่าง 2 กลุ่มตัวอย่างที่นำมาพิจารณา

ก) ตั้งสมมติฐานหลักตามสิ่งที่ต้องการจะทดสอบ (Null Hypothesis : H_0) ซึ่งอาจจะเป็นแบบ 2 ด้าน หรือด้านเดียว

ข) ตั้งสมมติฐานรองหรือสมมติฐานทางเลือก(Alternative Hypothesis :H_1)

ค) กำหนดค่าความเสี่ยง $\propto$ (โดยทั่วไปกำหนดที่ 0.05)

ง) กำหนดวิธีการตัดสินใจ ด้วยการพิจารณาตัวสถิติที่จะนำมาทดสอบตัวพารามิเตอร์ แล้วพิจารณาถึงการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวสถิติดังกล่าวด้วยทฤษฎีของการแจกแจงสิ่งตัวอย่าง ซึ่งอธิบายถึงขนาดความผันแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ในระหว่างเงื่อนไขของการทดลอง หรือ Reproducibility จากนั้นให้กำหนดช่วงแห่งการปฏิเสธและช่วงแห่งการยอมรับของตัวสถิติภายใต้ค่าความเสี่ยง ($\propto$) ที่กำหนด



รูปที่ 2.5 พื้นที่การยอมรับ และ ไม่ยอมรับ H_0

ถ้าค่าคำนวณของค่าสถิติที่เลือกใช้ในการทดสอบ มีค่าอยู่ระหว่างเขตวิกฤติ (Critical region) จะปฏิเสธ H_0 และจะยอมรับ H_a ซึ่งจะเรียกผลการทดสอบสมมติฐานว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ (Significance)

ถ้าค่าคำนวณของค่าสถิติไม่อยู่ในเขตวิกฤติจะยอมรับ H_0 แสดงว่า ผลการทดสอบไม่มีนัยสำคัญ

การทดสอบสมมติฐานแบบ 2 ด้านเป็นการทดสอบสมมติฐานและหาช่วงความเชื่อมั่นของความแตกต่าง ระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากร 2 ชุด เมื่อไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากร

- ถ้าเป็น Two Independent samples และ n >= 30 จึงใช้ Z – test

H_0 = $\mu_1 - \mu_2 = 0$ (same)

H_a = $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$ (different)

และ ตัวสถิติสำหรับการทดสอบ คือ

$$z \approx \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - 0}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1}} + \sqrt{\frac{s_2^2}{n_2}}} \qquad (2.3)$$

- ถ้าเป็น Two Independent samples และ n < 30 จึงใช้ t – test

H_0 = $\mu_1 - \mu_2 = 0$ (same)

H_a = $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$ (different)

และ ตัวสถิติสำหรับการทดสอบ คือ

$$t \approx \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - 0}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1}} + \sqrt{\frac{s_2^2}{n_2}}} \qquad (2.4)$$

- ถ้าเป็นการทดสอบสมมติฐาน และหาช่วงความเชื่อมั่นของความแตกต่างระหว่าง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน คู่ต่อคู่ จะใช้ Paired - t - test

H_0 = $\mu_1 - \mu_2 = 0$ (same)

H_a = $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$ (different)

H_0 : $\mu_d = 0$

H_a : $\mu_d \neq 0$

และ ตัวสถิติสำหรับการทดสอบ คือ

$$t = \frac{\bar{d} - 0}{s_d / \sqrt{n}} \qquad (2.5)$$

โดยที่ $$\bar{d} = \sum \frac{d_i}{n}$$

และ $$s_d = \sqrt{\frac{\sum d_i - \frac{(\sum d_i)}{n}}{n-1}}$$

- ใช้ F – test สำหรับ Two variances

H_0 = $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

H_a = $\sigma_1^2 \rangle \sigma_2^2$

และ ตัวสถิติสำหรับการทดสอบ คือ

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \qquad (2.6)$$

- การทดสอบสมมติฐานโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

การทดสอบสมมติฐาน เกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่มสามารถทดสอบสมมติฐานโดยใช้ตัวสถิติ Z, t อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติอาจจะมีประชากรมากกว่าสองกลุ่มดังนั้น การวิเคราะห์ความแปรปรวน สามารถถูกนำมาใช้ในการทดสอบความมีนัยสำคัญ ของความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไปโดยที่สมมติฐานหลักที่ว่า ค่าเฉลี่ยของประชากรทุกค่าเท่ากัน

$H_o : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \ldots = \mu_b$

$H_a : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \ldots \neq \mu_b$ b = จำนวนประชากร

ลักษณะของข้อมูล

x_{11}	x_{21}	x_{31}	. . .	x_{b1}
x_{12}	x_{22}	x_{32}		x_{b2}
x_{1n1}	x_{2n2}	x_{3n3}		x_{bnn}

ถ้าข้อมูลตัวอย่างจากประชากร 3 กลุ่ม

	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3
	2	4	6
	2	4	6
	2	4	6
		4	6
			6
ค่าเฉลี่ย	2	4	6
ความแปรปรวน	0	0	0

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่าในแต่ละกลุ่มนั้น ไม่มีความแตกต่างกันภายในกลุ่ม (Within variance =0) แต่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่ม (Between variance ≠0)

ดังนั้น อาจสามารถสรุปได้ว่าถ้าความแปรปรวนภายในกลุ่มมีค่าน้อย และความแปรปรวนระหว่างกลุ่มมีค่ามาก นั้น ค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่างๆ มีค่าแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม จำเป็นจะต้องใช้วิธีทางสถิติในการทดสอบสมมติฐานดังกล่าวเพื่อความแน่ใจ ด้วยเหตุนี้ การวิเคราะห์ความ

แปรปรวน จะถูกใช้ในการทดสอบสมมติฐาน ที่เกี่ยวกับค่าเฉลี่ยประชากรที่มีจำนวนประชากรมากกว่า 2 ประชากร

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- ตั้งสมมติฐานในการทดสอบ

$H_o : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \ldots = \mu_b$

$H_a : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \ldots \neq \mu_b$

- คำนวณค่าสถิติในการทดสอบ F โดยใช้ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA

ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA

แหล่งความแปรปรวน	df	ผลรวมกำลังสอง (Sum Square : SS)	ค่าเฉลี่ผลรวมกำลังสอง (Mean of Sum Square : MS)	สถิติ F
ระหว่างกลุ่ม	b-1	SSb	MSb = SSb/ (b-1)	F=MSb/MSe
ภายในกลุ่ม	(n-1)-(b-1)	SSe = SST-SSb	MSe = SSe/ (n-b)	
ผลรวม	n-1	SST		

เมื่อ n = จำนวนข้อมูลทั้งหมด

b = จำนวนกลุ่มข้อมูล

SSb = ผลรวมกำลังสองของความแตกต่างข้อมูลระหว่างกลุ่ม

SST = ผลรวมกำลังของความแตกต่างข้อมูลทั้งหมด

$$SSe = SST - SSb \qquad (2.7)$$

$$SSb = n_1(\bar{x}_1 - \bar{\bar{x}})^2 + \cdots + n_b(\bar{x}_b - \bar{\bar{x}})^2$$

$$SST = \sum_{i=1}^{b} \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{\bar{x}})^2$$

$$SSe = \sum_{i=1}^{b} \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$$

■ การวิเคราะห์สหสัมพันธ์และการถดถอยเชิงเส้น (Correation and Simple Linear Regression)

- การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามใดๆ คือการพิสูจน์และหาค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง 2 ตัวแปร นั้น มีมากน้อยเพียงใด เรียกว่า Correlation Coefficient (r) ซึ่งหาได้จากสมการคือ

$$r = \frac{\sum \left(\bar{x}_1 - \bar{x}_2\right)\left(yi - \bar{y}\right)}{\sqrt{\sum \left(xi - \bar{x}\right)\sum \left(yi - \bar{y}\right)}} \qquad (2.8)$$

r จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง -1 โดย 1 จะหมายถึง ตัวแปรมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในทางบวกอย่างสมบูรณ์ และ -1 จะหมายถึง ตัวแปรมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในทางลบอย่างสมบูรณ์ ส่วนสมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบนี้จะกำหนดเป็น

$$H_0 \quad : \quad \rho \quad = \quad 0$$

$$H_a \quad : \quad \rho \quad \neq \quad 0$$

และ ตัวสถิติสำหรับการทดสอบ คือ

$$t_0 = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_2}} \qquad (2.9)$$

จะปฏิเสธสมมติฐานเพื่อยืนยันว่าปัจจัยที่พิจารณามีผลอย่างมีนัยสำคัญเมื่อ

$$\left|t_0\right| > t_{\frac{\alpha}{2},n-2}$$

- การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น เป็นการหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง และสร้างตัวแบบสำหรับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามที่ทำการศึกษา ซึ่งหากเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหนึ่งตัว และตัวแปรตาม จะเรียกว่า Simple Linear Regression แต่ถ้าหากเป็นความสัมพันธ์ที่มีตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัว จะเรียกว่า Multiple Regression

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของความสัมพันธ์ คือ

$$Y = \beta_O + \beta_1 X_i + \varepsilon \qquad \text{โดยที่ i} \quad = \quad 1, 2, \ldots, n$$

และสามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบได้ตามสมการดังนี้ คือ

$$S_{XX} = \sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2 = \sum_{i-1}^{n} x_i^2 \frac{\left[\sum_{i=1}^{n} x_i\right]^2}{n} \qquad (2.10)$$

$$S_{Xy} = \sum_{i=1}^{n} y_i\left(x_i - \bar{x}\right)^2 = \sum_{i-1}^{n} x_i y_i - \frac{\left[\sum_{i=1}^{n} x_i\right]\left[\sum_{i=1}^{n} y_i\right]}{n} \qquad (2.11)$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x}; \hat{\beta}_1 = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}$$

การทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย โดยใช้หลักการของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแบบ ซึ่งจะทำให้สามารถแยกความแปรปรวนออกเป็นความผันแปรของตัวแบบถดถอยและความคลาดเคลื่อนจากสาเหตุโดยธรรมชาติ ดังสมการ

$$SS_{totsl} = SS_{regression} + SS_{error} \quad (2.12)$$

$$SS_{totsl} = \sum \left(y_i - \bar{y}\right)^2$$

$$SS_{regression} = \sum \left(\hat{y}_i - \bar{y}\right)^2 = \hat{\beta}_1 S_{xy}$$

$$SS_{error} = \sum \left(y_i - \hat{y}_i\right)^2$$

และ ตัวสถิติสำหรับการทดสอบ คือ

$$F_0 = \frac{MS_{regression}}{MS_{error}} \quad (2.13)$$

จะปฏิเสธสมมติฐานเพื่อยืนยันว่าปัจจัยที่พิจารณามีผลอย่างมีนัยสำคัญเมื่อ

$$F_0 > t_{\alpha,1,N-2}$$

2. การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Design of Experiment)

หมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลอง เพื่อจะให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ วิธีการออกแบบการทดลองในเชิงสถิติเป็นสิ่งที่จำเป็น ถ้าเราต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่เรามีอยู่ และถ้ายิ่งปัญหาที่สนใจนั้น เกี่ยวข้องกับความผิด พลาดในการทดลองวิธีการทางสถิติ จะเป็นวิธีการเดียวที่จะสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญ 2 ประการ สำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลอง คือ การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ซึ่งศาสตร์ทั้งสองนี้มีความเกี่ยวข้องกันมา ทั้งนี้ เพราะว่าวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับการออกแบบการทดลองที่จะนำมาใช้

ก) หลักการพื้นฐาน

หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลองประกอบด้วยหลักการ 3 ประการ คือ เรพลิเคชั่น (Replication) แรนดอมไมเซชั่น (Randomization) และบล็อกกิ้ง (Blocking) โดยมีข้อกำหนดดังนี้

- เรพลิเคชั่น (Replication)

หมายถึง การทำการทดลองซ้ำ โดยเรพลิเคชั่นมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ คือ ประการแรก เรพลิเคชั่นทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยของการวัดขั้นพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่า ความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่ ประการที่สอง ถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้ เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ดังนั้น เรพลิเคชั่นจะทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้น ในการประมาณผลกระทบนี้

- แรนดอมไมเซชั่น (Randomization)

เป็นพื้นฐานหลักสำหรับการใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบการทดลอง แรนดอมไมเซชั่น หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม วิธีเชิงสถิติกำหนดว่า ข้อมูล (หรือความผิดพลาด) จะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ การที่เราแรนดอมไมซ์การทดลอง ทำให้เราสามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

- บล็อกกิ้ง (Blocking)

เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง ให้แก่การทดลอง บล็อกหนึ่งอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง ที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซ็ตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่างๆ ภายในแต่ละบล็อกจะเกิดขึ้นได้จากการทำบล็อกกิ้ง

ข) แนวทางในการออกแบบการทดลอง

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ทุกคนที่เกี่ยวข้องในการทดลองจะต้องมีความเข้าใจอย่างถ่องแท้ล่วงหน้าว่า เรากำลังศึกษาอะไรอยู่ จะเก็บข้อมูลได้อย่างไร และจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้นั้นอย่างไร ขั้นตอนในการดำเนินการอาจจะทำได้ดังต่อไปนี้ โดยรายละเอียดศึกษาเพิ่มเติมได้จาก ปารเมศ ชุติมา (2545)

1. ทำความเข้าใจถึงปัญหา

บางคนอาจคิดว่าขั้นตอนนี้ง่ายและตรงไปตรงมา แต่ในความเป็นจริงแล้ว ขั้นตอนนี้ไม่ได้ง่ายอย่างที่คิด ในขั้นตอนนี้ เราจะต้องพยายามพัฒนาแนวความคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง ถ้อยแถลงของปัญหาที่มีความชัดเจน จะมีผลอย่างมากต่อความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์และคำตอบสุดท้ายของปัญหานั้นๆ

2. เลือกตัวแปรผลตอบ

ผู้ทดลองควรจะแน่ใจว่า ตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ เป็นไปได้ว่าในการทดลองหนึ่งอาจจะมีตัวผลตอบหลายตัว และมีความจำเป็นอย่างมากที่เราจะต้อง

กำหนดให้ได้ว่าอะไรคือตัวแปรผลตอบ และจะวัดตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไร ก่อนที่จะเริ่มดำเนินการทดลองจริง

3. เลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต

ผู้ทดลองต้องเลือกปัจจัยที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง กำหนดขอบเขตที่ปัญหาเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลง และกำหนดระดับ (Level) ที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง จะต้องพิจารณาด้วยว่าจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ณ จุดที่กำหนดได้อย่างไร และจะวัดผลตอบได้อย่างไร มีความจำเป็นที่เราจะต้องตรวจสอบดูว่า ปัจจัยที่กำหนดขึ้นมาทั้งหมดนี้มีความสำคัญหรือไม่ และเมื่อวัตถุประสงค์ของการทดลองคือการกรองปัจจัย เราควรจะกำหนดให้ระดับต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อยๆ และควรจะเลือกขอบเขตให้มีความกว้างมากๆ หมายถึงว่าขอบเขตที่ปัจจัยแต่ละตัวจะเปลี่ยนแปลงได้ควรมีค่ากว้างๆ และเมื่อทราบแล้วว่าตัวแปรใดมีความสำคัญและระดับใดที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เราอาจจะลดขอบเขตมาให้แคบลงได้

4. เลือกการออกแบบการทดลอง

การเลือกการออกแบบการทดลอง เกี่ยวข้องกับการพิจารณาขนาดของตัวอย่าง (จำนวนเรพลิเคต) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล และตัดสินใจว่าควรจะใช้วิธีบล็อกหรือใช้การแรนดอมไมเซชั่น อย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่ ในการเลือกการออกแบบ เราจำเป็นจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองอยู่ตลอดเวลา แบบของการทดลอง มีหลายแบบ ได้แก่

- แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design)

เป็นแผนการทดลองที่ง่ายที่สุด ใช้กับการทดลองปัจจัยเดี่ยว ปัจจัยที่ควบคุมมีขนาดไม่โตนัก และ ไม่มีปัจจัยรบกวนการทดลอง จะทำโดยยึดหลักการทำแบบสุ่ม (Randomize)และการทำซ้ำ (Replication) การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองนี้ จะแยกสาเหตุความผันแปรของข้อมูลทั้งหมดว่า เนื่องมาจากอิทธิพลของทรีทเมนต์แต่เพียงอย่างเดียว ไม่มีสาเหตุของปัจจัยอื่นๆ อีก จึงเรียกข้อมูลแบบนี้ว่า ข้อมูลแจกแจงทางเดียว (One-Way Classification) ตามแผนการทดลองนี้แสดงว่า เมื่อหน่วยที่การทดลองได้รับทรีทเมนต์ที่ต้องการทดสอบ แล้วความแตกต่างของข้อมูลที่เก็บได้จากแต่ละหน่วยการทดลอง จะต้องเกิดจากอิทธิพลของทรีทเมนต์ที่แตกต่างกันเท่านั้น ดังนั้นเพื่อให้แผนการทดลองนี้ มีประสิทธิภาพสูงที่สุด หน่วยทดลองที่นำมาใช้ จึงควรมีลักษณะที่สม่ำเสมอ หรือคล้ายคลึงกันมากที่สุด (Homogenous) หรือมีความผันแปรระหว่างหน่วยทดลองให้แก่ทรีทเมนต์ จะต้องเป็นข้อมูลแบบสุ่ม และไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับการสุ่ม

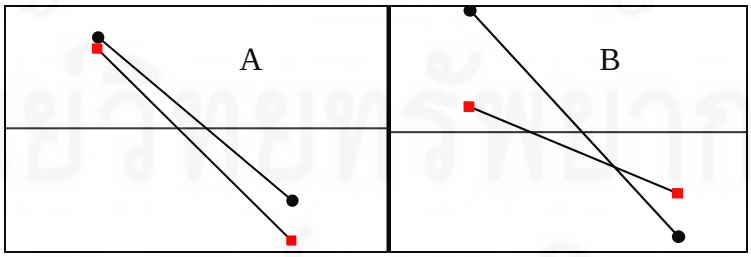
- แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม (Randomize Complete Block Design)

ในบางการทดลองอาจเกิดปัญหาเกี่ยวกับหน่วยการทดลองที่ใช้ไม่มีความสม่ำเสมอ ทำให้การใช้ผลการทดลองแบบสุ่มตลอด ไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากความผันแปรที่

เกิดจากหน่วยทดลองรวมมูล จะไม่ใช่ผลของทรีทเมนต์เพียงอย่างเดียว แต่อาจมีความผันแปรที่เกิดจากหน่วยทดลองรวมอยู่ด้วย ซึ่งความผันแปรส่วนหลังนี้ จะไปรวมอยู่กับความคลาดเคลื่อนของการทดลอง ทำให้ยอดรวมของผลบวกของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนมีค่าสูงขึ้น มีผลต่อการทดสอบทำให้ผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องพยายามแยกผลอันเกิดจากอิทธิพลอื่นที่ไม่ใช่ทรีทเมนต์ออกจากความแปรปรวนทั้งหมด เพื่อให้แน่ใจว่าผลที่จะนำมาวิเคราะห์นั้นเป็นอิทธิพลของทรีทเมนต์ แต่เพียงอย่างเดียว แผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกนี้ เป็นวิธีหนึ่งในหลายวิธีของการจำแนกแบบ 2 ทาง (Two-Way Classification) จะใช้เมื่อหน่วยทดลองมีความแตกต่างกัน 2 ลักษณะ คือ ทางแนวนอน (Row) และ แนวตั้ง (Column) มีหลักการคือ พยายามจัดหน่วยทดลองที่มีความคล้ายคลึงกัน ให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันที่เรียกว่า บล็อก ดังนั้นความแปรปรวนระหว่างหน่วยทดลองในบล็อกเดียวกันจึงมีค่าต่ำ และให้ความแตกต่างระหว่างบล็อกมีค่าสูง ในแต่ละบล็อกจะมีครบทุกทรีทเมนต์ การจะให้ทรีทเมนต์ใด หน่วยการทดลองใดภายในแต่ละบล็อก กระทำโดยการสุ่ม กรณีจะทำให้เราแยกความแตกต่างระหว่างบล็อกออกมาจากยอดรวมของผลบวกกำลังสองได้

- แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design)

เป็นการศึกษาผลที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนองในทุกๆ ระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (Treatment Combination) ที่มีปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยทุกๆ Treatment Combination ของปัจจัยนำเข้าทุกตัว จะได้รับการศึกษาไปพร้อมๆ กัน ผลกระทบจากปัจจัยนำเข้า จะนิยามด้วยการตรวจสอบค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองที่ศึกษาที่เกิดขึ้น โดยการเปลี่ยนระดับของปัจจัยนำเข้านี้ เรียกว่า อิทธิพลหลัก (Main Effect) และ อิทธิพลร่วม (Interaction Effect) จะหมายถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนอง ในระดับของปัจจัยนำเข้าตัวหนึ่งจะมีค่าไม่เท่ากันในระดับต่างๆ ของปัจจัยนำเข้าตัวอื่นๆ ซึ่งแสดงได้ โดยพิจารณาได้จากรูปความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่ไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย (รูป A)
การทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย (รูป B)

จากรูปที่ 2.6 A จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟจากปัจจัยทั้งสองไม่ตัดกัน บ่งบอกได้ว่าไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยทั้งสอง ส่วน รูปที่ 2.6 B กราฟทั้งสองตัดกัน แสดงว่าปัจจัยทั้งสองมีอันตรกิริยาต่อกัน บ่อยครั้งที่กราฟนี้ใช้ในการแสดงการมีนัยสำคัญของอันตรกิริยา แต่อย่างไรก็ตามกราฟเช่นนี้ไม่สมควรนำมาใช้แทนเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลในทางสถิติ เพราะว่าการตีความจากกราฟค่อนข้างจะเป็นการแสดงความคิดเห็นส่วนบุคคล ซึ่งอาจทำให้เกิดการเข้าใจผิดและวิเคราะห์ผิดพลาดได้

รูปแบบของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล ยังแบ่งย่อยในกรณีที่แผนการทดลองมีลักษณะเฉพาะตัว ดังต่อไปนี้

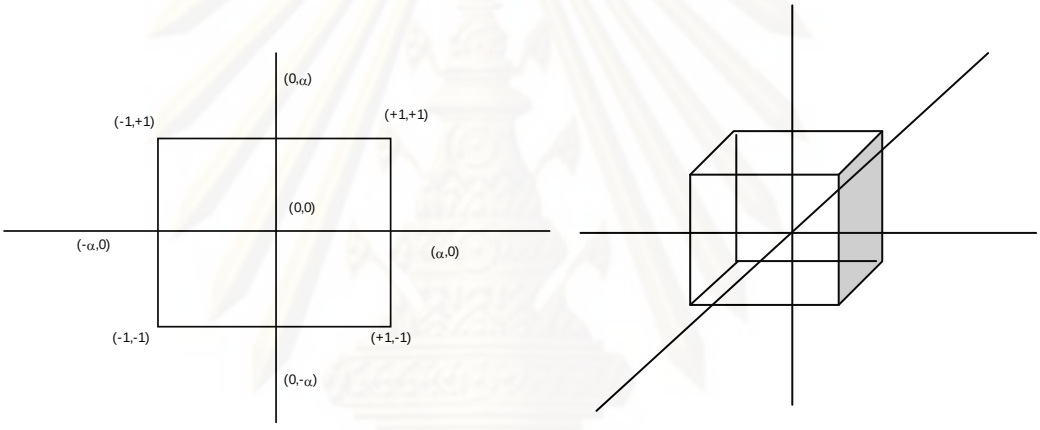
- การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k (2^k Factorial Design)
  เป็นการทดลองที่มี k ปัจจัย แต่ละปัจจัยจะมีปัจจัยของระดับอยู่ 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ ใช้สัญลักษณ์ -1 หรือ (-) และ ระดับสูง ใช้สัญลักษณ์ 1 หรือ (+) การทดลองแบบนี้เหมาะสำหรับการทดลองที่มีปัจจัยมากๆ เป็นการทดลองหาปัจจัยที่มีอิทธิพลเบื้องต้น จะช่วยในการทดลองที่เจาะลึกต่อไป
- การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3^k (3^k Factorial Design)
  เป็นการทดลองที่มี k ปัจจัย แต่ละปัจจัยจะมีปัจจัยของระดับอยู่ 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ใช้สัญลักษณ์ -1 หรือ (-) ระดับกลาง ใช้สัญลักษณ์ 0 หรือ (0) และ ระดับสูง ใช้สัญลักษณ์ 1 หรือ (+) การทดลองแบบนี้เหมาะสำหรับการทดลองที่ผู้ทดลองกำลังสนใจกับตัวแปรตอบสนองที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง
- การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล (Fractional Factorial Design) เป็นการทดลองที่ใช้ในกรณีที่การทดลองมีหลายปัจจัย ทำให้ต้องเสียเวลาในการเก็บข้อมูลมาก ดังนั้นจะทำให้ความสัมพันธ์ของทรีทเมนต์ (Treatment Combination) บางตัวถูกตัดออกไปโดยอาศัยหลักการคอนฟาวด์ (Confound) ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองลดลง

ประโยชน์ของการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

- กรณีมีปัจจัยนำเข้าหลายตัว จะใช้ขนาดตัวอย่างน้อยกว่าการทดลองทีละ 1 ปัจจัย (One-Factor at a Time)
- ใช้เวลาในการทดลองน้อยเนื่องจากเป็นการศึกษาปัจจัยหลายตัวพร้อมๆ กัน
- ผลสรุปจากการทดลองแบบแฟคทอเรียล สามารถสรุปได้ครอบคลุมกว่าเนื่องจากสามารถพิจารณาในส่วนของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยในการทดลองด้วย

■ แผนการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (CCD)

โดยทั่วๆ ไป CCD จะประกอบไปด้วย 2^k แฟคทอเรียล ที่มี n_f รัน , 2^k รันในแนวแกน หรือในแนวรูปดาว และ n_c รันที่จุดศูนย์กลาง การพัฒนา CCD ในทางปฏิบัติส่วนมากจะเกิดจากการทดลองแบบเป็นอันดับ นั่นคือ การออกแบบ 2^k ถูกนำมาใช้เพื่อฟิตแบบจำลองอันดับหนึ่ง แล้วพบว่า แบบจำลองนี้ไม่เหมาะสมกับข้อมูลนี้ ดังนั้น จึงได้มีการรันเพิ่มขึ้นในแนวแกน เพื่อทำให้สามารถใส่พจน์ควอดราติกลงในแบบจำลองได้ CCD เป็นการออกแบบที่มีประสิทธิภาพมากในการฟิตแบบจำลองอันดับที่สอง มีพารามิเตอร์อยู่สองตัว ในการออกแบบที่จะต้องถูกกำหนด นั่นคือ ระยะทาง α ของการรันในแนวแกนของจุดศูนย์กลางในการออกแบบ และจำนวนของจุดศูนย์กลาง n_c



รูปที่ 2.7 การออกแบบ CCD สำหรับ k = 2 และ k = 3

5. หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล

■ การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square)

เป็นการวิเคราะห์ว่าการออกแบบที่ได้ออกแบบมาใช้ในการทดลองนั้น มีความเหมาะสมเพียงใด ซึ่งในการทดลองทุกครั้งจะมีความผันแปรที่ไม่สามารถอธิบายได้ หรือความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ การออกแบบที่ดีนั้น จะต้องทำให้เกิดความผันแปรที่ไม่สามารถอธิบายได้น้อยที่สุด

$$\text{สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square)} = \frac{\text{ความผันแปรที่อธิบายได้ x 100\%}}{\text{ความผันแปรทั้งหมด}} \quad (2.14)$$

ถ้าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square) มีค่าต่ำ สามารถแก้ไขได้โดย

ก) เพิ่มจำนวนซ้ำของการทดลอง

ข) ตรวจหาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง แล้วออกแบบการทดลองใหม่

ค) ถ้าทำการเพิ่มปัจจัยอื่นแล้วค่า R-Square ยังต่ำอยู่ แสดงว่า

ผลจากปัจจัยรบกวน (Noise Factor) มีอยู่มาก ต้องทำการบล็อกเพื่อลดปัจจัยรบกวน

- การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

จากสมการ

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ijk} \qquad (2.12)$$

โดย μ คือ ค่าเฉลี่ย

τ_i คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย

ε_{ijk} คือ ความคลาดเคลื่อน

ในการออกแบบการทดลองส่วนใหญ่ จะตั้งสมมติฐานในการวิเคราะห์โดยที่ y ซึ่งเป็นตัวแปรตาม มีการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) ซึ่ง y จะมีการกระจายแบบปกติได้นั้น จะต้องให้ได้ ε_{ijk} มีการกระจายแบบปกติด้วย และต้องเป็นการกระจายที่เป็นอิสระตามสมมติฐาน $\varepsilon_{ij} \sim \text{NID}(0,\sigma^2)$ การตรวจสอบ ε_{ij} มี 3 ขั้นตอน คือ

- การตรวจสอบการกระจายว่า เป็นการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ โดยใช้วิธีการตรวจสอบ คือ การทดสอบแบบไคร์สแควร์ (χ^2–Goodness of Fit Test), การทดสอบแบบ Kolmogorov-Smimov , การตรวจสอบโดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงปกติ (NOPP)

- การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย แล้วดูลักษณะการกระจายของข้อมูลในแผนภูมิว่าเป็นรูปแบบที่อิสระหรือไม่

- การตรวจสอบความคงที่ของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) ซึ่งเป็นแผนภูมิแสดงการกระจายค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ในแต่ละระดับของปัจจัย ถ้ารูปร่างการกระจายของข้อมูล ไม่เป็นลักษณะของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแปรปรวน แสดงว่าข้อมูลมีความคงที่ของความแปรปรวน

6. ทำการทดลอง

เมื่อทำการทดลองเราจะต้องติดตามดูกระบวนการทำงานอย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามแผน ถ้ามีอะไรผิดพลาดเกิดขึ้น เกี่ยวกับวิธีการทดลองในขั้นตอนนี้ จะทำให้การทดลองที่ทำนั้นใช้ไม่ได้ ดังนั้นการวางแผนในตอนแรกจะมีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จที่จะเกิดขึ้น

7. วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

เราควรจะนำเอาวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะได้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง ถ้าการทดลองได้ถูกออกแบบไว้เป็นอย่างดี

และถ้าเราทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ วิธีการทางสถิติที่จะนำมาใช้นั้น จะเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน และเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพ

8. สรุปและเสนอแนะ

เมื่อเราได้วิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ทดลองจะต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติ และแนะนำแนวทางของกิจกรรมที่จะเกิดขึ้น และนอกจากนี้ การทำการทดลองเพื่อยืนยันผลควรจะทำขึ้นเพื่อที่จะตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นอีกด้วย

สรุปเครื่องมือทางซิกซ์ ซิกมาที่นำมาใช้

1. Graphical Techniques , Multi-vari Studies , Correlation & Regression ใช้ดูความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย
2. Hypothesis Testing , ANOVA ใช้ในการวิเคราะห์สมมติฐาน และความสัมพันธ์แบบมีนัยสำคัญทางสถิติของแต่ละปัจจัย
3. การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments) ช่วยในการออกแบบการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย และหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง

2.5.4 ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อลักษณะทางคุณภาพของลูกค้าที่ได้จากการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่แล้ว มาศึกษาถึงความสามารถของกระบวนการที่ค่าต่างๆ ของตัวแปรเหล่านี้ ซึ่งสามารถที่จะกำหนดค่าของปัจจัยนำเข้าที่มีผลทำให้กระบวนการผลิตสามารถที่จะผลิตงานที่มีลักษณะทางคุณภาพได้ตรงตามที่ลูกค้ากำหนด และมีความเบี่ยงเบนน้อยที่สุด

- ความรู้เรื่องเครื่องมือต่างๆ ที่นำมาใช้ในขั้นตอนนี้ ได้แก่ การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment :DOE) ซึ่งเป็นการศึกษาถึงพฤติกรรมของค่าตัวแปรตามที่สนใจในสภาวะต่างๆ ของตัวแปรอิสระ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามที่ ทำการทดลองตามแผนที่วางไว้
- วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้วิธีการทางสถิติ
- สรุปผลการทดลองหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยที่จะทำให้ได้ค่าตัวแปรที่สำคัญที่ได้รับจากกระบวนการที่ดีที่สุด จากนั้นจะดำเนินการวิเคราะห์ระบบการวัดของแต่ละปัจจัย เพื่อทำให้การดำเนินการควบคุมในขั้นตอนถัดไปเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

สิ่งที่จะรับจากการดำเนิน งานในขั้นตอนนี้ คือ แนวทางการปรับปรุงกระบวนการที่ดีที่สุด ปัจจัยต่างๆ ที่จะต้องทำการควบคุม และความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยที่ทำการศึกษา

สรุปเครื่องมือทางซิกซ์ ซิกมาที่นำมาใช้

1. การออกแบบการทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย และหาค่าที่ดีที่สุดของแต่ละปัจจัย
2. Simulation , Optimization ใช้ทดสอบกระบวนการ และปัจจัยต่างๆ เพื่อหาค่าที่ดีที่สุดของแต่ละปัจจัย

2.5.5 ขั้นตอนการติดตามควบคุม (Control Phase)

เมื่อกระบวนการผลิตได้รับการปรับปรุงแล้ว ขั้นตอนนี้จะเป็นการออกแบบวิธีการควบคุมปัจจัยต่างๆ เพื่อให้พนักงานสามารถควบคุมได้ด้วยตนเอง แล้วทำการประเมินความสามารถของกระบวนการผลิตอีกครั้ง เพื่อดูว่าหลังจากการปรับปรุงแล้ว สามารถทำได้ตามเป้าหมายหรือไม่ หากความสามารถของกระบวนการยังไม่ดี ก็จะต้องย้อนกลับไปทำตามขั้นตอนก่อนหน้านี้อีกครั้ง นอกจากนี้แล้ว จะต้องมีการประเมินผลการดำเนินงาน โดยวัดจากระดับคุณภาพที่เปลี่ยนไป และประเมินความสามารถในการลดต้นทุน หรือความพึงพอใจของลูกค้าที่เปลี่ยนไปหลังการปรับปรุงกระบวนการ ดังนั้นสิ่งที่ได้รับ จากการดำเนินงานในขั้นตอนนี้ คือ แผนการควบคุมกระบวนการ, หลักฐานการปรับปรุงกระบวนการ, บทสรุปการดำเนินงาน และกระบวนการที่ดีขึ้น

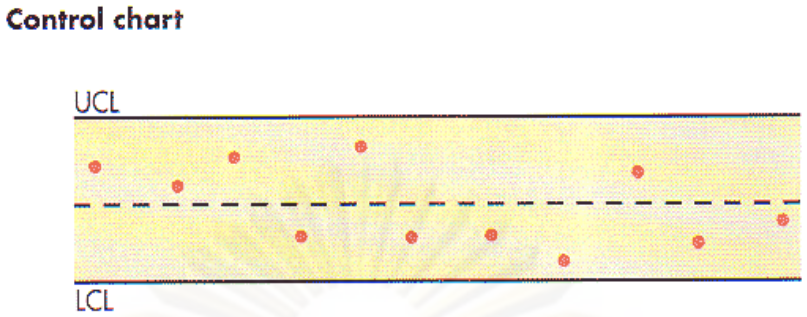
ความรู้ด้านวิศวกรรมและเครื่องมือเกี่ยวกับการควบคุมกระบวนการด้วยวิธีทางสถิติ (Statistical Process Control) มาประยุกต์ใช้ ได้แก่

1. แผนควบคุม (Control plan) , แผนภูมิควบคุม (Control Chart) ใช้เป็นแผนในการควบคุมกระบวนการ และเป็นตัววิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ

2. Preventive Maintenance เป็นแผนในการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน เพื่อป้องกันความเสียหายของกระบวนการ

3. Poka Yoke /Mistake Proofing ใช้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการทำงานที่ผิดพลาดเพื่อที่จะให้ดำเนินการต่างๆ ตามขั้นตอนของระบบกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกมาเป็นไปอย่างได้ผล จึงควรมีความรู้ความเข้าใจในเครื่องมือต่างๆ เหล่านี้พอสมควร

เทวินทร์ สิริโชคชัย (2540) กล่าวว่า แผนภูมิควบคุม (Control Chart) เป็นแผนภูมิกราฟที่ใช้เพื่อการควบคุมกระบวนการผลิต โดยมีการแสดงให้เห็นถึงขอบเขตในการควบคุมทั้งขอบเขตควบคุมบน (UCL) และขอบเขตล่าง (LCL) แล้วนำข้อมูลด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการมาเขียนเทียบกับขอบเขตที่ตั้งไว้เพื่อจะได้รู้ว่า ในกระบวนการผลิต ณ เวลาใดมีปัญหาด้านคุณภาพ จะได้รีบแก้ไขปรับปรุงกระบวนการให้กลับสู่สภาพปกติโดยเร็ว



รูปที่ 2.8 แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

ที่มา : William, J. Stevenson, Operations Management (2002 : 479)

ตารางที่ 2.5 สูตรในการคำนวณขอบเขตควบคุมสำหรับแผนภูมิควบคุม

แผนภูมิควบคุม		CL	ขอบเขตควบคุม		สิ่งที่ต้องควบคุม
			UCL	LCL	
$\overline{X}$ - R	$\overline{X}$ Chart	$\overline{\overline{X}}$	$\overline{\overline{X}} + A_2\overline{R}$	$\overline{\overline{X}} - A_2\overline{R}$	$\overline{X}$ (ค่าเฉลี่ย)
	R Chart	$\overline{R}$	$D_4\overline{R}$	$D_3\overline{R}$	R (พิสัย)
$\overline{X}$ - s	$\overline{X}$ Chart	$\overline{\overline{X}}$	$\overline{\overline{X}} + A_3\overline{s}$	$\overline{\overline{X}} - A_3\overline{s}$	$\overline{X}$ (ค่าเฉลี่ย)
	s Chart	$\overline{s}$	$D_4\overline{R}$	$D_3\overline{R}$	s (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)
X - MR	X Chart	$\overline{X}$	$\overline{X} + 2.66\overline{MR}$	$\overline{X}$ - $2.66\overline{MR}$	X (ค่าใดๆ)
	MR Chart	$\overline{MR}$	$D_4\overline{R}$	$D_3\overline{R}$	MR (การเคลื่อนไหวของพิสัย)
$\overline{M}$ - R	$\overline{M}$ Chart	$\overline{M}$	$\overline{M} + A_4\overline{R}$	$\overline{M} - A_4\overline{R}$	$\overline{M}$ (ค่ามัธยฐาน)
	R Chart	R	$D_4\overline{R}$	$D_3\overline{R}$	R (พิสัย)
p	p Chart	$\overline{p}$	$\overline{p} + 3\sqrt{\frac{\overline{p}(1-\overline{p})}{n}}$	$\overline{p} - 3\sqrt{\frac{\overline{p}(1-\overline{p})}{n}}$	p (สัดส่วนของเสีย)
np	np Chart	$\overline{np}$	$\overline{np} + 3\sqrt{\overline{np}(1-\frac{\overline{np}}{n})}$	$\overline{np} - 3\sqrt{\overline{np}(1-\frac{\overline{np}}{n})}$	np (จำนวนของเสีย)
c	c Chart	$\overline{c}$	$\overline{c} + 3\sqrt{\overline{c}}$	$\overline{c} - 3\sqrt{\overline{c}}$	c (จำนวนตำหนิ)
u	u Chart	$\overline{u}$	$\overline{u} + 3\sqrt{\overline{u}}$	$\overline{u} - 3\sqrt{\overline{u}}$	u (จำนวนตำหนิต่อชิ้นงาน)

โดยค่าคงที่สำหรับคำนวณขอบเขตควบคุมในตารางที่ 2.5 สามารถหาได้จากหนังสือสถิติสำหรับควบคุมคุณภาพ

2.6 คุณสมบัติด้านเทคนิคของเทปโฟมอะคริลิคที่ทำการศึกษา และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับตั้งเครื่องตัดเทปโฟมอะคริลิค

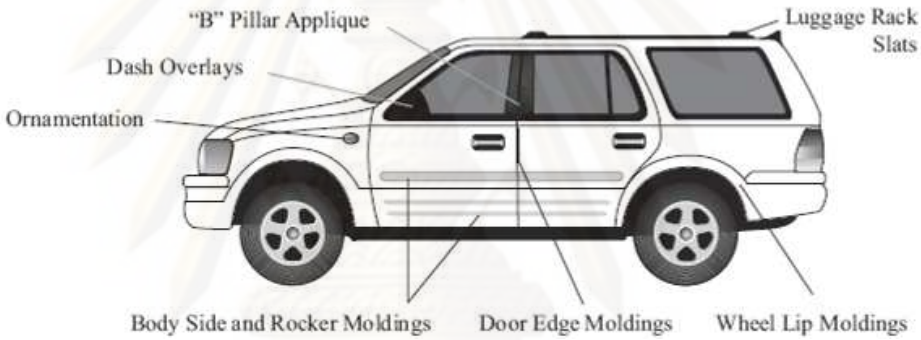
2.6.1 คุณสมบัติด้านเทคนิคของเทปโฟมอะคริลิคที่ทำการศึกษา

- รายละเอียดทั่วไป

  เทปโฟมอะคริลิคที่ทำการศึกษา เป็นเทปโฟมอะคริลิคที่มีความหนาแน่นปานกลาง มีสีเทาทึบ ความเหนียวสูง มีความสามารถในการยึดติดทั้งบนพื้นผิวและแรงเฉือน มีความแข็งแรงภายในเนื้อเทปโฟมสูง มีความยืดหยุ่นดีมากและต้านทานต่อการเปลี่ยนสภาพแบบไม่คืนรูปได้อย่างดีเยี่ยม

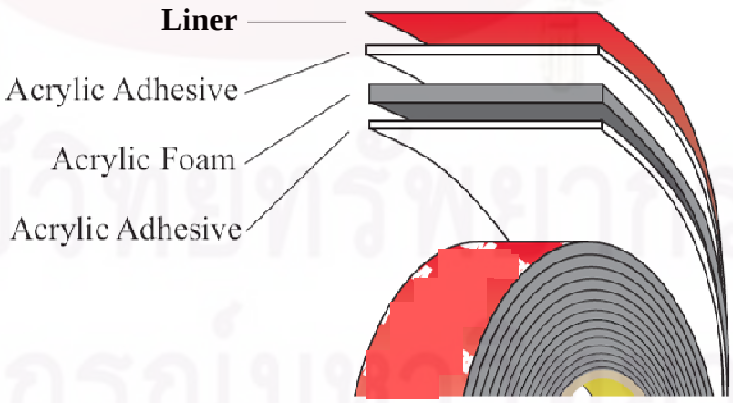
- ตัวอย่างการนำไปใช้งาน

  ใช้ในการยึดติดชิ้นส่วนต่างๆ ในรถยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ชิ้นส่วนในรถยนต์ที่ยึดติดด้วยเทปโฟมอะคริลิค

- โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย 4 ชั้น ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของเทปโฟมอะคริลิคที่ทำการศึกษา

- อายุการใช้งาน

อายุการใช้งานของเทปโฟมอะคริลิคที่ทำการศึกษา จะเป็น 6 เดือนนับจากวันที่ลูกค้าได้รับผลิตภัณฑ์โดยต้องเก็บไว้ที่ช่วงอุณหภูมิ 4°C – 38°C (40°F – 100°F) และ ความชื้นสัมพัทธ์ 0-95% แต่สภาวะการจัดเก็บที่เหมาะสมที่สุด คือ อุณหภูมิ 22°C (72°F) และ ความชื้นสัมพัทธ์ 50%

- คุณสมบัติทางกายภาพ

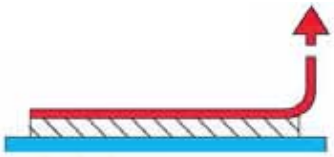
โฟม	:	อะคริลิคสีเทาทึบ
กาว	:	ด้าน Liner - กาวอะคริลิคความเหนียวสูง ด้านที่ไม่ใช่ Liner - กาวอะคริลิคความเหนียวสูง
ความหนา	:	0.76 มิลลิเมตร (0.030 นิ้ว)
ช่วงความหนา	:	ต่ำสุด 0.68 มิลลิเมตร (0.027 นิ้ว) สูงสุด 0.84 มิลลิเมตร (0.033 นิ้ว)
ความหนาแน่น	:	688 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (43 ปอนด์ต่อตารางฟุต)
ช่วงความหนาแน่น	:	ต่ำสุด 608 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (38 ปอนด์ต่อตารางฟุต) สูงสุด 768 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (48 ปอนด์ต่อตารางฟุต)
Liner ที่แสดง	:	โพลีเอทิลีนสีแดง
ความกว้างม้วน	:	ต่ำสุด 4 มิลลิเมตร
ความยาวม้วน	:	- สำหรับความกว้างไม่เกิน 8 มิลลิเมตร(0.314 นิ้ว) : ความยาว สูงสุด 98.8 เมตร(108 หลา) - สำหรับความกว้างระหว่าง 8-9.5 มิลลิเมตร (0.314-0.375 นิ้ว) : ความยาว สูงสุด 131.6 เมตร (144 หลา) - สำหรับความกว้างมากกว่า 9.5 มิลลิเมตร(0.375 นิ้ว) : ความยาว สูงสุด 160 เมตร(175 หลา)

หมายเหตุ : ค่าดังกล่าวแสดงคุณสมบัติทางกายภาพ ไม่ใช่เพื่อใช้กำหนดข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์

- คุณสมบัติด้านความสามารถ

การทดสอบคุณสมบัติต่อไปนี้ ใช้ขั้นตอนการทดสอบตามมาตรฐาน โดย ค่าที่ได้ดังกล่าวแสดงคุณสมบัติทางกายภาพเท่านั้น ไม่ใช่เพื่อใช้กำหนดข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์

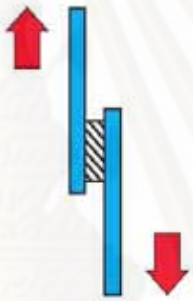
1. การหลุดลอกและความต่อเนื่องในการหลุดลอก (เมื่อติดชิ้นทดสอบขนาดกว้าง 12.7 มม.(0.5 นิ้ว) ที่แท่งทดสอบ PVC นาน 72 ชั่วโมง ที่ 22°C (72°F) ดังรูปที่ 2.11 พบว่า



รูปที่ 2.11 การทดสอบความสามาถในการต้านการหลุดลอกและความต่อเนื่อง
ในการหลุดลอกของเทปโฟมอะคริลิคที่ทำการศึกษา

- ผิวจะหลุดลอกที่การออกแรง 8.6 กิโลกรัม (19 ปอนด์)
- จะสามารถหลุดลอกต่อเนื่องเมื่อออกแรง 4.1 กิโลกรัม (9 ปอนด์)

2. แรงเฉือนสถิตย์ (เมื่อติดชิ้นทดสอบขนาดกว้าง 12.7 มม. (0.5 นิ้ว) ยาว 50.8 มม. (2 นิ้ว) ที่แท่งทดสอบ PVC นานกว่า 100 ชั่วโมง ที่ 70°C (158°F)) พบว่า



รูปที่ 2.12 การทดสอบความสามารถในการต้านแรงเฉือนสถิตย์
ของเทปโฟมอะคริลิคที่ทำการศึกษา

- ผิวจะหลุดลอกที่การออกแรง 6.8 กิโลกรัม (15 ปอนด์)
- น้ำหนักสถิตย์ คือ 250 กรัม (0.55 ปอนด์)

2.6.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับตั้งเครื่องตัดเทปโฟมอะคริลิค

เครื่องตัดเทปโฟมอะคริลิคที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นเครื่องตัดที่มีใบมีดตัด 1 ใบ โดยใบมีดตัด จะทำมุม มีการหมุน และเคลื่อนที่ตามค่าพารามิเตอร์ที่ปรับตั้งไว้ สามารถตัดม้วนเทปได้ครั้งละ 1 ม้วน การปรับตั้งพารามิเตอร์ต่างๆ ของเครื่องตัด จะปรับตั้งที่แผงหน้าจอควบคุม สำหรับก่อนที่จะมีการปรับตั้งเครื่องตัดนั้น จะต้องทำการติดตั้งม้วนเทปล็อกโรลบนแกนเพลาของเครื่องตัดก่อน ซึ่งตามมาตรฐานการปฏิบัติงาน “ขั้นตอนการติดตั้งม้วนเทปล็อกโรล” กล่าวไว้ ดังนี้

ขั้นตอนการติดตั้งม้วนเทปล็อกโรล (Log roll)

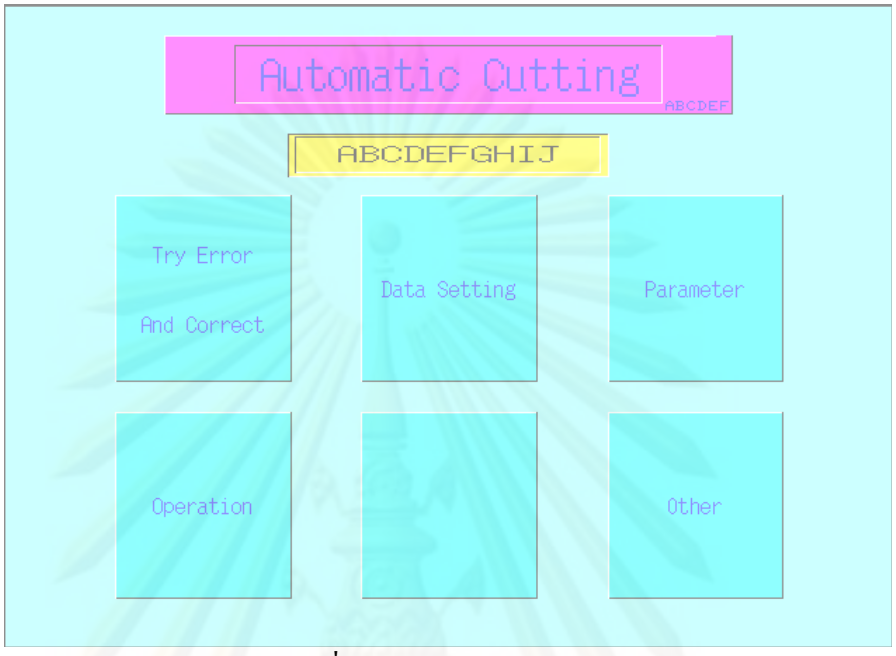
รูปที่ 2.13 ขั้นตอนการติดตั้งม้วนเทปล็อกโรล (Log roll)

โดยเครื่องตัดเทปกาว (Lathe Slitting Machine) ที่นำมาศึกษานั้น ใช้สำหรับตัดเทปโฟมอะคริลิคชนิด A มีจำนวน 2 เครื่อง มีขั้นตอนการปรับตั้งพารามิเตอร์เพื่อการใช้งานตามคู่มือการใช้งานประจำเครื่อง เป็นดังนี้

2.6.2.2 ขั้นตอนการปรับตั้งเครื่องตัด (Lathe Slitting Machine)

1) เปิดลมเข้า ที่ระดับ 5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ไม่มีน้ำปนเข้าไปในแหล่งกำเนิดลม)
2) เปิดสวิตซ์แหล่งกำเนิดพลังงาน
3) เปิด / ปิด สวิทช์พลังงาน
4) กดปุ่มเปิดไฟเข้า

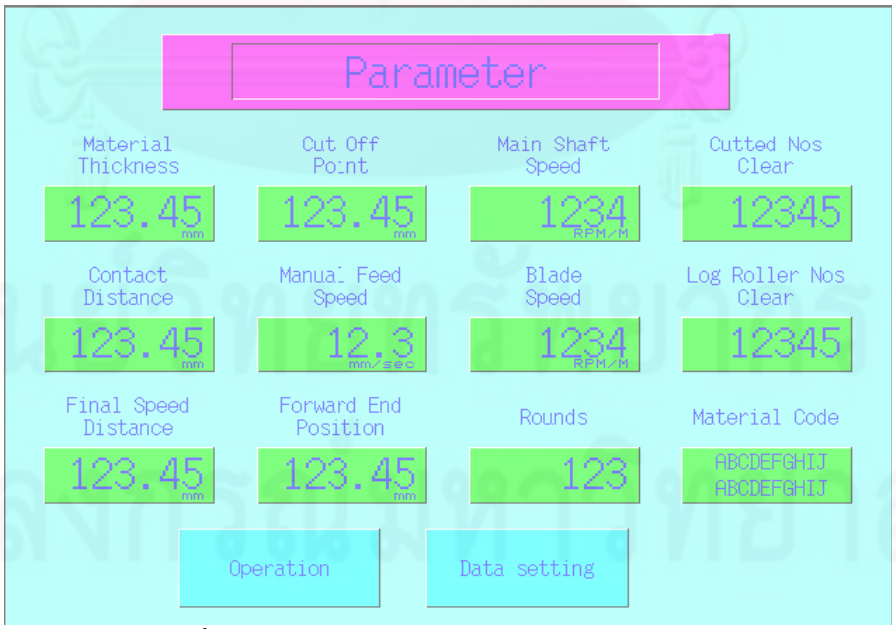
การปรับตั้งที่หน้าจอควบคุม สามารถปรับตั้งค่าต่างๆ ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 หน้าจอควบคุม

ขั้นตอนการตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องตัด

ให้กดตรง Parameter ที่ปรากฏในรูปที่ 2.14 จะเข้าสู่หน้าจอต่อไปดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 หน้าจอควบคุมส่วนของพารามิเตอร์ของการตัด

โดยตัวแปรต่างๆสำหรับการปรับตั้งพารามิเตอร์ แสดงในรูปที่ 2.16

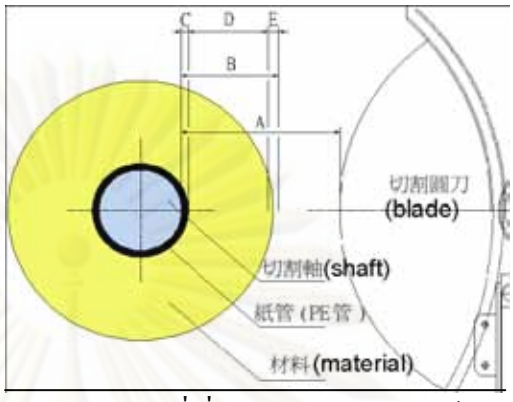
A: Cut-off Point

B: Material Thickness

C: Final Speed Distance

D: Forward End Position

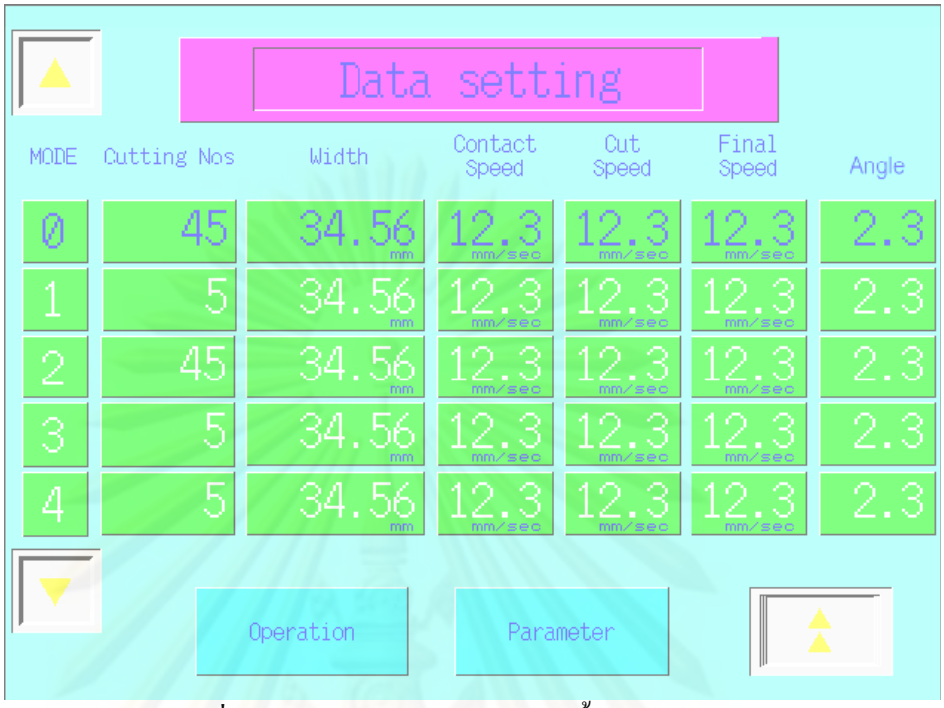
E: Contact Distance



รูปที่ 2.16 ตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์

จากนั้นจะทำการปรับตั้งพารามิเตอร์ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- เช็คตำแหน่ง คัท-ออฟ (Cut-off point) และความหนาของวัสดุ (Material Thickness) จุดคัท-ออฟ สามารถตั้งตำแหน่งโดยตรงได้ที่หน้าจอ
- ถ้าเทปตัดไม่ขาดคุณสามารถปรับตำแหน่ง จุดคัท-ออฟ ได้อีกเล็กน้อย
- โดยปกติระยะสัมผัส (Contact distance) จะตั้งค่าอยู่ที่ 5-10 มิลลิเมตร และระยะสุดท้าย (Final speed distance) จะตั้งค่าตามความหนาของคอร์
- ถ้ารอบคอร์ตัดไม่ขาดสามารถปรับเพิ่มค่าความหนาของคอร์ได้เล็กน้อย
- ตั้งรอบหมุนของแกนเพลา (Main shaft speed) โดยปกติค่าความเร็วการหมุนของแกนเพลาอยู่ที่ 400 - 600 รอบต่อนาที
- วิธีการตั้งค่าให้ตั้งตามชนิดของเนื้อเทป ความเร็วสูงสุดของแกนเพลา (Main shaft speed)สามารถตั้งได้ที่ 800 รอบต่อนาที ทิศทางการหมุนของแกนสามารถปรับได้ภายใต้ฟังก์ชัน " อื่นๆ " ของการตัดอัตโนมัติ
- ตั้งค่าการหมุนของใบมีด การตั้งความเร็วของใบมีด (Blade speed) ให้ปรับรอบตามชนิดของเนื้อเทป ความเร็วสูงสุดของรอบใบมีดสามารถตั้งได้ที่ 640 รอบต่อนาที ทิศทางการหมุนของรอบใบมีดสามารถปรับได้ภายใต้ฟังก์ชัน "other"
- ตั้งค่าจำนวนการตัด(Cutting nos) ให้เป็น 0 ทุกครั้ง ที่เริ่มใบสั่งผลิตใหม่
- เลือกตั้งค่าตามชนิดวัสดุ สามารถเลือกโหมด ในการตั้งค่าได้ 20 โหมด โดยการกดบนหน้าจอควบคุมส่วนของพารามิเตอร์ของการตัด ในรูปที่ 2.13 ที่ปุ่ม Data setting จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 หน้าจอควบคุม การปรับตั้งโหมดของการตัด

ทำการตั้งค่า เข้าโหมด ดังนี้

- ตั้งค่าหน้ากว้างของเทป (Width) ที่ต้องการ ระหว่าง 0.1 ~ 9999.99 มิลลิเมตร
- ตั้งค่าความเร็วของใบมีดเข้าตำแหน่งที่ E (Contact speed) ปกติจะตั้งอยู่ที่ค่า 3-8 มิลลิเมตรต่อวินาที
- ความเร็วในการเข้าของมีดสูงสุดสามารถตั้งได้ที่ 99.9 มิลลิเมตรต่อวินาที
- ตั้งค่าความเร็วของใบมีดเข้าตำแหน่งที่ D (Cut Speed) โดยปกติจะอยู่ที่ 5 - 15 มิลลิเมตรต่อวินาที ขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อเทป
- ตั้งค่าความเร็วของใบมีดเข้าตำแหน่งที่ C (Final Speed)โดยปกติจะอยู่ที่ 3 - 8 มิลลิเมตรต่อวินาที ขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อเทป
- ตั้งองศาของมีด (Angle) ปรับตั้งได้ ตั้งแต่ 0 ถึง -9 องศา ของด้านซ้าย หรือ 0 ถึง +9 องศาของด้านขวา เราจะตั้งค่ามุมในตอนแรก จากนั้นทำการบวกเข้าหรือลบออก เมื่อมีการปรับมุมใหม่ และเมื่อมีการปรับตั้งใหม่แต่ละครั้ง มุมใบมีดจะกลับมาที่ค่า 0 เมื่อตั้งองศามีดเรียบร้อยแล้วให้ทดลองตัด 2-3 ม้วน แล้ววัด หาค่าองศาที่ดีที่สุด
- ตั้งจำนวนม้วนผลิตภัณฑ์ในการตัดต่อคัท (Cutting Nos) ขึ้นอยู่กับจำนวนม้วน / 1 ล็อกโรล

สามารถสรุปขั้นตอนการปรับตั้งพารามิเตอร์และขอบเขตของการปรับตั้งเครื่องตัดได้ดังนี้

1. ตั้งค่า Cut-off Point และ Material Thickness
2. ตั้งค่า Contact Distance และ Final Speed Distance
3. ตั้งค่า Main Shaft Speed
4. ตั้งค่า Blade Speed
5. เคลียร์ Cutted Nos ที่ 0
6. เลือก Material ที่ Material Code
7. ตั้งค่า Width
8. ตั้งค่า Contact Speed
9. ตั้งค่า Cut Speed
10. ตั้งค่า Final Speed
11. ตั้งค่า Angle
12. ตั้งค่า Cutting Nos ตามจำนวนที่ต้องการตัด
13. เริ่มตัด

ตารางที่ 2.6 พารามิเตอร์และขอบเขตของการปรับตั้งของเครื่องตัด

พารามิเตอร์	**ขอบเขตการปรับตั้ง**
Cutting Nos	0-9999
Width	0.1-9999.99 mm
Contact Speed	0-640 mm/sec *
Cut Speed	0-640 mm/sec *
Manual feed speed (กรณีใช้ Auto ไม่ต้องปรับ)	0-640 mm/sec
Final Speed	0-640 mm/sec *
Main shaft speed	0-800 rpm/min *
Blade Speed	0-640 rpm/min *
Cut – off point	0-340 mm
Contact distance	0-340 mm
Final speed distance	0-340 mm
Forward End Position	0-340 mm
Angle	-9 ° - +9 ° *

หมายเหตุ : *สำหรับพารามิเตอร์ที่สามารถปรับตั้งได้ตามสภาวะการตัด

จากพารามิเตอร์และขอบเขตการปรับตั้งของเครื่องตัด ดังในตารางที่ 2.6 ผู้วิจัยจะนำพารา-มิเตอร์ที่สามารถปรับตั้งได้ตามสภาวะการตัด* จำนวน 5 พารามิเตอร์ รวมถึงพารามิเตอร์อื่นๆ ที่อาจพบในภายหลังว่ามีผลต่อขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคที่ได้กระบวนการตัด มาทำการวิเคราะห์เพื่อเลือกปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลต่อขนาดหน้ากว้างและทำการออกแบบการทดลองและหาค่าปรับตั้งสภาวะการตัดที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจและศึกษางานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนคุณภาพ วิธีการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบโดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา และปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการตัด รวมถึงวิธีการที่จะช่วยลดความผันแปรในกระบวนการตัด ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้เป็นอย่างดี งานวิจัยดังกล่าวประกอบด้วย

2.7.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนคุณภาพ

ณัฐกา โยคะกุล (2546) ได้นำเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้ระบบต้นทุนคุณภาพสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและเล็กของประเทศไทย เพื่อปรับปรุงต้นทุนคุณภาพโดยรวม และหาจุดเหมาะสมของต้นทุนคุณภาพตามทฤษฎีของ Juran และ Gryna โดยอาศัยหลักการออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลแบบ 2^k ของ Montgomery มาช่วยในการวิเคราะห์ ส่วน ทรงธรรม ทวีโชติ (2547) ได้ทำการศึกษา และปรับปรุงต้นทุนคุณภาพต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตแผงวงจรรวมไฟฟ้า โดยใช้แนวทางของซิกซ์ ซิกมา ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต และประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลแบบ 2^k เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปัญหาหลักของต้นทุนคุณภาพของบริษัทตัวอย่าง รวมทั้งใช้ทฤษฎี Optimization ในการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าว ในขณะที่ มงคล กิตติญาณขจร (2547) ได้ประยุกต์ใช้แนวคิดทางด้านเศรษฐศาสตร์คุณภาพ (Quality Economics) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพขององค์กรสำหรับโรงงานผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ โดยเสนอแนวทางในการใช้ข้อมูลทางด้านต้นทุนคุณภาพ และผลประโยชน์ที่จะได้รับในการวิเคราะห์และตัดสินใจลงทุนด้านการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งส่งผลให้ผลการวัดประสิทธิ- ภาพผ่านมุมมองทั้ง 4 ด้าน (ได้แก่ มุมมองทางด้านการเงิน มุมมองทางด้านความพึงพอใจของลูกค้า มุมมองทางด้านการปรับปรุงกระบวนการภายใน และมุมมองทางด้านการสร้างนวัตกรรมใหม่ๆ) บรรลุตามเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้

จากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในการนำแนวคิดทางด้านต้นทุนคุณภาพไปใช้ประโยชน์ ในประเทศไทย พบว่า การประยุกต์ใช้ระบบต้นทุนคุณภาพในอุตสาหกรรมการผลิตยังมีอยู่ไม่มากนัก โดยส่วนใหญ่ จะมุ่งเน้นศึกษาวิธีการนำระบบต้นทุนคุณภาพไปใช้ในโรงงาน ด้วยการกำหนดรายการต้นทุนคุณภาพ และ สูตรในการคำนวณต้นทุนคุณภาพจากกิจกรรมหรือปัจจัย

ในการดำเนิน งานที่สำคัญขององค์กร และแยกประเภทของต้นทุนคุณภาพตามระบบ PAF Model (คือ แบ่งประเภทของต้นทุนคุณภาพเป็น ต้นทุนการป้องกัน ต้นทุนการตรวจสอบ การวัด และการประเมิน ต้นทุนความล้มเหลวภายใน และต้นทุนความล้มเหลวภายนอก) แล้วใช้ข้อมูลต้นทุนคุณภาพในการวิเคราะห์มูลเหตุของการเกิดต้นทุนคุณภาพ แล้วจึงปรับปรุงการทำงานเพื่อลดต้นทุนคุณภาพโดยรวม ดังเช่นงานวิจัยของ วัสชัย ลิมปนวาร (2542) นำเสนอขั้นตอนการจัดทำระบบต้นทุนคุณภาพภายในกระบวนการผลิตเครื่องครัว เพื่อเป็นตัววัดคุณภาพของระบบการผลิต โดยใช้วิธี Information Definition และ Activity-Based Costing ในการวิเคราะห์กิจกรรมที่มีผลกระทบต่อต้นทุนคุณภาพ พร้อมทั้งสร้างแบบฟอร์มการจัดเก็บข้อมูล และปรับปรุงระบบบัญชีต้นทุนให้เหมาะสมกับการจัดทำระบบต้นทุนคุณภาพ เช่นเดียวกับการศึกษาของ กังวาน ชยุติมันต์กุล (2545) ซึ่งได้จัดทำระบบต้นทุนคุณภาพสำหรับโรงงานหล่อโลหะที่ใช้เตาไฟฟ้า โดยเสนอแนวทางในการวิเคราะห์และการเก็บรวบรวมข้อมูลต้นทุนคุณภาพ การเลือกใช้ตัวปันส่วนต้นทุน (Cost Driver) เพื่อแยกต้นทุนคุณภาพเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ พร้อมทั้งแสดงตัวอย่างในการคำนวณต้นทุนคุณภาพของโรงงานตัวอย่าง ส่วน ศุภกุล ชยาสนา (2546) ได้วิเคราะห์ต้นทุนคุณภาพสำหรับโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ โดยการเชื่อมโยงปัจจัยทางคุณภาพเข้ากับต้นทุนรวมของโรงงาน แล้วนำต้นทุนคุณภาพมาเปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิตทั่วไป เพื่อให้เห็นความแตกต่าง และข้อดีข้อเสียของต้นทุนการผลิตทั่วไปกับต้นทุนคุณภาพ

2.7.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบโดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา

Ricardo Banuelas Coronado และ Jiju Antony (2002) ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่นำไปสู่ความสำเร็จในการนำซิกซ์ ซิกมา ไปประยุกต์ใช้ในองค์การต่างๆ เพื่อใช้ในการปรับปรุงกลยุทธ์ทางธุรกิจโดยการเพิ่มกำไร จากการขจัดความแปรปรวนและลดของเสียในกระบวนการรวมถึงการลดค่าใช้จ่ายทางคุณภาพ ทราบถึงความต้องการและความคาดหวังของลูกค้า โดยการนำเทคนิคทางสถิติ เช่น โมโตโรล่า ได้เสียค่าใช้จ่ายในการอบรมให้ความรู้แก่พนักงาน $ 170 Million แต่สามารถที่จะประหยัดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากค่าใช้จ่ายด้านคุณภาพถึง $ 2.2 Billion ปัจจัยที่นำไปสู่ความสำเร็จ (CSF_S) ได้แก่

- การประกาศเจตนารมณ์และความมุ่งมั่นของผู้บริหารระดับสูง เช่น ในช่วงเริ่มต้น ผู้บริหารระดับสูงของ Allied Signal ทำการลดเป้าหมายหางการเงินลงเพื่อช่วยสนับสนุนโครงการในเบื้องต้น รวมถึงผู้บริหารระดับสูงของ GE ที่ต้องการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผังองค์กรและเปลี่ยนทัศนคติของพนักงาน
- การเปลี่ยนแปลงวัฒนธรรมขององค์กร ซึ่งเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของพนักงาน โดยการขจัดความกลัวของพนักงานที่จะซ่อนเร้นข้อผิดพลาด

หรือการต่อต้านการเปลี่ยนแปลง ให้ยอมรับการปรับปรุงพัฒนาด้วยการเพิ่มแรงจูงใจ และการให้ความรู้

- การติดต่อสื่อสารเช่น Sony Electronics ที่ให้ความสำคัญกับการแสดงข้อมูลต่างๆ เพื่อให้องค์การหลีกเลี่ยงและเรียนรู้ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอย่างทั่วถึงพร้อมกัน
- การจัดโครงสร้างภายในองค์การ Citibank เน้นการทำงานเป็นทีม การทำงานข้ามสายงาน สามารถวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาสำคัญได้ถึง 73%
- การฝึกอบรมโดยเน้น Belt System เพื่อช่วยให้เกิดการทำงานตามหลักของ ซิกซ์ ซิกมา ทั่วทั้งองค์การ
- การเชื่อมโยง ซิกซ์ ซิกมา สู่กลยุทธ์ทางธุรกิจ เช่น Ford motor company ได้เปลี่ยนกลยุทธ์จาก TQM ที่เน้นการแก้ไขปัญหาแต่ไม่ได้พิจารณาทางค่าใช้จ่าย แต่ ซิกซ์ ซิกมา มีการวิเคราะห์ถึงต้นทุน-กำไร ทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ถึง $ 200,000 ถึง 250,000
- การเชื่อมโยง ซิกซ์ ซิกมา สู่ลูกค้า เพื่อช่วยลดช่องว่างระหว่างความคาดหวังของลูกค้ากับความสามารถของการทำงานที่สามารถทำได้จริง
- การเชื่อมโยง ซิกซ์ ซิกมา สู่ผู้ส่งมอบ ควรสร้างความสัมพันธ์อันดี และมีผู้ส่งมอบน้อยรายเพื่อที่จะลดความแปรปรวนต่างๆ
- การใช้เครื่องมือและเทคนิคต่างๆ ตามหลักสถิติ เช่น เครื่องมือคุณภาพ การทดสอบสมมติฐานและอื่นๆ
- การเลือกโครงการตามความสำคัญ พิจารณาจากการแข่งขันทางธุรกิจ การได้เปรียบทางธุรกิจ รอบเวลาของกระบวนการ ผลผลิตโดยรวม เป็นต้น

Robert Strecher (1999) อ้างใน SIX SIGMA QUALITY กล่าวไว้ใน “How GE manages it” โดยกล่าวถึงหลักการบริหารธุรกิจของ GE ที่ประสบความสำเร็จ โดยใช้ SIX SIGMS QUALITY ดังต่อไปนี้

เริ่มต้นคำถามว่าเราไม่เคยทำสิ่งเหล่านี้ :

- พยายามผลักดันให้ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเกินกว่าขอบเขตที่ได้ตั้งเอาไว้
- ยอมรับด้วยเหตุและผลกับลูกค้าถึงความถูกต้อง
- คัดเลือกชิ้นส่วนที่ได้มาตรฐาน
- มีของเสียมากมาย,มีงานที่ต้องซ่อมแซม และชิ้นส่วนที่ต้องการตรวจสอบ

- ถูกตำหนิในการชำระหรือผิดพลาดทางบัญชีรายการหรือการขนส่งไม่ตรงตามเวลา รวมทั้งผลิตผลิตภัณฑ์น้อยหรือมากเกินไป
- ประสบปัญหาว่าการทำการลดต้นทุนในการผลิตไม่เคยประสบความสำเร็จ

2.7.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการตัด รวมถึงวิธีการที่จะช่วยลดความผันแปร ในกระบวนการตัด

ประกร วิจจุฬา (2543) จากการศึกษาเรื่องการลดปัญหาการแตกหักของใบมีดที่ใช้ในกระบวนการตัดของซีเอสพี (Blade breakage reduction in CSP singulation process) การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ลดปัญหาการแตกหักของใบมีดที่ใช้ในระบวนการตัดของซีเอสพี (Chip Scale Package) ที่นำไปสู่การสูญเสียผลผลิตในอุตสาหกรรมการประกอบไอซี การแตกหักของใบมีดนอกจากจะทำให้อัตราการใช้ใบมีดอยู่ในเกณฑ์สูงแล้ว ยังก่อให้เกิดการสูญเสียชิ้นงาน สูญเสียเวลาในการซ่อมแซมเครื่องจักร ขั้นตอนวิจัยเริ่มจากการก่อตั้งทีมคิวซี เซอร์เคิล ประกอบด้วยฝ่ายวิศวกรรม ฝ่ายซ่อมบำรุง ฝ่ายผลิต และผู้เชี่ยวชาญจากบริษัทผู้ผลิตเครื่อง โดยมีการระดมความคิดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา โดยการใช้แผนภาพก้างปลา FMEA จากนั้นทำการออกแบบการทดลองแบบ Factorial Design ANOVA นำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพการตัด รวมถึงการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (C_{pk}) หลังจากที่ได้นำแนวทางแก้ไขปัญหาไปใช้จริง ในกระบวนการผลิต จากผลการทดลองสามารถขจัดปัญหาใบมีดแตก ลดปัญหาความสูญเสียชิ้นงาน และ C_{pk} เพิ่มขึ้นได้เกิน 1.5 ซึ่งเป็นเป้าหมาย ผลจากงานวิจัยคือ สามารถปรับปรุง MTBA(Mean Time Between Assist) เพิ่มจากเดิม 12 เท่า ลดปัญหาการซ่อมบำรุงและการหยุดของเครื่องจักรลง 60% ลดชิ้นงานเสีย 63% เพิ่มอายุการใช้งานของใบมีด 2.3 เท่า โดยสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ถึง 147,201 เหรียญสหรัฐต่อปี

ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ (2547) งานวิจัยเรื่องการศึกษาผลกระทบ ของพารามิเตอร์ในการตัดที่มีต่อคุณภาพผิวการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18 18-20 ตุลาคม 2547 จังหวัดขอนแก่น

งานวิจัยนี้ จะแสดงถึงการตัดไม้ยางพาราด้วยเครื่องกัดซีเอ็นซีสำหรับงานไม้ (Computer Numerical Control, CNC, Wood Router) โดยได้ศึกษาถึงค่าของตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการตัดไม้ยางพารา เช่น ความเร็วในการตัด อัตราการป้อน ความลึกในการตัด ที่มีผลต่อความเรียบของผิวชิ้นงาน และความสึกของมีดตัดทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten Carbide, TC) ผลจากการวิจัยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการตัดไม้ยางพารา เพื่อให้ได้ผิวของชิ้นงานที่มีคุณภาพดีที่สุดในขอบเขตที่ศึกษาคือ ที่ความเร็วรอบ 12,000 rpm อัตราการป้อน 180 rpm และที่ความลึกของการตัด 0.0625 นิ้ว โดยสภาวะที่ทำให้เกิดความสึกของมีดตัด TC น้อยที่สุดและเกิดขุยไม้น้อยที่สุดคือ ที่ความเร็วรอบ

12,000 rpm อัตราการป้อน 360 rpm และที่ความลึกของการตัด 0.125 นิ้ว ผลการวิจัยนี้จะสามารถช่วยให้เข้าใจถึงสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการตัดไม้ยางพาราเพื่อให้ได้คุณภาพของผิวชิ้นงานดีที่สุดโดยสามารถลดอัตราการสึกหรอของมีดตัด ลดการสูญเสียของวัสดุ พร้อมทั้งลดเวลาในกระบวนการตัดซึ่งตัวแปรที่เหมาะสม สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราในส่วนของการพัฒนาส่วนการผลิต

นิธิ บุรณจันทร์ (2533) ศึกษาเรื่องการกำหนดสภาวะการตัดที่ให้ผลดีที่สุด ในขบวนการกลึงทรงกระบอก ของวิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

งานวิจัยนี้เพื่อกำหนดสภาวะการตัดที่ให้ผลดีที่สุดใน ขบวนการกลึงทรงกระบอก เมื่อต้องการต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด อัตราการผลิตสูงที่สุด และอัตรากำไรสูงที่สุด การศึกษาใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเป็นวัสดุชิ้นงานและใช้ทังสเตนคาร์ไบด์ เป็นวัสดุเครื่องมือตัด งานวิจัยประกอบด้วย การหาความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดกับสภาวะการตัด (ความเร็วตัด อัตรา ป้อน และความลึกในการตัด) การหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงาน ที่ใช้ในการตัดกับสภาวะการตัด การศึกษางานในขบวนการกลึงทรง กระบอก การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต อัตราการผลิต และอัตรา กำไร ในขบวนการกลึงทรงกระบอก เพื่อนำผลที่ได้มาใช้ในการกำหนดสภาวะการตัดที่เหมาะสมที่สุด ผลการศึกษาพบว่า การกำหนดความลึกในการตัดกำหนดได้จากขนาดที่ต้องการของชิ้นงาน การกำหนดอัตราป้อนควรกำหนดให้สูง ที่สุดโดยที่ไม่เกิดความเสียหายกับเครื่องมือตัดแล้วจึงเลือก ค่าความเร็วตัดเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์ ราคาของเครื่องมือ ตัดและค่าแรงคนงาน เป็นปัจจัยสำคัญในการพิจารณาเลือกค่าสภาวะ การตัดที่เหมาะสม

มนตรี นาคอนันตกุล (2547) จากการวิจัยเรื่อง การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเจียรไนลูกรีดเหล็กหล่อผิวแข็งด้วยหินเจียรซิลิคอนคาร์ไบด์

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาเงื่อนไขความเร็วตัดที่เหมาะสม และอายุการใช้งานของหินเจียรซิลิคอนคาร์ไบด์ การวิจัยได้ทำการเจียรลูกรีดเหล็กหล่อผิวแข็งที่มีความแข็งเฉลี่ย 71.7 Shc โดยใช้อุปกรณ์เจียรชนิดคอมพิวเตอร์ (CNC) ศึกษาเงื่อนไขความเร็วตัดที่เหมาะสมและอายุการใช้งานของหินเจียรซิลิคอนคาร์ไบด์ การศึกษาการเจียรได้ใช้ความเร็วตัด (v) 150 ถึง 250 ฟุตต่อนาที อัตราการป้อน (f) 70 ถึง 110 นิ้วต่อนาที ความลึกในการตัด (d) 0.001 และ 0.002 นิ้ว ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาถึงความสามารถของหินเจียรคือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงานจะต้องอยู่ในพิกัด +-0.002 นิ้ว ซึ่งจะทำให้ทราบถึงอายุการใช้งานของหินเจียรแต่ละก้อนที่เงื่อนไขการเจียรต่างๆกันซึ่งจะนำไปสู่การคิดค่าใช้จ่ายในการเจียร จากนั้นทำการวิเคราะห์เงื่อนไขในการเจียรต่างๆเพื่อเลือกเงื่อนไขในการเจียรที่เหมาะสม ผลการวิจัยพบว่า (1) ความสัมพันธ์ของอายุการใช้งานกับ

ความเร็วตัด (v) อัตราการป้อน(f) และความลึกของการตัด (d) คือ V*T*0.221*f*0.0487*d* 0.0061= 17267.15 (2) เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดกรณีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดคือ อัตราการป้อน 110 นิ้วต่อนาที ความลึกในการตัด 0.001 นิ้ว ที่ความเร็วตัด 153 ฟุตต่อนาที ซึ่งอัตราการผลิตเท่ากับ 4.67 ชิ้นต่อวัน และค่าใช้จ่ายในการผลิตชิ้นงานต่ำสุดคือ 257.01 บาทต่อชิ้น (3) เงื่อนไขกำลังการผลิตสูงสุดจะใช้อัตราการป้อน 110 นิ้วต่อนาที ความลึกในการตัด 0.001 นิ้วที่ความเร็วตัด 365 ฟุตต่อนาที ซึ่งจะทำให้อัตราการผลิตสูงขึ้นเป็น 7.95 ชิ้นต่อวัน และเสียค่าใช้จ่ายในการผลิตชิ้นงานเท่ากับ 1,291.71 บาทต่อชิ้น (4) เงื่อนไขกำลังการผลิตสูงสุดกรณีที่อุปกรณ์ที่ใช้ทำการศึกษาทำได้จะใช้อัตราป้อน 110 นิ้วต่อนาที ความลึกในการตัด 0.001 นิ้วที่ความเร็วตัด 250 ฟุตต่อนาทีซึ่งจะทำให้อัตราการผลิตสูงสุดเท่ากับ 6.87 ชิ้นต่อวัน และเสียค่าใช้จ่ายในการผลิตชิ้นงานเท่ากับ 441.13 บาทต่อชิ้น

กุศล พร้อมมูล, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, สุรพันธ์ สุวรรณกูฏ และ เทิดศักดิ์ อาลัย (2545) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี งานวิจัยเรื่องการหาเงื่อนไขการตัดไม้ที่เหมาะสมของใบมีด PCD ในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16 14-16 ตุลาคม 2545 จังหวัดภูเก็ต

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อสมรรถภาพของการตัดไม้ (Routing process) ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราโดยใช้มีดตัดทำมาจากเพชร (Poly crystal Diamond; PCD) ในปัจจุบันมีดตัดที่ใช้ในงานตัดไม้ทำมาจากวัสดุหลายประเภทเช่น เหล็กกล้ารอบสูง (High speed steel) ทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten carbide) และเพชรแบบหลายผลึกเป็นต้น ซึ่งอายุการใช้งานของมีดแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป โดยที่เป็นที่ทราบกันดีว่ามีดตัด PCD จะมีอายุการใช้งานยาวนานกว่ามีดตัดที่ทำมาจากวัสดุชนิดอื่นๆหลายเท่า อย่างไรก็ตามราคาของมีดตัด PCD ก็สูงกว่ามากเช่นกัน ผู้ผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราในประเทศไทย ณ ปัจจุบันนี้ ยังไม่นิยมใช้มีดตัด PCD กันมากนัก สาเหตุหลักเนื่องมาจากราคาที่แพงมาก และผู้ประกอบการไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการตัดไม้ยางพาราโดยใช้มีดตัดดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงอิทธิพลความเร็วในการตัด อัตราการป้อนตัด และทิศทางการป้อนตัดเทียบกับทิศทางเสี้ยนไม้ที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน นั่นก็คือความเรียบผิวของไม้ที่ได้ การเกิดขุยไม้และรอยไหม้บนเนื้อไม้ และยังศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขในการตัดที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือกสภาวะการตัดที่เหมาะสมสำหรับมีด PCD ผลจากการวิจัยพบว่าที่ความเร็วรอบ 15,000 rpm และอัตราการป้อนตัด 8 m/min จะทำให้ได้ชิ้นงานที่ปราศจากขุยและมีความเรียบผิวดีที่สุดเทียบเท่ากับผิวชิ้นงานที่ผ่านขั้นตอนการขัดแล้ว แต่อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานที่ความเร็วค่านี้จะมากกว่าที่ความเร็ว 21,000 rpm ถึงเกือบ 30%

ปารเมศ ชุติมา และนวลพรรณ ใจงาม ได้ทำงานวิจัยเพื่อที่จะนำเสนอแนวทางสำหรับการควบคุมคุณภาพตามแนวทางของซิกซ์ ซิกม่า โดยงานวิจัยครั้งนี้เป็นการลดของเสียที่เกิดจากการถ่ายเทไฟฟ้าสถิตย์ในสายประกอบผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้กรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกมา ซึ่งอาศัยหลักการวิเคราะห์และควบคุมคุณภาพเชิงสถิติตามขั้นตอนของซิกซ์ ซิกมา ที่ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ 1) การกำหนดหัวข้อปัญหา 2) การวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา 3) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา 4) การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และ 5) การควบคุมกระบวนการผลิต จากงานวิจัยครั้งนี้ตามขั้นตอนของกรรมวิธีซิกซ์ ซิกมา ที่ได้มีการศึกษาการเกิดไฟฟ้าสถิตย์ที่ทำให้ความสามารถทนทานต่อไฟฟ้าสถิตย์ของผลิตภัณฑ์น้อยลง พบว่าสาเหตุหลักมาจากการต่อกราวด์, งานไม่ผ่านข้อกำหนดปะปนเข้าสู่กระบวนการผลิต, วิธีการจับ FOS, เครื่องมือในการจับ FOS และพัดลมสลายประจุไฟฟ้า ได้ทำการปรับปรุงและนำระบบ Real time Trigger เข้ามาใช้ในสายการผลิตเพื่อควบคุมกระบวนการผลิตป้องกันไม่ให้ข้อบกพร่องเกิดซ้ำอีก เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการปรับปรุงทางด้านคุณภาพ พบว่าบริษัทสามารถลดของเสียลงจาก 31,600 DPPM เหลือเพียง 7,890 DPPM และยังสามารถเพิ่มกำไรภายในสองไตรมาสถึง 163,999 ดอลลาร์สหรัฐฯ ซึ่งจากงานวิจัยครั้งนี้พบว่าแนวทางซิกซ์ ซิกมา มีทั้งประโยชน์ทางตรงตามที่ได้กล่าวไว้ และยังมีประโยชน์ทางอ้อม ทำให้เกิดความร่วมมือกันในองค์กร เรียนรู้การทำงานเป็นทีม และเป็นการพัฒนาบุคลากร แต่ก็ยังพบปัญหาในการนำแนวทางนี้ไปใช้ในทางปฏิบัติ ได้แก่ การได้มาซึ่งข้อมูลบางอย่างยุ่งยาก และใช้เวลานาน บุคลากรที่ขาดความรู้และความเข้าใจในการใช้วิธีทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล ทำให้ต้องเสียเวลานานกว่าที่จะได้คำตอบที่แท้จริงของปัญหา ดังนั้นการรณรงค์อย่างจริงจัง และการฝึกอบรมเพิ่มเติม เป็นสิ่งสำคัญในการเพิ่มความสามารถการนำแนวทางของกรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกมาไปใช้ปฏิบัติจริง

Purintrapiban, U., 1999, CUSUM and EWMA Control chart for process control to approach Six Sigma Quality : A case study of continuous and discrete process, Master of engineering thesis, Industrial Engineering Program, Asian Institute of Technology, pp. 58-64

Purintrapiban ได้ทำการศึกษาแผนภูมิควบคุมกระบวนการ CUSUM และ EWMA เพื่อตอบสนองต่อความต้องการควบคุมคุณภาพในระดับซิกซ์ ซิกมา ทั้งกับกระบวนการแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องจากความต้องการควบคุมคุณภาพในระดับซิกซ์ ซิกมา ซึ่งเมื่อเกิดความแปรปรวนหรือความเบี่ยงเบนขึ้นเพียงเล็กน้อย อาจหมายถึงการเปลี่ยนแปลงบางอย่าง ได้เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต การวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุม CUSUM, EWMA และแผนภูมิ X bar –R เพื่อหาแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย การศึกษาใช้ข้อมูลตัวอย่างแบบสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติจากกระบวนการแบบต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่อง มาทำการวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิควบคุมทั้งสามแบบข้างต้น ซึ่งผลจากการวิจัยไม่สามารถ

สรุปได้ว่า แผนภูมิแบบไหนเหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการแบบต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่อง แต่ก็สามารถสรุปได้ว่า แผนภูมิCUSUM และ EWMA เหมาะสำหรับใช้ตรวจจับการเบี่ยงเบนเพียงเล็กน้อย ในขณะที่แผนภูมิ X bar - R เหมาะสำหรับใช้ในการตรวจจับการเบี่ยงเบนมากๆ

เมื่อพิจารณา 5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการตัดและวิธีการที่จะช่วยลดความผันแปรในกระบวนการตัดข้างต้น จะเห็นว่า งานวิจัยหลายๆ เรื่อง จะกล่าวถึง แนวทางต่อไปนี้

- การระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา โดยการใช้แผนภาพก้างปลาและFMEA
- การออกแบบการทดลองแบบ Factorial Design
- การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ C_{pk} และ C_p
- การหาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง สำหรับใช้ในการออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการตัด เพื่อให้ได้คุณภาพของชิ้นงานที่ดีที่สุด

ซึ่งผู้วิจัยจะนำแนวทางเหล่านี้ไประดมสมองกับผู้ที่เกี่ยวข้องประกอบการทำการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ในลำดับต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ผลการดำเนินงานวิจัยในระยะนิยามปัญหา (Define Phase)

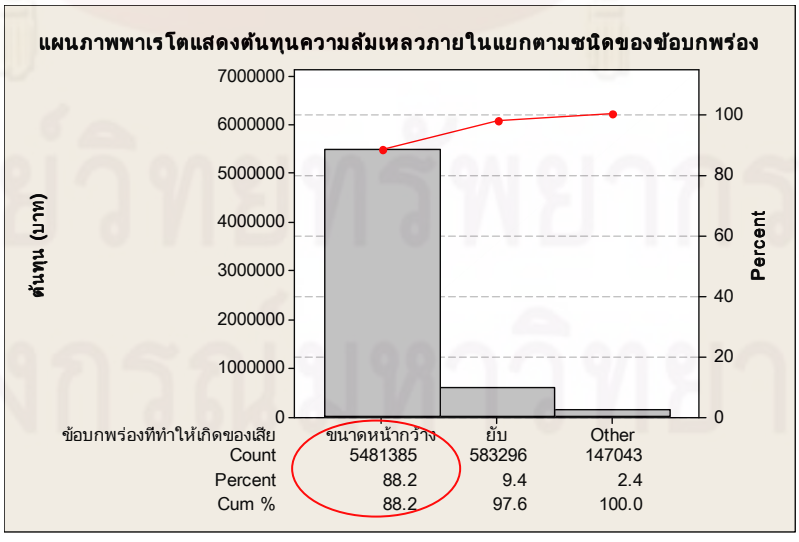
ระยะนิยามปัญหา จะเป็นการศึกษาสภาพปัญหา และกำหนดขอบเขตเป้าหมายของโครงการในการจะลดความผันแปรของขนาดหน้ากว้างของผลิตภัณฑ์เทปโฟมอะคริลิค ให้เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า

3.1 บทนำ

จากสภาพของปัญหา (Problem Statement) ของบริษัทกรณีศึกษา ในบทที่ 1 พบว่า บริษัทกำลังประสบปัญหาต้นทุนของเสียเนื่องจากขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับสูง ซึ่งกระทบต่อต้นทุนการผลิตโดยตรง ส่งผลให้บริษัทมีผลกำไรลดลงและเสียโอกาสในการแข่งขันด้านราคาต่อคู่แข่ง หากผลิตภัณฑ์เกิดปัญหานี้จะเป็นของเสียที่ต้องทิ้งไปไม่สามารถนำมาซ่อมแก้ไข (Rework) ได้ ดังนั้นบริษัทจะทำการปรับปรุงกระบวนการตัดให้สามารถตัดชิ้นงานได้ขนาดหน้ากว้างอยู่ภายในค่าการยอมรับให้มากที่สุด เพื่อให้ต้นทุนของเสียจากปัญหาดังกล่าวมีค่าต่ำที่สุด

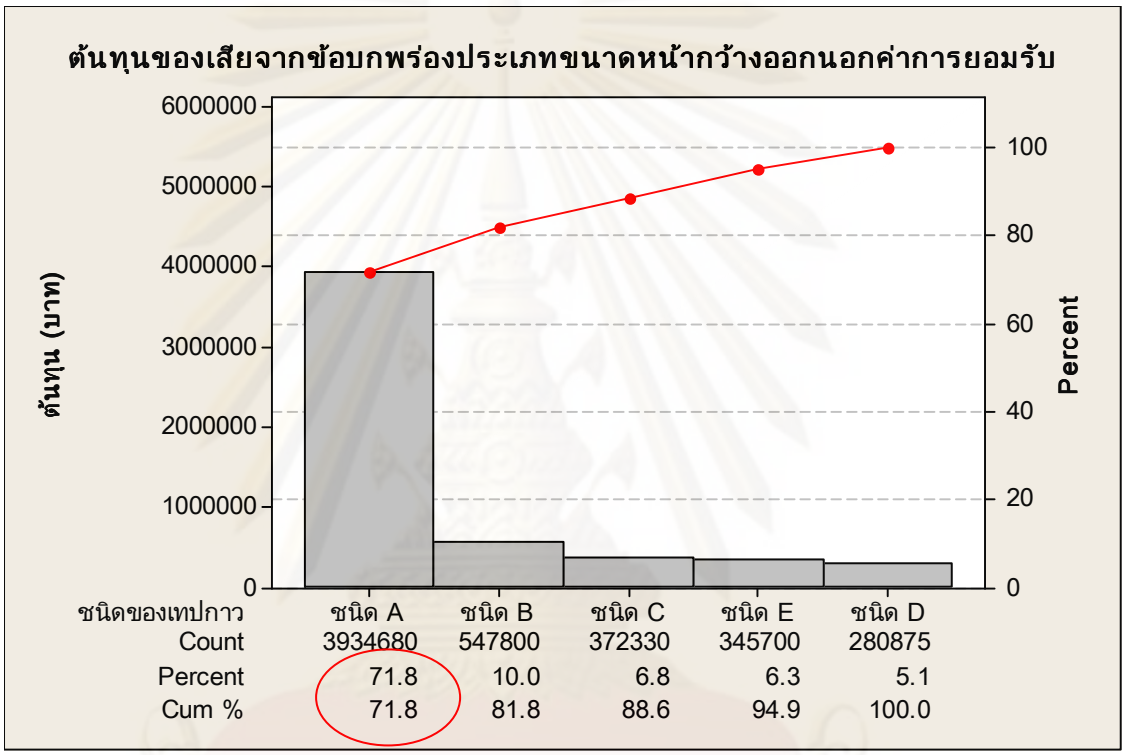
3.2 สภาพปัญหาในปัจจุบัน (Problem Statement)

จากการศึกษาข้อมูลของต้นทุนของเสีย พบว่า ต้นทุนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับ ทำให้เกิดต้นทุนความล้มเหลวภายในสูงที่สุด ของต้นทุนความล้มเหลวภายในทั้งหมด เมื่อนำมาแสดงด้วยแผนภาพพาเรโตได้ผลดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนภาพพาเรโตแสดงต้นทุนความล้มเหลวภายในแยกตามชนิดของข้อบกพร่อง

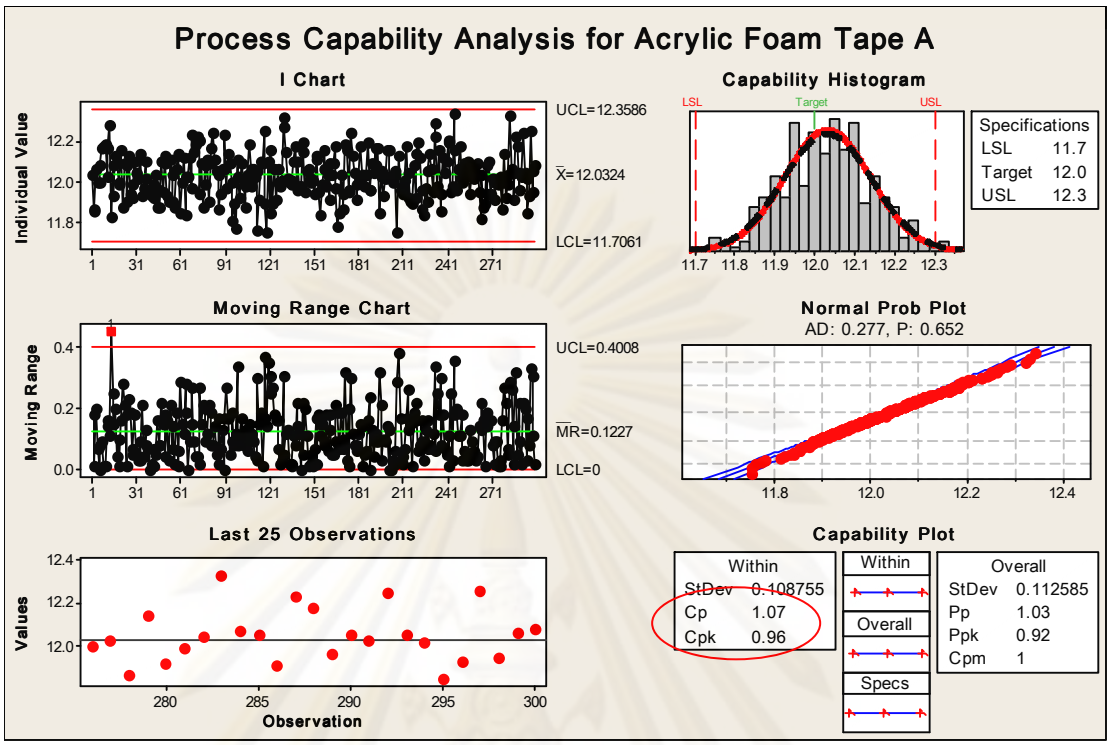
จากแผนภาพพาเรโตในรูปที่ 3.1 จะเห็นว่า ต้นทุนความล้มเหลวภายในจากข้อบกพร่องประเภทหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับ เท่ากับ 88.2% ของต้นทุนความล้มเหลวภายในเนื่องจากข้อบกพร่องทุกประเภทรวมกัน และเมื่อนำต้นทุนของเสียเนื่องจากข้อบกพร่องประเภทขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับ มาแสดงด้วยแผนภาพพาเรโต แยกตามชนิดของเทปโฟมอะคริลิค ได้ผลดังนี้



รูปที่ 3.2 แผนภาพพาเรโตแสดงต้นทุนของสียจากข้อบกพร่องประเภทขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับแยกตามชนิดของเทปโฟมอะคริลิค

จากแผนภาพพาเรโตในรูปที่ 3.2 จะเห็นว่า ต้นทุนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับ ของเทปโฟมอะคริลิค ชนิด A เท่ากับ 71.8% ของเทปโฟมอะคริลิคทุกชนิดรวมกัน ผู้วิจัยจึงนำเทปโฟมอะคริลิค ชนิด A มาเป็นตัวแทนที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ความสามารถของกระบวนการ C_{pk} และ C_p ในกระบวนการตัดเทปโฟมอะคริลิคที่ทำการศึกษา โดยตัดที่ขนาดหน้ากว้าง 12 มิลลิเมตร จำนวน 300 ม้วน ขอบเขตค่าการยอมรับได้ คือ 12 +/-0.3 มม. (11.70 มม. ถึง 12.30 มม.) โดยใช้โปรแกรม “MINITAB” ได้ผลเป็นดังนี้



รูปที่ 3.3 ความสามารถของกระบวนการในการตัดเทปโฟมอะคริลิคชนิด A ขนาดหน้ากว้าง 12 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 3.3 จะเห็นว่าความสามารถของกระบวนการตัดเทปโฟมอะคริลิคที่ทำการศึกษามีค่าค่อนข้างต่ำ โดยพิจารณาจากดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ C_{pk} ซึ่งมีค่า 0.96 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับของ AIAG (2001) ที่ 1.33 เมื่อพิจารณาค่า C_p ซึ่งเท่ากับ 1.07 ประกอบ พบว่าค่าความกว้างมีการกระจายตัวกว้าง เมื่อเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนอนุโลม จากการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ของเสีย พบว่า กระบวนการก่อนการปรับปรุงมีเปอร์เซ็นต์ของเสียเนื่องจากขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับ อยู่ที่ 4.0% คิดเป็นมูลค่าความสูญเสีย 5,481,385 บาทต่อปี เมื่อพิจารณาค่า C_p พบว่า C_p มีค่าต่ำกว่า 1.33 แสดงว่าค่าความผันแปรของกระบวนการมีค่าสูงเกินมาตรฐานที่ยอมรับได้ ส่วนค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายแล้ว ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการหาค่าการปรับตั้งพารามิเตอร์ของสภาวะการตัดที่เหมาะสม เพื่อให้ขนาดหน้ากว้างที่ได้จากกระบวน การตัดมีความผันแปรลดลง โดยการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) และ ดำเนินการวิเคราะห์เพื่อการแก้ปัญหาดังกล่าวอย่างเป็นระบบ โดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา มาใช้ในการปรับปรุงงาน

3.3 การจัดตั้งคณะทำงาน

ในการจัดทำการวิจัยนี้ มีการจัดตั้งคณะทำงานในส่วนของโครงการซิกซ์ ซิกมา ประกอบด้วย

1. Champion	Production Supervisor
2. Team Leader	Green Belt (Process Engineer)
3. MBB	Master Black belt
4. BB	Black Belt
5. Process Owner	Foreman
6. Team Member	Quality Engineer
7. Team Member	Lead man
8. Team Member	Scheduler/Production Planning
9. Team Member	Slitting Operator M/C#A
10. Team Member	Slitting Operator M/C#B
11. Financial	Financial Manager

3.4 เป้าหมายในโครงการซิกซ์ ซิกมา (Primary Y)

คือ เป้าหมายที่ตั้งขึ้นของโครงการซิกซ์ ซิกมา เพื่อเป็นแนวทางไปสู่การทำโครงการว่าต้องการปรับปรุงกระบวนการเป้าหมาย (Primary Y) ตรงไหน และต้องสามารถตรวจสอบดูด้วยว่าเมื่อปรับปรุงกระบวนการได้สำเร็จแล้ว ต้องไม่กระทบกับความสามารถของกระบวนการด้านอื่นที่มีความสัมพันธ์กัน (Counter Balance) ให้ต่ำลง ซึ่งทั้ง Primary Y และ Counter Balance ต้องสามารถวัดค่าได้ ในโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยและคณะ ได้ตั้งกระบวนการเป้าหมาย (Primary Y) คือ การลดความผันแปรของขนาดหน้ากว้าง และกระบวนการด้านอื่นที่มีความสัมพันธ์กัน (Counter Balance) คือ รอบเวลาในการผลิตม้วนผลิตภัณฑ์ (Cycle Time) ซึ่งหมายความว่า โครงการวิจัยนี้ต้องการลดความผันแปรในการผลิตม้วนเทปผลิตภัณฑ์ โดยที่รอบเวลาในการผลิตไม่นานไปกว่าเดิม เนื่องจากมีโอกาสเป็นไปได้ที่ในทางปฏิบัติจริง ความผันแปรอาจลดลงได้ แต่ต้องใช้เวลาในการผลิตนานขึ้น ซึ่งทำให้การปรับปรุงกระบวนการไม่ได้เกิดขึ้นอย่างแท้จริง

3.5 แผนผังกระบวนการ (Process Mapping)

แผนผังกระบวนการ ได้ทำขึ้นเพื่อให้มองเห็นภาพในมุมมองของกระบวนการได้ชัดเจนขึ้น เห็นว่าปัจจัยนำเข้า กระบวนการทั้งหมด และปัจจัยออกมาทั้งหมด มีอะไรบ้าง โดยต้องมีการกำหนดตัวผลตอบ (Response) และตัวนับความสมดุล (Counter Balance) แต่ในที่นี้ยังไม่ได้มีการ

ระดมสมอง เนื่องจากยังไม่ได้นำแผนผังกระบวนนี้มาลงในรายละเอียดทั้งหมด ซึ่งจะทำในลำดับถัดไปในระยะของการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา ในบทต่อไป

ตารางที่ 3.1 แผนผังกระบวนการสำหรับกระบวนการผลิตเทปโฟมอะคริลิค

Process Mapping		
ปัจจัยนำเข้า	**กระบวนการ**	**ปัจจัยออกมา**
เครื่องตัดและอุปกรณ์ พารามิเตอร์ของเครื่องตัด วัตถุดิบที่ใช้ พนักงานตัด กระบวนการตัด กระบวนการวัด เครื่องมือวัด พนักงานแพ็ค เอกสารการปฏิบัติงาน แบบฟอร์มต่างๆ	ตรวจรับและเตรียมม้วนวัตถุดิบ ↓ ติดตั้งม้วนวัตถุดิบที่เครื่องตัด ↓ ปรับตั้งเครื่องตัด ↓ ตัดม้วนวัตถุดิบ ↓ ตรวจสอบขนาดหน้ากว้าง และลักษณะภายนอก ↓ ปรับปรุง/ซ่อมแซมม้วนเสีย ที่นำกลับมาซ่อมแซมได้ ↓ แพ็คและตรวจสอบขั้นสุดท้าย	ม้วนผลิตภัณฑ์เทปโฟมอะคริลิค บันทึกต่างๆ

3.6 กำหนดวัตถุประสงค์ เป้าหมาย และตัวชี้วัด

จากสภาพปัญหาที่พบ จึงได้ทำการกำหนดปัญหาที่จะทำการปรับปรุง คือ การลดความผันแปรของขนาดหน้ากว้างของม้วนเทปโฟมอะคริลิคชนิด A ที่ได้จากกระบวนการตัด ให้มีค่าอยู่ภายในข้อกำหนดของลูกค้า คือ $\pm$ 0.3 mm ซึ่งจะมีผลทำให้ความสามารถของกระบวนการ C_{pk} และ C_p มีค่าสูงขึ้น โดยจาก C_{pk} ปัจจุบันเท่ากับ 0.96 และ C_p ปัจจุบันเท่ากับ 1.07 มีเป้าหมาย (Target) ที่จะเพิ่มให้ได้เป็น 1.66

3.7 สรุปผลการดำเนินงานระยะนิยามปัญหา

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมด ในส่วนของขั้นตอนของการนิยามปัญหา ตั้งแต่การพิจารณาปัญหา ที่ส่งผลกระทบด้านธุรกิจต่อองค์กร ซึ่งในการทำงานวิจัยนี้ จะพิจารณาปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนของเสียของบริษัท คือ ปัญหาของเสียเนื่องจากขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับของลูกค้า โดยในการปรับปรุงคุณภาพการผลิตผลิตภัณฑ์นี้ สามารถทำได้โดยการลดความผันแปรของขนาดหน้ากว้างของม้วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องตัด เป้าหมายของโครงงานวิจัยนี้ คือ

ปรับปรุงความสามารถของกระบวนการ C_{pk} และ C_p ของกระบวนการตัดจากปัจจุบัน 0.96 และ 1.07 ตามลำดับ ให้เพิ่มเป็น 1.66 โดยต้องไม่เกิดผลกระทบต่อความสามารถอื่นๆ ที่สัมพันธ์กันของกระบวนการ ซึ่งในที่นี้ คือ รอบเวลาในการผลิต และได้กำหนดคณะทำงาน โครงการซิกซ์ ซิกมา ในการศึกษาและปรับปรุงกระบวนการให้เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานในระยะการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

การวิเคราะห์ระบบการวัดในกระบวนการผลิต มีความจำเป็นที่ต้องทำขึ้น เพื่อที่จะประกันความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัด ว่ามีความน่าเชื่อถืออยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ ก่อนทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหาในขั้นตอนต่อไป ในระยะนี้จะพิจารณาความสามารถของกระบวนการก่อนปรับปรุงด้วยเพื่อใช้เปรียบเทียบกับหลังการปรับปรุงว่ากระบวนการดีขึ้นมากน้อยเพียงใด

4.1 บทนำ

หลังจากระยะการนิยามปัญหาเพื่อกำหนดแนวทางต่างๆ ในการแก้ไขปัญหาแล้ว ในระยะการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหานี้ จะเป็นขั้นตอนเพื่อศึกษาแหล่งที่มาที่เป็นสาเหตุของปัญหาด้วยการใช้เครื่องมือทางสถิติต่างๆ ช่วยในการศึกษา โดยทำการวิเคราะห์ระบบการวัด ก่อนทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหา จากนั้นจึงระดมความคิดจากทีมที่คัดเลือกตั้งแต่ระยะนิยามปัญหาซึ่งเป็นผู้ที่มีความรู้ ความชำนาญและประสบการณ์ในกระบวนการผลิตที่พิจารณา มาทำการคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่คาดว่ามีผลกระทบต่อขนาดหน้ากว้างในลำดับต้นๆ มาทำการวิเคราะห์ในระยะต่อไป

4.2 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis)

วัตถุประสงค์สำคัญในการวิเคราะห์ระบบการวัด คือ การวิเคราะห์แหล่งของความคลาดเคลื่อน ในระบบการวัด ด้วยการจำแนกค่าที่ได้จากการวัดออกเป็น ค่าจริง, ค่าคลาดเคลื่อนเชิงระบบ, ค่าคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัด และค่าคลาดเคลื่อนอื่นๆ ซึ่งพบว่าความคลาดเคลื่อนของค่าวัดจะประกอบด้วยค่าวัดที่มีทั้งปริมาณที่สามารถกำจัดได้และกำจัดไม่ได้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องดำเนิน การกำจัดปริมาณที่สามารถควบคุมได้เสียก่อน ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาดด้วยการทำให้ระบบการวัดเป็นมาตรฐานเสียก่อน แล้วจึงค่อยดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือเพื่อกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ

การทำวิจัยในครั้งนี้ ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคที่ได้จากกระบวนการตัด โดยจะทำการวัดโดยใช้เครื่องมือวัดเวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ โดยชิ้นงานที่มีคุณภาพผ่านจะต้องมีขนาดหน้ากว้างเบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายไม่เกิน $\pm$ 0.3 มม. ตามความต้องการของลูกค้า

เนื่องจากบริษัทได้มีการจัดทำระบบ ISO9001 จึงได้มีการสอบเทียบเครื่องมือวัดเป็นประจำ จึงอาจอนุมานได้ว่า คุณสมบัติด้านความถูกต้องของเครื่องมือวัดดีแล้ว ในโครงงานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดเพียงอย่างเดียว ซึ่งผลการวิเคราะห์ได้ผลดังนี้

4.2.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบวัดโดยใช้การประเมินผลค่า Repeatability และ Reproducibility (GR&R)

ผู้จัดทำและคณะได้ทำการทดสอบระบบการวัด เพื่อวิเคราะห์ว่าสามารถเก็บข้อมูลได้อย่างถูกต้อง โดยแผนการศึกษา GR&R นี้ มีประเด็นดังนี้

1. ใช้ผู้วัดที่ผ่านการฝึกอบรมมาอย่างดีและมีหน้าที่ในการวัดวัดเพื่อการยอมรับหรือปฏิเสธชิ้นงานโดยตรง จำนวน 2 คน
2. เครื่องมือที่ใช้ในการวัด จะใช้เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ที่ผ่านการสอบเทียบแล้วอันเดียวกันสำหรับผู้วัดทั้งสอง
3. จำนวนชิ้นงานที่จะวัดเพื่อศึกษานั้น จำนวน 20 ม้วน (กิติศักดิ์, 2549 แนะนำที่ 10 ตัวอย่าง)
4. จำนวนวัดซ้ำสำหรับชิ้นงานแต่ละชิ้น กำหนดให้วัด 3 ครั้ง (อ้างอิงจาก การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) ประมวลผลด้วย MINITAB ของ กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2549 : หน้า 111 ซึ่งแนะนำที่ 2-3 ครั้งต่อชิ้นงานแต่ละชิ้น) ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดชิ้นงานของพนักงาน A และ พนักงาน B

ชิ้นงานที่	พนักงาน A			พนักงาน B		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	12.16	12.15	12.16	12.15	12.16	12.16
2	12.23	12.23	12.23	12.23	12.24	12.23
3	12.13	12.14	12.14	12.14	12.15	12.14
4	12.08	12.08	12.08	12.09	12.08	12.08
5	12.15	12.15	12.16	12.15	12.16	12.16
6	12.04	12.05	12.04	12.04	12.04	12.04
7	12.18	12.17	12.17	12.18	12.18	12.17
8	12.06	12.06	12.07	12.06	12.06	12.06
9	12.18	12.19	12.18	12.18	12.18	12.19
10	12.03	12.04	12.04	12.05	12.04	12.04
11	12.23	12.23	12.23	12.24	12.24	12.23
12	12.08	12.09	12.08	12.09	12.08	12.08
13	12.18	12.17	12.17	12.17	12.18	12.17
14	12.16	12.15	12.16	12.15	12.15	12.16
15	12.06	12.07	12.07	12.06	12.07	12.06
16	12.15	12.15	12.15	12.15	12.15	12.16
17	12.04	12.03	12.03	12.03	12.04	12.04
18	12.21	12.22	12.21	12.21	12.21	12.21
19	12.15	12.15	12.16	12.15	12.15	12.15
20	12.16	12.15	12.16	12.16	12.15	12.15

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดชิ้นงานของพนักงาน A และ พนักงาน B

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	19	0.456349	0.0240184	1152.88	0.000
Operator	1	0.000021	0.0000208	1.00	0.330
Part no. * Operator	19	0.000396	0.0000208	0.78	0.722
Repeatability	80	0.002133	0.0000267		
Total	119	0.458899			

Alpha to remove interaction term = 0.11

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

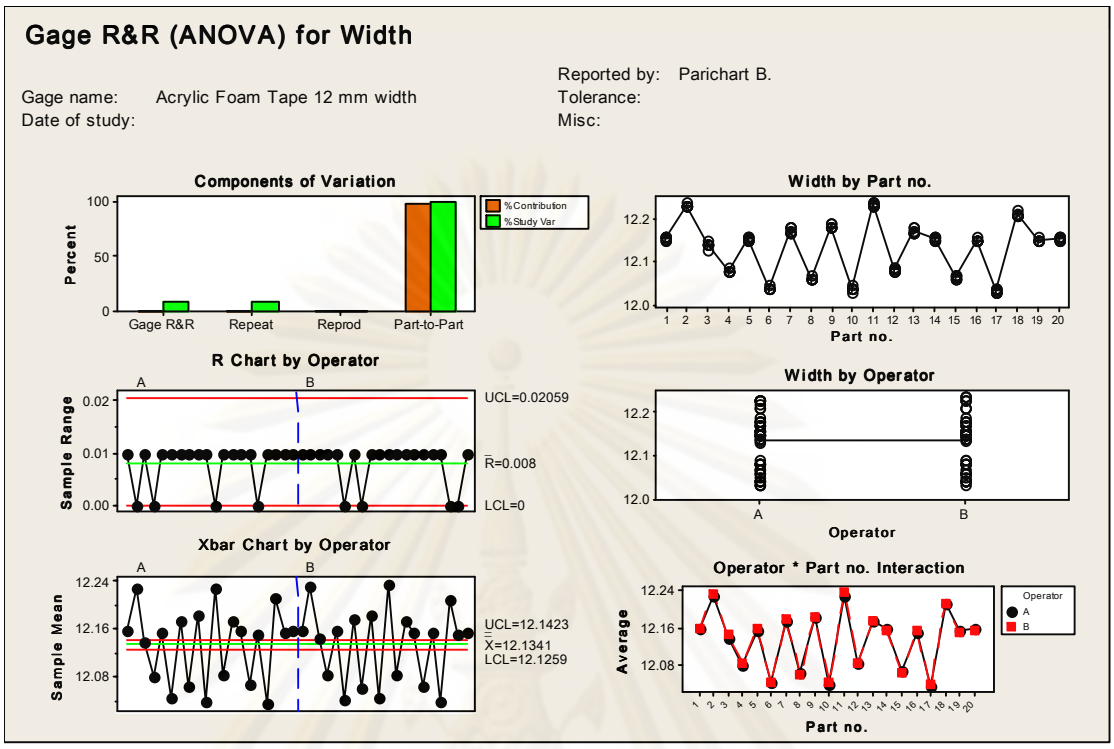
Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	19	0.456349	0.0240184	940.159	0.000
Operator	1	0.000021	0.0000208	0.815	0.369
Repeatability	99	0.002529	0.0000255		
Total	119	0.458899			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000255	0.63
Repeatability	0.0000255	0.63
Reproducibility	0.0000000	0.00
Operator	0.0000000	0.00
Part-To-Part	0.0039988	99.37
Total Variation	0.0040244	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance(0.6) (SV/Tolerance)
Total Gage R&R	0.0050544	0.030327	7.97	5.05
Repeatability	0.0050544	0.030327	7.97	5.05
Reproducibility	0.0000000	0.000000	0.00	0.00
Operator	0.0000000	0.000000	0.00	0.00
Part-To-Part	0.0632361	0.379417	99.68	63.24
Total Variation	0.0634378	0.380627	100.00	63.44

Number of Distinct Categories = 17



รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัด (GR&R) จากโปรแกรม MINITAB

การตีความหมายจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB

จากการพิจารณาค่า Number of Distinct Categories ได้เท่ากับ 17 แสดงว่าระบบการวัดที่ศึกษาทำการแยกข้อมูลที่วัดได้ ออกเป็น 17 ประเภทที่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าข้อมูลที่ได้จะใช้ประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดได้

1. ความผันแปรจากสิ่งตัวอย่าง จากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลทดลองทั้งหมด เมื่อประเมินผลความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (Precision to Total Variance : P/TV) แล้ว จะพบว่า ถ้าความผันแปรของกระบวนการผลิตที่ประเมินได้จากค่าวัดทั้งหมด (TV) มีค่าเท่ากับ 100หน่วยแล้ว จะเป็นความผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการผลิต 99.37 หน่วย และความผันแปรจากระบบการวัด 0.63 หน่วย จากค่า “VarComp” แสดงความแปรปรวนของการทดลองแบบตัวแบบสุ่ม ซึ่งจะพบความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมด มีค่า 0.0040244 หน่วย^2 โดยจะมาจาก ความแปรปรวนจากกระบวนการผลิต 0.0039988 หน่วย^2 และความแปรปรวนจากระบบการวัด 0.0000255 หน่วย^2

2. จากผลการวิเคราะห์ ANOVA พบว่า ผู้วัดทั้งสองคนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p-value = 0.369)

และจากการทดสอบการหาค่า พบว่า %Precision to total variation = 7.97%

%Precision to tolerance = 5.05%

ถือว่าระบบการตรวจวัดผ่านเป็นที่ยอมรับ

หมายเหตุ : AIAG (2001) ระบุ ค่าที่ยอมรับได้ของ Total Gage R & R ต้องไม่เกิน 10 %

ดังนั้น จากการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จาก โปรแกรม MINITAB สามารถสรุปได้ว่าความแม่นยำของระบบการวัดที่ใช้ในการวัดขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิค มีความเหมาะสม และอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถใช้งานในระบบการวัดได้

4.3 การวัดความสามารถของกระบวนการตัดเทปโฟมอะคริลิค (Initial Capability)

วัตถุประสงค์ ของการทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการตัดเทปโฟมอะคริลิคชนิด A เพื่อประเมินความผันแปรของกระบวนการและวิเคราะห์ความผันแปรที่เกิดขึ้น รวมถึงแหล่งความผันแปรต่างๆ เพื่อหาทางลดความผันแปรที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ วิธีการดำเนินการเก็บข้อมูล เพื่อนำมาศึกษาความสามารถของกระบวนการ เริ่มด้วยการออกแบบขนาดตัวอย่างสำหรับใช้วัดความสามารถของกระบวนการ และรวบรวมข้อมูลการวัดขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคชนิด A ที่ตัดได้ โดยเก็บข้อมูลจากพนักงานตัด คนเดียวกัน เพียงคนเดียว ตลอดระยะเวลาการเก็บข้อมูล

4.3.1 การออกแบบขนาดตัวอย่าง

สำหรับขนาดตัวอย่างที่ต่ำที่สุดสำหรับการประมาณค่า C_{pk} นี้ Bothe (1997, p.657) ได้ประมาณการจากสมการ

$$n \cong \left[\frac{1}{9C_{pk}^{\ 2}}+\frac{1}{2}\right]\left[\frac{Z_{\alpha/2}}{e_{ppk}}\right]^2 \qquad (4.1)$$

เมื่อ e_{ppk} คือ ค่าความแตกต่างระหว่างพิกัดความเชื่อมั่นกับค่ากลาง ซึ่งจากสมการ (4.1) จะพบว่าในการประมาณค่า n จะต้องมีการประมาณค่า C_{pk} ขึ้นมาเบื้องต้นก่อน จึงอาจทำให้ง่ายขึ้นโดยการกำหนดค่า C_{pk} ที่มีค่าต่ำสุดที่ยอมให้เกิด (อาจใช้ที่ 1.00) ดังนั้นจากสมการ (5.1) อาจทำให้ง่ายขึ้น โดย

$$n \cong \left[\frac{1}{9(1)^2}+\frac{1}{2}\right]\left[\frac{Z_{\alpha/2}}{e_{ppk}}\right]^2 \qquad (4.2)$$

$$n \geq 0.611.\left[\frac{Z_{\alpha/2}}{e_{ppk}}\right]^2 \qquad (4.3)$$

เมื่อกำหนดให้ช่วงความเชื่อมั่นแบบสองด้าน 95% ของดัชนี C_{pk} จะได้

$$n \geq 0.611.\left[\frac{Z_{0.025}}{0.05}\right]^2$$

$$n \geq 0.611.\left[\frac{1.96}{0.05}\right]^2 \cong 234 \text{ ตัวอย่าง}$$

ดังนั้น ควรใช้จำนวนตัวอย่างอย่างน้อย 234 ตัวอย่าง ในการเก็บข้อมูลวัดเพื่อหา C_{pk} ก่อนทำการทดลอง

4.3.2 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการก่อนการปรับปรุง

ในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการก่อนการทดลอง จะต้องมีการวัดทั้งในส่วนของตัว Primary Y และ Counter Balance คือ ขนาดหน้ากว้าง และรอบเวลาในการผลิต ตามลำดับ

ผู้วิจัยได้กำหนดให้พนักงานตัดและวัดชิ้นงานเป็นคนเดียวกัน และกำหนดให้ใช้เครื่องมือวัดเดียวกันจากเครื่องตัดเดียวกันกับที่ใช้ในการวิเคราะห์ GR&R โดยตัดชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 300 ม้วน ซึ่งมากกว่าจำนวนตัวอย่างขั้นต่ำ คือ 234 ตัวอย่าง (จากข้อ 4.3.1) และในการจับเวลา เพื่อวัดรอบเวลาในการผลิตแต่ละม้วน ให้ผู้วัดเป็นพนักงานอีกคนหนึ่ง ซึ่งกำหนดไว้แล้วว่าจะเป็นคนจับเวลาทั้งก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงกระบวนการ ในการจับเวลาจะเริ่มจับตั้งแต่เริ่มหยิบม้วนวัตถุดิบขึ้นมาติดตั้งจนตัดจบม้วนผลิตภัณฑ์ม้วนที่ 100 และสิ้นสุดการจับเวลา เมื่อยกม้วนวัตถุดิบลงมาวางบนโต๊ะตรวจสอบชิ้นงานเสร็จ โดยผลการวัดขนาดหน้ากว้างของม้วนผลิตภัณฑ์ที่ตัดได้แสดงตารางที่ ก.1 ในภาคผนวก ก

- ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ : Primary Y

ขั้นแรก จะทำการตรวจสอบข้อมูลที่ได้ว่าเป็นการกระจายแบบปกติหรือไม่

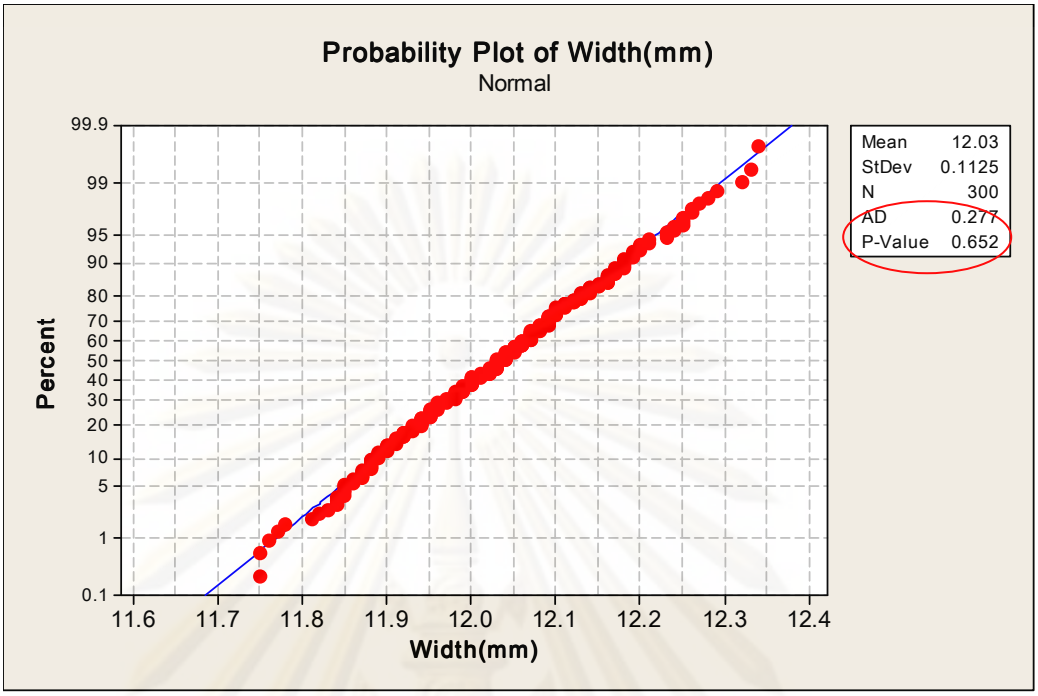
กรณีนี้ H_0 : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบไม่ปกติ

จะ reject H_0 เมื่อ p-value $\leq$ 0.05 (ระดับนัยสำคัญ)

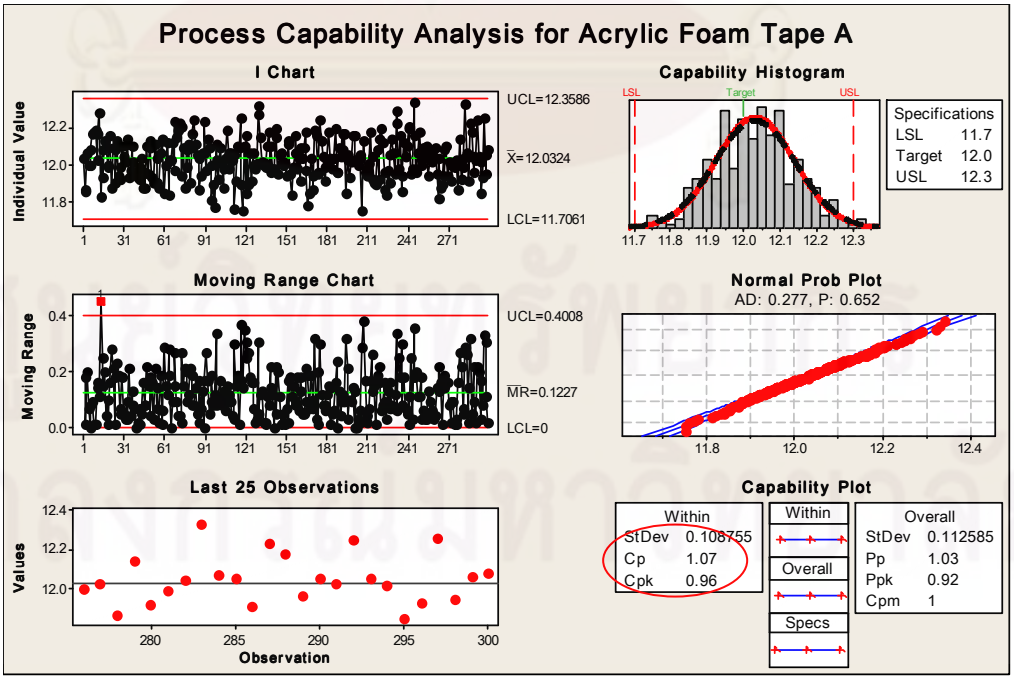
โดยผลการทำ Normality Test ได้ผลดังรูปที่ 4.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 การทำ Normality Test สำหรับข้อมูลค่าวัดขนาดหน้ากว้าง

จาก Normality Test พบว่า p-value = 0.652 มากกว่า ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้น ไม่ reject H_0 แสดงว่า ข้อมูลขนาดหน้ากว้างที่ได้ มีการกระจายแบบปกติ ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) จากโปรแกรม MINITAB แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ Process Capability Analysis ด้วยการใช้โปรแกรม MINITAB

จากผลการทำ Process Capability Analysis ในรูปที่ 4.3 จะเห็นว่า ความสามารถในการตัดเทปกาว มีขนาดหน้ากว้าง ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.0324 มม. ค่อนข้างห่างจากเป้าหมาย (Target) ที่ 12.00 มม. แสดงว่า มีค่า Bias เกิดขึ้น ถือว่าความสามารถของกระบวนการของค่าเฉลี่ยที่ทำได้ยังไม่ดี ส่วน C_{pk} และ C_p ที่ได้ มีค่าค่อนข้างต่ำ คือ 0.96 และ 1.07 ตามลำดับ แสดงว่า มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานค่อนข้างสูง สามารถปรับปรุงกระบวนการให้ดีกว่านี้ได้ โดยการทดสอบและออกแบบการทดลองเพื่อหาพารามิเตอร์ในการปรับ ตั้งที่เหมาะสมที่สุด

- ผลการวิเคราะห์รอบเวลาการผลิต : Counter Balance

จากการจับเวลาเพื่อหารอบเวลาในการตัดเทปโฟมอะคริลิคชนิด A ก่อนทำการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการ พบว่า ค่าเฉลี่ยรอบเวลาในการผลิตแต่ละม้วนผลิตภัณฑ์อยู่ที่ 6.26 วินาที ต่อม้วนซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบกับผลการวัดรอบเวลาอีกครั้งหนึ่งหลังการทำการปรับปรุงกระบวนการแล้ว ซึ่งผู้วิจัยกำหนดให้ทำการวัดด้วยสภาวะที่เหมือนกันโดยผู้วัดคนเดียวกัน เพื่อเป็นการยืนยันผลหลังการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการเป้าหมาย ซึ่งในที่นี้คือ ความผันแปรของขนาดหน้ากว้าง ว่าจะไม่เกิดผลกระทบที่ทำให้ความสามารถของกระบวนการด้านอื่นแย่ลง ซึ่งที่กำหนดในที่นี้ คือ รอบเวลาในการผลิต ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีโอกาสได้รับผลกระทบจากการปรับปรุงการดังกล่าวมากที่สุด

4.4 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าหลัก (Key Process Input Variables : KPIVs)

เป็นขั้นตอนที่ใช้การระดมความคิดจากทีมที่ทำการคัดเลือกจากระยะนิยามปัญหา เพื่อทำให้ทราบถึงปัจจัยนำเข้าและปัจจัยที่ออกมาทั้งหมด และหาสาเหตุที่มีผลต่อความผันแปรขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคที่ได้จากกระบวนการตัด โดยมีขั้นตอนต่างๆ เป็นดังนี้

- การใช้แผนผังกระบวนการ (Process Mapping) ในการระดมความคิดเพื่อหาปัจจัยนำเข้าทั้งหมดของกระบวนการผลิตเทปโฟมอะคริลิค เนื่องจากทำให้มองเห็นปัจจัยนำเข้าทุกๆ ตัวของกระบวนการ ไม่มีปัจจัยนำเข้าตัวใด หลุดรอดการพิจารณาตรวจสอบไปได้
- จากนั้นนำปัจจัยนำเข้าทั้งหมดที่เกิดจากการระดมความคิดในแผนผังกระบวนการ มาทำการวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคที่ได้จากกระบวนการตัดมากที่สุดตามลำดับโดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (C&E Matrix) เพื่อเรียงลำดับความสำคัญ และกรองปัจจัยนำเข้า(X's) ในขั้นแรก
- ต่อจากนั้นนำปัจจัยนำเข้า ที่ครอบคลุมปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคที่ได้จากกระบวนการตัดประมาณ 80% (ตามหลักการพาเรโต) ตั้งแต่ลำดับแรกลงมาตามลำดับ มาวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) เพื่อประเมินความร้ายแรงที่เกิดขึ้นของผลกระทบในแต่ละปัจจัยที่ออกมา

4.4.1 การระดมความคิดแผนผังกระบวนการ (Process Mapping)

ขั้นตอนนี้ทำขึ้นเพื่อทำให้ทราบถึงปัจจัยนำเข้าและปัจจัยที่ออกมาทั้งหมด ของกระบวนการผลิตเทปโฟมอะคริลิค โดยฝั่งซ้ายเป็นปัจจัยนำเข้า ตรงกลางเป็นกระบวนการ และฝั่งขวาเป็นปัจจัยออกมาของกระบวนการ โดยผู้จัดทำและคณะได้ทำการวิเคราะห์กระบวนการตัดเทปออกเป็น 8 กระบวนการ คือ การเตรียมและตรวจรับม้วนวัตถุดิบ(ล็อกโรล), การติดตั้งม้วนวัตถุดิบที่เครื่องตัด, การปรับตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องตัด, ทำการตัด, วัดหน้ากว้างม้วนผลิตภัณฑ์เทปกาวและตรวจสอบด้วยสายตา, แก้ไขงาน และการบรรจุและตรวจสอบด้วยสายตาขั้นสุดท้าย ได้ปัจจัยนำเข้าและปัจจัยออกมา ทั้งหมด แยกวิเคราะห์รายละเอียดตามกระบวนการ เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.3 แผนผังกระบวนการแสดงปัจจัยนำเข้าทั้งหมดของกระบวนการผลิตเทปโฟมอะคริลิค

Detail Map		
ปัจจัยนำเข้า	**กระบวนการ**	**ปัจจัยออกมา**
ใบสั่งผลิต รถยก Hand lift วัตถุดิบ (ม้วนล็อกโรล) พนักงานตัด ขั้นตอน/วิธีการตรวจรับ วิศวกรคุรภาพ	**ตรวจรับและเตรียมม้วนวัตถุดิบ**	ม้วนวัตถุดิบที่ผ่านการตรวจรับ ม้วนวัตถุดิบสามารถนำมาตัดได้
ม้วนวัตถุดิบสามารถนำมาตัดได้ ขั้นตอน/วิธีการติดตั้งม้วนวัตถุดิบ พนักงานตัด เครื่องตัด ระบบการล็อกม้วนวัตถุดิบ เพลาสวมม้วนวัตถุดิบ	**ติดตั้งม้วนวัตถุดิบที่เครื่องตัด**	ม้วนวัตถุดิบพร้อมตัดบนเครื่องตัด เครื่องตัดพร้อมที่จะทำการปรับตั้ง
ม้วนวัตถุดิบพร้อมตัดบนเครื่องตัด เครื่องตัดพร้อมที่จะทำการปรับตั้ง ชนิดของใบมีดตัด ความเร็วรอบของเพลา ความเร็วรอบของใบมีด ความเร็วในการเข้าของใบมีดสัมผัสกับผิววัตถุดิบ ความเร็วในการเข้าของใบมีดในเนื้อวัตถุดิบ ความเร็วในการเข้าของใบมีดบริเวณแกนคอร์ ค่าขนาดหน้ากว้างที่ต้องการที่ป้อนเข้าไป มุมของหน้าใบมีด ระนาบของหน้าใบมีด (Blade Alignment) มุมคมตัดของใบมีด น้ำสบู่ พนักงานตัด ขั้นตอน/วิธีการปรับตั้งเครื่องตัด แบบฟอร์มรายงานการผลิต	**ปรับตั้งเครื่องตัด**	เครื่องตัดพร้อมใช้งาน ใบรายงานการผลิตประจำวันที่ระบุ สภาวะการปรับตั้งเครื่องตัด

Detail Map		
ปัจจัยนำเข้า	**กระบวนการ**	**ปัจจัยออกมา**
เครื่องตัดพร้อมใช้งาน ม้วนวัตถุดิบพร้อมตัดบนเครื่องตัด ใบสั่งผลิต พารามิเตอร์เครื่องตัด น้ำสบู่ พนักงานตัด ขั้นตอน/วิธีการตัด ใบรายงานการผลิตประจำวัน	**ตัดม้วนวัตถุดิบ**	ม้วนเทปของดี ม้วนเทปของเสีย เศษเหลือจากการตัด ใบรายงานสั่งผลิตที่ระบุจำนวนการใช้
เอกสารควบคุมคุณภาพ/แผนควบคุม มาตรฐานการตรวจลักษณะด้วยสายตา พนักงานตัด ขั้นตอน/วิธีการวัด เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ โต๊ะงานตรวจสอบ แบบฟอร์มการตรวจสอบ ใบรายงานการผลิตประจำวัน	**ตรวจสอบขนาดหน้ากว้างและลักษณะภายนอก**	ม้วนเทปของดี ม้วนเทปของเสีย ใบรายงานการผลิต ใบรายงานการตรวจสอบ
แกนสำหรับใช้เข้าม้วนใหม่ มาตรฐานการตรวจลักษณะด้วยสายตา พนักงานแพ็ค ขั้นตอน/วิธีการแก้ไขงาน โต๊ะงานตรวจสอบ เครื่องเข้าม้วนใหม่ ม้วนเสียที่นำกลับมาซ่อมแซมได้	**ปรับปรุง/ซ่อมแซมม้วนเสียที่นำกลับมาซ่อมแซมได้**	ม้วนเทปของดี ม้วนเทปของเสีย ใบรายงานสั่งผลิตที่ระบุจำนวนการใช้สุดท้าย
ภาชนะบรรจุ (กล่อง, ถุง, ฉลาก ฯลฯ) มาตรฐานการตรวจลักษณะด้วยสายตา พนักงานแพ็ค มาตรฐาน/ขั้นตอน/วิธีการบรรจุ โต๊ะงานตรวจสอบ เครื่องซีลถุง ใบรายงานการตรวจสอบ	**แพ็คและตรวจสอบขั้นสุดท้าย**	ผลิตภัณฑ์พร้อมส่งมอบ ม้วนเทปของเสีย ใบรายงานการตรวจสอบฉบับสมบูรณ์ ใบรายงานสั่งผลิตที่ระบุจำนวนการใช้สุดท้าย ใบรายงานการผลิตฉบับอย่างสมบูรณ์

จากนั้นนำปัจจัยนำเข้าทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคที่ได้จากกระบวนการตัดมากที่สุดตามลำดับโดยใช้ C&E Matrix เพื่อกรองปัจจัยนำเข้า (X's) ในขั้นแรก

4.4.2 การวิเคราะห์สาเหตุและผลโดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause-and-Effect Matrix : C&E Matrix)

เมื่อทำการศึกษากระบวนการโดยครบถ้วนแล้ว จะทำให้ทราบว่าตัวแปรเข้าทั้งหมดของกระบวนการมีอะไรบ้าง ต่อมาจึงมีความจำเป็นต้องทำการระดมสมองเพื่อทำการให้คะแนนปัจจัยนำเข้าทั้งหมดเพื่อหาปัจจัยนำเข้า ที่มีอาจมีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของ

ขนาดหน้ากว้าง (Primary Y) และ รอบเวลาในการผลิต (Counter Balance) มากน้อยแค่ไหน ซึ่งระดับคะแนน จะกำหนดให้แตกต่างกันมากเพื่อให้สามารถแยกความสำคัญได้อย่างชัดเจนมากขึ้น ในการร่วมให้คะแนนนี้เป็นไปตามความรู้และประสบการณ์ของแต่ละบุคคลในทีม

เกณฑ์การให้คะแนนเป็นดังนี้

- ให้คะแนน 9 สำหรับปัจจัยนำเข้ามีผลโดยตรงและกระทบอย่างแรงต่อค่าเฉลี่ย, ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และรอบเวลาในการผลิต
- ให้คะแนน 3 สำหรับปัจจัยนำเข้ามีผลโดยตรงและกระทบพอสมควรต่อค่าเฉลี่ย, ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และรอบเวลาในการผลิต
- ให้คะแนน 1 สำหรับปัจจัยนำเข้ามีผลโดยตรงและกระทบบ้างต่อค่าเฉลี่ย, ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และรอบเวลาในการผลิต
- ให้คะแนน 0 สำหรับปัจจัยนำเข้าที่ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ย,ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และรอบเวลาในการผลิต โดยผลเป็นดังนี้

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์สาเหตุและผลโดยใช้ C&E Matrix

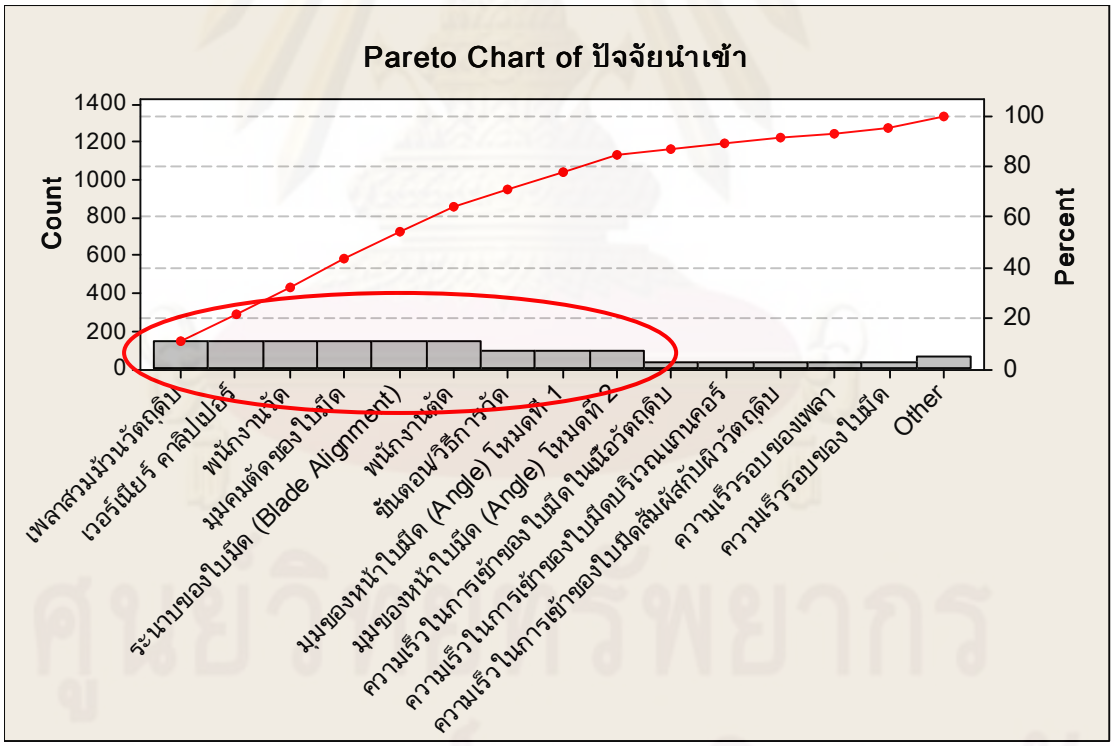
C&E Matrix						
ลำดับ	กระบวนการ	ปัจจัยนำเข้า	ผลต่อค่าเฉลี่ย	ผลต่อความเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ผลต่อรอบเวลาในการผลิต	คะแนนรวม
			10	10	6	
1	ปรับตั้งเครื่องตัด	มุมคมตัดของใบมีด	9	9	0	180
2	ปรับตั้งเครื่องตัด	ระนาบของใบมีด (Blade Alignment)	9	9	0	180
3	ตรวจสอบขนาดหน้ากว้างและลักษณะภายนอก	เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์	9	9	0	180
4	ตรวจสอบขนาดหน้ากว้างและลักษณะภายนอก	พนักงานวัด	9	9	0	180
5	ติดตั้งม้วนวัตถุดิบที่เครื่องตัด	เพลาสวมม้วนวัตถุดิบ	9	9	0	180
6	ติดตั้งม้วนวัตถุดิบที่เครื่องตัด	พนักงานตัด	9	3	3	138
7	ปรับตั้งเครื่องตัด	มุมของหน้าใบมีด (Angle) โหมดที่ 1	9	0	0	90
8	ตรวจสอบขนาดหน้ากว้างและลักษณะภายนอก	ขั้นตอน/วิธีการวัด	9	0	0	90
9	ปรับตั้งเครื่องตัด	มุมของหน้าใบมีด (Angle) โหมดที่ 2	9	0	0	90
10	ปรับตั้งเครื่องตัด	ชนิดของใบมีดตัด	3	0	0	30

C&E Matrix						
ลำดับ	กระบวนการ	ปัจจัยนำเข้า	ผลต่อค่าเฉลี่ย	ผลต่อความเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ผลต่อรอบเวลาในการผลิต	คะแนนรวม
			10	10	6	
11	ตัดม้วนวัตถุดิบ	น้ำสบู่	3	0	0	30
12	ปรับตั้งเครื่องตัด	ความเร็วรอบของเพลา	0	0	3	30
13	ปรับตั้งเครื่องตัด	ความเร็วรอบของใบมีด	0	0	3	30
14	ปรับตั้งเครื่องตัด	ความเร็วในการเข้าของใบมีดในเนื้อวัตถุดิบ	0	0	3	30
15	ปรับตั้งเครื่องตัด	ความเร็วในการเข้าของใบมีดสัมผัสกับผิววัตถุดิบ	0	0	3	30
16	ปรับตั้งเครื่องตัด	ความเร็วในการเข้าของใบมีดบริเวณแกนคอร์	0	0	3	30
17	ติดตั้งม้วนวัตถุดิบที่เครื่องตัด	ระบบการล็อกม้วนวัตถุดิบ	0	0	0	0
18	ปรับตั้งเครื่องตัด	น้ำสบู่	0	0	0	0
19	ตรวจรับและเตรียมม้วนวัตถุดิบ	ใบสั่งผลิต	0	0	0	0
20	ตรวจรับและเตรียมม้วนวัตถุดิบ	รถยก Hand lift	0	0	0	0
21	ตรวจรับและเตรียมม้วนวัตถุดิบ	วัตถุดิบ (ม้วนล็อกโรล)	0	0	0	0
22	ตรวจรับและเตรียมม้วนวัตถุดิบ	พนักงานตัด	0	0	0	0
23	ตรวจรับและเตรียมม้วนวัตถุดิบ	ขั้นตอน/วิธีการตรวจรับ	0	0	0	0
24	ตรวจรับและเตรียมม้วนวัตถุดิบ	วิศวกรคุรภาพ	0	0	0	0
25	ติดตั้งม้วนวัตถุดิบที่เครื่องตัด	ม้วนวัตถุดิบที่ผ่านการตรวจรับ	0	0	0	0
26	ติดตั้งม้วนวัตถุดิบที่เครื่องตัด	ขั้นตอน/วิธีการติดตั้งม้วนวัตถุดิบ	0	0	0	0
27	ติดตั้งม้วนวัตถุดิบที่เครื่องตัด	เครื่องตัด	0	0	0	0
28	ปรับตั้งเครื่องตัด	ม้วนวัตถุดิบพร้อมตัดบนเครื่องตัด	0	0	0	0
29	ปรับตั้งเครื่องตัด	เครื่องตัดพร้อมที่จะทำการปรับตั้ง	0	0	0	0
30	ปรับตั้งเครื่องตัด	พนักงานตัด	0	0	0	0
31	ปรับตั้งเครื่องตัด	ขั้นตอน/วิธีการปรับตั้งเครื่องตัด	0	0	0	0

C&E Matrix						
ลำดับ	กระบวนการ	ปัจจัยนำเข้า	ผลต่อค่าเฉลี่ย	ผลต่อความเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ผลต่อรอบเวลาในการผลิต	คะแนนรวม
			10	10	6	
32	ปรับตั้งเครื่องตัด	แบบฟอร์มรายงานการผลิต	0	0	0	0
33	ตัดม้วนวัตถุดิบ	เครื่องตัดพร้อมใช้งาน	0	0	0	0
34	ตัดม้วนวัตถุดิบ	ม้วนวัตถุดิบพร้อมตัดบนเครื่องตัด	0	0	0	0
35	ตัดม้วนวัตถุดิบ	ใบสั่งผลิต	0	0	0	0
36	ตัดม้วนวัตถุดิบ	พนักงานตัด	0	0	0	0
37	ตัดม้วนวัตถุดิบ	ขั้นตอน/วิธีการตัด	0	0	0	0
38	ตัดม้วนวัตถุดิบ	ใบรายงานการผลิตประจำวัน	0	0	0	0
39	ตรวจสอบขนาดหน้ากว้างและลักษณะภายนอก	เอกสารควบคุมคุณภาพ/แผนควบคุม	0	0	0	0
40	ตรวจสอบขนาดหน้ากว้างและลักษณะภายนอก	มาตรฐานการตรวจลักษณะด้วยสายตา	0	0	0	0
41	ตรวจสอบขนาดหน้ากว้างและลักษณะภายนอก	โต๊ะงานตรวจสอบ	0	0	0	0
42	ตรวจสอบขนาดหน้ากว้างและลักษณะภายนอก	แบบฟอร์มการตรวจสอบ	0	0	0	0
43	ตรวจสอบขนาดหน้ากว้างและลักษณะภายนอก	ใบรายงานการผลิตประจำวัน	0	0	0	0
44	ปรับปรุง/ซ่อมแซมม้วนเสียที่นำกลับมาซ่อมแซมได้	แกนสำหรับใช้เข้าม้วนใหม่	0	0	0	0
45	ปรับปรุง/ซ่อมแซมม้วนเสียที่นำกลับมาซ่อมแซมได้	มาตรฐานการตรวจลักษณะด้วยสายตา	0	0	0	0
46	ปรับปรุง/ซ่อมแซมม้วนเสียที่นำกลับมาซ่อมแซมได้	พนักงานแพ็ค	0	0	0	0
47	ปรับปรุง/ซ่อมแซมม้วนเสียที่นำกลับมาซ่อมแซมได้	ขั้นตอน/วิธีการแก้ไขงาน	0	0	0	0
48	ปรับปรุง/ซ่อมแซมม้วนเสียที่นำกลับมาซ่อมแซมได้	โต๊ะงานตรวจสอบ	0	0	0	0
49	ปรับปรุง/ซ่อมแซมม้วนเสียที่นำกลับมาซ่อมแซมได้	เครื่องเข้าม้วนใหม่	0	0	0	0
50	ปรับปรุง/ซ่อมแซมม้วนเสียที่นำกลับมาซ่อมแซมได้	ม้วนเสียที่นำกลับมาซ่อมแซมได้	0	0	0	0
51	แพ็คและตรวจสอบขั้นสุดท้าย	ภาชนะบรรจุ (กล่อง, ถุง, ฉลาก ฯลฯ)	0	0	0	0
52	แพ็คและตรวจสอบขั้นสุดท้าย	มาตรฐานการตรวจลักษณะด้วยสายตา	0	0	0	0
53	แพ็คและตรวจสอบขั้นสุดท้าย	พนักงานแพ็ค	0	0	0	0

C&E Matrix						
ลำดับ	กระบวนการ	ปัจจัยนำเข้า	ผลต่อค่าเฉลี่ย	ผลต่อความเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ผลต่อรอบเวลาในการผลิต	คะแนนรวม
			10	10	6	
54	แพ็คและตรวจสอบขั้นสุดท้าย	มาตรฐาน/ขั้นตอน/วิธีการบรรจุ	0	0	0	0
55	แพ็คและตรวจสอบขั้นสุดท้าย	โต๊ะงานตรวจสอบ	0	0	0	0
56	แพ็คและตรวจสอบขั้นสุดท้าย	เครื่องซีลถุง	0	0	0	0
57	แพ็คและตรวจสอบขั้นสุดท้าย	ใบรายงานการตรวจสอบ	0	0	0	0

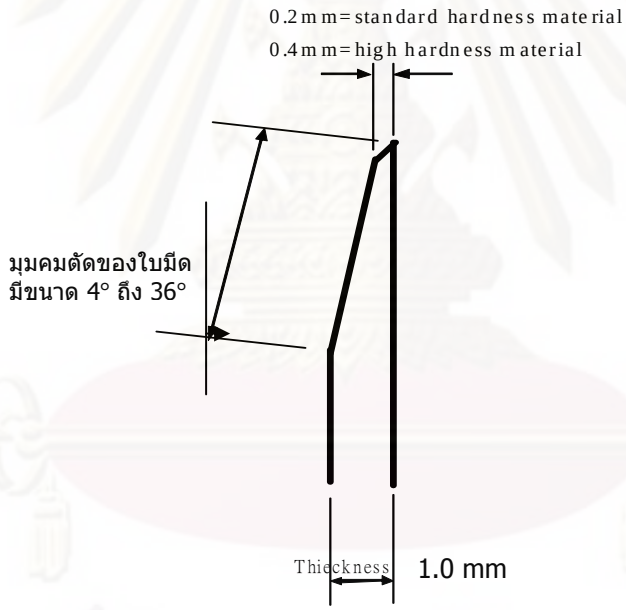
จาก C&E Matrix คะแนนรวมความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อค่าเฉลี่ย, ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และรอบเวลาในการผลิต จากกระบวนการตัดมากที่สุด เรียงตามลำดับลงมา สามารถนำมาพล็อตกราฟพาเรโตได้ผลดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.4 แผนภาพพาเรโตแสดงความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคที่ได้จากกระบวนการตัด

ปัจจัยนำเข้า 9 ปัจจัยแรก ที่คาดว่ามีความสัมพันธ์กับผลตอบ (Response) คือ ค่าเฉลี่ย และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของม้วนเทปโฟมอะคริลิคที่ได้จากกระบวนการตัด รวมถึงรอบเวลาในการผลิต โดยเมื่อพิจารณาจากแผนภาพพาเรโต พบว่าเป็นไปตามกฎ 80 : 20 คือ 9 ปัจจัยแรกมีคะแนนรวมที่ 86.2% โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับแต่ละปัจจัย ดังนี้

- มุมคมตัดของใบมีดตัด ปกติที่คมตัดของใบมีดตัดจะมีมุมอยู่ค่าหนึ่ง ตอนซื้อมา คือ 4° หากใช้งานไประยะหนึ่งแล้ว เมื่อนำใบมีดตัดมาลับคมอาจทำให้มุมของใบมีดมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมได้ อาจเป็นไปได้ว่า ถ้ามุมคมตัดของใบมีดมีขนาดมุมใหญ่จะทำให้ตัดชิ้นงานได้ขนาดหน้ากว้างเล็กกว่าค่าขนาดหน้ากว้างที่ตั้งไว้ เนื่องจากกินเนื้อเทปมากกว่า ส่วนมุมคมตัดที่มีขนาดมุมน้อย จะทำให้ตัดชิ้นงานได้ขนาดหน้ากว้างโตกว่าค่าขนาดหน้ากว้างที่ตั้งไว้ เนื่องจากกินเนื้อเทปน้อยกว่า ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่อาจมีผลต่อค่าเฉลี่ยและค่าความผันแปรของขนาดหน้ากว้างที่ตัดได้



รูปที่ 4.5 ลักษณะของปลายใบมีดตัดและมุมคมตัด

- ระนาบของใบมีด เนื่องจากใบมีดตัดมีรูปร่างเป็นแผ่นกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 มิลลิเมตร และมีรูตรงกลางเส้นผ่านศูนย์กลาง 76.2 มิลลิเมตร หรือ 3 นิ้ว สำหรับยึดกับเพลาของแกนมอเตอร์ขับใบมีด โดยจะหมุนรอบตัวเองในขณะตัด ในการปรับตั้งระนาบของใบมีด จะทำให้มีดหมุนได้ระนาบ และไม่แกว่ง ได้มีการกำหนดให้ต้องทำการปรับตั้งโดยใช้เครื่องมือวัด Dial Gauge ทุกครั้ง ที่มีการติดตั้งใบมีดใหม่ หากใช้งานไประยะหนึ่ง อาจทำให้น็อตคลาย หรือใบมีดไม่ติดแน่นกับแท่นยึดเหมือนช่วงที่ติดตั้งใหม่ๆใบมีดอาจแกว่งทำให้เกิดความผันแปรของขนาดหน้ากว้างที่ตัดได้

- เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ เป็นเครื่องมือวัดสำหรับใช้วัดขนาดหน้ากว้างของม้วนผลิตภัณฑ์เพื่อการยอมรับ จึงมีผลโดยตรงต่อความถูกต้องของค่าวัดที่วัดได้
- พนักงานวัด โดยปกติจะเป็นพนักงานคนเดียวกันกับคนตัด จะเป็นผู้ใช้เครื่องมือวัดในการวัดและอ่านค่าผลที่วัดได้ อาจมีความผิดพลาดโดยตรงต่อผลการวัดได้
- ความแน่นของเพลาสวมม้วนวัตถุดิบ เป็นเพลาที่ประกอบด้วยเหล็กตันทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้วครึ่งและถูกหุ้มด้วยวัสดุ ที่ทำจากโพลีโพรพิลีน โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกรวม เท่ากับ 76.2 มิลลิเมตร หรือ 3 นิ้ว ใช้สำหรับสวมแกนม้วนของวัตถุดิบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใน 3 นิ้ว เข้าไป จากนั้นทำการล็อคโดยหัวล็อคของเครื่อง จนมีเสียงดังคลิ๊ก ซึ่งระบบล็อคม้วนวัตถุดิบเป็นระบบหัวล็อคความปลอดภัย คือ หากล็อคไม่แน่น หากกดปุ่มรันเครื่องแล้วเครื่องจะไม่ทำงาน โดยปกติเพลาใหม่ๆ จะมีความฟิต คือ เมื่อสวมแกนม้วนวัตถุดิบเข้าไปแล้ว จะขยับม้วนวัตถุดิบได้น้อยมาก ๆ ทำให้ม้วนวัตถุดิบนิ่ง ใบมีดที่ตัดลงไปจะแม่นยำ กรณีใช้ไประยะหนึ่งแล้ว จะทำให้เพลาส่วนที่เป็นพลาสติกโพลีโพรพีลีนนี้เกิดการสึกหรอ และเล็กกว่าปกติ จนสามารถขยับม้วนวัตถุดิบได้มาก อาจทำให้เกิดการแกว่งของม้วนวัตถุดิบ ทำให้ความแม่นยำในการลงของใบมีดตัดลดลง เกิดความผันแปรของขนาดหน้ากว้างสูงได้
- พนักงานตัด มีผลต่อ ขนาดหน้ากว้างที่ตัดได้ เนื่องจากเป็นผู้ติดตั้งม้วนวัตถุดิบ บนเครื่องตัดหากติดตั้งไม่แน่น จะมีผลทำให้ขนาดหน้ากว้างที่ได้ไม่สม่ำเสมอ ทำให้ใหญ่กว่าหรือเล็กกว่าค่าเป้าหมาย
- มุมของใบมีดตัด มีผลต่อทิศทางการลงใบมีดตัด และเนื่องจากการรายงานผลค่าวัดที่ได้ เป็น ค่าที่เบี่ยงเบนจากเป้าหมายมากที่สุด ดังนั้น หากผลการวัดจาก 8 จุด ของม้วนเทปทั้งรอบนอก และรอบในบริเวณแกนคอร์ ถ้าจุดใดจุดหนึ่ง ของ 8 จุดนี้ออกนอกค่าการยอมรับจะถือว่า ม้วนนั้นมีขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับด้วย จะต้องทิ้งม้วนนั้นไป โดยการตั้งพารามิเตอร์มุมของใบมีดตัด (Angle) ของเครื่องตัดที่ศึกษา จะถูกตั้งอยู่ในโปรแกรมการตัด ซึ่งเครื่องตัดชนิดนี้สามารถตั้งจำนวนโหมดในโปรแกรมขณะตัดได้ 2 โหมด คือ โหมดที่ 1 ใช้ตัดชิ้นงานช่วงที่ 1 จากนั้นจะเริ่มรันในโหมดที่ 2 ใช้ตัดชิ้นงานช่วงที่ 2 จนครบจำนวนม้วนที่ตั้งเอาไว้ เช่น การตัดเทปโฟมอะคริลิคชนิด A ตัดจากม้วนวัตถุดิบมีขนาดหน้ากว้าง 1200 มิลลิเมตร ตัดเป็นม้วนผลิตภัณฑ์ที่ขนาดหน้ากว้าง 12 มิลลิเมตร จะตัดได้ทั้งหมด 100 ม้วน ต่อการขึ้นตัด 1 ครั้ง ดังนั้น โหมดที่ 1 ตั้งจำนวนม้วนตัดไว้ที่ 50 ม้วน โดย

ป้อนค่ามุมของการตัดไว้ค่าหนึ่ง และ โหมดที่ 2 ตั้งจำนวนม้วนตัดที่ 50 ม้วนเช่นกัน (สามารถตั้งให้ไม่เท่ากันก็ได้ แต่ไม่ควรต่างกันมาก) โดยป้อนค่ามุมของการตัดไว้อีกค่าหนึ่งที่แตกต่างกันกับโหมดแรก เนื่องจากตามประสบการณ์ของทีม พบว่า หากมีการตั้งค่ามุมของใบมีดทั้งสองโหมดที่เท่ากันจะทำให้ความผันแปรของขนาดหน้ากว้างมีมากกว่าปกติ

- ขั้นตอน/วิธีการวัด มีผลโดยตรงต่อความถูกต้องของผลการวัดที่ได้ หากวิธีการวัดไม่ถูกต้อง

4.4.3 การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA)

จากกราฟพาเรโตของการวิเคราะห์สาเหตุและผล ด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause-and-Effect Matrix) จะเห็นว่า 9 ปัจจัยแรก ครอบคลุมปัจจัยนำเข้า (KPIVs) ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคที่ 86.2% เราจึงนำปัจจัยนำเข้าใน 9 ลำดับแรกที่คาดว่ามีความสัมพันธ์กับผลตอบ (Response) คือ ค่าเฉลี่ย และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดหน้ากว้าง มาวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) เพื่อกลั่นกรองให้เหลือแต่ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ ก่อนนำไปทดลองในขั้นตอนถัดไป

จุดเด่นของการวิเคราะห์ FMEA อยู่ที่การคิดอย่างเป็นระบบและมีการคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ อย่างละเอียด ดังนั้น สาเหตุที่มิได้ทำการตัดออกในขั้นตอนของการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล (C&E Matrix) จะถูกนำมาทำการวิเคราะห์ต่อใน FMEA เพื่อค้นหาสาเหตุที่น่า จะมีผลกระทบต่อปัญหาที่ทำการศึกษามากที่สุดโดยมีขั้นตอน ดังนี้

- ทำการระดมความคิดจากทีม ซึ่งเป็นกลุ่มเดียวกับที่ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล (C&E Matrix) โดยการนำปัจจัยนำเข้า (KPIV) ใน 6 ลำดับแรก ที่คาดว่ามีความสัมพันธ์กับผลตอบ (Response) มาทำการวิเคราะห์ข้อขัดข้องและผลกระทบ (FMEA)
- ระดมความคิดในการแจกแจง การเกิดความเสียหายหรือข้อบกพร่องของปัจจัยนำเข้าที่มีโอกาสเกิด (Potential Failure Mode) ทั้ง 9 ปัจจัย ที่อาจมีผลกระทบต่อขนาดหน้ากว้างที่ได้จากการตัด รวมทั้งผลกระทบที่เกิดความเสียหายนั้น (Potential Failure Effects) ซึ่งก็คือผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้ ที่มีผลต่อขนาดหน้ากว้าง เมื่อเกิดความเสียหายขึ้น กับกระบวนการนั้นๆ จากนั้นให้คะแนนความร้ายแรง (Severity Score :S) ซึ่งเป็นการประเมินความร้ายแรงที่เกิดขึ้นของผลกระทบในแต่ละความเสียหาย (Potential Failure Mode) ที่มีต่อการเกิดของเสียประเภทขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับ ซึ่งมาจากการประเมินของผลที่มีอยู่

การประเมินคะแนนความร้ายแรงของแต่ละผลกระทบดังกล่าวอยู่ในช่วงคะแนน 1 ถึง 10 คะแนนที่มีค่ามาก จะบอกถึงลักษณะผลกระทบที่มีความรุนแรงมาก ตามลำดับคะแนนเกณฑ์การ

สร้างช่วงคะแนนความร้ายแรง ได้กำหนดโดยประยุกต์ให้เข้ากับผลิตภัณฑ์และลักษณะปัญหาที่ทำการศึกษา (AIAG (2001) อ้างถึงใน กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2549)

- วิเคราะห์สาเหตุที่เป็นไปได้ของแต่ละความเสียหาย (Potential Causes) ที่ทำให้ขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับ และให้คะแนนความถี่ในการเกิด (Occurrence Score : O) ซึ่งเป็นการคาดคะเนความน่าจะเป็นที่สาเหตุของปัญหาที่ระบุจะเกิดขึ้น ในที่นี้มาจากข้อมูลที่เป็นจริงที่ทำการเก็บสถิติไว้ ของแต่ละกระบวนการ โดยช่วงคะแนนความถี่อยู่ในช่วง 1 ถึง 10 เหมือนการสร้างช่วงคะแนนความร้ายแรง
- พิจารณาระบบการตรวจจับในปัจจุบัน (Current Control) เป็นการอธิบายการป้องกันที่สามารถจะป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหาย หรือ เป็นการตรวจจับการเกิดขึ้นของความเสียหาย เพื่อพิจารณาหรือกำจัดสาเหตุของความเสียหายนั้น จากนั้นให้คะแนนการตรวจจับ (Detection Score : D) ซึ่งเป็นการประเมินคะแนนความสามารถของระบบควบคุมที่ใช้ในปัจจุบันที่ใช้ตรวจจับข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกิดขึ้นก่อนที่ผลิตภัณฑ์จะออกจากกระบวนการผลิต ช่วงคะแนนการตรวจจับอยู่ในช่วง 1 ถึง 10 เช่นกัน
- ทำการคำนวณค่า RPN (Risk Priority Number) โดยค่าความเสี่ยง (RPN) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย FMEA จะได้จากผลคูณระหว่างค่าความรุนแรง(Severity) กับโอกาสในการเกิด (Occurrence) และความสามารถในการป้องกัน (Detection) ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังสมการที่ 4.1

$$RPN = S \times O \times D \qquad (4.1)$$

เมื่อ S คือ ความรุนแรง, O คือ โอกาสในการเกิด1, D คือ ความสามารถในการป้องกัน

หลักเกณฑ์ในการให้คะแนนทั้ง 3 ค่า แสดงไว้ในภาคผนวก ก ตาราง ข-1, ข-2 และ ข-3 เป็นเกณฑ์การให้คะแนนที่ได้จากการอ้างอิงจากเกณฑ์การให้คะแนนของ AIAG (2001) ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ใช้กับอุตสาหกรรมยานยนต์ ดังนั้นในการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมที่แตกต่างออกไป จึงได้ทำการปรับเกณฑ์ให้เหมาะสมกับลักษณะของอุตสาหกรรม รวมทั้งปริมาณของเสียที่พบในปัจจุบันด้วย ซึ่งการปรับเกณฑ์นี้ก็ได้จากการระดมความคิดของคณะทำงานของโครงการที่มีความรู้ ความชำนาญและประสบการณ์ที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิตเทปกาว เพื่อให้ได้เกณฑ์การให้คะแนนที่เหมาะสมกับสภาพปัญหา และสามารถนำไปใช้งานได้จริง

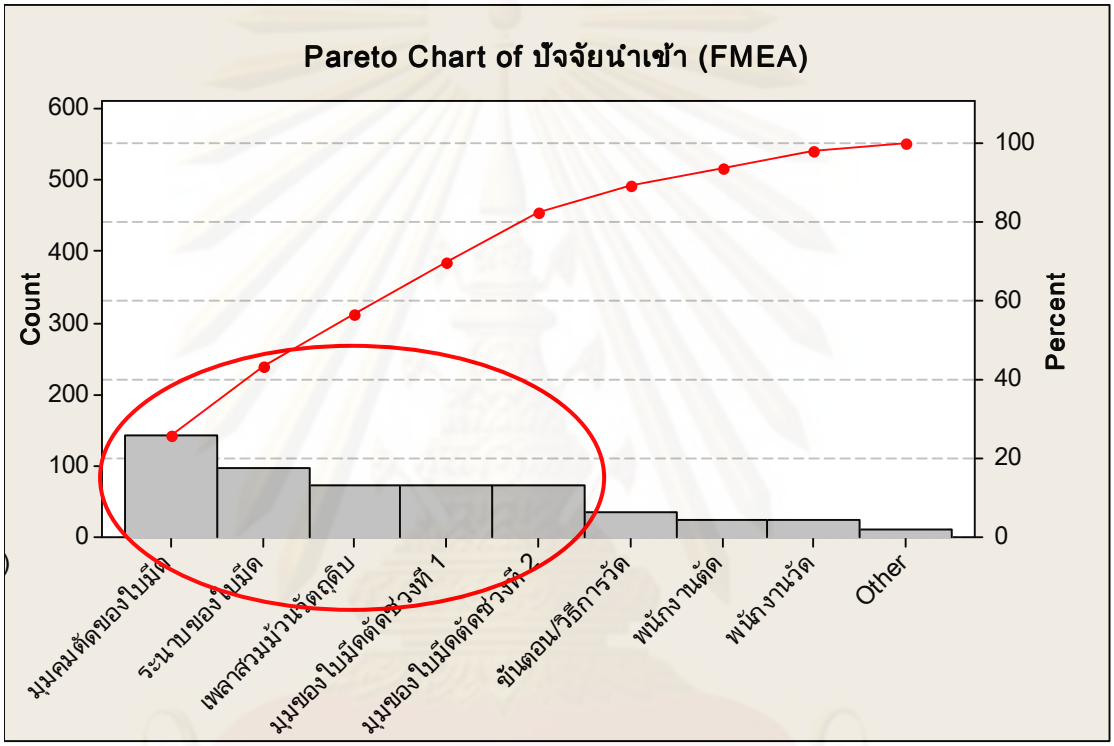
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA)

Process/Product Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)										
ลำดับ	กระบวนการ	ปัจจัยนำเข้าหลักที่ได้จากขั้นตอนC&E	ข้อบกพร่องของปัจจัยนำเข้าที่มีโอกาสเกิด	ผลกระทบต่อความต้องการของลูกค้าหรือปัจจัยที่ออกมาจากการเกิดข้อบกพร่องของปัจจัยนำเข้า	ความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้น	สาเหตุที่เป็นไปได้ที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องบนปัจจัยนำเข้า	ความถี่ในการเกิดเหตุการณ์	การควบคุมในปัจจุบัน	การตรวจวัด	RPN
1	ปรับตั้งเครื่องตัด	มุมคมตัดของใบมีด	ใบมีดตัดมีมุมคมตัดไม่เหมาะสม	ปริมาณการกินเนื้อเทปไม่เหมาะสมทำให้ ขนาดหน้ากว้างไม่เป็นไปตามข้อกำหนด	6	ไม่มีการกำหนดขนาดมุมคมตัดที่รับมาจากผู้รับจ้าง	6	แผนกช่างกำหนดให้ยอมรับมุมใกล้เคียง4° ซึ่งซื้อมา	4	144
2	ปรับตั้งเครื่องตัด	ระนาบของใบมีด (Blade Alignment)	ใบมีดไม่ได้ระนาบ (Alignment)	ใบมีดแกว่งไม่ได้ศูนย์หน้ากว้างที่ตัดได้ไม่มีความแม่นยำ	8	ใช้ไประยะหนึ่งน็อตยึดใบมีดคลายออก	3	การทำ 5ส ประจำวัน	4	96
3	ปรับตั้งเครื่องตัด	มุมของใบมีดตัดช่วงที่ 1	ตั้งพารามิเตอร์ของมุมของใบมีดตัด (Angle) ไม่เหมาะสม	ระนาบของหน้ากว้างเทปไม่ขนานกันตลอดม้วนทำให้ ขนาดหน้ากว้างไม่เป็นไปตามข้อกำหนด	6	ไม่มีการกำหนดขนาดมุมที่แน่นอน	3	มีตารางแสดงช่วงของมุมที่เหมาะสมเท่านั้น	4	72
4	ปรับตั้งเครื่องตัด	มุมของใบมีดตัดช่วงที่ 2	ตั้งพารามิเตอร์ของมุมของใบมีดตัด (Angle) ไม่เหมาะสม	ระนาบของหน้ากว้างเทปไม่ขนานกันตลอดม้วนทำให้ ขนาดหน้ากว้างไม่เป็นไปตามข้อกำหนด	6	ไม่มีการกำหนดขนาดมุมที่แน่นอน	3	มีตารางแสดงช่วงของมุมที่เหมาะสมเท่านั้น	4	72
5	ติดตั้งม้วนวัตถุดิบที่เครื่องตัด	เพลาสวมม้วนวัตถุดิบ	เพลามีขนาดเล็กกว่าแกนคอร์ของม้วนวัตถุดิบ	ทำให้วัตถุดิบแกว่งขณะตัด มีผลให้ใบมีดตัดได้ไม่แม่นยำ	6	การสึกหรอของเพลาสวมจากการใช้งาน	3	การทำ 5ส ประจำวัน	4	72

Process/Product Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)										
ลำดับ	กระบวนการ	ปัจจัยนำเข้าหลักที่ได้จากขั้นตอนC&E	ข้อบกพร่องของปัจจัยนำเข้าที่มีโอกาสเกิด	ผลกระทบต่อความต้องการของลูกค้าหรือปัจจัยที่ออกมาจากการเกิดข้อบกพร่องของปัจจัยนำเข้า	ความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้น	สาเหตุที่เป็นไปได้จากการเกิดข้อบกพร่องบนปัจจัยนำเข้า	ความถี่ในการเกิดเหตุการณ์	การควบคุมในปัจจุบัน	การตรวจวัด	RPN
6	ตรวจสอบขนาดหน้ากว้างและลักษณะภายนอก	ขั้นตอน/วิธีการวัด	วิธีการวัดไม่ถูกต้อง/เหมาะสม	ได้ค่าผลการวัดที่ได้ไม่ถูกต้อง	6	ไม่มีแผนการฝึกอบรมหรือไม่มีขั้นตอนการปฏิบัติงาน	2	มีแผน On the job trainingพนักงานใหม่และขั้นตอนการปฏิบัติงาน	3	36
7	ติดตั้งม้วนวัตถุดิบที่เครื่องตัด	พนักงานตัด	ติดตั้งม้วนวัตถุดิบไม่แน่น	ม้วนวัตถุดิบไม่นิ่งทำให้การตัดที่ไม่มีความแม่นยำ	6	ขาดการฝึกอบรมการติดตั้งม้วนวัตถุดิบที่ถูกต้อง	2	มีระบบล็อกม้วนวัตถุดิบเป็นระบบควบคุมอัตโนมัติ หากไม่ล็อกเครื่องจะไม่ทำงาน	2	24
8	ตรวจสอบขนาดหน้ากว้างและลักษณะภายนอก	พนักงานวัด	พนักงานวัดวัด/อ่านค่าไม่ถูกต้อง	ค่าผลการวัดที่ได้ไม่ถูกต้อง	6	ขาดการฝึกอบรมการวัดอย่างถูกต้อง	2	มีแผน On the job trainingพนักงานใหม่และมีแผนทำ MSA ทุกปี	2	24
9	ตรวจสอบขนาดหน้ากว้างและลักษณะภายนอก	เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์	เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ ไม่ได้ผ่านการสอบเทียบ	ผลการวัดไม่ถูกต้องทำให้ยอมรับของเสีย / ทิ้งของดี	6	ไม่มีแผนการสอบเทียบเครื่องมือวัด	2	มีแผนการสอบเทียบเครื่องมือวัด ประจำปี	1	12

เมื่อได้ค่า RPN แล้ว จะสามารถเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดหน้ากว้างได้ โดยการนำค่าเปอร์เซ็นต์ความสัมพันธ์ไปทำการสร้างแผนภาพพาเรโต เพื่อดูลักษณะของแผนภาพ ถ้าแผนภาพที่ได้เป็นไปตามหลักการของพาเรโตที่ว่า สิ่งที่มีความสำคัญมากจะมีจำนวนเพียงเล็กน้อย ในขณะที่สิ่งที่มีความสำคัญเพียงเล็กน้อย จะมีอีกจำนวนมากมาย แสดงว่าการให้คะแนนเป็นไปอย่างถูกต้อง



รูปที่ 4.6 แผนภาพพาเรโตของค่า RPN จากการวิเคราะห์ด้วย FMEA

เมื่อทำการพิจารณาจากแผนภาพพาเรโต จะพบว่าการให้คะแนนเป็นไปอย่างถูกต้องตามหลักการของพาเรโต ในการตัดสินใจ จะพบว่า จากปัจจัยที่เป็นไปได้ทั้งหมด 9 ปัจจัย จะมีปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ 5 ปัจจัย ซึ่งค่า RPN สูง รวมกัน 82.6 % ซึ่งมากกว่า 80% ของคะแนนทั้งหมด และเป็นไปตามกฎ 80 : 20 ของหลักการของพาเรโต คือ มุมคมตัดของใบมีด, ระนาบของใบมีด (Blade Alignment), เพลาสวมม้วนวัตถุดิบ, มุมของใบมีดตัดช่วงที่ 1 และ มุมของใบมีดตัดช่วงที่ 2 ดังนั้นจึงเลือกทั้ง 5 ปัจจัยนำเข้า (KPIVs) มาทำการวิเคราะห์ในระยะต่อไป

4.5 สรุปผลการดำเนินงานระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา

- ในขั้นตอนแรกของระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา ได้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) โดยใช้ GR&R โดยวิเคราะห์ข้อมูลจากค่าวัดที่ได้ จากเครื่องมือวัด เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ โดยทดสอบพนักงานวัด จำนวน 2 คน วัดชิ้นงานจำนวน 20 ชิ้น คนละ 3 ซ้ำ ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ว่า ระบบการวัดมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์ และสามารถให้การยอมรับความผันแปรของกระบวนการวัดได้

- ทำการศึกษาความสามารถด้านความสามารถของกระบวนการ และทำการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลค่าวัดจากพนักงานตัดคนเดียวกัน เครื่องมือวัดและเครื่องตัดเดียวกัน จำนวน 300 ตัวอย่าง พบว่ากระบวนการตัดในปัจจุบัน มีความสามารถของกระบวนการค่อนข้างต่ำ คือ อยู่ที่ $C_{pk} = 0.96$, $C_p = 1.07$ ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ ที่ 1.33 และรอบเวลาในการผลิตอยู่ที่ 6.26 วินาทีต่อม้วนผลิตภัณฑ์

- ทำการระดมความคิดสมาชิกทีม เพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดหน้ากว้าง โดยจัดทำแผนผังกระบวนการ (Process Mapping) เพื่อให้ทราบปัจจัยนำเข้าทั้งหมด จากนั้นระดมความคิดโดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause-and-Effect Matrix) พบว่าสาเหตุสำคัญที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดหน้ากว้าง มีอยู่ 9 ปัจจัยหลัก ตามที่แสดงในแผนภาพพาเรโต คือ พนักงานตัด, เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์, ความแน่นของเพลาสวมม้วนวัตถุดิบ, ระนาบของใบมีด (Blade Alignment), พนักงานวัด, วิธีการวัด, มุมของหน้าใบมีดตัดช่วงที่ 1, มุมของหน้าใบมีดตัดช่วงที่ 2 และมุมคมตัดของใบมีด จากนั้นนำปัจจัยเหล่านี้มาวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) ได้ ปัจจัยหลักที่ค่า RPN มีค่าสูง จำนวน 5 ปัจจัย โดยมีคะแนน RPN อยู่ที่ 82.6% ซึ่งมากกว่า 80% ตามหลักการของพาเรโต คือ มุมคมตัดของใบมีด, ระนาบของใบมีด (Blade Alignment), ความแน่นของเพลาสวมม้วนวัตถุดิบ, มุมของใบมีดตัดช่วงที่ 1 และ มุมของใบมีดตัดช่วงที่ 2 ซึ่งจะนำไปทดสอบและวิเคราะห์ในระยะต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการดำเนินงานวิจัยในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis phase)

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา จะประกอบไปด้วยการทดสอบสมมุติฐาน และ/หรือ การออกแบบการทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง เพื่อนำปัจจัยที่มีผลนี้มาทำการวิเคราะห์ในระยะต่อไป

5.1 บทนำ

จากการระดมความคิดสมาชิกทีม เพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ ที่มีผลต่อความผันแปรของขนาดหน้ากว้าง โดยจัดทำแผนผังกระบวนการ, ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล และการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) ได้ปัจจัยหลักที่อาจมีผลต่อความผันแปรของขนาดหน้ากว้าง จำนวน 5 ปัจจัย คือ มุมคมตัดของใบมีด, ระนาบของใบมีด , เพลาสวมม้วนวัตถุดิบ , มุมของใบมีดตัดช่วงที่ 1 และ ช่วงที่ 2 ซึ่งจะนำทั้ง 5 ปัจจัยนี้มาทำการวิเคราะห์ต่อในระยะของการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ซึ่งจะทำการทดลองเพื่อทดสอบว่า ปัจจัยนำเข้าใดมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความผันแปรของขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคที่ตัดได้ เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์หาระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ของแต่ละปัจจัยในระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการต่อไป

5.2 ปัจจัยนำเข้าที่จะนำมาทดสอง

จากระยะการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหาที่กล่าวมาในบทที่แล้ว สามารถสรุปปัจจัยนำเข้าที่จะนำมาทดสอบในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ดังนี้

ตารางที่ 5.1 ปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลต่อตัวแปรตอบสนองทั้ง 5 ปัจจัย

ลำดับที่	ปัจจัยนำเข้า	ชนิดของปัจจัย
1	มุมคมตัดใบมีด	ปัจจัยผันแปร
2	การปรับตั้งระนาบใบมีด	ปัจจัยคุณลักษณะ
3	ความแน่นของเพลาสวมม้วนวัตถุดิบ	ปัจจัยคุณลักษณะ
4	มุมของใบมีดตัดโหมดที่ 1	ปัจจัยผันแปร
5	มุมของใบมีดตัดโหมดที่ 2	ปัจจัยผันแปร

จากการวิเคราะห์ปัจจัยเบื้องต้น โดยสมาชิกของทีม มีความเห็นว่า ปัจจัยลำดับที่ 4 และ 5 คือ มุมของใบมีดตัดโหมดที่ 1 และ โหมดที่ 2 นั้น อาจยุบรวมเป็นปัจจัยเดียวได้ หากเครื่องตัดนั้นไม่มีปัญหาด้านการเคลื่อนที่ตามแนวแกนของชุดใบมีดตัด (Knife set Alignment) เช่นเครื่องเก่าหรือเพลาสวมใบมีดตัดคดงอเสียรูป หรือศูนย์ในการปรับตั้งชุดใบมีดไม่ดี เพราะจากประสบการณ์ของสมาชิกทีมที่มีมานาน ระบุว่า ในภาวะปกติหรือกรณีที่เครื่องตัดเป็นเครื่องอยู่ในภาวะปกติ จะสามารถตั้งมุมของใบมีดตัดเป็นค่าเดียวกันทั้ง 2 โหมดได้ โดยตัดไปจนจบม้วนวัตถุดิบ แล้วได้ม้วนผลิตภัณฑ์ที่มีความผันแปรของขนาดหน้ากว้างเป็นปกติ คือ ไม่สูงนัก แต่จากที่เคยพบเจอในอดีต เครื่องตัดบางเครื่องนั้นมีเพลาสวมม้วนวัตถุดิบที่มีการคดงอหรือเสียรูปอันเนื่องมาจากการตัดม้วนวัตถุดิบที่มีน้ำหนักมากเกินกว่า 50 กิโลกรัมบ่อยครั้ง โดยหากตั้งค่ามุมของใบมีดตัดเป็นค่าเดียวกันตลอดม้วนวัตถุดิบ ปรากฏว่า ม้วนผลิตภัณฑ์ที่ตัดในช่วง 50 ม้วนแรก มีค่าเฉลี่ยใกล้ค่าเป้าหมาย โดยเอนเอียงไปไม่เกิน 0.08 มิลลิเมตร และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่สูง ส่วนม้วนผลิตภัณฑ์ที่ตัดในช่วง 40-50 ม้วนหลัง ได้ค่าเฉลี่ย ห่างจากค่าเป้าหมายค่อนข้างมาก ซึ่งมากกว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากช่วงแรกถึง 0.20-0.30 มิลลิเมตร และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงกว่าปกติ ทำให้ม้วนผลิตภัณฑ์มีขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับมากกว่า 30 ม้วน จาก 100 ม้วน หรือเกิดของเสียมากกว่า 30% ทีมจึงมีความเห็นตรงกันว่า เพื่อลดจำนวนปัจจัยในการทดลองต่อไป และให้มั่นใจว่า ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดหน้ากว้างที่ได้จากการตัด โดยตั้งมุมของใบมีดตัดโหมดที่ 1 และโหมดที่ 2 เป็นค่าเดียวกันนั้น ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงจะทำการทดสอบสมมติฐานทั้งสองส่วน คือ ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

5.2.1 การทดสอบที่นำมาพิจารณา

■ การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) แบบ 2 sample t-test เป้าหมายของการวิจัยต้องการจะเน้นที่การเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเป็นหลัก เพื่อเป็นการตัดปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญต่อผลตอบ ซึ่งก็คือ ค่าเฉลี่ยออกไป ก่อนที่จะทำการทดลองเพื่อปรับปรุงในขั้นตอนต่อไป

■ การทดสอบสมมติฐานความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Homogeneity of variance) เพราะต้องการพิจารณาการกระจายของประชากร 2 กลุ่มว่าแตกต่างกันหรือไม่ ซึ่งการวิจัยนี้มุ่งเน้นที่การเปรียบเทียบความแตกต่างความเบี่ยงเบนมาตรฐานของสองกลุ่มประชากร

■ การกำหนดขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

การกำหนดขนาดตัวอย่างที่จะใช้ในการทดสอบสมมติฐาน ให้มีความเพียงพอที่จะยอมรับได้ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยกำหนด Assumed standard deviation ที่ 0.11 สำหรับการทดสอบสมมติฐาน ผลการคำนวณขนาดตัวอย่างจากโปรแกรม MINITAB ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

Power and Sample Size

2-Sample t Test

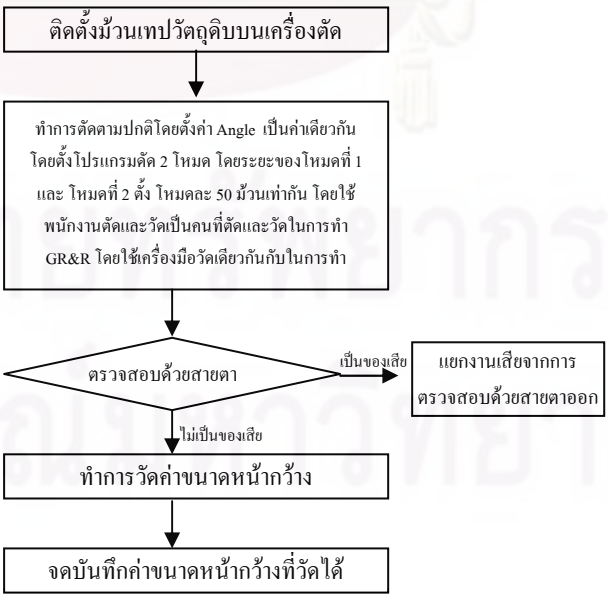
Testing mean 1 = mean 2 (versus not =)
Calculating power for mean 1 = mean 2 + difference
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.11

Difference	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.05	103	0.90	0.900886
0.05	127	0.95	0.950357
0.05	157	0.98	0.980055
0.10	27	0.90	0.906240
0.10	33	0.95	0.953211
0.10	40	0.98	0.980064
0.15	13	0.90	0.915355
0.15	16	0.95	0.961704
0.15	19	0.98	0.983353
0.20	8	0.90	0.921849
0.20	9	0.95	0.951211
0.20	11	0.98	0.981763

จากตารางที่ 5.2 สรุปได้ว่า ขนาดตัวอย่างที่จะใช้ในการทดสอบสมมติฐาน อย่างน้อยต้องมีจำนวน 40 ตัวอย่าง ซึ่งจะให้ระดับความเชื่อมั่นมากกว่า 95% และค่ากำลังในการทดสอบ (Power of Test : 1-β) มีค่า เท่ากับ 0.980064 ซึ่งมากกว่า 0.9500

5.2.3 การทดสอบสมมติฐานปัจจัยนำเข้ามุมของใบมีดตัด (Angle)

■ รายละเอียดในการดำเนินการทดสอบสมมติฐาน สำหรับปัจจัยนำเข้ามุมของใบมีดตัด เป็นดังนี้



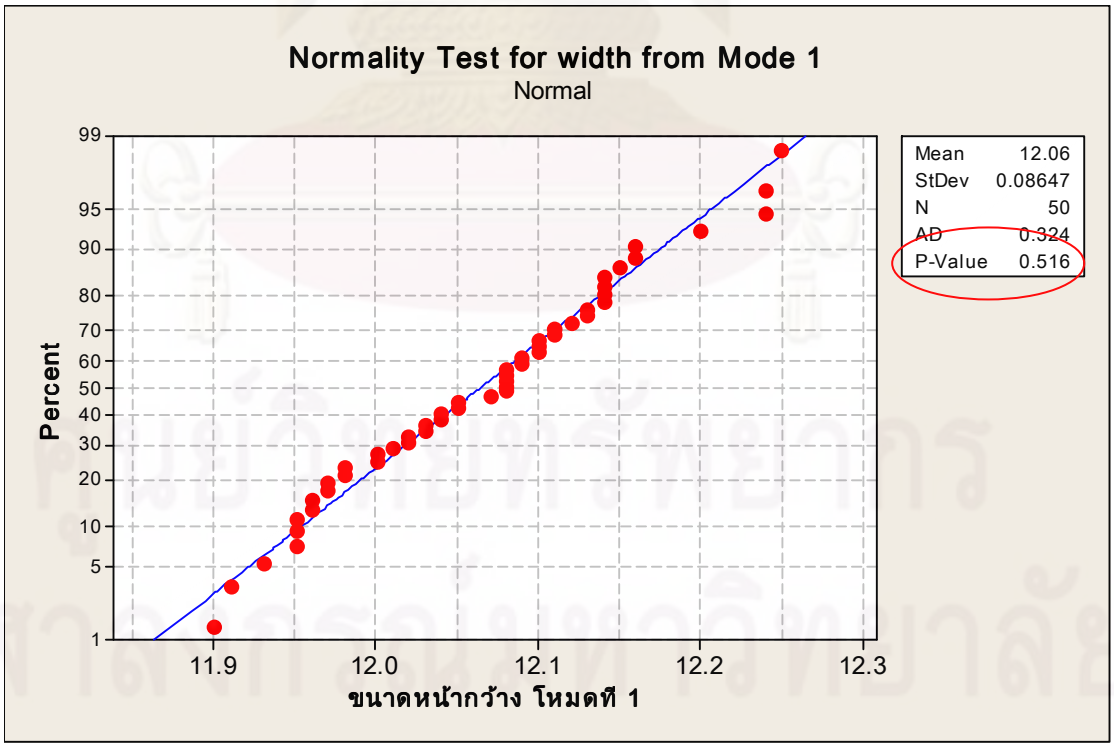
รูปที่ 5.1 การทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานสำหรับมุมของใบมีดตัด

- การกำหนดขนาดตัวอย่างในการทดสอบสมมติฐาน ปัจจัยมุมของใบมีดตัด

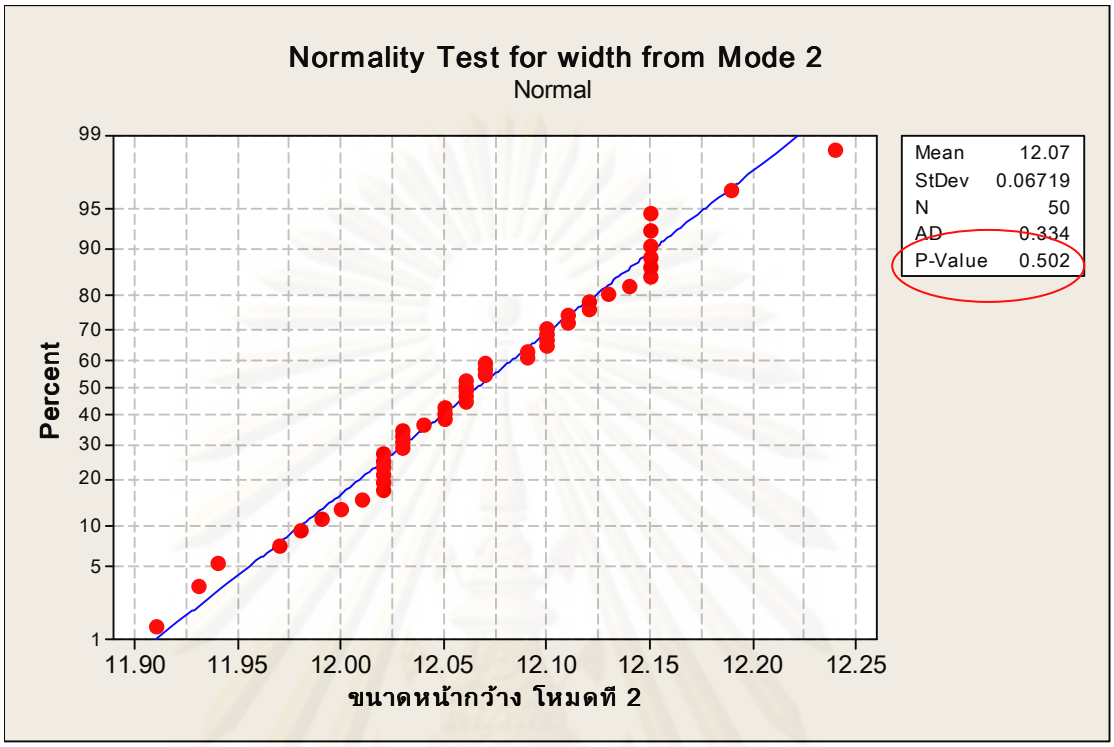
จาก 5.2.2 ขนาดตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองอย่างน้อยต้องมีจำนวน 40 ตัวอย่าง ซึ่งจะให้ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และค่ากำลังในการทดสอบ (Power of Test : 1-β) มีค่ามากกว่า 95% ดังนั้น จึงกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่างในการทดสอบสมมติฐาน เท่ากับ 50 ม้วน สำหรับโหมดที่ 1 และอีก 50 ม้วน สำหรับโหมดที่ 2 เนื่องจากจำนวนม้วนผลิตภัณฑ์ตัดได้ครั้งละ 100 ม้วน จาก 1 ม้วนวัตถุดิบ เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดจากความสับสนของพนักงานวัดในการกำหนดขนาดตัวอย่าง และเป็นการทดสอบไปด้วยว่า ปัจจัยนำเข้ามุมของใบมีดตัด(Angle) ในการตั้งค่าแต่ละครั้งผลค่าวัดขนาดหน้ากว้างของ 2 โหมดนั้น ขนาดหน้ากว้างของม้วนผลิตภัณฑ์ที่ตัดได้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ดูผลการทดลองจากตาราง ก-2 ในภาคผนวก ก

- การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

ผลการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่า ข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นปกติหรือไม่ โดยกำหนดให้ปรับตั้งค่ามุมที่ 0° ทั้งสองโหมด โดยให้เครื่องตัดเดินเครื่องอัตโนมัติจบครบ 100 ม้วน ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นดังนี้



ก) ตั้งค่ามุมที่ 0° โหมดที่ 1 (50 ตัวอย่าง)



ข) ตั้งค่ามุม ที่ 0° โหมดที่ 2 (50 ตัวอย่าง)

รูปที่ 5.2 กราฟแสดงการกระจายของค่าขนาดหน้ากว้างหลังการตั้งค่ามุมที่ 0°
ก) โหมดที่ 1 และ ข) โหมดที่ 2

จากกราฟผลการทดสอบการกระจายในรูปที่ 5.2 พบว่าข้อมูลมีการกระจายเป็นแบบปกติ เนื่องจาก p-value ที่ได้ คือ 0.516 และ 0.502 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05

■ การทดสอบสมมติฐาน

- ทดสอบสมมติฐานความแปรปรวน จะพิจารณาค่าความแปรปรวนของขนาดหน้ากว้างที่ได้จากการตั้งค่ามุม ที่ 0° ใน โหมดที่ 1 และ โหมดที่ 2 ว่า มีค่าเท่ากันหรือไม่ โดยสมมติฐานในการทดสอบค่าความแปรปรวน เป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบ คือ

$$H_0 \quad = \quad \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$
$$H_1 \quad = \quad \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

โดยกำหนดให้ σ_1^2 แทนค่าความแปรปรวนของขนาดหน้ากว้าง ของค่าปรับตั้งมุม ที่ 0° โหมดที่ 1 และ σ_2^2 แทนค่าความแปรปรวนของขนาดหน้ากว้าง ของค่าปรับตั้งมุม ที่ 0° โหมดที่ 2 โดยผลการทดสอบสมมติฐานของค่าความแปรปรวนแสดงดังตารางที่ 5.3 และ รูปที่ 5.4

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของขนาดหน้ากว้างที่เกิดจากการตั้งค่ามุมที่ 0° ใน โหมดที่ 1 และ โหมดที่ 2

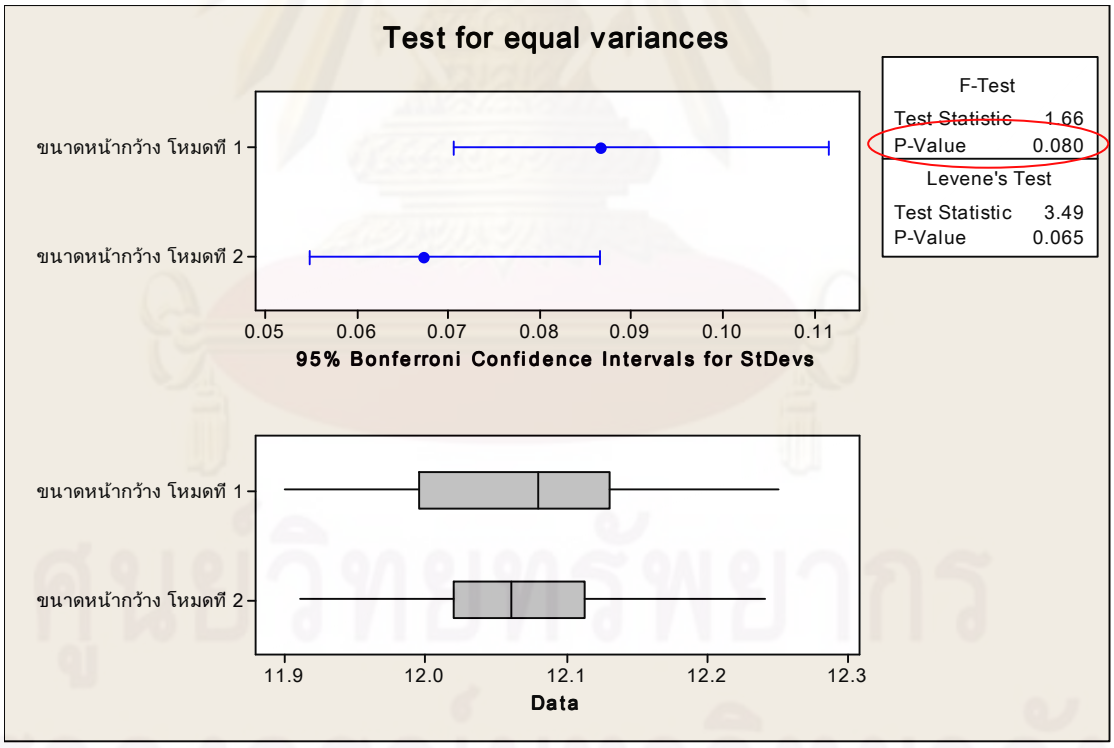
Test for Equal Variances: ขนาดหน้ากว้าง โหมดที่ 1, ขนาดหน้ากว้าง โหมดที่ 2

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

	N	Lower	StDev	Upper
ขนาดหน้ากว้าง โหมดที่ 1	50	0.0704567	0.0864750	0.111387
ขนาดหน้ากว้าง โหมดที่ 2	50	0.0547400	0.0671851	0.086540

F-Test (normal distribution)
Test statistic = 1.66, p-value = 0.080

Levene's Test (any continuous distribution)
Test statistic = 3.49, p-value = 0.065



รูปที่ 5.3 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของขนาดหน้ากว้างที่เกิดจากการตั้งค่ามุม ที่ 0° ใน โหมดที่ 1 และ โหมดที่ 2

จากการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของขนาดหน้ากว้าง ที่เกิดจากการตั้งค่ามุม ที่ 0° ในโหมดที่ 1 และโหมดที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 5.3 และ รูปที่ 5.3 พบว่า ค่า p-value มีค่ามากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า การตั้งค่ามุม ในโหมดที่ 1 และโหมดที่ 2 ให้ผลค่าความแปรปรวนของขนาดหน้ากว้างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- การทดสอบสมมติฐานความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของขนาดหน้ากว้างที่เกิดจากการตั้งค่ามุม ที่ 0° ใน โหมดที่ 1 และ โหมดที่ 2 โดยสมมติฐานในการทดสอบเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบ คือ

H_0 = $\mu_1 = \mu_2$

H_1 = $\mu_1 \neq \mu_2$

โดยกำหนดให้ μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของขนาดหน้ากว้าง ของค่าปรับตั้งมุม ที่ 0° ใน โหมดที่ 1 และ μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของขนาดหน้ากว้าง ของค่าปรับตั้งมุมที่ 0° ใน โหมดที่ 2 โดยผลการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.4

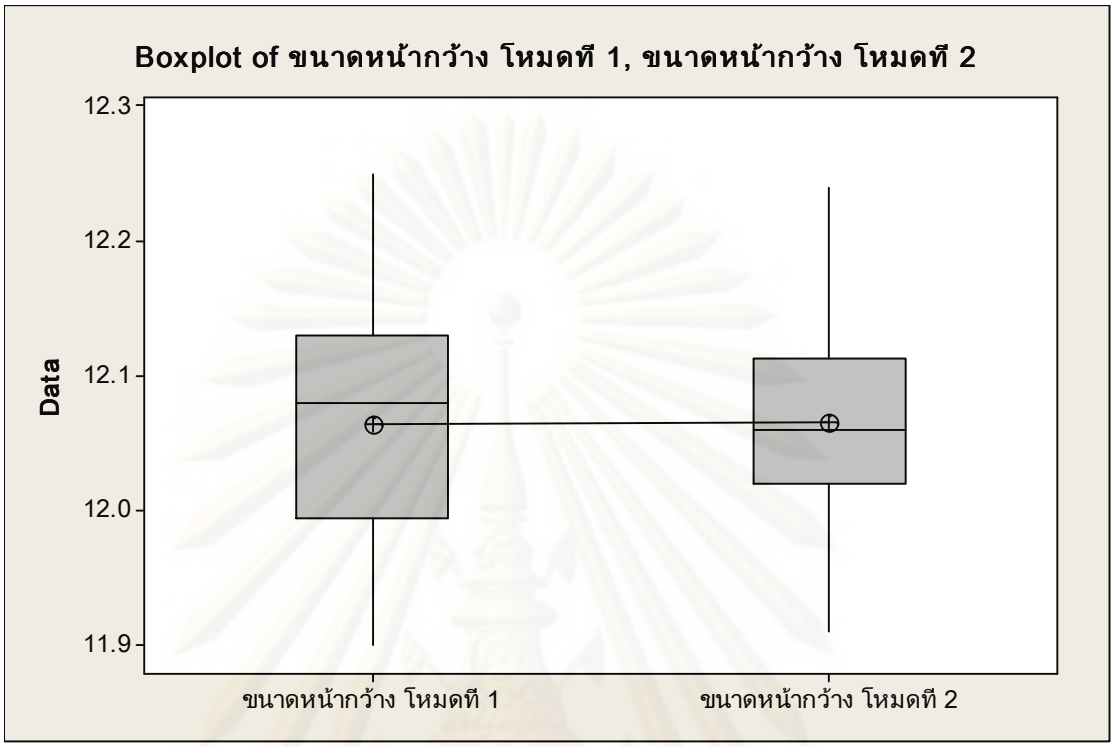
ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของขนาดหน้ากว้างที่เกิดจากการตั้งค่ามุมที่ 0° ใน โหมดที่ 1 และ มุมที่ 0° ใน โหมดที่ 2

Two-Sample T-Test and CI: ขนาดหน้ากว้าง โหมดที่ 1, ขนาดหน้ากว้าง โหมดที่ 2

```
Two-sample T for ขนาดหน้ากว้าง โหมดที่ 1 vs ขนาดหน้ากว้าง โหมดที่ 2

                          N     Mean   StDev  SE Mean
ขนาดหน้ากว้าง โหมด 1      50  12.0642  0.0865    0.012
ขนาดหน้ากว้าง โหมด 2      50  12.0662  0.0672   0.0095


Difference = mu (ขนาดหน้ากว้าง โหมดที่ 1) - mu (ขนาดหน้ากว้าง โหมดที่ 2)
Estimate for difference:  -0.002000
95% CI for difference:  (-0.032758, 0.028758)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.13  P-Value = 0.898  DF = 92
```



รูปที่ 5.4 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของขนาดหน้ากว้างที่เกิดจากการตั้งค่ามุม ที่ 0° ใน โหมดที่ 1 และมุมที่ 0° ใน โหมดที่ 2

จากการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของขนาดหน้ากว้าง ที่เกิดจากการตั้งค่ามุมที่ 0° ใน โหมดที่ 1 และมุม ที่ 0° ใน โหมดที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 พบว่า ค่า p-value มีค่ามากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า การตั้งค่าพารามิเตอร์มุมใน โหมดที่ 1 และโหมดที่ 2 ในแต่ละครั้ง ของการติดตั้งม้วนวัตถุดิบ จะได้ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดหน้ากว้างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

5.2.3 สรุปปัจจัยนำเข้าที่จะทำการทดลอง

จากการทดสอบสมมติฐาน พบว่า สามารถยุบรวมปัจจัยที่ 4 และ 5 คือ มุมของใบมีดตัด โหมดที่ 1 และ โหมดที่ 2 รวมกันได้ เนื่องจากเครื่องตัดในการทดลองนี้ให้ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ไม่แตกต่างกัน เมื่อตั้งมุมของใบมีดตัดด้วยมุมเดียวกันตลอดการตัดจนจบม้วนวัตถุดิบ สรุปปัจจัยนำเข้าที่จะนำไปทดลอง เหลือ 4 ปัจจัย ดังนี้

ตารางที่ 5.5 ปัจจัยนำเข้าที่จะนำไปทดลองทั้ง 4 ปัจจัย

ลำดับที่	ปัจจัยนำเข้า	ชนิดของปัจจัย
1	มุมคมตัดใบมีด	ปัจจัยผันแปร
2	การปรับตั้งระนาบใบมีด	ปัจจัยคุณลักษณะ
3	ความแน่นของเพลาสวมม้วนวัตถุดิบ	ปัจจัยคุณลักษณะ
4	มุมของใบมีดตัด (Angle)	ปัจจัยผันแปร

5.3 การเลือกใช้รูปแบบในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ช่วยในการวิเคราะห์ ได้แก่โปรแกรม MINITAB เป็นโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูง ในการวิเคราะห์ผลทางสถิติพื้นฐานและสามารถประมวลผลการประยุกต์สถิติเชิงวิศวกรรมที่ครอบคลุมทั้งด้านการควบคุมคุณภาพ ไปจนถึงการออกแบบการทดลอง ซึ่งโปรแกรม MINITAB นี้สอดคล้องกับเครื่องมือที่ประกอบอยู่ใน ซิกซ์ ซิกมา

งานวิจัยนี้ออกแบบการทดลอง (Design of Experiment , DOE) โดยเลือกทำการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบมีจุดศูนย์กลาง การใช้การออกแบบการทดลองนี้ นอกจากจะทำให้สามารถทราบถึงอิทธิพลหลัก (Main Effect) และ อิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัยยังทำให้ทราบถึงการมีความโค้งของผลตอบ (Curvature) ของปัจจัยด้วย ยิ่งไปกว่านั้นการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล ยังสามารถทำการฉายการออกแบบ (Projection) ให้อยู่ในรูปการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบบริบูรณ์ที่มีเรพลิเคตได้ โดยการตัดปัจจัยที่สามารถละเลยได้ทิ้งและยังสามารถทำการทดลองต่อเนื่องไปสู่การทดลองที่ใหญ่ขึ้น โดยการรวมผลการทดลองที่เพิ่มขึ้นมาเข้าด้วยกัน เพื่อให้สามารถประมาณผลของปัจจัยหรืออันตรกิริยาที่สนใจได้ดียิ่งขึ้น

5.4 ขนาดตัวอย่างสำหรับการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment , DOE)

การกำหนดขนาดตัวอย่างในการทำซ้ำ (Replication) ที่จะใช้ในการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบมีจุดศูนย์กลาง จะช่วยให้สามารถประมาณค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองได้

ในการวิเคราะห์จำนวนการทำซ้ำ (Replication) ของจำนวนปัจจัยนำเข้า จำนวน 4 ปัจจัย จะใช้ Effect เท่ากับ 0.11 เนื่องจากเป็นอัตราที่เหมาะสมที่นิยมใช้ในทางปฏิบัติ คือ ประมาณ 1σ (1 เท่าตัวของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ของข้อมูลที่ได้เก็บมาจากการทดลอง หาความสามารถของกระบวนการก่อนทำการทดลอง เพื่อให้สามารถแยกความแตกต่างของค่าเฉลี่ยได้ และกำลังของการทดสอบ (Power of Test) กำหนดให้อย่างน้อย 0.95 (β = 0.05) โดยสามารถคำนวณขนาดสิ่งตัวอย่างจากโปรแกรม MINITAB ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 กำลังและจำนวนซ้ำ (Replication) สำหรับการออกแบบการทดลอง

Power and Sample Size

2-Level Factorial Design

Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.11

Factors: 4 Base Design: 4, 8
Blocks: none

Including a term for center points in model.

Center Points	Effect	Reps	Total Runs	Target Power	Actual Power
4	0.11	6	52	0.90	0.923035
4	0.11	6	52	0.92	0.923035
4	0.11	7	60	0.95	0.956399
4	0.11	9	76	0.98	0.986829
4	0.11	10	84	0.99	0.992941

จากการคำนวณ พบว่า จำนวนซ้ำ (Replication) สำหรับการออกแบบการทดลอง ที่จำนวน 4 ตัวอย่าง จะให้ค่ากำลังในการทดสอบ (Power of Test : 1-β) มีค่าเท่ากับ 0.956399 ซึ่งมากกว่าค่ากำลังในการทดสอบ (Power of Test) ที่กำหนดไว้ที่ 0.9500 ดังนั้นการทดลองนี้จะใช้จำนวนการทดลองซ้ำอย่างน้อย 7 ซ้ำ นั่นคือ จะได้ว่า การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบมีจุดศูนย์กลาง โดยเพิ่มเข้าไป 4 จุด เพื่อตรวจสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ของผลตอบที่เกิดขึ้นจากปัจจัย

สรุป 2 วิธีการทดลอง จะใช้จำนวนตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 เปรียบเทียบขนาดตัวอย่างระหว่างการทดสอบสมมติฐาน และการออกแบบการทดลอง

ชนิดการทดลอง		จำนวนการทดลอง	ขนาดตัวอย่างต่อ 1 การทดลอง	ตัวอย่างที่ต้องใช้ทั้งหมด
การทดสอบสมมติฐาน	2-Sample-T-Test	8	40	320
การออกแบบการทดลอง	Half-Fractional Factorial Design with center point	12	7	84

จากตารางที่ 5.7 จะเห็นว่าการออกแบบการทดลองใช้ขนาดตัวอย่างในการทดลองน้อยกว่าประมาณ 4 เท่า จะเป็นการประหยัดเวลาและทรัพยากรในการทดลอง และการออกแบบการทดลองยังสามารถสรุปผลการทดลองได้ครอบคลุมมากกว่า เนื่องจากสามารถพิจารณาในส่วนของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยในการทดลองและความมีส่วนโค้ง(Curvature) ของปัจจัยแปรผันได้ด้วย ผู้วิจัยจึงเลือกใช้การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล โดยเพิ่มจุดศูนย์กลางเข้าไปในส่วนของปัจจัยแปรผันในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อขนาดหน้ากว้าง โดยกำหนดให้ทำซ้ำจำนวน 10 ซ้ำ เพื่อความสะดวกในการตัดและเก็บข้อมูลเนื่องจากวัตถุดิบ 1 ม้วนตัดเป็นผลิตภัณฑ์ได้ 100 ม้วน

5.5 ปัจจัยนำเข้าและระดับของปัจจัยนำเข้าที่จะนำมาออกแบบการทดลอง

จากการทดสอบสมมติฐาน ในหัวข้อ 5.2.4 สรุปปัจจัยนำเข้าที่จะนำไปทดลอง เหลือ 4 ปัจจัย ดังนี้

- มุมคมตัดของใบมีด
- ระนาบของใบมีด (Blade Alignment)
- ความแน่นของเพลาสวมม้วนวัตถุดิบ
- มุมของใบมีดตัด (Angle)

ระดับของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่จะนำมาออกแบบการทดลองสรุปดังตารางที่ 5.8

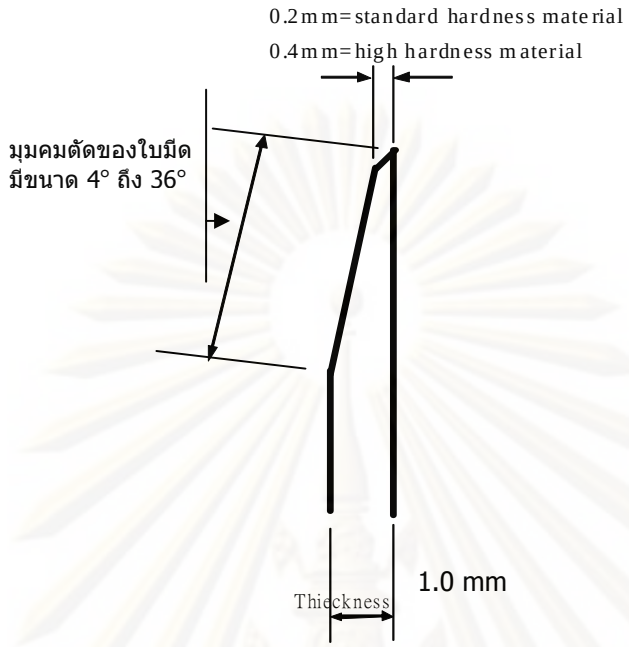
ตารางที่ 5.8 ปัจจัยนำเข้าและการกำหนดระดับพารามิเตอร์ของปัจจัยนำเข้า

พารามิเตอร์ (ปัจจัยนำเข้า)	สัญลักษณ์	ชนิดของปัจจัย	ระดับพารามิเตอร์ในการทดลอง (Level)		
			ระดับต่ำ	จุดศูนย์กลาง	ระดับสูง
มุมคมตัดของใบมีด	A	ปัจจัยแปรผัน	4°	20°	36°
ระนาบของใบมีดตัด	B	ปัจจัยคุณลักษณะ	ไม่ปรับตั้ง	-	ปรับตั้ง
ความแน่นของเพลาสวมม้วนวัตถุดิบ	C	ปัจจัยคุณลักษณะ	เพลาหลวม	-	เพลาฟิต
มุมของใบมีดตัด (Angle)	D	ปัจจัยแปรผัน	-5°	0°	+5°

รูปที่ 5.5 ส่วนประกอบของเครื่องตัดเทปโฟมอะคริลิค

รายละเอียดการกำหนดระดับพารามิเตอร์ในการทดลอง

- มุมคมตัดของใบมีดตัด ปกติที่คมตัดของใบมีดตัดจะมีมุมอยู่ค่าหนึ่ง ตอนซื้อมาคือ 4° หากใช้งานไประยะหนึ่งแล้ว เมื่อนำใบมีดตัดมาลับคมอาจทำให้มุมของใบมีดมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมได้ อาจเป็นไปได้ว่า ถ้ามุมคมตัดของใบมีดมีขนาดมุมใหญ่ จะทำให้ตัดชิ้นงานได้ขนาดหน้ากว้างเล็กกว่าค่าขนาดหน้ากว้างที่ตั้งไว้ เนื่องจากกินเนื้อเทปมากกว่า ส่วนมุมคมตัดที่มีขนาดมุมน้อย จะทำให้ตัดชิ้นงานได้ขนาดหน้ากว้างโตกว่าค่าขนาดหน้ากว้างที่ตั้งไว้ เนื่องจากกินเนื้อเทปน้อยกว่า ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่อาจมีผลต่อค่าเฉลี่ยและค่าความผันแปรของขนาดหน้ากว้างที่ตัดได้ โดยแผนกช่างของบริษัทจะเป็นผู้ตรวจรับใบมีดตัดกลับคืนมาจากบริษัทรับจ้างภายนอก แจ้งว่า เครื่องลับคมของผู้รับจ้างมีขีดจำกัดในการลับมีดคือลับคมมีดให้มีมุมคมตัดได้อยู่ในช่วง 4° ถึง 36° ดังนั้น จึงกำหนดค่าต่ำสุดคือ 4° และ ค่าสูงสุด คือ 36° จึงกำหนดให้เป็นระดับพารามิเตอร์ 2 ระดับ โดยระดับต่ำเป็นมุมคมตัด ขนาด 4° และระดับสูงมุมคมตัด ขนาด 36°



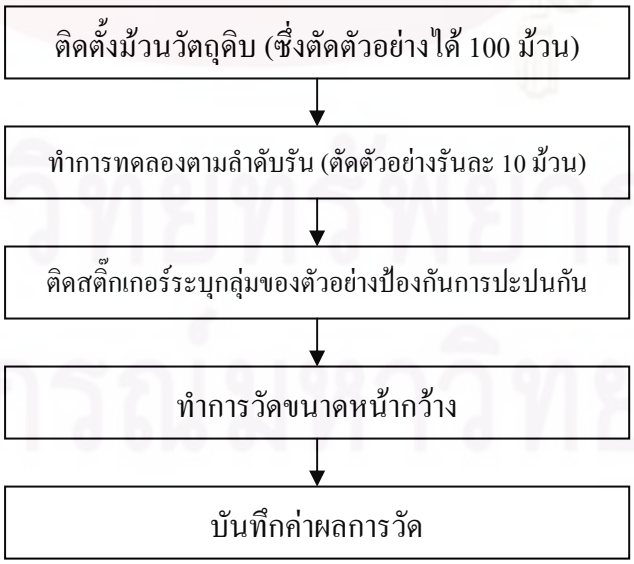
รูปที่ 5.6 ลักษณะของใบมีดตัดและมุมคมตัด

- ระนาบของใบมีด เนื่องจากใบมีดตัดมีรูปร่างเป็นแผ่นกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 มิลลิเมตร และมีรูตรงกลางเส้นผ่านศูนย์กลาง 76.2 มิลลิเมตร หรือ 3 นิ้ว สำหรับยึดกับเพลาของแกนมอเตอร์ขับใบมีด โดยจะหมุนรอบตัวเองในขณะตัด ในการปรับตั้งระนาบของใบมีด จะทำให้มีดหมุนได้ระนาบ และไม่แกว่ง ได้มีการกำหนดให้ต้องทำการปรับตั้งโดยใช้เครื่องมือวัด Dial Gauge ทุกครั้ง ที่มีการติดตั้งใบมีดใหม่ หรือหากใช้งานไประยะหนึ่ง อาจทำให้น็อตคลาย หรือใบมีดไม่ติดแน่นกับแท่นยึดเหมือนช่วงที่ติดตั้งใหม่ๆ ใบมีดอาจแกว่งหน้าใบมีดหมุนไม่เรียบ ทำให้ตัดม้วนผลิตภัณฑ์ได้หน้ากว้างที่มีขนาดไม่ตรงตามที่ตั้งค่าไว้ เกิดความผันแปรของขนาดหน้ากว้างที่ตัดได้ จึงกำหนดระดับต่ำ คือ ติดตั้งใบมีดโดยไม่ปรับตั้งระนาบ และ ระดับสูง คือ มีการปรับตั้งระนาบใบมีด
- ความแน่นของเพลาสวมม้วนวัตถุดิบ เป็นเพลาที่ประกอบด้วยเหล็กตันทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้วครึ่งและถูกหุ้มด้วยวัสดุ ที่ทำจากโพลีโพรพิลีน โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกรวม เท่ากับ 76.2 มิลลิเมตร หรือ 3 นิ้ว ใช้สำหรับสวมแกนม้วนของวัตถุดิบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใน 3 นิ้ว เข้าไป จากนั้นทำการล็อคโดยหัวล็อคของเครื่อง จนมีเสียงดังคลิ๊ก ซึ่งระบบล็อคม้วนวัตถุดิบเป็นระบบหัวล็อคความปลอดภัย คือ หากล็อคไม่แน่น หากกดปุ่มรันเครื่องแล้วเครื่องจะไม่ทำงาน โดยปกติเพลาใหม่ๆ จะมีความฟิต คือ เมื่อสวมแกน

ม้วนวัตถุดิบเข้าไปแล้ว จะขยับม้วนวัตถุดิบได้น้อยมาก ๆ ทำให้ม้วนวัตถุดิบนิ่ง ใบมีดที่ตัดลงไปจะแม่นยำ กรณีใช้ไประยะหนึ่งแล้ว จะทำให้เพลาส่วนที่เป็นพลาสติกโพลีโพรพีลีนนี้เกิดการสึกหรอ และเล็กกว่าปกติ จนสามารถขยับม้วนวัตถุดิบได้มาก อาจทำให้เกิดการแกว่งของม้วนวัตถุดิบ ทำให้ความแม่นยำในการลงของใบมีดตัดลดลง เกิดความผันแปรของขนาดหน้ากว้างสูงได้ จึงกำหนดระดับต่ำ คือ เพลาเล็กกว่า 3 นิ้ว (เพลาหลวม) และระดับสูง คือ เพลาขนาดเท่ากับ 3 นิ้ว (เพลาฟิต)

- มุมของใบมีดตัด มีผลต่อทิศทางการลงใบมีดตัด และเนื่องจากการรายงานผลค่าวัดที่ได้ เป็น ค่าที่เบี่ยงเบนจากเป้าหมายมากที่สุด ดังนั้น หากผลการวัดจาก 8 จุด ของม้วนเทปทั้งรอบนอก และรอบในบริเวณแกนคอร์ ถ้าจุดใดจุดหนึ่ง ของ 8 จุดนี้ ออกนอกค่าการยอมรับจะถือว่า ม้วนนั้นมีขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับด้วย จะต้องทิ้งม้วนนั้นไป โดยการตั้งพารามิเตอร์มุมของใบมีดตัด (Angle) ของเครื่องตัดที่ศึกษา จะถูกตั้งอยู่ในโปรแกรมการตัด และการปรับตั้งพารามิเตอร์นี้ในการตัดเทปโฟมอะคริลิคที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน จะอยู่ในช่วง -5 องศา ถึง +5 องศา จึงกำหนด -5 องศา เป็นค่าต่ำสุด และ +5 องศา เป็นค่าสูงสุด โดยจะสังเกตดูด้วยว่ามุมที่ต่างกันจะให้ความผันแปรที่ต่างกันหรือไม่

จากปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลต่อผลตอบ จำนวน 4 ปัจจัย คือมุมคมตัดของใบมีด, ระนาบของใบมีด (Blade Alignment), เพลาสวมม้วนวัตถุดิบ, มุมของใบมีดตัด ซึ่งแผนภาพการไหลของการทดลองจะเป็นดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 แผนภาพการไหลอย่างง่ายของการออกแบบการทดลอง

ซึ่งในการวิเคราะห์ผลการทดลองของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยนี้ หากผลการวิเคราะห์แสดงว่าปัจจัยใดมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งก็คือ ความผันแปรของขนาดหน้ากว้างหรือการเกิดของเสียจากปัญหาขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับอย่างมีนัยสำคัญ จะทำการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยนั้น โดยการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลอง ด้วยการหาค่าตัวแปรตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด (Response Optimization) สำหรับปัจจัยแสดงผลตอบเชิงเส้น (Linear) หรือนำปัจจัยนั้นไปออกแบบการทดลอง เพื่อการกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อไป ด้วยการออกแบบส่วนประสมกลางหรือ CCD (Central Composite Design) โดยเพิ่มจุดศูนย์กลางเข้าไปแสดงผลตอบที่มีลักษณะส่วนโค้ง (Curvature) แต่ถ้าหากผลการทดลองพบว่า ไม่มีผลต่อผลตอบ ผู้วิจัยจะทำการกำหนดค่าของปัจจัยที่ใช้ในการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องตัดเป็นค่าใดค่าหนึ่ง ที่อยู่ในช่วงที่กำหนด โดยคำนึงว่าไม่ทำให้รอบเวลาในการตัดแต่ละม้วนนานเกินไป

5.6 ตัวแปรตอบสนอง (Response)

5.6.1 การกำหนดตัวแปรตอบสนอง (Response)

ตัวแปรตอบสนอง (Response) ในการทดลองนี้ ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะพิจารณาปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคที่ได้จากกระบวนการตัด และในการตรวจสอบนั้นใช้การวัดค่า โดยใช้เครื่องมือ เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ ดังนั้น ตัวแปรตอบสนองที่ทำการศึกษาจึงเป็น ค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) ที่ได้จากการวัด และ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) ของผลการวัดดังนั้นในขั้นตอนก่อนการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล จะต้องมีการแปลงค่า (transformation) ของตัวแปรตอบสนองสำหรับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) เสียก่อน โดยตัวแปรตอบสนองที่เป็นค่าเฉลี่ยนั้นเป็นค่าที่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้เลย ส่วนตัวแปรตอบสนองที่เป็นค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานนั้นจะต้องแปลงค่า(transformation) เพราะหากนำมาวิเคราะห์โดยตรงจะทำให้ข้อมูลไม่เป็นไปตามสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) ของตัวแปรตอบสนองและอาจทำให้การวิเคราะห์ผลมีความคลาดเคลื่อนขึ้นได้ (Douglas C. Montgomery, 7th Edition, 2009)

โดยการแปลงค่า (transformation) ที่ Montgomery เสนอ คือ การสังเกตการณ์การทดลอง ถ้าเรารู้ความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนกับค่าเฉลี่ย จะสามารถนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาเป็นแนวทางในการเลือกรูปแบบของการแปลงข้อมูลได้

กำหนดให้ μ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล (y) และสมมติว่า ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) ของข้อมูล (y) มีความสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยของข้อมูล (y) ดังนี้ $\sigma_y \propto \mu^{\alpha}$

เราต้องการหาสูตรการแปลงค่าของ y ที่ความแปรปรวนคงที่ สมมติว่า คือ กำลังของค่าเดิมของข้อมูล จะได้ว่า

$$y^* = y^{\lambda}$$

จะได้ว่า

$$\sigma_{y^*} \propto \mu^{\lambda+\alpha-1} \qquad (5.1)$$

ถ้ากำหนดให้ $\lambda = 1 - \alpha$ ความแปรปรวนของการแปลงค่า, ค่า y จะคงที่

สูตรการแปลงค่าในทั่วๆ ไป จะเป็นในรูปของการแปลงค่าโดยใช้ล็อกการิทึม (logarithmic transformation) ดังที่สรุปตารางที่ 6.5 ถ้า $\lambda = 0$ จะสื่อให้เห็น ว่าต้องใช้การแปลงค่าโดยใช้ล็อกการิทึมการแปลงค่า

ในหลายๆ การทดลองที่มีการทำซ้ำ (Replication) เราสามารถประมาณค่า α จากข้อมูล เพราะในเทอมของ

$$\sigma_{y_i} \propto \mu_i^{\alpha} = \theta\mu_i^{\alpha} \quad \text{เมื่อ } \theta \text{ เป็นค่าคงที่} \qquad (5.2)$$

เมื่อเราทำการ take logarithm จะได้ว่า

$$\log\sigma_{y_i} = \log\theta + \alpha \log\mu_i \qquad (5.3)$$

จะได้ว่า กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log\sigma_{y_i}$ และ $\log\mu_i$ จะเป็นเส้นตรงที่มีความชัน α

5.6.2 สรุปตารางการแปลงค่า (Transformation) สำหรับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การเลือกใช้รูปแบบของการแปลงค่าเป็นไปตามความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่เราทำการทดลองมาได้ ดังนี้

ตารางที่ 5.9 Variance-Stabilizing Transformations สำหรับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ความสัมพันธ์ระหว่าง σ_y และ μ	α	$\lambda = 1 - \alpha$	Transformation	Comment
$\sigma_y \propto$ Constant	0	1	Not transformation	
$\sigma_y \propto \mu^{1/2}$	½	½	Square root	Poisson (Count) data
$\sigma_y \propto \mu$	1	0	Log	
$\sigma_y \propto \mu^{3/2}$	3/2	-1/2	Reciprocal Square root	
$\sigma_y \propto \mu^2$	2	-1	Reciprocal	

โดยรูปแบบการแปลงค่าที่พบบ่อยๆ ได้แก่

- การแปลงค่า ซึ่งสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \bar{y}$ และ $\log s$ ได้ความชันของกราฟ (α) = 1/2 ซึ่งจากตารางที่ 5.9 ให้ใช้ Square root Transformation จะได้ว่า ให้แปลงข้อมูล $y_{ij}^{*} = \sqrt{y_{ij}}$ เพื่อหา S*
- การแปลงค่า ซึ่งสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \bar{y}$ และ $\log s$ ได้ความชันของกราฟ (α) = 1 ซึ่งจากตารางที่ 5.9 ให้ใช้ Logarithmic Transformation จะได้ว่า ให้แปลงค่า $y_{ij}^{*} = \log y_{ij}$ เพื่อหา S* ต่อไป

สรุปได้ว่า ตัวแปรตอบสนอง ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) และ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S*) ซึ่งผ่านการแปลงค่ามาแล้วนั่นเอง

5.7 การออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความผันแปรของขนาดหน้ากว้างที่ตัดได้

การออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองนี้ จะใช้การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบมีจุดศูนย์กลาง (Half-Fractional Factorial Design with Center Point) (2_{IV}^{4-1}) โดยใช้โปรแกรม MINITAB ในการสร้างเมตริกซ์การออกแบบ (Matrix Design) โดยมีการสุ่มลำดับการทดลอง (Randomization) เพื่อให้ค่าสังเกตจากการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน โดยการวิจัยนี้ทำการศึกษาจากจำนวน 4 ปัจจัย โดยทำการทดลองทั้งสิ้น 8 การทดลอง ได้ผลการคำนวณจากโปรแกรม MINITAB ในหัวข้อ 5.4 การกำหนดจำนวนซ้ำ (Replication) ได้จำนวนซ้ำอย่างน้อย 9 ซ้ำ รวมการทดลองที่จุดศูนย์กลางสำหรับปัจจัยแปรผันเท่านั้น โดยเพิ่มเข้าไป 4 การทดลอง นั่นคือ จะได้ว่า เป็นการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบมีจุดศูนย์กลาง โดยทำการทดลองทั้งหมด 12 การทดลอง และเลือกการทดลองละ 10 ซ้ำ รายละเอียดการออกแบบการทดลองและเมตริกซ์การออกแบบ แสดงในตารางที่ 5.10 และ ตารางที่ 5.11 ตามลำดับ

- การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล (Fractional Factorial Design)

มีการลดจำนวนรันลงจนเหลือขนาดการทดลองที่สามารถทำได้จริง รันที่ถูกเลือกมาทำการทดลองเป็นรันที่อยู่ในชุดการทดลองของตัวแบบ full factorial ซึ่งในกรณีที่ไม่ได้ทำการทดลองครบทุกเงื่อนไขของทุกปัจจัยจะทำให้เกิดผลอย่างหนึ่งที่เรียกว่าคอนฟาวด์ (confounded) ซึ่ง คอนฟาวด์ นี้หมายถึง อิทธิพลของปัจจัยที่ไม่สามารถทำการประเมินค่าแยกออกมาได้เดี่ยวๆ และอาจเรียกว่าเป็น Aliased โดย Minitab จะแสดงตารางของ alias ที่อยู่ในรูปแบบของการคอนฟาวด์ เพราะว่าเรื่องของคอนฟาวด์ ทำให้อิทธิพล (effects) บางตัวไม่สามารถหาค่าได้ทำให้การเลือกการทำ fractional factorial ต้องเลือกส่วนที่จะมาทำให้ถูกต้องเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ใช้งานได้ การเลือก

ส่วนการทดลองที่ดีที่สุด (Best fraction) บาง ครั้งอาจจะต้องใช้ความรู้เฉพาะเกี่ยวกับกระบวนการและผลิตภัณฑ์เพื่อมาตัดสินใจด้วย

- การเพิ่มจุดศูนย์กลาง

เนื่องจากการออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล จะช่วยประหยัดจำนวนครั้งในการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานเชิงเส้น (Linearity) ของผลที่เกิดจากปัจจัย แต่ไม่สามารถทดสอบการมีความโค้งของผลตอบ (Curvature) ของปัจจัยได้ จึงเพิ่มจุดศูนย์กลางเข้าไปเพื่อช่วยทดสอบตรงส่วนนี้

- การสุ่ม (Randomization)

หมายถึงการลำดับการทดลองเป็นไปแบบสุ่ม ซึ่งทำให้ผลการทดลอง ตรงกับข้อกำหนดทางสถิติที่ว่า ค่าสังเกตจากการทดลองต้องมีความเป็นอิสระต่อกัน การสุ่มยังสามารถที่จะเฉลี่ยออกความผันแปรภายนอกที่ไม่ได้เกิดจากสาเหตุโดยธรรมชาติออกไปได้ ทำให้การวิเคราะห์ผลการทดลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 5.10 รายละเอียดของการออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม MINITAB

Fractional Factorial Design

```
Factors:   4   Base Design:         4, 8   Resolution:   IV
Runs:    120   Replicates:           10   Fraction:    1/2
Blocks:    1   Center pts (total):     4

Design Generators: D = ABC

Alias Structure

I + ABCD

A + BCD
B + ACD
C + ABD
D + ABC
AB + CD
AC + BD
AD + BC
```

ตารางที่ 5.11 การออกแบบการทดลอง (Design Matrix) โดยโปรแกรม MINITAB

Std Order	Run Order	Center Pt	Blocks	A	B	C	D
2	1	1	1	36	ไม่ปรับตั้งระนาบ	เพลาหลวม	5.00
4	2	1	1	36	ปรับตั้งระนาบ	เพลาหลวม	-5.00
10	3	0	1	20	ปรับตั้งระนาบ	เพลาหลวม	0.00
7	4	1	1	4	ปรับตั้งระนาบ	เพลาฟิต	-5.00
1	5	1	1	4	ไม่ปรับตั้งระนาบ	เพลาหลวม	-5.00
6	6	1	1	36	ไม่ปรับตั้งระนาบ	เพลาฟิต	-5.00
8	7	1	1	36	ปรับตั้งระนาบ	เพลาฟิต	5.00
5	8	1	1	4	ไม่ปรับตั้งระนาบ	เพลาฟิต	5.00
11	9	0	1	20	ไม่ปรับตั้งระนาบ	เพลาฟิต	0.00
9	10	0	1	20	ไม่ปรับตั้งระนาบ	เพลาหลวม	0.00
12	11	0	1	20	ปรับตั้งระนาบ	เพลาฟิต	0.00
3	12	1	1	4	ปรับตั้งระนาบ	เพลาหลวม	5.00

หมายเหตุ ในแต่ละความสัมพันธ์ของทรีทเมนต์ (Treatment combination) มีจำนวนทำซ้ำ เท่ากับ 10

5.8 การทำการทดลอง

5.8.1 การเตรียมการทดลอง

ทำการเตรียมการทดลองโดยเตรียมเครื่องตัด เครื่องมือ และอุปกรณ์ทุกอย่างให้พร้อม จากนั้นทำการอบรมพนักงานที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง ให้เข้าใจถึงการปรับตั้งพารามิเตอร์ต่างๆ รวมถึงการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ให้ถูกต้องตามระดับที่จะทำการทดลอง และแยกพื้นที่ในการทดลองอย่างชัดเจน ได้แก่ โต๊ะงานที่ใช้ในการตรวจสอบและวัดค่าขนาดหน้ากว้าง เพื่อป้องกันการปะปนกันของชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง และชิ้นงานที่ตัดปกติ

5.8.2 ขั้นตอนการทดลอง

- ทำการทดลองตาม Run Order ที่อยู่ในตารางออกแบบการทดลอง (Matrix Design) โดยการกำหนดปัจจัยให้เป็นไปตาม Run Order นั้นๆ
- ทุกๆ Run Order ให้ตัดม้วนผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องจำนวน 10 ม้วน
- ทำการวัดหน้ากว้าง 8 จุด ของแต่ละม้วน บันทึกค่าจุดที่แตกต่างจากค่าหน้ากว้างที่ตั้งไว้มากที่สุด เป็นผลการวัดของแต่ละม้วน จนครบ 10 ม้วน
- ทำการทดลองจนครบ 12 รัน

- คำนวณหาค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) ของแต่ละรัน
- คำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) ของแต่ละรัน
- หาค่า log($\bar{y}$) ของแต่ละรัน
- หาค่า log(S) ของแต่ละรัน
- นำ $\log \bar{y}$ และ $\log s$ มาพล็อตกราฟเพื่อหาความชันของกราฟ (α)
- เลือกใช้รูปแบบการแปลงค่า จากตารางที่ 5.9

5.9 ผลการทดลอง

จากการเก็บข้อมูลการทดลอง โดยนำเทปโฟมอะคริลิคที่ตัดได้ มาทำการวัดด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ แล้วทำการบันทึกค่าวัด ได้ผลการวัด ดังแสดงในภาคผนวก ก ตาราง ก-3 จากนั้นนำผลการวัดมาหาวิธีการแปลงค่าข้อมูล โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \bar{y}$ และ $\log s$ ปรากฏว่าได้ความชันของกราฟ (α) = 0 ดังแสดงในกราฟความสัมพันธ์ ระหว่าง $\log \bar{y}$ และ $\log s$ ของข้อมูลขนาดหน้ากว้างที่ได้ ในตาราง ก-4 ภาคผนวก ก ดังนั้นจากตารางที่ 5.9 Variance-Stabilizing Transformations จึงไม่ต้องใช้การแปลงค่าสำหรับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) สรุปตารางการทดลอง 10 การทดลอง โดยการทดลองละ 10 ซ้ำ ได้ผลดังตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 รูปแบบการทดลองและผลการทดลองวัดค่าเฉลี่ยของขนาดหน้ากว้าง และความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เกิดจากกระบวนการตัด

Std Order	Run Order	Center Pt	Blocks	A	B	C	D	$\bar{y}$	S
2	1	1	1	36	ไม่ปรับตั้งระนาบ	เพลาหลวม	5.00	**11.6009**	**0.1375**
4	2	1	1	36	ปรับตั้งระนาบ	เพลาหลวม	-5.00	**12.4791**	**0.1171**
10	3	0	1	20	ปรับตั้งระนาบ	เพลาหลวม	0.00	**12.0140**	**0.0925**
7	4	1	1	4	ปรับตั้งระนาบ	เพลาฟิต	-5.00	**12.3638**	**0.0563**
1	5	1	1	4	ไม่ปรับตั้งระนาบ	เพลาหลวม	-5.00	**12.4150**	**0.1589**
6	6	1	1	36	ไม่ปรับตั้งระนาบ	เพลาฟิต	-5.00	**12.3133**	**0.0938**
8	7	1	1	36	ปรับตั้งระนาบ	เพลาฟิต	5.00	**11.7214**	**0.0546**
5	8	1	1	4	ไม่ปรับตั้งระนาบ	เพลาฟิต	5.00	**11.6340**	**0.0892**
11	9	0	1	20	ไม่ปรับตั้งระนาบ	เพลาฟิต	0.00	**12.0060**	**0.1195**
9	10	0	1	20	ไม่ปรับตั้งระนาบ	เพลาหลวม	0.00	**12.0204**	**0.1148**
12	11	0	1	20	ปรับตั้งระนาบ	เพลาฟิต	0.00	**12.0120**	**0.0473**
3	12	1	1	4	ปรับตั้งระนาบ	เพลาหลวม	5.00	**11.7004**	**0.0926**

5.10 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

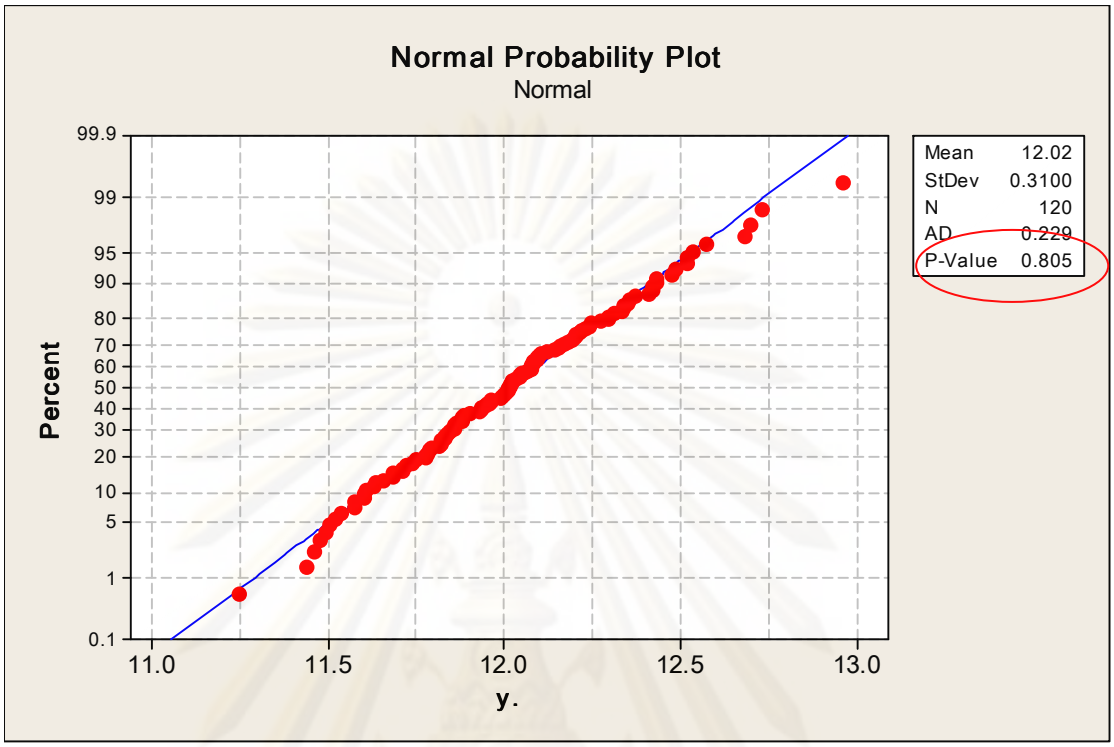
ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง จะทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองก่อน ซึ่งหากข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ผลเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนด จึงจะทำการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญและใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไป โดยจะเป็นการตรวจสอบว่าข้อมูลมีรูปแบบของความผิดพลาดเป็นไปตามหลักการ $\varepsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ หรือไม่ ด้วยการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองตามสมมติฐาน 3 ข้อ คือ สมมติฐานของการแจกแจงปกติ สมมติฐานของความเป็นอิสระ และสมมติฐานของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ก่อนที่จะนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์และสรุปผลของการออกแบบการทดลอง โดยนำข้อมูลผลค่าวัดขนาดหน้ากว้าง (y) ในตาราง ก-3 ตารางบันทึกค่าวัดขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคชนิด A 12 mm จำนวน 12 รัน มาทำการวิเคราะห์ ดังนี้

5.10.1 การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ (Normality Assumption)

การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ สามารถตรวจสอบได้โดยพิจารณาการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) ของข้อมูลผลค่าวัดขนาดหน้ากว้างว่ามีการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ หากพิจารณา Normal Probability Plot ควรกระจายตัวตามแนวเส้นตรงและหากทดสอบโดยการทดสอบความเป็นปกติ (Normality Test) จะมีค่า p-value มากกว่า 0.05

จากการทดสอบผลค่าวัดขนาดหน้ากว้าง พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ คือมีลักษณะเป็นเส้นตรง และมีค่า P-value เท่ากับ 0.805 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงปกติ แสดงดังรูปที่ 5.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



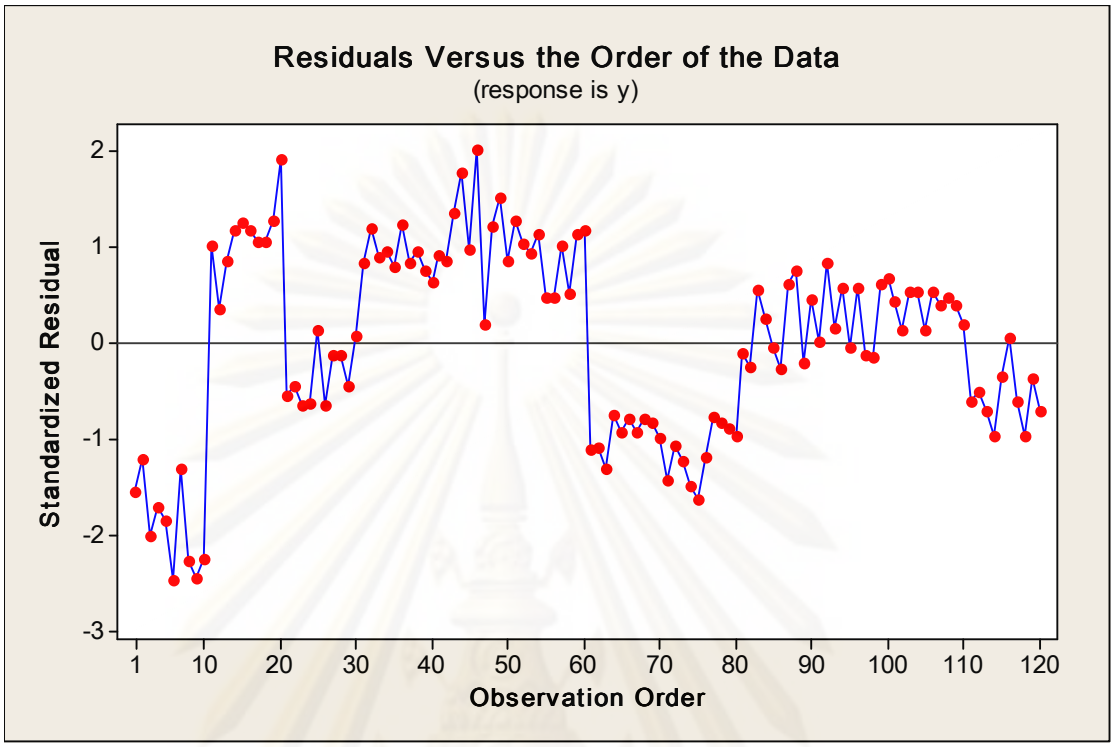
รูปที่ 5.8 ผลการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติของข้อมูลผลค่าวัดขนาดหน้ากว้าง

5.10.2 การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independence)

การทดสอบสมมติฐาน ของความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง (Independence of Residual) สามารถได้ โดยการพิจารณาจากแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับของการเก็บข้อมูล (Order of the data) โดยการกระจายตัวของส่วนตกค้างควรมีรูปแบบที่เป็นอิสระต่อกัน ไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบที่แน่นอน

จากกราฟที่แสดงในรูปที่ 5.9 ค่าส่วนตกค้างของข้อมูลผลค่าวัดขนาดหน้ากว้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบที่แน่นอน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความอิสระต่อกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

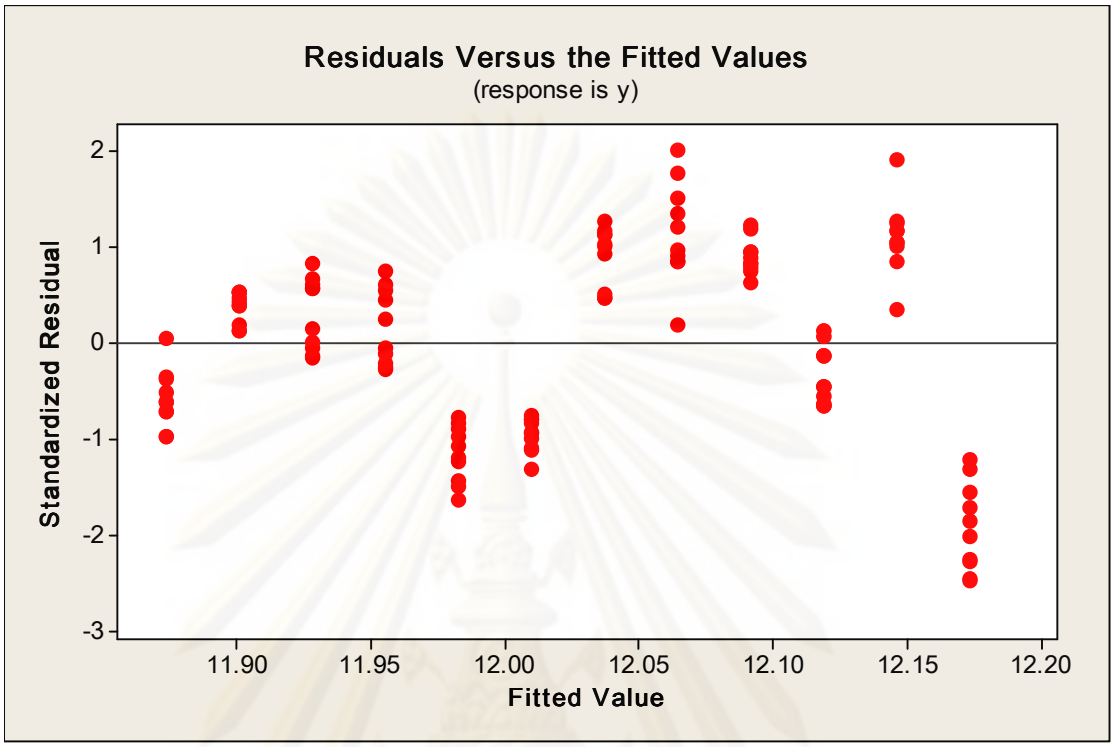


รูปที่ 5.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและลำดับการเก็บข้อมูล
ของข้อมูลผลค่าวัดขนาดหน้ากว้าง

5.10.3 สมมติฐานของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้ โดยการสร้างแผนภาพการกระจาย ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าผลวัดขนาดหน้ากว้างที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดงในรูปที่ 5.10 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือเป็นการกระจายตัวที่เป็นรูปแบบของกรวยปากเปิด แต่ควรที่จะมีการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบที่แน่นอน

จากกราฟจะเห็นว่า ค่าส่วนตกค้าง มีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ไม่มีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือเป็นการกระจายตัวที่เป็นรูปแบบของกรวยปากเปิด ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

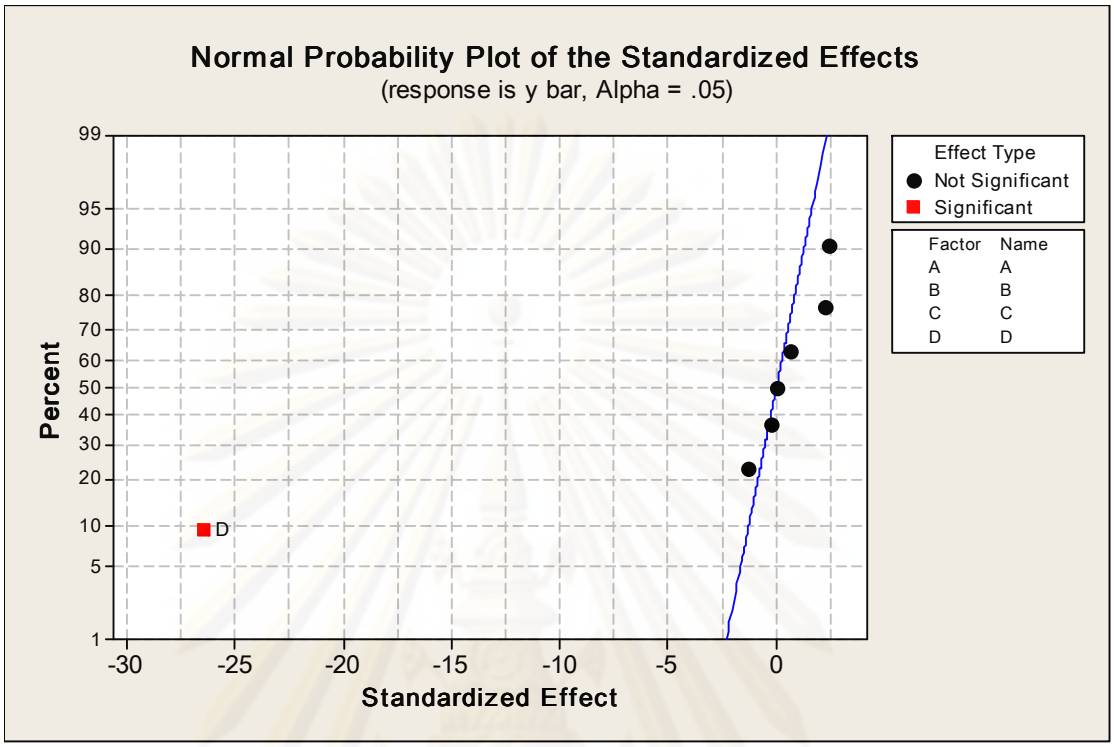


รูปที่ 5.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต
ของข้อมูลผลค่าวัดขนาดหน้ากว้าง

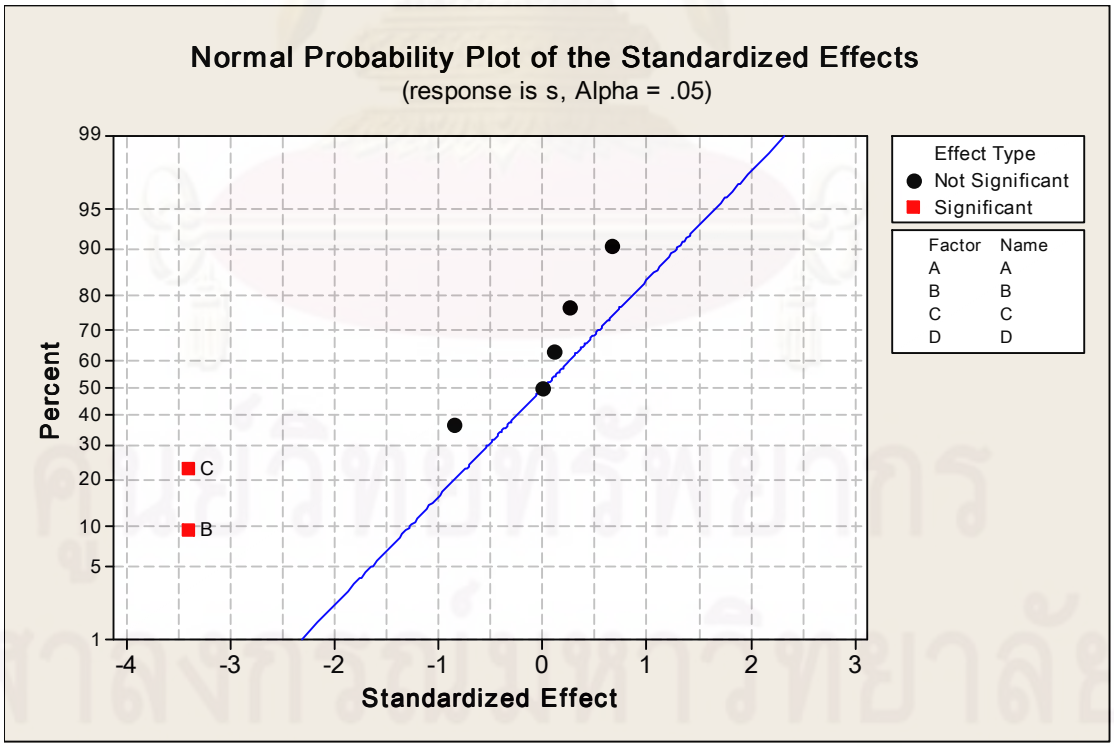
ผลการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแปรตอบสนอง สรุปได้ว่าข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลอง เป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ มีการกระจายเป็นแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน จึงเป็นไปตามเงื่อนไข $\varepsilon_{ij} \sim \text{NID}\ (0, \sigma^2)$ ของการออกแบบการทดลอง ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ผลการทดลองในขั้นตอนต่อไป

5.11 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

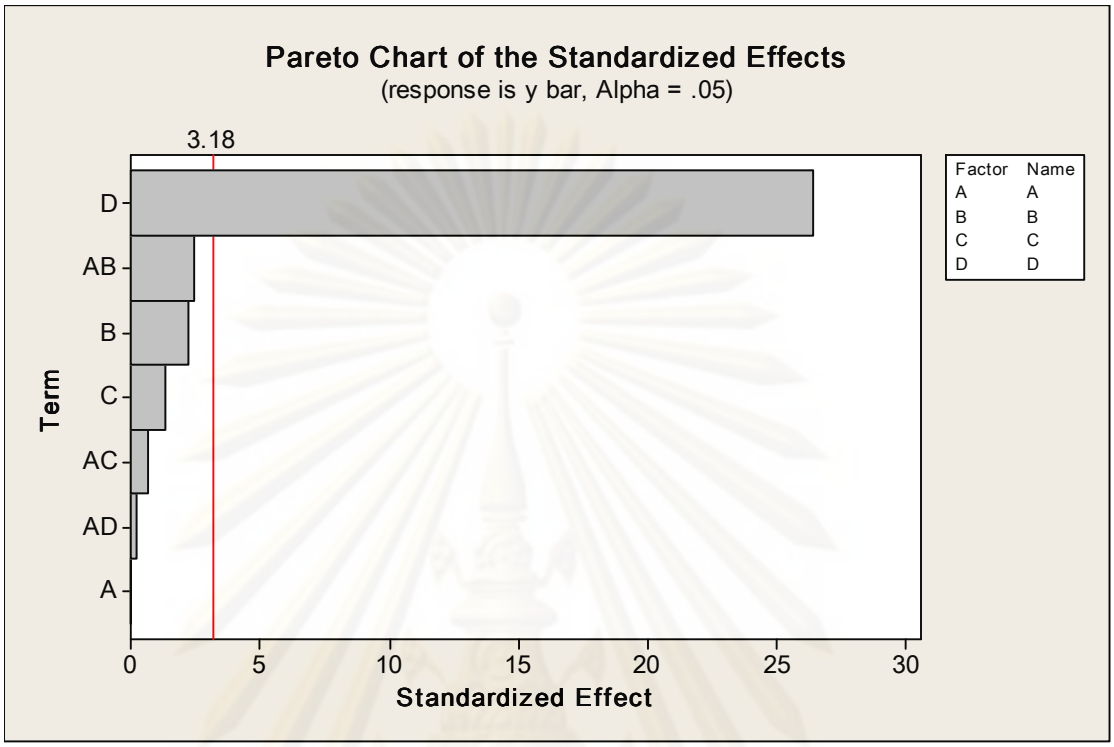
ในการวิเคราะห์ผลของการออกแบบการทดลองเบื้องต้น ด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถแสดงผลของปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญออกมาในรูปแบบของ Normal Probability Plot แสดงในรูปที่ 5.11, รูปที่ 5.12 และ แผนภาพพาเรโต แสดงดังรูปที่ 5.13, รูปที่ 5.14 ตามลำดับ รวมถึงแสดงผลของการออกแบบการทดลองของผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) และ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S) ดังแสดงในรูปที่ 5.15 และ รูปที่ 5.16 กับผลของอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) และ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S) ดังแสดงในรูปที่ 5.17 และ รูปที่ 5.18



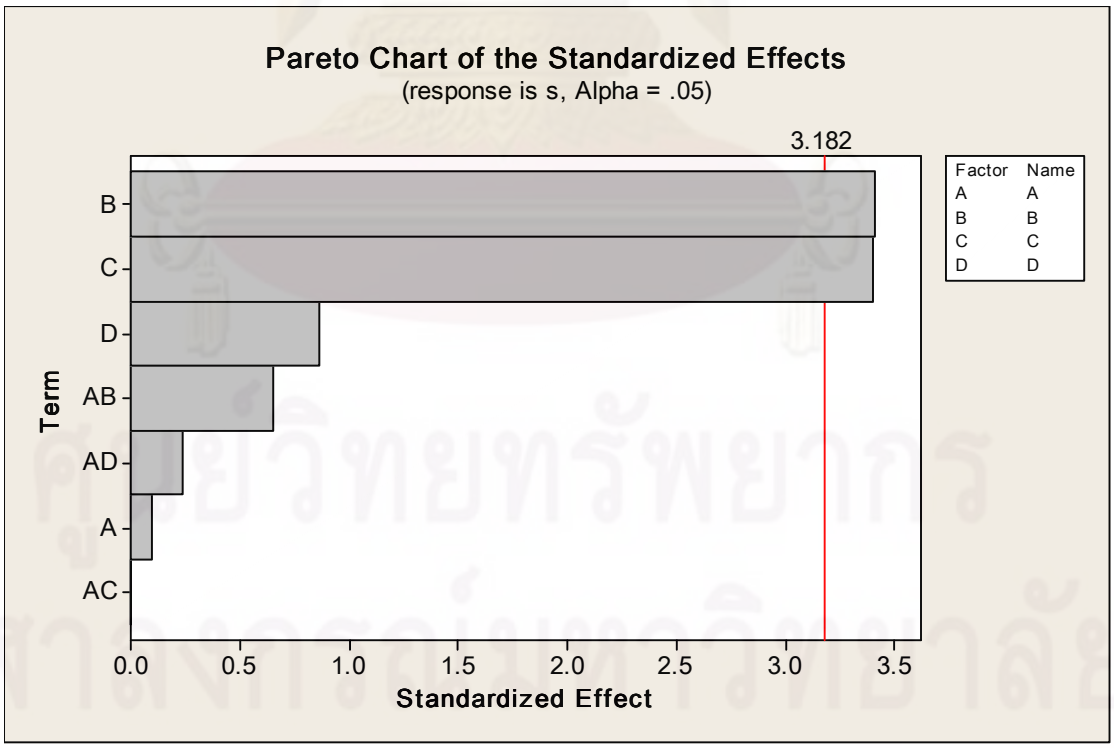
รูปที่ 5.11 กราฟ Normal Plot ของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$)



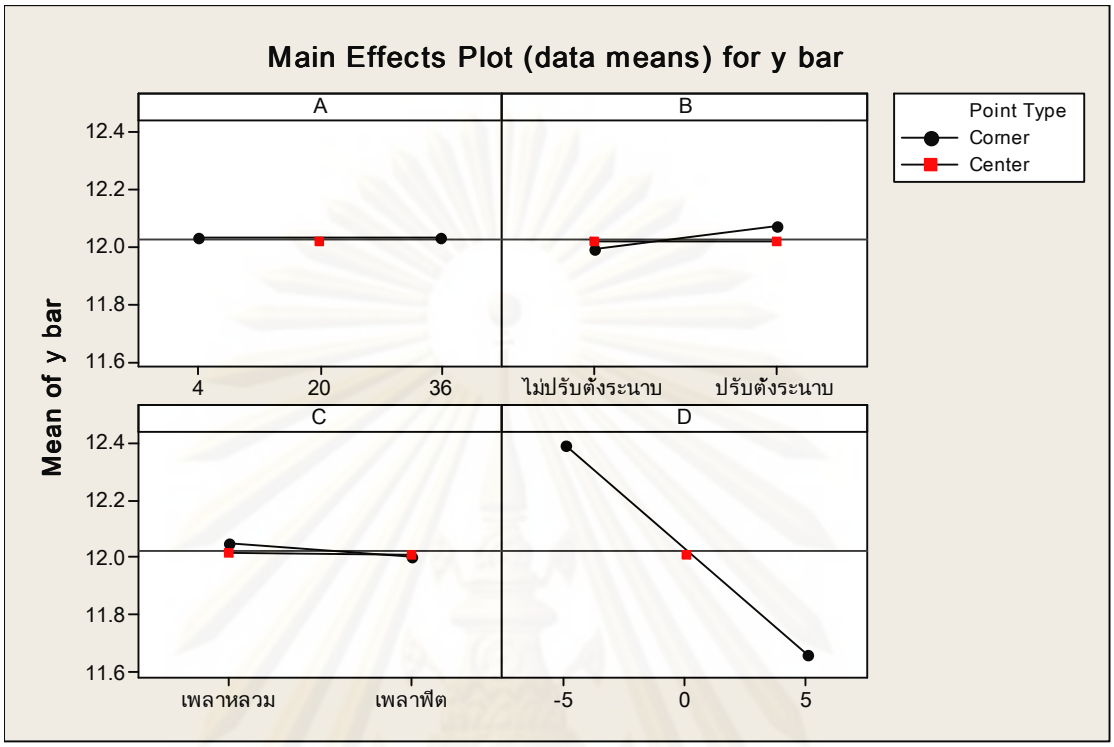
รูปที่ 5.12 กราฟ Normal Plot ของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ
ต่อค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S)



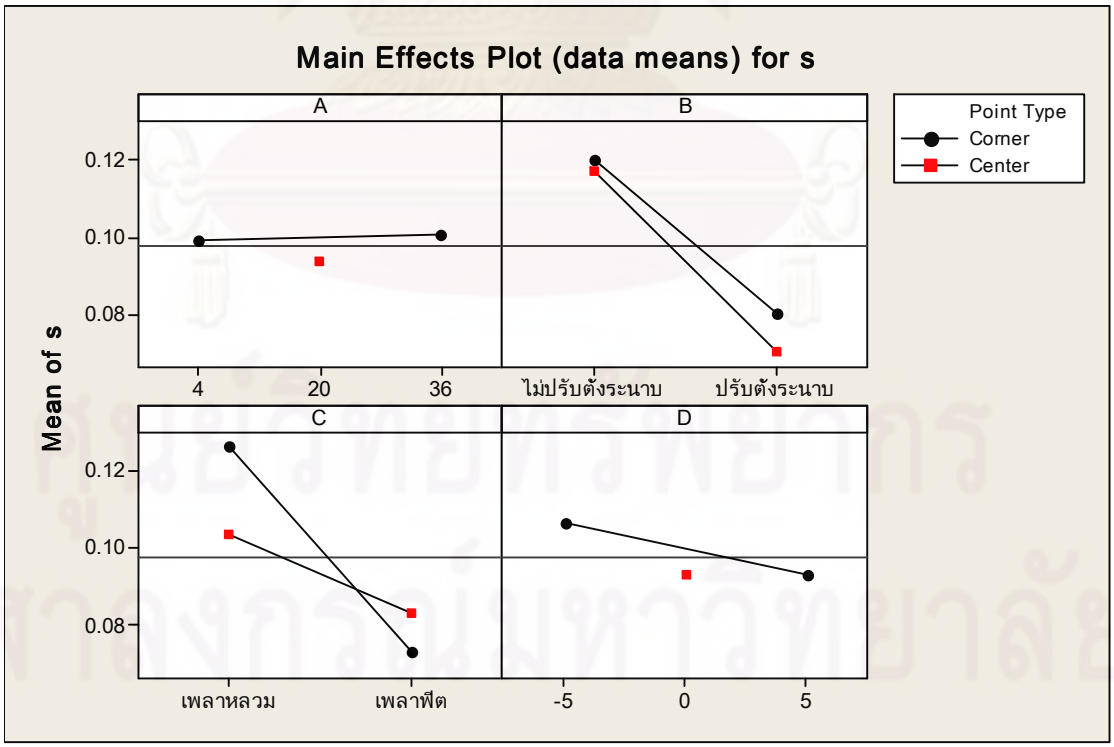
รูปที่ 5.13 แผนภาพพาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$)



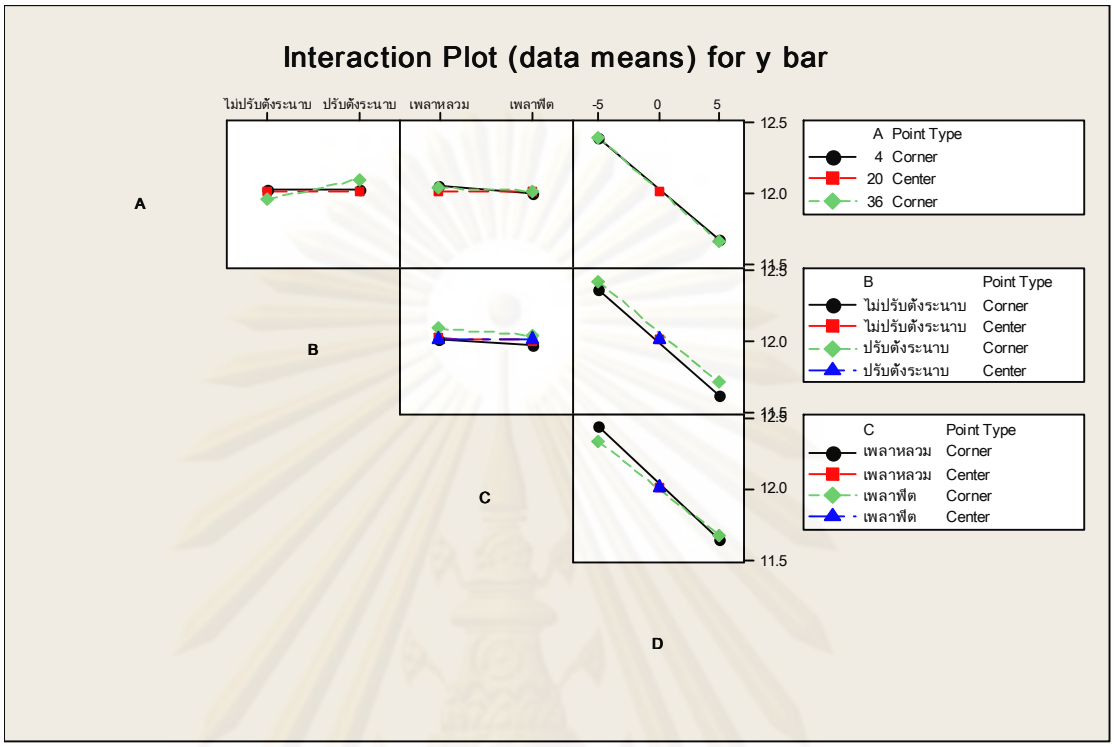
รูปที่ 5.14 แผนภาพพาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อ
ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S)



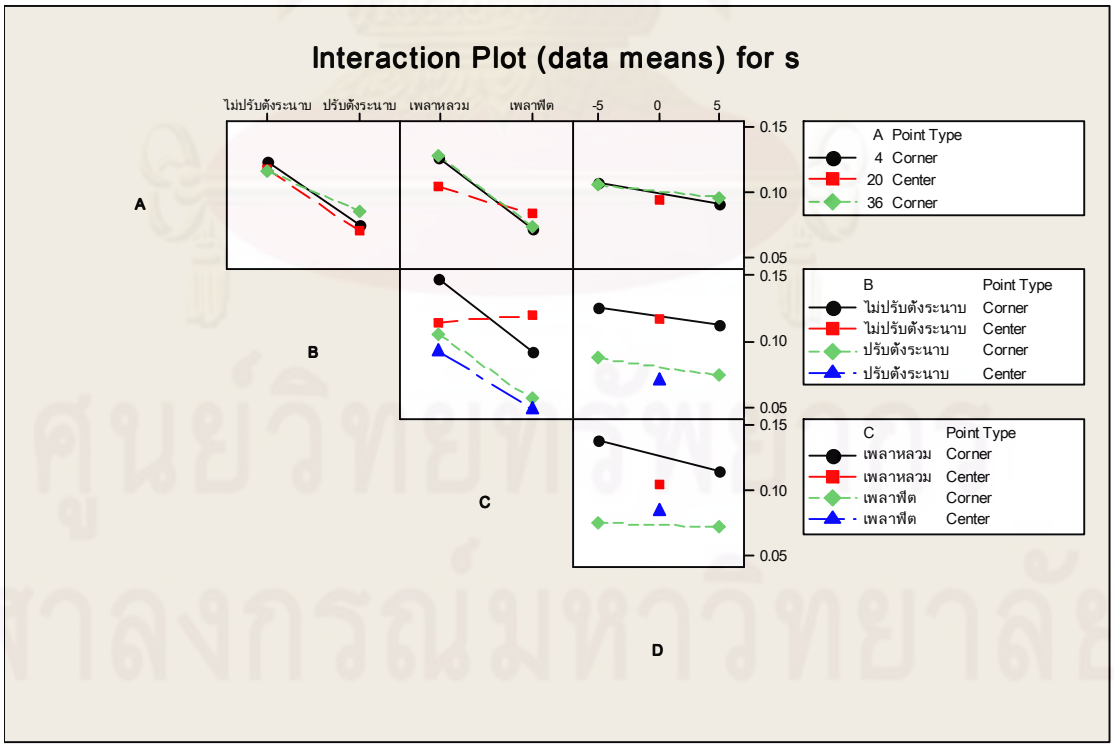
รูปที่ 5.15 ผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$)



รูปที่ 5.16 ผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S)



รูปที่ 5.17 อันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$)



รูปที่ 5.18 อันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S)

ตารางที่ 5.13 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองสำหรับค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$)

Factorial Fit: y bar versus A, B, C, D

Estimated Effects and Coefficients for y bar (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		12.0285	0.01377	873.46	0.000
A	0.0004	0.0002	0.01377	0.01	0.990
B	0.0502	0.0251	0.01124	2.23	0.112
C	-0.0299	-0.0149	0.01124	-1.33	0.276
D	**-0.7286**	**-0.3643**	**0.01377**	**-26.45**	**0.000**
A*B	0.0678	0.0339	0.01377	2.46	0.091
A*C	0.0181	0.0090	0.01377	0.66	0.558
A*D	-0.0064	-0.0032	0.01377	-0.23	0.831
Ct Pt		-0.0154	0.02385	-0.65	0.565

S = 0.0389504 R-Sq = 99.58% R-Sq(adj) = 98.46%

Analysis of Variance for y bar (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	1.07202	1.07202	0.268006	176.65	0.001
2-Way Interactions	3	0.00992	0.00992	0.003308	2.18	0.269
Curvature	1	0.00063	0.00063	0.000631	0.42	0.565
Residual Error	3	0.00455	0.00455	0.001517		
Total	11	1.08713				

ตารางที่ 5.14 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองสำหรับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S)

Factorial Fit: s versus A, B, C, D

Estimated Effects and Coefficients for s (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.10000	0.007577	13.20	0.001
A	0.00150	0.00075	0.007577	0.10	0.927
B	**-0.04222**	**-0.02111**	**0.006186**	**-3.41**	**0.042**
C	**-0.04212**	**-0.02106**	**0.006186**	**-3.40**	**0.042**
D	-0.01305	-0.00652	0.007577	-0.86	0.452
A*B	0.00990	0.00495	0.007577	0.65	0.560
A*C	-0.00005	-0.00003	0.007577	-0.00	0.998
A*D	0.00365	0.00183	0.007577	0.24	0.825
Ct Pt		-0.00648	0.013123	-0.49	0.656

S = 0.0214300 R-Sq = 89.17% R-Sq(adj) = 60.30%

Analysis of Variance for s (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	0.0110133	0.0110133	0.00275332	6.00	0.087
2-Way Interactions	3	0.0002227	0.0002227	0.00007422	0.16	0.916
Curvature	1	0.0001118	0.0001118	0.00011180	0.24	0.656
Residual Error	3	0.0013777	0.0013777	0.00045924		
Total	11	0.0127255				

การวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้นจากโปรแกรม MINITAB เพื่อพิจารณาเทอมของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) และ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S) ที่แสดงในตารางที่ 5.13 และ 5.14 พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ ที่ 0.05 มีปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) ซึ่งก็คือปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 เป็นปัจจัยหลัก (Main Effect) จำนวน 1 ปัจจัย นอกจากนี้ยังพบว่า ไม่มีอิทธิพลเนื่องจากความโค้ง (Curvature) เกิดขึ้นกับตัวแบบนี้ เนื่องจากค่า P-Value เท่ากับ 0.142 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้นปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) อย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ ปัจจัย D คือ มุมของใบมีดตัด ส่วนปัจจัยที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S) ซึ่งก็คือปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 เป็นปัจจัยหลัก (Main Effect) จำนวน 2 ปัจจัย นอกจากนี้ยังพบว่า ไม่มีอิทธิพลเนื่องจากความโค้ง (Curvature) เกิดขึ้นกับตัวแบบนี้ เนื่องจากค่า P-Value เท่ากับ 0.292 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้นปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S) อย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ ปัจจัย B และ ปัจจัย C ซึ่งคือ ระนาบของใบมีด และ ความแน่นของเพลาสวมม้วนวัตถุดิบ ตามลำดับ

5.12 สรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนนี้ ได้ทำการทดสอบสมมติฐานสำหรับปัจจัยนำเข้าบางตัว ที่อาจมีผลต่อความผันแปรของขนาดหน้ากว้าง ซึ่งได้แก่ มุมของใบมีด(Angle) โหมดที่ 1 และ โหมดที่ 2 เพื่อให้มั่นใจว่าตลอดช่วงเวลาที่เดินเครื่องตัดม้วนผลิตภัณฑ์ม้วนแรกจนสิ้นสุดกระบวนการนั้น สามารถตั้งมุมของใบมีด(Angle) โหมดที่ 1 และ โหมดที่ 2 เป็นมุมเดียวกันโดยให้ผลของค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

ก่อนทำการทดลอง ได้คำนวณขนาดตัวอย่างที่เพียงพอ ในการตรวจจับความแตกต่างระหว่างการทดลองได้ และในการทดลองสำหรับปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญ ได้เลือกการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล เพื่อประหยัดเวลา และทรัพยากรในการทดลอง โดยคำนวณได้ 9 ซ้ำ แต่เลือกทำการทดลองที่ 10 ซ้ำ ซึ่งเป็นจำนวนที่เพียงพอในการตรวจจับความแตกต่างระหว่างการทดลองได้ และสะดวกในการเก็บข้อมูลสำหรับผู้ตัดและวัด โดยได้ทำการเปรียบเทียบขนาดตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) และการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE) พบว่าขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ในการออกแบบการทดลองมีปริมาณน้อยกว่าถึง 3 เท่า ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงเลือกการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบมีจุดศูนย์กลางสำหรับปัจจัยที่เป็นปัจจัยแปรผัน (2_{iv}^{4-1} with center points) เนื่องจากใช้ตัวอย่างน้อยกว่ามาก และยังสามารถพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยในการทดลองและความมีส่วนโค้งของปัจจัยได้ด้วย ซึ่งการออกแบบการทดลองนี้ใช้การทดลองทั้งหมด 12 รัน (Runs)

จากนั้น เมื่อได้ผลการทดลองแล้ว จึงนำมาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง โดยมีการหารูปแบบการแปลงค่าที่เหมาะสม สำหรับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตามหลักการของ Montgomery (2009) ซึ่งปรากฏว่า ผลการทดลองนี้ไม่ต้องมีการแปลงข้อมูล และทำการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) เมื่อพบว่าผลการทดลองเป็นไปตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อ จึงได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองในขั้นตอนต่อไป

ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองเบื้องต้นจากโปรแกรม MINITAB เพื่อพิจารณาเทอมของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) และ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S) ที่แสดงในตารางที่ 5.13 และ 5.14 พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ ที่ 0.05 มีปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) ซึ่งก็คือปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 เป็นปัจจัยหลัก (Main Effect) จำนวน 1 ปัจจัย นอกจากนี้ยังพบว่า ไม่มีอิทธิพลเนื่องจากความโค้ง (Curvature) เกิดขึ้นกับตัวแบบนี้ เนื่องจากค่า P-Value เท่ากับ 0.142 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้นปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) อย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ ปัจจัย D คือ มุมของใบมีดตัด ส่วนปัจจัยที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S) ซึ่งก็คือปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 เป็นปัจจัยหลัก (Main Effect) จำนวน 2 ปัจจัย นอกจากนี้ยังพบว่า ไม่มีอิทธิพลเนื่องจากความโค้ง (Curvature) เกิดขึ้นกับตัวแบบนี้ เนื่องจากค่า P-Value เท่ากับ 0.292 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้นปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S) อย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ ปัจจัย B และ ปัจจัย C ซึ่งคือ ระนาบของใบมีด และ เพลาสวมม้วนวัตถุดิบ ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

ผลการดำเนินงานวิจัยระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve phase)

ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ จะเป็นการนำปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญมาหาระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนั้นที่ทำให้ขนาดหน้ากว้างมีความผันแปรต่ำที่สุด

6.1 บทนำ

หลังจากทำการออกแบบการทดลอง ทั้ง 4 ปัจจัยตามระดับที่กำหนดไว้ เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญ ด้วยการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบมีจุดศูนย์กลาง (Half-Fractional Factorial Design with Center Point : 2_{iv}^{4-1}) ตามตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ปัจจัยนำเข้าและระดับพารามิเตอร์ของปัจจัยนำเข้า

พารามิเตอร์ (ปัจจัยนำเข้า)	สัญลักษณ์	ชนิดของปัจจัย	ระดับพารามิเตอร์ในการทดลอง (Level)		
			ระดับต่ำ	จุดศูนย์กลาง	ระดับสูง
มุมคมตัดของใบมีด	A	ปัจจัยแปรผัน	4°	20°	36°
ระนาบของใบมีดตัด	B	ปัจจัยคุณลักษณะ	ไม่ปรับตั้ง	-	ปรับตั้ง
ความแน่นของเพลาสวมม้วนวัตถุดิบ	C	ปัจจัยคุณลักษณะ	เพลาหลวม	-	เพลาฟิต
มุมของใบมีดตัด (Angle)	D	ปัจจัยแปรผัน	-5°	0°	+5°

ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม MINITAB พบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) อย่างมีนัยสำคัญ คือ ปัจจัย D ซึ่งคือ มุมของใบมีดตัด (Angle) และที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S) อย่างมีนัยสำคัญ คือ ปัจจัย B และ C ซึ่งก็คือ ระนาบของใบมีด (Blade Alignment) และ ความแน่นของเพลาสวมม้วนวัตถุดิบ ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังพบว่า ไม่มีอิทธิพลเนื่องจากความโค้ง (Curvature) เกิดขึ้นกับตัวแบบนี้ สำหรับขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ จะเป็นการศึกษาถึงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) เพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้กับค่าเป้าหมายมากที่สุด และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำที่สุด โดยการวิเคราะห์ผลการทดลองจากข้อมูลที่มีอยู่

6.2 การตรวจสอบผลการวิเคราะห์การเลือกตัวแปรนำเข้าด้วย Stepwise Regression

เพื่อเป็นการตรวจสอบว่า การวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญ ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองนี้สามารถเลือกปัจจัยนำเข้าได้อย่างถูกต้อง จึงได้ทำการตรวจสอบผลการวิเคราะห์ด้วยการเลือกตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับสมการถดถอย โดยใช้วิธี Stepwise Regression ซึ่งเป็นวิธีเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอย ป้องกันการเกิดปัญหา Multicollinearity หรือ การที่ตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันได้ ซึ่งการเกิดปัญหานี้ จะทำให้สมการถดถอย และการวิเคราะห์ความถดถอยไม่ถูกต้อง วิธีการนี้มีหลักเกณฑ์ คือ การนำตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยครั้งละ 1 ตัว ถ้าตัวแปรอิสระที่นำเข้า มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระที่มีอยู่แล้วในสมการถดถอย จะทำการตัดตัวแปรอิสระที่สัมพันธ์กันตัวใดตัวหนึ่งออกจากสมการถดถอย (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2545) เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปทำการวิเคราะห์วิธี Stepwise Regression ด้วยโปรแกรม MINITAB ได้ผลดังตารางที่ 7.1 และ ตารางที่ 7.2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จากปัจจัยที่คาดว่า จะมีผลต่อตัวแปรตอบสนองค่าเฉลี่ย เป็นปัจจัยที่ความสัมพันธ์กับตัวแปรตอบสนองที่ถูกเลือกเข้าสมการถดถอยจำนวน 1 พจน์ คือ D ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยการออกแบบการทดลองที่ผ่านมาและได้สมการถดถอยที่เหมาะสมการดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_4 x_4 + \varepsilon \qquad (7.1)$$

ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานนั้นไม่มีตัวแปรที่เป็นแบบแปรผัน

ตารางที่ 6.2 ผลการวิเคราะห์ Stepwise Regression สำหรับค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$)

Stepwise Regression: y bar versus A, D

```
  Alpha-to-Enter: 0.05  Alpha-to-Remove: 0.05

Response is y bar on 2 predictors, with N = 12

Step             1
Constant     12.02

D           -0.0729
T-Value      -20.47
P-Value       0.000

S            0.0503
R-Sq          97.67
R-Sq(adj)     97.44
Mallows C-p     1.0
```

ตารางที่ 6.3 ผลการวิเคราะห์ Stepwise Regression สำหรับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S)

```
Stepwise Regression: s versus A, D

  Alpha-to-Enter: 0.05  Alpha-to-Remove: 0.05

Response is s* on 2 predictors, with N = 12

No variables entered or removed
```

6.3 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าสำคัญ ในกรณีที่ไม่มีอิทธิพลเนื่องจากความโค้ง (Curvature) เกิดขึ้นกับตัวแบบ สามารถทำการสรุปเลือกระดับของปัจจัยที่มีนัยสำคัญจาก Main Effect Plot ได้ทันที โดยทำการเลือกระดับของปัจจัยที่แสดงผลของตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้เป้าหมายมากที่สุด และ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ต่ำที่สุด จาก Main Effect Plot รูปที่ 5.15 และ รูปที่ 5.16 แสดงให้เห็นว่า ระดับของปัจจัย A ที่ให้ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้เป้าหมายที่สุดและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำสุด คือ จุดศูนย์กลาง ส่วนปัจจัย D ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้เป้าหมายที่สุด และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำสุด คือ จุดศูนย์กลาง ในส่วนของปัจจัย B และ C ที่ให้ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้เป้าหมายที่สุดและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำที่สุด คือ ระดับสูง ทั้งสองปัจจัย สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่เหมาะสมทั้ง 4 ปัจจัย

สัญลักษณ์ของปัจจัย	ปัจจัยนำเข้า	ระดับที่เหมาะสม	
		Coded Units	Uncoded Units
A	มุมคมตัดใบมีด	0	20 องศา
B	การปรับตั้งระนาบใบมีด	1	มีการปรับตั้งระนาบใบมีด
C	ความแน่นของเพลาสวมม้วนวัตถุดิบ	1	เพลาฟิต
D	มุมของใบมีด (Angle)	0	มุมที่ 0°

นอกจากนี้ยังสามารถหาระดับที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimization ของโปรแกรม MINITAB ซึ่งจะแสดงระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยเป็นค่าที่จุดยอด เนื่องจากไม่มีอิทธิพลเนื่องจากความโค้ง และวิธีนี้ยังสามารถคำนวณค่าทำนาย (Predictive Value) ของตัวแปร

ตอบสนองได้โดยมีที่มาจากสมการตัวแบบถดถอย (Regression Models) ซึ่งหาได้จากการนำค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient) ที่ได้จากการวิเคราะห์ Stepwise Regression หรือจากการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองของปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ แสดงดังตารางที่ 6.2, 6.3 และ ตารางที่ 6.5, 6.6 ตามลำดับ มาเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานกับปัจจัยนำเข้า เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้เป้าหมายมากที่สุด และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำที่สุด ได้สมการทำนายซึ่งเป็นสมการถดถอยแบบเข้ารหัส (Code Units) ดังสมการที่ 6.2 และ6.3 ตามลำดับ

$$\text{Mean of Width } (\bar{y}) = 12.0285 + 0.0002A + 0.0251B - 0.0149C - 0.3643D \qquad (6.2)$$

$$\text{SD of Width}(S) = 0.10000 + 0.00075A - 0.02111B - 0.02106C - 0.00652D \qquad (6.3)$$

โดยตัวแบบนี้มีค่า R^2(adj) เท่ากับ 97.56% และ 76.94% ตามลำดับ ซึ่งเป็นที่ยอมรับได้

ตารางที่ 6.5 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (เฉพาะปัจจัยที่มีนัยสำคัญ)

Factorial Fit: y bar versus A, B, C, D

Estimated Effects and Coefficients for y bar (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		12.0285	0.01737	692.68	0.000
A	0.0004	0.0002	0.01737	0.01	0.992
B	0.0502	0.0251	0.01418	1.77	0.127
C	-0.0299	-0.0149	0.01418	-1.05	0.333
D	-0.7286	-0.3643	0.01737	-20.98	0.000
Ct Pt		-0.0154	0.03008	-0.51	0.627

S = 0.0491160 R-Sq = 98.67% R-Sq(adj) = 97.56%

ตารางที่ 6.6 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (เฉพาะปัจจัยที่มีนัยสำคัญ)

Factorial Fit: s versus A, B, C, D

Estimated Effects and Coefficients for s (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.10000	0.005774	17.32	0.000
A	0.00150	0.00075	0.005774	0.13	0.901
B	-0.04222	-0.02111	0.004715	-4.48	0.004
C	-0.04212	-0.02106	0.004715	-4.47	0.004
D	-0.01305	-0.00652	0.005774	-1.13	0.302
Ct Pt		-0.00648	0.010001	-0.65	0.541

S = 0.0163320 R-Sq = 87.42% R-Sq(adj) = 76.94%

การวิเคราะห์เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 4 ปัจจัย แสดงดังตารางที่ 6.7 และรูปที่ 6.1

ผลการวิเคราะห์หาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ด้วยฟังก์ชัน Response Optimization ของโปรแกรม MINITAB พบว่าได้ระดับของปัจจัยเช่นเดียวกับวิธีการที่เลือกจาก Main Effect Plot ดังแสดงในตารางที่ 6.4 และ ได้ค่าทำนายค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) เท่ากับ 12.0233 ใกล้เคียงกับค่าเป้าหมาย (Target) คือ 12.00 ส่วนค่าทำนายของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) เท่ากับ 0.0514 ซึ่งดีกว่า ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานก่อนการทดลอง (S) ซึ่งมีค่า เท่ากับ 0.1088

ตารางที่ 6.7 ผลการหาค่าผลตอบที่เหมาะสมที่สุด (Response Optimization)

Response Optimization

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
y bar	Target	11.7000	12.0000	12.3000	1	1
s	Minimum	0.0473	0.0473	0.1589	1	1

Global Solution

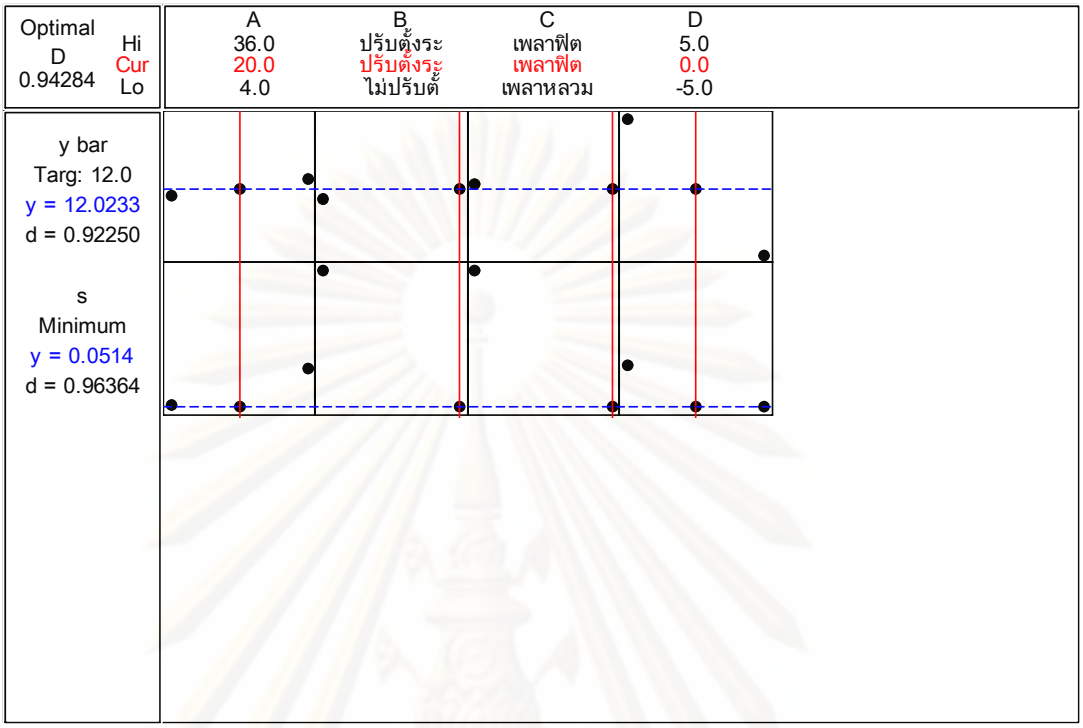
A	=	20	
B	=	1	(ปรับตั้งระนาบ)
C	=	1	(เพลาฟิต)
D	=	0	

Predicted Responses

y bar = 12.0233, desirability = 0.92250
s = 0.0514, desirability = 0.96364

Composite Desirability = 0.94284

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.1 Optimization Plot จากโปรแกรม MINITAB

6.4 สรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งปัจจัยประกอบไปด้วย B, C สำหรับตัวแปรตอบสนองค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ D สำหรับตัวแปรตอบสนองค่าเฉลี่ย จึงนำไปปรับปรุงหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม โดยการคำนวณค่าทำนายของตัวแปรตอบสนอง จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองดีที่สุด คือ ได้ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้เป้าหมายมากที่สุด และ มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำที่สุด โดยได้ระดับปัจจัยที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยดังตารางที่ 6.8 เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้นและใช้ในงานจริงต่อไป

ตารางที่ 6.8 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่เหมาะสมทั้ง 4 ปัจจัย

สัญลักษณ์ของปัจจัย	ปัจจัยนำเข้า	ระดับที่เหมาะสม	
		Coded Units	Uncoded Units
A	มุมคมตัดใบมีด	0	20 องศา
B	การปรับตั้งระนาบใบมีด	1	มีการปรับตั้งระนาบใบมีด
C	ความแน่นของเพลาสวมม้วนวัตถุดิบ	1	เพลาฟิต
D	มุมของใบมีด (Angle)	0	มุมที่ 0°

บทที่ 7

ผลการดำเนินงานวิจัยในระยะการติดตามควบคุม (Control phase)

ระยะการติดตามควบคุมนี้ เป็นขั้นตอนสุดท้ายของงานวิจัยนี้ และเป็นขั้นตอนสุดท้ายของแนวทางซิกซ์ ซิกมา ประกอบไปด้วย การทดสอบเพื่อยืนยันผล และการจัดทำแผนควบคุม (Control Plan) เพื่อควบคุมกระบวนการให้รักษามาตรฐานหลังการปรับปรุง

7.1 บทนำ

เพื่อเป็นการยืนยันระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่ได้จากการทดลอง จึงทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลเป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยปรับตั้งระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 4 ปัจจัย ซึ่งได้แก่ มุมคมตัดของใบมีด, ระนาบของใบมีด (Blade Alignment), เพลาสวมม้วนวัตถุดิบ และมุมของใบมีดตัด ตามค่าที่ได้กำหนดไว้ เพื่อตรวจสอบค่าเฉลี่ย และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ว่าเป็นไปตามผลการทดลองหรือไม่ จากนั้นจัดทำแผนควบคุม (Control Plan) ที่เหมาะสมกับลักษณะข้อมูลที่มีอยู่ และจัดทำเป็นมาตรฐานในการปฏิบัติงานเพื่อรักษามาตรฐานในการปฏิบัติงานให้เป็นไปตามแผนที่วางไว้ ซึ่งเป็นผลให้กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ออกมามีของเสียประเภทขนาดหน้ากว้างออกนอกการยอมรับน้อยที่สุด รวมทั้งทำการประเมินและทำการสรุปผลการปรับปรุงด้วย

7.2 การทดสอบยืนยันผล

เป็นการทดสอบเพื่อยืนยันผลสรุปของค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งหมด โดยศึกษาค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน หลังจากการปรับปัจจัยนำเข้าตามค่าที่เหมาะสม ที่ได้จากระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ ดังแสดงในตารางที่ 7.1

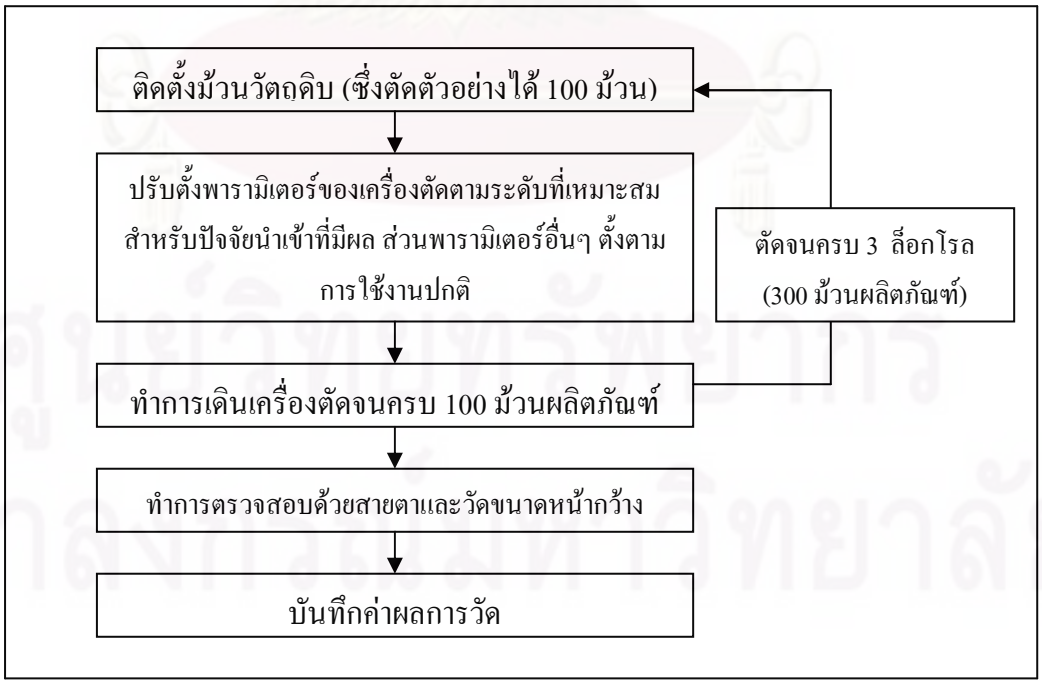
ตารางที่ 7.1 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่เหมาะสมทั้ง 4 ปัจจัย เพื่อใช้ในการทดสอบยืนยันผล

สัญลักษณ์ของปัจจัย	ปัจจัยนำเข้า	ระดับ Uncoded Units
A	มุมคมตัดใบมีด	20 องศา
B	การปรับตั้งระนาบใบมีด	มีการปรับตั้งระนาบใบมีด
C	ความแน่นของเพลาสวมม้วนวัตถุดิบ	เพลาฟิต
D	มุมของใบมีด (Angle)	มุมที่ 0°

7.2.1 การทำการทดลอง

ทำการเตรียมการทดลอง โดยการเตรียมเครื่องมือและเครื่องจักรที่จำเป็นต้องใช้ ในการทำการทดลองให้พร้อม รวมทั้งทำการอบรมพนักงานที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง ให้เข้าใจถึงการปรับตั้งพารามิเตอร์ต่างๆ วิธีการทำงาน รวมถึงการใช้เครื่องมือต่างๆ ในการทดลองให้ถูกต้องกับระดับที่ต้องการ รวมทั้งวิธีการเก็บข้อมูลด้วย โดยทำการทดลองกับเทปโฟมอะคริลิคชนิด A ซึ่งขั้นตอนการทดลองแสดงดังแผนภูมิการไหล รูปที่ 7.1 และมีรายละเอียดในการทดลองดังนี้

1. ทำการติดตั้งม้วนวัตถุดิบบนเครื่องตัด พร้อมทั้งล็อกหัวล็อคจนมีเสียงดังคลิ๊ก แสดงว่า ติดตั้งม้วนได้แน่นแล้ว
2. ปรับตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องตัด ตามระดับที่ได้ จากขั้นตอนระยะการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการ สำหรับพารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆ ให้ตั้งตามการใช้งานปกติ
3. ทำการเดินเครื่องตัดปกติ และตัดจนครบ 3 ล็อกโรล (300 ม้วนผลิตภัณฑ์)
4. ผู้วัดทำการตรวจสอบด้วยสายตา และวัดขนาดหน้ากว้างของม้วนผลิตภัณฑ์ โดยวัดตามลำดับม้วนที่ตัด จาก 1 ถึง 300 ตามลำดับ
5. บันทึกค่าวัดในใบบันทึกผลการวัดตามลำดับม้วน



รูปที่ 7.1 แผนภาพการไหลอย่างง่ายของการทดลองในขั้นตอนยืนยันผล

7.2.2 การตรวจติดตามผลโดยใช้แผนควบคุม (Control Plan)

จากนั้นได้จัดทำแผนควบคุม (Control Plan) เพื่อใช้ควบคุมกระบวนการ โดยมีการควบคุมปัจจัยจำนวน 4 ปัจจัย โดยเพิ่มเติมเข้าไปในแผนควบคุมเดิม โดยมีรายละเอียดดังนี้

- มุมคมตัดของใบมีด ได้ทำการกำหนดข้อกำหนด ในการตรวจรับใบมีดที่ส่งไปลับคมกับผู้รับจ้างภายนอก ให้มุมที่ต้องการอยู่ที่ 20 องศา เนื่องจากเมื่อพิจารณาผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) รูปที่ 5.15 และ รูปที่ 5.16 พบว่าขนาดของมุมคมตัด ไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ย ส่วนค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่าต่ำที่สุด เมื่อค่ามุมอยู่ที่ 20 องศา
- การปรับตั้งระนาบของใบมีด ได้กำหนดให้ต้องทำการปรับตั้ง โดยใช้เครื่องมือวัด Dial Gauge ทุกครั้ง ที่มีการติดตั้งใบมีดใหม่ และทุกๆ 1 สัปดาห์ หากยังไม่มีการเปลี่ยนใบมีด ซึ่งกำหนดให้ทำการปรับตั้งโดยพนักงานประจำเครื่อง โดยทำทุกเช้าของวันแรกของการทำงานในแต่ละสัปดาห์ ในช่วงการทำ 5ส. ประจำวัน เพื่อให้ใบมีดตัดได้ระนาบอยู่เสมอ
- ความแน่นของเพลาสวมม้วนวัตถุดิบ ในการทำ 5ส. ทุกเช้าของพนักงานตัดจะต้องมีการตรวจสอบสภาพพร้อมใช้งานของเครื่องตัด จึงกำหนดให้ทำการทดสอบความฟิตของแกนเพลาทุกครั้ง หากมีการสั่นคลอนได้ ให้พนักงานแจ้งหัวหน้างาน เพื่อทำการเปลี่ยนให้ใหม่
- ขนาดมุมของใบมีด ได้มีการจัดทำเป็นมาตรฐานโดยกำหนดขนาดมุมป้อนเข้าในการปรับตั้งพารามิเตอร์ของเครื่อง สำหรับตัดเทปโฟมอะคริลิคชนิด A ที่หน้ากว้าง 12.00 มม. ให้กำหนดค่ามุมของใบมีดที่เหมาะสมเป็น 0 องศา แล้วเซ็นชื่ออนุมัติโดยหัวหน้างาน และวิศวกรกระบวนการผลิต เพื่อกำหนดให้พนักงานตัดปฏิบัติตาม อย่างเคร่งครัดต่อไป มาตรฐานกำหนดขนาดมุมที่เหมาะสม แสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค-1

แผนควบคุมสำหรับกระบวนการตัดเทปโฟมอะคริลิค ได้มีการปรับปรุงใหม่เพิ่มเติมจากแผนควบคุมเดิม แสดงดังตารางที่ 7.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.2 แผนควบคุม (Control Plan) เฉพาะกระบวนการและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

No.	Process Name	Machine/ Device	Characteristics		Methods						Reaction Plan	Note
			Product	Process	Person in charge	Product/Process/ Specification/ Tolerance	Evaluation Measurement technique	Sample		Control Method		
								Size	Frequency			
1	Parameter Setting	Blade	Angle Spec.	-	Engineering Dep.	20 degrees	Machine gauge	All	100%	Form No.00760	Reject	PS.29.2.15
			-	Blade Alignment	Lead men	< 0.05 mm	Dial gauge	All	100%	5S. Form	Re-Set up	PS.29.2.15
		Shaft	Appearance	-	Slitting Operator	No loose	Manual	All	Before production run	5S. Form	Change the new one	PS.29.2.15

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.2.3 การวิเคราะห์ผลและสรุปการทดสอบยืนยันผล

ในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการเพื่อยืนยันผลการทดลองสำหรับ Primary Y และ Counter Balance คือ ความสามารถของกระบวนการ C_p และ C_{pk} และรอบเวลาในการผลิตตามลำดับ

ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการเก็บข้อมูลในการทดสอบเพื่อยืนยันผล โดยกำหนดให้ทั้งเดือนนี้ ในการตัดเทปโฟมอะคริลิคชนิด A ที่ขนาดหน้ากว้าง 12 มิลลิเมตร ให้ทำการตัดโดยทีมของพนักงานตัดพนักงานวัดชิ้นงาน เครื่องมือวัด และเครื่องตัดเป็นชุดเดียวกันกับชุดที่ใช้ในการทดลองเพื่อวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการก่อนการทดลอง โดยเก็บข้อมูลค่าขนาดหน้ากว้างของตัวอย่างจำนวน 300 ม้วนหรือ 3 ม้วนวัตถุดิบแรกของแต่ละใบสั่งผลิต และในการการจับเวลา เพื่อวัดรอบเวลาในการผลิตแต่ละม้วนให้ผู้วัดเป็นพนักงานอีกคนหนึ่ง ซึ่งกำหนดไว้แล้วว่า จะเป็นคนจับเวลาทั้งก่อนการปรับปรุง และหลังการปรับปรุงกระบวนการ ในการจับเวลา จะเริ่มจับตั้งแต่เริ่มหยิบม้วนวัตถุดิบขึ้นมาติดตั้ง จนตัดม้วนผลิตภัณฑ์ม้วนที่ 100 เสร็จ และสิ้นสุดการจับเวลาเมื่อยกม้วนวัตถุดิบลงมาวางบนโต๊ะตรวจสอบชิ้นงานเสร็จ โดยผลการวัดขนาดหน้ากว้างจากจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจริงทั้งเดือนจากจำนวน 7 ใบสั่งผลิต ซึ่งเท่ากับ 2,100 ม้วนและผลการจับเวลาแสดงดังตารางที่ ก.5 ในภาคผนวก ก

- ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ : Primary Y

ขั้นแรก จะทำการตรวจสอบข้อมูลที่ได้ว่าเป็นการกระจายแบบปกติหรือไม่

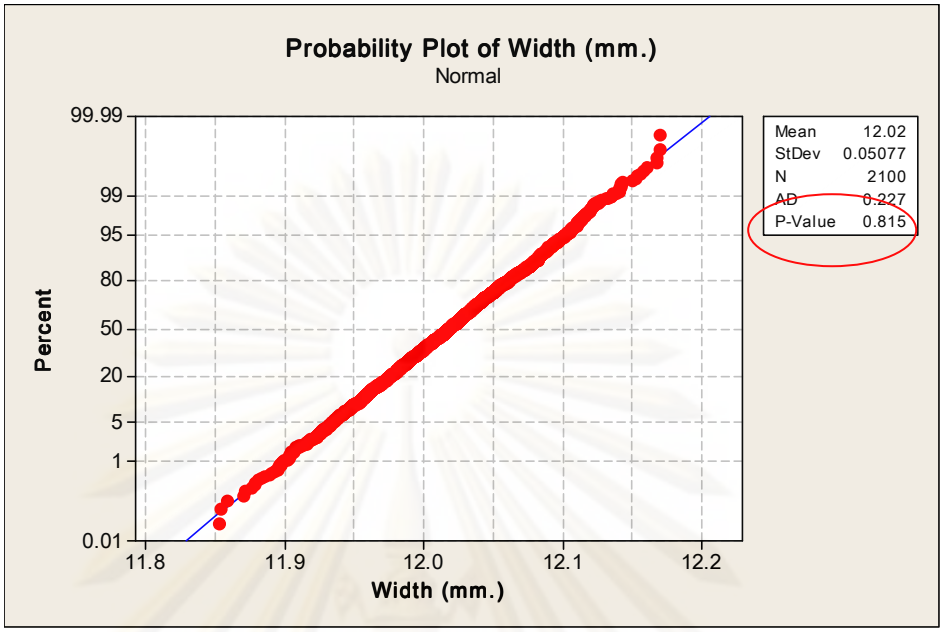
กรณีนี้ H_0 : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบไม่ปกติ

จะ reject H_0 เมื่อ p-value $\leq$ 0.05 (ระดับนัยสำคัญ)

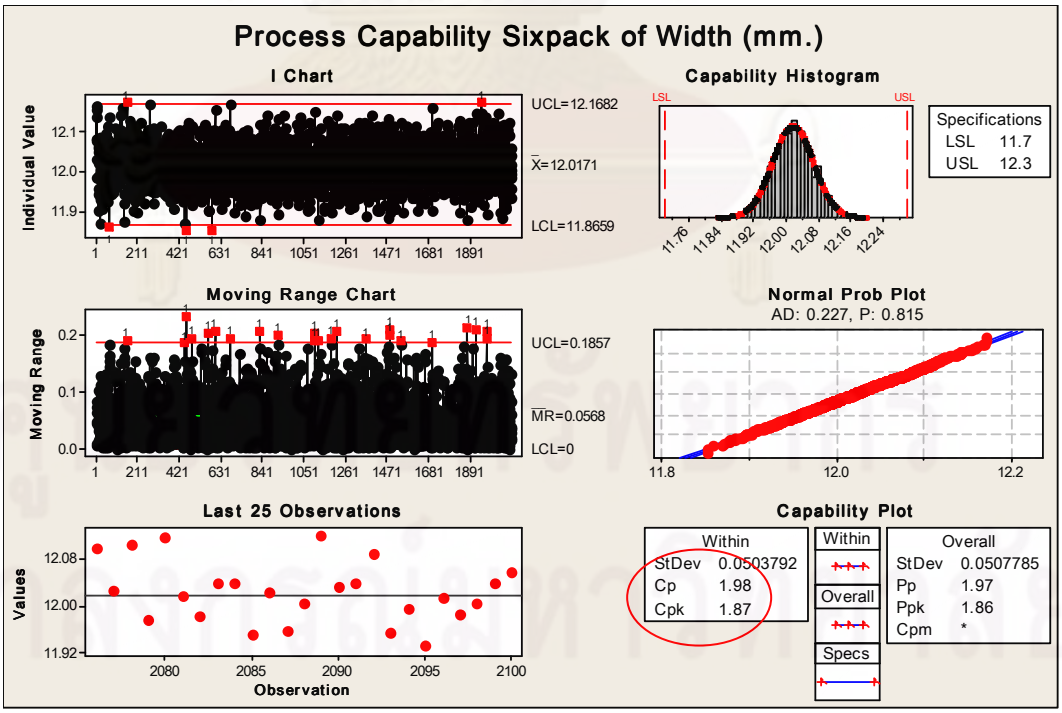
โดยผลการทำ Probability Plot ได้ผลดังรูปที่ 7.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.2 ตรวจสอบการกระจายข้อมูลสำหรับข้อมูลขนาดหน้ากว้างในการทดลองเพื่อยืนยันผล

จากการทำ Probability Plot พบว่า p-value = 0.079 มากกว่า ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ดังนั้น ไม่ reject H_0 แสดงว่า ข้อมูลขนาดหน้ากว้างที่ได้ มีการกระจายแบบปกติ โดยผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจากโปรแกรม MINITAB แสดงดังรูปที่ 8.3



รูปที่ 7.3 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการด้วยการใช้โปรแกรม MINITAB

จากความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) จะเห็นว่า ความสามารถในการตัดเทปกาว มีขนาดหน้ากว้าง ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.0171 มม. ใกล้กับ Target 12.00 มม. และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0504 มม. ค่าดีขึ้นกว่าก่อนทำการปรับปรุงซึ่งค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 12.0324 มม. และ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.1088 มม. ตามลำดับ ส่วน C_{pk}และ C_p ที่ได้ อยู่ที่ 1.87 และ 1.98 ตามลำดับ ซึ่งดีกว่าก่อนการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่ง C_{pk}และ C_p อยู่ที่ 0.96 และ 1.07 ตามลำดับ และดีกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ C_{pk} และ C_p มาตรฐาน ที่ 1.33

- ผลการวิเคราะห์รอบเวลาการผลิต : Counter Balance

จากการจับเวลาเพื่อหารอบเวลาในการตัดเทปโฟมอะคริลิคชนิด A หลังทำการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการ พบว่า ค่าเฉลี่ยรอบเวลาในการผลิตหลังจากทำการปรับปรุงกระบวนการแล้วอยู่ที่ 6.18 วินาทีต่อม้วน ซึ่งมีค่าไม่เกินกว่ารอบเวลาในการผลิตก่อนทำการปรับปรุงซึ่งอยู่ที่ 6.26 วินาที ต่อม้วน แสดงว่า เมื่อปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งมีผลให้ค่าเฉลี่ยของขนาดหน้ากว้างเข้าใกล้เป้าหมายได้มากขึ้น และความผันแปรของขนาดหน้ากว้างลดลงแล้ว ไม่มีผลกระทบต่อรอบเวลาในการผลิต ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีโอกาสได้รับผลกระทบจากการปรับปรุงการดังกล่าวมากที่สุด

7.2.4 สรุปผลการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการตัด

จากการทดสอบเพื่อยืนยันผล และการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ ดังรูปที่ 7.3 สรุปได้ว่า ความสามารถในการตัดเทปโฟมอะคริลิคชนิด A ได้ขนาดหน้ากว้างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.0171 มม. ซึ่งใกล้กับค่าเป้าหมายที่ 12.00 มม. มากขึ้น และมีค่าดีกว่าก่อนทำการปรับปรุงซึ่งอยู่ที่ 12.0324 มม. ส่วนค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจาก 0.1088 มม. เป็น 0.0504 มม. ส่งผลให้ค่า C_{pk}และ C_p ที่ได้ อยู่ที่ 1.87 และ 1.98 ตามลำดับ ซึ่งดีกว่าก่อนการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่ง C_{pk}และ C_p อยู่ที่ 0.96 และ 1.07 ตามลำดับ และดีกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ C_{pk} และ C_p มาตรฐาน ที่ 1.33 และยังพบอีกว่า รอบเวลาในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่อม้วนนั้น หลังการปรับปรุงกระบวนการมีค่า 6.18 วินาทีต่อม้วนผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีค่าไม่มากกว่ารอบเวลาในการผลิตก่อนการปรับปรุงกระบวนการซึ่งเท่ากับ 6.26 วินาทีต่อม้วนผลิตภัณฑ์ แสดงว่า ผลจากการปรับปรุงกระบวนการดังกล่าว ไม่ส่งผลให้ใช้ต้องเวลาในการผลิตยาวนานขึ้น แสดงว่ามีการปรับปรุงกระบวนการเกิดขึ้นอย่างแท้จริง สรุปได้ดังตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.3 เปรียบเทียบผลของความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง

ระยะ	ขนาดหน้ากว้างเฉลี่ย (มม.)	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย (มม.)	C_{pk}	C_p	รอบเวลาในการผลิต (วินาที)
ค่าเป้าหมาย	12.0000	ต่ำที่สุด	1.33	1.33	ต่ำที่สุด
ก่อนปรับปรุง (Base line)	12.0324	0.1088	0.96	1.07	6.26
ค่าทำนายจากโปรแกรม MINITAB	12.0233	0.0514	-	-	-
หลังการปรับปรุง	12.0171	0.0504	1.87	1.98	6.18

7.2.5 มูลค่าความสูญเสียหลังการปรับปรุง

ในการคิดมูลค่าความสูญเสียรวมที่เกิดขึ้นจากการเกิดของเสียจากขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับ จะคำนวณจากต้นทุนของวัตถุดิบเทปโฟมอะคริลิคชนิด A และ ต้นทุนจากการผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าว โดยไม่มีต้นทุนในการแก้ไขงานที่บกพร่อง (Rework) เนื่องจากของเสียประเภทนี้ไม่สามารถนำมาซ่อมแก้ไขได้ ดังนั้นมูลค่าความสูญเสียรวมของการเกิดของเสียจากขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับหลังการปรับปรุง คำนวณจากจำนวนของเสียที่ลดได้เทียบกับจำนวนของเสียก่อนการปรับปรุง (Base line) พบว่าลดจำนวนม้วนของเสียลงจาก 4.0% เป็น 0.01% โดยปริมาณการผลิต ตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2552 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2552 และปริมาณที่พยากรณ์จนถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2553 เท่ากับ 1,213,757 ม้วน ดังนั้นจะสามารถลดจำนวนม้วนของเสียได้ 48,623 ม้วน คิดเป็นมูลค่าความสูญเสียที่ลดลงเท่ากับ 4,847,690 บาทต่อปี โดยรายละเอียดของการคำนวณคิดมูลค่าความสูญเสียที่นี้ แสดงไว้ในภาคผนวก ก ตาราง ก-6

7.3 สรุปผลการดำเนินการระยะติดตามควบคุม

ระยะการติดตามควบคุม ในขั้นตอนแรกได้ทำการทดสอบยืนยันผล โดยปรับค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญตามค่าที่ได้กำหนดไว้ เพื่อเป็นการทดสอบว่า ค่าเฉลี่ยของขนาดหน้ากว้าง ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นไปตามค่าทำนายหรือไม่ โดยการจัดทำแผนควบคุม (Control Plan) โดยเพิ่มเติมจากแผนควบคุมเดิม ในส่วนของการตรวจรับใบมีดที่ส่งไปลับคมภายนอกให้อยู่ที่ 20 องศา การกำหนดให้ทำการปรับตั้งระนาบของใบมีดตัดโดยใช้ Dial Gauge ทุกๆ 1 สัปดาห์ การตรวจสอบความฟิตของเพลาสวมม้วนวัตถุดิบทุกวันที่มีการทำ 5ส. และ ทำการการจัดทำเป็นมาตรฐาน ของกำหนดขนาดมุมป้อนเข้า ในการปรับตั้งพารามิเตอร์ของเครื่อง สำหรับตัดเทป

โฟมอะคริลิคชนิด A ที่หน้ากว้าง 12.00 มม. ให้กำหนดค่ามุมของใบมีดที่เหมาะสมเป็น 0 องศา แล้วลงชื่ออนุมัติโดยหัวหน้างาน และวิศวกรกระบวนการผลิต

ผลการปรับปรุงหลังการกำหนดใช้แผนภูมิควบคุม หลังจากการทดสอบเพื่อยืนยันผล และจากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ สรุปได้ว่า ความสามารถในการตัดเทปโฟมอะคริลิคชนิด A ได้ขนาดหน้ากว้างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.0171 มม. ซึ่งใกล้กับค่าเป้าหมายที่ 12.00 มม. มากขึ้น และมีค่าดีกว่าก่อนทำการปรับปรุงซึ่งอยู่ที่ 12.0324 มม. ส่วนค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจาก 0.1088 มม. เป็น 0.0504 มม. ส่งผลให้ค่า C_{pk} และ C_p ที่ได้ อยู่ที่ 1.87 และ 1.98 ตามลำดับ ซึ่งดีกว่าก่อนการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่ง C_{pk} และ C_p อยู่ที่ 0.96 และ 1.07 ตามลำดับ และดีกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ C_{pk} และ C_p มาตรฐาน ที่ 1.33 และยังพบอีกว่า รอบเวลาในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่อม้วนนั้น หลังการปรับปรุงกระบวนการมีค่า 6.18 วินาทีต่อม้วนผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีค่าไม่มากกว่ารอบเวลาในการผลิตก่อนการปรับปรุงกระบวนการซึ่งเท่ากับ 6.26 วินาทีต่อม้วนผลิตภัณฑ์ แสดงว่า ผลจากการปรับปรุงกระบวนการดังกล่าว ไม่ส่งผลให้ใช้ต้องเวลาในการผลิตยาวนานขึ้น แสดงว่ามีการปรับปรุงกระบวนการเกิดขึ้นอย่างแท้จริง

มูลค่าความสูญเสียรวมที่เกิดขึ้น จากการเกิดของเสียจากขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับ จะคำนวณจากต้นทุนของวัตถุดิบเทปโฟมอะคริลิคชนิด A และ ต้นทุนจากการผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าว โดยไม่มีต้นทุนในการแก้ไขงานที่บกพร่อง (Rework) เนื่องจากของเสียประเภทนี้ไม่สามารถนำมาซ่อมแก้ไขได้ ดังนั้นมูลค่าความสูญเสียรวมของการเกิดของเสียจากขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับหลังหารปรับปรุง คำนวณจากจำนวนของเสียที่ลดได้เทียบกับจำนวนของเสียก่อนการปรับปรุง (Base line) พบว่าลดจำนวนม้วนของเสียลงจาก 4.0% เป็น 0.01% โดยปริมาณการผลิต ตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2552 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2552 และปริมาณที่พยากรณ์จนถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2553 เท่ากับ 1,213,757 ม้วน ดังนั้นจะสามารถลดจำนวนม้วนของเสียได้ 48,623 ม้วน คิดเป็นมูลค่าความสูญเสียที่ลดลงได้เท่ากับ 4,847,690 บาทต่อปี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 8

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

8.1 บทนำ

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์แนวคิดซิกซ์ ซิกมา เข้ามาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการตัดเทปโฟมอะคริลิค โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อลดต้นทุนของเสียจากปัญหาขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับ ซึ่งเทปโฟมอะคริลิคนั้น เป็นเทปกาวที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ และมีราคาแพง หากเกิดปัญหาขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับ ก็จะต้องทิ้งเทปนั้นไป ไม่สามารถซ่อมแก้ไขได้ แนวคิดซิกซ์ ซิกมา ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน ตามระยะของซิกซ์ ซิกมา เริ่มจากระยะการนิยามปัญหา (Define Phase) ระยะการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase) และระยะการติดตามควบคุม (Control Phase) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดความผันแปรของขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคที่ได้จากกระบวนการตัด ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตลดลงไปด้วย บทสรุปของการดำเนินงานและผลของการปรับปรุงแต่ละระยะ เป็นดังนี้

8.2 บทสรุประยะนิยามปัญหา

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมด ในส่วนของขั้นตอนของการนิยามปัญหา ตั้งแต่การพิจารณาปัญหา ที่ส่งผลกระทบด้านธุรกิจต่อองค์กร ซึ่งในการทำงานวิจัยนี้ จะพิจารณาปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนของเสียของบริษัท คือ ปัญหาของเสียเนื่องจากขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับของลูกค้า โดยในการปรับปรุงคุณภาพการผลิตผลิตภัณฑ์นี้ สามารถทำได้โดยการลดความผันแปรของขนาดหน้ากว้างของม้วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องตัด เป้าหมายของโครงงานวิจัยนี้ คือ ปรับปรุงความสามารถของกระบวนการ C_{pk} และ C_p ของกระบวนการตัดจากปัจจุบัน 0.96 และ 1.07 ตามลำดับ ให้เพิ่มเป็น 1.66 โดยต้องไม่เกิดผลกระทบต่อความสามารถอื่นๆ ที่สัมพันธ์กันของกระบวนการ ซึ่งในที่นี้ คือ รอบเวลาในการผลิต และได้กำหนดคณะทำงาน โครงการซิกซ์ ซิกมา ในการศึกษาและปรับปรุงกระบวนการให้เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้

8.3 บทสรุประยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนแรกของระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา ได้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) โดยใช้ GR&R โดยวิเคราะห์ข้อมูลจากค่าวัดที่ได้ จากเครื่องมือวัด เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ โดยทดสอบพนักงานวัด จำนวน 2 คน วัดชิ้นงานจำนวน 20 ชิ้น คนละ 3 ซ้ำ ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ว่า ระบบการวัดมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์ และสามารถให้การยอมรับความผันแปรของกระบวนการวัดได้

ทำการศึกษาความสามารถด้านความสามารถของกระบวนการ และทำการวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลค่าวัดจากพนักงานตัดคนเดียวกัน เครื่องมือวัดและเครื่องตัดเดียวกัน จำนวน 300 ตัวอย่าง พบว่ากระบวนการตัดในปัจจุบัน มีความสามารถของกระบวนการค่อนข้างต่ำ คือ อยู่ที่ C_{pk} = 0.96 , C_p = 1.07 ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ ที่ 1.33 และรอบเวลาในการผลิตอยู่ที่ 6.26 วินาทีต่อม้วนผลิตภัณฑ์

ทำการระดมความคิดสมาชิกทีม เพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดหน้ากว้าง โดยจัดทำแผนผังกระบวนการ (Process Mapping) เพื่อให้ทราบปัจจัยนำเข้าทั้งหมด จากนั้นระดมความคิดโดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause-and-Effect Matrix) พบว่าสาเหตุสำคัญที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดหน้ากว้าง มีอยู่ 9 ปัจจัยหลัก ตามที่แสดงในแผนภาพพาเรโต คือ พนักงานตัด, เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์, ความแน่นของเพลาสวมม้วนวัตถุดิบ, ระนาบของใบมีด (Blade Alignment), พนักงานวัด, วิธีการวัด, มุมของหน้าใบมีดตัดช่วงที่ 1, มุมของหน้าใบมีดตัดช่วงที่ 2 และมุมคมตัดของใบมีด จากนั้นนำปัจจัยเหล่านี้มาวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) ได้ ปัจจัยหลักที่ค่า RPN มีค่าสูง จำนวน 5 ปัจจัย โดยมีคะแนน RPN อยู่ที่ 82.6% ซึ่งมากกว่า 80% ตามหลักการของพาเรโต คือ มุมคมตัดของใบมีด, ระนาบของใบมีด (Blade Alignment), ความแน่นของเพลาสวมม้วนวัตถุดิบ, มุมของใบมีดตัดช่วงที่ 1 และ มุมของใบมีดตัดช่วงที่ 2 ซึ่งจะนำไปทดสอบและวิเคราะห์ในระยะต่อไป

8.4 บทสรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนนี้ ได้ทำการทดสอบสมมติฐานสำหรับปัจจัยนำเข้าบางตัว ที่อาจมีผลต่อความผันแปรของขนาดหน้ากว้าง ซึ่งได้แก่ มุมของใบมีด(Angle) โหมดที่ 1 และ โหมดที่ 2 เพื่อให้มั่นใจว่าตลอดช่วงเวลาที่เดินเครื่องตัดม้วนผลิตภัณฑ์ม้วนแรกจนสิ้นสุดกระบวนการนั้น สามารถตั้งมุมของใบมีด(Angle) โหมดที่ 1 และ โหมดที่ 2 เป็นมุมเดียวกันโดยให้ผลของค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

ก่อนทำการทดลอง ได้คำนวณขนาดตัวอย่างที่เพียงพอ ในการตรวจจับความแตกต่างระหว่างการทดลองได้ และในการทดลองสำหรับปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญ ได้เลือกการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล เพื่อประหยัดเวลา และทรัพยากรในการทดลอง โดยคำนวณได้ 9 ซ้ำ แต่เลือกทำการทดลองที่ 10 ซ้ำ ซึ่งเป็นจำนวนที่เพียงพอในการตรวจจับความแตกต่างระหว่างการทดลองได้ และสะดวกในการเก็บข้อมูลสำหรับผู้ตัดและวัด โดยได้ทำการเปรียบเทียบขนาดตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) และการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE) พบว่าขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ในการออกแบบการทดลองมีปริมาณน้อยกว่าถึง 3 เท่า ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงเลือกการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบมีจุดศูนย์กลางสำหรับปัจจัยที่เป็นปัจจัยแปรผัน (2_{iv}^{4-1} with center points) เนื่องจากใช้ตัวอย่างน้อยกว่ามาก และยังสามารถพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยในการทดลองและความมีส่วนโค้งของปัจจัยได้ด้วย ซึ่งการออกแบบการทดลองนี้ใช้การทดลองทั้งหมด 12 รัน (Runs)

จากนั้น เมื่อได้ผลการทดลองแล้ว จึงนำมาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง โดยมีการหารูปแบบการแปลงค่าที่เหมาะสม สำหรับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตามหลักการของ Montgomery (2009) ซึ่งปรากฏว่า ผลการทดลองนี้ไม่ต้องมีการแปลงข้อมูล และทำการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) เมื่อพบว่าผลการทดลองเป็นไปตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อ จึงได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองในขั้นตอนต่อไป

ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองเบื้องต้นจากโปรแกรม MINITAB เพื่อพิจารณาเทอมของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) และ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S) ที่แสดงในตารางที่ 5.13 และ 5.14 พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ ที่ 0.05 มีปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) ซึ่งก็คือปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 เป็นปัจจัยหลัก (Main Effect) จำนวน 1 ปัจจัย นอกจากนี้ยังพบว่า ไม่มีอิทธิพลเนื่องจากความโค้ง (Curvature) เกิดขึ้นกับตัวแบบนี้ เนื่องจากค่า P-Value เท่ากับ 0.142 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้นปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) อย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ ปัจจัย D คือ มุมของใบมีดตัด ส่วนปัจจัยที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S) ซึ่งก็คือปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 เป็นปัจจัยหลัก (Main Effect) จำนวน 2 ปัจจัย นอกจากนี้ยังพบว่า ไม่มีอิทธิพลเนื่องจากความโค้ง (Curvature) เกิดขึ้นกับตัวแบบนี้ เนื่องจากค่า P-Value เท่ากับ 0.292 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้นปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S) อย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ ปัจจัย B และ ปัจจัย C ซึ่งคือ ระนาบของใบมีด และ ความแน่นของเพลาสวมม้วนวัตถุดิบ ตามลำดับ

8.5 บทสรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งปัจจัยประกอบไปด้วย B, C สำหรับตัวแปรตอบสนองค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ D สำหรับตัวแปรตอบสนองค่าเฉลี่ย จึงนำไปปรับปรุงหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม โดยการคำนวณค่าทำนายของตัวแปรตอบสนอง จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองดีที่สุด คือ ได้ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้เป้าหมายมากที่สุด และ มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำที่สุด โดยได้ระดับปัจจัยที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยดังตารางที่ 6.8 เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้นและใช้ในงานจริงต่อไป

ตารางที่ 8.1 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่เหมาะสมทั้ง 4 ปัจจัย

สัญลักษณ์ของปัจจัย	ปัจจัยนำเข้า	ระดับที่เหมาะสม	
		Coded Units	**Uncoded Units**
A	มุมคมตัดใบมีด	0	20 องศา
B	การปรับตั้งระนาบใบมีด	1	มีการปรับตั้งระนาบใบมีด
C	ความแน่นของเพลาสวมม้วนวัตถุดิบ	1	เพลาฟิต
D	มุมของใบมีด (Angle)	0	มุมที่ 0°

8.6 บทสรุประยะการติดตามควบคุม

ระยะการติดตามควบคุม ในขั้นตอนแรกได้ทำการทดสอบยืนยันผล โดยปรับค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญตามค่าที่ได้กำหนดไว้ เพื่อเป็นการทดสอบว่า ค่าเฉลี่ยของขนาดหน้ากว้าง ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นไปตามค่าทำนายหรือไม่ โดยการจัดทำแผนควบคุม (Control Plan) โดยเพิ่มเติมจากแผนควบคุมเดิม ในส่วนของการตรวจรับใบมีดที่ส่งไปลับคมภายนอกให้อยู่ที่ 20 องศา การกำหนดให้ทำการปรับตั้งระนาบของใบมีดตัดโดยใช้ Dial Gauge ทุกๆ 1 สัปดาห์ การตรวจสอบความฟิตของเพลาสวมม้วนวัตถุดิบทุกวันที่มีการทำ 5ส. และ ทำการการจัดทำเป็นมาตรฐาน ของกำหนดขนาดมุมป้อนเข้า ในการปรับตั้งพารามิเตอร์ของเครื่อง สำหรับตัดเทปโฟมอะคริลิคชนิด A ที่หน้ากว้าง 12.00 มม. ให้กำหนดค่ามุมของใบมีดที่เหมาะสมเป็น 0 องศา แล้วเซ็นชื่ออนุมัติโดยหัวหน้างาน และวิศวกรกระบวนการผลิต

ผลการปรับปรุงหลังการกำหนดใช้แผนภูมิควบคุม หลังจากการทดสอบเพื่อยืนยันผลและจากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ สรุปได้ว่า ความสามารถในการตัดเทปโฟมอะคริลิคชนิด A ได้ขนาดหน้ากว้างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.0171 มม. ซึ่งใกล้กับค่าเป้าหมายที่

12.00 มม. มากขึ้น และมีค่าดีกว่าก่อนทำการปรับปรุงซึ่งอยู่ที่ 12.0324 มม. ส่วนค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจาก 0.1088 มม. เป็น 0.0504 มม. ส่งผลให้ค่า C_{pk} และ C_p ที่ได้ อยู่ที่ 1.87 และ 1.98 ตามลำดับ ซึ่งดีกว่าก่อนการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่ง C_{pk} และ C_p อยู่ที่ 0.96 และ 1.07 ตามลำดับ และดีกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ C_{pk} และ C_p มาตรฐาน ที่ 1.33 และยังพบอีกว่า รอบเวลาในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่อม้วนนั้น หลังการปรับปรุงกระบวนการมีค่า 6.18 วินาทีต่อม้วนผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีค่าไม่มากกว่ารอบเวลาในการผลิตก่อนการปรับปรุงกระบวนการซึ่งเท่ากับ 6.26 วินาทีต่อม้วนผลิตภัณฑ์ แสดงว่า ผลจากการปรับปรุงกระบวนการดังกล่าว ไม่ส่งผลให้ใช้ต้องเวลาในการผลิตยาวนานขึ้น แสดงว่ามีการปรับปรุงกระบวนการเกิดขึ้นอย่างแท้จริง

มูลค่าความสูญเสียรวมที่เกิดขึ้น จากการเกิดของเสียจากขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับ จะคำนวณจากต้นทุนของวัตถุดิบเทปโฟมอะคริลิคชนิด A และ ต้นทุนจากการผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าว โดยไม่มีต้นทุนในการแก้ไขงานที่บกพร่อง (Rework) เนื่องจากของเสียประเภทนี้ไม่สามารถนำมาซ่อมแก้ไขได้ ดังนั้นมูลค่าความสูญเสียรวมของการเกิดของเสียจากขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับหลังหารปรับปรุง คำนวณจากจำนวนของเสียที่ลดได้เทียบกับจำนวนของเสียก่อนการปรับปรุง (Base line) พบว่าลดจำนวนม้วนของเสียลงจาก 4.0% เป็น 0.01% โดยปริมาณการผลิต ตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2552 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2552 และปริมาณที่พยากรณ์จนถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2553 เท่ากับ 1,213,757 ม้วน ดังนั้นจะสามารถลดจำนวนม้วนของเสียได้ 48,623 ม้วน คิดเป็นมูลค่าความสูญเสียที่ลดลงได้เท่ากับ 4,847,690 บาทต่อปี

8.7 ข้อจำกัดในงานวิจัย

1. ตัวแปรตอบสนอง (Response) ในงานวิจัยนี้ เป็นค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานนั้น ต้องทำการแปลงค่าก่อนนำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป โดยรูปแบบของการแปลงข้อมูลนั้น ขึ้นอยู่กับ ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้ และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เกิดขึ้น ดังนั้น งานวิจัยอื่นๆ อาจใช้รูปแบบการแปลงข้อมูลแตกต่างจากงานวิจัยนี้ โดยงานวิจัยนี้ ไม่ต้องทำการแปลงข้อมูลก่อนนำไปวิเคราะห์

2. ค่ามุมในการปรับตั้งพารามิเตอร์ที่เครื่องตัดที่ดีที่สุด ที่ได้จากการทดลองนี้อาจเป็นค่าที่ไม่เหมาะสม สำหรับเครื่องตัดเครื่องอื่นที่เป็นชนิดเดียวกัน เนื่องจากอาจมีผลมาจากพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ไม่พบในการวิจัยนี้

3. เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษา มีปริมาณงานที่ต้องการใช้เครื่องตัดประเภทที่ต้องใช้ในการทดลอง แทบจะเต็มความสามารถในการผลิตตลอดเวลา ทำให้ผู้วิจัยต้องใช้เวลาในการผลิตปกติมา

ใช้ในการทำการทดลองควบคู่ไปด้วย เพื่อเป็นการประหยัดทรัพยากรในการผลิต จึงมีความจำเป็นมาก ที่จะเลือกใช้การทดลองที่ใช้ขนาดตัวอย่างในการทดลองที่น้อยที่สุด เช่นกัน

4. ขอบเขตของการทดลองนี้ ใช้กับเทปโฟมอะคริลิคชนิด A เท่านั้น

8.8 ปัญหาและอุปสรรคในการทำวิจัย

1. เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษามีแผนการผลิตแน่นหนา เต็มกำลังการผลิตเกือบตลอดเวลา ทำให้ผู้วิจัยต้องหาเวลาให้พนักงานช่วยทำการทดลอง ซึ่งบ่อยครั้งที่ต้องเข้ามาทำการทดลองในวันหยุด เสาร์-อาทิตย์ และต้องจ้างพนักงานในทีมที่กำหนด มาทำงานนอกเวลา

2. ในช่วงการทำงานวิจัย เป็นช่วงเทปโฟมอะคริลิคชนิด A มียอดสั่งซื้อเข้ามาจำนวนมาก เนื่องจากอุตสาหกรรมด้านยานยนต์ เริ่มมีการฟื้นตัว หลังเกิดภาวะวิกฤติเศรษฐกิจอย่างมากตั้งแต่ไตรมาสที่ 4 ของปี พ.ศ. 2551 และต่อเนื่องมาถึงไตรมาสที่ 1 ของปี พ.ศ. 2552 ทำให้ยอดสั่งสินค้าช่วงนี้ มีเข้ามามากกว่าจำนวนที่พยากรณ์เอาไว้ ทางฝ่ายผลิตจึงต้องคำนึงถึงจำนวนที่เพียงพอต่อการส่งมอบลูกค้า ก่อนการตัดเพื่อทำการทดลอง จึงทำให้การทดลองเกิดการล่าช้า

8.9 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากเทปโฟมอะคริลิคมีราคาแพง ดังนั้น ในการกำหนดขนาดตัวอย่าง ที่ใช้ในการทดลอง จึงให้ความสำคัญมากในการเลือกรูปแบบการทดลองที่ใช้ขนาดตัวอย่างน้อยที่สุด

2. เนื่องจากขอบเขตของการทดลองนี้ ใช้กับเทปโฟมอะคริลิคชนิด A เท่านั้น หากต้องการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม สำหรับเทปชนิดอื่นหรือวัสดุอื่นๆ ควรทำการทดลองเฉพาะเจาะจง สำหรับวัสดุนั้นๆ จะได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการใช้งานเฉพาะวัสดุนั้นๆ

3. แผนควบคุม (Control Plan) ที่ได้เพิ่มเติม ในส่วนของการควบคุมพารามิเตอร์ ที่ได้จากการทดลองจากงานวิจัยนี้เข้าไปนั้น อาจมีการแก้ไขเพิ่มเติมในภายหลัง หากพบพารามิเตอร์อื่นๆ ที่เป็นการปรับปรุงกระบวนการให้ดีขึ้นกว่าเดิม จึงควรให้ทบทวนพารามิเตอร์ที่ได้ทำการทดลองไปแล้ว

4. ความแน่นของเพลาสวมม้วนวัตถุดิบ ควรทำการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องของระยะเวลาการใช้งาน และบันทึกผลการตรวจสอบความผันแปรที่ได้ ว่าเมื่อไรจะมีค่ามากขึ้นจนเกินค่าที่ยอมรับได้ เพื่อกำหนดเป็นอายุการใช้งานของเพลาสวมม้วนวัตถุดิบ และกำหนดเป็นมาตรฐานในการปฏิบัติงานต่อไปในอนาคต

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กัลยา วานิชย์บัญชา. การวิเคราะห์สถิติ : สถิติสำหรับการบริหารและวิจัย. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) ประมวลผลด้วย MINITAB . พิมพ์ครั้งที่ 4 . กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2549.

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการประมวลผลด้วย MINITAB. พิมพ์ครั้งที่ 4 . กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2549.

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) . กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545.

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรมเล่ม 2 . กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2543.

ชิต เหล่าวัฒนา, ณัฐพงศ์ วุฒิกร. การปรับปรุงคุณภาพระบบการวัดความสั่นสะเทือน ของสปินมอเตอร์โดยผ่านแนวทางซิกซ์ ซิกม่า. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ., 2549.

ธีรพร เสนพรม. การลดแม่แบบแก้วเสียในกระบวนการผลิตเลนส์พลาสติก โดยใช้แนวคิดซิกซ์ซิกมา . วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

ปารเมศ ชุติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ภัทรา อายุวัฒน์ . การลดของเสียที่เกิดจากค่าการรับน้ำหนักกดของชุดหัวอ่านสำเร็จไม่ได้ตามข้อกำหนดในกระบวนการประกอบหัวอ่าน โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

วุฒิชัย เจริญยิ่งวัฒนา. การใช้กรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกมาเพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพงานพ่นสี . วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.

อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว . การลดของเสียจากกระบวนการผลิตกระป๋องโดยใช้วิธีการทางซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

อนุสิทธิ์ อ่ำไพบูลย์ . พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของการเชื่อมแบบลวดเชื่อมแกนฟลักซ์สำหรับเหล็กเอสที 37. การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี 2551.

ภาษาอังกฤษ

Automotive Industry Action Group (AIAG) . Potential failure mode and effects anaylysis. Reference Manual . 3rd ed., 2001.

Banuelas, R. ; Antony, J. and Brace, M. An application of six sigma to reduce waste. Journal of Quality and Reliability Engineering International 21 (2005) : 553-570.

Benjamin Tyner, William S. Cleveland . Experimental Methods for Tuning Parameter Selection in Machine Learning and Statistics . Department of Statistics : Purdue University.

Breyfogle, F.R. Implementing Six Sigma. New York : John Wiley & Sons, 1999.

C. Pislaru *, J.M. Freeman, D.G. Ford . Modal parameter identification for CNC machine tools using Wavelet Transform . International Journal of Machine Tools & Manufacture 43 (2003) : 987–993.

Kurt A. Rosentrater, Ph.D. Determination of Machining Parameters of Corn Byproduct Filled Plastics . Proceedings of The 2008 IAJC-IJME International Conference 2008.

M. van Oijen, F. Ewert. The effects of climatic variation in Europe on the yield response of spring wheat cv. Minaret to elevated CO2 and O3: an analysis of open-top chamber experiments by means of two crop growth simulation models . European Journal of Agronomy 10 (1999) : 249–264.

Montgomery, D.C. Design and Analysis of Experiments . 7th ed . John Wiley & Sons, 2009.

Pande, P.S., Neuman, P. and Cavanagh, R.R. The Six Sigma Way . New York : McGraw-Hill , 2000.

Reddy, N.S.K. and Rao, P.V. Selection of optimum tool geometry and cutting condition using surface roughness prediction model for end milling. International Journal of Advanced Manufacturing Technology 26 (2005) : 1202-1210.

S. Mangaraj & K. P. Singh. Optimization of Machine Parameters for Milling of Pigeon Pea Using RSM . Food Bioprocess Technol, 2001.

Stuart C. Porter,* Richard P. Verseput,and Charles R. Cunningham. Process Optimization Using Design of Experiments . Pharmaceutical Technology ,1997.

Wery P.M. van den Wildenberg*, Maurits W. van der Molen. Additive factors analysis of inhibit tory processing in the stop-signal paradigm . International Journal, Brain and Cognition 56 (2004) : 253–266.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
ผลการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก-1 ค่าขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคชนิด A ก่อนการปรับปรุงกระบวนการ

Roll no.	Width(mm)	Roll no.	Width(mm)	Roll no.	Width(mm)	Roll no.	Width(mm)
1	12.04	46	11.96	91	12.24	136	11.99
2	11.86	47	11.88	92	11.97	137	12.10
3	11.87	48	12.10	93	12.14	138	12.18
4	12.07	49	11.95	94	12.09	139	11.96
5	12.00	50	12.13	95	12.00	140	12.10
6	12.00	51	12.09	96	11.81	141	11.98
7	12.08	52	11.93	97	11.89	142	11.98
8	12.17	53	11.90	98	11.77	143	12.20
9	12.18	54	12.11	99	12.11	144	12.15
10	12.19	55	12.04	100	12.03	145	11.95
11	12.03	56	11.90	101	11.92	146	12.06
12	12.17	57	11.88	102	12.09	147	12.07
13	12.28	58	12.07	103	12.01	148	12.02
14	11.83	59	12.13	104	11.88	149	12.00
15	12.08	60	12.14	105	11.98	150	12.01
16	11.93	61	11.85	106	12.04	151	11.94
17	12.13	62	12.00	107	12.19	152	12.11
18	12.09	63	12.12	108	12.07	153	12.13
19	11.99	64	11.84	109	11.98	154	11.95
20	12.00	65	12.03	110	12.07	155	11.84
21	12.16	66	12.03	111	12.03	156	11.99
22	11.88	67	12.12	112	12.06	157	12.07
23	12.09	68	11.97	113	11.76	158	12.16
24	12.08	69	12.24	114	11.91	159	11.98
25	11.90	70	12.15	115	12.10	160	12.04
26	12.13	71	12.19	116	12.09	161	11.91
27	11.94	72	12.23	117	12.26	162	12.09
28	11.99	73	12.21	118	11.89	163	12.04
29	11.92	74	11.94	119	11.75	164	12.09
30	12.10	75	12.09	120	12.10	165	12.18
31	12.05	76	11.88	121	11.85	166	11.97
32	12.02	77	12.08	122	12.16	167	11.78
33	12.11	78	11.99	123	11.89	168	11.85
34	12.14	79	12.11	124	12.07	169	12.04
35	11.93	80	11.90	125	11.91	170	11.94
36	11.97	81	12.09	126	12.07	171	11.87
37	12.10	82	12.17	127	12.00	172	12.19
38	12.02	83	12.25	128	11.98	173	12.16
39	11.95	84	12.11	129	12.01	174	11.96
40	11.95	85	12.06	130	12.32	175	11.95
41	11.93	86	12.04	131	12.27	176	12.25
42	11.92	87	11.87	132	12.15	177	12.13
43	11.99	88	11.94	133	12.02	178	12.05
44	12.04	89	12.07	134	12.00	179	11.99
45	11.88	90	12.07	135	12.01	180	11.91

ตาราง ก-1 (ต่อ) ค่าขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคชนิด A ก่อนการปรับปรุงกระบวนการ

Roll no.	Width(mm)	Roll no.	Width(mm)	Roll no.	Width(mm)
181	12.03	226	11.97	271	12.02
182	12.18	227	11.90	272	12.00
183	12.04	228	12.06	273	11.91
184	12.03	229	12.14	274	12.00
185	11.98	230	12.07	275	11.99
186	12.04	231	11.95	276	12.00
187	12.20	232	12.29	277	12.03
188	11.96	233	12.23	278	11.87
189	11.96	234	11.98	279	12.14
190	12.09	235	12.16	280	11.92
191	12.05	236	11.86	281	11.99
192	12.17	237	11.94	282	12.04
193	12.08	238	12.12	283	12.33
194	12.17	239	12.05	284	12.07
195	11.85	240	12.10	285	12.05
196	12.06	241	12.21	286	11.91
197	12.03	242	12.20	287	12.23
198	11.93	243	11.95	288	12.18
199	12.02	244	11.98	289	11.96
200	12.16	245	12.34	290	12.05
201	12.16	246	12.16	291	12.03
202	12.03	247	11.96	292	12.25
203	12.03	248	12.07	293	12.05
204	12.00	249	12.18	294	12.02
205	12.06	250	12.00	295	11.85
206	12.04	251	12.03	296	11.93
207	11.75	252	12.09	297	12.26
208	12.13	253	12.06	298	11.95
209	11.96	254	12.10	299	12.06
210	11.98	255	12.07	300	12.08
211	11.94	256	11.94		
212	12.01	257	12.03		
213	12.18	258	12.08		
214	11.92	259	12.02		
215	12.05	260	12.05		
216	11.90	261	12.09		
217	11.89	262	11.95		
218	12.08	263	11.82		
219	11.92	264	12.04		
220	12.14	265	11.88		
221	12.20	266	11.89		
222	12.12	267	12.08		
223	11.96	268	11.94		
224	11.87	269	12.10		
225	11.84	270	11.94		

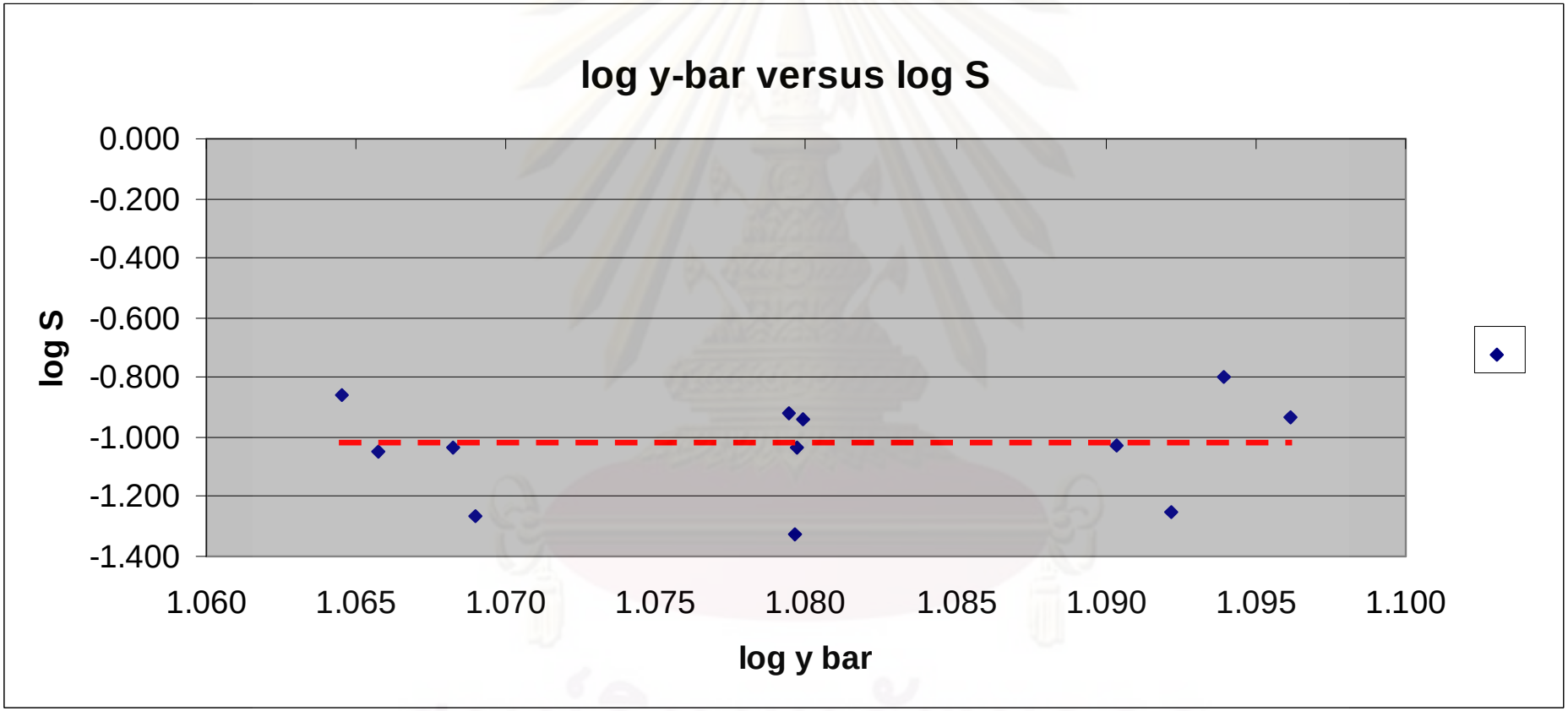
ตาราง ก-2 ผลการทดลองสำหรับตรวจสอบสมมติฐานสำหรับปัจจัยมุมของใบมีด(Angle)

Roll No.	มุมของใบมีด (Angle)		Roll No.	มุมของใบมีด (Angle)	
	0° โหมดที่ 1	0° โหมดที่ 2		0° โหมดที่ 1	0° โหมดที่ 2
1	12.16	12.15	39	12.09	12.12
2	12.13	12.1	40	12.24	12.11
3	12.25	12.15	41	12.1	12.07
4	12	12.1	42	12.08	12.1
5	12.01	12.01	43	12.11	12.1
6	12.14	12.07	44	12.11	11.93
7	12.07	12.11	45	12.05	12.09
8	12.08	12.09	46	12.15	12.12
9	12.2	12.05	47	11.95	12.02
10	12.08	12.15	48	11.96	12.02
11	11.9	12.06	49	11.95	12.05
12	12.24	12.19	50	11.96	12.24
13	11.95	12.06			
14	12.05	11.99			
15	12.1	12.02			
16	12.09	11.97			
17	11.98	12.02			
18	11.97	12.06			
19	12.02	11.91			
20	12.12	12.15			
21	11.98	12.03			
22	12.08	12.15			
23	12.13	11.98			
24	12.16	12.14			
25	12.08	12.03			
26	12.1	12.04			
27	11.93	12.06			
28	12.03	12.03			
29	12	12.02			
30	12.14	12.05			
31	12.14	12.15			
32	11.91	12.06			
33	12.04	12.07			
34	11.97	12			
35	12.14	12.02			
36	12.04	11.94			
37	12.02	12.13			
38	12.03	12.03			

ตาราง ก-3 ค่าขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคชนิด A 12 mm จำนวน 12 รัน
ของการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง

Std Order	Run Order	Center Pt	Blocks	A	B	C	D	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9	y_{10}	$\bar{y}$	S	$\log \bar{y}$	$\log s$
2	1	1	1	36	ไม่ปรับตั้งระนาบ	เพลาหลวม	5.00	11.71	11.81	11.57	11.66	11.62	11.43	11.78	11.49	11.44	11.50	11.6009	0.1375	1.0645	0.8618
4	2	1	1	36	ปรับตั้งระนาบ	เพลาหลวม	-5.00	12.45	12.25	12.40	12.50	12.52	12.50	12.46	12.46	12.53	12.72	12.4791	0.1171	1.0962	0.9314
10	3	0	1	20	ปรับตั้งระนาบ	เพลาหลวม	0.00	11.95	11.98	11.92	11.93	12.16	11.92	12.08	12.08	11.98	12.14	12.0140	0.0925	1.0797	1.0338
7	4	1	1	4	ปรับตั้งระนาบ	เพลาฟิต	-5.00	12.34	12.45	12.36	12.38	12.33	12.46	12.34	12.38	12.32	12.28	12.3638	0.0563	1.0922	1.2493
1	5	1	1	4	ไม่ปรับตั้งระนาบ	เพลาหลวม	-5.00	12.34	12.32	12.47	12.60	12.36	12.67	12.12	12.43	12.52	12.32	12.4150	0.1589	1.0939	0.7989
6	6	1	1	36	ไม่ปรับตั้งระนาบ	เพลาฟิต	-5.00	12.42	12.35	12.32	12.38	12.18	12.18	12.34	12.19	12.38	12.39	12.3133	0.0938	1.0904	1.0276
8	7	1	1	36	ปรับตั้งระนาบ	เพลาฟิต	5.00	11.67	11.68	11.61	11.78	11.73	11.77	11.73	11.77	11.76	11.71	11.7214	0.0546	1.0690	1.2632
5	8	1	1	4	ไม่ปรับตั้งระนาบ	เพลาฟิต	5.00	11.55	11.66	11.61	11.53	11.49	11.62	11.75	11.73	11.71	11.69	11.6340	0.0892	1.0657	1.0495
11	9	0	1	20	ไม่ปรับตั้งระนาบ	เพลาฟิต	0.00	11.92	11.88	12.12	12.03	11.94	11.87	12.14	12.18	11.89	12.09	12.0060	0.1195	1.0794	0.9228
9	10	0	1	20	ไม่ปรับตั้งระนาบ	เพลาหลวม	0.00	11.93	12.18	11.97	12.10	11.91	12.10	11.89	11.88	12.11	12.13	12.0204	0.1148	1.0799	0.9399
12	11	0	1	20	ปรับตั้งระนาบ	เพลาฟิต	0.00	12.03	11.94	12.06	12.06	11.94	12.06	12.02	12.04	12.02	11.96	12.0120	0.0473	1.0796	1.3249
3	12	1	1	4	ปรับตั้งระนาบ	เพลาหลวม	5.00	11.69	11.72	11.66	11.58	11.77	11.89	11.69	11.58	11.76	11.66	11.7004	0.0926	1.0682	1.0335

ตาราง ก-4 กราฟความสัมพันธ์ ระหว่าง $\log \bar{y}$ และ $\log s$ ของข้อมูลขนาดหน้ากว้างที่ได้จากการทดลอง จากตารางที่ ก-3



ตาราง ก-5 ค่าขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคชนิด A หลังการปรับปรุงกระบวนการ

Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)
1	12.14	41	12.02	81	12.05	121	11.99	161	11.96
2	12.07	42	11.97	82	12.00	122	12.03	162	12.09
3	12.08	43	11.99	83	12.04	123	12.06	163	12.06
4	12.16	44	11.98	84	12.00	124	12.10	164	12.08
5	12.15	45	12.00	85	12.05	125	12.03	165	12.10
6	12.08	46	12.06	86	12.00	126	12.10	166	12.01
7	12.03	47	11.98	87	11.95	127	12.04	167	12.10
8	11.99	48	12.04	88	12.02	128	12.04	168	12.04
9	11.96	49	11.95	89	12.07	129	12.05	169	11.97
10	12.06	50	12.08	90	12.00	130	11.99	170	12.03
11	12.02	51	12.07	91	11.98	131	12.10	171	11.99
12	11.94	52	12.09	92	11.97	132	12.00	172	12.13
13	11.90	53	12.08	93	12.04	133	12.06	173	12.01
14	11.99	54	12.03	94	12.06	134	12.16	174	12.07
15	12.05	55	11.98	95	12.02	135	12.03	175	12.00
16	12.06	56	12.02	96	12.00	136	12.03	176	12.02
17	11.98	57	12.08	97	12.00	137	12.05	177	12.01
18	12.02	58	12.03	98	11.97	138	12.09	178	11.97
19	12.09	59	12.01	99	12.11	139	12.05	179	12.00
20	11.96	60	12.01	100	11.99	140	11.92	180	12.08
21	12.00	61	12.11	101	12.02	141	12.10	181	11.99
22	12.03	62	12.05	102	12.06	142	11.94	182	12.07
23	12.02	63	11.93	103	12.06	143	11.98	183	12.06
24	11.93	64	12.03	104	11.97	144	11.88	184	11.93
25	12.04	65	11.96	105	12.00	145	12.04	185	11.98
26	11.94	66	12.02	106	12.02	146	12.08	186	12.07
27	11.87	67	11.86	107	11.96	147	12.02	187	12.03
28	11.98	68	12.04	108	11.96	148	12.08	188	11.90
29	11.98	69	12.06	109	12.02	149	11.99	189	11.99
30	12.04	70	12.00	110	12.04	150	12.07	190	11.98
31	12.00	71	11.98	111	11.99	151	12.01	191	12.10
32	11.94	72	12.14	112	12.02	152	12.02	192	12.01
33	11.98	73	11.99	113	12.00	153	12.02	193	12.00
34	11.91	74	11.94	114	11.97	154	12.07	194	12.00
35	12.03	75	12.03	115	12.06	155	12.08	195	11.93
36	12.06	76	12.00	116	12.08	156	12.04	196	12.00
37	11.93	77	12.02	117	12.00	157	12.17	197	12.11
38	11.97	78	11.97	118	12.10	158	11.98	198	11.98
39	11.97	79	12.02	119	12.04	159	12.07	199	11.96
40	11.97	80	11.99	120	12.14	160	12.05	200	12.11

ตาราง ก-5 (ต่อ) ค่าขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคชนิด A หลังการปรับปรุงกระบวนการ

Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)
201	12.02	241	11.99	281	12.04	321	12.03	361	12.09
202	12.00	242	12.00	282	12.05	322	12.05	362	12.07
203	12.05	243	12.09	283	11.97	323	11.95	363	12.08
204	11.93	244	12.06	284	12.09	324	12.06	364	12.05
205	11.90	245	12.00	285	12.05	325	11.97	365	12.02
206	11.96	246	11.92	286	12.06	326	12.03	366	11.94
207	11.98	247	11.95	287	11.97	327	12.01	367	12.02
208	11.97	248	12.03	288	11.95	328	12.02	368	11.98
209	12.04	249	12.08	289	12.11	329	12.11	369	12.09
210	12.09	250	12.02	290	12.00	330	12.04	370	11.97
211	12.08	251	12.00	291	12.05	331	12.00	371	11.97
212	12.01	252	11.99	292	11.96	332	12.06	372	12.01
213	11.95	253	12.00	293	11.92	333	12.03	373	11.93
214	12.07	254	12.09	294	12.02	334	12.06	374	12.03
215	12.03	255	11.99	295	12.01	335	12.02	375	12.08
216	12.03	256	12.00	296	12.08	336	11.97	376	12.04
217	11.93	257	12.02	297	11.98	337	12.04	377	12.05
218	11.96	258	11.97	298	12.05	338	12.05	378	12.07
219	11.98	259	11.98	299	11.95	339	12.02	379	12.00
220	12.06	260	12.10	300	12.06	340	11.97	380	11.96
221	12.06	261	11.97	301	11.96	341	12.02	381	12.08
222	11.96	262	12.06	302	12.10	342	12.00	382	12.00
223	12.07	263	12.10	303	12.01	343	11.95	383	12.08
224	11.98	264	12.02	304	11.97	344	11.97	384	11.98
225	12.05	265	12.08	305	12.02	345	12.05	385	11.96
226	12.12	266	12.03	306	11.97	346	11.96	386	11.98
227	12.03	267	12.05	307	12.01	347	11.94	387	11.99
228	12.02	268	11.96	308	11.98	348	12.07	388	12.08
229	12.01	269	12.04	309	12.01	349	11.98	389	12.03
230	11.96	270	12.04	310	12.06	350	11.97	390	11.97
231	11.97	271	11.96	311	12.03	351	11.97	391	12.02
232	12.01	272	12.02	312	12.04	352	11.94	392	12.03
233	12.04	273	11.95	313	12.03	353	12.01	393	11.97
234	11.98	274	11.98	314	12.03	354	12.02	394	12.06
235	12.07	275	11.98	315	12.07	355	12.04	395	11.91
236	11.99	276	12.01	316	11.99	356	11.94	396	12.05
237	12.06	277	12.17	317	11.96	357	12.02	397	12.00
238	12.00	278	12.01	318	12.05	358	12.02	398	11.99
239	11.98	279	12.00	319	12.05	359	12.08	399	12.00
240	11.99	280	12.02	320	12.01	360	12.03	400	11.93

ตาราง ก-5 (ต่อ) ค่าขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคชนิด A หลังการปรับปรุงกระบวนการ

Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)
401	12.08	441	12.02	481	12.07	521	12.05	561	11.97
402	12.07	442	12.00	482	12.01	522	12.03	562	11.98
403	12.09	443	12.08	483	11.94	523	12.01	563	12.04
404	12.04	444	12.07	484	11.92	524	12.09	564	12.05
405	12.08	445	11.97	485	12.11	525	11.99	565	12.10
406	11.95	446	12.03	486	11.99	526	12.03	566	11.90
407	12.07	447	11.98	487	11.95	527	11.95	567	12.04
408	12.00	448	12.01	488	12.10	528	11.93	568	11.98
409	12.02	449	11.93	489	11.98	529	12.02	569	12.08
410	12.10	450	12.02	490	12.03	530	11.93	570	12.03
411	12.02	451	11.87	491	11.95	531	12.10	571	11.98
412	12.08	452	12.06	492	11.98	532	11.92	572	12.03
413	11.96	453	12.03	493	11.96	533	12.01	573	11.90
414	12.01	454	11.98	494	12.06	534	12.04	574	11.99
415	12.09	455	12.11	495	11.97	535	12.00	575	12.01
416	12.06	456	12.01	496	12.05	536	11.96	576	12.02
417	12.10	457	11.96	497	12.06	537	11.98	577	12.02
418	12.02	458	12.02	498	11.97	538	11.95	578	11.97
419	12.06	459	12.08	499	11.99	539	12.05	579	11.99
420	12.04	460	11.85	500	12.01	540	12.05	580	12.02
421	12.01	461	11.99	501	12.02	541	12.03	581	12.01
422	12.04	462	12.08	502	11.98	542	12.02	582	11.97
423	11.98	463	11.94	503	12.03	543	12.02	583	12.08
424	12.00	464	11.95	504	11.93	544	12.00	584	12.04
425	11.94	465	12.03	505	11.96	545	11.97	585	11.99
426	12.04	466	12.06	506	12.03	546	12.12	586	12.08
427	12.03	467	12.08	507	11.98	547	12.06	587	12.03
428	12.01	468	12.08	508	12.05	548	11.99	588	12.01
429	11.96	469	11.97	509	12.01	549	12.01	589	11.95
430	12.05	470	11.99	510	11.97	550	12.09	590	11.99
431	12.01	471	12.12	511	12.02	551	11.94	591	11.85
432	11.99	472	11.99	512	12.02	552	12.00	592	12.03
433	12.09	473	12.07	513	12.05	553	12.02	593	11.99
434	12.06	474	12.11	514	12.05	554	12.03	594	12.04
435	12.00	475	12.05	515	12.04	555	11.98	595	12.02
436	12.00	476	11.99	516	12.01	556	12.03	596	12.06
437	12.00	477	12.02	517	11.94	557	12.02	597	12.10
438	12.02	478	12.02	518	12.05	558	11.98	598	12.04
439	11.92	479	11.93	519	12.01	559	12.04	599	12.07
440	12.03	480	11.97	520	12.02	560	12.04	600	12.03

ตาราง ก-5 (ต่อ) ค่าขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคชนิด A หลังการปรับปรุงกระบวนการ

Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)
601	11.95	641	12.01	681	12.03	721	11.96	761	11.97
602	12.15	642	12.03	682	11.99	722	12.02	762	12.10
603	12.04	643	12.04	683	11.98	723	12.02	763	12.02
604	11.98	644	11.98	684	12.05	724	11.95	764	11.99
605	11.93	645	12.07	685	12.05	725	11.99	765	12.07
606	12.03	646	11.97	686	11.97	726	11.92	766	11.94
607	12.03	647	12.08	687	12.02	727	12.08	767	11.96
608	12.01	648	12.06	688	12.05	728	12.01	768	12.10
609	11.98	649	12.07	689	12.04	729	12.04	769	12.05
610	12.06	650	12.00	690	11.95	730	12.04	770	12.05
611	11.97	651	11.92	691	12.03	731	11.95	771	12.02
612	12.05	652	11.97	692	12.07	732	11.98	772	11.96
613	12.05	653	12.12	693	12.04	733	12.06	773	11.99
614	12.00	654	11.96	694	11.99	734	11.98	774	12.07
615	12.03	655	11.99	695	12.01	735	12.06	775	12.03
616	12.01	656	11.97	696	11.98	736	11.99	776	12.04
617	11.98	657	12.03	697	12.00	737	12.06	777	12.05
618	12.01	658	11.95	698	11.90	738	12.08	778	12.04
619	12.09	659	12.01	699	12.00	739	11.98	779	12.07
620	11.99	660	11.99	700	12.07	740	12.05	780	12.04
621	12.06	661	11.99	701	12.04	741	11.93	781	12.05
622	11.99	662	12.10	702	12.02	742	12.01	782	11.92
623	11.96	663	12.03	703	12.03	743	12.00	783	12.05
624	11.94	664	12.10	704	11.99	744	12.01	784	12.06
625	12.07	665	12.10	705	12.02	745	12.04	785	12.04
626	12.00	666	11.99	706	12.01	746	11.99	786	12.01
627	11.94	667	12.06	707	12.00	747	12.10	787	12.04
628	12.01	668	12.07	708	11.96	748	11.98	788	11.98
629	12.03	669	11.98	709	12.04	749	12.00	789	12.08
630	12.10	670	12.00	710	12.01	750	11.89	790	11.96
631	11.97	671	12.09	711	12.01	751	12.03	791	11.93
632	11.90	672	12.10	712	12.04	752	11.97	792	12.05
633	12.03	673	11.98	713	12.09	753	12.03	793	12.04
634	11.97	674	12.02	714	12.09	754	12.01	794	11.98
635	12.02	675	12.09	715	12.08	755	11.92	795	11.98
636	12.04	676	11.98	716	11.99	756	11.99	796	12.01
637	12.02	677	11.96	717	12.01	757	12.02	797	12.01
638	12.01	678	11.97	718	11.97	758	12.02	798	12.05
639	12.03	679	12.17	719	11.94	759	12.09	799	12.05
640	11.99	680	12.09	720	12.02	760	12.01	800	11.93

ตาราง ก-5 (ต่อ) ค่าขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคชนิด A หลังการปรับปรุงกระบวนการ

Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)
801	12.00	841	12.07	881	12.04	921	11.94	961	11.99
802	12.03	842	11.98	882	11.93	922	12.13	962	11.99
803	11.92	843	12.11	883	11.96	923	12.00	963	11.94
804	11.99	844	11.96	884	12.00	924	12.09	964	12.04
805	12.00	845	12.08	885	12.04	925	12.08	965	11.92
806	12.01	846	12.01	886	11.99	926	12.08	966	12.05
807	11.92	847	11.99	887	11.98	927	11.94	967	12.08
808	12.04	848	12.01	888	12.01	928	11.98	968	12.04
809	12.00	849	12.00	889	12.02	929	12.00	969	12.08
810	11.98	850	12.00	890	12.03	930	12.04	970	12.05
811	11.98	851	12.04	891	12.02	931	11.97	971	12.00
812	11.96	852	12.09	892	11.96	932	11.98	972	12.07
813	12.01	853	12.01	893	12.04	933	12.10	973	12.06
814	12.03	854	11.99	894	11.95	934	11.97	974	12.01
815	11.96	855	12.07	895	11.95	935	12.06	975	12.04
816	12.07	856	12.12	896	12.06	936	12.03	976	11.95
817	12.00	857	12.03	897	11.94	937	12.02	977	12.08
818	11.93	858	11.98	898	12.11	938	12.04	978	11.99
819	12.05	859	12.00	899	11.95	939	12.04	979	12.04
820	12.03	860	12.06	900	12.00	940	12.08	980	12.00
821	11.94	861	12.01	901	12.00	941	12.05	981	12.00
822	11.98	862	12.14	902	12.00	942	12.02	982	12.00
823	11.94	863	11.97	903	12.10	943	11.98	983	11.97
824	12.11	864	11.99	904	12.04	944	12.05	984	12.04
825	12.07	865	12.01	905	12.06	945	12.08	985	11.95
826	12.04	866	12.01	906	12.07	946	12.14	986	12.02
827	12.08	867	12.04	907	11.96	947	12.02	987	12.03
828	12.08	868	11.95	908	12.03	948	12.03	988	12.06
829	12.05	869	12.02	909	11.98	949	12.04	989	12.06
830	11.93	870	12.01	910	11.92	950	12.06	990	12.02
831	12.09	871	11.99	911	12.08	951	12.00	991	11.96
832	11.88	872	12.01	912	12.01	952	12.02	992	12.04
833	11.93	873	12.04	913	12.09	953	12.00	993	12.06
834	11.97	874	12.06	914	12.03	954	11.96	994	12.00
835	12.00	875	12.07	915	12.03	955	12.08	995	12.02
836	12.06	876	12.09	916	11.93	956	12.01	996	11.97
837	12.03	877	11.97	917	11.89	957	12.11	997	12.03
838	12.07	878	12.05	918	12.09	958	11.94	998	12.08
839	12.05	879	12.05	919	12.01	959	12.03	999	12.05
840	12.01	880	12.08	920	11.97	960	11.98	1000	12.02

ตาราง ก-5 (ต่อ) ค่าขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคชนิด A หลังการปรับปรุงกระบวนการ

Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)
1001	12.00	1041	12.02	1081	12.05	1121	12.01	1161	12.04
1002	11.94	1042	11.99	1082	11.96	1122	12.07	1162	11.94
1003	12.08	1043	11.95	1083	12.01	1123	11.88	1163	11.99
1004	12.04	1044	12.02	1084	12.08	1124	12.03	1164	12.02
1005	12.01	1045	12.05	1085	12.10	1125	12.01	1165	12.03
1006	12.00	1046	11.97	1086	12.04	1126	12.05	1166	11.99
1007	11.96	1047	12.07	1087	12.03	1127	11.99	1167	11.99
1008	12.07	1048	12.03	1088	12.02	1128	12.01	1168	12.02
1009	12.05	1049	12.02	1089	12.05	1129	12.08	1169	12.05
1010	12.06	1050	11.96	1090	12.03	1130	12.08	1170	11.97
1011	12.01	1051	11.94	1091	12.00	1131	11.99	1171	11.99
1012	12.01	1052	11.97	1092	12.04	1132	12.05	1172	12.13
1013	12.01	1053	12.01	1093	12.03	1133	11.98	1173	12.01
1014	11.99	1054	12.04	1094	12.04	1134	11.96	1174	11.99
1015	12.12	1055	12.04	1095	12.01	1135	12.11	1175	12.02
1016	12.04	1056	12.01	1096	12.02	1136	11.94	1176	12.02
1017	11.98	1057	12.08	1097	11.95	1137	12.01	1177	12.01
1018	12.03	1058	12.01	1098	12.03	1138	11.99	1178	11.99
1019	12.08	1059	11.98	1099	12.02	1139	12.01	1179	12.07
1020	12.10	1060	12.03	1100	11.96	1140	12.04	1180	12.06
1021	12.00	1061	12.01	1101	11.98	1141	12.05	1181	11.98
1022	12.05	1062	12.08	1102	11.96	1142	12.07	1182	12.01
1023	11.96	1063	12.07	1103	12.01	1143	12.04	1183	12.08
1024	12.00	1064	12.05	1104	11.95	1144	12.07	1184	12.12
1025	11.91	1065	12.01	1105	12.15	1145	12.00	1185	12.03
1026	11.93	1066	11.94	1106	11.96	1146	12.00	1186	11.98
1027	11.99	1067	12.03	1107	11.98	1147	12.05	1187	12.03
1028	12.13	1068	12.01	1108	12.10	1148	11.99	1188	12.11
1029	12.00	1069	11.92	1109	12.05	1149	11.90	1189	11.92
1030	11.95	1070	12.09	1110	12.09	1150	11.91	1190	11.99
1031	12.04	1071	12.03	1111	12.05	1151	11.94	1191	12.02
1032	12.05	1072	12.01	1112	12.00	1152	12.06	1192	12.08
1033	12.07	1073	11.90	1113	12.05	1153	12.04	1193	11.90
1034	12.12	1074	11.92	1114	12.08	1154	12.02	1194	12.00
1035	11.98	1075	11.99	1115	11.95	1155	12.00	1195	12.02
1036	12.04	1076	11.91	1116	12.05	1156	12.01	1196	12.11
1037	12.02	1077	12.01	1117	12.03	1157	12.02	1197	12.08
1038	12.03	1078	12.02	1118	11.95	1158	12.02	1198	12.07
1039	12.02	1079	12.12	1119	12.06	1159	12.01	1199	12.07
1040	12.11	1080	12.04	1120	12.03	1160	12.00	1200	11.99

ตาราง ก-5 (ต่อ) ค่าขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคชนิด A หลังการปรับปรุงกระบวนการ

Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)
1201	12.02	1241	11.98	1281	12.03	1321	11.99	1361	12.08
1202	12.07	1242	12.05	1282	12.04	1322	11.93	1362	11.89
1203	11.92	1243	11.94	1283	11.97	1323	12.07	1363	12.05
1204	12.03	1244	12.02	1284	11.91	1324	11.94	1364	12.03
1205	12.00	1245	12.02	1285	11.94	1325	11.94	1365	11.97
1206	12.05	1246	12.03	1286	12.03	1326	11.96	1366	11.95
1207	12.01	1247	11.99	1287	11.97	1327	11.94	1367	12.07
1208	12.04	1248	12.02	1288	12.01	1328	12.12	1368	11.95
1209	12.04	1249	11.98	1289	12.02	1329	11.97	1369	12.03
1210	12.00	1250	12.04	1290	12.06	1330	12.11	1370	12.03
1211	11.97	1251	12.11	1291	12.08	1331	12.04	1371	12.02
1212	11.93	1252	12.01	1292	12.02	1332	12.01	1372	12.01
1213	12.14	1253	11.96	1293	12.04	1333	11.97	1373	11.95
1214	12.03	1254	12.04	1294	12.10	1334	11.98	1374	12.00
1215	12.01	1255	12.05	1295	12.04	1335	11.99	1375	12.00
1216	11.98	1256	11.95	1296	11.92	1336	12.00	1376	12.08
1217	11.96	1257	11.95	1297	12.02	1337	12.07	1377	11.93
1218	12.09	1258	12.01	1298	12.09	1338	12.05	1378	11.99
1219	12.00	1259	12.10	1299	12.05	1339	12.10	1379	11.96
1220	11.99	1260	11.99	1300	12.11	1340	12.11	1380	12.00
1221	12.05	1261	11.97	1301	12.00	1341	12.10	1381	12.04
1222	12.03	1262	12.02	1302	12.05	1342	11.99	1382	12.03
1223	12.09	1263	11.96	1303	12.04	1343	12.02	1383	12.06
1224	12.03	1264	11.94	1304	11.91	1344	12.00	1384	11.99
1225	11.92	1265	12.00	1305	12.03	1345	12.02	1385	12.00
1226	12.01	1266	12.00	1306	12.08	1346	12.00	1386	12.04
1227	12.05	1267	12.02	1307	12.02	1347	12.01	1387	12.10
1228	11.95	1268	11.96	1308	12.04	1348	12.02	1388	12.11
1229	11.99	1269	11.96	1309	12.00	1349	12.04	1389	11.96
1230	11.95	1270	12.02	1310	12.08	1350	12.03	1390	11.99
1231	12.02	1271	12.07	1311	11.93	1351	12.02	1391	12.14
1232	12.06	1272	12.05	1312	11.97	1352	11.96	1392	11.99
1233	12.04	1273	11.96	1313	11.96	1353	12.12	1393	12.00
1234	12.11	1274	12.00	1314	12.07	1354	12.10	1394	12.08
1235	12.05	1275	12.08	1315	11.96	1355	12.00	1395	12.00
1236	11.99	1276	11.93	1316	12.06	1356	12.05	1396	12.02
1237	11.94	1277	12.08	1317	12.01	1357	11.98	1397	12.03
1238	12.07	1278	12.04	1318	12.03	1358	12.00	1398	12.08
1239	12.00	1279	12.08	1319	12.02	1359	12.06	1399	12.11
1240	11.94	1280	11.95	1320	11.99	1360	11.98	1400	12.06

ตาราง ก-5 (ต่อ) ค่าขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคชนิด A หลังการปรับปรุงกระบวนการ

Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)
1401	12.02	1441	12.03	1481	12.04	1521	12.03	1561	12.07
1402	12.02	1442	12.08	1482	12.05	1522	12.02	1562	12.02
1403	12.08	1443	12.01	1483	11.97	1523	12.03	1563	12.05
1404	12.05	1444	12.08	1484	12.10	1524	11.96	1564	12.06
1405	12.06	1445	12.05	1485	11.90	1525	12.07	1565	12.06
1406	12.05	1446	12.06	1486	12.11	1526	12.08	1566	12.07
1407	12.07	1447	11.94	1487	12.04	1527	12.04	1567	11.96
1408	12.09	1448	12.02	1488	11.96	1528	12.05	1568	12.11
1409	12.05	1449	12.08	1489	11.96	1529	12.02	1569	12.06
1410	12.05	1450	12.04	1490	12.00	1530	11.95	1570	11.99
1411	12.06	1451	12.01	1491	12.04	1531	11.96	1571	12.06
1412	11.94	1452	12.11	1492	12.04	1532	12.04	1572	11.99
1413	12.08	1453	12.11	1493	11.95	1533	12.00	1573	12.11
1414	12.06	1454	12.05	1494	12.01	1534	12.06	1574	12.05
1415	12.03	1455	12.05	1495	12.04	1535	12.04	1575	12.09
1416	11.94	1456	12.09	1496	11.91	1536	12.09	1576	12.00
1417	12.08	1457	11.99	1497	12.02	1537	11.98	1577	12.01
1418	12.00	1458	11.98	1498	12.08	1538	11.97	1578	12.08
1419	12.11	1459	12.09	1499	12.07	1539	12.01	1579	11.99
1420	11.98	1460	11.96	1500	12.03	1540	11.93	1580	12.03
1421	12.09	1461	12.00	1501	12.02	1541	12.12	1581	11.99
1422	11.97	1462	11.92	1502	12.04	1542	11.94	1582	12.08
1423	11.90	1463	12.09	1503	11.92	1543	12.05	1583	12.03
1424	12.05	1464	12.08	1504	11.95	1544	11.96	1584	12.09
1425	11.91	1465	12.03	1505	12.11	1545	12.04	1585	12.04
1426	11.98	1466	12.06	1506	12.01	1546	12.01	1586	12.02
1427	11.96	1467	12.06	1507	12.03	1547	12.06	1587	12.08
1428	11.95	1468	11.98	1508	11.99	1548	11.96	1588	12.01
1429	12.02	1469	11.97	1509	11.96	1549	12.04	1589	12.01
1430	12.04	1470	11.95	1510	12.05	1550	12.02	1590	11.97
1431	12.01	1471	11.99	1511	11.91	1551	12.01	1591	12.02
1432	11.90	1472	12.00	1512	12.03	1552	12.03	1592	12.04
1433	12.02	1473	12.01	1513	12.00	1553	12.03	1593	12.02
1434	12.05	1474	12.01	1514	12.01	1554	12.00	1594	12.04
1435	12.04	1475	12.06	1515	11.99	1555	11.90	1595	12.02
1436	12.02	1476	11.88	1516	12.03	1556	11.96	1596	11.94
1437	12.04	1477	12.04	1517	12.00	1557	12.00	1597	12.03
1438	12.06	1478	12.13	1518	11.97	1558	11.95	1598	12.06
1439	11.98	1479	11.97	1519	12.09	1559	12.04	1599	12.01
1440	12.01	1480	11.98	1520	11.98	1560	12.05	1600	12.04

ตาราง ก-5 (ต่อ) ค่าขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคชนิด A หลังการปรับปรุงกระบวนการ

Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)
1601	12.01	1641	12.02	1681	11.97	1721	12.00	1761	12.02
1602	12.08	1642	11.97	1682	12.01	1722	12.04	1762	12.04
1603	12.01	1643	11.94	1683	11.99	1723	12.06	1763	11.97
1604	12.01	1644	12.04	1684	12.03	1724	12.00	1764	12.04
1605	11.99	1645	12.02	1685	12.09	1725	12.12	1765	12.07
1606	12.00	1646	12.01	1686	11.98	1726	11.98	1766	12.03
1607	12.07	1647	12.00	1687	12.03	1727	11.97	1767	12.00
1608	11.99	1648	11.97	1688	12.03	1728	12.00	1768	11.96
1609	12.09	1649	12.06	1689	11.99	1729	11.97	1769	12.05
1610	11.93	1650	12.01	1690	12.10	1730	12.00	1770	12.11
1611	12.09	1651	11.98	1691	12.06	1731	12.01	1771	12.12
1612	11.98	1652	12.03	1692	12.08	1732	12.03	1772	12.05
1613	11.98	1653	11.97	1693	12.01	1733	12.02	1773	12.03
1614	12.03	1654	11.98	1694	11.99	1734	12.00	1774	12.01
1615	12.11	1655	12.06	1695	11.98	1735	12.04	1775	12.02
1616	12.03	1656	11.98	1696	12.02	1736	11.99	1776	12.00
1617	12.04	1657	12.09	1697	12.10	1737	11.98	1777	12.02
1618	12.00	1658	12.02	1698	12.03	1738	11.96	1778	12.08
1619	11.95	1659	11.99	1699	12.16	1739	11.99	1779	12.03
1620	12.02	1660	11.93	1700	12.03	1740	11.96	1780	12.01
1621	12.07	1661	12.09	1701	11.90	1741	12.03	1781	11.95
1622	11.99	1662	11.92	1702	12.09	1742	12.02	1782	11.98
1623	12.04	1663	12.02	1703	12.01	1743	12.03	1783	12.00
1624	12.00	1664	12.00	1704	11.97	1744	12.04	1784	11.99
1625	12.03	1665	12.04	1705	12.01	1745	12.05	1785	12.09
1626	12.06	1666	11.99	1706	11.96	1746	12.03	1786	12.03
1627	12.05	1667	11.98	1707	12.02	1747	11.98	1787	12.00
1628	11.90	1668	12.03	1708	12.03	1748	12.05	1788	11.97
1629	12.00	1669	11.98	1709	11.94	1749	12.03	1789	12.00
1630	12.02	1670	12.00	1710	12.00	1750	11.98	1790	12.05
1631	11.97	1671	12.07	1711	11.97	1751	12.02	1791	12.03
1632	11.98	1672	12.03	1712	12.09	1752	11.97	1792	12.01
1633	12.03	1673	12.06	1713	12.04	1753	12.09	1793	12.04
1634	12.04	1674	12.02	1714	12.08	1754	11.97	1794	12.09
1635	12.04	1675	12.02	1715	12.08	1755	11.94	1795	12.07
1636	11.97	1676	11.95	1716	11.98	1756	12.05	1796	11.96
1637	12.05	1677	11.98	1717	12.05	1757	12.00	1797	11.98
1638	12.02	1678	12.00	1718	11.99	1758	11.95	1798	11.95
1639	11.93	1679	12.05	1719	12.11	1759	12.00	1799	12.04
1640	11.92	1680	11.99	1720	12.04	1760	11.96	1800	12.07

ตาราง ก-5 (ต่อ) ค่าขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคชนิด A หลังการปรับปรุงกระบวนการ

Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)
1801	12.06	1841	12.05	1881	11.94	1921	11.93	1961	12.05
1802	12.01	1842	12.13	1882	12.04	1922	12.14	1962	12.05
1803	12.05	1843	11.96	1883	12.02	1923	12.03	1963	12.11
1804	11.97	1844	12.01	1884	12.12	1924	11.95	1964	11.99
1805	12.00	1845	11.98	1885	12.03	1925	11.98	1965	12.00
1806	12.03	1846	11.97	1886	12.02	1926	11.96	1966	12.03
1807	12.00	1847	11.96	1887	12.10	1927	12.01	1967	11.95
1808	12.05	1848	12.03	1888	12.06	1928	12.02	1968	12.00
1809	11.96	1849	12.09	1889	12.03	1929	11.96	1969	12.07
1810	11.98	1850	12.02	1890	11.95	1930	11.94	1970	12.05
1811	11.93	1851	12.00	1891	12.05	1931	12.02	1971	12.14
1812	11.96	1852	11.99	1892	11.91	1932	11.93	1972	11.94
1813	12.06	1853	11.99	1893	12.02	1933	11.96	1973	11.99
1814	12.00	1854	12.00	1894	11.99	1934	12.08	1974	11.89
1815	11.95	1855	11.93	1895	11.97	1935	12.13	1975	12.10
1816	11.97	1856	12.11	1896	11.99	1936	12.05	1976	11.95
1817	11.97	1857	12.02	1897	12.05	1937	12.04	1977	11.99
1818	11.98	1858	12.05	1898	12.07	1938	11.95	1978	12.03
1819	12.04	1859	12.01	1899	12.01	1939	12.02	1979	12.03
1820	12.03	1860	12.06	1900	11.99	1940	12.03	1980	11.98
1821	12.00	1861	11.94	1901	11.98	1941	12.04	1981	11.99
1822	11.96	1862	12.04	1902	11.94	1942	11.96	1982	12.06
1823	12.00	1863	12.02	1903	12.12	1943	11.95	1983	12.07
1824	11.99	1864	11.97	1904	12.08	1944	12.06	1984	12.02
1825	12.00	1865	12.11	1905	12.06	1945	12.17	1985	11.99
1826	11.99	1866	12.06	1906	12.03	1946	12.14	1986	12.04
1827	12.11	1867	11.95	1907	11.98	1947	12.08	1987	11.98
1828	11.97	1868	12.03	1908	12.04	1948	12.02	1988	11.98
1829	12.03	1869	12.02	1909	12.04	1949	12.06	1989	12.09
1830	11.96	1870	11.97	1910	11.99	1950	12.03	1990	11.98
1831	12.05	1871	11.99	1911	11.99	1951	11.95	1991	11.99
1832	11.99	1872	12.03	1912	11.96	1952	12.01	1992	12.01
1833	12.01	1873	12.05	1913	12.06	1953	12.04	1993	12.06
1834	11.99	1874	11.99	1914	12.00	1954	12.04	1994	12.09
1835	12.01	1875	11.99	1915	11.95	1955	11.91	1995	11.99
1836	12.12	1876	11.98	1916	11.93	1956	11.98	1996	12.12
1837	12.01	1877	12.02	1917	12.04	1957	11.98	1997	12.00
1838	11.90	1878	11.88	1918	12.05	1958	12.02	1998	12.07
1839	12.02	1879	12.09	1919	12.04	1959	12.04	1999	12.05
1840	11.98	1880	12.00	1920	11.99	1960	12.09	2000	12.00

ตาราง ก-5 (ต่อ) ค่าขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคชนิด A หลังการปรับปรุงกระบวนการ

Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)	Roll	Width (mm.)
2001	12.10	2041	11.97	2081	12.02
2002	12.09	2042	12.00	2082	11.98
2003	12.09	2043	12.03	2083	12.04
2004	12.06	2044	12.11	2084	12.04
2005	11.99	2045	11.96	2085	11.95
2006	12.08	2046	11.96	2086	12.02
2007	12.12	2047	11.94	2087	11.96
2008	12.06	2048	11.99	2088	12.00
2009	11.99	2049	12.02	2089	12.12
2010	12.02	2050	11.99	2090	12.03
2011	12.04	2051	12.00	2091	12.04
2012	12.07	2052	11.88	2092	12.09
2013	11.95	2053	12.02	2093	11.95
2014	12.02	2054	12.03	2094	11.99
2015	12.04	2055	12.08	2095	11.93
2016	11.97	2056	11.93	2096	12.01
2017	11.95	2057	12.01	2097	11.99
2018	12.02	2058	12.12	2098	12.00
2019	12.01	2059	11.99	2099	12.04
2020	12.02	2060	11.99	2100	12.05
2021	12.02	2061	11.96		
2022	12.05	2062	12.07		
2023	11.97	2063	12.07		
2024	12.05	2064	12.06		
2025	12.05	2065	11.91		
2026	12.09	2066	11.91		
2027	12.11	2067	11.97		
2028	12.00	2068	11.92		
2029	12.06	2069	11.98		
2030	12.05	2070	12.00		
2031	12.14	2071	12.05		
2032	12.07	2072	12.00		
2033	11.98	2073	12.00		
2034	12.06	2074	12.01		
2035	12.03	2075	11.98		
2036	12.06	2076	12.10		
2037	12.10	2077	12.02		
2038	12.06	2078	12.10		
2039	11.90	2079	11.98		
2040	12.02	2080	12.12		

ตาราง ก-6 มูลค่าความสูญเสียเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง

ข้อมูล		ข้อมูลประจำเดือน												รวม
เดือน/ปี		Mar-09	Apr-09	May-09	Jun-09	Jul-09	Aug-09	Sep-09	Oct-09	Nov-09	Dec-09	Jan-10	Feb-10	
ปริมาณการผลิต		ปริมาณการผลิตจริง					ปริมาณการผลิตจากการพยากรณ์							
		110,527	110,272	96,732	123,210	119,239	76,705	106,304	98,349	95,587	73,163	107,179	101,438	1,213,757
ก่อนการปรับปรุง	เปอร์เซนต์ของเสีย (%)	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	-
	จำนวนของเสีย (ม้วน)	5084	4529	3095	4682	5008	3068	4252	3934	3823	2927	4287	4058	48,748
	มูลค่าความสูญเสีย (บาท)	441,011	439,995	385,968	491,617	475,772	306,059	424,161	392,420	381,399	291,926	427,652	404,745	**4,862,723**
หลังการปรับปรุง	เปอร์เซนต์ของเสีย (%)	0.000%	0.010%	0.006%	0.021%	0.014%	0.010%	0.010%	0.010%	0.010%	0.010%	0.010%	0.010%	-
	จำนวนของเสีย (ม้วน)	0	11	6	26	17	8	11	10	10	7	11	10	125
	มูลค่าความสูญเสีย (บาท)	0	1,264	696	3,105	2,003	920	1,276	1,180	1,147	878	1,286	1,217	14,973
จำนวนของเสียที่ลดลง (ม้วน)		4,421	4,400	3,863	4,903	4,753	3,061	4,242	3,924	3,814	2,919	4,276	4,047	48,623
มูลค่าความสูญเสียที่ลดลงได้ (บาท)		441,011	438,672	385,271	488,512	473,769	305,138	422,885	391,239	380,252	291,048	426,366	403,528	**4,847,690**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

เกณฑ์การวิเคราะห์ข้อขัดข้องและผลกระทบ (FMEA criteria)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-1 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความรุนแรง (S)

ความรุนแรงของผลกระทบที่เกิด	ระดับ
มีระดับความร้ายแรงของปัญหาสูงมาก มีผลกระทบกับผลิตภัณฑ์ โดยต้องทิ้งผลิตภัณฑ์นั้นทั้งหมด 100% โดยไม่มีสัญญาณเตือน	10
มีระดับความร้ายแรงของปัญหาสูง มีผลกระทบกับผลิตภัณฑ์ โดยต้องทิ้งผลิตภัณฑ์นั้นทั้งหมด 100% โดยมีสัญญาณเตือนแล้ว	9
มีความผิดพลาดเกิดขึ้นในสายการผลิต โดยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ต้องมีการคัดทิ้งเนื่องจากไม่ผ่านข้อกำหนด จำนวนมากกว่า 80%	8
มีความผิดพลาดเกิดขึ้นในสายการผลิต โดยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ต้องมีการคัดทิ้งเนื่องจากไม่ผ่านข้อกำหนด จำนวน 65-80%	7
มีความผิดพลาดเกิดขึ้นในสายการผลิต โดยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ต้องมีการคัดทิ้งเนื่องจากไม่ผ่านข้อกำหนด จำนวน 50-65%	6
มีความผิดพลาดเกิดขึ้นในสายการผลิต โดยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ต้องมีการคัดทิ้งเนื่องจากไม่ผ่านข้อกำหนด จำนวน 35-50%	5
มีความผิดพลาดเกิดขึ้นในสายการผลิต โดยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ต้องมีการคัดทิ้งเนื่องจากไม่ผ่านข้อกำหนด จำนวน 20-35%	4
มีความผิดพลาดเกิดขึ้นในสายการผลิต โดยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ต้องมีการคัดทิ้งเนื่องจากไม่ผ่านข้อกำหนด จำนวน 10-20%	3
มีความผิดพลาดเกิดขึ้นในสายการผลิต โดยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ต้องมีการคัดทิ้งเนื่องจากไม่ผ่านข้อกำหนด จำนวนต่ำกว่า 10%	2
ไม่มีผลกระทบ	1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-2 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความถี่ (O)

โอกาสในการเกิดขึ้นของสาเหตุหนึ่งๆ	อัตราข้อบกพร่องที่เป็นไปได้	ระดับ
สูงมาก :	มากกว่า 400 ชิ้น ใน 10,000 ชิ้น (>4%)	10
เกิดข้อบกพร่องเป็นประจำ	200 ชิ้น ใน 10,000 ชิ้น (2%)	9
สูง :	100 ชิ้น ใน 10,000 ชิ้น (1%)	8
เกิดข้อบกพร่องบ่อย	75 ชิ้น ใน 10,000 ชิ้น (0.75%)	7
ปานกลาง :	50 ชิ้น ใน 10,000 ชิ้น (0.5%)	6
เกิดข้อบกพร่องเป็นครั้งคราว	25 ชิ้น ใน 10,000 ชิ้น (0.25%)	5
ต่ำ :	10 ชิ้น ใน 10,000 ชิ้น (0.1%)	4
เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย	5 ชิ้น ใน 10,000 ชิ้น (0.05%)	3
ต่ำมาก :	2 ชิ้น ใน 10,000 ชิ้น (0.02%)	2
เกือบไม่มีโอกาสเกิดข้อบกพร่องเลย	น้อยกว่า 1 ชิ้น ใน 10,000 ชิ้น ($\leq$0.01%)	1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-3 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหา (D)

หมายเหตุ A = การป้องกันความผิดพลาด (Error Proofing)

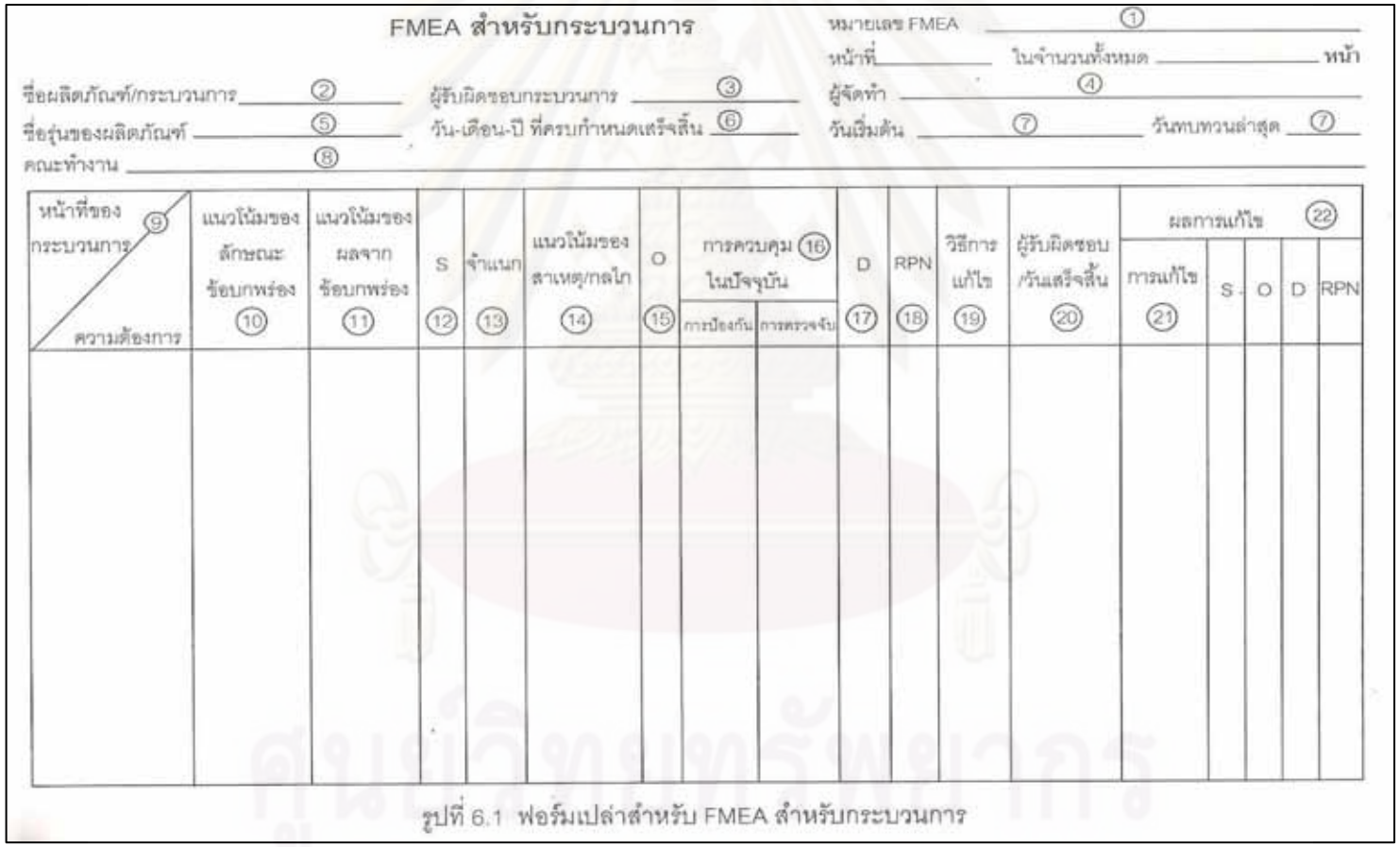
B = การใช้อุปกรณ์วัด (Gaging)

C = ตรวจสอบโดยอาศัยบุคคล (Manual Inspection)

การตรวจจับ	กฎเกณฑ์	ประเภทการตรวจสอบ			ขอบเขตวิธีการตรวจจับ	ระดับ
		A	B	C		
เกือบเป็นไปไม่ได้	ไม่มีระบบตรวจจับใดๆ			X	ไม่สามารถตรวจจับหรือตรวจสอบได้	10
ห่างไกลมาก	มีระบบควบคุมแต่ไม่สามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้			X	การควบคุมกระทำได้โดยทางอ้อมหรือเป็นเพียงการสุ่มตรวจเท่านั้น	9
ห่างไกล	มีระบบควบคุมแต่มีโอกาสน้อยมากที่จะสามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้			X	การควบคุมทำได้แค่เพียงการตรวจสอบด้วยตาเปล่า (Visual inspection) เท่านั้น	8
ต่ำมาก	มีระบบควบคุมแต่มีโอกาสน้อยมากที่จะสามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้			X	การควบคุมทำได้แค่เพียงการตรวจสอบด้วยตาเปล่า (Visual inspection) 2 ครั้งเท่านั้น	7
ต่ำ	มีระบบควบคุมและอาจจะตรวจจับข้อบกพร่องได้		X	X	การควบคุมกระทำได้ด้วยแผนภูมิ SPC	6
ปานกลาง	มีระบบควบคุมและอาจจะตรวจจับข้อบกพร่องได้		X		การควบคุมทำได้ด้วยการวัด GO/NO GO ก่อนออกจากจุดปฏิบัติงานเท่านั้น	5
ค่อนข้างสูง	มีระบบควบคุมและมีโอกาสสูงที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	X	X		มีการตรวจจับความผิดพลาดในกระบวนการถัดไป หรือมีการวัดชิ้นงานชิ้นแรกในขั้นตอนการปรับตั้ง (Set up)	4
สูง	มีระบบควบคุมและมีโอกาสสูงที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	X	X		มีการตรวจสอบความผิดพลาดที่จุดปฏิบัติงานหรือการตรวจสอบความผิดพลาดในกระบวนการถัดไป โดยการตรวจสอบเพื่อการยอมรับ	3
สูงมาก	มีระบบควบคุมและเกือบจะมั่นใจได้ว่าสามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้	X	X		มีการตรวจจับความผิดพลาดของชิ้นงานด้วยเครื่องมืออัตโนมัติ ชิ้นงานบกพร่องไม่สามารถผ่านไปได้	2
สูงมาก	มีระบบควบคุมและมั่นใจได้ว่าสามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้	X			ไม่มีโอกาสเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องเพราะใช้ Poka-Yoke ในขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์/กระบวนการ	1

ตาราง ข-4 แบบฟอร์มการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) ของ AIAG (2001)

อ้างถึงใน กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2549



FMEA สำหรับกระบวนการ

หมายเลข FMEA ①

หน้าที่ ____ ในจำนวนทั้งหมด ____ หน้า

ชื่อผลิตภัณฑ์/กระบวนการ ② ผู้รับผิดชอบกระบวนการ ③ ผู้จัดทำ ④

ชื่อรุ่นของผลิตภัณฑ์ ⑤ วัน-เดือน-ปี ที่ครบกำหนดเสร็จสิ้น ⑥ วันเริ่มต้น ⑦ วันทบทวนล่าสุด ⑦

คณะทำงาน ⑧

หน้าที่ของกระบวนการ ⑨ / ความต้องการ	แนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง ⑩	แนวโน้มของผลจากข้อบกพร่อง ⑪	S ⑫	จำแนก ⑬	แนวโน้มของสาเหตุ/กลไก ⑭	O ⑮	การควบคุม ⑯ ในปัจจุบัน: การป้องกัน	การควบคุม ⑯ ในปัจจุบัน: การตรวจจับ	D ⑰	RPN ⑱	วิธีการแก้ไข ⑲	ผู้รับผิดชอบ/วันเสร็จสิ้น ⑳	ผลการแก้ไข ㉒: การแก้ไข ㉑	S	O	D	RPN

รูปที่ 6.1 ฟอร์มเปล่าสำหรับ FMEA สำหรับกระบวนการ

ตาราง ข-5 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความรุนแรง (S) ของ AIAG (2001) อ้างถึงใน กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2549

ผลกระทบจาก ข้อบกพร่อง	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อผู้ใช้ผลิตภัณฑ์	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อกระบวนการภายใน	คะแนน
เกิดอันตรายโดยไม่มีการเตือน	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้หรือขัดต่อกฎหมายโดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า	มีผลกระทบต่อการเกิดอันตรายต่อพนักงาน (หรือเครื่องจักร) โดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า	10
เกิดอันตรายโดยมีการเตือน	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้หรือขัดต่อกฎหมายโดยมีการเตือนล่วงหน้า	มีผลกระทบต่อการเกิดอันตรายต่อพนักงาน (หรือเครื่องจักร) โดยมีการเตือนล่วงหน้า	9
ผลกระทบสูงมาก	ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากสูญเสียหน้าที่หลัก	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจต้องถูกทำลายหรือส่งเข้าซ่อมแซมที่แผนกซ่อมบำรุงโดยใช้เวลามากกว่า 1 ชั่งโมง	8
ผลกระทบสูง	ผลิตภัณฑ์นำไปใช้งานได้แต่ละดับสมรรถนะลดลงจนทำให้ลูกค้าไม่พอใจมาก	อาจมีการตรวจสอบผลิตภัณฑ์แบบคัดเลือก(sorting)และผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) อาจถูกทำลายหรือส่งเข้าซ่อมแซมที่แผนกซ่อมบำรุงระหว่างครึ่งถึงหนึ่งชั่วโมง	7
ผลกระทบปานกลาง	ผลิตภัณฑ์นำไปใช้ได้แต่ขาดความสะดวกสบายทำและทำให้ลูกค้าไม่พอใจ	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%)อาจถูกทำลายและไม่ต้องตรวจสอบแบบคัดเลือก (sorting)หรือส่งเข้าซ่อมแซมที่แผนกซ่อมบำรุงใช้เวลาต่ำกว่าครึ่งชั่วโมง	6
ผลกระทบต่ำ	ผลิตภัณฑ์นำไปใช้งานได้ด้วยความสะดวกสบาย แต่ละดับสมรรถนะลดลง	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจต้องได้รับการรีเวิร์คหรือได้รับซ่อมแซมนอกสายการผลิตที่ฝ่ายผลิต	5

ตาราง ข-5 (ต่อ) เกณฑ์การให้คะแนนระดับความรุนแรง (S) ของ AIAG (2001) อ้างถึงใน กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2549

ผลกระทบจาก ข้อบกพร่อง	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อผู้ใช้ผลิตภัณฑ์	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อกระบวนการภายใน	คะแนน
ผลกระทบต่ำมาก	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีนัก อาจมีเสียงดังบ้าง ลูกค้าส่วนใหญ่ (> 75%) สามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่องได้	ผลิตภัณฑ์อาจได้รับการตรวจสอบแบบคัดเลือก (sorting)โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกทำลายแต่บางส่วน(ต่ำกว่า 100%) อาจได้รับการรีเวิร์ค	4
ผลกระทบเล็กน้อย	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีนัก อาจมีเสียงดังบ้าง ลูกค้าประมาณครึ่ง สามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่องได้	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (ต่ำกว่า100%) อาจได้ต้องรับการรีเวิร์คในสายการผลิตแต่นอกจุดปฏิบัติงานที่ต้องถูกทำลาย	3
เกือบไม่มีผลกระทบ	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีนัก อาจมีเสียงดังบ้าง ลูกค้าส่วนน้อย (ต่ำกว่า 25%) สามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่องได้	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (ต่ำกว่า100%) อาจได้ต้องรับการรีเวิร์คในสายการผลิตที่จุดปฏิบัติงานโดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกทำลาย	2
ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบที่สังเกตเห็นได้	อาจมีความไม่สะดวกสบายเล็กน้อยต่อการปฏิบัติงานหรือตัวพนักงานหรือไม่มีผลกระทบใดๆ	1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-6 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความถี่ (O) ของ AIAG (2001)
อ้างถึงใน กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2549

โอกาสในการเกิดขึ้นของสาเหตุหนึ่งๆ	อัตราข้อบกพร่องที่เป็นไปได้ (ppm)	P_{pk}	คะแนน
สูงมาก : เกิดข้อบกพร่องเป็นประจำ	≥ 100,000 (หรือ 10%)	< 0.55	10
	50,000 (หรือ 5%)	≥ 0.55	9
สูง : เกิดข้อบกพร่องบ่อย	20,000 (หรือ 2%)	≥ 0.78	8
	10,000 (หรือ 1%)	≥ 0.86	7
ปานกลาง : เกิดข้อบกพร่องเป็นครั้งคราว	5,000 (หรือ 0.5%)	≥ 0.94	6
	2,000 (หรือ 0.2%)	≥ 1.00	5
	1,000 (หรือ 0.1%)	≥ 1.10	4
ต่ำ : เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย	500	≥ 1.20	3
	100	≥ 1.30	2
ห่างไกล : เกือบไม่มีโอกาสเกิดข้อบกพร่องเลย	≤ 10	≥ 1.67	1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-7 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหา (D)
ของ AIAG (2001)

อ้างถึงใน กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2549

หมายเหตุ A = การป้องกันความผิดพลาด (Error Proofing)
B = การใช้อุปกรณ์วัด (Gaging)
C = ตรวจสอบโดยอาศัยบุคคล (Manual Inspection)

การตรวจจับ	กฎเกณฑ์	ประเภทการตรวจสอบ			ขอบเขตวิธีการตรวจจับ	คะแนน
		A	B	C		
เกือบเป็นไปไม่ได้	ไม่มีระบบตรวจจับใดๆ			X	ไม่สามารถตรวจจับหรือตรวจสอบได้	10
ห่างไกลมาก	มีระบบควบคุมแต่ไม่สามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้			X	การควบคุมกระทำได้โดยทางอ้อม หรือเป็นเพียงการสุ่มตรวจเท่านั้น	9
ห่างไกล	มีระบบควบคุมแต่มีโอกาสน้อยมากที่จะสามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้			X	การควบคุมทำได้แค่เพียงการตรวจสอบด้วยตาเปล่า (Visual inspection) เท่านั้น	8
ต่ำมาก	มีระบบควบคุมแต่มีโอกาสน้อยมากที่จะสามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้			X	การควบคุมทำได้แค่เพียงการตรวจสอบด้วยตาเปล่า (Visual inspection) 2 ครั้งเท่านั้น	7
ต่ำ	มีระบบควบคุมและอาจจะตรวจจับข้อบกพร่องได้		X	X	การควบคุมกระทำได้ด้วยแผนภูมิ SPC	6
ปานกลาง	มีระบบควบคุมและอาจจะตรวจจับข้อบกพร่องได้		X		การควบคุมทำได้ด้วยการวัด GO/NO GO ก่อนออกจากจุดปฏิบัติงานเท่านั้น	5
ค่อนข้างสูง	มีระบบควบคุมและมีโอกาสสูงที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	X	X		มีการตรวจจับความผิดพลาดในกระบวนการถัดไป หรือมีการวัดชิ้นงานชิ้นแรกในขั้นตอนการปรับตั้ง (Set up)	4
สูง	มีระบบควบคุมและมีโอกาสสูงที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	X	X		มีการตรวจสอบความผิดพลาดที่จุดปฏิบัติงานหรือการตรวจสอบความผิดพลาดในกระบวนการถัดไปโดยการตรวจสอบเพื่อการยอมรับ	3
สูงมาก	มีระบบควบคุมและเกือบจะมั่นใจได้ว่าสามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้	X	X		มีการตรวจจับความผิดพลาดของชิ้นงานด้วยเครื่องมืออัตโนมัติ ชิ้นงานบกพร่องไม่สามารถผ่านไปได้	2
สูงมาก	มีระบบควบคุมและมั่นใจได้ว่าสามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้	X			ไม่มีโอกาสเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องเพราะใช้ Poka-Yoke ในขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์/กระบวนการ	1

ภาคผนวก ค
เอกสารมาตรฐานการปฏิบัติงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค-1 เอกสารมาตรฐานกำหนดขนาดมุมที่เหมาะสม

พารามิเตอร์สำหรับเครื่องตัด A

ชนิดของเทป	Main shaft speed	Blade speed	Cut speed	Angle
A	**180**	**210**	**2**	**0**
B	200	200	3	-1.5
C	185	200	2	+2.0
D	220	250	3	+1.0
E	160	190	2	+0.5
F	160	180	2	+1.0
G	150	200	3	+2.0
H	180	190	3	0
I	200	220	3	-1.0
J	190	210	2	-0.5
K	170	200	2	-1.0
L	180	180	2	+0.5
M	200	190	2	+1.5
N	185	200	3	+1.2

……..…… : Approve by Foreman / Process Engineer

ตาราง ค-2 ใบปฏิบัติการมาตรฐานในการบำรุงรักษาประจำวัน

ใบปฏิบัติงานมาตรฐานในการบำรุงรักษาประจำวัน

(Standard Daily Check List)

ชื่อเครื่องจักร..... Lathe slitter..... หมายเลขเครื่องจักร... Lathe slitt # 06....สถานที่.....Tape..... .

เครื่องหมาย = / ปกติ x = ผิดปกติ ปต = ปรับแต่ง ม = ไม่ทำงาน ช = ช่อม บ = บันทึกรายละเอียดผิดปกติ

ลำดับที่	รายการตรวจสอบ และ บำรุงรักษา	ผลการตรวจบำรุงรักษาประจำเดือน..... พ.ศ.																													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	**ทำความสะอาดเครื่องจักรทุกครั้งก่อนเลิกงานโดยนำน้ำเปล่าใส่แกลลอน แล้วนำไปวางแทนน้ำสบู่หลังจากนั้นให้ทำการเดินเครื่องจักรตัวเปล่าโดยไม่ต้องตัดเทป เพื่อให้เครื่องจักรฉีดน้ำล้างไปตามจุดต่างๆ ตลอดทั้งแนวเครื่อง และเมื่อจบการทำงานของเครื่องจักรแล้วให้ทำการเช็ดนำให้แห้งโดยใช้ผ้าหรือลมเป่าให้ทั่วเครื่องจักรเพื่อให้นำแห้ง.**																															
2	**ตรวจสอบท่อลมและท่อน้ำสบู่ว่ามีรอยแตกร้าวหรือจุดตันและฉีดน้ำสะดวกหรือไม่.**																															
3	**ตรวจสอบและเติมน้ำมันหล่อลื่นกระบอกลมและปรับจำนวนหยดที่ 1 หยดต่อการตัดเทป** จำนวน 10 Cut พร้อมทั้งตรวจเช็คการรั่วซึมของน้ำมันไฮดรอลิคส์ และระดับน้ำมันไฮดรอลิคส์																															
4	**อัดจารบี Ball screw ชุดมีดจำนวน 9 รู สัปดาห์ละครั้ง (อัดทุกวันจันทร์).**																															
5	ตรวจเช็คแรงดันลมและปรับแรงดันลมอยู่ที่ 4 - 6 kg / cm2 และตรวจสอบลมรั่วต่างๆ																															
6	ลื่อดน็อตทุกจุดให้แน่นโดยเฉพาะชุดฐานใบมีดและ Chuck และตั้งใบมีดตาม Manual.																															
7	ทดสอบระบบ guarding , กระบอกสูบฝาครอบ ทุกครั้งก่อนทำงานโดยระบบต้องทำงานปกติ.																															
8	ดูดฝุ่นภายในตู้ควบคุมสัปดาห์ละครั้งโดยปิดเบรกเกอร์ไฟฟ้าทุกครั้งก่อนดูดฝุ่น.																															
9	ตรวจสอบความพร้อมของเครื่องในการทำงานและอื่นๆ																															
10	เหตุผลการตัดเทปเป็นรอยหรือ 2 รอยมี 5 เหตุผลหลักคือ 1. ใบมีดไม่คม 2. ความเร็วในการฟีดใบมีดเร็วเกินไป 3. Gap ระหว่างแกนกับด้านในคอกระดาษมากเกินไป 4. ลูกปืนของแกนใบมีดเสีย 5. Ball screw ของการฟีดใบมีดฝืด ในเบื้องต้นให้ตรวจสอบ 3 เหตุผลแรกก่อน																															
11	ตรวจสอบสาย sensor ชุดมีดว่าชำรุดหรือไม่.																															
12	ตรวจสอบเพลาสวมม้วนวัตถุดิบ (SHAFT) ว่าสามารถขยับม้วนได้หรือไม่																															
13	ทำการปรับตั้งระนาบของใบมีด โดยใช้ Dial Gauge ทุกเช้าวันจันทร์(หรือวันทำงานวันแรกของสัปดาห์) ก่อนเดินเครื่อง																															
	ผู้ปฏิบัติงาน																															

ผู้ตรวจสอบ .....(หัวหน้ากะ) ผู้อนุมัติ .....(หัวหน้างาน)

หมายเหตุ :

Form.00848

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวปาริชาติ บุญเกลี้ยง เกิดเมื่อวันที่ 8 มีนาคม 2521 ที่จังหวัดกาญจนบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2543 ภายหลังการศึกษาได้เข้าทำงานที่บริษัท สามมิตรมอเตอร์ แมนูแฟคเจอริ่ง จำกัด ในตำแหน่ง วิศวกรฝ่ายวิจัยและพัฒนา จากนั้นในปี 2549 ได้ย้ายมาทำงานที่บริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด ในตำแหน่ง วิศวกรกระบวนการผลิต และได้ศึกษาต่อ ในหลักสูตรวิศวกรรมศาตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย