

การออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตฉนวนหุ้มท่อ

ศศิวรรณ สุริยะ

TNI

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2558

THE DESIGN OF EXPERIMENT FOR IMPROVING THE INSULATION PIPE
PRODUCTION PROCESS

Sasiwan Suriya

TNI

A Term Paper Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Business Administration Program in Industrial Management

Graduate School

Thai-Nichi Institute of Technology

Academic Year 2015

หัวข้อสารนิพนธ์

การออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต

ฉนวนหุ้มท่อ

โดย

ศศิวรรณ สุริยะ

สาขาวิชา

การจัดการอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์

รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้รับสารนิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบสารนิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักร ดิงศภักดิ์)

..... กรรมการ

(ดร. ปาลีรัฐ เลขาวัฒนะ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์)

ศศิวรรณ สุริยะ : การออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตฉนวนหุ้มท่อ.
 อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์, 79 หน้า.

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตฉนวนหุ้มท่อ ผลิตภัณฑ์รุ่นใหม่ล่าสุดนี้เริ่มเปิดสายการผลิตได้เพียง 2 เดือน เมื่อศึกษาค่าร้อยละของผลผลิต (Yield) พบว่ามีค่าเฉลี่ย 84% ซึ่งต่ำกว่าเป้าหมายที่ 90% ในการปรับปรุงกระบวนการนั้น ได้นำเทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) มาประยุกต์ใช้โดยเริ่มจากขั้นตอนการกำหนดปัญหา ได้นำหลักการพาเรโต เข้ามาช่วยจัดลำดับความสำคัญของปัญหา พบว่าจำนวนของเสียที่พบมากในผลิตภัณฑ์รุ่นนี้คือ ของเสียตะเข็บปริด้านนอก และด้านใน จึงได้กำหนดขอบเขตปัญหาคือการปรับปรุงค่าความแข็งแรงของตะเข็บท่อ จากนั้นกำหนดตัวแปรตอบสนอง (Y) และปัจจัย (X) โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยผังก้างปลาแล้วจึงนำสาเหตุที่ได้มาจัดทำ FMEA เพื่อนำค่า RPN มาจัดลำดับความรุนแรงของผลกระทบ จากการประเมินพบว่า สาเหตุที่มีค่า RPN สูงสุดคือ ชนิดของ Die ไม่เหมาะสม และ Speed Line ไม่เหมาะสม จึงกำหนดให้ปัจจัยทั้งสองนี้เป็นปัจจัยที่จะนำไปออกแบบการทดลองต่อไปจากนั้นทำการออกแบบการทดลอง (DOE) ด้วยวิธี General Full Factorial แล้วทำการทดลองหาเงื่อนไขในการผลิตที่ดีที่สุด จากการทดลองทำให้ทางทีมงานเลือกเงื่อนไขที่ใช้ Die ชนิด Cooling และ Speed Line 15 m/min มาเป็นมาตรฐาน จากนั้นทำการตรวจสอบยืนยันผลหลังการใช้เงื่อนไขการผลิตใหม่โดยได้เฝ้าติดตามและจัดทำแผนภูมิควบคุม X Bar R Chart ซึ่งพบว่าค่าความแข็งแรงของตะเข็บท่ออยู่ภายใต้ค่าควบคุมและวัดความสามารถของกระบวนการ พบว่าค่าความสามารถของกระบวนการอยู่ในเกณฑ์ดีผลที่ได้รับจากการศึกษาค้นคว้านี้ คือกระบวนการได้รับการออกแบบและปรับปรุงให้ดีขึ้นจนทำให้จำนวนของเสียตะเข็บท่อลดลง 97% หรือสามารถลดต้นทุนคุณภาพได้ 480,000 บาท/ปี

บัณฑิตวิทยาลัย
 สาขาวิชา การจัดการอุตสาหกรรม
 ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่อนักศึกษา
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

SASIWAN SURIYA : THE DESIGN OF EXPERIMENT FOR IMPROVING THE
INSULATION PIPE PRODUCTION PROCESS. ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR
PICHIT SUKCHAREONPONG, 79 PP.

This Independent study aims to improve the Insulation piping production process. This brand-new model had been launched for 2 months. The result of average Yield performance showed 84% less than target at 90%. The Design of Experiment (DOE) technique was adopted to improve the process. Firstly, Problem identification steps, by using of Pareto's principle to prioritize problems. The highest amount of defects was shown as Outer and Inner seam break. So the scope of problem was defined for improvement of pipe seam strength. Then select the response (Y) and Factors (X) by using Fish bone diagram brought the root causes of problem. Then analyzed the root causes by FMEA and ranking RPN score according to severity of causes. The die type and speed line not proper are the highest score RPN, thus choose these 2 causes as factors for experimental design. Next, Use the DOE tool, General full factorial type, and then trial for the best condition. Finally the team gets the condition of "Die cooling type with 15 m/min line speed" as the best then implements this condition to be standardized. After that confirm the result after implement new condition, the X bar R chart is created to monitor the seam strength. The result showed that seam strength values are controlled within control limit. And the result of process capability evaluation showed good control of process. The result from this study showed the better of process design which causes of 97% reduction on seam break defect and cost reduction 480,000 THB/year

Graduate School
Field of Study Industrial Management
Academic Year 2015

Student's Signature.....
Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาอย่างสูงจากท่าน รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ ที่สละเวลาเพื่อให้คำปรึกษาแนะนำ รวมถึงอธิบายแนวคิดต่าง ๆ พร้อมทั้งแก้ไขจุดที่บกพร่องจนทำให้การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดี ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านของสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ที่ได้ให้ความรู้ พร้อมทั้งเจ้าหน้าที่ของสถาบันที่ได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาที่ศึกษา

ขอขอบพระคุณทีมงานและพนักงานของบริษัทกรณีศึกษาทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ร่วมแรงร่วมใจในการแก้ปัญหา พร้อมทั้งให้ความร่วมมือในการทำงานเป็นทีม จนสามารถแก้ปัญหานี้ให้ลงไปได้

ขอขอบคุณนักวิชาการทุกท่าน หนังสือทุกเล่ม และสื่ออิเล็กทรอนิกส์ออนไลน์ต่าง ๆ ที่ผู้ศึกษาได้ค้นคว้า และนำมาอ้างอิงประกอบการศึกษา และขอขอบคุณทุกท่านผู้ที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จในครั้งนี้ ตลอดทั้งกำลังใจจากเพื่อนนักศึกษาทุกคน

สุดท้ายนี้ขอใช้สารนิพนธ์ฉบับนี้ซึ่งเป็นสิ่งแทนความสำเร็จอีกขั้นหนึ่งของลูกเป็นส่วนหนึ่งในการทดแทนพระคุณบิดา มารดา ที่เสียสละเพื่อลูกเสมอมา

ศศิวรรณ สุริยะ

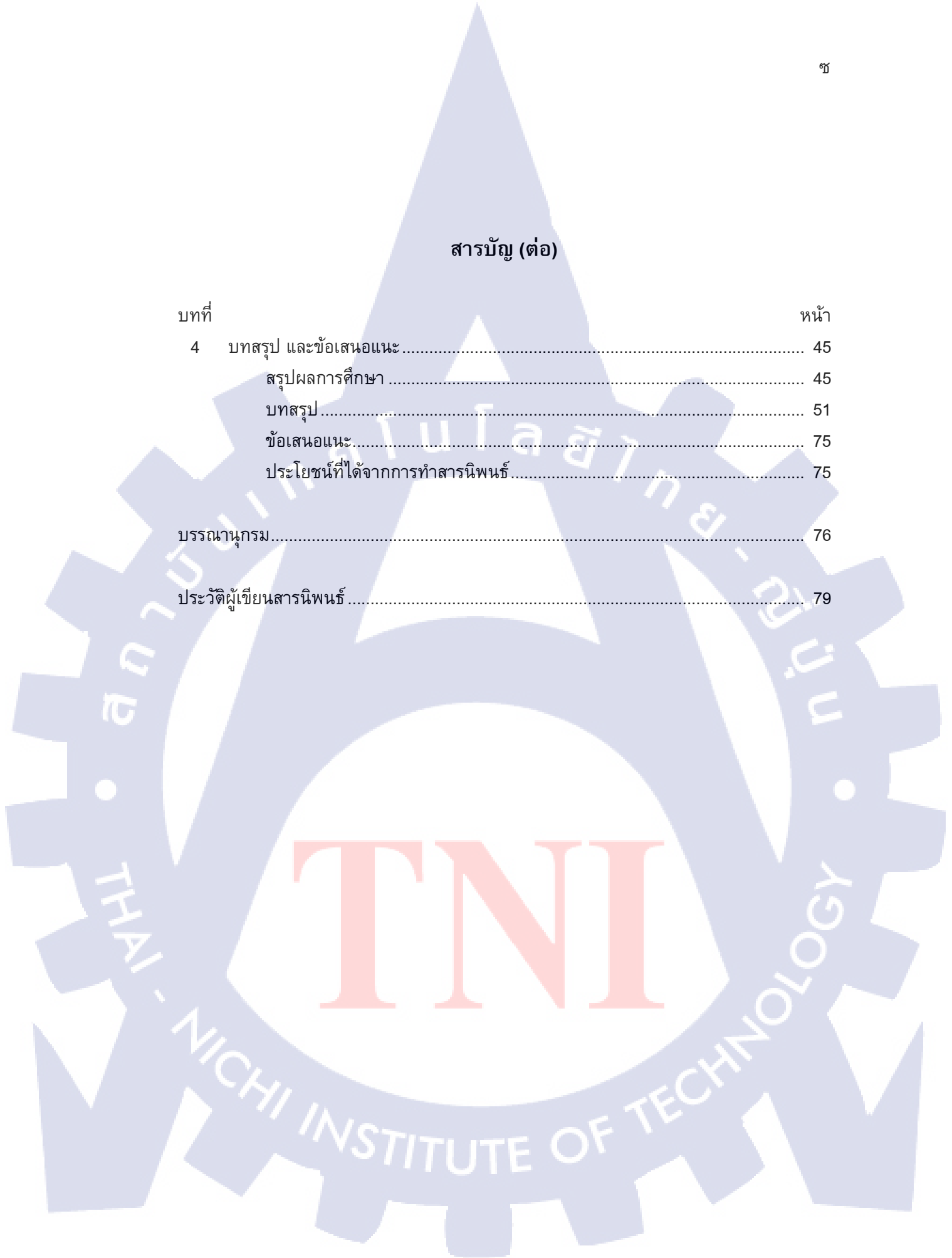
TNI

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูป	ฏ
บทที่	
1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
ขอบเขตของการศึกษา	2
กรอบแนวคิดในการศึกษา	3
ขั้นตอนการศึกษาและดำเนินงาน	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
นิยามศัพท์	4
แผนงานและระยะเวลาการดำเนินงาน	4
2 หลักการพื้นฐาน เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง	5
สถิติและเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง	14
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	35
3 วิธีการดำเนินการศึกษา	40
ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษา	40
ประชากร	43
เครื่องมือในการศึกษา	43
การเก็บรวบรวมข้อมูล	43
สถิติที่ใช้ในการศึกษา	44

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 บทสรุป และข้อเสนอแนะ.....	45
สรุปผลการศึกษา	45
บทสรุป.....	51
ข้อเสนอแนะ.....	75
ประโยชน์ที่ได้จากการทำสารนิพนธ์.....	75
บรรณานุกรม.....	76
ประวัติผู้เขียนสารนิพนธ์.....	79



TNI

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 แผนงานและระยะเวลาการดำเนินงาน	4
2 สรุปรูปแบบการทดลอง.....	13
3 ตัวอย่างรูปแบบของตาราง FMEA สำหรับกระบวนการ	21
4 ความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐาน	31
5 เกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของผลกระทบ	54
6 เกณฑ์การประเมินผลด้านโอกาสการเกิดข้อบกพร่อง.....	55
7 เกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับของระบบควบคุม	56
8 การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบในกระบวนการผลิตต่อ	57
9 รูปแบบการทดลองที่ได้จากการออกแบบ.....	61
10 ผลการทดลองเพื่อหาค่า Tensile Strength.....	61
11 สรุปลักษณะการผลิตจากการทดลองเรียงตามลำดับค่าเฉลี่ยความแข็งแรง ของตะเข็บ	69
12 ผลการตรวจสอบค่าความแข็งแรงของตะเข็บต่อ	70

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
29	ผลการวิเคราะห์ผังก้างปลา	53
30	แผนภูมิพาเรโตจากการวิเคราะห์ FMEA	59
31	ภาพของ Die ชนิดต่างๆ.....	60
32	ผลการหาจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง (Power and Sample Size)	60
33	ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมของข้อมูลด้วยกราฟ 4 in 1	63
34	ผลการวิเคราะห์แบบ General Full Factorial หลังการแปลงข้อมูลด้วยวิธี Box-Cox Transformation	64
35	ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่เป็นอิทธิพลร่วมต่อค่าความแข็งแรงของตะเข็บ	65
36	ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่เป็นอิทธิพลหลักต่อค่าความแข็งแรงของตะเข็บ	66
37	ผลการวิเคราะห์ Regression Model	67
38	การวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงของตะเข็บต่อ Optimization Plot	68
39	แผนภูมิควบคุม X-bar-R Chart หลังการปรับปรุง.....	71
40	ผลการวิเคราะห์คุณภาพข้อมูลเพื่อหาค่าความสามารถของกระบวนการ.....	72
41	ผลการวิเคราะห์ Process Capability ของกระบวนการหลังการทดลอง	73
42	ค่าร้อยละผลผลิต (Yield) หลังการปรับปรุง.....	74
43	แผนภูมิพาเรโตหลังการทดลอง.....	74



TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

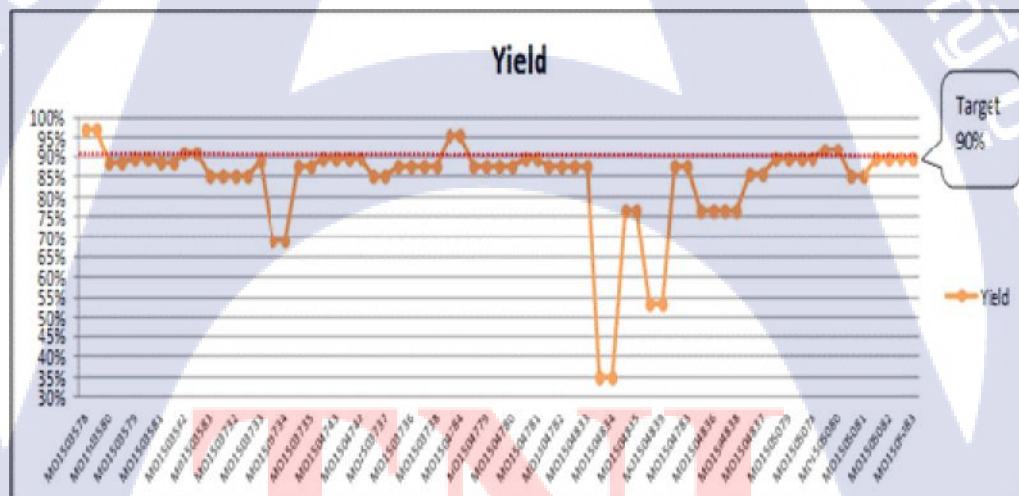
บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

บริษัทกรณีศึกษา ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นบริษัทผู้ผลิตฉนวนกันความร้อน ในรูปแบบแผ่น และแบบม้วนซึ่งดำเนินงานมานานกว่า 20 ปี และในปีที่ผ่านมาบริษัทได้ทำการเปิดสายการผลิตใหม่ ได้แก่ “ผลิตภัณฑ์ฉนวนชนิดท่อ” เพื่อตอบสนองความต้องการใหม่ๆ ของลูกค้า และเพื่อรองรับความต้องการของตลาดในอนาคตซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามความสามารถในการแข่งขัน บริษัทจึงจำเป็นต้องพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีความพร้อมทั้งทางด้านคุณภาพ อีกทั้งยังต้องลดต้นทุนการผลิตเพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันด้านราคาอีกด้วย

จากผลการดำเนินการผลิตแบบ Mass Production ของผลิตภัณฑ์ฉนวนชนิดท่อ ในช่วง 2 เดือนแรก คือ เดือนมิถุนายน-กรกฎาคม 2558 พบว่ามีการผลิตจำนวนทั้งสิ้น 67 ล็อตการผลิต ซึ่งร้อยละของผลผลิต (Yield) แต่ละครั้งแสดงได้จากกราฟต่อไปนี้



รูปที่ 1 แผนภูมิแสดงร้อยละของผลผลิต (Yield) ฉนวนชนิดท่อในช่วง มิ.ย.-ก.ค. 58

จากรูปที่ 1 พบว่า ค่าผลผลิต (Yield) เฉลี่ยของการผลิตในช่วง 2 เดือนแรก คิดเป็นร้อยละ 84 และในการผลิตทั้งหมด 67 ครั้ง พบว่า การผลิตจำนวน 59 ครั้ง หรือคิดเป็นร้อยละ 88 ได้ผลผลิตต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนดและพบการผลิตจำนวน 12 ครั้ง หรือคิดเป็นร้อยละ 18 ได้ผลผลิตต่ำกว่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ที่ร้อยละ 80 ซึ่งแสดงว่าผลผลิต (Yield) ในภาพรวมยังอยู่

ในเกณฑ์ต่ำ เมื่อเทียบกับค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ อีกทั้งยังพบว่าการผลิตบางครั้งมีของเสียมาก ผลผลิตต่ำผิดปกติ ซึ่งถือว่าต่ำกว่าจุดคุ้มทุนที่คำนวณไว้อีกด้วย

จากผลดังกล่าวข้างต้น บริษัทจึงมีความจำเป็นเร่งด่วน ที่จะต้องทำการทบทวน เกี่ยวกับมาตรฐาน และกระบวนการผลิต เพื่อการปรับปรุงกระบวนการให้ดีขึ้น และเพื่อเพิ่มผลผลิตต่อไป

ด้วยเหตุนี้ ผู้ศึกษาจึงได้ทำการศึกษา เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมในการปรับปรุงกระบวนการ โดยได้นำหลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) มาประยุกต์ใช้ เพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสม ที่จะทำให้กระบวนการมีประสิทธิภาพที่ดีเพียงพอสำหรับการแข่งขันทั้งทางด้านคุณภาพและราคา

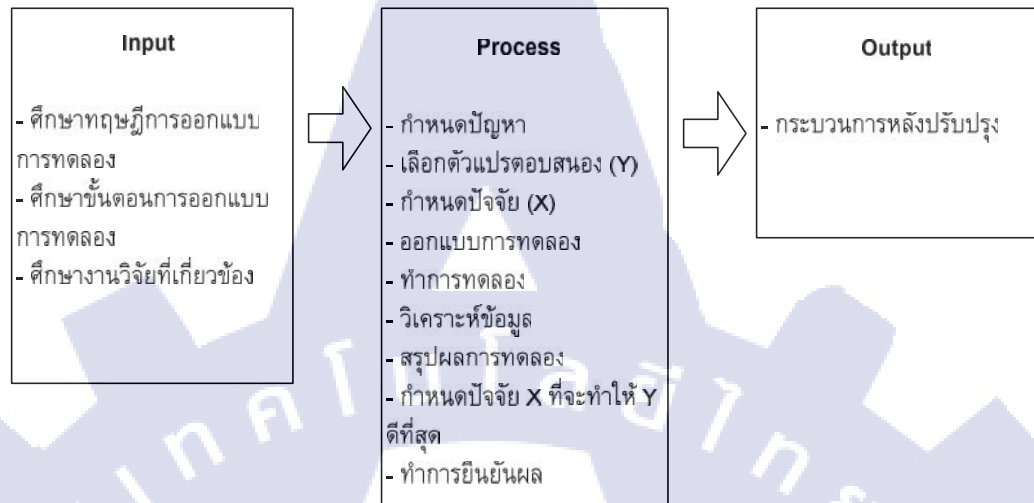
วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์สภาพปัจจุบันของกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์จำนวนชนิดท่อ
2. เพื่อหาข้อบกพร่องของกระบวนการและทำการปรับปรุงกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์จำนวนชนิดท่อโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE)
3. เพื่อปรับปรุงค่าร้อยละของผลผลิต (Yield) ให้ได้ตามเป้าหมายที่บริษัทกำหนดที่ร้อยละ 90
4. เพื่อเป็นแม่แบบสำหรับการปรับปรุงกระบวนการผลิตอื่นๆ ในบริษัท

ขอบเขตของการศึกษา

ในการศึกษาเรื่องการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตจำนวนหุ้มท่อ เป็นการศึกษาที่มีขอบเขตเฉพาะกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์จำนวนชนิดท่อ ซึ่งจะกล่าวถึงเฉพาะขั้นตอนขั้นรูปท่อเท่านั้น มิได้หมายรวมถึงขั้นตอนการผลิตในกระบวนการก่อนหน้าและระยะเวลาในการศึกษาครั้งนี้ คือ มิถุนายน-พฤศจิกายน 2558

กรอบแนวคิดในการศึกษา



รูปที่ 2 กรอบแนวคิดการวิจัย

ขั้นตอนการศึกษาและดำเนินงาน

ในการศึกษาเรื่องการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตฉนวนหุ้มท่อ มีขั้นตอนในการดำเนินงาน ดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง (DOE) พร้อมทั้งศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาสภาพปัจจุบันของกระบวนการผลิตฉนวนหุ้มท่อ
3. กำหนดปัญหา (Problem Identification) โดยใช้เครื่องมือที่เหมาะสม
4. กำหนดตัวแปรตอบสนอง (Define Response Variables : Y) กำหนดปัจจัย (Factors Identification : X) และทำการกำหนดระดับของปัจจัย
5. ออกแบบการทดลอง แล้วทำการทดลองตามแผนที่กำหนด
6. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองแล้วสรุปผลการทดลอง พร้อมทั้งกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสม
7. ทำการตรวจสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง
8. ประเมินผลการดำเนินงานโครงการ เพื่อที่จะแสดงถึงประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถปรับปรุงกระบวนการผลิตที่ให้ค่าร้อยละผลผลิต (Yield) สูงกว่าเป้าหมายที่ร้อยละ 90
2. สามารถลดปัญหาคุณภาพที่เกิดจากกระบวนการผลิตที่ไม่ได้มาตรฐาน
3. สามารถแข่งขันกับคู่แข่งในเชิงคุณภาพ และราคาเพื่อการขยายตลาดในอนาคต
4. สามารถขยายแนวทางการปรับปรุงกระบวนการไปยัง กระบวนการอื่นๆ เพื่อลดต้นทุน และเพิ่มผลผลิต เพื่อนำมาซึ่งผลประโยชน์ที่ดีของบริษัท และเพื่อผลตอบแทนที่ดีต่อพนักงานต่อไป

นิยามศัพท์

1. ฉนวนหุ้มท่อ (Insulation Pipe) หมายถึง Polyethylene Foam ที่นำมาขึ้นรูปเป็นทรงกระบอกกลวงหรือเป็นรูปทรงท่อ เพื่อใช้ในการหุ้มคอยล์เย็น, ท่อน้ำ หรือท่อต่างๆ ภายในเครื่องปรับอากาศ เพื่อป้องกันความชื้น หรือการรั่วซึมของน้ำภายในระบบ

แผนงานและระยะเวลาการดำเนินงาน

ตารางที่ 1 แผนงานและระยะเวลาการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	ม.ย	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
	15	15	15	15	15	15	15
1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง							
2. ศึกษาสภาพปัจจุบันของกระบวนการ							
3. ทำการกำหนดปัญหา							
4. กำหนดตัวแปรตอบสนอง และปัจจัย							
5. ออกแบบการทดลองและทำการทดลอง							
6. วิเคราะห์ผล และสรุปผลการทดลอง							
7. ตรวจสอบผลการทดลอง							
8. สรุปผลที่ได้รับจากโครงการ ทำข้อมูลจัดรูปเล่ม							

บทที่ 2

หลักการพื้นฐาน เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาเรื่องการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตจนหุ้มท่อ ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาโดยแยกเป็นหัวข้อตามลำดับต่อไปนี้

1. ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง
2. สถิติและเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง
3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง

1. นิยามและหลักการของการออกแบบการทดลอง

วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์ (2558) ได้ให้นิยามการออกแบบการทดลองไว้ ดังนี้ “การออกแบบการทดลอง คือ การกำหนดเงื่อนไข หรือวิธีการสำหรับการทดลอง (Treatment) เพื่อให้สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปตีความถึงสาเหตุและผล เพื่อนำไปสู่การตัดสินใจได้อย่างน่าเชื่อถือ”

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา; และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (2551) ได้ให้นิยามการออกแบบการทดลองไว้ดังนี้ “การออกแบบแผนการทดลอง (Design of Experiments) คือ การทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจ เพื่อที่จะทำให้สามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Outputs or Responses) จากกระบวนการหรือระบบนั้นโดยตัวแปรนำเข้า (Input Variables) จะถูกจัดแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ควบคุมได้ เรียกว่า “ตัวแปร(หรือปัจจัย)ที่ควบคุมได้ (Controllable Variables or Factors) หรือตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่สามารถออกแบบได้” (Design Variables or Factors) และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า “ตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่รบกวนระบบ (Uncontrollable or Noise Variables or Factors)” นอกจากนี้ในการออกแบบการทดลอง ยังมีคำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- ตัวแปรตอบสนอง (Responses) คือ ตัวแปรผลลัพธ์ (Output) หรือลักษณะทางคุณภาพที่ต้องการควบคุมให้เป็นไปตามมาตรฐาน

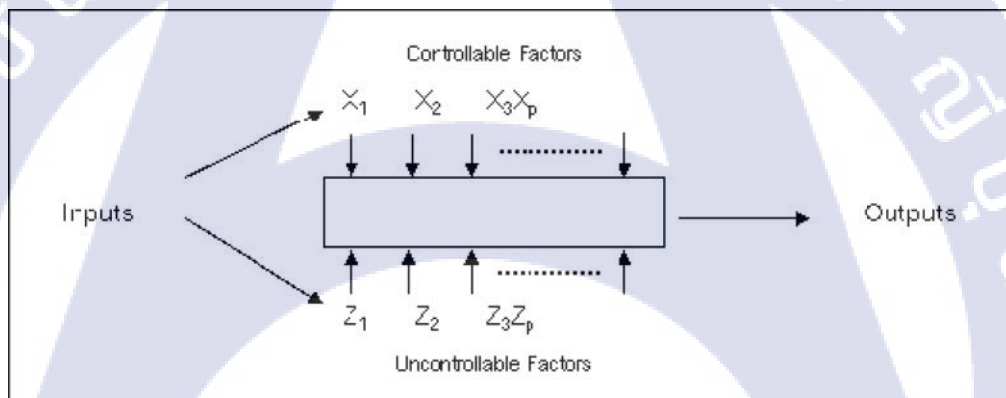
- ปัจจัย (Factors) คือ ตัวแปรนำเข้า (Inputs) ที่ใช้ในกระบวนการ โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ควบคุมได้ และกลุ่มที่ควบคุมไม่ได้

- ระดับปัจจัย (Levels of Factor) คือ จำนวนค่าของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองหนึ่ง เช่น ค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง คือ 100°C , 500°C , 900°C แสดงว่าปัจจัยอุณหภูมิทำการศึกษาที่ 3 ระดับ

- วิธีปฏิบัติ (Treatment) คือ ข้อกำหนดของการทดลอง สำหรับทุกปัจจัยที่ศึกษา
- จำนวนครั้งที่ทดลอง (Runs or Experimental Runs) คือ จำนวนครั้งในการทดลองทั้งหมด ตามแผนการทดลองที่กำหนด ดังสูตร

$$\text{จำนวนครั้งที่ทดลอง} = \text{จำนวนวิธีปฏิบัติ} \times \text{จำนวนครั้งที่ทดลองซ้ำ (Replicates)}$$

ชุดิมา ราชพิทักษ์ (2551) ได้ให้นิยามของการออกแบบการทดลองไว้ ดังนี้ การออกแบบการทดลอง (Design and Analysis of Experiment : DOE) เป็นเทคนิคทางสถิติขั้นสูงที่ใช้ในการปรับค่าสภาวะของกระบวนการให้เป็นไปตามสภาพที่เราต้องการ ซึ่งมีข้อดีกว่าการลองผิดลองถูก (Trial & Error) กล่าวคือ สามารถให้ผลที่แม่นยำบนพื้นฐานการวิเคราะห์ด้วยสถิติ ทำให้สามารถหาสาเหตุของปัญหาได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งในการที่จะศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการและระบบ สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆในกระบวนการหรือระบบที่สนใจ

ที่มา : ชุดิมา ราชพิทักษ์. (2551). การลดของเสียจากกระบวนการผลิตแบบแมชชีนนิ่ง โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์. หน้า 13.

จากรูปที่ 2 กระบวนการคือ การรวมกันของคน เครื่องจักร วิธีการ และทรัพยากรอื่น เพื่อที่จะเปลี่ยน Input ให้เป็น Output ในรูปแบบหนึ่งหรือมากกว่า โดยระหว่างกระบวนการจะมีปัจจัย $X_1, X_2, \dots, X_p$ ซึ่งเป็นตัวแปรที่ควบคุมได้ และตัวแปร $Z_1, Z_2, \dots, Z_p$ ซึ่งเป็นตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ ดังนั้นในการออกแบบการทดลองนี้มัตถุประสงค์เพื่อ

- 1) หาดัชนีแปรที่มีผลต่อ Y มากที่สุด
- 2) หาวิธีการตั้งค่าที่ทำให้ได้ค่า Y ที่ต้องการ
- 3) หาวิธีการตั้งค่า X ที่มีผลต่อ Y ที่ทำให้ Y มีความแปรปรวนน้อยที่สุด
- 4) หาวิธีการตั้งค่า X ที่มีผลต่อ Y เพื่อให้ผลของตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้คือ

$Z_1, Z_2, \dots, Z_p$ มีค่าน้อยที่สุด

นอกจากนี้ยังกล่าวถึงวัตถุประสงค์ในการออกแบบการทดลอง ไว้ดังนี้

- 1) เพื่อตรวจสอบว่าปัจจัยใดมีผลต่อสิ่งที่สนใจ
- 2) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยเพื่อทำให้สิ่งที่สนใจมีค่าใกล้เคียงกับความต้องการที่สุด
- 3) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยเพื่อทำให้ผลจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้มีค่าน้อยที่สุด

- 4) เพื่อพัฒนากระบวนการผลิต
- 5) เพื่อช่วยเพิ่มผลผลิต (Yield)
- 6) เพื่อช่วยลดความแปรปรวนของผลลัพธ์ (Output)
- 7) เพื่อช่วยเพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์

ประโยชน์ของการออกแบบการทดลองในการออกแบบเชิงวิศวกรรม

- 1) ช่วยในการวิเคราะห์เลือกรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม
- 2) ช่วยในการวิเคราะห์เลือกวัตถุดิบที่เหมาะสม
- 3) ช่วยในการเลือกพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพ
- 4) ช่วยในการกำหนดพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ทำงานได้ดีที่สุด

ชยาภรณ์ พร้อมมูล (2557) ได้ให้นิยามของการออกแบบการทดลอง ไว้ว่า การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) หมายถึงการเลือกรูปแบบที่เหมาะสม เพื่อค้นคว้าหาองค์ความรู้ที่ขาดหายไปเกี่ยวกับกระบวนการ โดยการเปลี่ยนตัวแปรนำเข้า (Input Variable) ของระบบหรือกระบวนการ เพื่อที่จะศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Output or Response) จากกระบวนการหรือระบบนั้น

กล่าวโดยสรุปได้ว่า การออกแบบการทดลอง (Design of experiment) เป็นการกำหนดรูปแบบของการทดลองที่มีแบบแผน เพื่อทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ (Output or Response) เมื่อปัจจัยนำเข้า (Factor) เปลี่ยนแปลงไป โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติขั้นสูงการออกแบบการทดลองนั้นมีประโยชน์มากในการออกแบบผลิตภัณฑ์ และการออกแบบกระบวนการอย่างมาก

พิชิต สุขเจริญพงษ์ (2558) หลักการสำคัญของการออกแบบการทดลองมี 4 ประการ ดังนี้

1) หลักการสุ่ม (Randomization) คือการจัดเงื่อนไขการทดลองให้กับหน่วยการทดลองแบบสุ่มเพื่อป้องกันปัจจัยรบกวนที่อาจซ่อนอยู่ในการทดลองเพื่อที่แต่ละหน่วยทดลองจะมีโอกาสเท่าๆ กันที่จะได้รับเงื่อนไขใดก็ได้

2) หลักการซ้ำ (Replication) คือ การจัดให้มีการทดลองแต่ละเงื่อนไข มีการทดลองมากกว่า 1 ครั้ง เพื่อการกำจัดปัจจัยรบกวนที่เกิดจากการทดลองโดยการหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจะช่วยให้ประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลองลดความผิดพลาดจากการทดลองและเพิ่มความเชื่อมั่นจากการทดลองที่ถูกต้องขึ้น

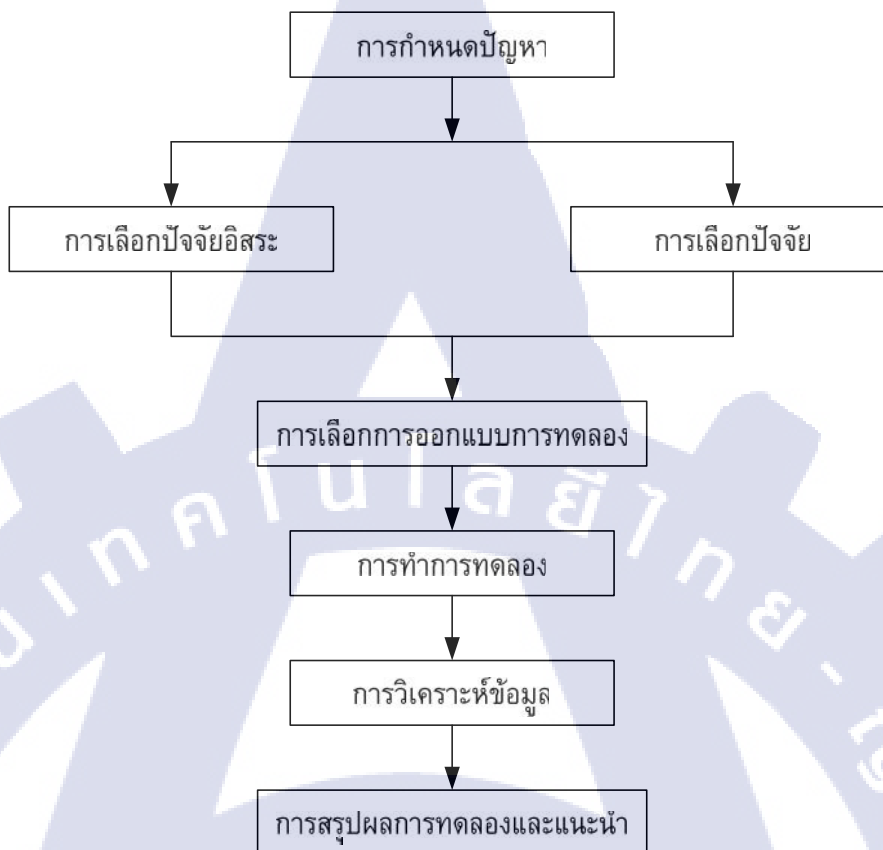
3) หลักการบล็อกปัจจัย (Blocking) เป็นเทคนิคเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทดลอง โดยบล็อกปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อตัวแปรที่ทำการศึกษาแต่ไม่อยู่ในความสนใจ หรือไม่สามารถควบคุมได้ในการทำงานจริง

4) หลักการทดลองแบบสมดุล (Balancing) เพื่อให้การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติมีความแม่นยำ และสอดคล้องกับสมมุติฐานทางสถิติของการทดลอง

2. ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

ชุตินา ราชพิทักษ์ (2551) ได้กล่าวถึงขั้นตอนในการออกแบบการทดลองไว้ว่ามี 7 ขั้นตอนดังรูปที่ 4

TNI



รูปที่ 4 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

ที่มา : ชยาภรณ์ พร้อมมูล. (2557). การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อลดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทฉีดไม่เต็มแบบในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์. หน้า 29.

1) กำหนดปัญหา(Problem identification) คือ การศึกษาและทำความเข้าใจกระบวนการหรือระบบเพื่อกำหนดปัญหาในการออกแบบการทดลองให้ชัดเจน ซึ่งทุกคนจะต้องมีส่วนร่วมในการระดมสมองและหาข้อมูลจากแหล่งต่างๆ หรือหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น แผนกวิศวกรรม แผนกประกันคุณภาพ แผนกผลิต แผนกการตลาด ผู้บริหาร หรือลูกค้า เป็นต้น เพื่อกำหนดขอบเขตของปัญหา และสร้างวัตถุประสงค์ในการทดลองให้มีความชัดเจนที่สุด

2) เลือกปัจจัยระดับของปัจจัยที่จะนำไปทำการทดลอง (Define Factors and Level of Factor) คือ การเลือกปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง พร้อมทั้งกำหนดระดับของปัจจัย (Level of Factor) แต่ละปัจจัย เพื่อเป็นการพิจารณาควบคุม

ปัจจัยในแต่ละจุดที่จะวัดผล ซึ่งอาจต้องใช้เครื่องมือ หรือผู้ที่มีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการอย่างมาก และต้องสังเกตว่าปัจจัยที่กำหนดขึ้นมานั้น ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อวัตถุประสงค์ของการทดลองหรือไม่ ในกรณีที่ทำการทดลองเพื่อการกรองปัจจัย (Factor Screening) เราควรกำหนดให้ระดับต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อย และเลือกขอบเขตการทดลองที่มีความกว้างมากๆ กล่าวคือขอบเขตที่ปัจจัยแต่ละตัวจะเปลี่ยนแปลงได้ควรมีค่ากว้าง จากนั้นเมื่อทราบแล้วว่าปัจจัยใดมีความสำคัญจึงค่อยทำการลดขอบเขตลง

3) กำหนดตัวแปรตอบสนองหรือตัวแปรผลลัพธ์ (Define Outputs or Response) เป็นตัวแปรที่ใช้ในการวัดผลของกระบวนการ ในการเลือกตัวแปรตอบสนองที่จะให้ข้อมูลของกระบวนการที่ต้องการศึกษานั้น ผู้ทดลองจะต้องแน่ใจว่าตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่ศึกษาอยู่บ่อยครั้งค่าเฉลี่ยหรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (หรือทั้งคู่) ของกระบวนการจะเป็นตัวแปรตอบสนองและเป็นไปได้ว่าในการทดลองหนึ่งอาจจะมีตัวแปรตอบสนองหลายตัวและมีความจำเป็นอย่างมากที่เราจะต้องกำหนดให้ได้ว่าอะไรคือตัวแปรตอบสนองและจะวัดตัวแปรเหล่านี้ อย่างไรก่อนที่จะเริ่มทำการทดลอง

4) ออกแบบการทดลอง(Design Experiment) ในการออกแบบการทดลองนั้นจะต้องพิจารณาให้เป็นไปตามหลักการสำคัญของการออกแบบการทดลอง ขนาดตัวอย่าง (Replicate) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและการตัดสินใจว่าควรจะใช้วิธีบล็อก หรือ Randomization หรืออย่างใดอย่างหนึ่ง โดยต้องสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การทดลองเสมอ การออกแบบการทดลองที่ดีจะทำให้เราได้คำตอบของการทดลองตามที่เราต้องการ ในระยะเวลาที่เหมาะสมอีกด้วย

5) ทำการทดลอง(Performing Experiment) เมื่อทำการทดลองจะต้องควบคุมกระบวนการและการเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการเป็นไปตามแผนการทดลองในการทำการทดลองนั้นจะต้องคำนึงถึงหลัก 3R's ได้แก่ทดลองอย่างสุ่ม (Randomization) แต่ละการทดลองต้องทำซ้ำ (Replication) และพยายามลดความคลาดเคลื่อนในการทดลอง (Reduction of Error) เช่นความคลาดเคลื่อนในการวัดสภาพแวดล้อมเงื่อนไขปัจจัยการทดลอง เป็นต้นนอกจากการคำนึงถึงหลัก 3R's แล้วผู้ทดลองควรคำนึงถึงหลักRVPP อีกด้วยคือการทำ การทดลองต้องไม่มีอคติวิเคราะห์ตรงประเด็น (Relevant) เลือกตัวแปรที่เหมาะสมและสมเหตุสมผล (Validity)การทดลองต้องมีการวัดที่ชัดเจนแม่นยำ (Precise) และสิ่งสำคัญคือต้องทำได้จริง ในทางปฏิบัติ(Practicable) ไม่ว่าจะเป็นด้านการใช้จ่ายเวลาและทดลองได้จริง

6) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ(Analyze Data) คือ การนำวิธีการทางสถิติมาวิเคราะห์ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองซึ่งจะเป็นการเน้นหลักการวิเคราะห์ความแปรปรวนในปัจจุบันมีโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติอยู่มากมาย เช่น SPSS, Minitab, Statistica, SAS, Statgraphics และอื่นๆ ซึ่งผู้ทดลองจะต้องมีความเข้าใจทางทฤษฎีเพียงพอจึงจะมีความสามารถ ในทางตีความผลลัพธ์ทาง

สถิติในระดับหนึ่งและเลือกใช้คำสิ่งที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลลัพธ์นั้นๆ ตามต้องการซึ่งจะทำให้ข้อสรุปที่ได้มีเหตุผลสนับสนุนและมีความน่าเชื่อถือ

7) สรุปผลการทดลอง (Draw Conclusions) เมื่อเราได้วิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ทดลองจะต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติและแนะนำแนวทางการแก้ไขอาจแสดงในรูปของตารางกราฟ หรือแผนภูมิเพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ และอาจมีการเสนอแนะข้อมูลที่เป็นประโยชน์เพิ่มเติมได้

พิชิต สุขเจริญพงษ์ (2558) ได้กล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบการทดลองว่ามี 9 ขั้นตอน ซึ่งนอกเหนือจาก 7 ขั้นตอนด้านบนที่กล่าวมาแล้วนั้น ยังมีขั้นตอนต่ออีก 2 ขั้นตอน ดังนี้

8) กำหนดค่าปัจจัย X ที่จะทำให้ Y ดีที่สุด (Identify Optimal Settings for Factors) คือการหาค่าของปัจจัยต่างๆ ที่ได้ทำการทดลองมานั้น เพื่อที่จะได้ค่าของตัวแปรตอบสนอง หรือผลลัพธ์ Y ที่ดีที่สุด ตามมาตรฐานที่กระบวนการต้องการ กล่าวคือ อาจมีค่ามากที่สุด หรือน้อยที่สุด ซึ่งค่าปัจจัย X ที่ได้นี้จะถูกนำมาใช้เป็นมาตรฐานต่อไป

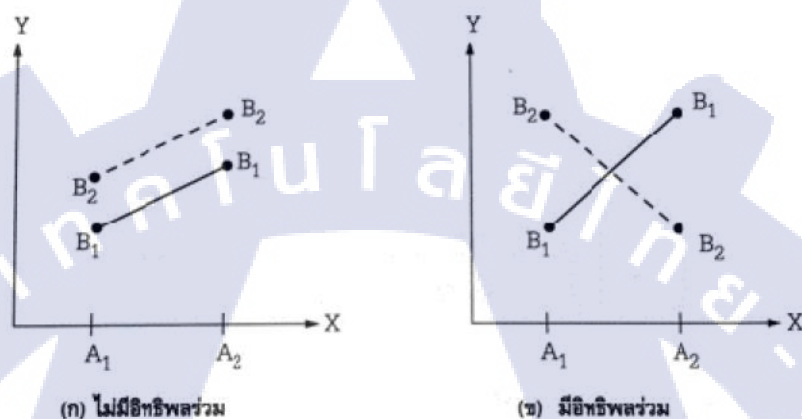
9) ทำการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผล (Run Confirmation Experiment) เป็นการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing) ควรจะทำการขึ้นเพื่อที่จะตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นอีกด้วย

3. รูปแบบของการทดลอง

วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์ (2558) ได้เขียนถึงรูปแบบการทดลองที่นิยมใช้ มีดังนี้

1) การทดลองทีละสาเหตุทีละปัจจัย (One Factor At a Time: OFAT) คือ การทดลองที่ทำการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยทีละ 1 ปัจจัย โดยกำหนดระดับของปัจจัยอื่นๆ ไว้ที่ค่าค่าหนึ่ง เช่น ถ้าต้องการศึกษาผลของอุณหภูมิและความดันในกระบวนการหนึ่ง โดยกำหนดระดับอุณหภูมิไว้ที่ 3 ระดับ และกำหนดระดับความดันไว้ที่ 3 ระดับ เช่นกัน ในการทดลองแบบ (OFAT) นั้น จะกำหนดค่าความดันไว้คงที่ เมื่อทำการทดลองเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ หรือ กำหนดค่าอุณหภูมิไว้คงที่ เมื่อทำการทดลองเปลี่ยนแปลงความดัน การทดลองแบบนี้มีข้อดี คือง่ายในการทำการทดลอง เพราะทำการเปลี่ยนแปลงปัจจัยทีละตัว ทำให้จำนวนในการทดลองน้อย อีกทั้งยังสรุปผลได้ง่าย เพราะสามารถใช้การวิเคราะห์ 2 T-test (สำหรับกรณีที่มี 2 ระดับ) หรือ One Way ANOVA ได้ ส่วนข้อเสียในการทดลองแบบนี้ คือ จะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยเมื่อปัจจัยอื่นๆ เปลี่ยนไป เช่น ในการศึกษาผลของอุณหภูมิ ทำการกำหนดความดันไว้ที่ 2 psi แสดงว่า ผลของการศึกษาจะถูกจำกัดที่ความดันค่านี้เท่านั้น ในขณะที่ถ้ามีการเปลี่ยนความดันไปเป็น 3 psi ก็ไม่สามารถบอกได้ว่า ผลของอุณหภูมิมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเหมือนหรือแตกต่างกับที่ความดัน 2 psi

2) การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design) คือ การทดลอง ที่ทำการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยที่ต้องการศึกษาทั้งหมดไปพร้อมๆ กัน ข้อดีของการทดลอง แบบนี้คือ สามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงของทุกปัจจัยได้ และนอกจากนี้ยังแสดงผลของการมี อิทธิพลร่วม (Interaction Effect) หมายถึง การที่ผลของปัจจัยหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่าง กันไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยอื่นๆ ไปพร้อมกัน ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟแสดงการเกิดอิทธิพลร่วม

จากรูปที่ 5 (ก) พบว่า ไม่ว่าจะกำหนดปัจจัย B เป็น B₁หรือ B₂ ผลจากการเปลี่ยน ปัจจัย A จาก A₁ไปเป็น A₂ มีค่าเท่ากัน (ความชันมีค่าเท่ากัน) แสดงว่า A ไม่มีอิทธิพลร่วมกับ B ในทางกลับกัน จากรูปที่ 5 (ข) ผลของการเปลี่ยนปัจจัย A จาก A₁ ไปเป็น A₂ แตกต่างกัน เมื่อเปลี่ยนจาก B₁ เป็น B₂ (ความชันแตกต่างกัน) แสดงว่า A มีอิทธิพลร่วมกับ B สำหรับตัว แบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลนั้น มีหลายรูปแบบ ดังนี้

- General Full Factorial Design เป็นตัวแบบการทดลองที่ง่ายที่สุด เพราะสามารถ กำหนดระดับของปัจจัยเป็นกี่ระดับก็ได้ แต่ถ้ายังกำหนดระดับปัจจัยมากเท่าไร จำนวนครั้งใน การทดลองก็จะมากตามไปด้วย นอกจากนี้ยังใช้ได้ทั้งกับตัวแปรแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง
- 2^k Factorial Design เป็นตัวแบบการทดลองที่ทุกปัจจัยมีเพียง 2 ระดับเท่านั้น (มัก กำหนดเป็น High กับ Low) ทำให้จำนวนการทดลองลดลง นิยมใช้กับตัวแปรที่เป็นค่าต่อเนื่อง และมีความสัมพันธ์เชิงเส้น
- A Single Replicate of 2^k Factorial Design เป็นตัวแบบการทดลองที่ทุกปัจจัยมี เพียง 2 ระดับ และแต่ละชุดการทดลองจะทำเพียงซ้ำเดียวเท่านั้น

- 2^{k-p} Fractional Factorial Design เป็นตัวแบบการทดลองที่ทุกปัจจัยมีเพียง 2 ระดับ แต่ไม่ได้ทำครบทุกการทดลอง จะทำการทดลองเพียงบางส่วนเท่านั้น เช่น Half-Fractional ($1/2$ Fractional) คือ ทดลองเพียงครึ่งเดียวของทุกแบบ Combination หรือ Quarter-Fractional ($1/4$ Fractional) คือ ทดลองเพียงหนึ่งส่วนสี่ของทุกแบบ หรือ Combination $1/8$ Fractional คือ ทดลองเพียงหนึ่งส่วนแปดของทุกแบบ

จากรูปแบบการทดลองที่ได้กล่าวไว้ด้านบน สามารถสรุปรูปแบบการทดลองดังตารางที่ 2 เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ ดังนี้

ตารางที่ 2 สรุปรูปแบบการทดลอง

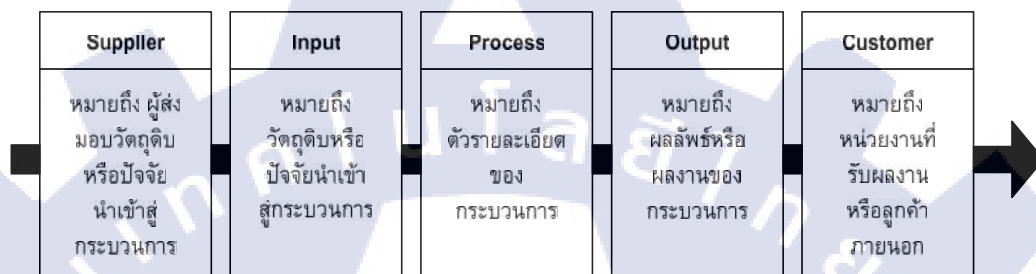
รูปแบบการทดลอง	ลักษณะการทดลอง	เวลาในการวิเคราะห์	ความถูกต้อง	งบประมาณ
Single Factor	การทดลองสำหรับหนึ่งปัจจัย โดยปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญที่คาดว่าจะมีผลกระทบสูงสุดต่อปัญหา	รวดเร็ว	ปานกลาง	น้อย
Factorial Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยและเป็นการทดลองเต็มรูปแบบ	ใช้เวลานาน	มากที่สุด	มาก
2^k Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยและเป็นการทดลองเต็มรูปแบบแต่กำหนดระดับปัจจัยของแต่ละปัจจัย อยู่ที่ปัจจัยละ 2 ระดับเท่านั้น	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
2^{k-p} Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยแต่ไม่ทำการทดลองเต็มรูปแบบทั้งหมด (ลดรูป)	รวดเร็ว	น้อย	น้อย

ที่มา : ชุติมา ราชพิทักษ์. (2551). การลดของเสียจากกระบวนการผลิตแบบแมชชีนนิ่ง โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์.
หน้า 17.

สถิติและเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

1. SIPOC Map

เป็นเครื่องมือที่ทำให้เรามีความเข้าใจกระบวนการในภาพรวมได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ทราบว่าการบวนการเริ่มที่ใดและสิ้นสุดที่ใด พร้อมทั้งทำให้เห็นภาพของปัจจัยนำเข้าสำคัญของกระบวนการ (Key Input Variables) และผลผลิตสำคัญของกระบวนการ (Key Output Variables) รวมถึงลูกค้าด้วย ดังรายละเอียดที่จะแสดงบนแผนภาพต่อไปนี้

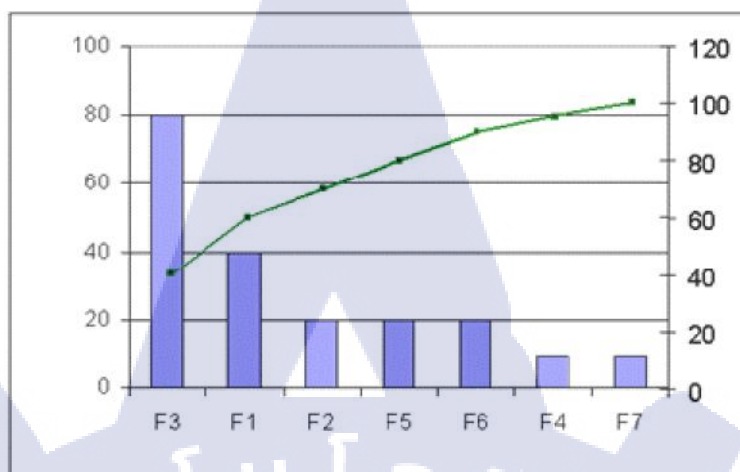


รูปที่ 6 ความหมายของผังกระบวนการ SIPOC

ที่มา : สิทธิศักดิ์ พฤษภักดิ์กุล. (2546). การพัฒนาคุณภาพแบบก้าวกระโดดด้วยวิธี Six Sigma. หน้า 78.

2. แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart)

จากหลักการของพาเรโตที่กล่าวว่า “สิ่งที่สำคัญจะมีเพียง 20% ของสิ่งที่ไม่สำคัญ 80%” นั้นอาจตีความได้ว่า ในปัญหาใดๆ นั้นอาจเกิดจากสาเหตุที่หลากหลาย แต่อย่างไรก็ดีจะมีสาเหตุหลักๆ เพียงไม่กี่อย่างที่มีอิทธิพลที่ทำให้เกิดปัญหา ดังนั้นถ้าจะแก้ปัญหาให้สำเร็จอย่างมีประสิทธิภาพจะต้องแก้ไขที่สาเหตุหลักก่อนจะง่ายกว่าการลดสาเหตุเล็กให้หมดไป ดังนั้นแผนภูมิพาเรโตจึงเป็นแผนภูมิที่ผสมระหว่างกราฟแท่งและกราฟเส้นตรง นำมาใช้เพื่อบ่งชี้ปริมาณที่จัดเรียงตามลำดับ เครื่องมือนี้จึงเป็นเครื่องมือที่นิยมนำมาใช้เพื่อช่วยจัดลำดับความสำคัญของปัญหานั้นเอง



รูปที่ 7 ตัวอย่างแผนภูมิพาเรโต

ที่มา : สมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย. (2559). เครื่องมือคุณภาพ ตอนที่ 1. ออนไลน์.

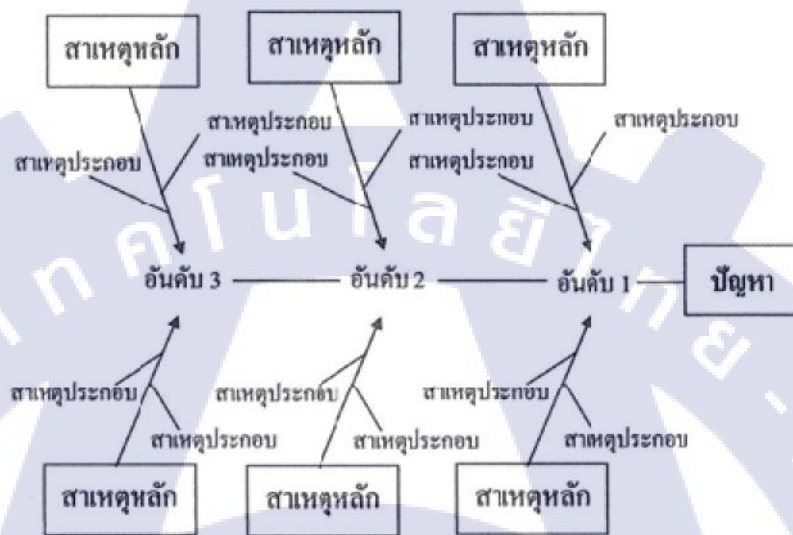
3. ผังก้างปลาหรือแผนผังสาเหตุและผล (Fish Bone Diagram or Cause and Effect Diagram)

จตุรวิทย์ คงเขียว (2557) ได้กล่าวว่า แผนผังสาเหตุและผลเป็นแผนผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา (Problem) และสาเหตุที่อาจเป็นไปได้ทั้งหมด (Possible Causes) แผนผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) หรือเรียกอีกชื่อว่า แผนผังอิชิกาวา (Ishikawa Diagram) เป็นแผนภูมิที่มีลักษณะคล้ายปลาที่เหลือแต่ก้าง โดยส่วนหัวปลาจะแสดงปัญหา และส่วนก้างปลาแสดงสาเหตุที่อาจเป็นไปได้ทั้งหมดส่วนประกอบของผังก้างปลา มีดังนี้

- 1) ส่วนปัญหาหรือผลกระทบ (Problem or Effect) ซึ่งจะแสดงอยู่ที่หัวปลา
- 2) ส่วนสาเหตุ (Causes) จะสามารถแยกย่อยได้อีกเป็น
 - ปัจจัย (Factors) ที่ส่งผลกระทบต่อปัญหา (หัวปลา)
 - สาเหตุหลัก
 - สาเหตุประกอบ

ซึ่งสาเหตุของปัญหาจะเขียนไว้ในก้างปลาแต่ละก้าง ก้างย่อยเป็นสาเหตุของก้างรอง และก้างรองเป็นสาเหตุของก้างหลัก เป็นต้น หลักการเบื้องต้นของแผนภูมิก้างปลา คือการใส่ชื่อของปัญหาที่ต้องการวิเคราะห์ลงทางด้านขวาสุด หรือซ้ายสุดของแผนภูมิโดยมีเส้นหลักตามแนวยาวของกระดูกสันหลัง จากนั้นใส่ชื่อของปัญหาย่อยซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาหลัก 3-6 หัวข้อ โดยลากเป็นเส้นก้างปลา (Sub-Bone) ทำมุมเฉียงจากเส้นหลัก เส้นก้างปลาแต่ละเส้นให้

ใส่ชื่อของสิ่งที่ทำให้เกิดปัญหานั้นขึ้นมา ระดับของปัญหาสามารถแบ่งย่อยลงไปได้อีก ถ้าปัญหานั้นมีสาเหตุที่เป็นองค์ประกอบย่อยลงไปอีก โดยทั่วไปคนมักจะแบ่งระดับของสาเหตุย่อยลงไปมากที่สุด 4-5 ระดับ เมื่อมีข้อมูลในแผนภูมิที่สมบูรณ์แล้ว จะทำให้มองเห็นภาพขององค์ประกอบทั้งหมดที่จะเป็นสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ผังก้างปลา

ที่มา : จตุรวิทย์ คงเขียว. (2557). การลดของเสียในกระบวนการผลิตด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา กระบวนการผลิต Surface Mount Technology (SMT). หน้า 13.

ข้อดีของแผนภูมิก้างปลา

- 1) ไม่ต้องเสียเวลาแยกความคิดต่างๆ ที่กระจุกกระจายของสมาชิก แผนภูมิก้างปลาจะช่วยรวบรวมความคิดให้
- 2) ทำให้ทราบสาเหตุหลักๆ และสาเหตุย่อยๆ ของปัญหา ทำให้ทราบสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาซึ่งทำให้เราสามารถแก้ปัญหาได้ถูกวิธี

ข้อเสียของแผนภูมิก้างปลา

- 1) ความคิดไม่อิสระเนื่องจากมีแผนภูมิก้างปลาเป็นตัวกำหนดซึ่งความคิดของสมาชิกในที่นี้จะมารวมอยู่ที่แผนภูมิก้างปลา

- 2) ต้องอาศัยผู้ที่มีความสามารถสูงจึงจะสามารถใช้แผนภูมิแกงปลาในการระดมความคิด

การใช้แผนผังแกงปลา

- 1) เมื่อต้องการค้นหาสาเหตุของปัญหา
- 2) เมื่อต้องการทำการศึกษาค้นคว้าหรือทำความเข้าใจ หรือทำความเข้าใจกับกระบวนการอื่นๆ เพราะโดยส่วนใหญ่พนักงานจะรู้ปัญหาเฉพาะในพื้นที่ของตน แต่เมื่อมีการทำผังแกงปลาจะทำให้สามารถรู้กระบวนการของแผนกอื่นได้ง่ายขึ้น
- 3) เมื่อต้องการให้เป็นแนวทางในการระดมสมอง ซึ่งจะช่วยให้ทุกคนให้ความสนใจในปัญหาของกลุ่มซึ่งแสดงไว้ที่หัวปลา

วิธีการสร้างแผนผังสาเหตุและผลหรือผังแกงปลา

สิ่งสำคัญในการสร้างแผนผัง คือ การทำงานเป็นทีม โดยมีขั้นตอนการสร้างทั้งสิ้น 6 ขั้นตอนดังนี้

- 1) กำหนดประโยคปัญหาที่หัวปลา
- 2) กำหนดกลุ่มปัจจัยที่จะทำให้เกิดปัญหา
- 3) ระดมสมองเพื่อหาสาเหตุในแต่ละปัจจัย
- 4) หาสาเหตุหลักของปัญหา
- 5) จัดลำดับความสำคัญของสาเหตุ
- 6) ใช้แนวทางการปรับปรุงที่จำเป็น

การกำหนดหัวข้อปัญหาที่หัวปลา

การกำหนดหัวข้อปัญหาควรกำหนดให้ชัดเจนและมีความเป็นไปได้ ซึ่งหากเรากำหนดประโยคปัญหาไม่ชัดเจนตั้งแต่แรก จะทำให้ใช้เวลามากในการค้นหาสาเหตุ และจะใช้เวลานานในการทำผังแกงปลา เทคนิคการระดมความคิดเพื่อจะได้แกงปลาที่ละเอียดสวยงามคือการถาม ทำไม ทำไม ทำไม ในการเขียนแต่ละก้านย่อยๆ

การกำหนดปัจจัยบนก้านปลา

การกำหนดปัจจัยบนก้านปลาจะต้องมั่นใจว่ากลุ่มปัจจัยที่กำหนดสามารถที่จะช่วยแยกแยะสาเหตุต่างๆ ได้อย่างเป็นระบบ และเป็นเหตุเป็นผล โดยมาก มักจะใช้หลักการ 4M 1E เป็นกลุ่มปัจจัย เพื่อที่จะนำไปสู่การแยกแยะสาเหตุต่างๆ ซึ่ง 4M 1E ย่อมาจาก

M-Man คนงาน หรือพนักงาน หรือบุคลากร

M-Machine เครื่องจักรหรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวก

M-Material วัตถุดิบหรืออะไหล่ อุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในกระบวนการ

M-Method กระบวนการทำงาน

E-Environment อากาศ สถานที่ ความสว่าง และบรรยากาศการทำงาน

นอกจาก 4M 1E แล้วยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่นำมาใช้กำหนดปัจจัยของผังก้างปลา เช่น ปัจจัย 4P ได้แก่ Place, Procedure, People และ Policy หรือ 4S ได้แก่ Surrounding, Supplier, System และ Skill เป็นต้น

4. ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability)

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2551) ความสามารถของกระบวนการ หมายถึง การวัดผลเชิงสถิติของความผันแปรจากสาเหตุโดยธรรมชาติที่เกิดจากกระบวนการหนึ่งภายใต้ระยะเวลาหนึ่งที่มีการดำเนินการภายใต้เงื่อนไขการดำเนินงานที่ปกติ (A Statistical Measure of the Common Cause Variation Exhibited by a Process Measured Over an Extended Period of Time Under Normal Operating Conditions)

การประเมินความสามารถของกระบวนการ สามารถทำได้โดยการนำค่าความผันแปรที่ $\pm 3\sigma$ หรือ 6σ ซึ่งครอบคลุมข้อมูล 99.73% เป็นตัวแทนในการประเมินความสามารถของกระบวนการโดยใช้ตัวชี้วัดที่เรียกว่า Process Capability Index (PCI) เรียกว่าค่า Cp ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

อย่างไรก็ตาม ในการพิจารณาค่า Cp เพียงอย่างเดียวนั้น อาจยังไม่สามารถบ่งชี้ความสามารถของกระบวนการได้ชัดเจนมากนัก ในกรณีที่กระบวนการมีค่า Cp เท่ากัน จึงได้มีการสร้างดัชนีขึ้นเพิ่มเติมได้แก่ ค่า Cpk ซึ่งคำนวณได้จาก

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

การประเมินความสามารถของกระบวนการด้วยค่า Cp, Cpk เป็น "การประเมินความสามารถของกระบวนการระยะสั้น" ซึ่งข้อมูลได้มาภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน เช่น ล็อตการผลิตเดียวกัน เป็นต้น แต่หากต้องการทราบถึงภาพรวมของกระบวนการที่มีเงื่อนไขแตกต่างกันก็สามารถทำได้เช่นกันด้วยการใช้ "การประเมินความสามารถของกระบวนการระยะยาว" หรือค่า Pp, Ppk (Process Performance Index) ซึ่งมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

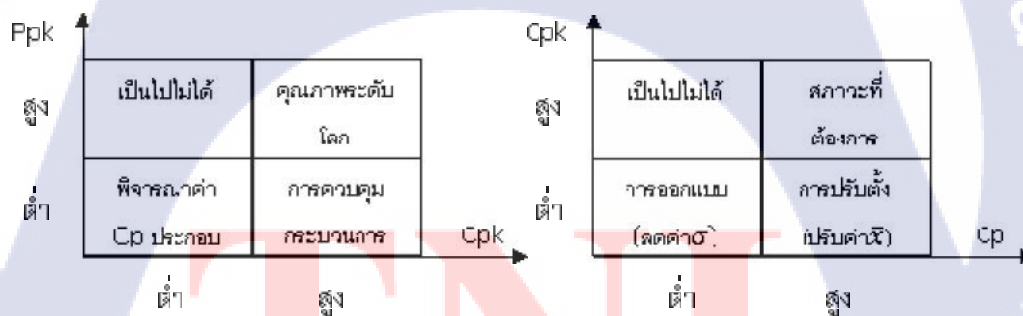
$$P_{pk} = \min[P_{pu}, P_{pl}] \text{ โดย } P_{pu} = \frac{USL - \bar{x}}{3\sigma} \text{ และ } P_{pl} = \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma}$$

จะเห็นว่าสูตรในการคำนวณนั้นเหมือนกับ C_p , C_{pk} แต่จะแตกต่างกันตรงที่ค่า σ ซึ่งมาจากชนิดของประชากรที่แตกต่างกัน สำหรับการตีความดัชนีชี้วัดความสามารถ มีดังนี้

C_p (Short Term) หรือ P_p (Long Term) เป็นตัวเลขแสดงการกระจายของข้อมูลโดยเทียบกับ Spec ถ้าค่า C_p (หรือ P_p) ยิ่งสูงแสดงว่ามีการกระจายของข้อมูลยิ่งน้อยซึ่งกระบวนการที่ดีจะต้องมีค่า C_p มากกว่า 1.33

C_{pk} (Short Term) หรือ P_{pk} (Long Term) เป็นตัวเลขแสดงค่ากลางของข้อมูลโดยเทียบกับ Spec

- ถ้าค่า C_{pk} (หรือ P_{pk}) ยิ่งมีค่าใกล้ C_p (หรือ P_p) แสดงว่า Center ของข้อมูลยิ่งเข้าใกล้ Target
- ถ้าค่า C_{pk} (หรือ P_{pk}) เท่ากับ C_p (หรือ P_p) แสดงว่า Center ของข้อมูลมีค่าเท่ากับ Target
- ถ้าค่า C_{pk} (หรือ P_{pk}) มีค่าติดลบ แสดงว่า Center ของข้อมูลอยู่นอก Specification



(ก) การเปรียบเทียบค่าดัชนี C_{pk} กับ P_{pk} (ข) การเปรียบเทียบค่าดัชนี C_p กับ C_{pk}

รูปที่ 9 การเปรียบเทียบค่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ

ที่มา : วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์. (2558). สถิติสำหรับวิศวกรโรงงาน (ภาคปฏิบัติ). หน้า 167.

5. การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA)

FMEA คือ กลุ่มของกิจกรรมเชิงระบบประการหนึ่ง (A Systematic Group of Activities) ที่มีจุดมุ่งหมาย (1) ระบุและประเมินถึงแนวโน้มของข้อบกพร่อง (Potential Failure) ของผลิตภัณฑ์/กระบวนการหนึ่งและผลกระทบ (Effects) จากข้อบกพร่องดังกล่าว (2) การบ่งชี้ถึงการปฏิบัติการที่สามารถกำจัดทิ้งหรือลดโอกาสการเกิดข้อบกพร่อง (3) การดำเนินการจัดทำกระบวนการทั้งหมดให้อยู่ในรูปเอกสาร (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2551 : 23) โดย FMEA นั้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ FMEA สำหรับการออกแบบ และ FMEA สำหรับกระบวนการ สำหรับขั้นตอนในการจัดทำ FMEA มีดังนี้

1. กำหนดกลยุทธ์ เนื่องจากการจัดทำ FMEA มีรายละเอียดค่อนข้างมาก จึงต้องทำการกำหนดกลยุทธ์ในการจัดทำ FMEA เช่น จะจัดทำ FMEA เมื่อปัญหาของกระบวนการเกิดขึ้นเรื่อยๆ หรือ มีการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีใหม่ เป็นต้น

2. ทบทวนกระบวนการ โดยเริ่มจากการศึกษากระบวนการที่เลือกไว้ โดยแนะนำให้หาหลักการ 3 จริ่ง คือ เหตุการณ์จริง (Genba) ดูของจริง (Genbutsu) ภายใต้อาสาแวดล้อมจริง (Genjitsu) จากนั้น จึงทำความเข้าใจกระบวนการให้ชัดเจน ด้วยการแสดงแผนภาพขั้นตอนกระบวนการ หรือแผนภูมิแสดงการไหลของกระบวนการ เป็นต้น

3. ระดมสมองเพื่อค้นหาแนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง หรือ (Potential failure Modes) ซึ่งสมาชิกทุกคนจะมีอิสระในการใช้ความคิดผ่านการวิเคราะห์หน้าที่ของกระบวนการ เพื่อหาแนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่องให้ได้ครอบคลุมที่สุด ซึ่งการกำหนดลักษณะข้อบกพร่องนี้ ควรเป็นการกำหนดที่สามารถสังเกตได้ชัดเจน เช่น การผสมไม่เข้ากัน ซึ่งควรแก้ไขเป็น การตกตะกอนหรือมีสีขุ่น แทนเพื่อให้เกิดความชัดเจนยิ่งขึ้น

4. วิเคราะห์ข้อบกพร่องแต่ละรายการ โดยเริ่มจากการพิจารณาถึงลูกค้าภายใน ไปจนถึงผู้ใช้สุดท้าย แล้วพิจารณาว่าข้อบกพร่องดังกล่าวมีผลกระทบต่อลูกค้าในประโยชน์ใช้สอยที่ลดลงจากที่พึงได้รับ และความรุนแรง (Severity-S) จากผลกระทบนั้น พร้อมทั้งพิจารณาความเสี่ยงโดยประเมินถึงโอกาสการเกิด (Occurrence-O) และสุดท้ายคือพิจารณาระบบการควบคุมกระบวนการที่ใช้ในปัจจุบัน (Current Control) หรือพิจารณาว่าระบบควบคุมที่ใช้ในปัจจุบันสามารถบ่งชี้ความบกพร่องก่อนส่งผลิตภัณฑ์ให้ลูกค้าได้หรือไม่ และจะพิจารณาความเสี่ยงโดยประเมินความสามารถในการตรวจจับ (Detection-D) ของระบบ

5. การประเมินตัวเลขแสดงความเสี่ยง จะทำการประเมินด้วย 3 องค์ประกอบ คือ ความรุนแรงของลักษณะข้อบกพร่อง (S) โอกาสการเกิดสาเหตุ (O) และความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่อง (D) โดยใช้ค่าตัวเลขแสดงลำดับความเสี่ยง (Risk Priority Number) หรือค่า RPN ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

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

เมื่อได้ทำการประเมินแล้วจะต้องทำการทวนสอบการให้คะแนน RPN ด้วยหลักการพาเรโต เพราะการประเมินจำเป็นจะต้องสอดคล้องกับหลักการพาเรโต ถ้าไม่สอดคล้องจำเป็นจะต้องทำการประเมินใหม่อีกครั้ง

6. การกำหนดมาตรการตอบโต้เพื่อลดความเสี่ยงหลังจากการวิเคราะห์ จะต้องทำการกำหนดมาตรการตอบโต้โดยควรมีพื้นฐานของเทคโนโลยีเฉพาะด้าน แล้วดำเนินการปฏิบัติทั้งมาตรการเฉพาะหน้าและมาตรการป้องกัน

7. การประเมินผลความเสี่ยงภายหลังการปฏิบัติ

8. การติดตามผลและจัดทำมาตรฐาน

รูปแบบในการวิเคราะห์ FMEA นั้นโดยทั่วไปจัดอยู่ในรูปแบบของตาราง ดังตัวอย่างด้านล่างนี้

ตารางที่ 3 ตัวอย่างรูปแบบของตาราง FMEA สำหรับกระบวนการ

หน้าที่ของกระบวนการ	แนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง	แนวโน้มของผลจากข้อบกพร่อง	S	จำแนกประเภท	แนวโน้มของสาเหตุ/กลไก	O	การควบคุมการออกแบบในปัจจุบัน	D	RPN
---------------------	----------------------------	---------------------------	---	-------------	-----------------------	---	------------------------------	---	-----

6. การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เป็นการศึกษาที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรตาม (Dependent Variable : Y) ซึ่งเป็นตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอิสระ (Independent Variable: X) โดยถ้าตัวแปรอิสระมีเพียงตัวแปรเดียว จะเรียกการวิเคราะห์นี้ว่า การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression Analysis) แต่ถ้าตัวแปรอิสระมีตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป จะเรียกการวิเคราะห์นี้ว่า การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) ในการวิเคราะห์การถดถอย รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระนี้แบ่งได้ 2 กรณี คือกรณีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง และกรณีความสัมพันธ์ไม่เป็นเส้นตรง สำหรับการตีความจากผลการวิเคราะห์โปรแกรม MINITAB ได้แก่

1. การทวนสอบความเหมาะสมของข้อมูล

1.1 ตรวจสอบข้อมูลต้องมีการกระจายแบบสุ่ม พิจารณา Residual Plot เพื่อตรวจสอบว่ามีการกระจายอย่างสุ่มหรือไม่ ถ้าพบลักษณะที่ผิดปกติ ต้องทำการทวนสอบข้อมูลใหม่

1.2 ข้อมูลต้องมีการแจกแจงแบบปกติ พิจารณา Residual Plot ที่กราฟฮีสโตแกรม หรือ Normal Probability Plot ว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ ถ้าพบลักษณะผิดปกติแสดงว่า การกำหนดปัจจัยในการเก็บข้อมูลแต่ละครั้งแตกต่างกัน

1.3 ความผันแปรภายในกลุ่มย่อยจะต้องไม่แตกต่างกัน พิจารณา Residual Plot ข้อมูลต้องแตกต่างกันชัดเจน ถ้าการกระจายของจุดใกล้เคียงกัน แสดงว่าความผันแปรภายใน กลุ่มย่อยแตกต่างกัน ซึ่งเกิดจากการควบคุมปัจจัยมีความแตกต่างกัน

หากพบความผิดปกติในการทวนสอบ แสดงว่าข้อมูลที่เก็บมานั้น ไม่อยู่ใน สภาวะควบคุมเพียงพอ จึงจำเป็นต้องเก็บข้อมูลใหม่ หากไม่พบความผิดปกติใดๆ ในการทวน สอบจึงสามารถทำการพิจารณาในขั้นต่อไป

2. การวิเคราะห์ผลการกำหนดปัจจัยใน Model Summary

- ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2 : R-square) เป็นตัวบอกให้ทราบว่า การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม (Y) จะเกิดจากอิทธิพลของตัวแปรอิสระ (X) มากน้อยเพียงใด หรือ สมการที่หาได้นั้น จะอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้ดีและเหมาะสมเพียงใด ถ้า R^2 มีค่าสูง (เข้าใกล้ 1) แสดงว่า ตัวแปรอิสระที่มีอยู่ในสมการถดถอยนั้นสามารถใช้อธิบายการ เปลี่ยนแปลงตัวแปรตามได้ดี เนื่องจากตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระในสมการถดถอยที่หาได้ นั้นมีความสัมพันธ์มากจนเชื่อได้ว่า สมการถดถอยที่หาได้นั้น มีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับ ความสัมพันธ์ที่เป็นจริง แต่ถ้า R^2 มีค่าต่ำ (เข้าใกล้ 0) แสดงว่า ตัวแปรอิสระที่มีอยู่ในสมการ ถดถอยนั้นไม่สามารถใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงตัวแปรตามได้ดี เนื่องจากตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระในสมการถดถอยที่หาได้นั้นมีความสัมพันธ์น้อย

- ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจเชิงซ้อน (R^2 Adjusted: R-Sq(adj)) เป็นการ เพิ่มตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยจะทำให้ค่า R^2 มากขึ้นทั้งที่ตัวแปรอิสระ X ที่เพิ่มเข้าไปใหม่ อาจไม่มีความสัมพันธ์กับ Y เลยก็ได้ จึงมีการปรับค่า R^2 ให้ถูกต้องยิ่งขึ้น และช่วยให้ทำนายค่า Y มีความผิดพลาดน้อยลง

3. การพิจารณาผลของปัจจัยในตาราง ANOVA

3.1 พิจารณาความเหมาะสมของรูปแบบความสัมพันธ์กับข้อมูล ผ่านค่า P-Value ของ Lack of Fit ถ้าค่า P-Value มากกว่าค่า α แสดงว่าข้อมูลเหมาะกับรูปแบบ ความสัมพันธ์ที่กำหนด แต่ถ้าค่า P-Value น้อยกว่าค่า α แสดงว่าข้อมูลนั้นไม่เหมาะกับรูปแบบ สมการที่คำนวณได้ จะต้องทำการเปลี่ยนรูปแบบสมการให้เหมาะสมเสียก่อน

3.2 พิจารณาความชันของความสัมพันธ์ว่ามีค่าแตกต่างจากศูนย์หรือไม่ พิจารณาค่า P-Value ของ Regression ถ้าค่า P-Value น้อยกว่าค่า α แสดงว่าค่าความชันที่ได้ มีค่าแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญ จึงสรุปได้ว่า x และ y มีความสัมพันธ์กัน แต่ถ้าค่า

P-Value น้อยกว่าค่า α แสดงว่าค่าความชันที่ได้ไม่มีค่าแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญ จึงสรุปได้ว่า x และ y ไม่มีความสัมพันธ์กัน

6. การออกแบบการทดลองแบบ General Full Factorial Design ด้วย Minitab เวอร์ชัน

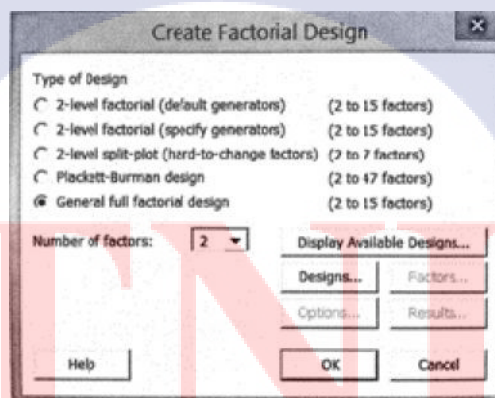
17

วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์ (2558) ได้แสดงตัวอย่างการออกแบบการทดลองแบบ General Full Factorial ด้วย Minitab ตามโจทย์ ดังนี้ โรงงานแห่งหนึ่งผลิตชุดใบมีดตัดโลหะ พบว่ามีคำร้องเรียนจากลูกค้าเรื่องอายุการใช้งานที่แตกต่างกันของใบมีด วิศวกรฝ่ายออกแบบมีความสงสัยว่าชนิดของวัสดุที่ใช้ทำใบมีดและความเร็วรอบของการตัด จึงได้ออกแบบการทดลองโดยกำหนดปัจจัยดังนี้

- ชนิดของวัสดุในการทำใบมีด มี 2 ระดับ คือ A และ B
- ความเร็วในการตัด กำหนดไว้ 3 ระดับ คือ 80 100 และ 120 รอบ/นาที โดยให้แต่ละชุดการทดลองทำ 4 ซ้ำ

ทำการออกแบบการทดลองด้วย Minitab ตามขั้นตอน ดังนี้

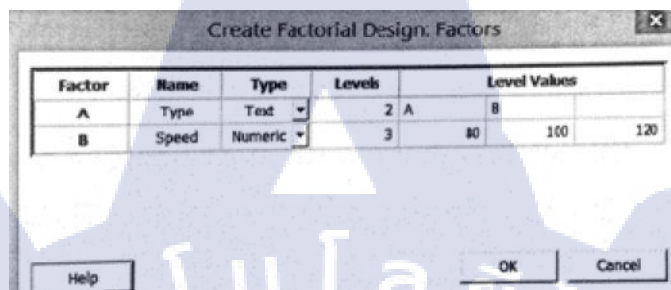
1) เลือก Stat > DOE > Factorial > Create Factorial Design จะได้หน้าต่างดังรูป 9 เลือกชนิดการออกแบบเป็น General Full Factorial Design พร้อมระบุจำนวนปัจจัยที่ต้องการออกแบบในช่อง Number of Factors ซึ่งในที่นี้คือ 2



รูปที่ 10 หน้าต่างสำหรับการออกแบบการทดลอง

ที่มา : วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์. (2558). สถิติสำหรับวิศวกรโรงงาน (ภาคปฏิบัติ). หน้า 252.

2) กดปุ่ม Designs จะได้หน้าต่างสำหรับกำหนดรายละเอียดในการออกแบบ ดังรูป 10 กรอกชื่อตัวแปรในช่อง Name พร้อมระดับของตัวแปรในช่อง Number of Levels และ จำนวนการทดลองซ้ำในช่อง Number of Replicates แล้วกด OK เพื่อกลับไปยังหน้าหลัก



รูปที่ 11 หน้าต่างสำหรับการกำหนดระดับของตัวแปร

ที่มา : วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์. (2558). สถิติสำหรับวิศวกรโรงงาน (ภาคปฏิบัติ). หน้า 253.

4) กดปุ่ม OK ที่หน้าต่างหลัก โปรแกรมจะทำการออกแบบการทดลองดังรูป 12

	C1 StdOrder	C2 RunOrder	C3 PtType	C4 Blocks	C5-T Type	C6 Speed	C7
1	22	1	1	1	B	80	
2	8	2	1	1	A	100	
3	18	3	1	1	B	120	
4	2	4	1	1	A	100	
5	11	5	1	1	B	100	
6	16	6	1	1	B	80	
7	10	7	1	1	B	80	
8	3	8	1	1	A	120	
9	20	9	1	1	A	100	
10	14	10	1	1	A	100	
11	17	11	1	1	B	100	
12	24	12	1	1	B	120	
13	12	13	1	1	B	120	
14	13	14	1	1	A	80	
15	15	15	1	1	A	120	
16	5	16	1	1	B	100	
17	6	17	1	1	B	120	
18	23	18	1	1	B	100	
19	1	19	1	1	A	80	
20	4	20	1	1	B	80	
21	9	21	1	1	A	120	
22	7	22	1	1	A	80	
23	19	23	1	1	A	80	
24	21	24	1	1	A	120	
25							

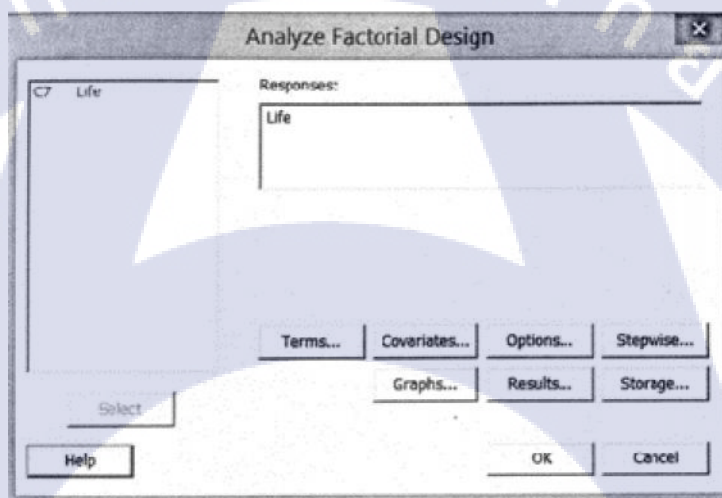
รูปที่ 12 ผลการออกแบบการทดลองแบบ General Full Factorial Design

ที่มา : วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์. (2558). สถิติสำหรับวิศวกรโรงงาน (ภาคปฏิบัติ). หน้า 253.

จากรูปที่ 12 พบว่าโปรแกรมไม่ได้เรียงลำดับการทดลองตามค่าของชนิดและความเร็ว เพราะโปรแกรมทำการออกแบบตามหลักการสุ่ม ให้ทำการทดลองตามที่โปรแกรมกำหนดไว้ช่อง C2-Run Order จากตารางคือ เริ่มการทดลองจากการใช้วัสดุชนิด B ที่ความเร็ว 80 รอบ/วินาที เมื่อทำการทดลองครบแล้วให้ทำการกรอกผลการทดลองทั้งหมดที่ช่อง C7

5) วิเคราะห์ผลการทดลอง

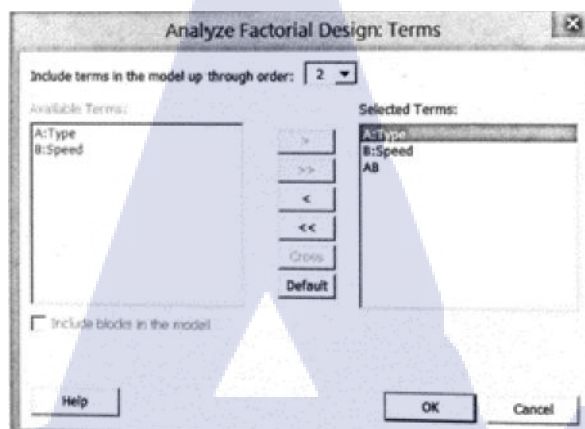
ในการวิเคราะห์ผลการทดลองจะอาศัยหลักการของ ANOVA โดยสามารถใช้คำสั่งการวิเคราะห์ ANOVA หรือในชุดคำสั่งของ DOE ได้นำชุดคำสั่งของ ANOVA มารวมไว้ให้แล้วเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ ดังนี้ เลือกคำสั่ง Stat > DOE > Factorial > Analyze Factorial Design จะปรากฏหน้าต่างสำหรับกรอกข้อมูลดังรูปที่ 13 ทำการเลือกตัวแปรตอบสนองที่ต้องการลงในช่อง Responses ในที่นี้คือ Life



รูปที่ 13 หน้าต่างสำหรับกรอกข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ผลการทดลอง

ที่มา : วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์. (2558). สถิติสำหรับวิศวกรโรงงาน (ภาคปฏิบัติ). หน้า 255.

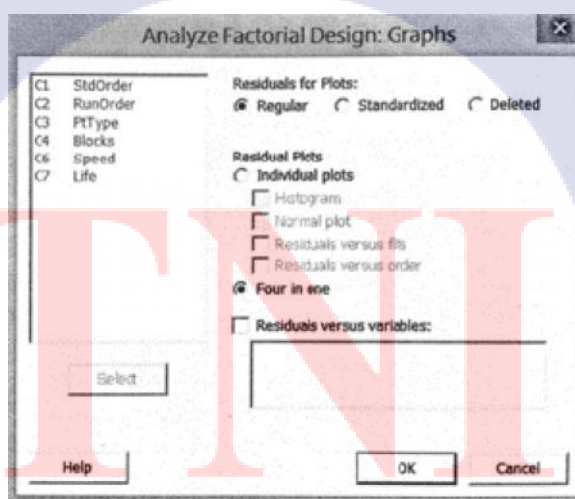
กดปุ่ม Term จะปรากฏหน้าต่างสำหรับกรอกข้อมูลดังรูปที่ 14 ตรวจสอบตัวแปรในช่อง Selected Terms ว่ามีครบทั้งอิทธิพลหลัก (Main Effect) และ อิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ในที่นี้จะมี 3 เทอม ได้แก่ Type (A), Speed (B) และ Type x Speed (AB) ถ้าไม่ครบให้เลือกจาก Available Terms ฝั่งซ้ายมือเพิ่มเข้าในช่อง Selected Terms จนครบ จากนั้นกดปุ่ม OK เพื่อกลับไปยังหน้าต่างหลัก



รูปที่ 14 การกำหนดเทอมสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล

ที่มา : วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์. (2558). สถิติสำหรับวิศวกรโรงงาน (ภาคปฏิบัติ).
หน้า 255.

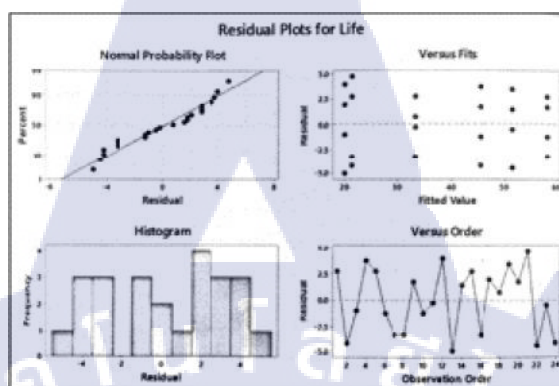
กดปุ่ม Graph จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 15 เลือก Residual Plots > Four in One เพื่อทำการทวนสอบข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติและมีความผันแปรที่เท่ากันหรือไม่ จากนั้นกดปุ่ม OK เพื่อกลับไปยังหน้าต่างหลัก



รูปที่ 15 การเลือกกราฟในการแสดงผลลัพธ์

ที่มา : วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์. (2558). สถิติสำหรับวิศวกรโรงงาน (ภาคปฏิบัติ).
หน้า 256.

กดปุ่ม OK ที่หน้าต่างหลัก โปรแกรมจะแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังรูปที่ 16 และ 17



รูปที่ 16 กราฟ 4 in 1

ที่มา : วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์. (2558). สถิติสำหรับวิศวกรโรงงาน (ภาคปฏิบัติ).
หน้า 256.

General Factorial Regression: Life versus Type, Speed						
Factor Information						
Factor	Levels	Values				
Type	2	A, B				
Speed	3	80, 100, 120				
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj ME	P-Value	F-Value	
Model	5	5304.53	1061.30	86.00	0.000	
Error	18	4732.41	1577.47	130.25	0.000	
Total	23	10036.94				
Corrected Total	23	4732.41				
Corrected Model	5	4704.21	2352.13	136.21	0.000	
Corrected Error	18	354.01	177.04	18.62	0.000	
Corrected Total	23	5304.53				
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(Adj)	R-sq(Pred)			
3.48010	95.89%	94.75%	92.69%			
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	38.250	0.710	53.86	0.000		
Type A	1.083	0.710	1.53	0.145	1.00	
Speed 80	16.63	1.00	16.63	0.000	1.33	
Speed 100	1.00	1.00	1.00	0.333	1.33	
Type*Speed A 10	-4.46	1.00	-4.46	0.000	1.33	
A 100	4.92	1.00	4.92	0.000	1.33	
Regression Equation						
Life = 38.250 + 1.083 Type_A + 16.63 Speed_80 + 1.00 Speed_100 + 17.63 Speed_120 - 4.46 Type*Speed_A 10 + 4.92 Type*Speed_A 100 - 0.46 Type*Speed_A 120 + 4.46 Type*Speed_B 80 - 4.92 Type*Speed_B 100 + 0.46 Type*Speed_B 120						

รูปที่ 17 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ที่มา : วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์. (2558). สถิติสำหรับวิศวกรโรงงาน (ภาคปฏิบัติ).
หน้า 257.

6) การตีความผลการวิเคราะห์

ก่อนที่จะอ่านผลการวิเคราะห์ จะต้องทำการพิจารณาข้อมูลก่อนว่าเหมาะสมมีความเหมาะสมหรือไม่ โดยเริ่มจากการอ่านกราฟ 4 in 1 ดังรูปที่ 16 ก่อน หากข้อมูลมีความเหมาะสมจึงสามารถอ่านผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 17 ได้

6.1) การทวนสอบความเหมาะสมของข้อมูล

- ข้อมูลต้องมีการกระจายตัวแบบสุ่ม พิจารณาจากกราฟ 4 in 1 ด้านล่าง ขวาวว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติอย่างสุ่มหรือไม่ ถ้าผิดปกติ แสดงว่าข้อมูลจากการทดลองไม่ได้มีการทดลองอย่างสุ่ม ต้องทำการทวนสอบข้อมูลการทดลองใหม่

- ข้อมูลต้องมีการแจกแจงแบบปกติ พิจารณาจากฮิสโตแกรมที่อยู่ด้านล่างซ้าย หรือ NOPP ที่อยู่บนซ้าย ว่าแจกแจงแบบปกติหรือไม่ ถ้าไม่แสดงว่าการกำหนดปัจจัยในการทดลองซ้ำแต่ละครั้งไม่เหมือนเดิม

- ความผันแปรภายในกลุ่มย่อยต้องมีค่าไม่แตกต่างกัน พิจารณากราฟบน ขวาวว่าการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละแถวใกล้เคียงกันหรือไม่ ถ้ากระจายใกล้เคียงกันแสดงว่า ความผันแปรภายในกลุ่มย่อยค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่ถ้าแตกต่างกันมาก แสดงว่าความผันแปรภายในกลุ่มย่อยแตกต่างกัน ซึ่งเกิดจากการควบคุมปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้แตกต่างกัน

ถ้าผลการทวนสอบข้อมูลไม่ผ่าน แสดงว่าการทดลองมิได้ดำเนินการภายใต้สภาวะควบคุมที่ดีพอ จำเป็นต้องทำการทดลองใหม่ภายใต้การควบคุม จากรูปที่ 16 พบว่าข้อมูลมีการกระจายอย่างสุ่ม ภายใต้การแจกแจงปกติ และมีความผันแปรใกล้เคียงกัน จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลชุดนี้ได้จากการทดลองที่ดีและสามารถนำไปวิเคราะห์ผลต่อได้ ในทางกลับกัน ถ้าพบว่าเงื่อนไขข้อใดข้อหนึ่งไม่ผ่าน แสดงว่าข้อมูลดังกล่าวไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ผลต่อได้ ต้องกลับไปทวนสอบเพื่อแก้ไขความผิดปกติเสียก่อน

6.2) การวิเคราะห์ผลการออกแบบปัจจัยการทดลองใน Model Summary

พิจารณาค่า R^2 ซึ่งเป็นค่าที่สะท้อนความสามารถในการอธิบายความแตกต่างที่เกิดขึ้นในการทดลอง ส่วนค่า R^2_{adj} สะท้อนถึงจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์มีมากพอหรือไม่ ถ้าค่า R^2 และ R^2_{adj} สูงแสดงว่าออกแบบปัจจัยและจำนวนซ้ำในการทดลองได้ดี ข้อมูลมีสารสนเทศมากพอที่จะนำไปวิเคราะห์ จากรูปที่ 17 ได้ค่า $R^2 = 95.89\%$ มีค่าสูง แสดงว่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้จากปัจจัยถึง 95.89% ในขณะที่ $R^2_{adj} = 94.75\%$ มีค่าใกล้เคียงกับ R^2 แสดงว่าจำนวนข้อมูลมีค่ามากพอในการวิเคราะห์

6.3) การพิจารณาผลของปัจจัยในตาราง ANOVA

ทำการอ่านผลการทดสอบสมมุติฐาน นั่นก็คือปัจจัยที่กำหนดมีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยเริ่มจากการอ่านจากอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ก่อน จากรูปที่ 17 ในส่วนของ ANOVA ให้เริ่มอ่านจากค่า 2-Way Interactions ซึ่งเป็นอิทธิพลร่วมสูงสุดในที่นี้

พบว่าค่า $P\text{-Value} = 0.000$ ซึ่งน้อยกว่า $\alpha = 0.05$ สรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงชนิดของวัสดุและความเร็วส่งผลให้อายุการใช้งานใบมีดแตกต่างกัน จากนั้นจึงอ่านผลอิทธิพลหลัก ชนิดของวัสดุมีค่า $P\text{-Value} = 0.145$ ซึ่งมากกว่า $\alpha = 0.05$ แสดงว่าวัสดุไม่มีผลต่ออายุการใช้งานใบมีด แต่เนื่องจากพบความสัมพันธ์ของอิทธิพลร่วมระหว่างวัสดุและความเร็วที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของใบมีดแล้วข้างต้น จึงจำเป็นต้องสรุปว่าปัจจัยทั้ง 2 ก็ส่งอิทธิพลหลักต่ออายุการใช้งานของใบมีดด้วย เพื่อไม่ให้เกิดความขัดแย้งกัน นอกจากนี้หากต้องการทราบอายุเฉลี่ยของใบมีดก็ให้แทนค่าลงในสมการ เช่น หากต้องการทราบอายุเฉลี่ยของใบมีดเมื่อใช้วัสดุ A ตัดที่ความเร็ว 100 รอบ/วินาที แทนค่าในสมการจะได้

$$\begin{aligned}\text{Life} &= 38.250 + (1.083 \times 1) - (1.083 \times 0) + (16.63 \times 0) + (1.00 \times 1) - \\ &\quad (17.63 \times 0) - (4.46 \times 0 \times 0) + (4.92 \times 1 \times 1) - (0.46 \times 0 \times 0) + \\ &\quad (4.46 \times 0 \times 0) - (4.92 \times 0 \times 0) + (0.46 \times 0 \times 0) \\ &= 45.253 \text{ ชั่วโมง}\end{aligned}$$

7. การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์ (2558) ได้เขียนถึงการทดสอบสมมติฐานว่าเป็นการทดสอบเพื่อหาหลักฐานบางอย่างและนำไปสู่การตัดสินใจว่า ความเชื่อดังกล่าวเป็นจริงหรือไม่

ณัฐฉิ พุทธา (2557) ได้กล่าวถึง การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ คือ ประโยคหรือข้อความซึ่งอาจเป็นจริงหรือเท็จ โดยประโยคดังกล่าวจะต้องระบุกลุ่มประชากรด้วย โดยปกติแล้วกลุ่มประชากรนี้มีคุณลักษณะที่จะสามารถอธิบายได้โดยการสุ่มกลุ่มประชากรตัวอย่างให้เป็นตัวแทนที่ดีของกลุ่มประชากร ในทางปฏิบัติเราใช้กลุ่มตัวอย่างนำมาคำนวณค่าต่างๆทางสถิติเพื่อนำไปสู่การอธิบายความหมายของกลุ่มประชากรซึ่งเราอาจยอมรับ (Accept) หรือปฏิเสธ (Reject) สมมติฐาน

สมมติฐานทางสถิติที่เขียนในเชิงปริมาณการเท่ากันของค่าทางสถิติ หรือเรียกว่าสมมติฐานที่ไม่มีความแตกต่าง (Null Hypothesis) หรือ สมมติฐานหลัก อาจเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ H_0 ส่วนสมมติฐานที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Alternative Hypothesis) หรือสมมติฐานรอง เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ H_1 ในการยอมรับ H_0 นั้นเราจะพิจารณาจากความน่าจะเป็นที่ได้จากค่าสถิติที่คำนวณมา ($P\text{-Value}$) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความน่าจะเป็นที่ระดับนัยสำคัญของการวิจัยที่เรียกว่า α เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วก็จะเกิดผลสามประการ คือ มากกว่า น้อยกว่า หรือเท่ากัน ในทางปฏิบัติก็จะเกิดผลเพียงหนึ่งอย่างเท่านั้น ในกรณีที่น้อยกว่า เราจะปฏิเสธ H_0 แต่หาก $P\text{-Value}$ มากกว่าหรือเท่ากับ α เราจะยอมรับ H_0

- การทดสอบสมมุติฐานแบบทางเดียว
เป็นการตั้ง H_0 โดยกำหนด $H_0 : \mu = \mu_0$
และกำหนด H_1 ดังนี้ $H_1 : \mu < \mu_0$ หรือ $H_1 : \mu > \mu_0$
โดยที่ μ คือ ค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งหมดที่สนใจ
 μ_0 คือ ค่าเฉลี่ยอ้างอิง
- การทดสอบสมมุติฐานแบบสองทาง
เป็นการตั้ง H_0 โดยกำหนด $H_0 : \mu = \mu_0$
และกำหนด H_1 ดังนี้ $H_1 : \mu \neq \mu_0$
โดยที่ μ คือ ค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งหมดที่สนใจ
 μ_0 คือ ค่าเฉลี่ยอ้างอิง
หรือเป็นการตั้ง H_0 โดยกำหนด $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots \mu_a$
และกำหนด H_1 ดังนี้ $H_1 : \mu_i \neq \mu_j$ อย่างน้อย 1 คู่ (i,j)
- ความผิดพลาดในการทดสอบสมมุติฐาน ย่อมจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้ ซึ่งความผิดพลาดแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่
ความผิดพลาดชนิดที่ 1 (Type I Error) เป็นความผิดพลาดเนื่องจากการปฏิเสธ H_0 เมื่อ H_0 เป็นจริง โดยจะให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 เท่ากับ α (เรียก α ว่าระดับนัยสำคัญ (Significance Level))

นั่นคือ เท่ากับ $\alpha = P(\text{Type I Error})$

ความผิดพลาดชนิดที่ 2 (Type II Error) เป็นความผิดพลาดเนื่องจากการปฏิเสธ H_0 เมื่อ H_0 ไม่เป็นจริง และความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดชนิดที่ 2 เท่ากับ β

นั่นคือ เท่ากับ $\beta = P(\text{Type II Error})$

ตารางที่ 4 ความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐาน

การตัดสินใจ \ ความจริง	ยอมรับ H_0	ปฏิเสธ H_0
H_0 เป็นจริง	ตัดสินใจถูกต้อง	ตัดสินใจผิดพลาด (Type I Error, α)
H_0 เป็นเท็จ	ตัดสินใจผิดพลาด (Type II Error, β)	ตัดสินใจถูกต้อง

ที่มา : ญัฐวุฒิ พุทธา. (2557). การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตประตูดอไฟฟ้าโดยการออกแบบการทดลองแบบ 2^k . หน้า 9.

8. การแปลงข้อมูลโดยวิธี Box-Cox Transformation

พรสิน สุภวาลย์ (2557) เมื่อตัวแปรตามมีการแจกแจงที่ไม่ปกติ หรือมีความแปรปรวนที่ไม่คงที่ ไม่มีคุณสมบัติที่เพียงพอในการใช้ข้อมูลมาวิเคราะห์ เราสามารถทำการแปลงข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์ต่อไปได้ ด้วยการใช้วิธีการแปลงข้อมูลโดยจัดให้อยู่ในรูปของการยกกำลังของ Y หรือ Y^λ โดยที่ λ เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดรูปแบบการแปลง ดังนี้

$$\lambda = -1.0 \text{ คือ } Y' = \frac{1}{Y}$$

$$\lambda = -0.5 \text{ คือ } Y' = \frac{1}{\sqrt{Y}}$$

$$\lambda = 0.0 \text{ คือ } Y' = \ln(Y)$$

$$\lambda = 0.5 \text{ คือ } Y' = \sqrt{Y}$$

$$\lambda = 1.0 \text{ คือ } Y' = Y \text{ (ไม่มีการแปลงข้อมูล)}$$

$$\lambda = 2.0 \text{ คือ } Y' = Y^2$$

แนวคิดของวิธีการนี้คือการสร้างสมการถดถอยโดยวิธีความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Method) ในการประมาณค่า λ และทำการคัดเลือกซ้ำ โดยพิจารณาจาก λ ที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ที่ได้ หากค่า λ ใดให้ค่า SSE ที่ต่ำสุดนั้นเป็น λ ที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากการใช้ค่า λ ที่แตกต่างกันจะให้ค่า Y มีหน่วยที่

แตกต่างกันทำให้ SSE ที่ได้จากสมการถดถอยนั้นๆ ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ ดังนั้น จึงต้องแปลงค่า Y ให้อยู่ในรูป (Y^λ) ดังนี้

$$Y^\lambda = \begin{cases} \frac{Y^\lambda - 1}{\lambda Y^{\lambda-1}}, & \lambda \neq 0 \\ Y \ln(Y), & \lambda = 0 \end{cases}$$

โดย
$$Y = \ln^{-1} \left[\frac{\sum \ln(Y)}{n} \right]$$

จากนั้นนำค่า Y^λ ที่ได้มาสร้างสมการถดถอยกับตัวแปรอิสระเพื่อหาค่า SSE แล้ว เปรียบเทียบเพื่อหาค่า λ ที่ให้ SSE ที่ต่ำที่สุด การคำนวณด้วยมือจะยุ่งยากและเสียเวลา ใน ปัจจุบันมีโปรแกรมสำเร็จรูปที่ช่วยในการหาค่า λ ที่เหมาะสมพร้อมทั้งแปลงข้อมูลโดยใช้ค่า λ เช่นโปรแกรม MINITAB เป็นต้น การใช้โปรแกรม MINITAB มีขั้นตอนดังนี้

เลือก “Stat”

เลือก “Control Charts”

เลือก “Box-Cox Transformation”

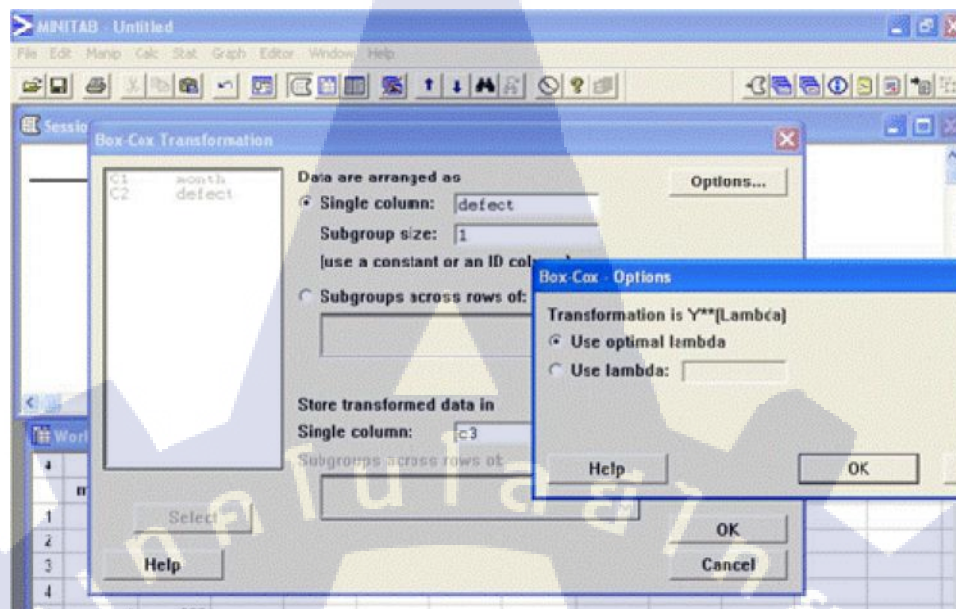
ระบุค่าตัวแปร Y ที่ต้องการแปลงค่าลง “Single Column:”

ระบุขนาดของกลุ่มย่อย (Subgroup) ลงในช่อง “Subgroup Size” หากไม่มีกลุ่มย่อยให้ใส่ 1

หากต้องการเก็บค่าที่แปลงแล้วให้ระบุชื่อคอลัมน์ใน “Store Transform Data in Single Column:”

นักวิจัยสามารถเลือกที่จะระบุค่า λ หรือให้โปรแกรมหาค่า λ ที่เหมาะสมให้โดยคลิกที่ “Option” จากนั้นระบุค่า λ ลงในช่อง “Use Lambda” แต่หากไม่ระบุค่าโปรแกรมจะหาค่า λ ที่เหมาะสมให้เอง

จากนั้นคลิก OK ดังรูป



รูปที่ 18 หน้าต่างการหาค่า λ ที่เหมาะสม

9. แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

Control Chart มี 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ Variable Control Chart และ Attribute Control Chart

Variable Control Chart คือ แผนภูมิการควบคุมที่ใช้กับตัวแปรที่มีข้อมูลเป็นแบบข้อมูลแปรปรวน (Variable Data)

X Bar-R Chart ใช้ในกรณีที่มีปริมาณการผลิตมากๆ ซึ่งจะมีการสุ่มตัวอย่างค่อนข้างมาก โดยการสุ่มตัวอย่างแต่ละครั้ง (Subgroup) จะสุ่มมากกว่า 1 ชิ้นงาน

I-MR Chart (Individuals and Moving Range Chart) ใช้สำหรับเก็บข้อมูลที่รวบรวมได้แบบเชิงเดี่ยว ในกรณีที่มีปริมาณการผลิตไม่มาก หรือนานๆ จะผลิตที ซึ่งจะมีการสุ่มตัวอย่างไม่มาก โดยการสุ่มแต่ละครั้งเพียง 1 ชิ้นงาน

Attribute Control Chart คือแผนภูมิควบคุมที่ใช้กับตัวแปรที่มีข้อมูลเป็นแบบเชิงคุณภาพ (Attribute Data) สามารถเลือกใช้เครื่องมือการควบคุม เช่น U-Chart, C-Chart, P-Chart, NP-Chart

การตีความหมายใน Control Chart ไม่ว่าจะเป็น Control Chart ชนิดใด จะมีการตีความหมายที่คล้ายคลึงกัน คือ สุดท้ายต้องตีความหมายออกมาให้ได้ว่า Chart นั้นๆ ได้แก่

- อยู่ในการควบคุม (In Control) คือ ผลการควบคุมตัวแปรนี้อยู่ในการควบคุม ซึ่งจะมีแต่ Common Cause เท่านั้น

- อยู่นอกการควบคุม (Out of Control) คือ ผลการควบคุมตัวแปรนี้อยู่นอกการควบคุมซึ่งจะมีทั้ง Special Cause (ไม่ปกติ) และ Common Cause (ปกติ)

การตีความหมาย Control Chart จากโปรแกรม MINITAB

1. ถ้าไม่มีจุดแดง และหมายเลขสีแดงกำกับอยู่ แสดงว่า Control Chart นี้ “In Control”
2. ถ้าปรากฏจุดแดงและมีหมายเลขสีแดงกำกับอยู่ที่จุดใด แสดงว่า Control Chart นี้ “Out of Control” คือมี Special Cause เกิดขึ้นตามลักษณะหมายเลขที่กำกับอยู่ ในโปรแกรม MINITAB จะมีการ Check Special Cause ทั้งหมด 8 ลักษณะ คือ

- มี 1 จุด (หรือมากกว่า) อยู่นอก ± 3 Sigma จากเส้นกลาง
- มี 9 จุดต่อเนื่องอยู่ในข้างเดียวกันของเส้นกลาง (ข้างบนหรือข้างล่าง)
- มี 6 จุดต่อเนื่องที่ทุกจุดเพิ่มขึ้นตลอด หรือลดลงตลอด
- มี 14 จุดต่อเนื่องที่สลับขึ้นและลง
- มี 2 จุดจาก 5 จุดใน 3 จุดต่อเนื่อง ที่อยู่นอก 2 Sigma จากเส้นกลาง (ข้างเดียวกัน)
- มี 4 จุดจาก 5 จุดต่อเนื่องอยู่นอก 1 Sigma จากเส้นกลาง (ข้างเดียวกัน)
- มี 15 จุดต่อเนื่องอยู่ภายใน ± 1 Sigma จากเส้นกลาง (อยู่ทั้งสองข้าง)
- มี 8 จุดต่อเนื่องอยู่นอก 1 Sigma จากเส้นกลาง (อยู่ทั้งสองข้าง)

จากโปรแกรม MINITAB สามารถเลือกการทดสอบ Special cause แต่ละลักษณะได้ แต่โดยปกติแล้วจะทดสอบทั้ง 8 ลักษณะโดยเลือก TEST ใน Control Chart ของแต่ละชนิดแล้วจึงเลือกหัวข้อ Perform All Eight Test

ในการตีความหมายใน Control Chart คือ ความหมายของคำว่า In Control หรือ Out of Control จะมีความหมายที่แตกต่างกับคำว่า Within Spec หรือ Out of Spec กล่าวคือ Control Limit เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณจากค่าจริงที่เกิดจากการควบคุมจริงในช่วงเวลานั้นๆ โดยพื้นฐานอยู่ที่ประมาณ 3 ส่วน Specification เป็นค่าที่กำหนดขึ้นตามหลักวิศวกรรมศาสตร์ของกระบวนการนั้นหรือขึ้นอยู่กับการต้องการของลูกค้า

การควบคุมตัวแปรที่ดีนั้น จะต้องได้ผลออกมาว่า In Control และ Within Specification กล่าวคือ สามารถควบคุมตัวแปรให้อยู่ในการควบคุม มีเสถียรภาพและอยู่ภายใน Specification ที่กำหนด ถ้าผลการควบคุมออกมาไม่ดีก็ต้องกลับไปทบทวนวิธีการควบคุมและหาทางแก้ไข แล้วจึงกลับมาประเมินผลการควบคุมใหม่

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กมลวรรณ รักวงศ์ภัทร (2556) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเสียรูปของชิ้นงานที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการพิมพ์หมายเลขตัวรถด้วยวิธีการออกแบบการทดลองของโรงงานประกอบรถยนต์แห่งหนึ่งโดยพบปัญหาชิ้นงานเสียไม่ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ 175 ± 1 มิลลิเมตรทำให้เกิดปัญหาขึ้นที่สถานีพิมพ์หมายเลขตัวรถไม่สามารถทำงานได้จึงได้ทำการเก็บข้อมูลชิ้นงานในเดือนมีนาคมพบอัตราส่วนของเสียคิดเป็นร้อยละ 93 จากการวิเคราะห์ด้วยการใช้แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการ จากนั้นทำการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ความเสียหายและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA) พบว่ามี 3 ปัจจัยหลักๆ ที่มีผลกระทบต่อปัญหาคือจำนวนชั้นของชิ้นงานต่อแถวในบรรจุภัณฑ์จำนวนการเรียงซ้อนกล่องบรรจุชิ้นงานและชิ้นงานซ้อนทับกันเป็นเวลานาน จากนั้นออกแบบการทดลองด้วยวิธี 2^k Factorial Design ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ทำซ้ำ 2 ครั้ง แล้วใช้สมการความสัมพันธ์ในการหาระดับของปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุดและได้ค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์คือจำนวนชั้นของชิ้นงานต่อแถวในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม 10 ชั้น จำนวนการเรียงซ้อนกล่องบรรจุ 3 ชั้น และชิ้นงานซ้อนทับกันเป็นเวลาได้นาน 2 เดือน เมื่อดำเนินการผลิตจริงพบว่าสามารถลดของเสียลงได้จากร้อยละ 0.93 เหลือเพียงร้อยละ 0.10

จตุรวิทย์ คงเขียว (2557) ได้ทำการศึกษาเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิต Surface Mount Technology (SMT) ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial Design ในการกำหนดปัญหาได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียเป็นเวลา 5 เดือน ตั้งแต่ มีนาคม ถึง สิงหาคม 2557 แล้วเรียงลำดับความสำคัญของปัญหาจากนั้นวิเคราะห์หาสาเหตุโดยใช้ผังก้างปลา เพื่อทำการกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อของเสียในกระบวนการนั้นคือ แรงกดและความเร็ว ซึ่งแต่ละปัจจัยนั้นมี 3 ระดับ คือ ปัจจัยแรงกดของ Squeegee Printing 3 ระดับ คือ 8, 10, 12 kgf/cm² และความเร็วในการปาดของ Squeegee Printing 3 ระดับคือ 30, 45, 60 m/s โดยทดลอง 2 ซ้ำ ได้การทดลองทั้งสิ้น 18 การทดลอง รวมชิ้นงานทั้งหมด 1800 ชิ้น เพื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมที่มีผลต่อการเกิดของเสียในการผลิต จากการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยที่ดีที่สุดคือ แรงกดของ Squeegee Printing เท่ากับ 10 kgf/cm² ความเร็วในการปาดของ Squeegee Printing เท่ากับ 60 m/s จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ไปปรับใช้กับกระบวนการผลิต ผลจากการปรับปรุงทำให้ของเสียในกระบวนการผลิต SMT ลดลง 1.4% จากการสูญเสียชิ้นงานก่อนปรับปรุงอยู่ที่ 52%

ชลิดา ชาญวิจิตร (2553) ได้ทำการศึกษาการขึ้นรูปพลาสติกโดยวิธีการใช้ความร้อนระบบสุญญากาศเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งค่าเครื่องขึ้นรูปที่มีอิทธิพลต่อความหนาของชิ้นงาน จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าปัญหาหลักของการขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ความร้อนในระบบสุญญากาศ คือ ชิ้นงานที่ขึ้นรูปมีความหนาไม่สม่ำเสมอ และมีชิ้นงานที่ขึ้นรูป

ไม่สมบูรณ์จำนวนมาก ซึ่งอิทธิพลที่มีผลต่อความหนาของชิ้นงานประกอบด้วย อุณหภูมิในการให้ความร้อน ช่วงเวลาในการให้ความร้อน ช่วงเวลาในการให้สัญญาณ ช่วงเวลาในการให้ลมเป่า และช่วงเวลาในการให้ลมเย็น โดยใช้แผนการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^5 (2^K Factorial Design) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยทดลองซ้ำ 1 ครั้ง (Single Replicate) เนื่องจากมีวัสดุทดลองจำกัด จากผลการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เวลาในการให้ความร้อน 34 วินาที เวลาในการให้สัญญาณ 36 วินาที เวลาในการให้ลมเป่า 19 วินาที และเวลาในการให้ลมเย็น 9 วินาที จะทำให้ตำแหน่งที่ 7, 9 และ 13 มีความหนาเพิ่มขึ้นอยู่ในค่ามาตรฐาน โดยไม่ส่งผลกระทบต่อความหนาตำแหน่งอื่นๆ

ณัฐวุฒิ พุทธา (2557) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตประตูเตาอบไฟฟ้า โดยได้ทำการกำหนดหัวข้อปัญหาสี่แตกบริเวณฝาด้านในมีปริมาณของเสียมากที่สุดในเดือนมีนาคม 2558 จำนวน 341 บาน ซึ่งคิดออกมาเป็นต้นทุนเท่ากับ 143,220 บาท จากการศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการผลิตประตูของเตาอบไฟฟ้า พร้อมทั้งทำการกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมโดยใช้แผนผังก้างปลา พบว่า ปัจจัยความหนาสี่ และระดับความแรงเครื่องยิงสกรู เป็นสาเหตุที่เกี่ยวข้องกับปัญหาสี่แตก จากนั้นจึงได้ทำการออกแบบการทดลองแบบ 2^k ทำการทดลอง 4 ซ้ำและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ สรุปผลการทดลองเชิงสถิติสามารถแสดงถึงค่าระดับความสำคัญของตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิตได้อย่างแม่นยำและน่าเชื่อถือ จากการทดลองพบสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหาสี่แตกในกระบวนการประกอบประตูเตาอบไฟฟ้า คือ ไม่มีสภาวะการทำงานที่เหมาะสมในการปรับตั้งระดับองปัจจัยความหนาสี่และฝาด้านใน และระดับความแรงของเครื่องยิงสกรู เมื่อปรับตั้งค่าความหนาสี่ของฝาด้านในที่ 80 ไมครอน และระดับความแรงของเครื่องยิงสกรูที่ 15 กิโลกรัม แรงส่งผลให้ในเดือนเมษายน ของเสียลดลงจากเดือนมีนาคม 64% ซึ่งช่วยลดต้นทุนได้ถึง 118,440 บาทต่อเดือน

ทรงศพร สกุลพิพัฒน์ (2551) ได้ทำการศึกษาเรื่องการประยุกต์ใช้กระบวนการ DMAIC ในอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นวงจรรวม โดยนำกระบวนการ DMAIC มาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตแผ่นวงจรรวมที่ใช้ควบคุมบันไดเลื่อน ดังนี้ การระบุปัญหา (Define Phase) ได้มีการศึกษาจากเปอร์เซ็นต์ของผลได้ (Yield) ของกระบวนการต่างๆ แล้วพบว่ากระบวนการ SMT เป็นกระบวนการที่มี Yield ต่ำที่สุด จากนั้นทำการเขียนแผนภูมิ SIPOC เพื่อวิเคราะห์ให้เห็นถึงกระบวนการที่ต้องปรับปรุง. การประเมินระบบการวัดในกระบวนการ (Measure Phase) ได้เริ่มจากการเขียนแผนผังมหภาค (Macro Process Map) เพื่อแสดงภาพรวมการผลิตทั้งหมด จากนั้นได้เขียน Process Flow Diagram เพื่อวิเคราะห์แยกกระบวนการที่มีหรือไม่มีมูลค่า จากนั้นจึงได้ทำการประชุมเพื่อลงความเห็นโดยใช้ C&E Matrix เพื่อชี้ชัดว่าจะปรับปรุงกระบวนการใดก่อน จากผลการลงความเห็นตามการวิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบพบว่ากระบวนการปาดตะกั่ว ซึ่งเป็นหนึ่งในกระบวนการย่อยของกระบวนการ SMT ควรได้รับ

การปรับปรุงเป็นอันดับแรก เมื่อได้กระบวนการที่ต้องปรับปรุงแล้วจึงได้ทำการการจุดที่วัดในกระบวนการขึ้น เมื่อพิจารณาพบว่าจุดวัดสำคัญของกระบวนการนี้คือ การวัดความสูงตะกั่ว เหลว จึงได้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และ GR&R ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่ากระบวนการวัดสามารถเชื่อถือได้. การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze Phase) ได้ทำการวิเคราะห์อาการการขัดข้อง (FMEA) และวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) จากการวิเคราะห์อาการการขัดข้อง (FMEA) ยืนยันว่ากระบวนการขาดและกระบวนการหลอมละลายนั้น เป็นกระบวนการที่มีของเสียมากที่สุด จากนั้นทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) ของเครื่องจักร เพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องจักรสามารถทำงานได้เที่ยงตรงแม่นยำตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งจะผลการวิเคราะห์พบว่า ทั้งเครื่องขาด, เครื่องหยิบและวางชิ้นงาน, และเครื่องหลอมละลาย ต่างก็มีความสามารถเพียงพอที่จะนำมาใช้ในกระบวนการ. การปรับปรุงและควบคุมกระบวนการขาดตะกั่ว (Improve phase) ได้มีการออกแบบการทดลอง (DOE) เพื่อหาความสูงที่เหมาะสมในการตั้งเครื่องขาดตะกั่ว และใช้การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ค่า R square จึงพบค่าที่เหมาะสมในการตั้งเครื่องอยู่ที่แรงดันสกรูจีที่ 7 kgf (Kilogram Force) และความเร็วยกจีที่ 30 มิลลิเมตรต่อวินาที ส่วนการปรับปรุงเครื่องหลอมละลาย พบว่า ไม่มีผลต่อกระบวนการ SMT.การควบคุม (Control Phase) ได้ทำการกำหนดค่าตั้งเครื่องใหม่หลังปรับปรุงมาใส่ในเอกสารการทำงานและติดตามผลการดำเนิน พบว่า ผลได้ของกระบวนการ SMT ภายหลังจากปรับปรุง 1 เดือนอยู่ที่ 99.28% จากเดิมก่อนปรับปรุงที่ 98.53% ซึ่งสูงกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ก่อนการปรับปรุงคือ 99.1%

พรชัย โชควัฒน์วิกุล (2552) ได้ทำการศึกษาเรื่องการปรับปรุงกระบวนการประกอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำของเครื่องจักร Mounting ด้วยวิธีการ DMAIC ซึ่งจากนโยบายหลักของบริษัทในเรื่องการลดต้นทุนการผลิตและกำจัดของเสียออกจากกระบวนการ จึงได้มีการดำเนินการตามวิธีการ DMAIC ดังนี้ การค้นหาปัญหาและคัดเลือกโครงการ (Define Phase) ได้มีการพิจารณาโครงการที่จะต้องปรับปรุงด้วยเครื่องมือกำหนดขอบข่ายปัญหา (Project Scoping Tool) เพื่อแสดงรายละเอียดของนโยบายลดต้นทุนการผลิตที่เรียกว่า CTQ Flow Down Tree หรือการไหลลงต่อสิ่งวิกฤตต่อคุณภาพ (Critical to Quality) โดยใช้เกณฑ์คัดเลือกคือ ผลกระทบทางธุรกิจในรูปตัวเงินที่มีนัยสำคัญ, สามารถทำได้โดยไม่ต้องลงทุนมาก, สอดคล้องกับนโยบายหลักของบริษัทในเรื่องคุณภาพและการลดของเสีย, สอดคล้องกับนโยบายหลักของบริษัทในเรื่องขยายกำลังการผลิต ซึ่งจากการเก็บข้อมูลในปี 2007B พบว่าสำหรับบรรจุภัณฑ์ TO-3P(N) ปัญหาช่องว่างใต้แผ่นลายวงจร (DVDS (0) + DVDS (1)) ก่อให้เกิดของเสียมากที่สุดถึง 0.13% เนื่องจากเกิดปัญหาการระบายความร้อนไม่ทันส่งผลให้แผ่นลายวงจรไหม้ จึงได้เลือกนำกระบวนการนี้มาปรับปรุง. การกำหนดตัววัดและทำความเข้าใจกับกระบวนการ (Measure Phase) ได้เริ่มจากการเขียนผังการไหลของกระบวนการ (Process Flow Diagram) เพื่อแสดง

ภาพรวมของกระบวนการให้ดีขึ้น แล้วจึงพบว่ากระบวนการผันแปรที่เพิ่มมูลค่า (Value-Added) คือกระบวนการนำแผ่นตะกั่วไปวางบนแผ่นทองแดงขึ้นรูป (Solder Preform Process) และกระบวนการนำแผ่นลายวงจรมาวางบนแผ่นตะกั่ว (Die Bonding Process) เป็นตัวแปรสำคัญที่จะส่งผลต่อปัญหาช่องว่างใต้แผ่นลายวงจร ดังนั้นจึงได้นำเครื่องมือวิเคราะห์ C&E Matrix และตารางการวิเคราะห์สาเหตุของข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) มาทำการวิเคราะห์ เพื่อช่วยลงคะแนนถึงความรุนแรงและผลกระทบต่าง ๆ. ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Phase) ซึ่งเป็นขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) เพื่อตัดสินใจหาตัวแปรของปัจจัยป้อนเข้าของกระบวนการ (Key Process Input Variables :KPIVs) ที่แท้จริง ที่มีผลต่อตัวแปรของผลที่ได้จากกระบวนการ (KPOVs) ,การออกแบบปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase) ได้นำผลของตัวแปรปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ (KPIVs) มาออกแบบการทดลอง (DOE) เพื่อที่จะสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) เพื่อใช้ในการปรับปรุงของเสีย ผลที่ได้จากการคำนวณคือ 0.0741% ลดลงจากเป้าหมายที่ตั้งไว้คือ 0.08% เท่ากับ 0.0059% เมื่อทำตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้คือ แกนของ Die Bond มีตลับลูกปืน (Ball Baring), เวลาการขี้เป็น 0.5s และความเร็วของการขี้เป็น 10 m/s. การควบคุม (Control Phase) หลังจากการเฝ้าติดตามผล พบว่าในเดือนตุลาคม 2008-เดือนกุมภาพันธ์ 2009 อัตราส่วนของเสียอยู่ในช่วง 0.0738%-0.0767% แสดงว่าการศึกษารั้วนี้สามารถควบคุมจำนวนชิ้นงานเสียเนื่องจากปัญหาช่องว่างใต้แผ่นลายวงจร(DVDS (0) + DVDS (1)) เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด

วลัยพร เหมโส (2556) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การลดของเสียจากกระบวนการผลิตผ้าเบรกรถยนต์ โดยประยุกต์ใช้วิธีการ DMAIC โดยเริ่มจากขั้นตอนการระบุปัญหา (Define Phase) ผู้วิจัยได้เริ่มเก็บข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตผ้าเบรกโมเดล X068 ในช่วงเดือนมกราคม-กรกฎาคม 2553 จากนั้นใช้หลักการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาด้วยพาเรโต จึงพบปัญหาชิ้นงานร้าวมากที่สุดคิดเป็น 4.01% ของชิ้นงานที่ผลิตทั้งหมด จากนั้นทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการโดยใช้แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (P Chart) และวัดความสามารถของกระบวนการด้วยค่า Process Capability (Cpk) พบว่า ความสามารถของกระบวนการสายงานการขึ้นรูปร้อนมีความผันแปรสูง ขั้นตอนการวัด (Measure Phase) ได้มีการจัดทำแผนที่กระบวนการผลิต (Process Map) แล้วทำการวิเคราะห์แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) และจากสาเหตุที่ได้จากการระดมสมองของทีมงานจึงได้นำมาวิเคราะห์ต่อด้วยวิธีการ FMEA เพื่อค้นหาสาเหตุที่น่าจะมีผลกระทบต่อปัญหามากที่สุด พบว่าสาเหตุเรื่องอุณหภูมิของการขึ้นรูปร้อนมีคะแนนสูงที่สุด รองลงมาคือ จำนวนการอัด-คายของเครื่องจักร, ระยะช่องว่างในการคายก๊าซ, ระยะเวลาการอัดตัวของเครื่องจักร และแรงดันช่วงการอัดตัว ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบวัด (MSA) ทั้งการวิเคราะห์ระบบการวัดพนักงานตรวจสอบรอบร้าว พบว่าพนักงานที่ตรวจสอบคนที่ 1 และ 3 มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการตรวจสอบเป็น 0.00% และพนักงานคนที่ 2 และ 4 มีเปอร์เซ็นต์

ความผิดพลาดของการตรวจสอบเท่ากับ 4.35% แสดงว่าพนักงานมีทักษะในการคัดแยกผลิตภัณฑ์ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และจากวิเคราะห์ระบบการวัดของเครื่องทดสอบการอัดผ้าเบรก ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์รีฟิโตนีตี้เป็น 13.26% แสดงว่าค่าที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบ Compression ของผ้าเบรกมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้แบบมีเงื่อนไข ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Phase) ใช้กระบวนการวิเคราะห์ที่ละสาเหตุทีละปัจจัย (One Factor at a Time) แล้วทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละปัจจัยด้วย Pair Sample T-Test ซึ่งผลการวิเคราะห์จึงทำให้ทราบว่าปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาที่จริง แล้วมี 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิของแม่พิมพ์, จำนวนการอัด-คายของเครื่องจักร และระยะของช่องว่างในการคายก๊าซ ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase) ได้มีการออกแบบการทดลองแบบ 2^3 Full Factorial เพื่อหาความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยแล้วจึงดำเนินการปรับปรุงโดยการปรับอุณหภูมิการขึ้นรูปจาก 150°C เป็น 157°C , ปรับจำนวนการอัด-คายของเครื่องจักรจาก 5 เหลือ 4 รอบ และทำการลดระยะช่องว่างการคายก๊าซจาก 2 เหลือ 1 mm. ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase) ได้ควบคุมโดยใช้คู่มือการปฏิบัติงาน (WI) และการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (SPC) ผลจากการปรับปรุงพบว่าจำนวนของเสียที่เกิดจากชิ้นงานไม่ได้คุณภาพที่กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานร้อนของผ้าเบรกรถยนต์โมเดล X068 ลดลงเหลือเพียง 2.58% ของปริมาณของเสียทั้งหมด



TNI

บทที่ 3

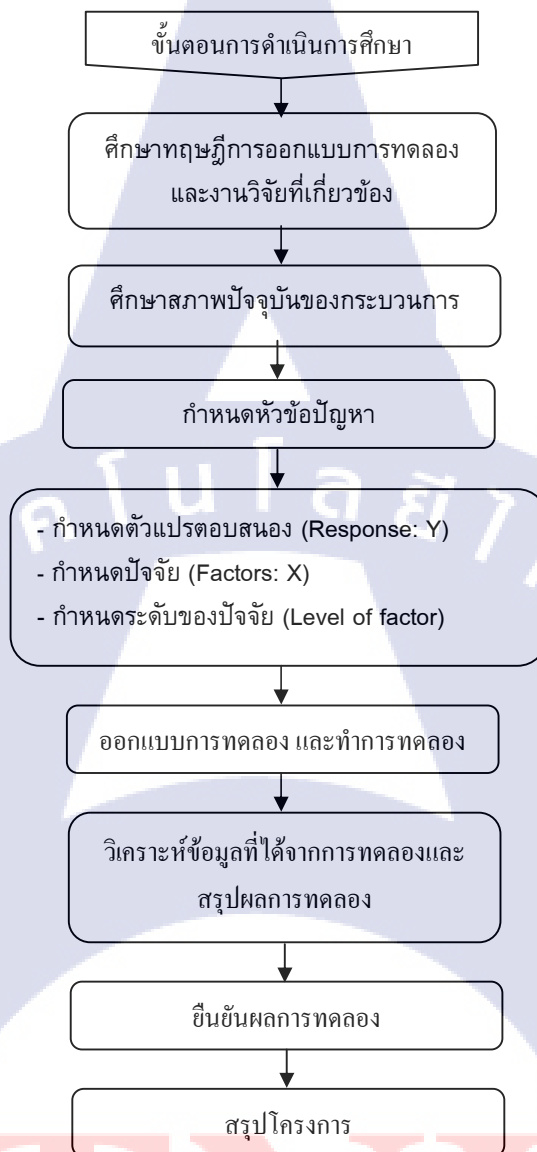
วิธีการดำเนินการศึกษา

หลังจากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการทบทวนวรรณกรรมในบทที่ 2 นั้น ทำให้ผู้ศึกษาได้รู้ถึงการออกแบบการทดลองและยังได้ศึกษาเกี่ยวกับการนำมาใช้ในเชิงปฏิบัติ รวมถึงการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติต่างๆ จากการทบทวนวรรณกรรม ซึ่งผู้ศึกษาได้นำความรู้ที่ได้ออกแบบวิธีการดำเนินการศึกษา เพื่อการปรับปรุงกระบวนการผลิตนวนหุ้มท่อ ซึ่งมีรายละเอียดของวิธีการดำเนินการศึกษา ดังนี้

ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้มีขั้นตอนการศึกษาจำนวนทั้งสิ้น 8 ขั้นตอน ดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง (DOE) พร้อมทั้งศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาสภาพปัจจุบันของกระบวนการผลิตนวนหุ้มท่อ
3. กำหนดปัญหา (Problem Identification) โดยใช้เครื่องมือที่เหมาะสม
4. กำหนดตัวแปรตอบสนอง (Define Response Variables : Y) กำหนดปัจจัย (Factors Identification : X) และทำการกำหนดระดับของปัจจัย
5. ออกแบบการทดลอง แล้วทำการทดลองตามแผนที่กำหนด
6. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองแล้วสรุปผลการทดลอง พร้อมทั้งกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสม
7. ทำการตรวจสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง
8. ประเมินผลการดำเนินงานโครงการ เพื่อที่จะแสดงถึงประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการ



รูปที่ 19 ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง (DOE) พร้อมทั้งศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในขั้นตอนนี้ผู้ศึกษาได้ดำเนินการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง (DOE) ได้แก่ นิยามความหมายของการออกแบบการทดลอง หลักการสำคัญของการออกแบบการทดลอง ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง เครื่องมือและสถิติที่เกี่ยวข้องในการออกแบบการทดลอง พร้อมทั้งศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการเลือกใช้เครื่องมือและสถิติในการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

2. ศึกษาสภาพปัจจุบันของกระบวนการผลิตฉนวนหุ้มท่อ

ในขั้นตอนนี้เป็นการรวบรวมข้อมูลของผลิตภัณฑ์ ทั้งในด้านกระบวนการผลิตและปัญหาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้เกิดความเข้าใจไปในแนวทางเดียวกัน โดยเฉพาะลักษณะของปัญหาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังได้มีการจัดตั้งทีมงาน ซึ่งเป็นการรวบรวมผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตท่อ และผู้ที่เชี่ยวชาญเกี่ยวกับกระบวนการผลิต เพื่อร่วมกันทำงานเพื่อให้โครงการสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

3. กำหนดปัญหา (Problem Identification)

เนื่องจากโครงการนี้ผู้บริหารได้ระบุผลิตภัณฑ์ที่จะต้องทำการศึกษาไว้แล้ว ดังนั้นในขั้นตอนการกำหนดปัญหา จึงมิได้กล่าวถึงผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆ ซึ่งการกำหนดปัญหานี้จะเริ่มด้วยการแสดงค่าร้อยละผลผลิต (Yield) ของการผลิตตั้งแต่เดือนมิถุนายน-กรกฎาคม 2558 ซึ่งเป็นการเริ่มการผลิตแบบ Mass production ในช่วง 2 เดือนแรก เพื่อที่จะแสดงสมรรถนะของกระบวนการโดยรวม จากนั้นทำการรวบรวมข้อมูลของเสีย จำแนกตามประเภทของเสียในช่วงเวลาเดียวกันนี้ แล้วนำหลักการพาเรโตมาเรียงลำดับความสำคัญของปัญหา เพื่อที่จะเลือกเอาประเด็นปัญหาที่สำคัญแล้วนำมาเป็นหัวข้อปัญหาของโครงการและหาแนวทางในการปรับปรุงต่อไป

4. กำหนดตัวแปรตอบสนอง (Define Response variables : Y) กำหนดปัจจัย (Factors Identification : X) และทำการกำหนดระดับของปัจจัย

ในขั้นตอนนี้จะกำหนดตัวแปรตอบสนอง (Y) เพื่อที่จะใช้เป็นตัววัดผลและให้ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพของกระบวนการได้ จากนั้นจะนำเครื่องมือต่างๆ มาใช้เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุเพื่อเลือกกำหนดปัจจัย (X) ที่จะใช้ในการทดลอง นอกจากนี้จะต้องทำการกำหนดระดับของปัจจัยแต่ละตัวที่ได้เลือกมา เพื่อที่จะใช้ในการออกแบบการทดลองต่อไป

5. ออกแบบการทดลองแล้วทำการทดลองตามแผนที่กำหนด

ในขั้นตอนนี้จะใช้หลักในการออกแบบการทดลองมาช่วยทำการวางแผนการทดลอง เมื่อได้รูปแบบของการทดลองและจำนวนที่ต้องทำการทดลองทั้งหมดแล้ว จึงเริ่มทำการทดลองเรียงตามลำดับที่ได้จากการออกแบบ ดำเนินการทดลองและควบคุมปัจจัยในแต่ละการทดลองอย่างเคร่งครัด จากนั้นบันทึกผลการทดลองทั้งหมด เพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลในลำดับถัดไป

6. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองแล้วสรุปผลการทดลองพร้อมทั้งกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสม

ในขั้นตอนนี้จะนำผลที่ได้จากการทดลอง มาวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยโปรแกรม MINITAB จากนั้นก็ทำการสรุปผล พร้อมทั้งหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดด้วยการวิเคราะห์จากโปรแกรม เพื่อนำมากำหนดเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมหลังการปรับปรุง และนำไปเป็นมาตรฐานต่อไป

7. ทำการตรวจสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการติดตามผลจากการปรับปรุง โดยการอัปเดตเอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งทำการอบรมพนักงานให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสภาวะการผลิตใหม่ นอกจากนี้ยังจัดทำแผนควบคุม X-bar R Chart เพื่อติดตามจำนวนของเสียจากกระบวนการต่อไป พร้อมทั้งประเมินความสามารถของกระบวนการเพื่อยืนยันว่าผลการทดลองที่ได้สามารถแก้ไขปัญหาได้

8. สรุปผลโครงการ

หลังจากได้ผลจากการปรับปรุงและการเฝ้าติดตามผลแล้ว จึงทำการสรุปผลโครงการเกี่ยวกับประโยชน์ที่ได้รับจากการปรับปรุง พร้อมทั้งจัดทำรายงานเพื่อนำเสนอต่อผู้บริหารต่อไป

ประชากร

ประชากรในการศึกษาในครั้งนี้ คือกระบวนการผลิตฉนวนชนิดท่อ (Insulation Piping Section) ซึ่งเป็นกระบวนการที่นำโฟมชนิดมัน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักของโรงงาน มาขึ้นรูปเป็นท่อ เพื่อตอบสนองความต้องการในการใช้งานและแบบที่ลูกค้าต้องการ

เครื่องมือในการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) มาเป็นเครื่องมือหลักในการศึกษา

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้ศึกษาได้ทำการกำหนดระยะเวลาในการศึกษาตั้งแต่เดือน มิ.ย.-พ.ย. 2558 โดยข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานั้นรวบรวมมาจากรายงานการผลิต 1 ฉบับต่อ 1 ใบสั่งผลิต หรือ 1 ล็อตการผลิตนั่นเอง ส่วนข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นเป็นการเก็บร่วมกันของทีมงานฝ่ายผลิต ฝ่ายวิศวกรรมและฝ่ายประกันคุณภาพที่ร่วมกันทำการทดลอง

สถิติที่ใช้ในการศึกษา

1. ขั้นตอนการกำหนดปัญหา (Problem Identification)

ในขั้นตอนนี้ได้มีนำข้อมูลของเสียแยกตามประเภทที่พบมาทำการวิเคราะห์ แล้วใช้หลักการของพาเรโตเข้ามาจัดลำดับความสำคัญของปัญหา เพื่อกำหนดขอบเขตของปัญหาในการศึกษาครั้งนี้

2. ขั้นตอนการกำหนดตัวแปรตอบสนอง (Y) และปัจจัย (X) และกำหนดระดับของปัจจัย

ในขั้นตอนนี้จะใช้เครื่องมือการวิเคราะห์แผนผังก้างปลา เข้ามาช่วยในการหาสาเหตุของปัญหา จากนั้น ใช้การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) เพื่อนำมาเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกปัจจัยที่จะนำมาทดลองโดยหลังจากการประเมินเสร็จแล้วก็นำผลคะแนนมาจัดอันดับความสำคัญอีกครั้งโดยใช้หลักการพาเรโตเข้ามาช่วย เมื่อเลือกปัจจัยที่ต้องการนำมาทดลองได้แล้ว ก็ทำการกำหนดระดับของปัจจัยโดยการระดมสมองของทีมงาน

3. ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง และทำการทดลอง

ในขั้นตอนนี้จะใช้การออกแบบการทดลอง (DOE) แบบ General Full Factorial ทำการทดลองตามแผนที่ออกแบบได้ แล้วทำการบันทึกผลการทดลองเพื่อนำมาวิเคราะห์ต่อไป

4. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองแล้วสรุปผลการทดลองพร้อมทั้งกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสม

ในขั้นตอนนี้จะนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ด้วยการวิธี Analyze แบบ General Full Factorial ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองกับปัจจัยต่างๆ พร้อมทั้งหาเงื่อนไขที่ดีที่สุดของ X ด้วยวิธี Optimization Plot

5. ขั้นตอนการตรวจสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง

ในขั้นตอนนี้ได้นำเอาเครื่องมือสถิติด้านคุณภาพคือ X-bar R Chart เพื่อควบคุมค่าความแข็งแรงของตะเข็บต่อหลังจากการปรับปรุง ว่าอยู่ในค่าควบคุมหรือไม่ นอกจากนี้ยังทำการประเมินความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) เพื่อยืนยันว่าเงื่อนไขที่ได้จากการทดลองนั้น สามารถช่วยแก้ปัญหาให้กระบวนการได้หรือไม่

บทที่ 4

บทสรุป และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการศึกษา

1. การศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัจจุบัน

กระบวนการผลิตฉนวนหุ้มท่อ เป็นสายการผลิตที่เปิดใหม่ เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า สำหรับผลิตภัณฑ์รุ่นนี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่นำไปใช้ในเครื่องปรับอากาศเพื่อป้องกันการรั่วซึม หรือการควบแน่นของน้ำระเหยเข้าสู่ระบบไฟฟ้าภายในเครื่องปรับอากาศ



รูปที่ 20 ตัวอย่างฉนวนหุ้มท่อ

เนื่องจากผลิตภัณฑ์นี้ ลูกค้านำไปประกอบเข้ากับชิ้นงานอีกทอดหนึ่ง ซึ่งเมื่อพบปัญหาคุณภาพของฉนวนแล้วอาจจะทำให้ชิ้นงานของลูกค้าเกิดความเสียหาย เนื่องจากใช้กาวในการประกอบ ดังนั้นลูกค้าจึงต้องการผลิตภัณฑ์ที่เข้มงวดเรื่องคุณภาพเป็นพิเศษ เพื่อความราบรื่นในการผลิตงานของลูกค้าเอง ซึ่งปัญหาด้านคุณภาพของฉนวนมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

(ก) ปัญหา ID เล็ก (ID undersize) คือ การที่ฉนวนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงในเล็กกว่าที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาขณะที่ลูกค้าทำการประกอบเพราะไม่สามารถสอดท่อเข้าไปด้านในได้ หรือทำได้โดยลำบาก จึงเป็นปัญหาใหญ่ที่ลูกค้าไม่สามารถยอมรับหรืออนุมัติให้ได้

(ข) ปัญหา ID โต (ID Oversize) คือ การที่ฉนวนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงในโตกว่ามาตรฐานที่กำหนด ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาการรั่วซึมได้ จึงเป็นปัญหาใหญ่ที่ลูกค้าไม่สามารถยอมรับหรืออนุมัติให้ได้

(ค) ปัญหาตะเข็บปริด้านนอก (Outer Seam Break) คือ การแตกของรอยตะเข็บจากการขึ้นรูปแตกต่างจากด้านนอก ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาการรั่วซึมได้ จึงเป็นปัญหาใหญ่ที่ลูกค้าไม่สามารถยอมรับหรืออนุมัติให้ได้

(ง) ปัญหาตะเข็บปริด้านใน (Inner Seam Break) คือ การแตกของรอยตะเข็บจากการขึ้นรูปแตกจากด้านใน ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาการรั่วซึมได้ จึงเป็นปัญหาใหญ่ที่ลูกค้าไม่สามารถยอมรับหรืออนุมัติให้ได้

(จ) ปัญหาตะเข็บยุบ (Seam Dent) คือ รอยตะเข็บของฉนวนยุบตัวลง แต่ยังประกบกันสนิท ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาความแข็งแรงของรอยตะเข็บและด้านความสวยงามของท่อ

(ฉ) ปัญหารอยดำ (Black Stain) คือ รอยคราบดำที่เกิดขึ้นบนตำแหน่งต่างๆ ของท่อเนื่องจากชิ้นงานเป็นสีขาวทั้งหมด การเกิดรอยจะทำให้เกิดปัญหาด้านความสวยงามของท่อ



(ค) ตัวอย่างชิ้นงานปริด้านนอก (ง) ตัวอย่างชิ้นงานปริด้านใน (จ) ตัวอย่างชิ้นงานตะเข็บยุบ

รูปที่ 21 ตัวอย่างชิ้นงานที่มีปัญหาคุณภาพ

สำหรับกระบวนการผลิตฉนวนนั้นแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน กล่าวคือ

1) การตัดโฟม (Slitting) คือ การนำโฟมม้วนใหญ่มาตัดเป็นแผ่น ตามขนาดของ ID ที่ลูกค้ากำหนด ซึ่งขนาดหน้ากว้างโฟมที่ตัดนั้นได้มาจากการคำนวณโดยวิศวกรกระบวนการเป็นผู้ออกแบบ

2) การขึ้นรูป (Piping) คือ การนำโฟมที่ตัดเป็นแผ่นมาขึ้นรูปเป็นทรงกระบอกกลาง โดยการให้ความร้อนขณะขึ้นรูปผ่าน Die

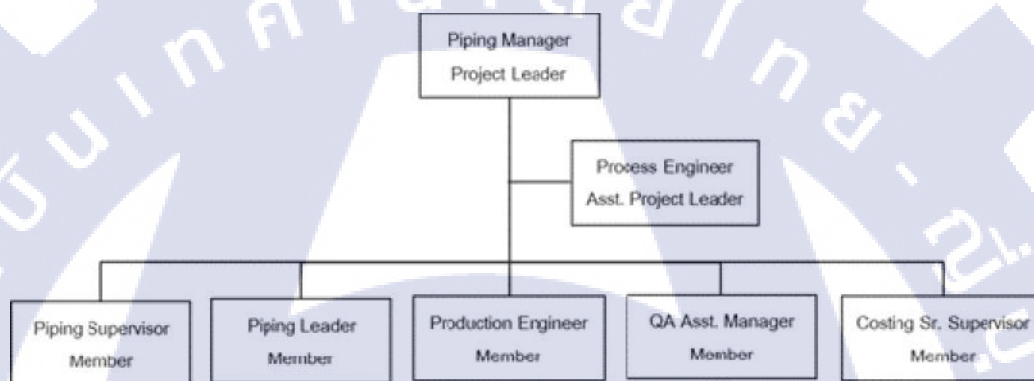
3) การตัดตามแบบ (Cutting) คือ การนำโฟมที่ขึ้นรูปเป็นท่อแล้วมาตัดตามความยาวและแบบที่ลูกค้าต้องการ

4) การตรวจสอบและบรรจุ (QC and Packing) คือ การตรวจสอบคุณภาพตามที่ลูกค้ากำหนด แล้วบรรจุใส่ถุงตามจำนวนที่กำหนด ตีฉลาก จัดเรียงตามข้อกำหนดของลูกค้า



รูปที่ 22 กระบวนการผลิตฉนวนชนิดท่อ

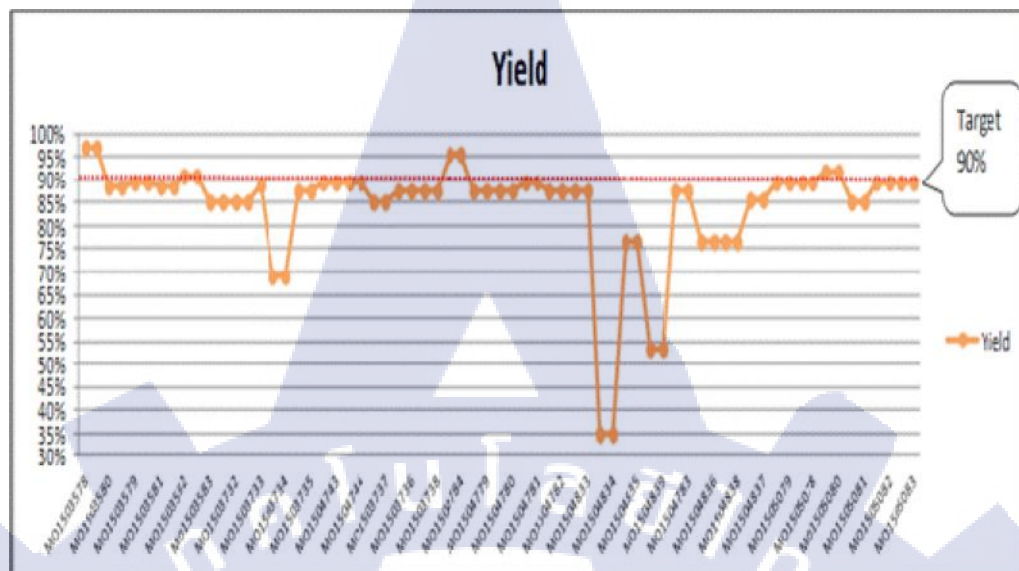
นอกจากนี้โครงการยังได้มีการจัดตั้งทีมงานเพื่อร่วมกันดำเนินโครงการ โดยสมาชิกจะต้องเป็นผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ฉนวนหุ้มท่อ และมีความชำนาญในกระบวนการผลิต ซึ่งได้รับความร่วมมือจากแผนกต่างๆ ซึ่งแสดงเป็นแผนผัง ดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 แผนผังโครงสร้างคณะทำงานของโครงการ

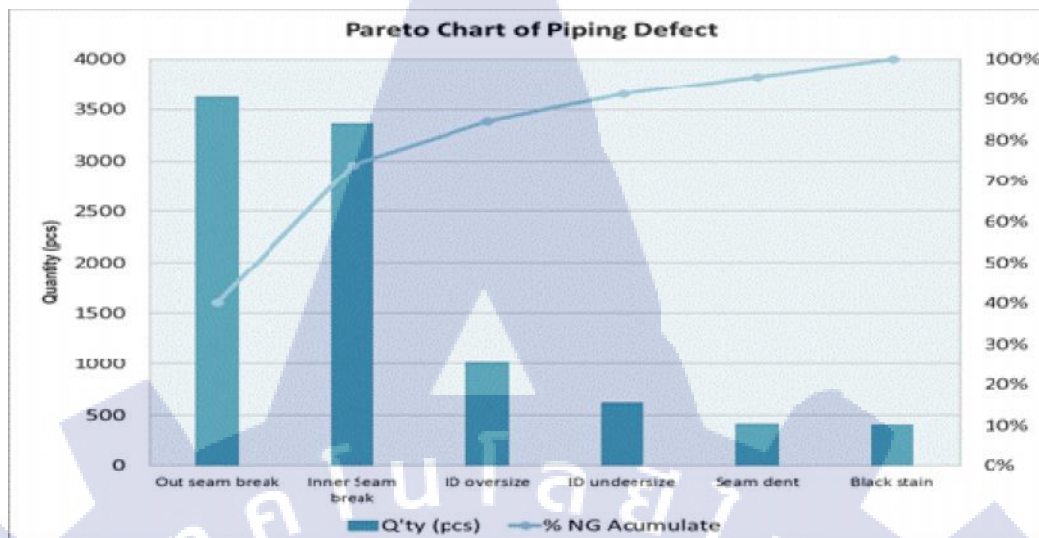
2. ขั้นตอนการกำหนดปัญหา (Problem Identification)

เนื่องจากโครงการนี้ผู้บริหารได้ระบุผลิตภัณฑ์ที่จะต้องทำการศึกษาไว้แล้ว จึงมิได้แสดงข้อมูลของผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆ ดังนั้นจึงทำการเริ่มขั้นตอนการกำหนดปัญหาคำร้อยละของผลผลิต (Yield) ของการผลิตตั้งแต่เดือนมิถุนายน-กรกฎาคม 2558



รูปที่ 24 แผนภูมิแสดงร้อยละของผลผลิตจนวนชนิดท่อในช่วง มิ.ย.-ก.ค. 58

จากรูปที่ 24 พบว่าค่าร้อยละของผลผลิต (Yield) ส่วนใหญ่ต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนดในการผลิตทั้งหมด 67 ครั้งพบว่า การผลิตจำนวน 59 ครั้ง หรือคิดเป็นร้อยละ 88 ได้ผลผลิตต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนด นอกจากนี้ยังมีการผลิตบางครั้งที่ผลผลิตต่ำมากจนผิดปกติ จึงได้ทำการตรวจสอบกลับไปที่แผนกต้นทุนการผลิตได้ข้อมูล ดังนี้ จากการผลิตทั้งสิ้น 67 ครั้ง พบว่าการผลิตทั้งสิ้น 12 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 18 ให้ผลขาดทุนจากยอดการใช้วัตถุดิบที่มากกว่าปกติหรือต้นทุนในส่วนของ Direct Material (DM) สูงขึ้น จากนั้นทีมงานจึงได้ทำการรวบรวมข้อมูลของเสียจากการผลิต โดยแยกตามชนิดของเสีย แล้วสร้างแผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) เพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหา



รูปที่ 25 แผนภาพพาเรโตแสดงจำนวนของเสียของท่อฉนวน จำแนกตามลักษณะของปัญหา ในช่วง เดือน มิ.ย.-ก.ค. 58

จากรูปที่ 25 เมื่อพิจารณาตามหลักการพาเรโต พบว่าปัญหาตะเข็บปรีดด้านนอก (Outer Seam Break) และตะเข็บปรีดด้านใน (Inner Seam Break) เป็นปัญหาที่จะต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน จึงได้ทำการระดมสมองกับทีมงานและทำการกำหนดประเด็นปัญหาของโครงการว่า จะทำการแก้ปัญหาเกี่ยวกับความแข็งแรงของตะเข็บซึ่งเป็นปัญหาคุณภาพที่สำคัญต่อการประกอบชิ้นงานของลูกค้าให้หมดไป เพื่อลดปัญหาคุณภาพภายในกระบวนการผลิตเอง และลดความเสี่ยงต่อการเกิดข้อร้องเรียนจากลูกค้าอีกด้วย

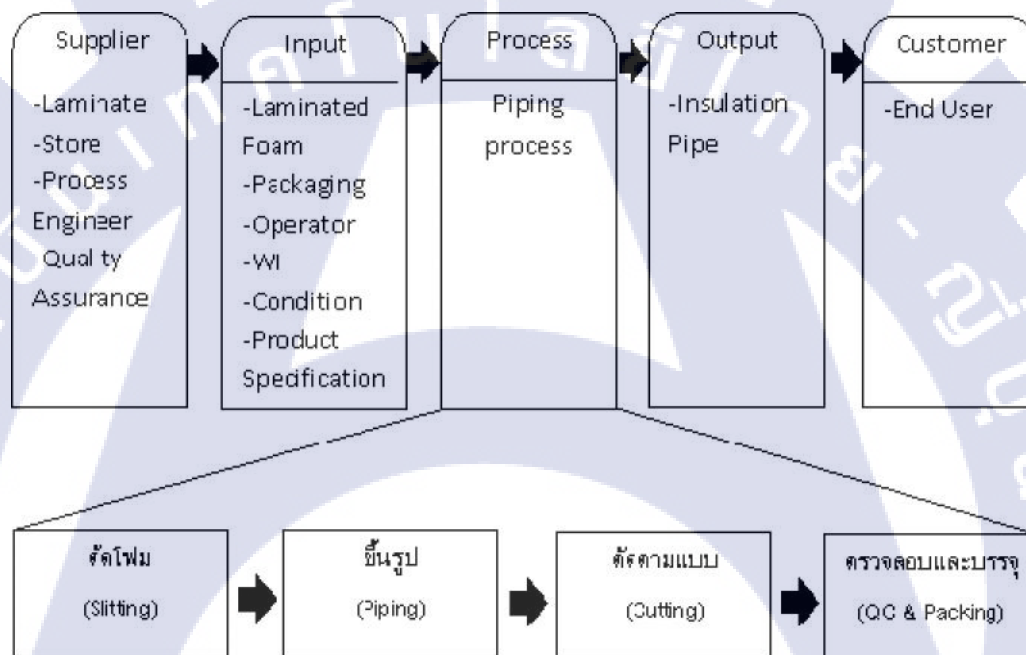
3. ขั้นตอนการกำหนดตัวแปรตอบสนอง (Y) และปัจจัย (X) และกำหนดระดับของปัจจัย

เมื่อได้กำหนดประเด็นปัญหาเรียบร้อยแล้ว ผู้ศึกษาได้ทำการทบทวนกระบวนการด้วยการเขียนแผนภาพ SIPOC เพื่อให้มีความชัดเจนเกี่ยวกับภาพรวมของกระบวนการ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

- Supplier ได้แก่ แผ่นก Laminate, แผ่นกคลังวัตถุดิบ (Store), วิศวกรกระบวนการ (Process Engineer), แผนกควบคุมคุณภาพ (Quality Assurance)
- Input ได้แก่ โฟมที่ขึ้นลายแล้ว (Laminated Foam), บรรจุภัณฑ์ต่างๆ (Packaging), พนักงานแผนกท่อ (Piping Operator), เอกสารในการทำงาน (WI), ข้อกำหนดในกระบวนการ (Condition), ข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ (Product Specification)

- Process ได้แก่
 - 1) การตัดโฟม (Slitting)
 - 2) การขึ้นรูป (Piping)
 - 3) การตัดตามแบบ (Cutting)
 - 4) การตรวจสอบและบรรจุ (QC and Packing)
- Output ได้แก่ ฉนวนชนิดท่อ (Insulation Pipe)
- Customer ได้แก่ ลูกค้าผู้ใช้งานคนสุดท้าย (End User)

จากการวิเคราะห์ SIPOC ข้างต้นสามารถนำมาเขียนเป็นแผนภูมิได้ ดังนี้



รูปที่ 26 แผนภูมิ SIPOC ของกระบวนการผลิตฉนวนชนิดท่อ

จากรูปที่ 26 แสดงแผนภูมิ SIPOC ซึ่งจะบ่งบอกถึงภาพรวมในกระบวนการผลิตฉนวนชนิดท่อ ซึ่งมีปัจจัยนำเข้าหลักคือ โฟมที่ขึ้นลายแล้วจากแผ่น Laminate นำมาผ่านกระบวนการแปรรูป กลายเป็นปัจจัยนำออกที่สำคัญ คือ ฉนวนชนิดท่อ ซึ่งจะถูกจัดส่งให้แก่ลูกค้าผู้ใช้งานโดยตรง เมื่อเราได้เห็นภาพรวมของกระบวนการอย่างชัดเจนแล้ว จากนั้น

เมื่อวิเคราะห์กระบวนการเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงได้พิจารณาเพื่อกำหนดปัจจัยตอบสนอง (Y) จากประเด็นปัญหาเรื่องความแข็งแรงของตะเข็บท่อนั้น ปัจจุบันการพิจารณาความแข็งแรงของตะเข็บท่อในกระบวนการมี 2 วิธี กล่าวคือ

1) วิธี Bonding Test เป็นการวัดค่าความแข็งแรงของตะเข็บด้วยเครื่องวัด Tensile Strength เป็นการวัดความแข็งแรงของรอยต่อ โดยการตัดชิ้นงานให้ได้หน้ากว้าง 2.5 เซนติเมตร จากนั้นใช้คัตเตอร์ผ่าท่อนตรงข้ามกับแนวตะเข็บ แล้วนำไปใส่เครื่อง เพื่อทำการดึงทดสอบ ค่าความแข็งแรงของตะเข็บ ดังรูปที่ 26



รูปที่ 27 วิธีการทดสอบความแข็งแรงของตะเข็บท่อนด้วยวิธี Bonding Test

2) วิธี Squeeze Test เป็นการตรวจความแข็งแรงของตะเข็บด้วยการบีบ โดยผู้ทดสอบจะนำท่อนมาบีบบริเวณรอยต่อ แล้วตรวจสอบด้วยสายตาว่ามีรอยแตก หรือไม่



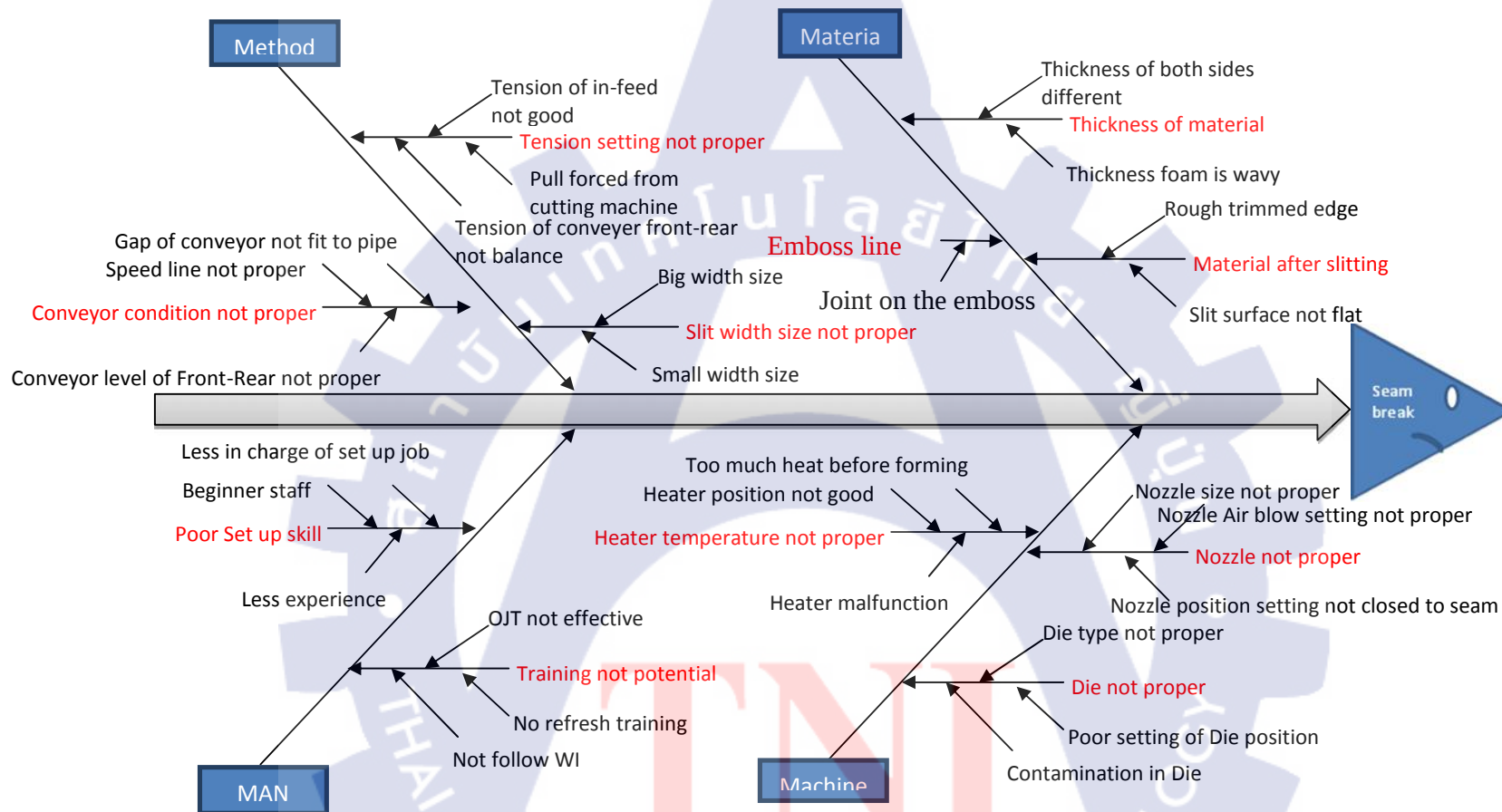
รูปที่ 28 วิธีการทดสอบความแข็งแรงของตะเข็บท่อนด้วยวิธี Squeeze Test

เมื่อพิจารณาวิธีทดสอบความแข็งแรงของตะเข็บท่อนในกระบวนการแล้วที่ทีมงานจึงได้เลือกเอาวิธีที่ 1 มากำหนดให้เป็นตัวแปรตอบสนอง เนื่องจากเป็นค่าที่วัดได้และเป็นข้อมูลที่บอกถึงสภาพกระบวนการว่าดีหรือไม่ดีได้ ดังนั้นที่ทีมงานจึงกำหนดให้ตัวแปรตอบสนอง (Y) คือ ค่าความแข็งแรงของตะเข็บ (Tensile Strength)

เมื่อกำหนดตัวแปรตอบสนอง (Y) ได้แล้ว จึงทำการหาปัจจัย (X) ด้วยการเริ่มจัดทำ
การวิเคราะห์ผังก้างประหลาดด้วยการระดมสมองของทีมงาน เพื่อที่จะหาว่าสาเหตุใดบ้างที่มีผล
ต่อความแข็งแรงของตะเข็บต่อผลการวิเคราะห์ผังก้างปลาเป็นดังรูปที่ 29



TNI



รูปที่ 29 ผลการวิเคราะห์ผังกังปลา

หลังจากที่ทีมงานได้จัดทำผังก้างปลาโดยแยกการพิจารณาเป็น 4 ปัจจัยตามหลัก 4M คือ คน, เครื่องจักร, วัสดุ, และวิธีการเรียบร้อยแล้ว จึงได้พบสาเหตุที่สร้างโอกาสให้เกิดปัญหาตะเข็บปริหลายประการ จากนั้นทีมงานจึงได้นำสาเหตุเหล่านี้มาทำการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) เพื่อเป็นการประเมินและจัดลำดับความเสี่ยงและผลกระทบของแต่ละสาเหตุ ที่จะนำไปสู่การแก้ไขปรับปรุงต่อไปในการจัดทำ FMEA นั้นทีมงานได้ใช้หลักเกณฑ์การประเมินคะแนน ดังนี้

ตารางที่ 5 เกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของผลกระทบ

ผลกระทบจากข้อบกพร่อง	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อผู้ใช้ผลิตภัณฑ์	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อกระบวนการภายใน	คะแนน
เกิดอันตรายโดยไม่มีการเตือน	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้หรือขัดต่อกฎหมายโดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า	มีผลกระทบต่อการเกิดอันตรายต่อพนักงาน(หรือเครื่องจักร) โดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า	10
เกิดอันตรายโดยมีการเตือน	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้หรือขัดต่อกฎหมายโดยมีการเตือนล่วงหน้า	มีผลกระทบต่อการเกิดอันตรายต่อพนักงาน(หรือเครื่องจักร) โดยมีการเตือนล่วงหน้า	9
ผลกระทบสูงมาก	ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถใช้งานได้ (เนื่องจากสูญเสียหน้าที่หลัก)	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจต้องถูกทำลายหรือส่งเข้าซ่อมแซมที่แผนกซ่อมบำรุงโดยใช้เวลามากกว่า 1 ชั่วโมง	8
ผลกระทบสูง	ผลิตภัณฑ์นำไปใช้งานได้แต่ระดับสมรรถนะลดลงจนทำให้ลูกค้าไม่พอใจมาก	อาจจะมีการตรวจสอบผลิตภัณฑ์แบบคัดเลือก (Sorting) และผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) อาจถูกทำลาย หรือส่งเข้าซ่อมแซมที่แผนกซ่อมบำรุงระหว่างครึ่งถึงหนึ่งชั่วโมง	7
ผลกระทบปานกลาง	ผลิตภัณฑ์นำไปใช้งานได้ แต่ขาดความเสถียรและทำให้ลูกค้าไม่พอใจ	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) อาจถูกทำลายและไม่ต้องตรวจสอบแบบคัดเลือก (Sorting) หรือส่งเข้าซ่อมแซมที่แผนกซ่อมบำรุงต่ำกว่าครึ่งชั่วโมง	6
ผลกระทบต่ำ	ผลิตภัณฑ์นำไปใช้งานได้ ด้วยความเสถียรและระดับสมรรถนะลดลง	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจได้รับการรีเวิร์ก หรือได้รับการซ่อมแซมนอกสายการผลิตที่ฝ่ายผลิต	5

ตารางที่ 5 เกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของผลกระทบ (ต่อ)

ผลกระทบจาก ข้อบกพร่อง	ความรุนแรงของผลกระทบที่มี ต่อผู้ใช้ผลิตภัณฑ์	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อ กระบวนการภายใน	คะแนน
ผลกระทบต่ำ มาก	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ ดีนัก อาจมีเสียงดังบ้าง ลูกค้าส่วน ใหญ่ (มากกว่า 75%) สามารถ สังเกตเห็นข้อบกพร่องได้	ผลิตภัณฑ์อาจได้รับการตรวจสอบ ผลิตภัณฑ์แบบคัดเลือก (Sorting) โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกทำลาย แต่บางส่วน (ต่ำกว่า 100%) อาจ ได้รับการรีเวิร์ก	4
ผลกระทบ เล็กน้อย	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดี นัก อาจมีเสียงดังบ้าง ลูกค้า ประมาณครึ่งหนึ่งสามารถ สังเกตเห็นข้อบกพร่องได้	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (ต่ำกว่า 100%) อาจต้องได้รับการรีเวิร์กในสาย การผลิต แต่นอกจากปฏิบัติงานที่ต้อง ถูกทำลาย	3
เกือบไม่มี ผลกระทบ	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ ดีนัก อาจมีเสียงดังบ้าง ลูกค้าส่วน น้อย (ต่ำกว่า 25%) สามารถ สังเกตเห็นข้อบกพร่องได้	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (ต่ำกว่า 100%) อาจต้องได้รับการรีเวิร์กในสาย การผลิต โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้อง ถูกทำลาย	2
ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบที่สังเกตเห็นได้	อาจมีความไม่สะดวกสบายเล็กน้อย ต่อการปฏิบัติงานหรือตัวพนักงาน หรือไม่มีผลกระทบใดๆ	1

ที่มา : กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2551). การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ
(ประมวลผลด้วย Minitab). หน้า 120.

ตารางที่ 6 เกณฑ์การประเมินผลด้านโอกาสการเกิดข้อบกพร่อง

ความเป็นไปได้	อัตราส่วนการเกิดของเสีย	คะแนน
สูงมาก	มากกว่า 100 ใน 1000 ชิ้น	10
	50 ต่อ 1000 ชิ้น	9
สูง	20 ต่อ 1000 ชิ้น	8
	10 ต่อ 1000 ชิ้น	7
ปานกลาง	5 ต่อ 1000 ชิ้น	6
	2 ต่อ 1000 ชิ้น	5
ต่ำ	1 ต่อ 1000 ชิ้น	4
	0.5 ต่อ 1000 ชิ้น	3
ต่ำมาก	0.1 ต่อ 1000 ชิ้น	2
	น้อยกว่า 0.1 ต่อ 1000 ชิ้น	1

ตารางที่ 7 เกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับของระบบควบคุม

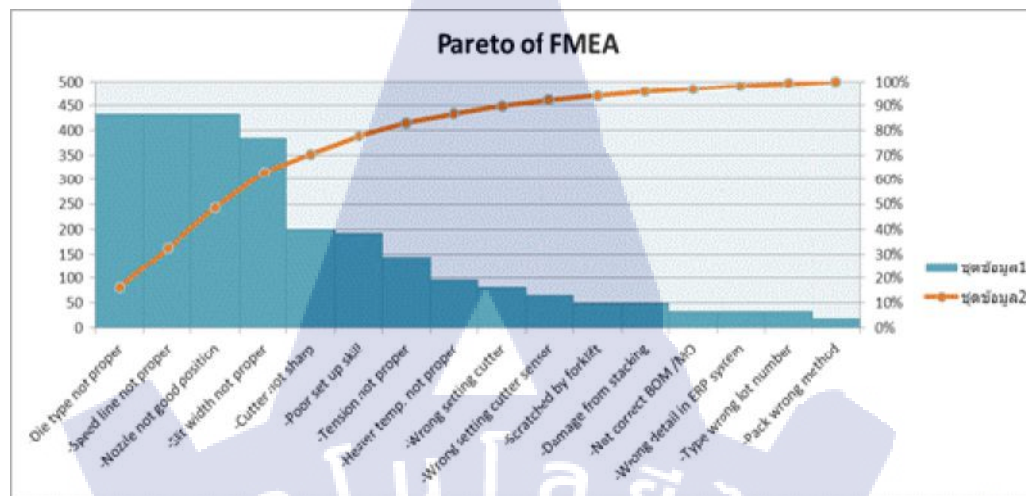
การตรวจจับ	วิธีการตรวจสอบ	คะแนน
เป็นไปไม่ได้	ตรวจด้วยสายตา	10
ตรวจจับได้น้อยมาก	ตรวจด้วยสายตา	9
ตรวจจับได้น้อย	ตรวจด้วยสายตา	8
ตรวจจับได้ต่ำมาก	ตรวจด้วยสายตา	7
ตรวจจับได้ต่ำ	ตรวจด้วยสายตาและเครื่องมือวัด	6
ตรวจจับได้ปานกลาง	ตรวจด้วยเครื่องมือวัด	5
ตรวจจับได้ปานกลาง-สูง	ตรวจด้วยเครื่องมือวัดและเครื่องมือป้องกันความผิดพลาด	4
ตรวจจับได้สูง	ตรวจด้วยเครื่องมือวัดและเครื่องมือป้องกันความผิดพลาด	3
ตรวจจับได้สูงมาก	ตรวจด้วยเครื่องมือวัดและเครื่องมือป้องกันความผิดพลาด	2
ตรวจจับได้แน่นอน	ตรวจด้วยเครื่องมือป้องกันความผิดพลาด	1

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบในกระบวนการผลิตท่อ

Item Function	Requirement	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential cause (s) of Failure	Document	Current Process			RPN
							Controls Prevention	Controls Detection	Detection	
11. Piping	-Correct slit width	Wrong setting cutter range	ID size out spec	8	-Wrong setting cutter (Human error)	2	Check with MO before setting	Visual check by leader. before start production	5	80
	-Smooth trim edge	-Rough trim edge -Slit surface not flat	Contamination on seam Seam break Quality defect	8	-Cutter not sharp	5	Set maintenance period in PM plan for cutter	Visual check by leader.	5	200
	-Seam completely joint	-Seam break	Out of standard of customer requirement Quality defect	8	-Die type not proper	9	Condition not proper	Visual check (AQL)	6	432
					-Speed line not proper	9	Condition not proper	Visual check (AQL)	6	432
					-Nozzle not good position	9	Condition not proper	Visual check (AQL)	6	432
					-Poor set up skill	4	Training by OJT	Visual check (AQL)	6	132
					-Slit width not proper	8	Condition not proper	Visual check (AQL)	6	334
					-Tension not proper	3	Training by OJT	Visual check (AQL)	6	144
					-Heater temp. not proper	2	Condition not proper	Visual check (AQL)	6	96
	-Length of pipe in spec	-Length of pipe out spec (Shorter/longer)	Out of standard of customer requirement Quality defect	8	-Wrong setting cutter sensor (Human error)	2	Add packing std. at shop floor	Check length with standard before start production	4	64
	-Flat cut	-Not flat cut	Appearance defect	3	-Fast moving of cutter	6	Training by OJT	Visual check (AQL)	6	108

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบในกระบวนการผลิตท่อ (ต่อ)

Item Function	Requirement	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential cause (s) of Failure	Occurrent	Current Process			RPN
							Controls Prevention	Controls Detection	Detection	
12.Packing	-Correct label	Wrong lot number	can't track history	2	-Type wrong lot number (Human error)	2	-	check label with MO by QA and production (100 %)	8	32
					-Wrong detail in ERP system	2	-	check label with MO by QA and production (100 %)	8	32
	-correct size of paper core	wrong size of paper core	Out of standard of customer requirement	4	-Picking wrong paper core (Human error)	2	Use sign to identify spec at each paper core	check paper core with MO by QA and production (100 %)	8	64
					-Not correct BOM /MO	1	-	MO checked by Production planning (100 %)	8	32
	-packing as standard	Wrong packing	Out of standard of customer requirement	2	-Pack wrong method (Human error)	1	Add packing std. at shopfloor	check packing by QA (AQL)	9	18
13.Storage	-Finish goods not damage	Package damage (tear)	Can't sent to customer	6	-Scratched by forklift-hand	1	Identify the forklift-way in warehouse	Visual check during handling by WH (100%)	8	48
					-Damage from stacking	1	Set maximum stacking level (not over 4 levels)	Visual check by WH (100 %)	8	48



รูปที่ 30 แผนภูมิพาเรโตจากการวิเคราะห์ FMEA

เมื่อนำตัวเลขระดับความเสี่ยง (RPN) มาวิเคราะห์ตามหลักการพาเรโตได้จะได้ดังรูปที่ 30 จากนั้นจึงนำสาเหตุที่ได้คะแนนสูงมาทำการปรับปรุงแก้ไขในขั้นตอนต่อไป จากแผนภูมิพาเรโตพบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบสูงที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่

1. ชนิดของ Die ไม่เหมาะสม
2. Speed Line ไม่เหมาะสม
3. ตำแหน่งของหัวเป่าลมร้อนไม่เหมาะสม

นำปัจจัยที่ส่งผลกระทบสูงที่สุด 2 อันดับแรกคือ ชนิดของ Die ไม่เหมาะสม และ Speed line ไม่เหมาะสมไปออกแบบการทดลองในขั้นตอนปรับปรุงต่อไป สำหรับปัจจัยเรื่องตำแหน่งของหัวเป่าลมร้อนนั้น ได้มีการปรับปรุงไปในอีกโครงการหนึ่ง เนื่องจากพบปัญหาในโมเดลรุ่นอื่น จึงมิได้แสดงรายละเอียดในการศึกษาครั้งนี้

4. ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง และทำการทดลอง

ขั้นตอนนี้จะเริ่มจากการออกแบบการทดลอง (DOE) ซึ่งได้นำวิธีการออกแบบการทดลองชนิด General Full Factorial มาใช้ เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการทดสอบทีละเหตุทีละปัจจัย (One Factor at a Time) นอกจากนี้ การออกแบบการทดลองด้วยวิธี General Full Factorial ยังสามารถกำหนดระดับปัจจัยเป็นกี่ระดับก็ได้อีกด้วย สำหรับขั้นตอนการออกแบบการทดลองนั้นเริ่มจากการกำหนดปัจจัยต่างๆ ดังนี้

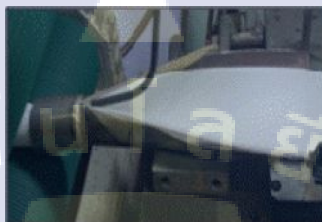
กำหนดให้ Y = ค่าความแข็งแรงของตะเข็บ (Tensile Strength) มีหน่วยเป็น Kgf (Kilogram Force)

X_1 = ชนิดของ Die ซึ่งกำหนดให้มี 3 ระดับ ได้แก่ Die Short Neck, Die Long Neck, Cooling Die (ดูรูปภาพที่ 31 ประกอบ)

X_2 = ค่าความเร็วสายพาน (Speed Line) ซึ่งกำหนดให้มี 2 ระดับ ได้แก่ 8 และ 15 มีหน่วยเป็น เมตร ต่อ นาที (m/min)



a) Die : Short Neck



b) Die : Long Neck



c) Die : Cooling

รูปที่ 31 ภาพของ Die ชนิดต่างๆ

จากนั้นทำการหาจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง (Power and Sample Size) โดยใช้โปรแกรม MINITAB ได้ผล ดังนี้

Power and Sample Size			
General Full Factorial Design			
$\alpha = 0.05$ Assumed standard deviation = 1			
Factors: 2 Number of levels: 3, 2			
Include terms in the model up through order: 2			
Not including blocks in model.			
Maximum Difference	Reps	Total Runs	Power
2	2	12	0.485785
2	3	18	0.782716
2	4	24	0.917621
2	5	30	0.971305

รูปที่ 32 ผลการหาจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง (Power and Sample Size)

จากนั้นจึงได้ทำการกำหนดจำนวนครั้ง (Replicate) ของการทดลอง ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ หรือ Power of Test = 95% ได้จำนวนการทดลองที่ต้องทำซ้ำสำหรับแต่ละระดับ 5 ครั้งแล้วจึงเริ่มทำการออกแบบการทดลองอีกครั้ง โดยใช้โปรแกรม MINITAB ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 9 รูปแบบการทดลองที่ได้จากการออกแบบ

รูปแบบการทดลองที่	Die Type	Speed Line(m/min)
1	Short Neck	8
2	Short Neck	15
3	Long Neck	8
4	Long Neck	15
5	Cooling	8
6	Cooling	15

เมื่อดำเนินการทดลองตามการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม MINITAB แล้ว จึงนำชิ้นงานมาทดสอบความแข็งแรงของตะเข็บด้วยวิธีทดสอบด้วยเครื่อง Bonding Test ซึ่งค่าที่ได้เรียกว่าค่า Tensile Strength มีหน่วยเป็น Kgf ซึ่งผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลการทดลองเพื่อหาค่า Tensile Strength

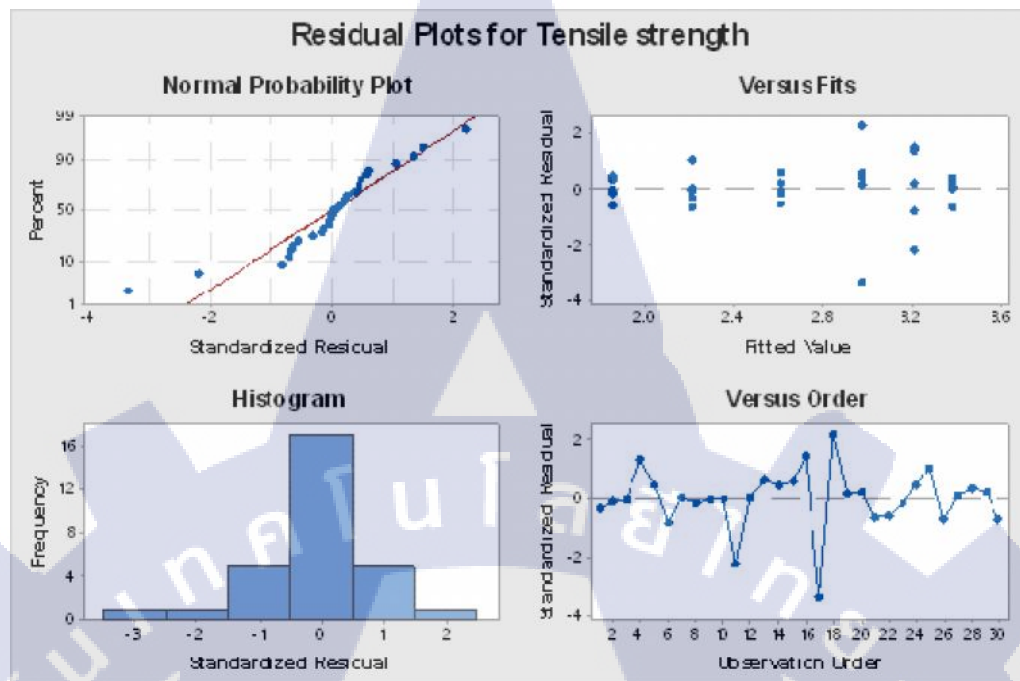
StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Die Type	Speed Line	Tensile Strength
18	1	1	1	Cooling	15	3.145
19	2	1	1	Short Neck	8	2.18
15	3	1	1	Long Neck	8	2.98
28	4	1	1	Long Neck	15	2.62
25	5	1	1	Short Neck	8	2.15
6	6	1	1	Cooling	15	3.225
11	7	1	1	Cooling	8	3.385
21	8	1	1	Long Neck	8	2.7
8	9	1	1	Short Neck	15	1.88
26	10	1	1	Short Neck	15	1.83
2	11	1	1	Short Neck	15	1.87

ตารางที่ 10 ผลการทดลองเพื่อหาค่า Tensile Strength (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Die Type	Speed Line	Tensile Strength
13	12	1	1	Short Neck	8	2.205
10	13	1	1	Long Neck	15	2.6
17	14	1	1	Cooling	8	3.325
22	15	1	1	Long Neck	15	2.65
5	16	1	1	Cooling	8	3.415
30	17	1	1	Cooling	15	3.32
4	18	1	1	Long Neck	15	2.56
3	19	1	1	Long Neck	8	3.02
29	20	1	1	Cooling	8	3.4
7	21	1	1	Short Neck	8	2.29
9	22	1	1	Long Neck	8	3.005
23	23	1	1	Cooling	8	3.38
16	24	1	1	Long Neck	15	2.59
27	25	1	1	Long Neck	8	3.15
12	26	1	1	Cooling	15	3.035
20	27	1	1	Short Neck	15	1.79
24	28	1	1	Cooling	15	3.33
1	29	1	1	Short Neck	8	2.2
14	30	1	1	Short Neck	15	1.84

5. ขั้นตอนวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการทดลอง

เมื่อได้ผลการทดลองแล้ว จึงนำผลการทดลองมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง เพื่อค้นหาปัจจัยที่ส่งอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงของตะเข็บท่อ โดยใช้โปรแกรม MINITAB ช่วยในการวิเคราะห์ ดังนี้



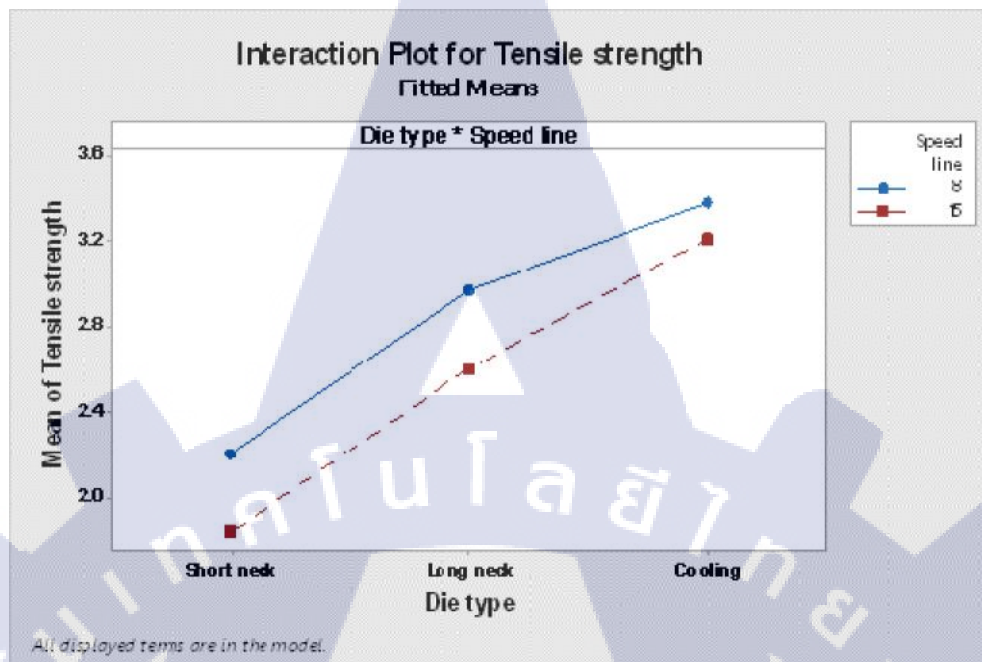
รูปที่ 33 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมของข้อมูลด้วยกราฟ 4 in 1

ก่อนเริ่มทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่มีต่อปัจจัยตอบสนองนั้น จะต้องทำการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลก่อน จากรูปที่ 33 เมื่อพิจารณากราฟด้านล่างขวา (Versus Order) ไม่พบความมีรูปแบบของข้อมูล ซึ่งแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบสุ่ม จากนั้นพิจารณา Versus Fit พบว่าข้อมูลมีความผันแปรภายในกลุ่มย่อยแตกต่างกัน แล้วจึงตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล จากกราฟ Normal Probability Plot และ Histogram พบว่ามีโอกาสที่ข้อมูลจะไม่มีแจกแจงแบบปกติ จึงทำการแปลงข้อมูลด้วยวิธี Box-Cox Transformation

General Factorial Regression: Tensile strength versus Die type, Speed line						
Method						
Box-Cox transformation						
Rounded λ		-1				
Estimated λ		-1.07626				
95% CI for λ		[-2.33876, 0.394245]				
Factor Information						
Factor	Levels	Values				
Die type	3	Short neck, Long neck, Cooling				
Speed line	2	8, 15				
Analysis of Variance for Transformed Response						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Model	5	0.226177	0.045235	341.88	0.000	
Linear	3	0.219396	0.073132	552.71	0.000	
Die type	2	0.200151	0.100076	756.35	0.000	
Speed line	1	0.019244	0.019244	145.44	0.000	
2-Way Interactions	2	0.006782	0.003391	25.63	0.000	
Die type*Speed line	2	0.006782	0.003391	25.63	0.000	
Error	24	0.003176	0.000132			
Total	29	0.229353				
Model Summary for Transformed Response						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)			
0.0115028	98.62%	98.33%	97.84%			

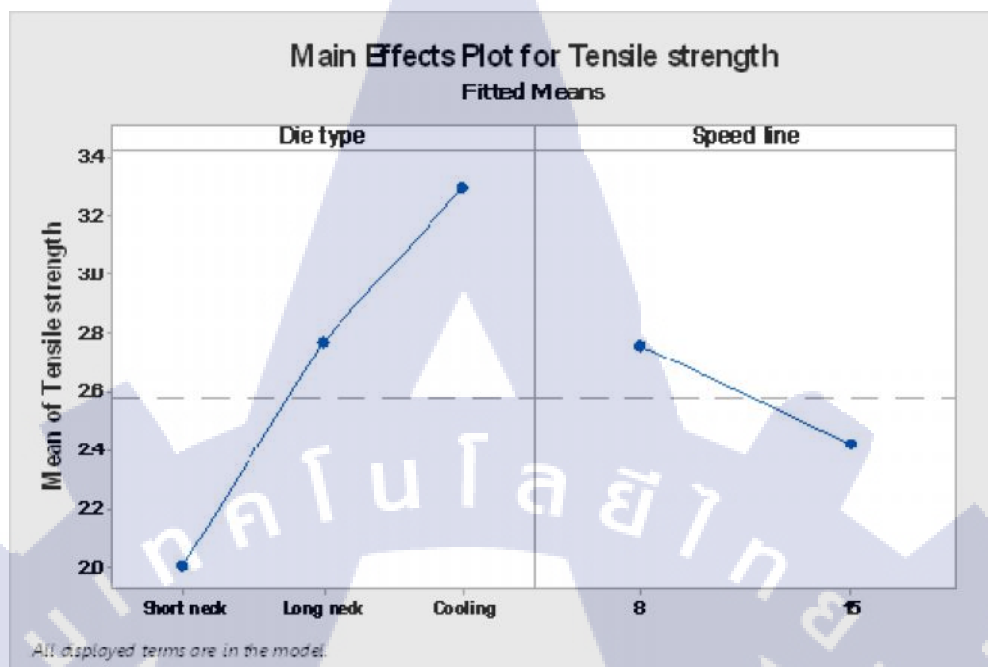
รูปที่ 34 ผลการวิเคราะห์แบบ General Full Factorial หลังการแปลงข้อมูลด้วยวิธี Box-Cox Transformation

จากรูปที่ 34 ค่า λ ที่เหมาะสมคือ -1.07626 และช่วงความเชื่อมั่น 95% ของค่า λ คือ (-2.34, 0.39) ซึ่งค่า λ ใกล้เคียง -1 จึงต้องทำการแปลงค่าเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป จากนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี Analyze Factorial Design เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนอง กับปัจจัยชนิดของ Die และ Speed line โดยพิจารณาค่า R^2 และ R^2_{adj} ในส่วนของ Model Summary พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 98.62% และค่า R^2_{adj} เท่ากับ 98.33% ซึ่งสะท้อนว่าการออกแบบปัจจัยและจำนวนซ้ำในการทดลองเหมาะสม



รูปที่ 35 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่เป็นอิทธิพลร่วมต่อค่าความแข็งแรงของตะเข็บ

เมื่อพิจารณาผลของปัจจัยในตาราง ANOVA (รูปที่ 34) จากค่า P-Value ของ 2-Way Interactions เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ (ช่วงความเชื่อมั่น 95%) ซึ่งแสดงการมีความสัมพันธ์ของอิทธิพลร่วม แต่เมื่อพิจารณาจากกราฟ Interaction Plot (รูปที่ 35) พบว่าเส้นกราฟไม่แสดงการตัดกันอย่างชัดเจน แต่มีแนวโน้มเบนเข้าหากันเท่านั้น จึงไม่สามารถระบุได้ว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย Die Type และ Speed Line ที่ชัดเจน จึงสรุปได้ว่า ปัจจัย Die Type และ Speed Line อาจมีอิทธิพลร่วมกันต่อความแข็งแรงของตะเข็บเพียงเล็กน้อยเท่านั้น



รูปที่ 36 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่เป็นอิทธิพลหลักต่อค่าความแข็งแรงของตะเข็บ

จากรูปที่ 36 เมื่อพิจารณาอิทธิพลหลัก Die Type พบว่า Die Cooling ให้ค่าความแข็งแรงของตะเข็บสูงที่สุด รองลงมาคือ Die Long Neck และ Die Short Neck ตามลำดับและเมื่อพิจารณาอิทธิพลหลัก Speed Line พบว่า ค่า Speed Line 8 m/min ให้ค่าความแข็งแรงของตะเข็บมากกว่า Speed Line 15 m/min

ซึ่งสอดคล้องกับค่า P-Value ของอิทธิพลหลัก Die Type และ Speed Line เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ (ช่วงความเชื่อมั่น 95%) แสดงว่าปัจจัย Die Type และ Speed Line ต่างก็ส่งอิทธิพลหลักต่อความแข็งแรงของตะเข็บเช่นกัน

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองสรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลหลักต่อความแข็งแรงของตะเข็บ คือ Die Type และ Speed Line นอกจากนี้ทั้ง Die Type และ Speed Line ยังส่งอิทธิพลร่วมกันเล็กน้อยต่อความแข็งแรงของตะเข็บ เมื่อเราทราบถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของตะเข็บแล้ว จากนั้นจึงได้ทำการหาเงื่อนไขที่เหมาะสม สำหรับการหาสมการค่าความแข็งแรงของตะเข็บโดยใช้ Regression Model เพื่อหาค่า Speed Line ที่สามารถทำให้ค่าความแข็งแรงของตะเข็บท่อนมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด จึงใช้โปรแกรม MINITAB ในการคำนวณ จึงได้ผลดังรูปที่ 37

Regression Analysis: Tensile strength versus Speed line, Die type						
Method						
Categorical predictor coding (1, 0)						
Backward Elimination of Terms						
α to remove = 0.1						
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Regression	5	8.94348	1.78870	219.18	0.000	
Speed line	1	0.32942	0.32942	40.37	0.000	
Die type	2	0.43540	0.21770	26.68	0.000	
Speed line*Die type	2	0.06340	0.03170	3.88	0.035	
Error	24	0.19586	0.00816			
Total	29	9.13934				
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)			
0.0903373	97.86%	97.41%	96.65%			
Coefficients						
Term	Coef	SECoef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	2.6199	0.0981	26.70	0.000		
Speed line	-0.05186	0.00816	-6.35	0.000	3.00	
Die type						
Long neck	0.771	0.135	5.55	0.000	15.73	
Cooling	0.955	0.109	6.09	0.000	15.73	
Speed line*Die type						
Long neck	-0.0006	0.0115	-0.05	0.961	16.39	
Cooling	0.0276	0.0115	2.39	0.025	16.39	
Regression Equation						
Die type						
Short neck	Tensile strength = 2.6199 - 0.05186 Speed line					
Long neck	Tensile strength = 3.3904 - 0.05243 Speed line					
Cooling	Tensile strength = 3.5753 - 0.02429 Speed line					
Fits and Diagnostics for Unusual Observations						
Obs	Tensile strength	Fit	Resid	StdResid		
12	3.0350	3.2110	-0.1760	-2.18	R	
21	2.7000	2.9710	-0.2710	-3.35	R	
27	3.1500	2.9710	0.1790	2.22	R	

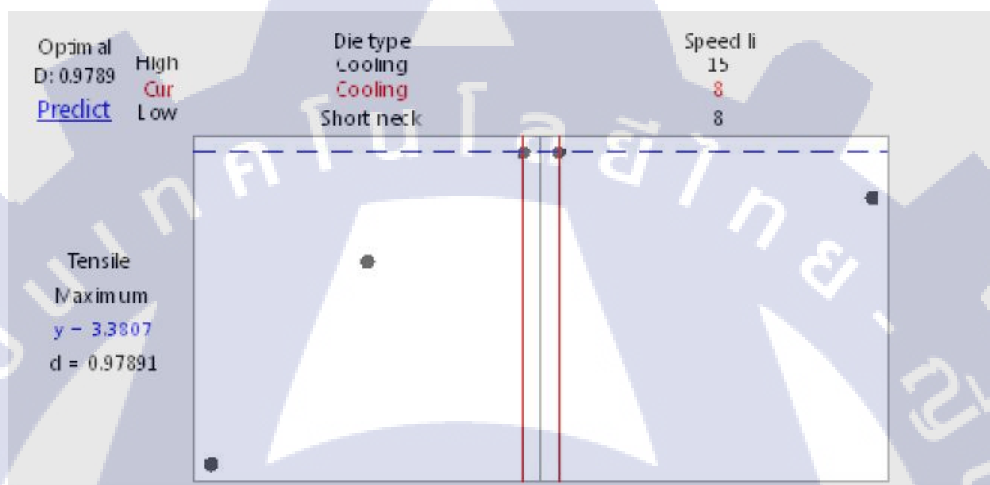
รูปที่ 37 ผลการวิเคราะห์ Regression Model

จากรูปที่ 37 ผลการวิเคราะห์ Regression Model จะได้สมการสำหรับหาค่า Speed Line ที่ให้ค่าความแข็งแรงของตะเข็บ (Tensile Strength) สูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด เมื่อใช้ Die ชนิดต่างๆ ดังนี้

Die Short neck สมการ คือ $\text{Tensile Strength} = 2.6199 - 0.05186 \text{ Speed Line}$

Die Long neck สมการ คือ $\text{Tensile Strength} = 3.3904 - 0.05243 \text{ Speed Line}$

Die Cooling สมการ คือ $\text{Tensile Strength} = 3.5753 - 0.02429 \text{ Speed Line}$



รูปที่ 38 การวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงของตะเข็บท่อ Optimization Plot

ทำการหาเงื่อนไขที่ดีที่สุดจากการทดลองด้วย Optimization Plot ดังรูปที่ 38 สภาวะที่ให้ค่าความแข็งแรงของตะเข็บสูงที่สุด คือ การใช้ Die Cooling ที่ Speed Line 8 m/min โดยมีค่าความแข็งแรงของตะเข็บเฉลี่ย 3.381 Kgf

เมื่อพิจารณาค่ามาตรฐานความแข็งแรงของตะเข็บท่อที่ใช้เป็นเกณฑ์ในปัจจุบัน ซึ่งมีค่า มากกว่าหรือเท่ากับ 3 Kgf จากรูปที่ 38 แสดงว่ามีเงื่อนไขที่เหมาะสม 2 เงื่อนไขที่ให้ค่าความแข็งแรงของตะเข็บสูงกว่าค่ามาตรฐาน คือ

- 1) Die ชนิด Cooling และ Speed Line 8 m/min
- 2) Die ชนิด Cooling และ Speed Line 15 m/min

สรุปผลเงื่อนไขการผลิตเรียงตามลำดับค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของตะเข็บได้ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 สรุปผลสภาวะการผลิตจากการทดลองเรียงตามลำดับค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของตะเข็บ

สภาวะที่	Die Type	Speed Line (m/min)	AVE Tensile Strength (Kgf)
1	Cooling	8	3.381
2	Cooling	15	3.211
3	Long Neck	8	2.971
4	Long Neck	15	2.604
5	Short Neck	8	2.205
6	Short Neck	15	1.842

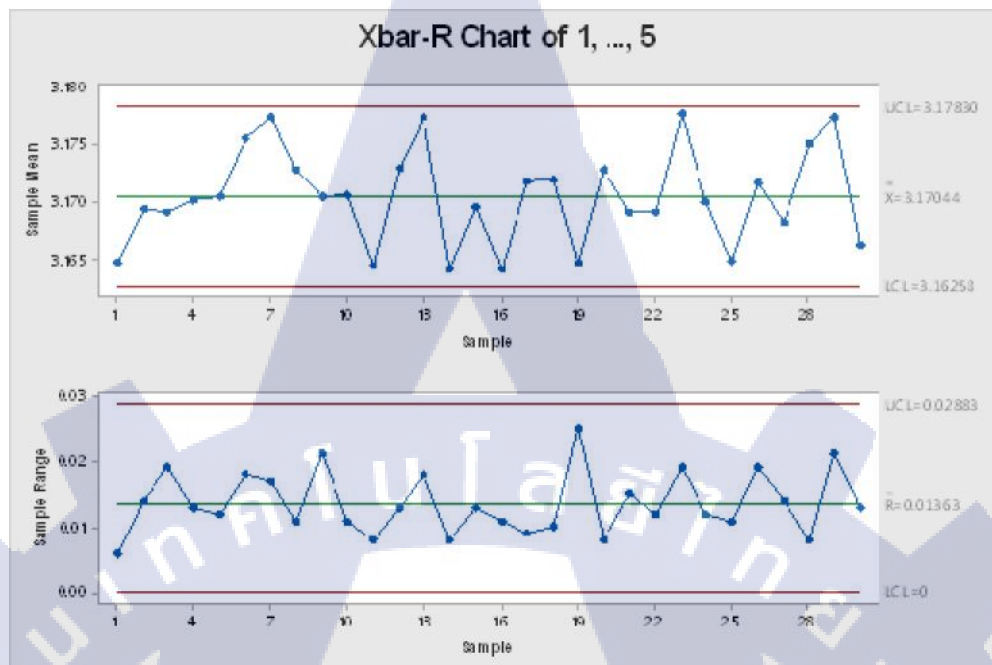
จากตารางที่ 11 ถึงแม้ว่าเงื่อนไขการผลิตที่ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของตะเข็บดีที่สุดคือ Die Cooling ที่ Speed Line 8 m/min แต่ทว่าเงื่อนไขนี้จะส่งผลต่อ Cycle Time ของการผลิตทำให้ยอดผลผลิต (Productivity) ลดลง 50% ซึ่งเป็นผลกระทบที่มีนัยสำคัญ ทางทีมงานจึงได้เลือกเงื่อนไขที่ตรงลงมาคือ Die Cooling ที่ Speed Line 15 m/min ซึ่งให้ค่าความแข็งแรงของตะเข็บเฉลี่ย 3.211 Kgf ซึ่งสูงกว่าค่าควบคุมที่กำหนด (3.00 Kgf) และไม่ส่งผลกระทบต่อยอดผลผลิต (Output) อีกด้วย จึงได้นำเงื่อนไขนี้มาใช้เป็นมาตรฐานต่อไป

6. ขั้นตอนการตรวจสอบยืนยันผล

เมื่อได้สภาวะการผลิตที่ดีขึ้นหลังการปรับปรุงแล้วนั้น ทีมงานได้ทำการแจ้งเปลี่ยนสภาวะการผลิตสินค้าในรุ่นนี้โดยใช้สภาวะ Die Cooling ที่ Speed Line 15 m/min ซึ่งทางฝ่าย Process Engineer ได้อัพเดทสภาวะใหม่นี้ลงในเอกสารที่เกี่ยวข้องทั้งหมด กล่าวคือ ECN (Engineering Change Note) และ Condition Card นอกจากนี้ยังได้ทำการประชุมเพื่อทำความเข้าใจกับพนักงานในแผนกทั้งหมด เพื่อให้ทราบทั่วกัน ทางฝ่ายประกันคุณภาพเองก็ได้ทำการแจ้งเจ้าหน้าที่ เพื่อจัดทำแผนภูมิควบคุม X-bar R Chart เพื่อเฝ้าติดตามผลหลังเริ่มใช้สภาวะการผลิตใหม่นี้ด้วยการสุ่มตัวอย่างต่อ 5 ชั้น/ล็อต จำนวน 30 ล็อตการผลิต ผลการตรวจสอบผลิตภัณฑ์มีดังนี้

ตารางที่ 12 ผลการตรวจสอบค่าความแข็งแรงของตะเข็บท่อน

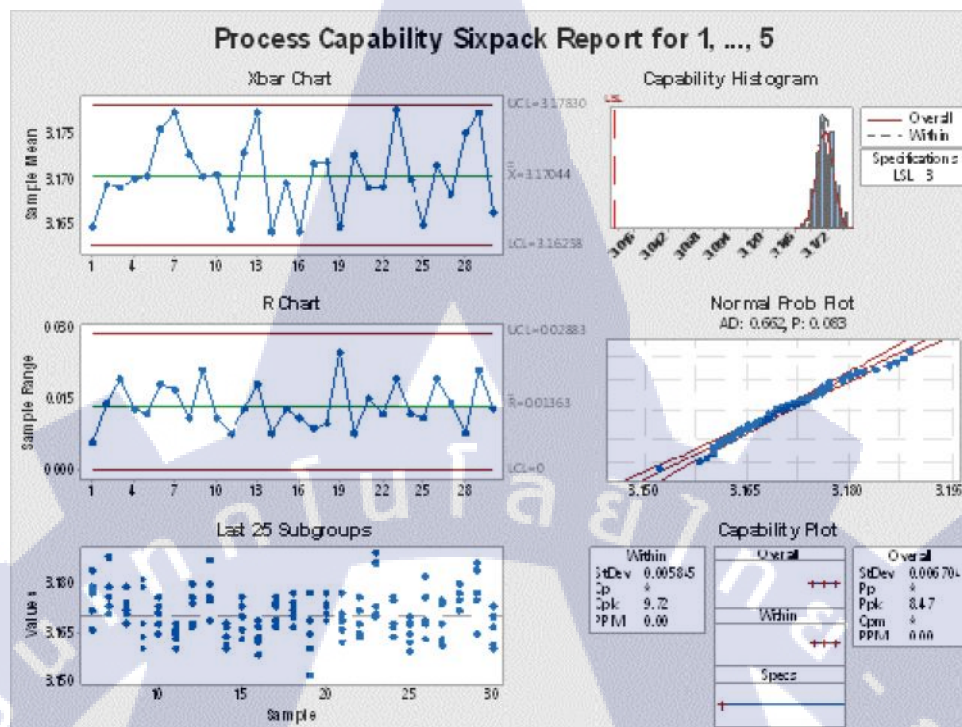
ลำดับ การผลิต	ค่าความแข็งแรงของตะเข็บท่อน (Kgf)				
	1	2	3	4	5
1	3.161	3.166	3.164	3.167	3.165
2	3.173	3.177	3.163	3.165	3.169
3	3.169	3.160	3.179	3.168	3.169
4	3.176	3.176	3.164	3.163	3.172
5	3.164	3.176	3.168	3.169	3.175
6	3.172	3.184	3.166	3.179	3.177
7	3.173	3.188	3.176	3.179	3.171
8	3.179	3.168	3.171	3.174	3.172
9	3.168	3.160	3.164	3.179	3.181
10	3.176	3.165	3.173	3.171	3.168
11	3.165	3.168	3.166	3.163	3.160
12	3.168	3.167	3.176	3.174	3.180
13	3.175	3.187	3.180	3.169	3.176
14	3.168	3.160	3.164	3.167	3.161
15	3.176	3.163	3.166	3.170	3.173
16	3.162	3.167	3.169	3.164	3.158
17	3.173	3.167	3.176	3.169	3.174
18	3.170	3.167	3.174	3.177	3.172
19	3.160	3.165	3.177	3.169	3.152
20	3.173	3.177	3.174	3.171	3.169
21	3.171	3.162	3.177	3.169	3.166
22	3.172	3.165	3.164	3.176	3.168
23	3.186	3.170	3.173	3.171	3.189
24	3.167	3.176	3.175	3.168	3.164
25	3.159	3.162	3.165	3.168	3.170
26	3.168	3.169	3.163	3.176	3.182
27	3.174	3.163	3.168	3.161	3.175
28	3.177	3.172	3.180	3.175	3.172
29	3.184	3.177	3.175	3.165	3.186
30	3.170	3.161	3.160	3.167	3.173



รูปที่ 39 แผนภูมิควบคุม X-bar-R Chart หลังการปรับปรุง

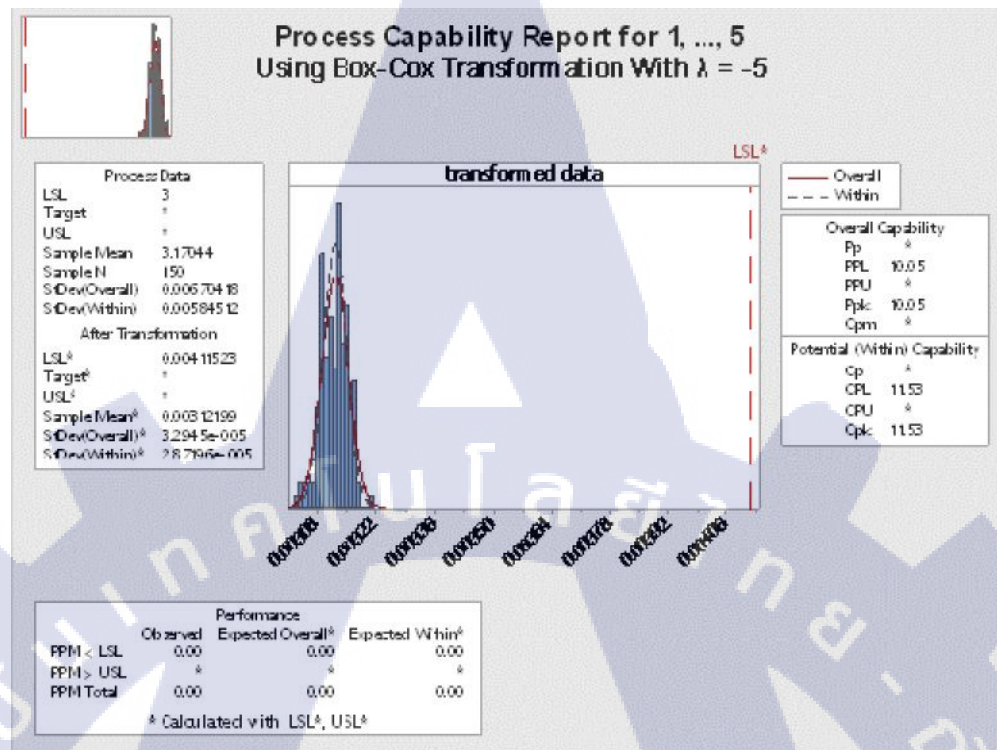
จากรูปที่ 39 หลังจากการติดตามผลการตรวจสอบค่าความแข็งแรงของตะเข็บต่อจำนวนทั้งสิ้น 10 ล็อตการผลิต พบว่าจากแผนภูมิ X-bar-R Chart พบว่า ค่าความผันแปรของชิ้นงานตัวอย่างภายในกลุ่มย่อย และระหว่างกลุ่มอยู่ในค่าควบคุม แสดงว่ากระบวนการอยู่ภายใต้ค่าควบคุม

นอกจากนี้เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลอง จึงได้ทำการประเมินความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) โดยใช้ค่าค่าความแข็งแรงของตะเข็บหลังการทดลอง



รูปที่ 40 ผลการวิเคราะห์คุณภาพข้อมูลเพื่อหาค่าความสามารถของกระบวนการ

จากรูปที่ 40 เมื่อพิจารณารูป X-bar Chart พบว่าข้อมูลกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและอยู่ภายใต้การควบคุม และเมื่อพิจารณารูป S Chart พบว่า ข้อมูลกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ไม่แสดงถึงรูปแบบหรือมีแนวโน้ม แสดงว่าข้อมูลมีความผันแปรปกติสามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการประเมินค่าความสามารถของกระบวนการได้ เมื่อพิจารณาการแจกแจงของข้อมูลโดยกราฟ Histogram พบว่าข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติ จึงทำการแปลงข้อมูลด้วยวิธี Box-Cox Transformation

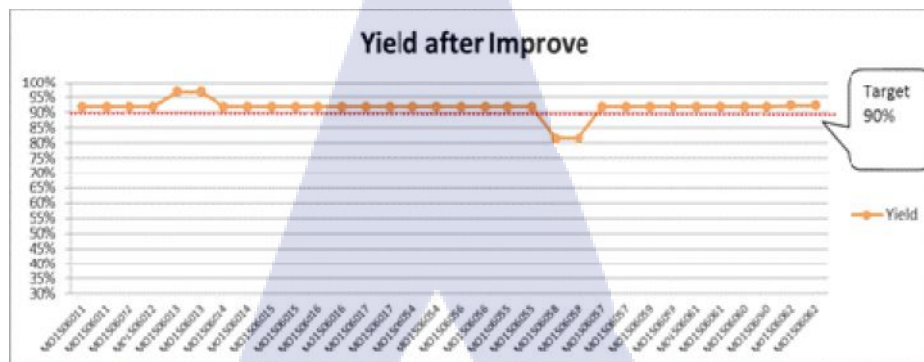


รูปที่ 41 ผลการวิเคราะห์ Process Capability ของกระบวนการหลังการทดลอง

จากรูปที่ 41 ผลการประเมินความสามารถของกระบวนการ พบว่าค่า Cpk เท่ากับ 11.53 และค่า Ppk เท่ากับ 10.05 แสดงว่าเงื่อนไขที่ได้จากการทดลองทำให้กระบวนการมีความสามารถที่ดีมาก ทั้งนี้อีกเหตุผลหนึ่งซึ่งทำให้ค่าความสามารถของกระบวนการมีค่าสูงอาจเนื่องมาจากมาตรฐานถูกกำหนดไว้กว้าง และไม่มีค่าควบคุมด้านบน หรือ Upper Limit

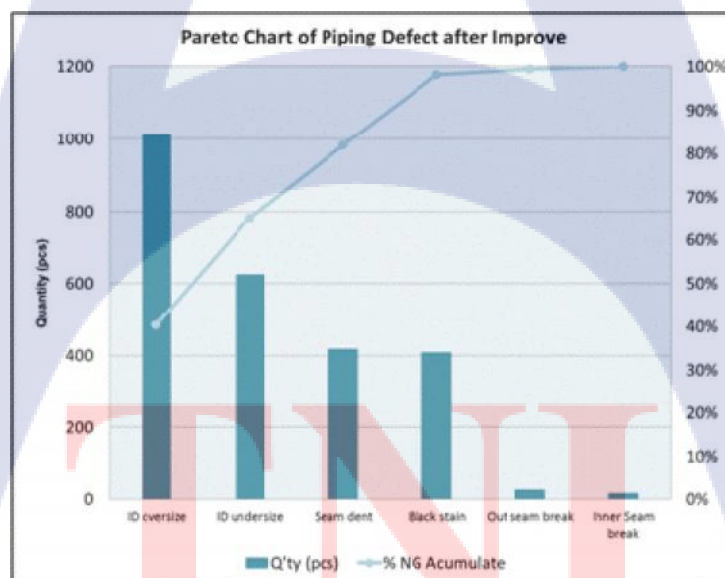
7. ขั้นตอนการสรุปผลโครงการ

หลังจากการนำเงื่อนไขที่ได้จากการทดลองมาปรับใช้ในกระบวนการผลิต สามารถสรุปผลที่ได้ดังนี้



รูปที่ 42 ค่าร้อยละผลผลิต (Yield) หลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 42 พบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละของผลผลิต (Yield) เพิ่มขึ้นจาก 84% ก่อนปรับปรุง เป็น 92% หลังปรับปรุง และสูงกว่าเป้าหมาย ซึ่งกำหนดเป็นนโยบายของบริษัทคือ 90% อีกด้วย



รูปที่ 43 แผนภูมิพาเรโตหลังการทดลอง

จากรูปที่ 43 เมื่อพิจารณาแผนภูมิพาเรโตหลังการปรับปรุงพบว่าปัญหาตะเข็บปรีนนั้น ลดลงจาก 73.93% ของจำนวนของเสียทั้งหมดก่อนปรับปรุง เหลือเพียง 1.83% หลังปรับปรุง หรือของเสียลดลงคิดเป็น 97%

บทสรุป

1. ผลการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตจนพบว่ามีปัญหาความแข็งแรงของตะเข็บมีสาเหตุมาจากปัจจัย 2 ประการ คือ ชนิดของ Die และ Speed Line ที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อความแข็งแรงของตะเข็บท่อ

2. จากผลการทดลองพบว่า เงื่อนไขการผลิตที่ดีที่สุด คือการใช้ Die ชนิด Cooling และ Speed Line 8 m/min จะให้ค่าความแข็งแรงของตะเข็บท่อสูงที่สุด แต่เนื่องจากเงื่อนไขนี้จะส่งผลต่อยอดผลผลิต (Output) ซึ่งลดลง 50% ทางทีมงานจึงตัดสินใจนำเงื่อนไขการใช้ Die ชนิด Cooling และ Speed Line 15 m/min ที่ให้ผลดีเป็นอันดับ 2 มาใช้ เพราะจะไม่กระทบต่อยอดผลผลิต (Output)

3. ผลภายหลังจากการปรับปรุง พบว่าสามารถลดจำนวนของเสียลงจากเดิม 73.9 ชิ้น ใน 100 ชิ้น เหลือเพียง 1-2 ชิ้นใน 100 ชิ้น หรือลดลง 97%

ข้อเสนอแนะ

1. ในการปรับปรุงกระบวนการครั้งนี้ สามารถหาปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อปัญหาความแข็งแรงของตะเข็บท่อแล้วนั้น แต่ก็ยังไม่ได้ทำให้ของเสียตะเข็บปริเป็นศูนย์ นั้นแสดงว่ายังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลกระทบต่อปัญหานี้ซึ่งยังมิได้ถูกปรับปรุงแก้ไข จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อจัดปัญหาคุณภาพของท่อ

2. นอกจากเรื่องความแข็งแรงของตะเข็บท่อแล้ว กระบวนการนี้จะต้องได้รับการปรับปรุงพัฒนาต่อไปอย่างต่อเนื่องเนื่องจากยังพบปัญหาคุณภาพด้านอื่นๆ การปรับปรุงอย่างต่อเนื่องนี้จะทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่บริษัท และเพื่อสร้างความพึงพอใจให้ลูกค้ามากยิ่งขึ้น

ประโยชน์ที่ได้จากการทำสารนิพนธ์

1. สามารถปรับปรุงค่าร้อยละของผลผลิต (Yield) ได้ตามนโยบายกำหนดไว้ที่ 90% ซึ่งค่าเฉลี่ยร้อยละผลผลิตที่ได้อยู่ที่ 92%
2. สามารถลดต้นทุนจากจำนวนของเสียที่ลดลง 97% หรือคิดเป็นเงิน 480,000 บาท/ปี
3. พนักงานปฏิบัติงานได้ราบรื่นขึ้นและลดเวลาในการคัดเลือก (Sorting)



บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กมลวรรณ รักรวงศ์ภัทร. (2556). การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเสียรูปของชิ้นงานที่ส่งผลต่อกระบวนการพิมพ์หมายเลขตัวรถด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง. สารนิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2551). การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (ประมวลผลด้วย Minitab). พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- จตุรวิทย์ คงเขียว. (2557). การลดของเสียในกระบวนการผลิตด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา กระบวนการผลิต Surface Mount Technology (SMT). สารนิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ชยาภรณ์ พร้อมมูล. (2557). การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อลดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทฉีดไม่เต็มแบบในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์. สารนิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ชลิดา ชาญวิจิตร. (2553). การออกแบบการทดลองเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูประบบสุญญากาศสำหรับพลาสติกชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์. สารนิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ชุตินา ราชพิทักษ์. (2551). การลดของเสียจากกระบวนการผลิตแบบแมชชีนนิ่ง โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ชูศรี วงศ์รัตน์; และองอาจ นัยพัฒน์. (2551). แบบแผนการวิจัยเชิงทดลองและสถิติวิเคราะห์แนวคิดพื้นฐานและวิธีการ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฐวุฒิ พุทธา. (2557). การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตประตูเตาอบไฟฟ้าโดยการออกแบบการทดลองแบบ 2^k . สารนิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

- ทรงศพร สกุลพิพัฒน์. (2551). การประยุกต์ใช้กระบวนการ **DMAIC** ในอุตสาหกรรมผลิตแผ่นวงจรรวม. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา; และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. (2551). การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ท้อป จำกัด.
- พรชัย โชควัฒน์วิกุล. (2552). การปรับปรุงกระบวนการประกอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำของเครื่องจักร **Mounting** ด้วยวิธีการ **DMAIC**. สารนิพนธ์ วศ.ม. (การพัฒนางานอุตสาหกรรม). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- พรสิน สุภาวาลย์. (2557). การวิเคราะห์การถดถอย. สืบค้นเมื่อ 20 เมษายน 2559, จาก <http://www.watpon.com/th/mod/page/view.php?id=15>.
- พิชิต สุขเจริญพงษ์. (2558). สรุปคำบรรยายการออกแบบการทดลอง (**DOE**). เอกสารประกอบการสอน. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น.
- วลัยพร เหมโส. (2556). การลดของเสียจากกระบวนการผลิตผ้าเบรครถยนต์โดยประยุกต์ใช้วิธีการ **DMAIC**. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์. (2558). สถิติสำหรับวิศวกรโรงงาน (ภาคปฏิบัติ). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- สมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย. (2559). เครื่องมือคุณภาพ ตอนที่ 1. สืบค้นเมื่อ 14 มกราคม 2559, จาก <http://www.nst.or.th/article/article492/article492086.html>.
- สิทธิศักดิ์ พฤษชัยติกุล. (2546). การพัฒนาคุณภาพแบบก้าวกระโดด ด้วยวิธี **Six Sigma**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).



TNI