

การลดตำหนิในกระบวนการผลิตขวดน้ำด้วยเทคนิค
การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและ
การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ

อารีย์ วรียพจนานนท์

ลิขสิทธิ์ของวิทยานิพนธ์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
Copyright © by Chiang Mai University
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
All rights reserved

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
พฤษภาคม 2562

การลดตำหนิในกระบวนการผลิตขวดตาข่ายด้วยเทคนิค
การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและ
การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ

อารีย์ วัชรพงษ์พานิช

วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อมหาวิทยาลัยเชียงใหม่เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
พฤษภาคม 2562

การลดตำหนิในกระบวนการผลิตลดค่าใช้จ่ายด้วยเทคนิคการวิเคราะห์
ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ

อารีย์ วิริยพจนานนท์

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะกรรมการสอบ

อาจารย์ที่ปรึกษา


..... ประธานกรรมการ
(รศ.ดร.วิชัย ถัดรินวัฒน์)


.....
(รศ.ดร.รุ่งนัตร์ ชมภูอินไหว)


..... กรรมการ
(รศ.ดร.รุ่งนัตร์ ชมภูอินไหว)


..... กรรมการ
(รศ.ดร.ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์)


..... กรรมการ
(รศ.ดร.จตุรภัทร วาฤทธิ)

2 พฤษภาคม 2562

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และความกรุณาจากบุคคลหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รศ.ดร.รุ่งฉัตร ชมภูอิน ไหว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่เป็นผู้ให้ความรู้และคำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย และยังช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำงานวิจัย รวมทั้งยังคอยให้กำลังใจในการทำงาน ติดตามความก้าวหน้าของงาน คอยรับฟังความคิดเห็นของผู้วิจัย และดูแลเอาใจใส่ในทุกๆ เรื่องอย่างสม่ำเสมอ จนงานวิจัยนี้สำเร็จออกมาได้อย่างสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณที่คอยช่วยเหลือและดูแลลูกศิษย์คนนี้ด้วยดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วิชัย ฉัตรทิณวัฒน์ รศ.ดร.ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์ และรศ.ดร. จตุรภัทร วาฤทธิ์ ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำ ความรู้ พร้อมกับแนวทางในการแก้ไขเพื่อให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้สนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัย คือ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ทุนผู้ช่วยสอนและผู้ช่วยวิจัย (TA/RA) ปีการศึกษา 2559-2560 ในระหว่างที่ผู้วิจัยกำลังศึกษาอยู่ อีกทั้งยังช่วยสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ปีงบประมาณ 2560 เพื่อใช้ในการวิจัยอีกด้วย และต้องขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้การสนับสนุนทุนผู้ช่วยวิจัยระดับปริญญาโทเพื่ออุตสาหกรรม โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ประจำปี 2561 ซึ่งทุนดังกล่าวช่วยส่งผลทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ทุนการศึกษาสำหรับเสนอผลงานวิชาการระดับนานาชาติ ประจำปี 2561 เพื่อใช้จ่ายเป็นค่าลงทะเบียน รวมทั้งขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการที่ได้สนับสนุนค่าใช้จ่ายระหว่างการเดินทางไปนำเสนอผลงานวิชาการ

ขอขอบพระคุณบริษัทกรีนศึกษา และผู้ที่คอยอำนวยความสะดวกและคอยช่วยเหลืออย่างเต็มที่ในการทำวิจัยครั้งนี้ซึ่งก็คือ คุณสุนิรันดร์ บริสุทธิ์ คุณประจัญ ศรียอง และคุณเกรียงศักดิ์ ทาทอง ผู้ที่ให้ข้อมูลและให้คำแนะนำเพื่อนำมาปรับใช้กับงานวิจัยได้เป็นอย่างดี รวมทั้งขอขอบคุณพี่ๆ พนักงานในบริษัทที่ให้ความร่วมมือในการทำวิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่คอยช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานต่างๆ ให้กับผู้วิจัย และขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ที่เรียนปริญญาโทด้วยกัน ที่คอยช่วยเหลือดูแลกัน คอยปรับทุกข์ แลกเปลี่ยนความคิดเห็นและทัศนคติต่างๆ ด้วยกัน และยังคงอยู่ให้กำลังใจซึ่งกันและกันเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณสมาชิกครอบครัววิรัชพงสานนท์ ได้แก่ คุณพ่อ คุณแม่ และ พี่ชาย ซึ่งเป็นผู้สนับสนุนหลักที่อยู่เบื้องหลังของทุกๆ สิ่ง ค่อยผลักดัน และสร้างกำลังใจ พร้อมทั้งเป็น ต้นแบบและแนวทางการใช้ชีวิตให้ผู้วิจัยได้ดำเนินรอยตามจนกระทั่งประสบความสำเร็จในวันนี้

อารีย์ วิรัชพงสานนท์



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การลดตำหนิในกระบวนการผลิตลวดตาข่ายด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร และการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ

ผู้เขียน

นางสาวอารีย์ วรียพจนานนท์

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม)

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. รุ่งฉัตร ชมภูอินทร์

บทคัดย่อ

กระบวนการผลิตลวดตาข่ายที่ใช้สำหรับงานก่อสร้างมักเกิดตำหนิขึ้นหลายประเภท งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดจำนวนตำหนิในกระบวนการผลิตลวดตาข่าย โดยการหาตัวแปรหรือปัจจัยในการผลิตที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนตำหนิที่เกิดขึ้นบนผืนงานลวดตาข่าย และทำการออกแบบการทดลองเชิงสถิติเพื่อหาค่าของปัจจัยที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิต ขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากการศึกษากระบวนการผลิตลวดตาข่ายของบริษัทกรณีศึกษาและคัดเลือกผลิตภัณฑ์ในการทำการศึกษา ในขั้นตอนต่อมา จึงทำการจัดลำดับความสำคัญของตำหนิ เพื่อคัดเลือกตำหนิที่ต้องทำการปรับปรุงก่อน โดยใช้หลักการของพาเรโตร่วมกับการใช้เทคนิคการหากฎความสัมพันธ์ (Association rules) ทั้งนี้เทคนิคการหากฎความสัมพันธ์นั้นใช้เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตำหนิว่ามีตำหนิชนิดใดเกิดขึ้นพร้อมกันหรือไม่ เพื่อช่วยลดประเภทของตำหนิที่ต้องศึกษาลง ผลการวิจัยพบว่า ตำหนิที่มีความสำคัญและควรได้รับการแก้ไขก่อนมีอยู่ 2 ประเภท คือ ตำหนิ S_1 (โดยรุ่นการผลิตที่เกิดตำหนิ S_1 มักเกิดตำหนิ S_2 ด้วย) และตำหนิ S_3 จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดตำหนิแต่ละประเภทโดยใช้แผนผังแสดงเหตุและผล ซึ่งจากการประชุมระดมสมองร่วมกับผู้เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตพบว่า การตั้งค่าเครื่องจักรเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดตำหนิมากที่สุด ต่อมาผู้วิจัยจึงได้เก็บรวบรวมข้อมูลรายละเอียดการตั้งค่าเครื่องจักรและตำหนิที่เกิดในอดีต แล้วทำการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) และการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เพื่อหาปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักรที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนตำหนิ ผลจากการวิจัยพบว่า ตำหนิ S_1 มีความสัมพันธ์กับปัจจัย X_3 , X_8 และ X_{10} อย่างไรก็ตาม ตำหนิ S_3 ไม่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักรใดเลย ถัดมาเป็นขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการโดยได้ทำการปรับปรุงตามประเภทของตำหนิ กล่าวคือ สำหรับตำหนิ S_1 ได้นำปัจจัยทั้ง 3 ที่วิเคราะห์ได้ข้างต้นไปใช้ในการออกแบบการ

ทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบเต็มจำนวน 2^k เพื่อหาค่าระดับของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการที่ทำให้เกิดตำหนิน้อยที่สุด ผลการวิจัยพบว่า ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดคือ ปัจจัย X_3 ที่ 7 ปัจจัย X_8 ที่ 50 และปัจจัย X_{10} ที่ 865 ตามลำดับ ส่วนปัญหาดำหนด S_3 ได้ใช้เทคนิคป้องกันความผิดพลาดในการแก้ปัญหา โดยการสร้างแผนตรวจสอบเพื่อใช้ตรวจสอบเครื่องจักรก่อนทำการทอ ขั้นตอนสุดท้ายได้ทำการออกแบบเอกสารการปฏิบัติงานในการตั้งค่าเครื่องจักร เพื่อควบคุมให้พนักงานใช้มาตรฐานเดียวกันในการทำงาน ผลหลังจากการปรับปรุงพบว่า สามารถลดปัญหาดำหนด S_1 ได้ 87.8% หรือ 6.12 จุดตำหนิ/รุ่นการผลิต ในขณะที่ปัญหาดำหนด S_2 ลดลงไป 6.7 จุดตำหนิ/รุ่นการผลิต เท่ากับ 96.4% และปัญหาดำหนด S_3 ลดลงไป 0.947 จุด/รุ่นการผลิต ลดลงคิดเป็น 45.8 % ตามลำดับ



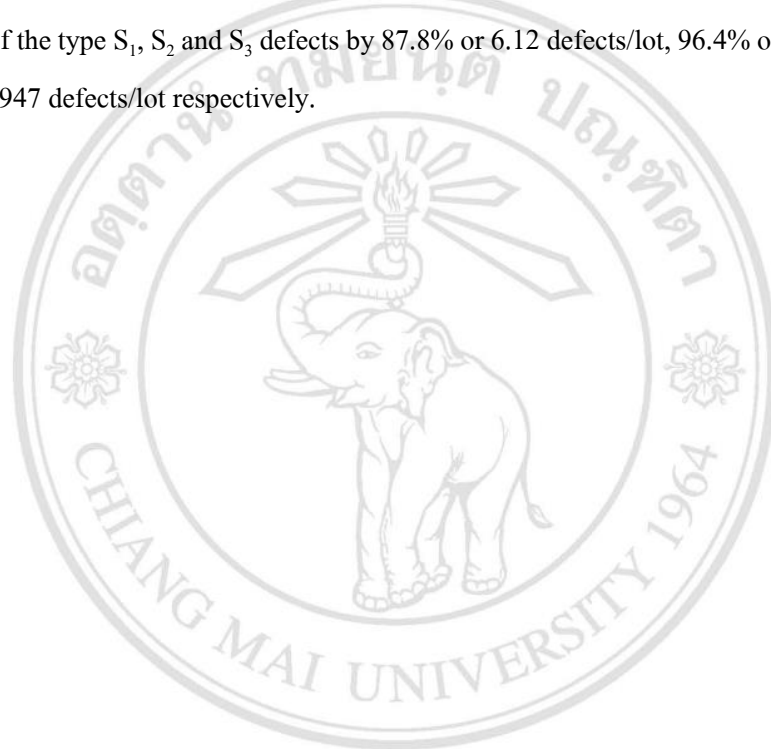
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Thesis Title	Defect Reduction in Wire Mesh Production Process Using Analysis of Relationship Between Variables and Statistical Design of Experiments Techniques
Author	Ms. Aree Wiriyaphongsanon
Degree	Master of Engineering (Industrial Engineering)
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Rungchat Chompu-inwai

ABSTRACT

Many categories of defects frequently occur in the production process of wire mesh used for construction. This research has the main objective of reducing the amounts of defects in the wire mesh production process by finding variables or factors in production which are related with the amounts of defects occurring, and using the Statistical Design of Experiments Techniques to determine the appropriate levels of factors for the production process. The procedure of this research started from studying the wire mesh production process in the case study company and selecting a product for the study. For the next step, the categories of defect were prioritized to select those which required prior improvement using the Pareto principle and the principle of Association Rules. The latter were used to analyze relationships between defects such as whether any kinds of defects occurred together, to help reduce the categories of defects requiring study. The research found that there were two important categories of defect which should be addressed as priority, type S_1 defect (the production lots that occur type S_1 defect also frequently occur type S_2 defect as well) and type S_3 defect. From there analysis was conducted to identify the causes of each kind of defect with a Cause and Effect Diagram. A brainstorming session with the relevant personnel found that machinery settings were the factors causing opportunities for the greatest amounts of defects to occur. The researcher then collected data of detailed machine settings and defects which had occurred in the past. Correlation Analysis and Regression Analysis were then used to identify the machine setting factors related with the amounts of defects. The research found that the type S_1 defect was related with the factor X_3 , X_8 and X_{10} , however, the type S_3 defect was not related with any machine setting factors. Next is the step

of improving the process according to the type of defect. For the type S_1 defect, the three previously mentioned machine setting factors were used in a 2^k Full Factorial Design of Experiment to determine the level of each factor in the production process that causes the least defects. The optimal parameters for X_3 , X_8 and X_{10} were found to be 7, 50 and, 865 respectively. For the type S_3 defect, Poka-Yoke technique was applied to solve the problem. Check sheet was developed and used to check machines before weaving. In the final step, the work instruction for machine setting was developed to control the employees to use the same working standard. The results showed that it was possible to decrease the proportion of the type S_1 , S_2 and S_3 defects by 87.8% or 6.12 defects/lot, 96.4% or 6.7 defects/lot, and 45.8% or 0.947 defects/lot respectively.



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	จ
ABSTRACT	ข
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา	4
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับการศึกษา	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1.1 เครื่องมือที่ใช้จัดลำดับความสำคัญของปัญหา	5
2.1.2 เครื่องมือที่ใช้หาสาเหตุของปัญหา	9
2.1.3 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับผลตอบ	11
2.1.4 เทคนิคการออกแบบการทดลอง	15
2.1.5 แนวทางการลดของเสียโดยใช้เทคนิคป้องกันความผิดพลาด (Poka-Yoke)	25
2.1.6 การทอหลอดตาข่าย	26
2.2 ทบทวนวรรณกรรมและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	
3.1 การศึกษาหลักการทฤษฎีที่เกี่ยวข้องงานวิจัยในอดีตและกระบวนการผลิตหลอดตาข่าย	41
3.2 การจัดลำดับความสำคัญและคัดเลือกประเภทคำหั้นที่ต้องทำการปรับปรุง	41
3.3 การรวบรวมข้อมูลของสภาพปัญหาก่อนปรับปรุง	43
3.4 การวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดคำหั้นแต่ละประเภท	43

3.5	การปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดจำนวนตำหนิแต่ละประเภท	43
3.6	การเปรียบเทียบผลการเกิดตำหนิก่อนและหลังการปรับปรุงและกำหนดมาตรฐานการทำงาน	46
บทที่ 4 ผลการวิจัย		
4.1	กระบวนการผลิตลดตำหนิ	47
4.2	การจัดลำดับความสำคัญและคัดเลือกประเภทตำหนิที่ต้องทำการปรับปรุง	48
4.2.1	ผลการจัดลำดับความสำคัญและคัดเลือกประเภทตำหนิโดยใช้แผนภาพพาเรโต	48
4.2.2	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตำหนิโดยใช้เทคนิคการหาความสัมพันธ์	49
4.3	ข้อมูลของสภาพปัญหาก่อนปรับปรุง	51
4.4	ผลการวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดตำหนิแต่ละประเภท	51
4.5	ผลการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดจำนวนตำหนิแต่ละประเภท	59
4.5.1	ผลการลดตำหนิผิงานในแนวขวางไม่สม่ำเสมอ (S_1)	60
4.5.2	ผลการลดตำหนิผิงานด้านขวางของ (S_3)	75
4.6	การเปรียบเทียบผลการเกิดตำหนิก่อนและหลังการปรับปรุง และกำหนดมาตรฐานการทำงาน	78
บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย		
5.1	สรุปผลการวิจัย	80
5.2	อภิปรายผลการวิจัย	81
5.3	ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยในอนาคต	83
เอกสารอ้างอิง		85
ภาคผนวก		
ภาคผนวก ก	ข้อมูลปริมาณตำหนิบนผิงานทอกันปลวก ช่วงปี พ.ศ.2559 -2561	91
ภาคผนวก ข	คู่มือปฏิบัติงานการตั้งค่าเครื่องจักรก่อนทำการทอ	93
ภาคผนวก ค	แบบฟอร์มบันทึกการเก็บข้อมูล	96
ประวัติผู้เขียน		98

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ของอิทธิพลต่างๆ ในการออกแบบ 2^3	20
ตารางที่ 2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบ 2^3	22
ตารางที่ 2.3 ประเภทของตำหนิที่เกิดขึ้นบนผืนงานทอลวดตาข่าย	28
ตารางที่ 2.4 แสดงวิธีการคัดกรองปัจจัยจากข้อมูลในอดีต	34
ตารางที่ 2.5 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้	39
ตารางที่ 3.1 สรุปสาเหตุของการเกิดตำหนิแต่ละประเภท	43
ตารางที่ 3.2 ปัจจัยและระดับที่ใช้ในการทดลองเพื่อลดตำหนิที่เกิดขึ้นบนผืนงาน	44
ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงการออกแบบการทดลอง	45
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลเพื่อใช้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์	50
ตารางที่ 4.2 กฎความสัมพันธ์ของตำหนิที่เกิดขึ้นบนผืนงาน	50
ตารางที่ 4.3 จำนวนตำหนิเฉลี่ยต่อ 1 รูน (Lot) การผลิตลวดตาข่ายแยกตามประเภทของตำหนิ	51
ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการตั้งค่าเครื่องจักรแต่ละปัจจัยกับตำหนิตาข่ายของผืนงานในแนวขวางไม่สม่ำเสมอ (S_1) และค่า P-Value	54
ตารางที่ 4.5 ค่า P-Value ค่าสัมประสิทธิ์ และค่า t ที่ใช้ทดสอบด้วยสถิติ t-test เพื่อวิเคราะห์การถดถอยระหว่างปัจจัยการตั้งค่าเครื่องจักรแต่ละปัจจัยกับตำหนิตาข่ายของผืนงานในแนวขวางไม่สม่ำเสมอ (S_1)	54
ตารางที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการตั้งค่าเครื่องจักรแต่ละปัจจัยกับตำหนิตาข่ายทางด้านขวางของผืนงาน (S_2) และค่า P-Value	58
ตารางที่ 4.7 ค่า P-Value ค่าสัมประสิทธิ์ และค่า t ที่ใช้ทดสอบด้วยสถิติ t-test เพื่อวิเคราะห์การถดถอยระหว่างปัจจัยการตั้งค่าเครื่องจักรแต่ละปัจจัยกับตำหนิตาข่ายทางด้านขวางของผืนงาน (S_2)	58
ตารางที่ 4.8 สรุปแนวทางการแก้ไขตำหนิแต่ละประเภท	59
ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง	61
ตารางที่ 4.10 การประมาณผลกระทบจากการทดลองและการวิเคราะห์ความแปรปรวนของทุกพจน์ โดยมีผลตอบเป็นจำนวนตำหนิ S_1 (F&T)	66
ตารางที่ 4.11 การประมาณผลกระทบและการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยในการทดลอง ที่มีผลต่อผลตอบ (S_1) F&T	67

ตารางที่ 4.12 การประมาณผลกระทบจากการทดลองและการวิเคราะห์ความแปรปรวนของทุกพจน์	71
โดยมีผลตอบเป็นจำนวนดำหนิ S_2 (F&T)	
ตารางที่ 4.13 การประมาณผลกระทบและการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยในการทดลอง	72
ที่มีผลต่อผลตอบ (S_2) F&T	
ตารางที่ 4.14 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ตั้งค่าในฟังก์ชัน Response Optimization	74
ตารางที่ 4.15 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดดำหนิบนผิงานน้อยที่สุด	75
ตารางที่ 4.16 ผลการทดลองเพื่อยืนยันผล	75
ตารางที่ 4.17 ข้อมูลจำนวนดำหนิที่เกิดขึ้นบนผิงานหลังกระบวนการปรับปรุง	78
ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบมูลค่าความเสียหายของการเกิดดำหนิแต่ละประเภทก่อนและหลังทำการปรับปรุง	83



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved

สารบัญรูป

หน้า

รูป 1.1	ปริมาณการผลิตลวดตาข่ายของบริษัทกรณีศึกษาแยกเป็นรายปีและรายผลิตภัณฑ์ (ตารางเมตร)	2
รูป 1.2	ลักษณะของตำหนิที่เกิดบนผืนงานลวดตาข่าย	3
รูป 2.1	โครงสร้างแผนภูมิฟอเรโต	6
รูป 2.2	Market basket analysis	7
รูป 2.3	แผนผังแสดงเหตุและผล	10
รูป 2.4	แผนภาพกระจายลักษณะต่างๆ	12
รูป 2.5	แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ	16
รูป 2.6	เมทริกซ์การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3	20
รูป 2.7	บริเวณวิกฤตของสมมติฐานหลักสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน	23
รูป 2.8	งานลวดตาข่ายประเภทต่างๆ	27
รูป 2.9	ลักษณะการทอแบบสานแบบธรรมดา (Plain weave)	27
รูป 2.10	ลักษณะการทอแบบสานแบบดัชต์ ธรรมดา (Plain Dutch Weave)	28
รูป 3.1	ขั้นตอนการทำวิจัย	40
รูป 4.1	แผนภาพกระบวนการผลิตลวดตาข่าย	47
รูป 4.2	แผนภูมิฟอเรโตแสดงจำนวนตำหนิแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นบนผืนงานแยกตามประเภท	49
รูป 4.3	ลักษณะตำหนิตาข่ายของผืนงานในแนวขวางไม่สม่ำเสมอ (S_1)	52
รูป 4.4	แผนผังกิ่งปลาแสดงสาเหตุของการเกิดตำหนิ S_1	53
รูป 4.5	ลักษณะตำหนิลวดทางด้านขวางขดงอ (S_2)	56
รูป 4.6	แผนผังกิ่งปลาแสดงสาเหตุของการเกิดตำหนิ S_3	57
รูป 4.7	กราฟแสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบตำหนิ S_1 (F&T)	62
รูป 4.8	กราฟทดสอบความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างตำหนิ S_1	63
รูป 4.9	กราฟแสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบตำหนิ S_2 (F&T)	64
รูป 4.10	กราฟทดสอบความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างตำหนิ S_2	65
รูป 4.11	กราฟฟอเรโตแสดงผลกระทบที่มีต่อผลตอบ (S_1) F&T	68
รูป 4.12	กราฟแสดงความน่าจะเป็นแบบปกติของผลกระทบที่มีต่อผลตอบ (S_1) F&T	69
รูป 4.13	Main Effects Plot ของข้อมูลจำนวนตำหนิ S_1 ที่ผ่านการแปลงข้อมูลด้วยวิธี F&T	70

รูป 4.14	Interaction Plot ของข้อมูลจำนวนตำหนิ S_1 ที่ผ่านการแปลงข้อมูลด้วยวิธี F&T	70
รูป 4.15	ค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนตำหนิ S_1 และตำหนิ S_2 ที่เกิดขึ้น	74
รูป 4.16	การติดตั้งอุปกรณ์ที่ช่วยในการวัดระยะฟรีในการวิ่งของหัวสกรบนเครื่องจักร	76
รูป 4.17	ใบตรวจสอบเครื่องจักรก่อนทำการทอ	77
รูป 4.18	กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบจำนวนตำหนิเฉลี่ยก่อนและหลังการปรับปรุง	78



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved

บทที่ 1

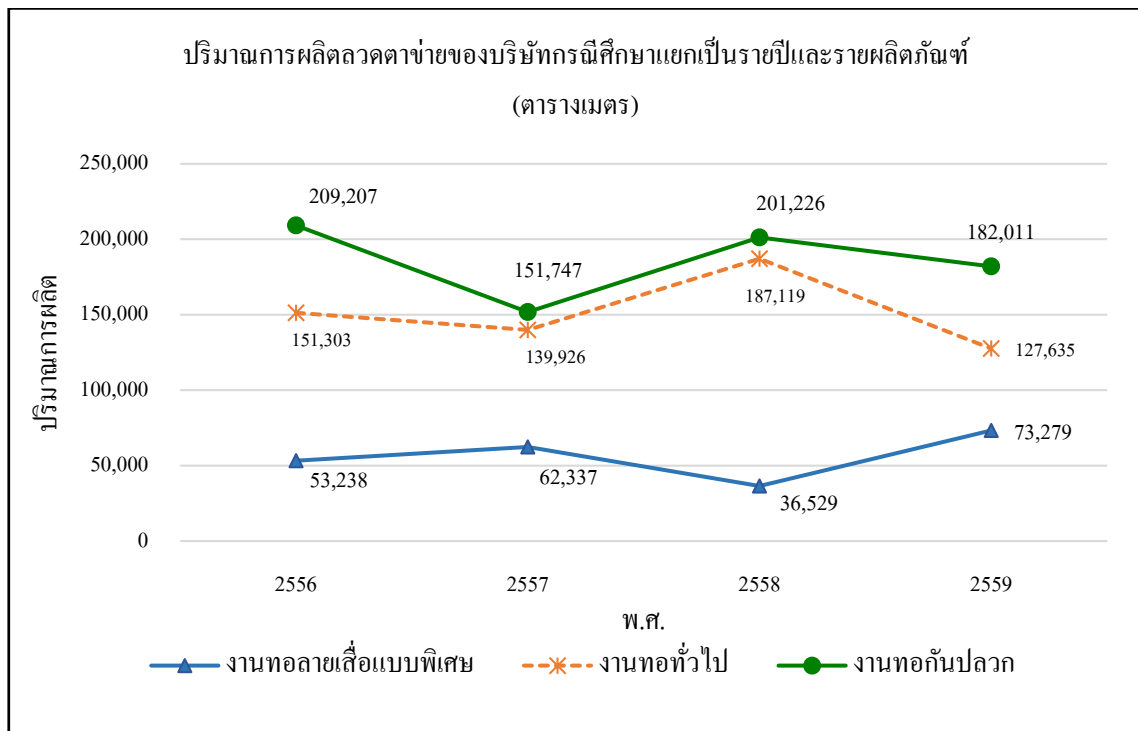
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังมีการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องที่ ส่งผลทำให้เกิดการแข่งขันกันมากขึ้น และเพื่อที่จะทำให้บริษัทคงอยู่ในการแข่งขันได้ จึงจำเป็นต้องพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพที่สูงขึ้นและต้นทุนในการผลิตต่ำลง โดยที่ที่ยังคงราคาสินค้าให้เป็นที่ยอมรับในตลาดได้ ซึ่งการลดต้นทุนในผลิตภัณฑ์ถือว่าเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจซึ่งจะช่วยปรับปรุงคุณภาพของสินค้าให้สูงขึ้น อีกทั้งยังเป็นการลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตซึ่งจะนำมาช่วยในเรื่องการลดต้นทุนและเพิ่มผลกำไร

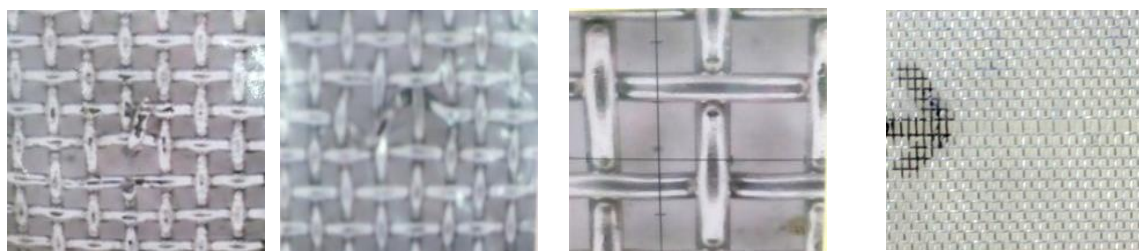
อุตสาหกรรมการทอหลอดตาข่ายจัดเป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้ดีอีกอุตสาหกรรมหนึ่ง หากมีการจัดการบริหารงานที่ดีและมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์อยู่ตลอดเวลาเพื่อให้ตรงตามความต้องการของลูกค้า บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผลิตหลอดตาข่ายซึ่งถูกนำไปผลิตเป็นสินค้าหลายชนิด เช่น สายพานลำเลียง ตะแกรงร่อนแป้ง ตาข่ายกันปลวก และไส้กรองน้ำมัน เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์หลอดตาข่ายนี้ก็ได้ถูกส่งออกไปยังกลุ่มลูกค้าในประเทศออสเตรเลีย ญี่ปุ่น สิงคโปร์ เวียดนาม ฝรั่งเศส และสหรัฐอเมริกา ผลิตภัณฑ์หลอดตาข่ายของบริษัทกรณีศึกษานี้ได้ถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มได้แก่ งานทอทั่วไป, งานทอลายเส้นแบบพิเศษ และงานทอกันปลวก ซึ่งในแต่ละกลุ่มก็จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน โดยต้องเลือกนำไปใช้งานให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภท จากการเก็บข้อมูลปริมาณการผลิตหลอดตาข่ายในช่วงปี พ.ศ. 2556 – พ.ศ. 2559 ของบริษัทกรณีศึกษา พบว่างานในกลุ่มงานทอกันปลวกมีปริมาณการสั่งซื้อที่สูง ส่งผลให้มีปริมาณการผลิตมากที่สุดเมื่อเทียบกับงานหลอดตาข่ายในกลุ่มอื่นๆ ดังแสดงในรูป 1.1 จึงเป็นเหตุผลที่ผู้วิจัยได้เลือกทำการศึกษาในผลิตภัณฑ์กลุ่มงานทอกันปลวก และเมื่อพิจารณาถึงมูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตหลอดตาข่ายในกลุ่มงานทอกันปลวก พบว่าสาเหตุมักเกิดจากตำหนิที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิต ซึ่งจะส่งผลทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลง และหากผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพส่งไปถึงลูกค้าก็จะทำให้ลูกค้าขาดความเชื่อมั่นต่อ

ผลิตภัณฑ์ของบริษัทได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นเพื่อลดต้นทุนในผลิตภัณฑ์กลุ่มงานทอกันปลวก ที่จะส่งผลช่วยพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงต่อตามความต้องการของลูกค้าที่มีมากยิ่งขึ้น และยังเป็น การเพิ่มผลกำไรจากการลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลง อีกทั้งในกระบวนการผลิตลดค่าขายของกลุ่มงาน ทอกันปลวกยังใช้วัตถุดิบจากผู้ผลิตรายเดียวและมีขนาดวัตถุดิบขนาดเดียวทำให้สามารถควบคุมความ แปรปรวนที่จะเกิดขึ้นในการวิจัยได้



รูป 1.1 ปริมาณการผลิตลดค่าขายของบริษัทกรณีศึกษาแยกเป็นรายปีและรายผลิตภัณฑ์ (ตารางเมตร)

ในการผลิตลดค่าขายจะเกิดเศษลดซึ่งจัดเป็นของเสียจากกระบวนการผลิต โดยเศษลดที่ พบนี้จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ เศษลดที่เกิดขึ้นจากการทดลองทอ และการตัดด้านข้างของผืนงาน ซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการทอ และอีกกลุ่มหนึ่งคือเศษลดที่เกิดขึ้นจากข้อบกพร่องหรือตำหนิต่างๆ บนผืนงานลดค่าขายในกระบวนการตรวจสอบ โดยที่ข้อบกพร่องหรือตำหนิบนผืนงานลดค่าขาย เหล่านี้ก็มีมากกว่า 50 ชนิด เช่น ลดทางด้านตั้งขาด ลดทางด้านขวางขาด ลดทางด้านขวางไม่ เท่ากันเป็นช่วงๆ และลดทางด้านขวางตากกว้างเกินปกติ เป็นต้น แสดงดังรูป 1.2 ซึ่งเศษลดที่เกิดจาก ข้อบกพร่องหรือตำหนิต่างๆ เมื่อรวมกันแล้วก็นับว่าเป็นความสูญเสียที่มีมูลค่าสูง บริษัทจึงต้องหา วิธีการเพื่อลดจำนวนตำหนิให้ได้มากที่สุด โดยไม่มีการลงทุนเพิ่มเติม



ลวดทางด้านตั้งขาด

ลวดทางด้านขวางขาด

ลวดทางด้านขวางไม่เท่ากันเป็นช่วงๆ

ลวดทางด้านขวางตากว้างเกินปกติ

รูป 1.2 ลักษณะของตำหนิที่เกิดบนผืนงานลวดตาข่าย

ตำหนิบนลวดตาข่ายกลุ่มงานทอกันปลวกมักจะเกิดขึ้นในกระบวนการทอซึ่งตำหนิบางชนิดก็สามารถตรวจพบได้ในระหว่างกระบวนการทอ เช่น ตำหนิลวดทางด้านตั้งขาด แต่ในบางชนิดก็ไม่สามารถตรวจขณะทำการทออยู่ได้ จึงต้องไปทำการตรวจสอบตำหนิหลังเสร็จสิ้นกระบวนการทอที่แผนกตรวจสอบคุณภาพ เช่น ตำหนิลวดทางด้านขวางขาด โดยที่กระบวนการผลิตลวดตาข่ายกลุ่มงานทอกันปลวกมีขั้นตอนดังนี้ เริ่มต้นจากการตรวจวัดคุณภาพและคุณสมบัติของลวดที่ได้รับมาจากบริษัทผู้ผลิตลวด แล้วนำลวดที่ผ่านการตรวจสอบเก็บไว้ที่โกดังเก็บวัตถุดิบ เมื่อมีคำสั่งการผลิตลวดวัตถุดิบจะถูกนำไปทดสอบเปอร์เซ็นต์ความยืดของลวดแล้วเข้าไปสู่กระบวนการพันลวดเข้าบีมลวดที่ถูกพันอยู่ในบีมแล้วก็จะถูกส่งต่อไปยังส่วนของห้องทอ ซึ่งพนักงานในห้องทอจะนำลวดที่พันอยู่ในบีมที่เป็นลวดตามแนวยาวไปสอยเข้ากับริดที่มีลักษณะเป็นพื้นหวี และทำการตั้งค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆเพื่อเตรียมทอ จากนั้นก็เริ่มเดินเครื่องจักรเพื่อทำการทดลองทอและตรวจหาตำหนิที่เกิดขึ้น ในกรณีที่ไมเกิดความผิดปกติขึ้นก็ทำการทอลวดตาข่ายจนเสร็จสิ้นกระบวนการทอ โดยมีงานที่ได้ขนาดความยาวตามที่กำหนดจะถูกส่งไปยังแผนกตรวจสอบคุณภาพเพื่อตรวจหาตำหนิที่เกิดขึ้นบนผืนงาน แล้วจึงนำไปทำการล้างทำความสะอาดและนำกลับมาตรวจสอบอีกครั้งก่อนเข้าสู่กระบวนการตัดให้ได้ขนาดตามที่ลูกค้าต้องการ และทำการบรรจุผลิตภัณฑ์เตรียมพร้อมเพื่อส่งให้กับลูกค้า ซึ่งหากพิจารณาในแต่ละขั้นตอนของการผลิตลวดตาข่ายกลุ่มงานทอกันปลวกจะพบว่าในขั้นตอนกระบวนการทอเป็นขั้นตอนที่มีการเกิดตำหนิมากที่สุด เนื่องจากในขั้นตอนนี้มีวิธีการทำงานและปัจจัยต่างๆที่ต้องควบคุมอยู่เป็นจำนวนมาก

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ทำให้เกิดตำหนิบนผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตลวดตาข่าย จากนั้นจึงหาวิธีการลดจำนวนตำหนิบนผลิตภัณฑ์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดตำหนิในกระบวนการผลิตลวดตาข่าย
- 1.2.2 เพื่อลดจำนวนตำหนิในกระบวนการผลิตลวดตาข่าย

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1 ศึกษากระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ในกลุ่มงานทอกันปลวก ในบริษัทกรณีศึกษาซึ่งทำการผลิตลวดตาข่าย สายพานลำเลียงลวดถัก และสินค้าสำหรับการกรอง โดยเก็บข้อมูลจำนวนตำหนิแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งรุ่น (Lot) การผลิตในช่วงปี พ.ศ. 2559 ถึง พ.ศ. 2561
- 1.3.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับจำนวนตำหนิที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตลวดตาข่าย โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) และการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiments)
- 1.3.3 เสนอแนวทางในการลดจำนวนตำหนิของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตลวดตาข่ายโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiments) และเทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น การป้องกันความผิดพลาด (Poka-Yoke)

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา

- 1.4.1 สามารถหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดตำหนิในกระบวนการผลิตลวดตาข่ายได้
- 1.4.2 ทำให้จำนวนตำหนิลดลง ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตลดลง
- 1.4.3 เป็นแนวทางที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นที่ใกล้เคียงกันได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทที่ 2

ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดจำนวนตำหนิในกระบวนการผลิตลดค่าขาย โดยการหาตัวแปรหรือปัจจัยในการผลิตที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนตำหนิที่เกิดขึ้นบนผืนงานลดค่าขาย และทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิต ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต เพื่อศึกษาหลักการ เทคนิค และเครื่องมือที่จะสามารถนำมาใช้ในงานวิจัยได้อย่างเหมาะสม โดยมีรายละเอียดดังนี้

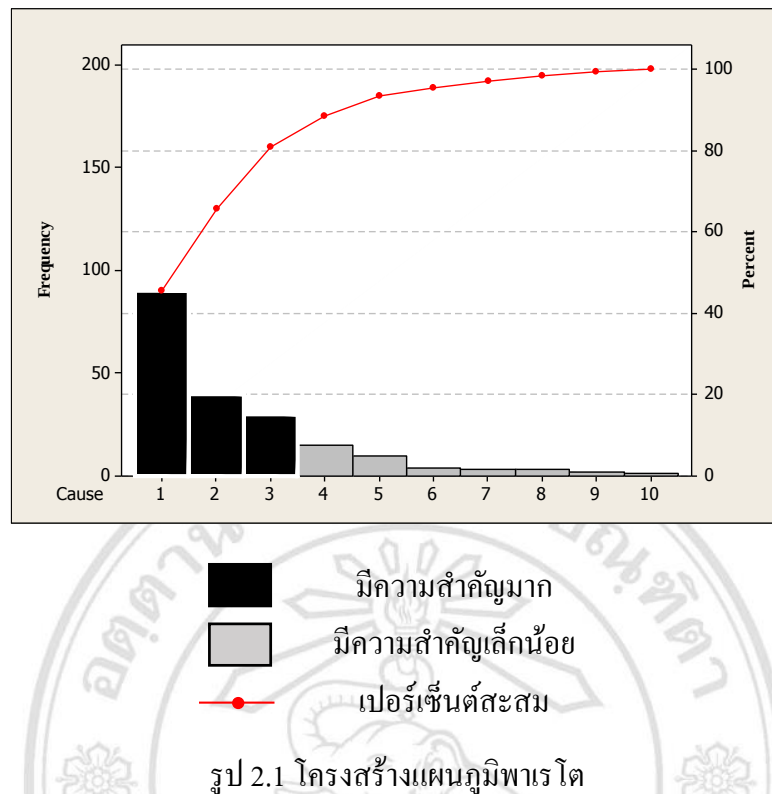
2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 เครื่องมือที่ใช้จัดลำดับความสำคัญของปัญหา

ในการศึกษาเพื่อปรับปรุงและเสนอแนวทางลดปริมาณตำหนิที่เกิดขึ้นบนผืนงานนั้นจะต้องเริ่มต้นจากการเลือกประเภทของตำหนิที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตและปริมาณมากที่สุดก่อน โดยอาศัยเครื่องมือ ดังนี้

1) การวิเคราะห์แบบพาเรโต (Pareto Analysis)

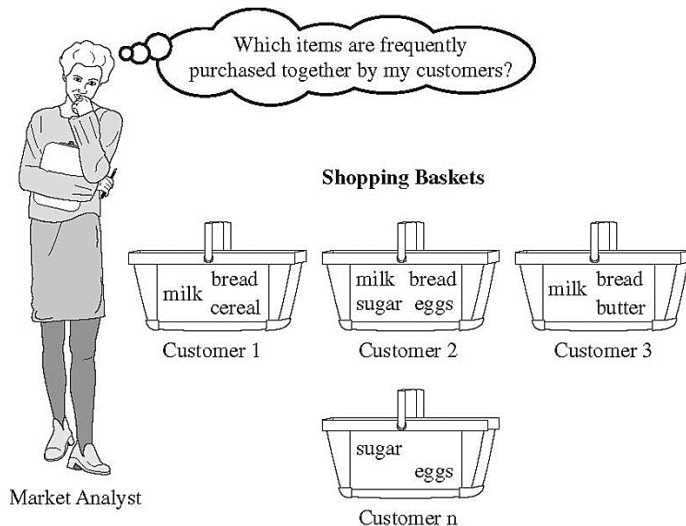
แผนภูมิพาเรโตเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ช่วยแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของปัญหาว่าปัญหาใดเป็นปัญหาสำคัญที่สุด และปัญหาที่รองลงไปตามลำดับ โดยนำปัญหาเหล่านั้นมาทำการแบ่งแยกประเภท แล้วเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยโดยการแสดงขนาดของความสำคัญด้วยกราฟแท่ง และแสดงค่าสะสมด้วยกราฟเส้น การใช้แผนผังพาเรโตจะพิจารณาจากหลักการของกฎ 80:20 ที่ว่าสาเหตุหลักเพียง 20% กลับส่งผลทำให้เกิดผลลัพธ์มากถึง 80% (เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล, 2557) ดังที่แสดงในรูป 2.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อรวมสาเหตุของปัญหาที่ 1 , 2 และ 3 จะนับเป็นเพียงไม่กี่สาเหตุ แต่กลับก่อให้เกิดความสูญเสียมากมายถึง 80% ในขณะที่ความสูญเสียเล็กน้อยๆประมาณ 20% ที่เหลือนั้นกลับมาจากสาเหตุจำนวนมากมาย และด้วยเหตุนี้แผนผังพาเรโตจึงถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการเลือกปัญหาที่มีความสำคัญได้อย่างเหมาะสม



2) การหากฎความสัมพันธ์ (Association Rule)

การหากฎความสัมพันธ์ (Association Rule) เป็นหนึ่งในเทคนิคของการทำเหมืองข้อมูล ซึ่งเป็นกระบวนการค้นหาข้อมูลความรู้ที่อยู่ในฐานข้อมูลขนาดใหญ่ที่ซับซ้อน โดยอาศัยกระบวนการทางสถิติและการเรียนรู้ผ่านระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อสร้างรูปแบบการพยากรณ์และข้อมูลความรู้จากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ เพื่อนำข้อมูลความรู้ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการตัดสินใจ (สุชาดา กิระนันท์, 2545, น.1)

การทำเหมืองข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ถูกใช้ในการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลสองชุดหรือมากกว่าสองชุดขึ้นไปภายในกลุ่มข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ (หนึ่งหทัย ชัยอากร, 2559) ตัวอย่างหนึ่งของการหาความสัมพันธ์ที่มักเกิดขึ้นในธุรกิจค้าปลีก (retailing business) เช่น ร้านค้าสะดวกซื้อ หรือซูเปอร์มาเก็ต ก็คือ (วิวัฒน์ ชินนาทศิริกุล, 2558, น.2) การวิเคราะห์ตะกร้าตลาด (market basket analysis) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการซื้อสินค้าของลูกค้า และหาความสัมพันธ์ของสินค้าที่ถูกซื้อ ดังรูป 2.2 เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากการหาความสัมพันธ์นี้ มาใช้ในการจัดวางสินค้าบนชั้น เพื่อให้ลูกค้าสามารถหยิบซื้อได้สะดวก หรือทำการจัดรายการส่งเสริมการขายร่วมกับการจัดทำแคตาล็อกสินค้า



รูป 2.2 Market basket analysis (Han & Kamber, 2006, p.228)

ความสัมพันธ์ของสินค้าที่ลูกค้าซื้อ จะแสดงในรูปของกฎความสัมพันธ์ (Association rule) ดังนี้

$$A \Rightarrow B \quad [\text{support, confidence}]$$

โดยที่ A แทนสินค้าที่ซื้อก่อน (antecedent)

B แทนสินค้าที่ซื้อทีหลัง (consequent)

เช่น $\text{milk} \Rightarrow \text{eggs}$ [support = 25%, confidence = 33.34%]

หมายความว่า 25% ของข้อมูลที่ได้เก็บมาทั้งหมด ลูกค้าจะซื้อนม (milk) และซื้อไข่ (eggs) พร้อมกัน และ 33.34% ของลูกค้าที่เลือกซื้อนมแล้วจะซื้อไข่ด้วย (วิวัฒน์ ชินนาทศิริกุล, 2558, น.3)

แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับกฎความสัมพันธ์

แนวคิดเรื่องการค้นหากลูความสัมพันธ์ ถูกนำเสนอขึ้นมาเพื่อใช้ในการค้นหารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างไอเท็ม (Item) ในชุดข้อมูลที่เป็นลักษณะเป็นชุดข้อมูลแบบรายการ (Transactional dataset) ซึ่งกระบวนการค้นหากลูความสัมพันธ์นี้จะถูกนำเสนอผ่านตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ดังนี้ (วรพจน์ กริสุรเดช, 2557, น.5) โดยที่กำหนดให้

I หมายถึง เซตของไอเท็ม โดย $I = \{I_1, I_2, I_3, \dots, I_n\}$

T หมายถึง ทรานแซกชัน (transaction) หรือระเบียบรายการข้อมูล โดยแต่ละทรานแซกชันประกอบด้วยเซตของไอเท็ม นั่นคือ $T \subseteq I$ และทรานแซกชัน T แต่ละรายการจะสัมพันธ์กับตัวระบุ (identifier) ที่เรียกว่า TID (Transaction Identifier) นอกจากนี้แต่ละไอเท็มจะต้องมีคุณลักษณะของข้อมูลเป็นแบบตัวแปรทวิ (binary variable) ได้แก่ ปรากฏ / ไม่ปรากฏไอเท็มเซตในฐานข้อมูล

D หมายถึง เซตของทรานแซกชันในฐานข้อมูล

สมมุติกำหนดให้ไอเท็ม A เป็นไอเท็มที่เกิดขึ้นในทรานแซกชันหนึ่งๆ ซึ่งก็คือ $A \subseteq T$

กฎความสัมพันธ์ จะเขียนในรูป $A \Rightarrow B$ โดยที่ $A \subset I, B \subset I$ และ $A \cap B = \emptyset$

กฎความสัมพันธ์ที่สนใจหรือกฎความสัมพันธ์ที่แข็งแกร่ง (strong association rules) คือ กฎความสัมพันธ์ที่มีค่าสนับสนุน (Support) มากกว่าหรือเท่ากับค่าสนับสนุนที่กำหนด (minimum support) และค่าความเชื่อมั่น (Confidence) ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าความเชื่อมั่นที่กำหนด (minimum Confidence) โดยที่ค่าสนับสนุน และค่าความเชื่อมั่นสามารถหาได้จากสูตรดังนี้ (สายชล สันสมบัติทอง, 2560, น.298)

ค่าสนับสนุน (Support)

$$\begin{aligned}\text{Support } (A \Rightarrow B) &= P(A \cap B) \\ &= (\text{จำนวนรายการที่มีทั้ง } A \text{ และ } B) / (\text{จำนวนรายการทั้งหมด})\end{aligned}\quad (2.1)$$

ค่าความเชื่อมั่น (Confidence)

$$\begin{aligned}\text{Confidence } (A \Rightarrow B) &= P(B|A) = P(A \cap B) / P(A) \\ &= (\text{จำนวนรายการที่มีทั้ง } A \text{ และ } B) / (\text{จำนวนรายการที่มี } A)\end{aligned}\quad (2.2)$$

ขั้นตอนการหาความสัมพันธ์ 2 ขั้นตอนหลักดังนี้ (Lasiritaworn & Singtorn, 2016) และมีนิยามคำศัพท์แสดงดังนี้ (ทวิศักดิ์ คงตุก, 2560, น.35)

Itemsets คือ เซตของรายการหรือรายการสินค้า

Candidate Itemsets คือ เซตของรายการที่นำมาทดสอบ

frequent itemsets คือ itemsets ที่มีค่าสนับสนุน (supports) มากกว่าหรือเท่ากับค่าสนับสนุนที่กำหนด (minimum support)

Transaction คือ รายการข้อมูล

ขั้นตอนที่ 1 คือ การค้นหา Itemset ที่เกิดร่วมกันบ่อย (Frequent Itemset Generation) โดยมีอัลกอริทึมหลายประเภทที่สามารถนำมาใช้งานในขั้นตอนนี้ได้ เช่น FP-Growth, PrePost+, HMine และ Apriori เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกอัลกอริทึม Apriori มาใช้ โดยเป็นอัลกอริทึมที่ได้รับความนิยมในงานวิจัยในอดีต และมีหลักการหาความสัมพันธ์โดยการค้นหาแบบวงกว้างก่อน ดังนี้

1.1) สร้าง Candidate Itemsets ที่ละระดับ (Level Wise) เพื่อค้นหา Frequent Itemsets ซึ่งจะมีการวนอ่าน Transaction ทั้งหมดเพื่อหาค่าสนับสนุน (Support)

1.2) พิจารณาค่าสนับสนุน (Support) ของ Candidate Itemsets นั้นๆ หากมีค่าสนับสนุน (Support) น้อยกว่าค่าสนับสนุนขั้นต่ำ (Minimum Support) ที่กำหนด จำเป็นต้องตัด Candidate

Itemsets นั้นออก ส่วน Candidate Itemsets ที่มีค่าสนับสนุนเท่ากับหรือมากกว่าก็ถือว่าเป็น Frequent Itemsets ในระดับถัดไป

1.3) สร้าง Candidate Itemsets จาก Frequent Itemset รอบที่ผ่านมาเพื่อช่วยลดจำนวน Candidate

1.4) อัลกอริทึม Apriori จะทำหน้าที่สร้างและค้นหาว่า Itemset นั้นเป็น Frequent Itemset หรือไม่ โดยการวนนับ Transaction แบบนี้ไปเรื่อยๆ จนหมดข้อมูล และไม่สามารถสร้าง Candidate ที่ผ่านค่าสนับสนุนที่กำหนด (minimum support) ได้อีก

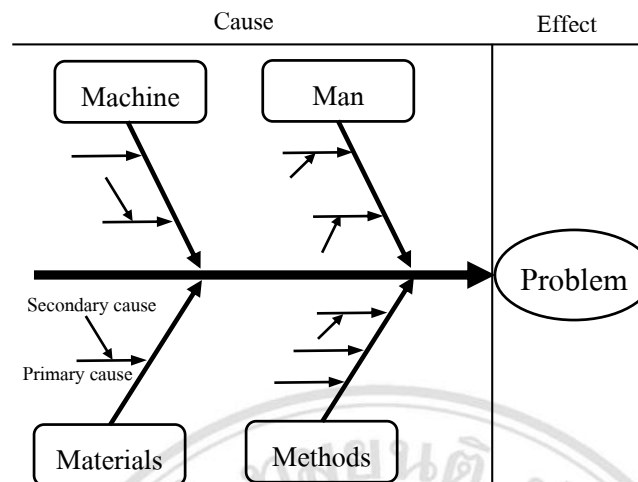
ขั้นตอนที่ 2 คือ การสร้างกฎความสัมพันธ์ (Association rule) จาก Frequent itemset ที่พบในขั้นตอนข้างต้น ซึ่งมีค่าสนับสนุน (Support) เกินกว่าค่าสนับสนุนที่กำหนด (minimum support) และมีค่าความเชื่อมั่น (Confidence) มากกว่าค่าความเชื่อมั่นที่กำหนด (minimum Confidence) ซึ่งจะเรียกว่า strong rules

2.1.2 เครื่องมือที่ใช้หาสาเหตุของปัญหา

เมื่อทำการเลือกปัญหาหรือประเภทของคำหาค่าที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตและบริษัทมากที่สุดได้แล้วนั้น ขั้นตอนถัดมาจะเป็นการค้นหาสาเหตุของการเกิดปัญหาแต่ละประเภทโดยอาศัยเครื่องมือ ดังนี้

1) ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagrams)

กาญจนา กาญจนสูตร (2559, น.70) ได้อธิบายไว้ว่า ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagrams) หรือผังก้างปลา (Fishbone Diagram) ซึ่งในบางครั้งอาจถูกเรียกว่าผังกิชิกาวา (Ishikawa diagram) เป็นการเรียกตามชื่อของ Dr. Kaoru Ishikawa ผู้ที่เริ่มนำผังก้างปลาเข้ามาใช้เป็นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1953 โดยที่ใช้เป็นเครื่องมือสำหรับรวบรวมสาเหตุจากการระดมความคิดกับผู้ที่เกี่ยวข้อง หรือปัจจัยจำนวนมากที่มีผลต่อปัญหาที่สนใจศึกษาแสดงไว้ในแผนภาพเดียวได้อย่างเป็นระบบซึ่งช่วยให้การวิเคราะห์สรุปสาเหตุของปัญหาเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ผังก้างปลาหรือผังแสดงเหตุและผล แสดงดังรูป 2.3 ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือส่วนโครงกระดูกที่เป็นตัวปลาเป็นที่รวบรวมสาเหตุของปัญหา และส่วนหัวปลาคือปัญหาที่สนใจศึกษา โดยทั่วไปจะระบุสาเหตุหลักๆ ของปัญหาที่เกิดจาก 4M คือ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Materials) และวิธีการ (Methods)



รูป 2.3 แผนผังแสดงเหตุและผล

วิธีการสร้างแผนผังแสดงเหตุและผล แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้ (วิทย์ภา กวีธรวิบริรักษ์, 2559)

- 1.1) กำหนดปัญหาที่ห้วปลา ปัญหาละ 1 หัวปลาต่อปลา 1 ตัว
- 1.2) กำหนดกลุ่มปัจจัยนำเข้าที่ทำให้เกิดปัญหานั้นๆ ที่บริเวณก้างปลาหลัก ในกรณีที่เป็นปัญหาด้านกระบวนการผลิตจะนิยมใช้หลักการ 4M : Man (คน), Machine (เครื่องจักร), Material (วัตถุดิบ), Method (วิธีการ)
- 1.3) ระดมสมองหาสาเหตุหลักของปัญหาในแต่ละก้างรอง ซึ่งแสดงอยู่ที่ตำแหน่ง Primary cause ในรูป 2.3
- 1.4) ระดมสมองเพื่อหาสาเหตุย่อยในแต่ละปัจจัยที่ก้างย่อย ซึ่งก็คือตำแหน่ง Secondary cause ในรูป 2.3
- 1.5) จัดลำดับความสำคัญของสาเหตุเป็นข้อๆ และเลือกสาเหตุของปัญหามาทำการแก้ไข ปรับปรุงด้วยเครื่องมือต่างๆ เช่น ไคเซน, 5ส., ระบบคัมบัง, ISO และจัดทำคู่มือปฏิบัติงาน เป็นต้น

2) การระดมสมอง (Brainstorming)

ประชากรณ์ แสนภักดี (2546) ได้อธิบายถึงเทคนิคการระดมสมอง (Brainstorming) ว่าเป็นเครื่องมือที่ถูกนำมาใช้ในโอกาสต่างๆ ในการพัฒนางานตั้งแต่ระดับการวางแผน การค้นหาปัญหา การหาทางออกของปัญหา ตลอดจนการหาเครื่องมือมาใช้แก้ไขปัญหานั้นๆ

วิธีการระดมสมอง คือ การให้สมาชิกในกลุ่มแสดงความคิดเห็นร่วมกัน เพื่อเป็นแนวทางที่จะนำไปสู่วิธีการแก้ปัญหา โดยวิธีนี้เป็นเทคนิคที่มีวิธีการคิดแบบกระจายที่ถูกคิดขึ้นมาโดย อเล็กซ์ ออสบอร์น (Alex Osborn) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมกับการทำงานเป็นทีมและให้ผลลัพธ์ที่ดี โดยมีกฎพื้นฐานในการระดมสมอง คือ ห้ามวิพากษ์วิจารณ์เวลาคนอื่นแสดงความคิดเห็น เปิดโอกาสให้สมาชิกในกลุ่มสามารถแสดงความคิดเห็นได้อย่างอิสระ เน้นปริมาณมากกว่าคุณภาพ และในกรณีที่

เห็นด้วยและมีความคิดเห็นเพิ่มเติมสามารถแสดงความคิดเห็นเพื่อเป็นการต่อ ยอดความคิดเห็นของผู้อื่นได้ (ทากาฮาชิ มาโกะโตะ, 2551)

2.1.3 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับผลตอบแทน

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลของงานวิจัยนี้ ได้ทำการวิเคราะห์หาปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักรที่มีผลกับจำนวนคำหนึ่ที่เกิดขึ้นบนผืนงาน โดยอาศัยวิธีการวิเคราะห์ 2 วิธี ดังนี้

1) การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis)

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์เป็นการวิเคราะห์ที่นำความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป (X,Y) มาวิเคราะห์ โดยการวิเคราะห์นี้จะมุ่งเน้นเพื่อหาข้อสรุปว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอย่างไร และมากน้อยเพียงใด โดยกำหนดให้ตัวแปรตัวซุดหนึ่งเป็นตัวแปรต้น และตัวแปรอีกซุดหนึ่งเป็นตัวแปรตาม (ระพินทร์ โพธิ์ศรี, 2551)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) เป็นตัวสถิติที่ใช้วัดระดับความสัมพันธ์ระหว่าง X กับ Y ว่ามีความสัมพันธ์กันมากหรือน้อยแค่ไหน ถ้าค่าของ Y ขึ้นอยู่กับค่าของ X เพียงตัวเดียวจะเรียกว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Correlation Coefficient) หรือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Product Moment Correlation Coefficient) โดยใช้สัญลักษณ์ ρ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 และเป็นการวัดความสัมพันธ์เชิงเส้น

เนื่องจากใช้ข้อมูลที่คำนวณจากตัวอย่างแทนข้อมูลจากประชากร จึงประมาณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของประชากร (ρ) ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวอย่าง (r) สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ได้ดังนี้ (สายชล สันสมบุญทอง, 2551, น.393)

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2][n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (2.3)$$

เมื่อ	r	คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน
	$\sum X$	คือ ผลรวมของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 1 (X)
	$\sum Y$	คือ ผลรวมของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 2 (Y)
	$\sum XY$	คือ ผลรวมของผลคูณระหว่างข้อมูลตัวแปรที่ 1 และ 2
	$\sum X^2$	คือ ผลรวมของกำลังสองของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 1
	$\sum Y^2$	คือ ผลรวมของกำลังสองของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 2

n คือ ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

การบอกระดับของความสัมพันธ์จะใช้ตัวเลขของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นตัวบอก โดยที่ถ้าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้ -1 หรือ 1 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง แต่หากมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับน้อยหรือไม่มีเลย สำหรับการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยทั่วไปอาจใช้เกณฑ์ดังนี้ (Hinkle, 1998)

ค่า r	ระดับของความสัมพันธ์
0.90 - 1.00	มีความสัมพันธ์กันสูงมาก
0.70 - 0.90	มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง
0.50 - 0.70	มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง
0.30 - 0.50	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ
0.00 - 0.30	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก

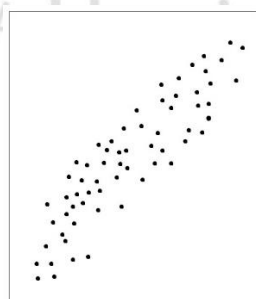
เครื่องหมาย +, - หน้าตัวเลขสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จะบอกถึงทิศทางของความสัมพันธ์ (สรชัย พิศาลบุตร, 2554, น.281)

r มีเครื่องหมาย + หมายถึง การมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางเดียวกัน (ตัวแปรหนึ่งมีค่าสูง อีกตัวหนึ่งจะมีค่าสูงไปด้วย)

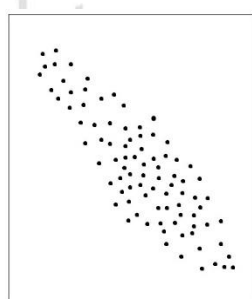
r มีเครื่องหมาย - หมายถึง การมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางตรงกันข้าม (ตัวแปรหนึ่งมีค่าสูง ตัวแปรอีกตัวหนึ่งจะมีค่าต่ำ)

ยกเว้นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางชนิดที่มีลักษณะ $0 \leq r \leq 1$ ซึ่งจะบอกได้เพียงขนาดหรือระดับของความสัมพันธ์เท่านั้น ไม่สามารถบอกทิศทางของความสัมพันธ์ได้

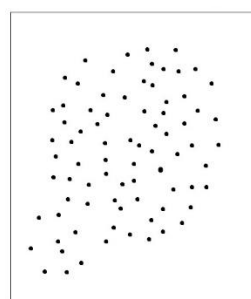
นอกจากนี้ยังสามารถวาด แผนภาพกระจาย (Scatter diagram) เพื่อดูทิศทางความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X และ Y แสดงได้ดังรูป 2.4



สัมพันธ์เชิงบวก ($r \approx 1$)



สัมพันธ์เชิงลบ ($r \approx -1$)



ไม่สัมพันธ์กัน ($r \approx 0$)

รูป 2.4 แผนภาพกระจายลักษณะต่างๆ

การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่า r

เป็นการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) เป็นการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันหรือไม่ สามารถเขียนสมมติฐานของการทดสอบ ได้ดังนี้ (สาขชล ดินสมบูรณ์ทอง, 2551, น.398-399)

$$H_0 : \rho = 0 \quad (\text{ตัวแปร } X \text{ และ } Y \text{ ไม่มีความสัมพันธ์กัน})$$

$$H_1 : \rho \neq 0 \quad (\text{ตัวแปร } X \text{ และ } Y \text{ มีความสัมพันธ์กัน})$$

สถิติทดสอบ เป็นการทดสอบแบบสองทาง

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}, df = n-2 \quad (2.4)$$

อาณาเขตวิกฤตและการสรุปผล

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ ค่า t ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า $t_{\alpha, n-2}$ ที่เปิดจากตาราง

หรือ ค่า t ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า $-t_{\alpha, n-2}$

หรือ นำค่า r ที่ได้ไปเทียบกับค่าวิกฤต r จากตารางสำเร็จรูปโดยใช้ $df = n-2$

ถ้าค่า r มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ ค่าวิกฤต r จะปฏิเสธ H_0

2) การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอย เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหรือคุณลักษณะของข้อมูล 2 ประเภท และนำผลของความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ไปพยากรณ์ค่าตัวแปรหรือคุณลักษณะของข้อมูล ซึ่งในการวิเคราะห์การถดถอยนั้นจะมีการจำแนกตัวแปรที่จะศึกษาเป็น 2 ประเภท คือ ตัวแปรตาม (Dependent Variable นิยมใช้สัญลักษณ์ Y) และตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ (Independent Variable นิยมใช้สัญลักษณ์ X) โดยตัวแปรตามคือตัวแปรของข้อมูลที่ต้องการพยากรณ์ (พงระภิ ศรีสวัสดิ์, 2560)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Regression Analysis) เป็นการวิเคราะห์การถดถอยเมื่อมีตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ 1 ตัวแปร และตัวแปรตาม 1 ตัวแปร ซึ่งเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้ (ศักดิ์สิทธิ์ วัชรารัตน์, 2552)

$$Y_i = \beta_0 + \beta X_i + \varepsilon_i \quad (2.5)$$

เมื่อ β_0 แทนระยะตัดแกน y (y-intercept)

β แทนความชันของเส้นถดถอย (slope)

ε_i แทนส่วนคลาดเคลื่อน

เนื่องจากไม่สามารถเก็บข้อมูลจากประชากรทั้งหมดได้ จึงใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างมาใช้ในการสร้างสมการถดถอย ซึ่งเป็นสมการถดถอยที่ได้จากการประมาณให้อยู่ในรูปของสมการดังนี้

$$\hat{Y}_i = b_0 + bX_i \quad (2.6)$$

โดยที่ e_i = ค่าความผิดพลาด (Error)

$$\text{และ } e_i = Y_i - \hat{Y}$$

ดังนั้น การประมาณสมการถดถอยที่ดีควรเป็นสมการถดถอยที่เกิดค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งวิธีที่นิยมใช้ คือ วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary Least Square หรือ OLS) (วิชัย สุรเชิดเกียรติ, 2543, น.298)

โดยที่ กำหนดให้ SSE = ผลรวมกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อน (Sum of Squared Error) ;

$$SSE = \sum_{i=1}^n e_i^2 \quad (2.7)$$

สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ของ b และ b_0 ได้ดังสมการข้างล่างนี้

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right) \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2} \quad (2.8)$$

$$b_0 = \bar{Y} - b \bar{X} \quad (2.9)$$

ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่า (Standard Error of Estimate = $S_{y.x}$)

$$S_{y.x} = \sqrt{S_{y.x}^2} \Rightarrow S_{y.x}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-2} = \frac{SSE}{n-2} = \frac{SST - SSR}{n-2} \quad (2.10)$$

จากหลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน $SST = SSE + SSR$ โดยที่ (สายชล สีนสมบูรณ์ทอง, 2551, น.383)

SST (Total sum of squares) คือ ความแปรปรวนของ Y ทั้งหมด สามารถหาได้จากสูตรดังนี้

$$SST = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2}{n} \quad (2.11)$$

SSR (Regression sum of squares) คือความแปรปรวนของ Y เนื่องจากอิทธิพลของ X หรือความแปรปรวนที่สามารถอธิบายได้โดยตัวแปร X หรือความแปรปรวนของ Y ที่สามารถอธิบายได้โดยตัวแบบ คำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$SSR = b \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) = b \left(\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_i \right) \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)}{n} \right) \quad (2.12)$$

SSE (Error sum of squares) คือ ความแปรปรวนของ Y เนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่ใช่ X หรือความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน นอกจากนี้ยังเป็นความแปรปรวนที่ไม่สามารถอธิบาย สามารถหาได้จากสูตรดังนี้

$$SSE = SST - SSR \quad (2.13)$$

สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination = r^2)

เป็นการวัดความสัมพันธ์ว่าตัวแปรต้นสามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรตามได้มากน้อยเท่าไร ส่วนใหญ่จะคิดอยู่ในรูปร้อยละ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$r^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_i \right) \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)}{n} \right)^2}{\left[\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2}{n} \right] \times \left[\sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2}{n} \right]} \quad (2.14)$$

สายชล สันสมบัติทอง (2551, น.391) ได้อธิบายว่าค่าของ r^2 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยที่ถ้า r^2 มีค่ามาก แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันมากหรือ X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า Y ได้มาก แต่ถ้า r^2 มีค่าน้อย แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันน้อย หรือ X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า Y ได้น้อย

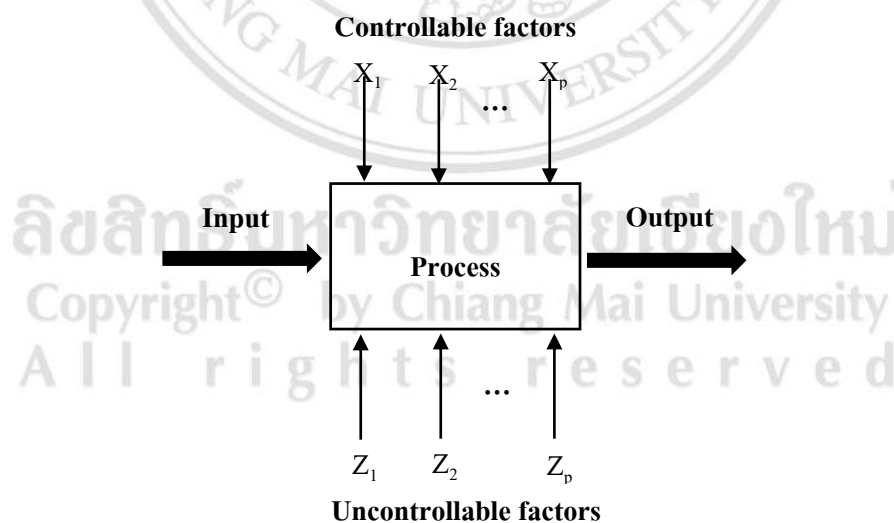
2.1.4 เทคนิคการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) เป็นเทคนิคทางสถิติขั้นสูงที่นิยมใช้สำหรับการปรับค่าสภาวะของกระบวนการให้เป็นไปตามสภาพที่ต้องการ ซึ่งจะส่งผลทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) พื้นฐานแนวคิดของเทคนิคการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองทางสถิติถูกคิดค้นโดย Sir Ronald A. Fisher ซึ่งในยุคแรกมักจะเกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ทางเกษตรและชีวภาพ ต่อมาช่วง ค.ศ. 1930 ได้เริ่มนำการออกแบบการทดลองไปใช้งานทางด้านอุตสาหกรรมเป็นครั้งแรก ซึ่งก็คืออุตสาหกรรมสิ่งทอ และหลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 ยุติลง วิธีการออกแบบการทดลองก็ได้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเคมีและกระบวนการผลิตในสหรัฐอเมริกาและยุโรปตะวันตก กลุ่มอุตสาหกรรมเหล่านี้ได้รับประโยชน์อย่างมากในการใช้การออกแบบการทดลองสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต นอกจากนั้นอุตสาหกรรมเกี่ยวกับสารกึ่งตัวนำและอิเล็กทรอนิกส์ก็ยังได้มีการนำเอาวิธีการเหล่านี้ไปใช้และประสบผลสำเร็จอย่างมากเช่นกัน (ปารเมศ ชูติมา, 2545)

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) คือ การทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input Variable) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อที่จะสามารถสังเกตให้เห็นถึงสาเหตุต่างๆที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Outputs or Responses) จากกระบวนการหรือระบบนั้น ซึ่งทั้งกระบวนการและระบบสามารถแทนได้ด้วยแบบจำลองในรูป 2.5 โดยตัวแปรนำเข้าจะถูกจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ควบคุมได้ เรียกว่า ตัวแปรที่ควบคุมได้ (Controllable Variables) และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า ตัวแปรที่รับกวน (Uncontrollable Variables) ตามปกติแล้วการทดลองถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการและระบบ (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพฑูรย์, 2551, น.2)



รูป 2.5 แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ

จากรูป 2.5 ปารเมศ ชูติมา (2545) ได้อธิบายว่า กระบวนการก็คือ การรวมคนงาน เครื่องจักร วิธีการและทรัพยากรอื่นๆเข้าด้วยกัน เพื่อเปลี่ยนวัตถุดิบ (Input) ไปเป็นผลตอบที่สามารถมองเห็นได้

(Output) ซึ่งตัวแปรในกระบวนการก็จะประกอบไปด้วย ตัวแปรที่ควบคุมได้ ($X_1, X_2, \dots, X_p$) และตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ ($Z_1, Z_2, \dots, Z_p$)

หลักการพื้นฐาน 3 ประการที่มีความสำคัญอย่างมากต่อการออกแบบการทดลองมีดังนี้ (ปารเมศ ชูติมา, 2545, น.4-5)

การทดลองซ้ำ (Replication) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถมองเห็นและประเมินค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองได้ การดำเนินการวิเคราะห์จะเป็นการนำค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวไปประเมินว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อกระบวนการบ้าง นอกจากนี้ยังเป็นการกำจัดความคลาดเคลื่อน (Average out) จากอิทธิพลที่ไม่สามารถควบคุมได้ที่มีผลต่อปัจจัย เปรียบดังเช่นการหาค่าเฉลี่ยที่เป็นวิธีการในการประเมินค่าอิทธิพลของปัจจัยอีกอย่างหนึ่ง

การสุ่ม (Randomization) เป็นพื้นฐานหลักสำหรับการใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบการทดลอง ซึ่งหมายถึงการทดลองที่มีลำดับของการทดลองและวัสดุที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม วิธีการเชิงสถิติจะเป็นตัวกำหนดว่าข้อมูลจะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ จึงจะทำให้สมมติฐานของการสุ่มเป็นจริง เมื่อทำการสุ่มในการทดลองจะทำให้สามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจเกิดขึ้นในการทดลองได้

การบล็อก (Blocking) เป็นเทคนิคที่ช่วยเพิ่มความแม่นยำให้กับการทดลอง หรือช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าชุดทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่างๆภายในบล็อกจะเกิดขึ้นได้จากการทำการบล็อก (Blocking)

2) แนวทางในการออกแบบการทดลอง

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองจำเป็นต้องมีอย่างยั้งที่จะต้องมีความเข้าใจอย่างถูกต้องเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษา ดังนั้น ปารเมศ ชูติมา (2545) จึงได้อธิบายขั้นตอนการดำเนินการออกแบบการทดลองได้ดังนี้

2.1) ทำความเข้าใจถึงปัญหา

ในขั้นตอนนี้ต้องพยายามพัฒนาแนวความคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง ซึ่งในบางครั้งต้องเก็บข้อมูลจากบุคคลหรือหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับปัญหา เพื่อทำให้ปัญหามีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น และส่งผลทำให้เข้าใจเกี่ยวกับผลการวิเคราะห์ของปัญหานั้นมากยิ่งขึ้น

2.2) เลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต

การเลือกปัจจัยที่จะนำมาทำการเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง ต้องมีการกำหนดขอบเขต และระดับ (Level) ของปัจจัยที่จะทำการทดลอง โดยต้องพิจารณาว่าจะต้องควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ณ จุดที่กำหนดให้เป็นอย่างไร และสามารถวัดผลตอบได้อย่างไร ดังนั้นผู้จึงต้องมีความรู้

เกี่ยวกับกระบวนการเป็นอย่างมาก และมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องตรวจสอบว่าปัจจัยที่กำหนด ขึ้นมาทั้งหมดนี้มีความสำคัญหรือไม่ หากกำหนดให้วัตถุประสงค์ของการทดลองคือการคัดกรอง ปัจจัย (Screening) จึงควรกำหนดให้ระดับต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อยๆ และควรที่จะเลือก ขอบเขตให้มีความกว้างมากๆ ซึ่งหมายถึงว่า ขอบเขตที่ปัจจัยแต่ละตัวจะเปลี่ยนแปลงได้ควรมีค่า กว้างๆ และเมื่อสามารถระบุได้ว่าตัวแปรใดมีความสำคัญและระดับใดที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ก็ สามารถนำตัวแปรนั้นมาลดขอบเขตให้แคบลงกว่าเดิมได้

2.3) เลือกตัวแปรผลตอบแทน

ในการเลือกตัวแปรผลตอบแทนควรจะแน่ใจว่าตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่ ทำการศึกษาอยู่ ซึ่งในบางครั้งการทดลองหนึ่งอาจจะมีผลตอบแทนหลายตัว จึงควรต้องกำหนดให้ได้ว่า อะไรคือตัวแปรผลตอบแทน และจะทำการวัดตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไร ก่อนที่จะเริ่มทำการทดลองจริง

2.4) เลือกการออกแบบการทดลอง

การเลือกการออกแบบการทดลองจำเป็นต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลอง และการ เลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะทำการเก็บผลการทดลอง รวมทั้งต้องตัดสินใจให้ได้ว่าควร จะใช้วิธีการบล็อกหรือใช้วิธีการสุ่มอย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่ และส่วนมากจะทราบว่าปัจจัยบางตัวมี ผลต่อผลตอบแทนที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงเลือกทำการศึกษาเพื่อหาว่าปัจจัยอื่นตัวใดที่ทำให้เกิดความแตกต่างขึ้น

2.5) ทำการทดลอง

เมื่อเริ่มทำการทดลองจะต้องติดตามเฝ้าดูกระบวนการทดลองอย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจ ว่าทุกอย่างเป็นไปตามขั้นตอนที่ได้วางแผนไว้ หากเกิดความผิดพลาดในการทดลองจะส่งผลทำให้การ ทดลองนั้นใช้ไม่ได้

2.6) วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลจะอาศัยวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อดูว่าผลลัพธ์และ ข้อสรุปที่เกิดขึ้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองหรือไม่ หากการทดลองได้ถูกออกแบบไว้ เป็นอย่างดี และทำการทดลองตามแผนการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ วิธีการทางสถิติที่จะนำมาใช้จะเป็นวิธีที่ง่ายไม่ซับซ้อน ซึ่งข้อดีของวิธีทางสถิติคือ เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพที่ช่วยในด้านการ ตัดสินใจ และหากนำวิธีการทางสถิติมาใช้ร่วมกับความรู้ทางวิศวกรรม ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ และสามัญสำนึก จะทำให้ข้อสรุปที่ได้ออกมานั้นมีเหตุผลสนับสนุนและมีความน่าเชื่อถือ

2.7) สรุปและข้อเสนอแนะ

เมื่อได้ข้อมูลมาเรียบร้อยแล้ว จะต้องหาข้อสรุปและแนวทางในการปฏิบัติเพื่อนำข้อสรุป นั้นไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในอนาคต นอกจากนี้แล้วควรมีการทำการทดลองเพื่อยืนยันผลซึ่งจะ สามารถช่วยตรวจสอบความถูกต้องของการทดลองได้

3) การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

การทดลองส่วนมากในทางปฏิบัติจะเกี่ยวข้องกับการศึกษาถึงผลปัจจัย (Factor) ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ในกรณีเช่นนี้ การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) จะเป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ตัวอย่างเช่น กรณี 2 ปัจจัย ถ้าปัจจัย A ประกอบด้วยระดับ a และปัจจัย B ประกอบด้วยระดับ b ในการทดลองซ้ำ 1 ครั้ง จะประกอบด้วยผลการทดลองทั้งหมด ab การทดลอง และเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะมีการไขว้ (Crossed) ซึ่งกันและกัน

ผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่ง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบ (Response) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยนั้นๆ ซึ่งเรียกว่า ผลหลัก (Main Effect) เนื่องจากว่ามันเกี่ยวข้องกับปัจจัยเบื้องต้นของการทดลอง นอกจากนี้ในการทดลองบางอย่างอาจจะพบว่า ผลตอบของปัจจัยหนึ่งจะขึ้นกับระดับของปัจจัยอื่นๆด้วย เรียกเหตุการณ์นี้ว่า การมีอันตรกิริยา (Interaction) ต่อกันระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้อง (ปารเมศ ชูติมา, 2545)

การทดลองเชิงแฟกทอเรียลเป็นการทดลองที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการออกแบบแผนการทดลอง เนื่องจากสามารถศึกษาปัจจัยได้หลายปัจจัยพร้อมกัน โดยมีวัตถุประสงค์หลักของการใช้การทดลองเชิงแฟกทอเรียล คือ การสำรวจศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย หรือเรียกว่า อันตรกิริยา (Interactions) เช่น กรณีที่ศึกษา 3 ปัจจัย คือปัจจัย A B และ C ผลกระทบที่เกิดขึ้นสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบุลย์, 2551)

- ผลกระทบหลัก หรือผลกระทบปัจจัยเดี่ยว (Main Effects)

คือ ผลกระทบกรณีที่สนใจพิจารณาปัจจัยเดี่ยว ได้แก่ ผลกระทบของปัจจัย A ผลกระทบของปัจจัย B และผลกระทบของปัจจัย C

- ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย (Two-Factors or 2-ways Interactions)

คือ ผลกระทบที่เกิดจากการพิจารณาปัจจัยพร้อมกันเป็นคู่ (ครั้งละ 2 ปัจจัย) ได้แก่ ผลกระทบของปัจจัยร่วม (อันตรกิริยา) AB, BC และ AC

- ผลกระทบร่วม 3 ปัจจัย (Three-Factors or 3-ways Interactions)

คือ ผลกระทบที่เกิดจากการพิจารณาปัจจัยสามปัจจัยพร้อมกันในที่นี้ ได้แก่ ABC

โดยทั่วไปผู้ทดลองจะให้ความสำคัญแก่การศึกษาผลกระทบหลัก และผลกระทบร่วมของ 2 ปัจจัย (Two-Factors or 2-ways Interactions) เท่านั้น เนื่องจากปกติแล้วผลกระทบร่วมตั้งแต่ 3 ปัจจัยขึ้นไปจะมีค่าน้อยมากจึงไม่นิยมนำมาพิจารณา

จากการวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนข้างต้น พบว่ามีปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักรจำนวน 3 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับจำนวนตำหนิที่เกิดขึ้น จึงได้นำทั้ง 3 ปัจจัยดังกล่าวมาทำการออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลแบบ 2^k ซึ่งเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้เนื่องจากทำให้เกิดการทดลองจำนวนน้อยที่สุดที่สามารถทำได้ และทำให้สามารถศึกษาถึงผลของปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลกรณี 2^3 จะถูกอธิบายในหัวข้อต่อไป

4) การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลกรณี 2^3

ในการออกแบบการทดลองจะมีปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัย และในแต่ละปัจจัยประกอบไปด้วย 2 ระดับ รวมทั้งหมด 8 การทดลองและใช้เครื่องหมาย + และ - แทนระดับสูงและต่ำ ตามลำดับ การทดลองทั้ง 8 การทดลองที่เกิดจากการออกแบบ 2^3 สามารถแสดงได้ดังรูป 2.6

Run	Factor		
	A	B	C
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

รูป 2.6 เมทริกซ์การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3

วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติของการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลกรณี 2^3 มีดังนี้

4.1) การประมาณค่าอิทธิพลของปัจจัยทำให้ทราบเบื้องต้นได้ว่าปัจจัยและอันตรกิริยาตัวใดที่มีความสำคัญ (ริงสตรัค เนียมสนิท, 2534) โดยที่ขั้นตอนของการคำนวณเริ่มจากการสร้างตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์ของอิทธิพลเพื่อใช้ประมาณค่าอิทธิพลและค่าผลรวมกำลังสอง แสดงดังตารางที่ 2.1 ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ของอิทธิพลต่างๆ ในการออกแบบ 2^3

Treatment combination	สัมประสิทธิ์ของอิทธิพล						
	A	B	AB	C	AC	BC	ABC
(1)	-	-	+	-	+	+	-
a	+	-	-	-	-	+	+
b	-	+	-	-	+	-	+
ab	+	+	+	-	-	-	-
c	-	-	+	+	-	-	+
ac	+	-	-	+	+	-	-
bc	-	+	-	+	-	+	-
abc	+	+	+	+	+	+	+

จากตารางสัมประสิทธิ์ของอิทธิพลที่ได้ สามารถคำนวณค่าอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมต่างๆ ได้ดังนี้ เมื่อ n คือจำนวนครั้งของการทำซ้ำ

$$A = \frac{1}{4n} [a+ab+ac+abc-(1)-b-c-bc] \quad (2.15)$$

$$B = \frac{1}{4n} [b+ab+bc+abc-(1)-a-c-ac] \quad (2.16)$$

$$C = \frac{1}{4n} [c+ac+bc+abc-(1)-a-c-ac] \quad (2.17)$$

$$AB = \frac{1}{4n} [ab-b-a+(1)+abc-bc-ac+c] \quad (2.18)$$

$$AC = \frac{1}{4n} [(1)-a+b-ab-c+ac-bc+abc] \quad (2.19)$$

$$BC = \frac{1}{4n} [(1)+a-b-ab-c-ac+bc+abc] \quad (2.20)$$

$$ABC = \frac{1}{4n} [abc-bc-ac+c-ab+b+a-(1)] \quad (2.21)$$

การวิเคราะห์ค่าผลรวมทั้งหมดของกำลังสอง (SS_T) จะถูกแบ่งออกเป็นผลรวมกำลังสองของอิทธิพลหลัก ผลรวมกำลังสองของอัตรากระทำ และผลรวมกำลังสองที่เกิดจากความผิดพลาด (SS_E) และจะต้องมีการทำซ้ำอย่างน้อย 2 ซ้ำขึ้นไปจึงจะสามารถคำนวณค่าของผลรวมกำลังสองที่เกิดจากความผิดพลาดได้ (ปารเมศ ชูติมา, 2545, น.225) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_C + SS_{AB} + SS_{AC} + SS_{BC} + SS_{ABC} + SS_E \quad (2.22)$$

โดยที่ ค่าผลรวมทั้งหมดของกำลังสอง (SS_T) หาได้จาก

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n y_{ijkl}^2 - \frac{y^2}{abcn} \quad (2.23)$$

สำหรับการคำนวณค่าผลรวมกำลังสอง (SS) สำหรับอิทธิพลใดๆ คำนวณได้โดยใช้สูตรดังนี้ เมื่อ n คือจำนวนครั้งของการทำซ้ำ

$$SS = \frac{(\text{Contrast})^2}{8n} \quad (2.24)$$

$$\text{เช่น } SS(A) = \frac{(\text{Contrast})^2}{8n} = \frac{(a + ab + ac + abc - (1) - b - c - bc)^2}{8n} \quad (2.25)$$

ซึ่งการคำนวณค่าผลรวมกำลังสอง (SS) สำหรับอิทธิพลอื่นๆ ก็สามารถใช้วิธีเดียวกันกับการคำนวณค่าผลรวมกำลังสองของ A หรือ SS(A)

ดังนั้นค่าผลรวมของกำลังสองของความผิดพลาด (SS_E) จึงหาได้จากสมการดังนี้

$$SS_E = SS_T - (SS_A + SS_B + SS_C + SS_{AB} + SS_{AC} + SS_{BC} + SS_{ABC}) \quad (2.26)$$

4.2) การสร้างแบบจำลองเริ่มต้น ควรเริ่มจากการสร้างแบบจำลองเต็มรูปแบบ (full model) ซึ่งประกอบด้วย ผลหลัก และอันตรกิริยาทั้งหมด ซึ่งอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า การวางแผนการทดลองมีการทำซ้ำอย่างน้อย 1 ครั้ง แบบจำลองของการถดถอยแสดงดังสมการ 2.24

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_3 X_3 + \hat{\beta}_{12} X_1 X_2 + \hat{\beta}_{13} X_1 X_3 + \hat{\beta}_{23} X_2 X_3 + \hat{\beta}_{123} X_1 X_2 X_3 \quad (2.27)$$

โดยที่ตัวแปรที่ถูกเข้ารหัส X_1, X_2 และ X_3 แทน A, B และ C ตามลำดับ และพจน์ $X_1 X_2, X_1 X_3, X_2 X_3$ และ $X_1 X_2 X_3$ แทนอันตรกิริยา AB, AC, BC และ ABC ตามลำดับ

4.3) ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อจะทดสอบความมีนัยสำคัญของผลหลักและอันตรกิริยา โดยที่ตารางที่ 2.2 แสดงรูปแบบทั่วไปของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3 ที่มีการทำซ้ำ n ครั้ง โดยค่าที่นำมาใส่ในตารางได้มาจากขั้นตอนการประมาณค่าอิทธิพลของปัจจัย (ปารเมศ ชูติมา, 2545, น.278)

ตารางที่ 2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบ 2^3

Source of Variation	Sum of Square (SS)	Degree of Freedom (d.f.)	Mean Square (MS) = SS/d.f.	F _o
main effects				
A	SS_A	1	MS_A	$F_A = MS_A / MSE$
B	SS_B	1	MS_B	$F_B = MS_B / MSE$
C	SS_C	1	MS_C	$F_C = MS_C / MSE$
2-way interactions				
AB	SS_{AB}	1	MS_{AB}	$F_{AB} = MS_{AB} / MSE$
AC	SS_{AC}	1	MS_{AC}	$F_{AC} = MS_{AC} / MSE$
BC	SS_{BC}	1	MS_{BC}	$F_{BC} = MS_{BC} / MSE$
3-way interactions				
ABC	SS_{ABC}	1	MS_{ABC}	$F_{ABC} = MS_{ABC} / MSE$
Error	SS_E	$8(n-1)$	MSE	
Total	SS_T	$8n-1$		

การวิเคราะห์โดยใช้ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีทั่วไปนั้น สามารถทำได้โดยทำการตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับปัจจัยที่ต้องการทดสอบ ซึ่งแบ่งเป็น 2 กรณี (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงษ์ชนัน เหลืองไพฑูรย์, 2551, น.177) ได้ดังนี้

กรณีทดสอบปัจจัยหลัก (Test of Main Factors) รูปทั่วไปของสมมติฐานที่ทดสอบ คือ

H_0 : ปัจจัยหลักไม่มีผลต่อค่าตอบสนอง (y)

H_1 : ปัจจัยหลักมีผลต่อค่าตอบสนอง (y)

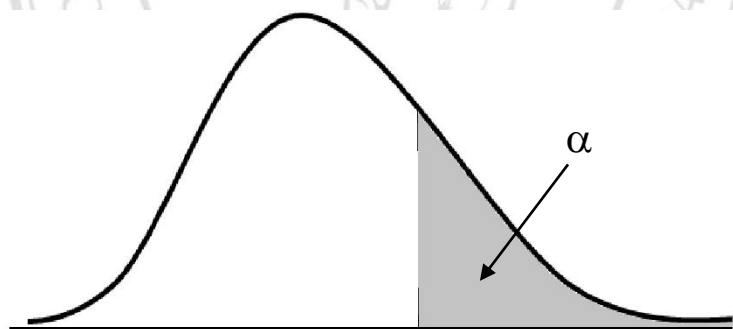
กรณีทดสอบปัจจัยร่วม (Test of Interaction Factors) รูปทั่วไปของสมมติฐานที่ทดสอบ คือ

H_0 : ปัจจัยร่วมไม่มีผลต่อค่าตอบสนอง (y)

H_1 : ปัจจัยร่วมมีผลต่อค่าตอบสนอง (y)

ตัวสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐานทั้งสองกรณี คือ ค่าสถิติ $F_{\alpha, 1, 8(n-1)}$ ที่ได้มาจากตาราง ซึ่งนำมาเปรียบเทียบกับ ค่า F_0 ที่ได้จากการคำนวณ เช่น ต้องการตรวจสอบความมีนัยสำคัญของอิทธิพลหลัก A จึงใช้ ค่าสถิติ $F_{\alpha, 1, 8(n-1)}$ เปรียบเทียบกับ $F_A = MS_A / MSE$ เป็นต้น

การทดสอบเป็นการทดสอบทางเดียวด้านบนดังแสดงในรูป 2.7 บริเวณปฏิเสธ H_0 คือ $F_0 > F_{\alpha, 1, 8(n-1)}$



รูป 2.7 บริเวณวิกฤตของสมมติฐานหลักสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน

4.4) ทำการแก้ไขแบบจำลอง ซึ่งขั้นตอนนี้จะเป็นการพิจารณาผลการวิเคราะห์เพื่อนำตัวแปรที่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญออกจากแบบจำลองเต็มรูปแบบ

4.5) ทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual) เพื่อที่จะตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง และตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานที่ถูกสร้างขึ้นมา โดยที่การออกแบบการทดลองส่วนใหญ่ มักจะตั้งสมมติฐานในการวิเคราะห์จากการที่ y (ตัวแปรตาม) มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ซึ่งการที่ y จะมีการแจกแจงแบบนี้ได้ค่าความผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อนในการทดลอง (Experimental Error or Residual; ϵ) มีการแจกแจงแบบปกติด้วย รวมทั้งต้องเป็นการกระจายที่เป็นอิสระ $\epsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ การตรวจสอบ ϵ_{ij} มี 3 ขั้นตอน ดังนี้ (ปารเมศ ชูดีมา, 2545, น.69-74)

การตรวจสอบการกระจายว่าเป็นแบบแจกแจงปกติหรือไม่ โดยการสร้างกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าความผิดพลาด (Residual) หากข้อสมมติมีความถูกต้องกราฟดังกล่าวควรมีลักษณะเป็นเส้นตรง

การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ทำได้โดยการพล็อตส่วนตกค้าง (Residual) ตามลำดับเวลาของการทดลอง แล้วดูลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนกราฟว่ามีการกระจายเป็นรูปแบบอิสระหรือไม่

การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) ทำได้โดยการสร้างแผนภูมิการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) แล้วดูว่ากราฟที่ได้นี้มีลักษณะการกระจายที่ไม่มีรูปร่างแบบเฉพาะหรือไม่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความแปรปรวนมีค่าคงที่

หากการตรวจสอบสมมติฐานเบื้องต้นทั้ง 3 ประการเป็นไปตามข้อกำหนดดังกล่าวจะสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองมีความถูกต้องและสมมติฐานมีความเหมาะสม

4.6) วิเคราะห์ผลด้วยกราฟ โดยสร้างกราฟอิทธิพลของผลหลัก และกราฟของอันตรกิริยา และแปลผลของข้อมูล พร้อมกับนำข้อสรุปที่ได้ไปประยุกต์ใช้เป็นประโยชน์

5) การแปลงข้อมูล (Transformation)

การทดลองโดยทั่วไปมักจะนิยามทดสอบเพื่อพิจารณาหาความมีนัยสำคัญของผลการทดลอง โดยจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องตั้งอยู่ภายใต้ข้อตกลงเบื้องต้น (Assumption) ซึ่งก็คือค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดลองจะต้องมีการแจกแบบปกติ มีความแปรปรวนเท่ากันและเป็นอิสระซึ่งกันและกัน หากพบว่าผลการทดลองที่เก็บมาได้ไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น และนำไปทดสอบด้วยวิธีการทางสถิติจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของการทดสอบลดลง ซึ่งจะนำไปสู่การสรุปผลการวิเคราะห์ที่ผิดพลาดและขาดความน่าเชื่อถือขึ้นได้ (รังสรรค์ เนียมสนิท, 2534, น.134) ดังนั้นวิธีการแก้ปัญหานี้ในกรณีข้อมูลมีการแจกแบบไม่ปกติและความแปรปรวนมีค่าไม่เท่ากันก็คือ การแปลงข้อมูล (Transformation) โดยใช้วิธีการทางสถิติ (Statistical Methods)

การแปลงข้อมูลเป็นการช่วยแปลงสภาพของข้อมูลที่ไม่มีการแจกแจงแบบปกติให้มีลักษณะเข้าใกล้การแจกแจงแบบปกติมากยิ่งขึ้น หรือทำให้ความแปรปรวนมีความใกล้เคียงกัน การแปลงข้อมูลจะทำได้โดยการอาศัยวิธีการทางสถิติเข้ามาช่วย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแปลงข้อมูลให้ศึกษาให้มีการแจกแจงแบบปกติหรือมีความใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบปกติ ค่าเฉลี่ย และความแปรปรวนของข้อมูลที่ถูกแปลงแล้วจะเป็นอิสระต่อกันซึ่งจะทำให้ความแปรปรวนมีค่าเท่ากัน รูปแบบวิธีการแปลงข้อมูลมีหลายวิธี เช่น

- 1) การแปลงข้อมูลแบบลอการิทึม (Logarithmic Transformation) มีรูปแบบคือ $X' = \log_{10}X$

- 2) การแปลงข้อมูลแบบส่วนกลับ (Reciprocal Transformation) มีรูปแบบคือ $X' = \frac{1}{X}$
- 3) การแปลงข้อมูลแบบอาร์คไซน์ (Inverse sine Transformation) มีรูปแบบคือ $X' = 2\arcsin\sqrt{X}$
- 4) การแปลงข้อมูลแบบสแควร์รูท (Square-root Transformation) มีรูปแบบคือ $X' = \sqrt{X}$

การแปลงข้อมูลแบบสแควร์รูท (Square-root Transformation) เหมาะสำหรับข้อมูลที่ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับการทดลอง และความแปรปรวนมีแนวโน้มเป็นสัดส่วนกัน การแปลงข้อมูลแบบนี้จะใช้เมื่อข้อมูลประกอบด้วยจำนวนเต็มที่มีขนาดเล็ก เช่น จำนวนของแมลง หรือพืชแต่ละสายพันธุ์ในพื้นที่ที่กำหนด และจำนวนเชื้อแบคทีเรียในจานเพาะเชื้อ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลจำพวกนี้มักมีการแจกแจงแบบปัวซอง (Poisson distribution) ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ได้ความถูกต้องจะต้องทำการใส่สแควร์รูทให้ข้อมูลก่อนนำไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งอยู่ในรูปแบบ $X' = \sqrt{X}$ เมื่อ $\mu = \sigma^2$ สำหรับกรณีที่ข้อมูลบางค่าของ X เท่ากับศูนย์ (Freeman & Tukey, 1950) จะใช้รูปแบบ $X' = \sqrt{X+1} + \sqrt{X}$ (สมกิต วงศ์มาก, 2549)

6) การวางแผนแบบ 2^k แฟคทอเรียลที่มีเพียงซ้ำเดียว (A single Replication of the 2^k Design)

สายชล สันสมบัติทอง (2558, น.722) ได้อธิบายว่า การวางแผนการทดลองแฟคทอเรียลแบบ 2^k ที่มีจำนวนปัจจัยมาก จะส่งผลทำให้มีจำนวนทริทเมนต์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก เช่น การวางแผนแบบ 2^7 จะประกอบไปด้วย 32 ทริทเมนต์ และการวางแผนแบบ 2^8 จะประกอบไปด้วย 64 ทริทเมนต์ เป็นต้น เนื่องจากทรัพยากรที่มีจำนวนจำกัด ทำให้จำนวนครั้งของการทำซ้ำที่จะเกิดขึ้นในการทดลองอาจมีค่าจำกัดตามไปด้วย

บางครั้งอาจเรียกการวางแผนแบบ 2^k แฟคทอเรียลที่มีเพียงซ้ำเดียวว่า การวางแผนแบบแฟคทอเรียลที่ไม่มีการทำซ้ำ (unreplicated factorial design) เนื่องจากมีเพียงซ้ำเดียว จึงไม่สามารถหาค่าประมาณสำหรับความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้ (ปารเมศ ชูติมา, 2545, น.280) วิธีการที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์แฟคทอเรียลที่ไม่มีการทำซ้ำก็คือ การสมมติว่าอันตรกิริยาที่อยู่ในขั้นสูง (High Order) ที่มีค่าผลกระทบน้อยสามารถตัดทิ้งไปได้ และรวมค่ากำลังสองเฉลี่ยของพวกอันตรกิริยาเหล่านี้เข้าด้วยกันเพื่อใช้ประมาณค่าความผิดพลาด แนวความคิดนี้มาจากหลักการของผลที่มีนัยสำคัญจะเกิดจากปัจจัยจำนวนน้อย (Scarcity of Effects) กล่าวคือ ผลที่มีต่อระบบส่วนมากจะเป็นผลที่มาจากผลหลักและอันตรกิริยาที่อยู่ในขั้นต่ำ และอันตรกิริยาที่อยู่ในขั้นสูงจะมีค่าน้อยและสามารถตัดทิ้งได้

2.1.5 แนวทางการลดของเสียโดยใช้เทคนิคป้องกันความผิดพลาด (Poka-Yoke)

POKA-YOKA มาจากภาษาญี่ปุ่น 2 คำ คือ คำว่า “POKA” (อ่านว่า โพอ-คา) แปลว่า การผิดพลาดโดยไม่ได้ตั้งใจ หรือพลั้งเผลอ แล้วคำว่า “YOKE” (อ่านว่า โย-เกะ) แปลว่า ป้องกัน ดังนั้น

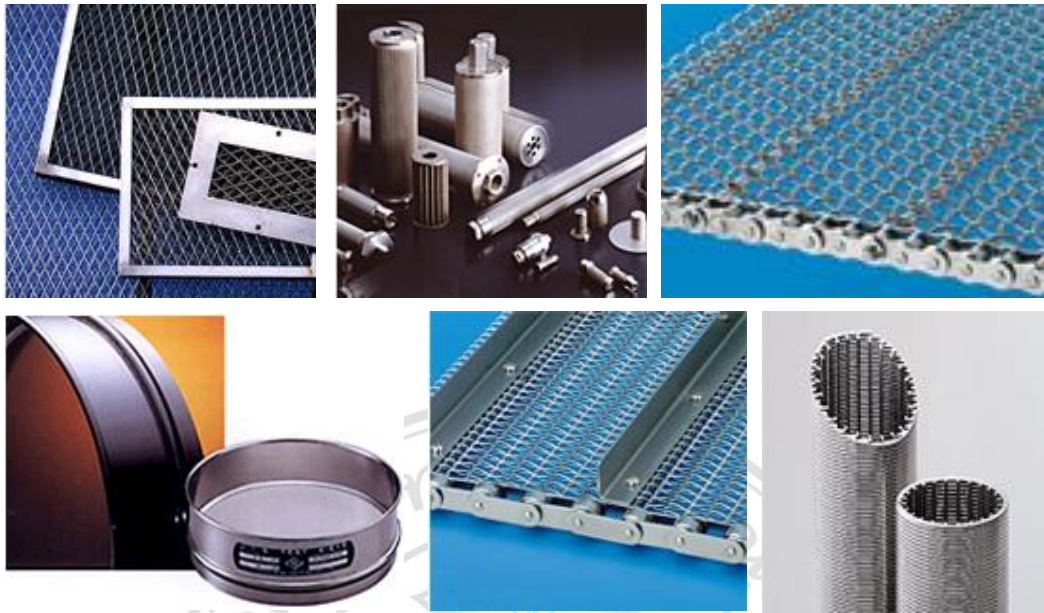
เมื่อรวมกันแล้วจึงมีความหมายว่า การป้องกันความผิดพลาดที่เกิดขึ้นโดยไม่ได้ตั้งใจ ซึ่งสาเหตุของความเสียหายนั้นอยู่ที่ความผิดพลาดของพนักงาน และความเสียหายนั้นก็คือผลของการไม่เอาใจใส่ความผิดพลาดเหล่านี้ ซึ่งจะเกี่ยวเนื่องกับปัญหาด้านคุณภาพตามมา หรืออาจเป็นความผิดพลาดที่ส่งผลไปถึงผลิตภัณฑ์ การค้นหาและการเลือกของเสียออกจากของดี ก็จะใช้เวลามากรวมถึงอาจมีค่าใช้จ่ายตามมาด้วย ซึ่งในบางครั้งการค้นหาของที่ไม่ดีก็ทำได้ยาก จึงอาจทำให้ของเสียนั้นหลุดไปสู่ตลาดหรือลูกค้าได้ง่าย ดังนั้นจึงต้องป้องกันหรือหลีกเลี่ยงความผิดพลาดของการทำงานในสายกระบวนการผลิตไม่ให้ของเสียหลุดออกจากกระบวนการ จึงได้นำ “โพคา โยเกะ” ไปใช้ในกระบวนการผลิต (สุเมธ สาลี, 2559) ระบบ POKA-YOKE จะมีหน้าที่ในการทำงาน ดังต่อไปนี้

วิธีการควบคุม (Control Methods) เป็นวิธีการควบคุมป้องกันความผิดพลาด ความผิดปกติ หรือการชะงักของกระบวนการผลิตที่อาจเกิดขึ้นได้ วิธีดังกล่าวนี้จะทำงานเมื่อมีชิ้นงานที่ผิดปกติเกิดขึ้น และจะส่งผลทำให้เครื่องจักรหยุดการผลิตทันที เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องจักรผลิตชิ้นงานที่ผิดปกติขึ้นต่อไป ซึ่งวิธีการนี้จะเป็นการควบคุมการเกิดของเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบการเตือน

วิธีการเตือน (Warning Methods) คือการใช้สัญญาณเพื่อเตือนให้ทราบถึงความผิดปกติในกระบวนการผลิตซึ่งอาจจะทำให้เกิดการผลิตชิ้นงานที่ผิดปกติหรือเสียออกมา วิธีการนี้สามารถใช้การเตือนด้วยสัญญาณเสียงหรือสัญญาณไฟเตือนก็ได้ อย่างไรก็ตามวิธีการนี้อาจมีประสิทธิภาพน้อยลงหากสถานที่การทำงานไม่เอื้ออำนวยต่อวิธีการเตือนแบบนี้ อาจทำให้ผู้ปฏิบัติงานนั้นไม่ได้ยินเสียงหรือไม่เห็นสัญญาณที่เตือนก็เป็นไปได้

2.1.6 การทอลวดตาข่าย

การทอลวดตาข่ายเกิดจากการนำลวดที่มีขนาดตามที่กำหนดมาทำการถักทอเป็นผืนตาข่ายด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติที่ทันสมัย ขนาดระยะห่างของตาข่ายนั้นจะขึ้นอยู่กับทางเลือกขนาดเส้นลวด และการตั้งค่าเครื่องจักร โดยในผืนงานลวดตาข่ายจะประกอบไปด้วยลวดสองแนว คือ ลวดแนวตั้งที่มีทิศทางเดียวกับเครื่องทอเรียกว่า แนววาฟ และลวดแนวนอนจะเรียกว่า แนวเวฟ ลวดตาข่ายที่ได้จากทอในกระบวนการจะถูกส่งต่อไปผลิตเป็นสินค้าหลากหลายชนิด รูป 2.8 เป็นรูปแสดงตัวอย่างงานลวดตาข่าย เช่น ใส่กรองน้ำมัน ปลอกหุ้มหัวเจาะน้ำมัน สายพานลำเลียง ตะแกรงกรองแป้ง ตาข่ายกันปลวก ใส่กรองน้ำมัน แผ่นกรองของเสีย งานตกแต่งเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น

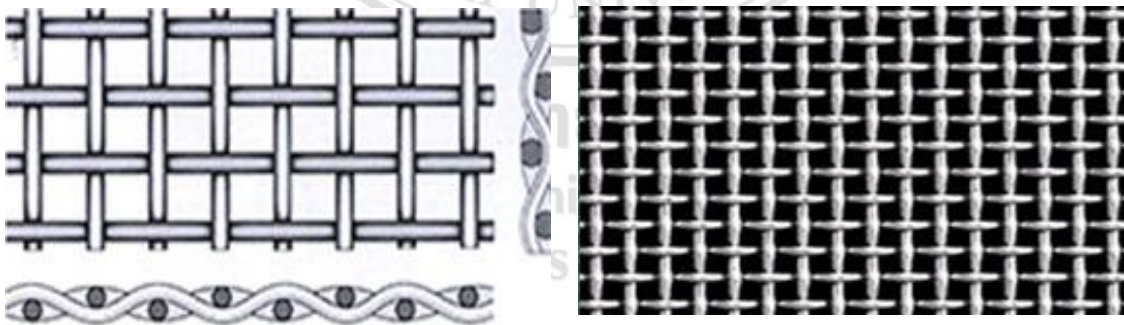


รูป 2.8 งานลวดตาข่ายประเภทต่างๆ

โดยปกติงานทอหลักๆจะมีอยู่ 2 ลักษณะ (สยามไวร์, 2554) ได้แก่

1) การสานแบบธรรมดา (Plain weave)

ลักษณะการทอจะคล้ายกับการทอผ้าทั่วไป ในขั้นแรกนำเส้นลวดเส้นแรกวางตลอดข้างได้ จากนั้นวางข้ามเส้นต่อไปเรื่อยๆโดยโครงสร้างจะเป็นแบบลักษณะขึ้น 1 ลง 1 ทั้งในลวดแนวตั้งและลวดแนวแนวนอน ลักษณะช่องจะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส แสดงดังรูป 2.9 เพื่อรองรับกับสิ่งที่จะมาปะทะกับตัวตะแกรง ความละเอียดของตะแกรงที่สามารถทอได้สูงสุดสำหรับลายนี้อยู่ที่ประมาณ MESH 500

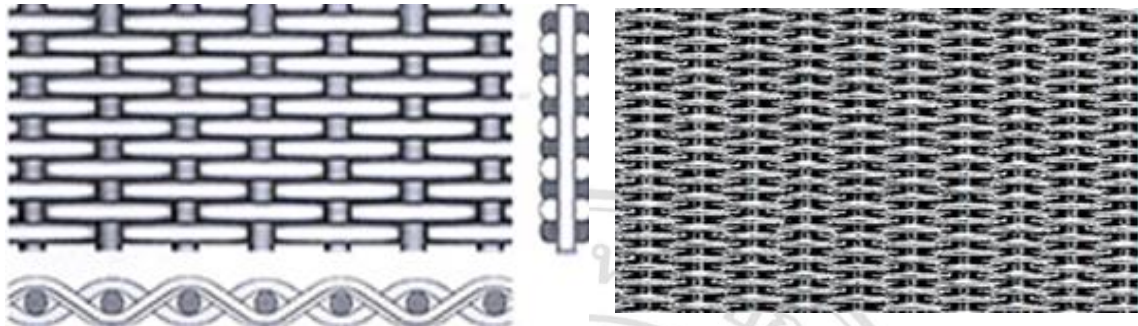


รูป 2.9 ลักษณะการทอแบบสานแบบธรรมดา (Plain weave) (สยามไวร์, 2554)

2) สานแบบดัชต์ ธรรมดา (Plain Dutch Weave)

ลักษณะการทอจะคล้ายกับ Plain weave แต่มีการทอเพิ่มขึ้นอีก 1 ชั้นเป็นการทอแบบ 2 ชั้น โดยโครงสร้างจะเป็นแบบลักษณะขึ้น 1 ลง 1 การทอจะใช้เส้นลวดด้านหนึ่งที่มีขนาดใหญ่และระยะห่างมากกว่าเส้นลวดที่ขัดกันในส่วนอีกด้านหนึ่งการทอจะใช้เส้นลวดที่มีขนาดเล็ก

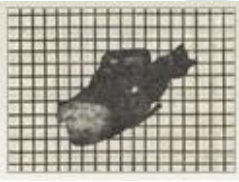
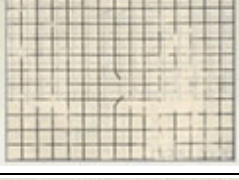
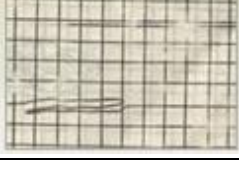
(ละเอียด) และระยะห่างน้อยจะเรียงชิดกันเส้นต่อเส้นแสดงดังรูป 2.10 จึงทำให้เกิดช่องชิดกันมีความหนาแน่นความแข็งแรงและทนทานยาวนาน จึงมีประสิทธิภาพดีกว่าการทอแบบ Plain weave การทอแบบนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า " ตะแกรงลายเสือ"



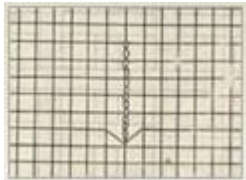
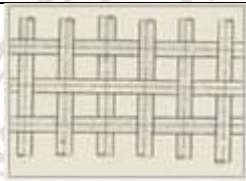
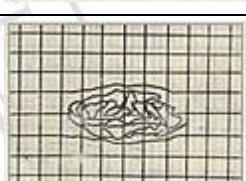
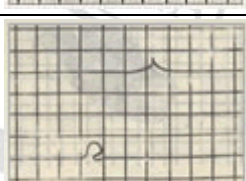
รูป 2.10 ลักษณะการทอแบบสานแบบดัชต์ ธรรมดา (Plain Dutch Weave) (สยามไวร์, 2554)

ในกระบวนการผลิตลวดตาข่าย มักตรวจพบข้อบกพร่องหรือตำหนิขึ้นหลายชนิด ซึ่งก็สามารถพบได้โดยทั่วไปของอุตสาหกรรมการผลิตลวดตาข่าย ตัวอย่างของตำหนิที่เกิดขึ้นบนผืนงานทอลวดตาข่ายสามารถแสดงได้ตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ประเภทของตำหนิที่เกิดขึ้นบนผืนงานทอลวดตาข่าย (Telas Wire Cloth, 2550)

ประเภทตำหนิ	รูปภาพตำหนิ	ลักษณะของตำหนิ
Broken Holes		ลวดหลายเส้นขาดในบริเวณที่ใกล้เคียงกัน จึงทำให้เกิดรูขึ้นบนผืนงาน
Rusty Spots		เกิดจุดสีที่เปลี่ยนแปลงไปบนผืนงาน เนื่องจากการกัดกร่อน
Broken Wire		ลวดเส้นเดียวขาด
Wire Doubling		มีลวดตั้งแต่ 2 เส้นขึ้นไป รวมเข้าไปในบริเวณที่ควรมีลวดอยู่เพียงเส้นเดียว

ตารางที่ 2.3 ประเภทของตำหนิที่เกิดขึ้นบนผืนงานทอลวดตาข่าย (ต่อ) (Telas Wire Cloth, 2550)

ประเภทตำหนิ	รูปภาพตำหนิ	ลักษณะของตำหนิ
Weft Twisting		ลวดทางด้านขวางขดงอ
Knot Bulging		เส้นลวดในแนวตั้งพันกันไม่ดีมีปมอยู่ เป็นสาเหตุทำให้เกิดรอยนูนบนผืนงาน
Mistaken Weaving		วิธีการทอลวดแนวขวางหรือลวดแนวตั้งบาง เส้นเข้าด้วยกันเกิดความผิดพลาด
Loosening of Wire		ลวดทางด้านตั้งหรือลวดทางด้านขวางบางเส้น เกิดการบิดหรือเคลื่อนที่
Weaving In of Impurity		มีวัตถุติดบางอย่างเกาะติดแน่นปิดรูตาข่ายบน ผืนงาน ส่งผลกระทบต่อความเรียบของผืนงาน และอาจทำให้ผืนงานบริเวณใกล้เคียงเสียหายได้
Wire Back		เส้นลวดขดงอหรือบิดเกลียว ส่งผลให้เกิด ขดลวดนูนขึ้นมาจากผืนงานทอ จึงทำให้รูตา ข่ายกว้างกว่าปกติ หรือผืนงานมีลวดนูนออกมา

2.2 ทบทวนวรรณกรรมและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่า ในงานวิจัยที่มุ่งเน้นการลดของเสียในอุตสาหกรรมนั้น มีการใช้เครื่องมือและเทคนิคที่หลากหลายในการทำวิจัย เริ่มตั้งแต่การหาสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสีย ขึ้นโดยอาศัยแผนภาพสาเหตุและผลหรือผังกวางปลา หลังจากที่ได้สาเหตุของแต่ละปัญหาแล้วก็เสนอ แนวทางในการลดของเสียด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น เทคนิคการออกแบบการทดลอง และเทคนิคป้องกัน ความผิดพลาด (Poka-Yoke) เป็นต้น โดยที่สามารถสรุปรายละเอียดการใช้เครื่องมือและเทคนิคต่างๆ เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการทำงานวิจัยนี้ได้ ดังนี้

2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาและการคัดเลือกปัญหา

ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตส่วนแล้วแต่เป็นปัญหาที่ควรได้รับการปรับปรุงและแก้ไข แต่เนื่องจากข้อจำกัดหลายๆอย่าง จึงส่งผลทำให้ไม่สามารถแก้ไขปรับปรุงปัญหาเหล่านั้นได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงต้องทำการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อที่จะสามารถเลือกปัญหาที่มีความสำคัญและส่งผลกระทบต่อกระบวนการมากที่สุดมาทำการปรับปรุงเป็นอันดับต้นๆได้อย่างถูกต้อง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) การจัดลำดับความสำคัญของปัญหา

ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตมีมากมาย จึงจำเป็นที่จะต้องคัดเลือกปัญหาที่ควรได้รับการแก้ไขปรับปรุงเป็นอันดับต้นๆเพื่อทำการปรับปรุงก่อน ซึ่งมีหลายงานวิจัยที่ได้นำการวิเคราะห์แบบแผนภาพพาเรโตมาใช้เพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหา ดังเช่นงานวิจัย ธนิตา สุณารักษ์ (2561) ได้มีการประยุกต์ใช้แผนภาพพาเรโตเพื่อเลือกผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนของรถจักรยานยนต์ในแผนกเชื่อมมาทำการศึกษา ซึ่งจาก 4 ผลิตภัณฑ์พบว่า ผลิตภัณฑ์ตัวยัดชุดสปีดจักรยานยนต์มีของเสียจากการเชื่อมถึงร้อยละ 99.12 จึงเลือกผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมาศึกษา และเมื่อพิจารณาขั้นตอนการเชื่อมตัวยัดชุดสปีดจักรยานยนต์พบของเสียเกิดขึ้น 6 ประเภท จึงได้ทำการวิเคราะห์ด้วยแผนภาพพาเรโตเพื่อเลือกประเภทของเสียที่ควรได้รับการแก้ไขเป็นอันดับแรก ซึ่งก็คือของเสียประเภทแนวเชื่อมไม่ซึมลึก นอกจากนี้งานวิจัยของ Jirasukprasert (2014) ที่ต้องการลดข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตถุงมือยาง ได้นำแผนภาพพาเรโตมาเป็นเครื่องมือในการเลือกปัญหาที่จะทำการศึกษา ซึ่งจากเก็บข้อมูลข้อบกพร่องของถุงมือยางที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยแผนภาพพาเรโต พบว่าข้อบกพร่องประเภทรอยร้าวส่งผลต่อกระบวนการมากที่สุดจึงนำปัญหานี้ไปทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

2) การหาความสัมพันธ์

การหาความสัมพันธ์ (Association Rules data mining) ได้ถูกนำมาใช้ในการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลสองชุดหรือมากกว่าสองชุดขึ้นไปภายในกลุ่มข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ ตัวอย่างหนึ่งของการหาความสัมพันธ์ที่ใช้กันก็คือการวิเคราะห์ตะกร้าตลาด (Market Basket Analysis) ที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์ของสินค้าที่ถูกค้ามักซื้อพร้อมกัน เพื่อใช้ในการจัดรายการส่งเสริมการขาย ในการหาความสัมพันธ์ (Association Rules) นั้นมีขั้นตอนวิธีการหาหลายวิธีด้วยกัน แต่ขั้นตอนวิธีที่เป็นที่รู้จักและใช้อย่างแพร่หลายคือ ขั้นตอนวิธี Apriori ดังเช่นงานวิจัย Istrat and Lalic (2017) ได้ทำการหาความสัมพันธ์ (Association Rules) จากข้อมูลจำนวน 2,000 ชุดข้อมูลโดยใช้อัลกอริทึม Apriori กำหนดค่าสนับสนุนขั้นต่ำ (minimum support) ไว้ที่ 20% และกำหนดค่าความเชื่อมั่นขั้นต่ำ

(minimum confidence) 40 % เพื่อค้นหารูปแบบพฤติกรรมของผู้ซื้อซึ่งช่วยปรับปรุงกระบวนการขายของอุตสาหกรรมสิ่งทอให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ Yildirim and Birant (2017) ยังได้ทำการค้นหากฎความสัมพันธ์ (Association rules) ระหว่างค่าพารามิเตอร์ของเส้นด้ายกับคุณสมบัติของผ้า โดยทำการวิเคราะห์จากข้อมูลทั้งหมด 1,800 ชุดข้อมูล และกำหนดค่าสนับสนุนขั้นต่ำ ไว้ที่ 50% เพื่อนำกฎความสัมพันธ์ที่ได้มาใช้ในการออกแบบคุณสมบัติของผ้าให้ตรงต่อความต้องการของผู้บริโภคและอุตสาหกรรมสิ่งทอ และในงานวิจัยของ Wongwan and Laosiritaworn (2018) ก็ได้นำเทคนิคการหาความสัมพันธ์มาประยุกต์ใช้กับการหาความสัมพันธ์ของตำหนิแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตลวดตาข่ายสแตนเลส ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลทั้งหมด 2,281 ชุดข้อมูล โดยมีข้อมูลจำนวนตำหนิ 19 ชนิด และกำหนดค่าสนับสนุนขั้นต่ำและค่าความเชื่อมั่นขั้นต่ำที่ 50% เมื่อนำข้อมูลไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ พบว่า เมื่อเกิดตำหนิ hard warp ขึ้นก็มักจะเกิดตำหนิ open mesh ตามมาด้วยซึ่งมีความมั่นใจ 96.3% ในทางตรงกันข้ามหากเกิดตำหนิ open mesh ขึ้นก็มักจะเกิดตำหนิ hard warp ตามมาด้วยซึ่งมีความมั่นใจ 99.9% ซึ่งสามารถนำกฎความสัมพันธ์เหล่านี้ไปต่อยอดงานวิจัยในอนาคตได้

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาและการคัดเลือกปัญหาพบว่า การวิเคราะห์แผนภาพพาเรโตทำให้สามารถจัดลำดับความสำคัญของปัญหาได้และเมื่อปรับใช้ร่วมกับเทคนิคการหาความสัมพันธ์ทำให้สามารถลดปัญหาที่ต้องการแก้ไขลงได้ ดังนั้นสองเทคนิคนี้จึงเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยครั้งนี้

2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

เมื่อทำการเลือกปัญหาที่จะทำการปรับปรุงแก้ไขได้แล้วนั้น ขั้นตอนถัดมาจะเป็นการหาสาเหตุของปัญหา โดยวิธีที่นิยมใช้ในการหาสาเหตุของปัญหาคือ การใช้เทคนิคแผนผังแสดงและเหตุร่วมกับเทคนิคการระดมสมอง ซึ่งเป็นการนำสาเหตุที่วิเคราะห์ได้จากการระดมสมองมาแสดงบนแผนผังแสดงเหตุและผล เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างปัญหากับสาเหตุต่างๆ โดยเป็นการจัดรูปแบบให้ง่ายต่อการวิเคราะห์และได้ข้อมูลครบถ้วนเป็นระเบียบ ซึ่งจะนำไปสู่การค้นพบสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาได้ ดังเช่น งานวิจัยของ ธนิตา สุนารักษ์ (2561) ที่ได้นำแผนผังแสดงเหตุและผลมาใช้วิเคราะห์หาสาเหตุของเสียประเภทแนวเชื่อมไม่ซึมลึกของกระบวนการเชื่อมด้วยอิเล็กทโรดจักรยานยนต์ พบว่า อุปกรณ์จับยึดเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียมากที่สุด เนื่องจากอุปกรณ์แบบเดิมจับชิ้นงานไม่แน่นทำให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ได้ รวมทั้งมีองศาที่บังแนวเชื่อมทำให้มองไม่เห็นแนวที่จะเชื่อม จึงได้ดำเนินการเพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์จับยึดแบบใหม่

รวมทั้งงานวิจัยของ Jirasukprasert (2014) ก็ได้ทำการระดมสมองกับนักผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตถุงมือยาง เพื่อหาสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยร้าวบนถุงมือยางโดยอาศัยแผนผังแสดงเหตุและผล จากการวิเคราะห์พบว่ามียู 2 สาเหตุซึ่งก็คือ ปัจจัยอุณหภูมิของเตาอบ และความเร็วของสายพานที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องขึ้น นอกจากนี้ งานวิจัยของเขาวนาฏศรีวิชัย และรุ่งนิตร์ ชมภูอินใจ (2554, น.380) ก็ได้้นำแผนผังแสดงเหตุและผลร่วมกับเทคนิคการระดมสมองของพนักงานฝ่ายการผลิตมาใช้วิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่อง Draw Over บนผืนงานในกระบวนการผลิตลวดตาข่าย พบว่ามีสาเหตุมาจากการที่เครื่องจักรจอดผิดตำแหน่ง และลวดขาดหรือหลุดขณะทำการทอ จึงได้นำสาเหตุเหล่านี้ไปทำการกำหนดวิธีการปรับปรุงต่อไป

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาพบว่า การนำเทคนิคการระดมสมองและเทคนิคแผนผังแสดงเหตุและผลมาใช้ สามารถช่วยทำให้วิเคราะห์หาสาเหตุที่จริงของปัญหาได้อย่างเป็นระบบซึ่งมีเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับงานวิจัยในครั้งนี้

2.2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับผลตอบ

ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเป็นปัญหาที่ควรได้รับการปรับปรุงและแก้ไขอย่างถูกวิธี ดังนั้นจึงควรเริ่มต้นจากการคัดกรองหาปัจจัยที่มีความสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหานี้เพื่อที่จะทำให้สามารถแก้ไขปัญหาก็ได้ถูกต้อง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การวิเคราะห์เพื่อคัดกรองปัจจัยโดยใช้ข้อมูลในอดีต

1.1) การคัดกรองปัจจัยจากการทำเหมืองข้อมูลโดยใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ

การทำเหมืองข้อมูล คือการสำรวจหรือการวิเคราะห์และค้นหาลักษณะที่มีประโยชน์จากฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ เพื่อให้ได้มาซึ่งความรู้ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (หนึ่งหทัย ชัยอากร, 2559) และเทคนิคการสร้างต้นไม้ตัดสินใจ (Decision tree) เป็นหนึ่งในเทคนิคของการทำเหมืองข้อมูลที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และมีความเหมาะสมกับข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งได้ถูกนำมาเป็นเป็นวิธีในการคัดกรองหาปัจจัยที่มีความสำคัญเพื่อนำไปทำการแก้ไขและปรับปรุงกระบวนการ ดังที่ กฤษณ์ นวลจันทร์ (2556) ได้ทำการค้นหาปัจจัยการผลิตที่ส่งผลให้เกิดจุดขาวในกระบวนการผลิตยางแท่ง ของบริษัทศรีตรังแอโกรอินดัสทรี จำกัด(มหาชน) โดยได้ทำการเก็บข้อมูลจากฐานข้อมูลของบริษัทพบว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอยู่ 9 ปัจจัย จึงได้นำปัจจัยนั้นมาทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์และจัดลำดับความสำคัญกับการเกิดจุดขาวในกระบวนการผลิตโดยการทดสอบข้อมูลด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูลโดยวิธีการสร้างต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) พบว่าผลของความชื้นเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดจุดขาวในกระบวนการผลิตมากที่สุด

1.2) เทคนิคการวิเคราะห์สหสัมพันธ์

การนำเทคนิคการวิเคราะห์สหสัมพันธ์มาใช้ในการคัดกรองปัจจัย จะเป็นหาความสัมพันธ์ของปัจจัยเหล่านั้นกับปัญหาที่เกิดขึ้นว่ามีความสัมพันธ์ไปในทิศทางใด และมีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด เพื่อทำการคัดเลือกปัจจัยที่มีความสัมพันธ์หรือมีผลกระทบมากกับปัญหาที่เกิดขึ้นไปทำการทดลองหาค่าสถานะที่เหมาะสมต่อไป ซึ่งในงานวิจัยของ ภทรศยา ดันดีวัฒนกุล และอรรณกร เก่งพล (2556) ได้นำการวิเคราะห์สหสัมพันธ์มาใช้คัดเลือกตัวแปรหรือปัจจัย (ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ) ที่มีความสัมพันธ์กับต้นทุนของเสีย มาใช้สำหรับการสร้างแบบจำลองพยากรณ์มูลค่าต้นทุนของเสียที่เกิดจากกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และในงานวิจัยของอรเพ็ญ ชยาภัม, กฤติยา อึ้งวรารกร, และเจริญ สุนทรวาณิช (2555) ก็ได้นำเอาวิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์เข้ามาใช้ในการพิสูจน์สาเหตุด้านวัสดุที่ก่อให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพในกระบวนการผลิตของบรรจุอาหารชนิดเคลือบโพลีโพรพิลีน โดยทำการหาความสัมพันธ์ของความแตกต่างระหว่างความหนาของแผ่นฟิล์มกับระยะเสื่อมด้วยวิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ พบว่าปัจจัยทั้งสองปัจจัยไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.3) เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นวิธีการที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพยากรณ์ตัวแปรตามด้วยค่าความสัมพันธ์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกนำการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (simple regression analysis) มาใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักรที่ละ 1 ปัจจัยเพื่อเป็นตัวบ่งบอกอิทธิพลของจำนวนตำหนิที่เกิดขึ้น ซึ่งจัดว่าเป็นการคัดกรองปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับผลตอบอีกวิธีหนึ่ง โดยงานวิจัยของ กัญจน์รัช แซงทอง (2557) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยในการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทสปริงล้อยี่ห้อของรถจักรยานยนต์กับมูลค่าการผลิตด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอย พบว่าปัจจัยในการผลิตทั้ง 3 ด้านคือ ระยะห่างของกระบวนการผลิต ปริมาณการผลิต และระยะเวลาสูญเสียในการผลิตมีความสัมพันธ์กับมูลค่าต้นทุนการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ซึ่งจากการศึกษาวิธีการคัดกรองปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับผลตอบ โดยใช้ข้อมูลในอดีตสามารถสรุปลักษณะของการนำแต่ละเทคนิคมาใช้งานได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงวิธีการคัดกรองปัจจัยจากข้อมูลในอดีต

วิธีการคัดกรองปัจจัย	ลักษณะการนำมาใช้งาน
1. การสร้างต้นไม้-ตัดสินใจ	วิธีการนี้เหมาะกับการที่มีข้อมูลในอดีตเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะเป็นการช่วยให้โมเดลต้นไม้ตัดสินใจมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ข้อจำกัดคือข้อมูลที่เป็นผลตอบที่จะนำมาใช้หาความสัมพันธ์กับปัจจัยจะต้องเป็นข้อมูลระดับอันดับ (Ordinal Scale) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มสามารถบอกอันดับความแตกต่างได้ เช่น เกรดของยางแท่ง
2. เทคนิคการวิเคราะห์สหสัมพันธ์	การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้จะแสดงลำดับความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในรูปของ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ทำให้ทราบได้ว่าความสัมพันธ์ที่ได้มานั้นเป็นความสัมพันธ์ในเชิงบวกหรือเชิงลบ และมีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด และเทคนิคนี้เหมาะกับการวิเคราะห์ที่ข้อมูลผลตอบเป็นข้อมูลระดับอัตราส่วน (Ratio Scale) ซึ่งสามารถบอกตัวเลขได้อย่างชัดเจนและสามารถจัดอันดับได้ เช่น มูลค่าความสูญเสีย
3. เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย	การวิเคราะห์การถดถอยเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปร ซึ่งก็คือตัวแปรต้นและตัวแปรตาม เป็นการดูความสัมพันธ์ว่า เมื่อตัวแปรต้นเปลี่ยนไปแล้วตัวแปรตามจะเปลี่ยนไปด้วยหรือไม่ ซึ่งทั้งสองตัวแปรนี้จะต้องเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ โดยที่สามารถเขียนรูปแบบความสัมพันธ์ของสองตัวแปรให้อยู่ในรูปของสมการการถดถอยได้ เพื่อประมาณการค่าของตัวแปรตามเมื่อทราบค่าของตัวแปรต้นแล้ว

2) การวิเคราะห์เพื่อคัดกรองปัจจัยโดยวิธีการออกแบบการทดลอง

เทคนิคการออกแบบการทดลองสามารถนำมาใช้เป็นวิธีการคัดกรองปัจจัย (Screening factor) ในเบื้องต้นได้ โดยจากการทดลองจะเลือกปัจจัยที่มีนัยสำคัญทางสถิติไปทำการออกแบบการทดลองเพื่อค่าระดับสภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไป มีหลายงานวิจัยที่ได้เลือกใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ 2 ระดับ เป็นวิธีช่วยในการคัดกรองปัจจัย ดังเช่นงานวิจัยของจิตรลดา เลิศกิตติกุล และนันทชัย กานตานันทะ (2557) ที่ได้ทำการคัดเลือกปัจจัยที่วิเคราะห์ได้จากการจำแนกสาเหตุของปัญหาที่มีผลต่อการเกิดของเสียของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ พบว่าทุกปัจจัยมีผลต่อความเสียหายอย่างมีนัยสำคัญ ปัจจัยเหล่านั้นจึงถูกนำไปทำการทดลองเพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมต่อกระบวนการ ในขณะที่งานวิจัยของโสภิตา ท่วมมี (2550) ก็ได้ทำการคัดกรองปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณของเสียประเภทเม็ดพืชีไม่

ห ลอมละลายบนผิวผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่นที่การทดลอง 2 ระดับเช่นกัน พบว่าจากการทดลองเพื่อลดปัจจัยหลักที่ไม่มีนัยสำคัญออก จะทำให้เหลือ 2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปัญหาเม็ดฟิชีไม่ห ลอมละลายบนผิวผลิตภัณฑ์ ซึ่งก็คืออุณหภูมิในการห ลอม PVC Compound ที่ Mixing Rolls และปริมาณเศษพลาสติกฟิชีแผ่นที่นำกลับมาห ลอมใหม่ที่ Mixing Rolls นอกจากนี้ ปิยพงษ์ ริดเจียว (2554) ยังได้ทำการค้นหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำให้เกิดของเสียและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะคุณภาพต่อกระบวนการผลิตกระจกโครเมียม โดยการคัดกรองปัจจัยด้วยการออกแบบการทดลองทางสถิติซึ่งเป็นหนึ่งในประเภทของการออกแบบการทดลอง เพื่อลดปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญออก และนำปัจจัยหลักที่เหลืออยู่ไปศึกษาต่อ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไป

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคัดเลือกปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับผลตอบเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยในครั้งนี้พบว่า เทคนิคการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ และเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเป็นเทคนิคที่ช่วยในการคัดกรองปัจจัยโดยอาศัยข้อมูลในอดีตมาเป็นตัววิเคราะห์ ซึ่งเหมาะสมกับงานวิจัยนี้เพราะว่าข้อมูลในการตั้งค่าเครื่องจักรกับจำนวนตำหนิที่เกิดขึ้นเป็นข้อมูลเชิงปริมาณที่เป็นตัวเลขตัวชัดเจนและมีการเก็บบันทึกข้อมูลในอดีตไว้อย่างเป็นระเบียบ จึงเหมาะกับการใช้ 2 เทคนิคนี้ เพื่อทำการคัดกรองปัจจัยก่อนที่จะนำปัจจัยเหล่านี้เข้าสู่กระบวนการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนตำหนิที่เกิดขึ้นอย่างมีนัยสำคัญต่อไป

2.2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ไขและปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดของเสีย

1) การแก้ไขและปรับปรุงกระบวนการโดยเทคนิคการออกแบบการทดลอง

เทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments) ถือเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้เพื่อทำการปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิต และใช้แก้ไขปัญหาดังๆ ซึ่งปัญหาการเกิดตำหนิบนผลิตภัณฑ์หรือการลดของเสียในกระบวนการผลิตก็เป็นหนึ่งจากหลายปัญหาที่สามารถใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเข้ามาช่วยได้ ดังเช่น งานวิจัยของจิตรลดา เลิศกิตติกุล และนันทชัย กานตานันทะ (2557) ที่ได้ทำการลดปริมาณของเสียของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ 3 ระดับ เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมต่อกระบวนการ ผลของระดับปัจจัยที่ได้จากการทดลองช่วยลดปริมาณของเสียเฉลี่ยของบรรจุภัณฑ์ได้ร้อยละ 78.65 คิดเป็นมูลค่าของเสียที่ลดลงประมาณ 9 ล้านบาทต่อปี

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของโสภิตา ท้วมมี (2550) ที่ได้ทำการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3 ระดับ (3^k Factorial Design) เพื่อหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่น หลังจากการปรับปรุงกระบวนการพบว่าสามารถลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบได้ 73.08% และยังช่วยลดมูลค่าความเสียหายและต้นทุนในการผลิตลงได้อีกด้วย ในขณะที่งานวิจัยของ Baharuddinn (2016) ได้ทำการศึกษาหาวิธีการเพื่อลดข้อบกพร่องใน

กระบวนการหุบเคลือบนิกเกิล โดยอาศัยการทดลองแบบแฟคทอเรียลและได้ทำการคัดเลือกปัจจัยมา 3 ปัจจัยเพื่อไปทำการศึกษ โดยในแต่ละปัจจัยมีจำนวน 2 ระดับ ผลของการทดลองพบว่าเมื่อปัจจัย BCS (Brightner Correction Solution) และ อันตรกิริยาร่วมระหว่างปัจจัย Brightner Correction Solution (BCS) และ อุณหภูมิความร้อนของ COT (Cream or Tartar) ที่มีผลกับจำนวนข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากนั้นจึงสามารถวิเคราะห์หาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมในกระบวนการหุบเคลือบนิกเกิล คือ BCS 22 กรัม/ลิตร และอุณหภูมิความร้อนของ COT อยู่ที่ 50 องศาเซลเซียส

ยิ่งไปกว่านั้นเทคนิคซิกม่า ซึ่งเป็นเทคนิคที่นำมาใช้เพื่อลดของเสียในอุตสาหกรรมก็ยังมีการนำเทคนิคการออกแบบการทดลองเข้าไปใช้ในขั้นการปรับปรุง (Improve) อีกด้วย ดังเช่นงานวิจัยของ Jirasukprasert (2014) ที่ต้องการลดข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตถุงมือยาง โดยการใช้หลักการซิกม่า ด้วยวิธีการแก้ปัญหา DMAIC ซึ่งได้นำวิธีการออกแบบการทดลองเข้าไปช่วยในขั้นตอนการปรับปรุงและพบว่าปัจจัยอุณหภูมิของเตาอบ และความเร็วของสายพานมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องบนถุงมือยางอย่างมีนัยสำคัญ จึงได้ทำการวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิของเตาอบ และค่าความเร็วของสายพานที่เหมาะสมต่อการทำงานเพื่อลดข้อบกพร่องประเภท การรั่วไหล, ความสกปรก และอื่นๆ ได้ดังนี้ 230 องศาเซลเซียส และ 650 รอบ/นาที ตามลำดับ ผลจากการพัฒนาปรับปรุงทำให้เปอร์เซ็นต์ของเสียลดลงจาก 30.25% เป็น 14.70%

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการออกแบบการทดลองที่ได้ทำการศึกษา พบว่าเทคนิคการออกแบบการทดลองเป็นที่นิยมใช้ในงานวิจัยที่ต้องการลดของเสียหรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต และเป็นวิธีที่ช่วยทำให้สามารถหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมต่อการทำงานได้อีกด้วยงานวิจัยนี้จึงได้เลือกนำเทคนิคการออกแบบการทดลองมาเป็นตัวช่วยเพื่อแก้ไขปัญหาดำเนินบนพื้นโรงงานของกระบวนการผลิตลวดตาข่าย

2) การแก้ไขและปรับปรุงกระบวนการโดยเทคนิคป้องกันความผิดพลาด (Poka-Yoke)

เทคนิคการป้องกันความผิดพลาด (Poka-Yoke) จะหมายถึงการป้องกันความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากความไม่ตั้งใจ โดย Dr.Shigeo Shingo วิศวกรชาวญี่ปุ่นที่เป็นผู้ตั้งปัญหานี้ขึ้นมาเพื่อที่จะมุ่งเน้นการควบคุมคุณภาพแบบของเสียให้เป็นศูนย์ ซึ่งเป็นความผิดพลาดที่พบว่าเกิดจาก “คน” มากที่สุด และเทคนิคดังกล่าวนี้ก็ได้รับความนิยมและถูกเลือกนำมาใช้ให้เป็นวิธีในการแก้ไขปัญหาต่างๆ (เสนชูบุ โคโจนาริ, 2540) เช่น ในงานวิจัยของวิรัช มัญญารักษ์ (2555) ได้ทำการออกแบบอุปกรณ์ที่ช่วยในการร่างแบบตัดแต่งชิ้นงานของกระบวนการผลิตกรอบรูปวิทยาศาสตร์ มีชื่ออุปกรณ์ว่า “CutCrop” จากการประยุกต์ใช้ทฤษฎี Poka-Yoke ทำให้สามารถควบคุมของเสียในขั้นตอนการผลิตในส่วนของการร่างแบบและการตัดแต่งชิ้นงานได้ 100% เท่านั้นยังไม่พอ ยังส่งผลให้ความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาด

ของกระบวนการเดิม 60% ถูกกำจัดให้หมดไปได้ เช่นเดียวกับ งานวิจัยของเขาวนาฏ ศรีวิชัย และรุ่งจักร ชมภูอิน ไหว (2554, น.381) ที่ได้ทำการปรับปรุงแทนสำหรับใส่หลอดลวดแบบใหม่ที่ใช้ในขั้นตอนการ ทอลวดตาข่าย โดยออกแบบตามหลักการป้องกันความผิดพลาดในการทำงาน ซึ่งช่วยควบคุมการเกิด ข้อบกพร่อง Draw Over ในกระบวนการผลิตลวดตาข่ายให้ลดลงได้ 58.19%

นอกจากนี้ ทวีวัฒน์ ทองจอน และอนุชาติ เรืองไม (2558) ที่ได้ทำการออกแบบและปรับปรุง จิ๊กฟิกเจอร์ให้มีการตรวจสอบแบบกึ่งอัตโนมัติตามหลักของ Poka-Yoke เพื่อสร้างระบบช่วย ตรวจสอบและป้องกันความผิดพลาดของกระบวนการผลิตท่อส่งสารทำความเย็น จากการทดสอบ พบว่าระบบช่วยตรวจสอบและป้องกันความผิดพลาดได้ในระดับเฉลี่ย 100% ซึ่งสามารถป้องกันของ เสียไม่ให้หลุดออกไปสู่ลูกค้าได้ เช่นเดียวกับ งานวิจัยของสุพัตรา เกษราพงศ์ (2552) ก็ได้ทำการ จัดทำระบบ Poka-Yoke โดยจัดทำเอกสารวิธีการปฏิบัติงาน และปรับเปลี่ยนวิธีปฏิบัติงานให้ เหมาะสมพร้อมกับทำการอบรมหน้าสถานีงาน เพื่อป้องกันการเกิดของเสียในกระบวนการผลิต ชิ้นส่วนยานยนต์ ซึ่งพบว่าวิธีการนี้ให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจโดยที่เปอร์เซ็นต์ของของเสียลดลงจาก เดิมจาก 4.2172 % เป็น 0.2796% และ 0.0537% ของการปรับปรุงครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ตามลำดับ

จากที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นจะพบว่าเทคนิคการป้องกันความผิดพลาด (Poka-Yoke) เป็น เทคนิคที่ง่ายต่อการนำมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาได้ ใช้งบประมาณน้อย และสามารถนำมาช่วยลดความ ผิดพลาดในการทำงานที่อาจจะก่อให้เกิดมูลค่าความเสียหายได้ งานวิจัยนี้จึงได้เลือกนำเอาเทคนิคนี้มา ใช้ในการแก้ไขปัญหารอยตำหนิที่เกิดขึ้นบนผืนงาน

2.2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดของเสียในกระบวนการผลิตลวดตาข่าย

ในกระบวนการผลิตลวดตาข่ายมักมีตำหนิบนผืนงานเกิดขึ้นจำนวนมากและหลายประเภท ส่งผลทำให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิตซึ่งนับว่าเป็นต้นทุนการผลิตอีกประเภทหนึ่ง โดยที่ใน งานวิจัยของ Wongwan and Lasiritaworn (2018) ได้ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ของตำหนิที่เกิดขึ้น ในกระบวนการผลิตลวดตาข่ายสแตนเลส โดยอาศัยเทคนิคการหาความสัมพันธ์ด้วยอัลกอริทึม FP- Growth ซึ่งเป็นหนึ่งในเทคนิคของการทำเหมืองข้อมูล (Data mining) จากการวิเคราะห์ข้อมูล ตำหนิทั้ง 19 ชนิด พบกฎความสัมพันธ์ที่น่าสนใจ คือ เมื่อเกิดตำหนิ hard warp ขึ้นก็มักจะเกิดตำหนิ open mesh ตามมาด้วยซึ่งมีค่าความมั่นใจ 96.3% ในทางตรงกันข้ามหากเกิดตำหนิ open mesh ขึ้นก็ มักจะเกิดตำหนิ hard warp ตามมาด้วยซึ่งมีค่าความมั่นใจ 99.9% นอกจากนี้ก็ยังพบความสัมพันธ์ของ ตำหนิ hard warp, open mesh หรือ ตำหนิตาของผืนงานในแนวขวางมีขนาดไม่สม่ำเสมอ และ open mesh full ที่มักจะเกิดขึ้นพร้อมกันด้วยความถี่ 59% และจากการเก็บข้อมูลจำนวนตำหนิที่เกิดขึ้นในปี 2016 พบว่าจำนวนตำหนิของทั้ง 3 ชนิดนี้คิดเป็น 87% ของตำหนิที่เกิดขึ้นทั้งหมด ซึ่งในอนาคตหาก นำกฎความสัมพันธ์ที่วิเคราะห์ได้นี้ไปพัฒนาปรับใช้กับกระบวนการผลิต โดยการหาสาเหตุของการ

เกิดดำเนินแล้วทำการหาแนวทางแก้ไขปรับปรุงก็อาจจะสามารถช่วยลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตได้

นอกจากนี้ยังมีหลายงานวิจัยที่มุ่งเน้นทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการลดของเสียในกระบวนการผลิตลดค่าขาย เช่น งานวิจัยของเยาวนาฏ ศรีวิชัย (2554) ที่ได้ทำการศึกษาหาแนวทางเพื่อลดจำนวนข้อบกพร่องบนผืนงานโดยใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งข้อบกพร่องที่เลือกนำมาทำการศึกษาที่ได้จากการวิเคราะห์แผนภาพพาเรโตก็คือ ลวดแนวตั้งขาด ตาของผืนงานในแนวกว้างกว้างกว่าค่าที่กำหนด รอยตำหนิจากการล้างชนิดรอยไหม้ และรอยตำหนิจากการล้างชนิดคราบน้ำ จากนั้นจึงหาสาเหตุของแต่ละปัญหา และนำสาเหตุดังกล่าวไปหาแนวทางแก้ไขปรับปรุงได้ดังนี้ ข้อบกพร่องประเภทลวดแนวตั้งขาดจะถูกแก้ไขโดยทำการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของแรงดึงที่ใช้ในการตั้งค่าเครื่องทอซึ่งทำให้ข้อบกพร่องประเภทนี้ลดลง 16.92% ส่วนข้อบกพร่องประเภทตาของผืนงานในแนวกว้างกว้างกว่าค่าที่กำหนดถูกปรับปรุงโดยการใช้เทคนิคป้องกันความผิดพลาดในการทำงานร่วมกับการปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานซึ่งสามารถช่วยลดข้อบกพร่องได้ 54.71% และรอยตำหนิจากการล้างชนิดรอยไหม้แก้ไขโดยการปรับปรุงกระบวนการทำงานในขั้นตอนการล้างผืนงานซึ่งทำให้รอยตำหนิชนิดนี้ลดลง 62.64% ในขณะที่การแก้ไขรอยตำหนิจากการล้างชนิดคราบน้ำจะอาศัยเทคนิคการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ 2^3 เพื่อศึกษาหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิต ซึ่งการปรับปรุงด้วยวิธีนี้ทำให้รอยตำหนิชนิดคราบน้ำลดลง 38.97% และในขั้นตอนสุดท้ายของงานวิจัยได้มีการสร้างแผนภูมิควบคุมและกำหนดมาตรฐานในการทำงานเพื่อควบคุมกระบวนการไม่ให้เกิดปัญหาซ้ำขึ้นอีก

เช่นเดียวกับงานวิจัยของวิเชียร แก้วณะศรี (2550) ที่ได้นำเอาเครื่องมือควบคุมคุณภาพและวงจร DMAIC ของเทคนิคซิกซ์ ซิกม่า มาประยุกต์ใช้ในการลดจำนวนของเสียของอุตสาหกรรมทอลวดตาข่ายเช่นกัน โดยปัญหาที่เลือกนำมาทำการศึกษา คือ ตาของผืนงานในแนวเวฟมีค่าไม่สม่ำเสมอ แคลหรือกว้างกว่าค่าที่กำหนดไว้ในตอนเริ่มต้นม้วน (OS) ตาของผืนงานในแนวเวฟมีค่าไม่สม่ำเสมอ แคลหรือกว้างกว่าค่าที่กำหนดไว้ตลอดแนว (OF) รอยของโคลสปีม (BM) และการงอของลวดวาฟไม่สม่ำเสมอ (CP) ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยแผนผังแสดงเหตุและผลพบว่า ทั้ง 4 ปัญหานี้ล้วนแล้วแต่มีสาเหตุมาจากเครื่องจักรและพนักงาน จึงได้ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขในส่วนเครื่องจักรและจัดทำมาตรฐานการทำงานพร้อมทั้งจัดอบรมพนักงานควบคู่กันไป ผลจากการดำเนินการแก้ไขปรับปรุงและติดตามควบคุมกระบวนการพบว่า ข้อบกพร่อง OS ยังคงอยู่ที่ระดับเฉลี่ย 4.79 % ในขณะที่ข้อบกพร่อง OF ลดลงจากระดับ 7.65% เหลือ 5.47% ส่วนข้อบกพร่อง BM ลดลงจาก 0.8% เป็น 0.39% และสุดท้ายข้อบกพร่อง CP ลดลงจาก 2.74% เหลือ 0.99%

จากการศึกษาทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต สามารถสรุปเครื่องมือที่จะนำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อหาแนวทางในการลดจำนวนตำหนิในกระบวนการผลิตลดความเสียหาย ได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

ขั้นตอนการดำเนินงาน	เครื่องมือ / เทคนิค
การจัดลำดับความสำคัญและคัดเลือกประเภทตำหนิที่ต้องทำการปรับปรุง	1. แผนภูมิพาเรโต (Pareto) 2. เทคนิคการหาความสัมพันธ์ (Association Rule)
การวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดตำหนิแต่ละประเภท	1. แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagrams) 2. การระดมสมอง (Brain Storming) 3. การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) 4. การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)
การปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดจำนวนตำหนิ	1. เทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments) 2. เทคนิคการป้องกันความผิดพลาด (Poka-Yoke)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อลดปัญหาดำหนิที่เกิดขึ้นในฝัองงานลวดตาข่ายชนิดงานทอกันปลวก เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการผลิตสูง โดยผู้วิจัยได้กำหนดแนวทางการดำเนินงานเป็น 6 ขั้นตอนหลักดังแสดงในรูป 3.1 ขั้นตอนการทำวิจัย และมีรายละเอียดดังนี้

1) การศึกษาหลักการทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง งานวิจัยในอดีต และกระบวนการผลิตลวดตาข่าย

- ศึกษาทฤษฎีหลักการ และเครื่องมือต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
- ศึกษาทำความเข้าใจกระบวนการผลิตลวดตาข่าย และดำหนิที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ลวดตาข่ายชนิดงานทอกันปลวก



2) การจัดลำดับความสำคัญและคัดเลือกประเภทดำหนิที่ต้องทำการปรับปรุง

- เก็บข้อมูลประเภทและจำนวนดำหนิที่เกิดขึ้นบนฝัองงานงานทอกันปลวก ในช่วงปี พ.ศ.2559 -2561
- จัดลำดับความสั้มพันธ์และคัดเลือกประเภทดำหนิโดยใช้แผนภาพพาเรโต
- วิเคราะห์ความสั้มพันธ์ระหว่างดำหนิโดยใช้เทคนิคการหากฎความสั้มพันธ์เพื่อลดจำนวนดำหนิที่ต้องศึกษา

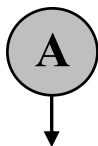


3) การรวบรวมข้อมูลของสภาพปัญหาก่อนปรับปรุง

- เก็บข้อมูลจำนวนดำหนิเฉลี่ยที่เกิดขึ้นต่อ 1 รุ่น (Lot) ก่อนทำการปรับปรุง เพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของการปรับปรุงกระบวนการ



รูป 3.1 ขั้นตอนการทำวิจัย



4) การวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดตำหนิแต่ละประเภท

- ทำการระดมสมองร่วมกับผู้ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตเพื่อหาสาเหตุที่ทำให้เกิดตำหนิแต่ละประเภท และจัดทำแผนภาพสาเหตุและผล รวมทั้งระบุสาเหตุที่ส่งผลต่อการเกิดตำหนิมากที่สุด
- รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อทำการคัดกรองปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักรที่มีผลต่อการเกิดตำหนิแต่ละประเภท โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) และการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

5) การปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดจำนวนตำหนิแต่ละประเภท

- ตำหนิ S_1 : หาค่าปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักรที่เหมาะสม โดยการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ
- ตำหนิ S_3 : นำเทคนิคการป้องกันความผิดพลาด (Poka-Yoke) มาใช้แก้ไขปัญห
- ทำการทดลองตามแนวทางที่ได้เสนอ และเก็บข้อมูลจำนวนตำหนิเฉลี่ยที่เกิดขึ้นต่อ 1 รุ่น (Lot) หลังทำการปรับปรุง

6) การเปรียบเทียบผลการเกิดตำหนิก่อนและหลังการปรับปรุง และกำหนดมาตรฐานการทำงาน

- ทำการเปรียบเทียบผลการเกิดตำหนิก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ
- การจัดมาตรฐานในการตั้งค่าเครื่องจักรที่ใช้ทอหลอดตาข่าย

รูป 3.1 ขั้นตอนการทำวิจัย

3.1 การศึกษาหลักการทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง งานวิจัยในอดีต และกระบวนการผลิตหลอดตาข่าย

ในขั้นตอนนี้เริ่มต้นจากการศึกษางานวิจัยในอดีต ทฤษฎีหลักการ และเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ เช่น เทคนิคการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร และการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ หลังจากนั้นจึงได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตหลอดตาข่ายและศึกษาประเภทของตำหนิที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์หลอดตาข่ายชนิดงานทอถักปลวก

3.2 การจัดลำดับความสำคัญและคัดเลือกประเภทตำหนิที่ต้องทำการปรับปรุง

ขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดลำดับความสำคัญและคัดเลือกตำหนิที่ต้องทำการปรับปรุงก่อนเป็นอันดับแรก โดยทำการศึกษาประเภทและจำนวนตำหนิที่เกิดขึ้นบนผืนงานทอถักปลวก โดย

เก็บข้อมูลจากบันทึกข้อมูลย้อนหลังของโรงงานในช่วงปี พ.ศ. 2559 – 2561 แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

3.2.1 สร้างแผนภาพพาเรโตวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนตำหนิที่เกิดขึ้นบนผืนงานทอกันปลวก

การสร้างแผนภาพพาเรโตนี้จะเก็บข้อมูลจำนวนตำหนิที่เกิดขึ้นบนงานทอกันปลวกในช่วงการผลิตปี พ.ศ.2559 -2561 ที่แสดงดังภาคผนวก ก เพื่อให้ทราบถึงประเภทของตำหนิหลักที่เกิดขึ้น

3.2.2 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตำหนิโดยใช้เทคนิคการหาความสัมพันธ์

จากการระดมความคิดร่วมกับผู้ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต ได้แก่ พนักงานระดับปฏิบัติการ พนักงานอาวุโส และหัวหน้างานระดับอาวุโส พบว่ามีตำหนิบางประเภทมักจะเกิดตามกันหรืออาจจะมีสัมพันธ์กัน ซึ่งอาจจะทำให้สามารถลดจำนวนตำหนิที่จะทำการปรับปรุงลงได้ จึงได้ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างตำหนิเพื่อวิเคราะห์ว่ามีตำหนิชนิดใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งหมายถึงโอกาสที่ตำหนิชนิดแรกเกิดขึ้นมาและตำหนิอีกชนิดหนึ่งจะเกิดขึ้นตามมา โดยใช้เทคนิคการหาความสัมพันธ์ (association rules) ด้วยวิธี Apriori (Apriori Algorithm) ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่ได้รับการยอมรับและเป็นที่รู้จักในการค้นหาความสัมพันธ์ และยังเป็นกระบวนการหนึ่งในการทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ซอฟต์แวร์ RapidMiner Studio 7.3 ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ โดยที่ผู้วิเคราะห์จะเป็นคนกำหนดค่าสนับสนุนขั้นต่ำ (minimum support) และค่าความเชื่อมั่นขั้นต่ำ (minimum confidence) ขึ้นมาเอง (วิวัฒน์ ชินนาทศิริกุล, 2558, น.3) ซึ่งจากการทบทวนงานวิจัยในอดีตเรื่องการหาความสัมพันธ์ในหัวข้อ 2.2.1 พบว่า แต่ละงานวิจัยมีชุดข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์จำนวนมาก จึงมีการกำหนดขั้นต่ำของทั้ง 2 ค่านี้ให้มีค่าน้อยและมีค่าไม่เกิน 50 % แต่เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีจำนวนชุดข้อมูลน้อย อีกทั้งยังมีการหาความสัมพันธ์ด้วยวิธี Apriori ที่สามารถทำงานได้ดีเมื่อทำการกำหนดค่าสนับสนุนขั้นต่ำ และค่าความเชื่อมั่นขั้นต่ำให้มีค่ามากๆ (ประมุล สุขสภาวะ และพวง มีสัจ, 2559) จึงได้กำหนดค่าสนับสนุนขั้นต่ำ (minimum support) ไว้ที่ 70% และค่าความเชื่อมั่นขั้นต่ำ (minimum confidence) ที่ 85% เพื่อให้ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์แสดงกฎที่มีความแข็งแกร่งและเหมาะสมที่จะเลือกนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

ผลการจัดลำดับความสำคัญและคัดเลือกว่าตำหนิที่ควรทำการปรับปรุงก่อนเป็นอันดับแรกๆ คือ ตาของผืนงานในแนวขวางไม่สม่ำเสมอ (S_1) และลวดทางด้านขวางของ (S_3) ทั้งนี้ผลการวิจัยโดยละเอียดจะแสดงในบทที่ 4 ต่อไป

3.3 การรวบรวมข้อมูลของสภาพปัญหา ก่อนปรับปรุง

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนตำหนิแต่ละประเภทที่เกิดบนผืนงานทอกันปลวกในช่วงปี พ.ศ.2559 ถึง ปี พ.ศ.2561 โดยคิดเป็นจำนวนตำหนิเฉลี่ยต่อ 1 รุ่น เพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการปรับปรุงกระบวนการ

3.4 การวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดตำหนิแต่ละประเภท

ขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาสาเหตุหรือปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดตำหนิแต่ละประเภท โดยการใช้แผนผังกางปลาหรือแผนผังแสดงเหตุและผล โดยทำการระดมสมองร่วมกับพนักงานระดับปฏิบัติการ พนักงานอาวุโส และหัวหน้างานระดับอาวุโส รวมทั้งทำการระบุสาเหตุที่ส่งผลต่อการเกิดตำหนิมากที่สุดซึ่งผลการระดมสมองพบว่า การตั้งค่าเครื่องจักรมีผลต่อการเกิดตำหนิ S_1 มากที่สุด จากนั้นจึงทำการคัดกรองปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักรที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนตำหนิที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) โดยทำการเก็บข้อมูลของการตั้งค่าเครื่องจักรในอดีตจากแบบฟอร์มบันทึกการตั้งค่าเครื่องจักรในการทอหลอดตาข่าย ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดตำหนิ S_3 ได้แก่ ปัจจัยด้านพนักงาน ซึ่งสามารถสรุปสาเหตุของการเกิดตำหนิแต่ละประเภทได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สรุปสาเหตุของการเกิดตำหนิแต่ละประเภท

ประเภทตำหนิ	สาเหตุ
	ปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักรอันได้แก่
1) ตำหนิ S_1	1) ปัจจัยการตั้งค่าเครื่องจักร X_3 2) ปัจจัยการตั้งค่าเครื่องจักร X_8 3) ปัจจัยการตั้งค่าเครื่องจักร X_{10}
	ปัจจัยด้านพนักงาน
2) ตำหนิ S_3	1) พนักงานขาดทักษะและความรอบคอบ

หมายเหตุ: ชื่อของตำหนิ และชื่อของปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักรไม่สามารถเปิดเผยได้ เนื่องจากเป็นความลับของทางบริษัทกรณีศึกษา ผู้วิจัยจึงได้ใช้สัญลักษณ์แทนชื่อที่แท้จริงในการอธิบาย

3.5 การปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดจำนวนตำหนิแต่ละประเภท

ในขั้นตอนนี้เป็นการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดจำนวนตำหนิแต่ละประเภท โดยอาศัยเทคนิคและเครื่องมือต่างๆที่ใช้ในการปรับปรุงวิธีการทำงานต่างกันไปตามแต่ละประเภทของตำหนิ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.5.1 การลดค่าหนีตาของฝืนงานในแนวขวางไม่สม่ำเสมอ (S_1)

จากขั้นตอนก่อนหน้าพบว่าค่าหนี S_1 นั้นมีความสัมพันธ์กับปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักร ดังนี้คือ ปัจจัย X_3 , ปัจจัย X_8 และปัจจัย X_{10} ในขั้นตอนนี้จึงใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiments) เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อกระบวนการทอหลอดตาข่ายที่ทำให้เกิดตำหนิบนฝืนงานน้อยที่สุด

โดยได้นำปัจจัยที่คัดกรอง 3 ปัจจัยดังที่กล่าวไปข้างต้น มาทำการออกแบบการทดลอง ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มจำนวน (Full Factorial Design of Experiments) โดยในแต่ละปัจจัยมีจำนวน 2 ระดับ คือ ระดับสูงและระดับต่ำ โดยแทนค่า +1 และ -1 ตามลำดับ และบันทึกผลการทดลองลงในแบบฟอร์มการเก็บข้อมูลผลการทดลองดังแสดงใน ภาคผนวก ค อย่างไรก็ตามเนื่องจากการทำการทดลองแต่ละครั้งจะต้องใช้เวลานานและมีต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองสูงจึงทำการทดลองเพียง 1 ชั่วโมง ดังนั้นจึงมีทั้งหมด 8 การทดลอง และมีผลตอบ (Response) คือ จำนวนตำหนิที่เกิดขึ้น โดยในแต่ละการทดลองทำการทอฝืนงานขนาด 15 ตารางเมตร (ความยาว 10 เมตร และความกว้าง 1.5 เมตร) และทำการควบคุมปัจจัยภายนอกที่อาจจะส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง คือทำการทดลองที่เครื่องจักรที่ไม่แตกต่างกัน ใช้พนักงานในการทดลองที่มีทักษะประสบการณ์ระดับเดียวกัน ควบคุมเส้นลวดที่พันอยู่ในแกนบีมให้มีคุณภาพที่ใกล้เคียงกัน และใช้วัตถุดิบที่ผลิตมาจากรุ่นการผลิตบริษัทเดียวกัน

ตารางที่ 3.2 ปัจจัยและระดับที่ใช้ในการทดลองเพื่อลดค่าหนีตาที่เกิดขึ้นบนฝืนงาน

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย		
	ระดับต่ำ (-1)	ระดับสูง (+1)	
ปัจจัย A	1. ปัจจัยการตั้งค่าเครื่องจักร X_3	7	20
ปัจจัย B	2. ปัจจัยการตั้งค่าเครื่องจักร X_8	40	50
ปัจจัย C	3. ปัจจัยการตั้งค่าเครื่องจักร X_{10}	650	1050

หมายเหตุ: หน่วยของแต่ละปัจจัยไม่สามารถเปิดเผยได้ เนื่องจากเป็นความลับของทางบริษัท ภูมิศึกษา ผู้วิจัยจึงไม่สามารถนำมาแสดงในตารางได้

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าระดับแต่ละปัจจัยดังแสดงในตารางที่ 3.2 โดยกำหนดค่าระดับจากการตรวจสอบข้อมูลในการตั้งค่าเครื่องจักรย้อนหลัง แล้วกำหนดค่าระดับโดยพิจารณาขีดความสามารถการทำงานของเครื่องจักร และค่าระดับที่จะใช้ต้องไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อ

เครื่องจักร โดยมีรูปแบบการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.3 ในการทำการทดลองนั้น มีลำดับการทดลองแบบสุ่ม

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงการออกแบบการทดลอง

การทดลองที่	A	B	C	จำนวนคำหนิ S_1
1	-1	-1	-1	
2	1	-1	-1	
3	-1	1	-1	
4	1	1	-1	
5	-1	-1	1	
6	1	-1	1	
7	-1	1	1	
8	1	1	1	

เมื่อทำการทดลองแล้วจึงได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลตามขั้นตอนดังนี้

1. ทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง(Residual Analysis) เพื่อตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากการทดลองก่อนการนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไปว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมุติฐานของการออกแบบการทดลองที่ว่ารูปแบบของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ที่ได้จากข้อมูลในการทดลองต้องเป็นไปตามหลักการของ $\mathcal{E}_i \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ ได้แก่ ค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ และเป็นอิสระด้วยค่าเฉลี่ยใกล้เคียง 0 และ σ^2 มีค่าคงตัวจึงจะทำให้ข้อมูลจากการทดลองมีความถูกต้องและเชื่อถือได้

2. ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเกิดตำหนิต่างของชิ้นงานในแนวขวางไม่สม่ำเสมอ (S_1) และตำหนิลวดทางด้านตั้งฉาก (S_2)

3. สร้างสมการทำนายผลเพื่อใช้พยากรณ์จำนวนตำหนิที่จะเกิดขึ้นบนพื้นงานด้วย Regression Model

4. หาค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากสมการทำนายผลที่ได้จากข้อ 3 เพื่อให้เกิดตำหนิบนพื้นงานน้อยที่สุด โดยทำการวิเคราะห์จากฟังก์ชัน Response Optimizer ของโปรแกรม Minitab หรือทำการวิเคราะห์โดยพิจารณาจากกราฟอิทธิพลหลัก (main effect plot) ร่วมกับกราฟอิทธิพลปัจจัยร่วม (Interaction plot)

5. ทำการทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลองจำนวน 3 ครั้งโดยใช้ค่าของแต่ละปัจจัยที่เหมาะสม

3.5.2 การลดตำหนิลวดทางด้านขวางของ (S₃)

นำเทคนิคป้องกันความผิดพลาด (Poka-Yoke) มาใช้ในการแก้ไข ซึ่งผลการวิเคราะห์เบื้องต้นในข้อ 3.4 พบว่าสาเหตุหลักของการเกิดตำหนิ S₃ คือ พนักงานขาดทักษะและความรอบคอบเมื่อได้ทำการระดมความคิดร่วมกับผู้ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตเพื่อค้นหาสาเหตุของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการทำงาน จากนั้นจึงหาแนวทางปรับปรุงการทำงานเพื่อลดตำหนิดังกล่าว

3.6 การเปรียบเทียบผลการเกิดตำหนิก่อนและหลังการปรับปรุง และกำหนดมาตรฐานการทำงาน

ทำการเปรียบเทียบผลของการเกิดตำหนิก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ และจัดทำมาตรฐานในการตั้งค่าเครื่องจักรที่ใช้ทอหลอดตาข่าย เพื่อกำหนดเป็นมาตรฐานการทำงานให้กับพนักงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

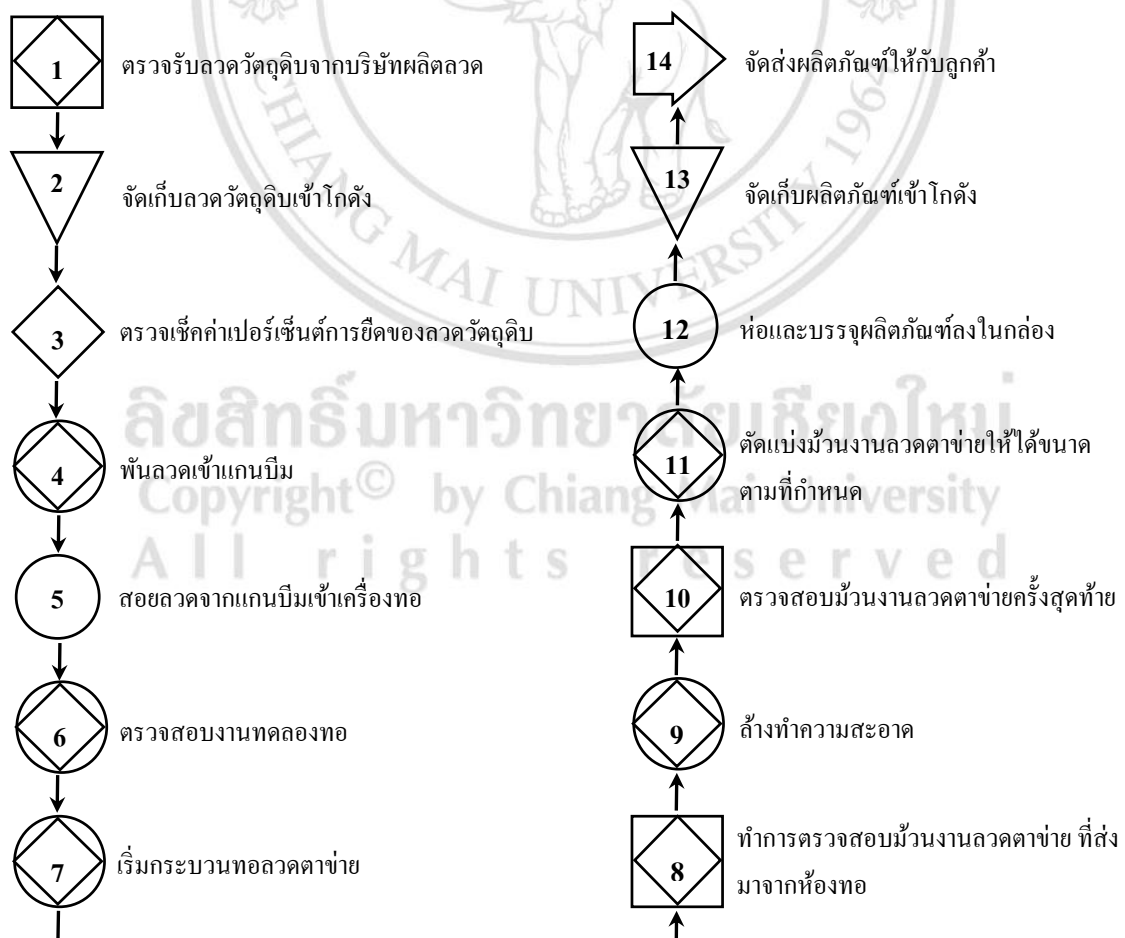
บทที่ 4

ผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนในบทที่ 3 เพื่อลดปัญหาตำหนิที่เกิดขึ้นในฝัองานลวดดาข่ายชนิดงานทอถันปลวก สามารถแสดงผลการวิจัยได้ดังต่อไปนี้

4.1 กระบวนการผลิตลวดดาข่าย

จากการศึกษากระบวนการผลิตลวดดาข่ายในบริษัทกรณีศึกษา สามารถแสดงได้ดังแผนภาพกระบวนการผลิตลวดดาข่ายในรูป 4.1



รูป 4.1 แผนภาพกระบวนการผลิตลวดดาข่าย

จากรูป 4.1 สามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานผลิตลวดตาข่ายได้ดังนี้ โดยเริ่มจากบริษัททำการสั่งซื้อลวด เมื่อลวดมาถึงก็ทำการตรวจสอบคุณภาพของเส้นลวดก่อนการรับเข้านำไปจัดเก็บ (Wire acceptance Inspection & Stock) เมื่อมีการสั่งผลิต ลวดจะถูกนำไปตรวจเช็คค่าเปอร์เซ็นต์การยืด (Wire Elongation check) ก่อนที่จะถูกนำไปเรียงเข้าสู่แกนบีมขนาดใหญ่ในกระบวนการเรียงลวดวอฟ (beaming Warp) เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการเรียงลวดวอฟ แกนบีมที่มีลวดวอฟเรียงอยู่ก็จะถูกส่งต่อไปยังห้องทอ เพื่อทำการสอยเส้นลวดวอฟจากแกนบีมเข้ากับบาร์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการแบ่งหรือแยกลวด (Warp wire Heddle & reed threading) ที่อยู่บนเครื่องทอ จากนั้นทำการตั้งค่าเครื่องทอและทำการทดลองทอผืนงานจำนวนหนึ่ง (Test weave & Inspection Before weave) และนำไปทำการตรวจสอบ เมื่อไม่พบความผิดปกติบนผืนงานจึงเริ่มทำการทองานจริง (Weaving) จากนั้นม้วนงานลวดตาข่ายที่ได้จากกระบวนการทอที่ห้องทอจะถูกส่งไปทำการตรวจสอบ (Inspection after Weaving) และทำความสะอาดโดยการล้าง (Washing) และถูกส่งมาตรวจสอบอีกครั้ง (Final Inspection) ก่อนที่จะสู่กระบวนการตัดแบ่งม้วนงานให้ได้ผืนงานตามขนาดที่ลูกค้าต้องการ (Slitting & Cut piece) และทำการห่อบรรจุสินค้า (Wrapping & Packing) แล้วส่งไปจัดเก็บ (Storage) ในโกดังเพื่อเตรียมส่ง (Delivery) ให้กับลูกค้าต่อไป

4.2 การจัดลำดับความสำคัญและคัดเลือกประเภทคำหันทันที่ีต้องทำการปรับปรุง

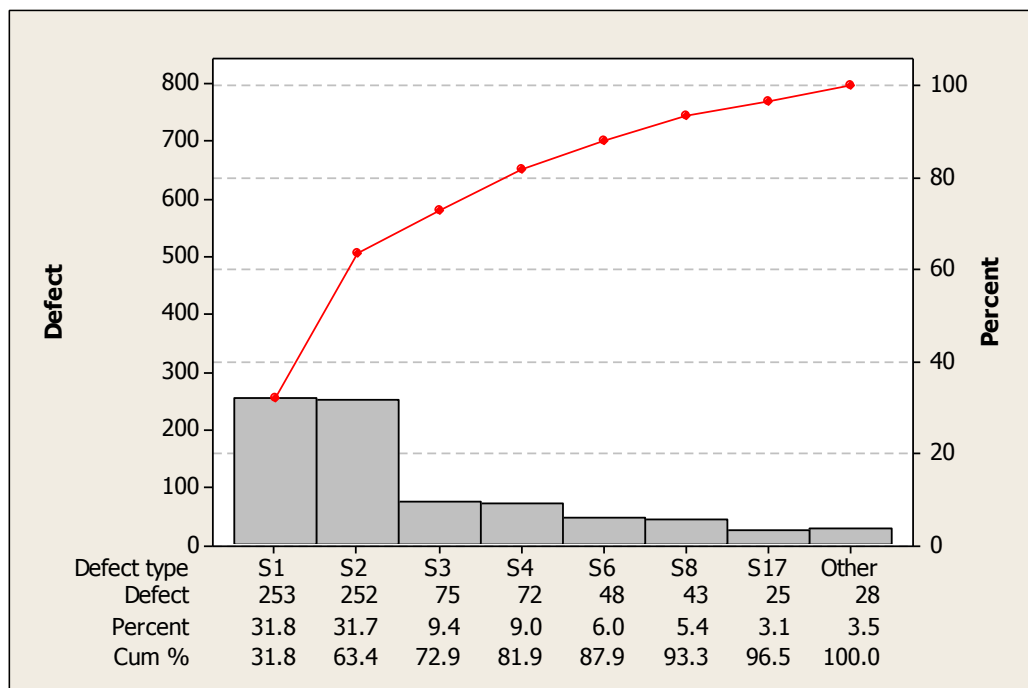
ขั้นตอนนี้เริ่มต้นจากการเก็บข้อมูลประเภทและจำนวนคำหันทันที่เกิดขึ้นบนผืนงานทอกันปลวก ในช่วงปี พ.ศ.2559 -2561 เพื่อนำมาจัดลำดับความสำคัญและทำการคัดเลือกคำหันทันที่ีต้องทำการปรับปรุงก่อน มีผลการวิจัยดังต่อไปนี้

4.2.1 ผลการจัดลำดับความสำคัญและคัดเลือกประเภทคำหันทันโดยการใช้แผนภาพพาเรโต

จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยแผนภาพพาเรโตแสดงจำนวนคำหันทันแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นบนผืนงานทอกันปลวกดังแสดงในรูป 4.2 ตามหลักการของพาเรโตที่ว่าสิ่งที่สำคัญมากมักมีจำนวนเพียงเล็กน้อย (Vital Few) ในขณะที่สิ่งที่มีควมสำคัญน้อยกลับมีเป็นจำนวนค่อนข้างมาก (Trivial Many) แสดงให้เห็นว่าคำหันทันที่เกิดขึ้นบนผืนงานทอกันปลวกที่เป็นกลุ่ม Vital Few ซึ่งมีความถี่สะสมรวมกันถึง 81.9% ได้แก่

- 1) ตาของผืนงานในแนวขวางไม่สม่ำเสมอ (S_1) คือ การที่ลวดทางด้านขวางห่างกันเป็นช่วงๆทำให้ตาของผืนงานกว้างกว่าค่าที่กำหนด
- 2) ลวดทางด้านตั้งขาด (S_2) คือ การเกิดรูขึ้นบนผืนงานเนื่องจากลวดทางด้านตั้งขาด
- 3) ลวดทางด้านขวางขาด (S_3) คือ การที่ลวดทางด้านขวางขาดทำให้เกิดรูบนผืนงาน

4) รอยตำหนิที่เกิดจากการทอ (S_d) คือ การเกิดรอยบนผืนงานที่เกิดขึ้นในแผนการทอ เช่น รอยจากการกระแทก และรอยจากการที่หุงานขูดผืนงาน เป็นต้น



รูป 4.2 แผนภูมิพาร์โต แสดงจำนวนตำหนิแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นบนผืนงานแยกตามประเภท

4.2.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตำหนิโดยใช้เทคนิคการหาความสัมพันธ์

เนื่องจากการระดมความคิดร่วมกับผู้ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต พบว่ามีตำหนิบางประเภทมักจะเกิดตามกันหรืออาจจะมีสัมพันธ์กัน ซึ่งอาจจะทำให้สามารถลดจำนวนตำหนิที่จะทำการปรับปรุงลงได้ จึงได้ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างตำหนิเพื่อวิเคราะห์ว่ามีตำหนิชนิดใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กัน

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตำหนิโดยใช้เทคนิคการหาความสัมพันธ์ (association rules) ด้วยวิธี Apriori (Apriori Algorithm) ทำได้โดยเริ่มจากการศึกษาข้อมูลประเภทของตำหนิที่เกิดบนผืนงานลวดตาข่ายงานทอกันปลวก จากนั้นจึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลตำหนิแต่ละประเภทที่เกิดบนผืนงานแต่ละรุ่นการผลิต (Lot) ในช่วงปี พ.ศ. 2559 -2561 จากแบบฟอร์มบันทึกการตรวจสอบตำหนิบนผืนงานลวดตาข่ายของบริษัท เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์หารูปแบบความสัมพันธ์ของตำหนิ โดยเก็บข้อมูลทั้งหมด 30 รุ่นการผลิต และมีตำหนิ 20 ประเภท แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลเพื่อใช้วิเคราะห์หากฎความสัมพันธ์

Lot	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	...	S_{20}
1	1	1	0	1	0	1	...	1
2	1	1	0	1	0	1	...	0
3	1	1	0	1	0	1	...	0
4	1	1	1	0	1	0	...	0
5	1	1	0	1	0	1	...	10
...	...	...	...	...	...	...	...	...
30	0	1	0	1	0	0	...	0

จากตารางที่ 4.1 แสดงตารางข้อมูล (Data Table) ที่ใช้ในการหากฎความสัมพันธ์ (Association rules mining) คอลัมน์ที่ 1 คือ รุนการผลิต (Lot) ที่มีทั้งหมด 30 รุน ส่วนคอลัมน์อื่นๆคือประเภทของตำหนิที่เกิดขึ้นบนผืนงานซึ่งมีทั้งหมด 20 ประเภท ในแต่ละรุนการผลิตนั้น หากเกิดตำหนิประเภทใดขึ้น ให้ใส่ค่าเป็น 1 ที่คอลัมน์ประเภทตำหนินั้น และใส่ค่าเป็น 0 ที่คอลัมน์ของประเภทตำหนิที่ไม่เกิดขึ้นในรุนการผลิตนั้น ซึ่งหมายเลข 0 และ 1 เป็นเพียงหมายเลขที่ใช้แทนการเกิดและไม่เกิดขึ้นของตำหนิในแต่ละรุนการผลิตโดยไม่ได้นับถึงปริมาณจำนวนตำหนิแต่ละประเภทที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นนำข้อมูลที่เก็บได้ไปทำการวิเคราะห์หากฎความสัมพันธ์โดยอาศัยซอฟต์แวร์ RapidMiner Studio 7.3 โดยกำหนดค่าสนับสนุนขั้นต่ำ (minimum support) ไว้ที่ 70% และกำหนดค่าความเชื่อมั่นขั้นต่ำ (minimum confidence) คือ 85% ได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 กฎความสัมพันธ์ของตำหนิที่เกิดขึ้นบนผืนงาน

No.	Premises	Conclusion	Support	Confidence
1	S_1	S_2	0.7667	0.8846
2	S_2	S_1	0.7667	0.8519
3	S_1	S_4	0.8000	0.9231
4	S_2	S_4	0.8333	0.9259

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า ตำหนิชนิด S_1 และ S_2 มักเกิดขึ้นพร้อมกันด้วยความถี่ 76.7% ในขณะที่ 88.5% ของรุนการผลิตที่เกิดตำหนิ S_1 มักจะเกิดตำหนิ S_2 ตามไปด้วย และ 85.2% ของรุนการผลิตที่เกิดตำหนิ S_2 มักจะเกิด S_1 ซึ่งสันนิษฐานได้ว่าสาเหตุหรือปัจจัยที่ทำให้เกิดตำหนิของทั้งสองชนิดนี้อาจจะเป็นสาเหตุหรือขึ้นอยู่กับปัจจัยเดียวกัน เทคนิคการหากฎความสัมพันธ์ (association rules) เป็นเทคนิคที่ใช้หารูปแบบของตำหนิที่มีความถี่ในการเกิดขึ้นร่วมกันบ่อยๆ เมื่อนำ

ผลการวิเคราะห์จากข้อ 4.2.1 และ 4.2.2 มาพิจารณาร่วมกันจึงเลือกเพียงแต่คำนิ S_1 ไปศึกษาขั้นตอนต่อไป ส่วนรอยคำนิที่เกิดจากการทอ (S_4) จะยังไม่เลือกนำมาศึกษาในงานวิจัยนี้เพราะทางบริษัทยังไม่มี ความสนใจที่จะศึกษาคำนิประเภทนี้ และแนวทางการแก้ไขคำนียดังกล่าวทำได้ยากในทางปฏิบัติเมื่อเทียบกับคำนิชนิดอื่น

สรุปผลการวิเคราะห์จากข้อ 4.2.1-4.2.2 เพื่อจัดลำดับความสำคัญและคัดเลือกประเภทคำนิที่ต้องทำการปรับปรุง ได้แก่ คำนิตาของผืนงานในแนวขวางไม่สม่ำเสมอ (S_1) และ คำนิลวดทางด้านขวางของ (S_3) ตามลำดับ

4.3 ข้อมูลของสภาพปัญหา ก่อนปรับปรุง

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนคำนิแต่ละประเภทที่เกิดบนผืนงานทอกันปลวกในช่วงปี พ.ศ.2559 ถึง ปี พ.ศ.2561 เพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการปรับปรุงกระบวนการผลการวิจัยพบว่า จำนวนคำนิเฉลี่ยที่เกิดขึ้นต่อ 1 รุ่น (Lot) การผลิตลวดตาข่ายซึ่งมีขนาดพื้นที่ของผืนงานประมาณ 1,350 ตารางเมตร แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 จำนวนคำนิเฉลี่ยต่อ 1 รุ่น (Lot) การผลิตลวดตาข่ายแยกตามประเภทของคำนิ

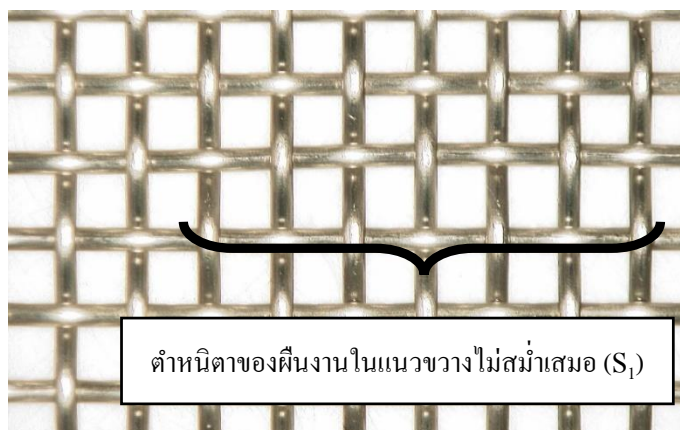
ประเภทของคำนิ	จำนวนคำนิเฉลี่ย (จุด/1 รุ่นการผลิตลวดตาข่าย)
S_1	6.97
S_2	6.95
S_3	2.07
S_4	1.98
S_6	1
S_8	1
S_{17}	0.69

4.4 ผลการวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดคำนิแต่ละประเภท

ผลการวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดคำนิแต่ละประเภท มีรายละเอียดดังนี้

4.4.1 คำนิผืนงานในแนวขวางไม่สม่ำเสมอ (S_1)

คำนิ S_1 มีลักษณะคือตาของผืนงานในแนวขวางจะมีขนาดไม่สม่ำเสมอส่งผลทำให้ปลวกสามารถลอดผ่านได้ เนื่องจากตาของผืนงานบางแห่งมีขนาดใหญ่เกินกว่าที่กำหนดไว้แสดงดังรูป 4.3 และทางบริษัททอผ้าจะ ไม่ทำการซ่อมคำนิประเภทนี้แต่ต้องตัดผืนงานบริเวณที่เกิดคำนิทิ้งทิ้งเท่านั้น



รูป 4.3 ลักษณะตำหนิตาของผืนงานในแนวขวางไม่สม่ำเสมอ (S_1)

เพื่อให้ทราบถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดตำหนิตาของผืนงานในแนวขวางไม่สม่ำเสมอ (S_1) ผู้วิจัยจึงได้ทำการระดมสมองร่วมกับพนักงานระดับปฏิบัติการ พนักงานอาวุโส และหัวหน้างานระดับอาวุโสรวมทั้งหมด 4 คน โดยวิเคราะห์สาเหตุการเกิดตำหนิตาตามสาเหตุหลัก 4M คือ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วิธีการ (Method) และวัตถุดิบ (Material) แล้วนำมาสร้างแผนผังก้างปลา ดังแสดงในรูป 4.4

จากสาเหตุของการเกิดตำหนิตาของผืนงานในแนวขวางไม่สม่ำเสมอ (S_1) ต่อมาจึงได้ทำการระดมสมองเพื่อจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุของปัญหาพบว่า สาเหตุปัจจัยในด้านเครื่องจักร (Machine) เป็นสาเหตุที่มีความสำคัญ ที่จะส่งผลต่อการเกิดตำหนิตา S_1 มากที่สุด ดังนั้นลำดับต่อมาจึงได้ทำการคัดกรองปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักร โดยได้เก็บรวบรวมข้อมูลย้อนหลังในปี พ.ศ.2559 -2561 จาก 2 แผนกงานดังนี้

- 1) รายละเอียดการตั้งค่าเครื่องจักรแต่ละรุ่นการผลิต (lot) จากฝ่ายผลิต จากข้อมูลดังกล่าวพบว่า มีการกำหนดช่วงกว้างๆ ในการตั้งค่าเครื่องจักรไว้ในคู่มือการทำงาน แต่พนักงานแต่ละคนมีการตั้งค่าเครื่องจักรแต่ละครั้งไม่เท่ากันขึ้นกับประสบการณ์และความเชี่ยวชาญในการตั้งเครื่องของแต่ละคน

- 2) ข้อมูลจำนวนตำหนิตา S_1 ที่เกิดในแต่ละรุ่นการผลิต จากฝ่ายตรวจสอบคุณภาพ

หลังจากนั้นนำข้อมูลที่เก็บมาได้ไปทำการคัดกรองปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักรเพื่อหาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดตำหนิตาบนผืนงานมากที่สุด โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) และการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ทำการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) โดยใช้ t-Test ซึ่งกำหนดสมมติฐานทางสถิติ (statistical hypothesis) ดังนี้

H_0 : จำนวนตำหนิตา S_1 ในรุ่นการผลิต (lot) ไม่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักรนั้นๆ

H_1 : จำนวนตำหนิตา S_1 ในรุ่นการผลิต (lot) มีความสัมพันธ์กับปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักรนั้นๆ

แสดงผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์และการวิเคราะห์การถดถอยดังตารางที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ



รูป 4.4 แผนผังก้างปลาแสดงสาเหตุของการเกิดตำหนิ S₁

ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการตั้งค่าเครื่องจักรแต่ละปัจจัยกับค่าหน้าของฝืนงานในแนวขวางไม่สม่ำเสมอ (S_1) และค่า

P-Value		
ปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักร	สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน	P-Value
X_1	0.368	0.059
X_2	0.357	0.068
X_3	-0.408	0.035 **
X_4	-0.351	0.072
X_5	-0.08	0.692
X_6	-0.205	0.306
X_7	-0.191	0.361
X_8	0.38	0.05 **
X_9	-0.29	0.142
X_{10}	0.476	0.014 **
X_{11}	0.027	0.892
X_{12}	0.145	0.472

หมายเหตุ ** ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับค่าหน้า S_1 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

จากตารางที่ 4.4 เมื่อทำการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(r) ด้วยสถิติ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่าปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับค่าหน้าของฝืนงานในแนวขวางไม่สม่ำเสมอ (S_1) ที่ได้จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ คือปัจจัย X_3 , ปัจจัย X_8 และปัจจัย X_{10}

ตารางที่ 4.5 ค่า P-Value ค่าสัมประสิทธิ์ และค่า t ที่ใช้ทดสอบด้วยสถิติ t-test เพื่อวิเคราะห์การถดถอยระหว่างปัจจัยการตั้งค่าเครื่องจักรแต่ละปัจจัยกับค่าหน้าของฝืนงานในแนวขวางไม่สม่ำเสมอ (S_1)

ปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักร	ค่าสัมประสิทธิ์	t-test	P-Value
X_1	0.6937	1.98	0.059
X_2	0.5338	1.91	0.068
X_3	-1.5808	-2.23	0.035**
X_4	-1.6356	-1.88	0.072

ตารางที่ 4.5 ค่า P-Value ค่าสัมประสิทธิ์ และค่า t ที่ใช้ทดสอบด้วยสถิติ t-test เพื่อวิเคราะห์การถดถอยระหว่างปัจจัยการตั้งค่าเครื่องจักรแต่ละปัจจัยกับตำหนิต่างๆของชิ้นงานในแนวขวางไม่สม่ำเสมอ (S_1) (ต่อ)

ปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักร	ค่าสัมประสิทธิ์	t-test	P-Value
X_5	-0.1435	-0.40	0.692
X_6	-0.9213	-1.05	0.306
X_7	-1.773	-0.93	0.361
X_8	0.7510	2.06	0.050**
X_9	-0.3962	-1.52	0.142
X_{10}	0.6262	2.65	0.014**
X_{11}	47.4	0.14	0.892
X_{12}	261.0	0.73	0.472

หมายเหตุ ** ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับตำหนิ S_1 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

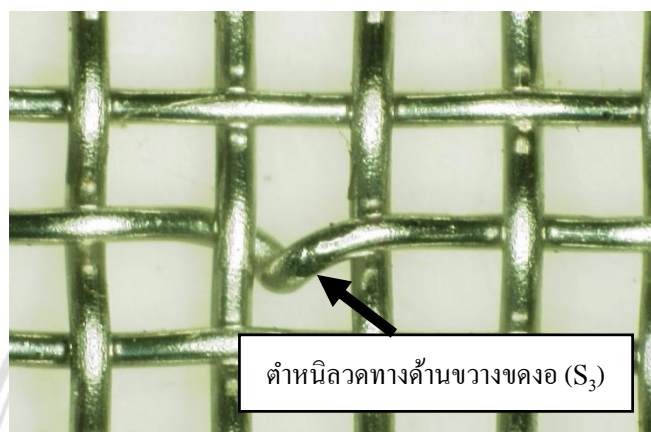
จากตารางที่ 4.5 ซึ่งเป็นผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักรกับจำนวนตำหนิที่เกิดขึ้น โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย พบว่าปัจจัยที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับตำหนิต่างๆของชิ้นงานในแนวขวางไม่สม่ำเสมอ (S_1) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ ปัจจัย X_3 , ปัจจัย X_8 และปัจจัย X_{10}

จากผลการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักรกับจำนวนตำหนิ S_1 ด้วย 2 เทคนิคข้างต้นพบว่า ให้ผลการวิเคราะห์ที่เหมือนกัน คือ ปัจจัย X_3 , ปัจจัย X_8 และปัจจัย X_{10} มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับจำนวนตำหนิ S_1 ที่เกิดขึ้น ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จึงจะนำปัจจัยดังกล่าวไปทำการศึกษาหาแนวทางปรับปรุงเพื่อลดตำหนิในขั้นตอนต่อไป

อนึ่งการวิเคราะห์การถดถอยจะแตกต่างจากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ โดยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่สนใจกับอีกตัวแปร ว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ ขนาดความสัมพันธ์มากน้อยเพียงใดและมีทิศทางเป็นอย่างไร โดยไม่สนใจว่าตัวแปรใดจะเป็นตัวแปรต้นหรือตัวแปรตาม แต่การวิเคราะห์การถดถอยมุ่งเน้นเพื่อพยากรณ์ตัวแปรตามด้วยค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรต้น ซึ่งในกรณีนี้ตัวแปรต้นคือ ปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักร และตัวแปรตามคือ จำนวนตำหนิ S_1 ที่เกิดขึ้น

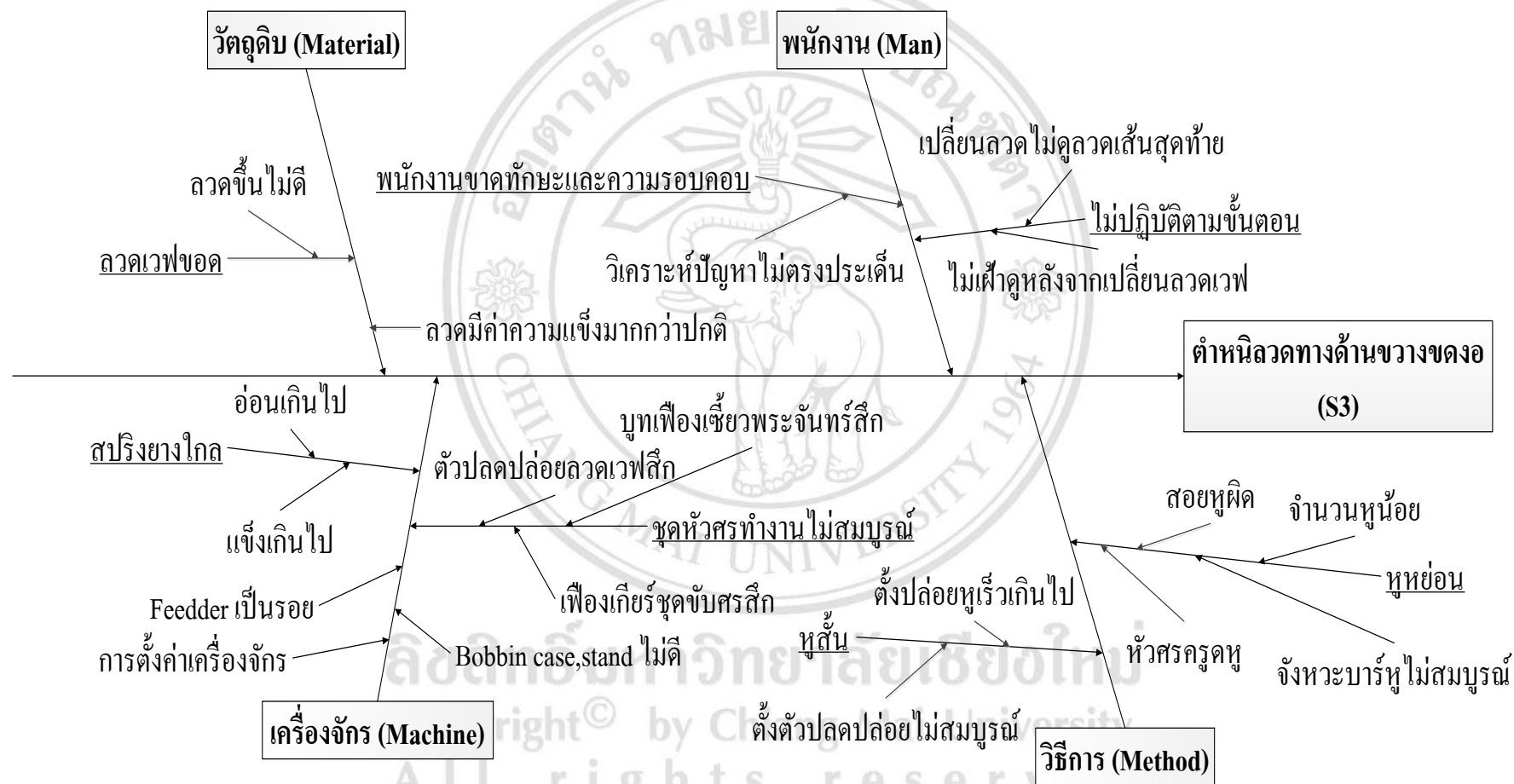
4.4.2 ดำหนิลวดทางด้านขวางของ S_3

ดำหนิ S_3 มีลักษณะคือลวดทางด้านขวางจะเกิดการขดงอจึงเห็นเป็นช่องขนาดใหญ่กว่าปกติ แสดงดังรูป 4.5 ซึ่งจะส่งผลทำให้ปลวกสามารถลอดผ่านได้ แต่สามารถซ่อมแซมได้โดยการนำลวดมาเปลี่ยนแทนลวดที่ขดงอ



รูป 4.5 ลักษณะดำหนิลวดทางด้านขวางของ (S_3)

ทำการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดดำหนิลวดทางด้านขวางของ (S_3) โดยการระดมสมองร่วมกับพนักงานระดับปฏิบัติการ พนักงานอาวุโส และหัวหน้างานระดับอาวุโสรวมทั้งหมด 4 คน และมีการวิเคราะห์สาเหตุหลักจาก 4M คือ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วิธีการ (Method) และวัตถุดิบ (Material) แล้วนำมาสร้างแผนผังก้างปลา ซึ่งแสดงดังรูป 4.6 ต่อมาจึงได้ทำการจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุของปัญหาด้วยการการระดมสมอง พบว่าสาเหตุด้านพนักงาน (Man) และเครื่องจักร (Machine) เป็นสาเหตุที่มีความสำคัญที่จะส่งผลต่อการเกิดดำหนิ S_3 มากที่สุด จากนั้นพิจารณาสาเหตุด้านเครื่องจักรโดยทำการวิเคราะห์ในแนวทางเดียวกันกับดำหนิ S_1 ซึ่งก็คือการคัดกรองปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักรเพื่อหาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดดำหนิบนพื้นงานมากที่สุด โดยได้ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) ดังตารางที่ 4.6 และผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ดังตารางที่ 4.7 ตามลำดับ



รูป 4.6 แผนผังก้างปลาแสดงสาเหตุของการเกิดตำหนิ S₃

ตารางที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการตั้งค่าเครื่องจักรแต่ละปัจจัยกับค่าหาค่าลดทางด้านขวางของ (S_3) และค่า P-Value

ปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักร	สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน	P-Value
X_1	0.186	0.583
X_2	0.144	0.673
X_3	-0.215	0.525
X_4	-0.166	0.625
X_5	-0.374	0.257
X_6	-0.085	0.803
X_7	-0.068	0.842
X_8	0.357	0.281
X_9	0.115	0.736
X_{10}	0.139	0.684
X_{11}	-0.007	0.983
X_{12}	-0.182	0.593

จากตารางที่ 4.6 เมื่อทำการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(r) ด้วยสถิติ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่าไม่มีปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับค่าหาค่าลดทางด้านขวางของ (S_3) อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.7 ค่า P-Value ค่าสัมประสิทธิ์ และค่า t ที่ใช้ทดสอบด้วยสถิติ t-test เพื่อวิเคราะห์การถดถอยระหว่างปัจจัยการตั้งค่าเครื่องจักรแต่ละปัจจัยกับค่าหาค่าลดทางด้านขวางของ (S_3)

ปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักร	ค่าสัมประสิทธิ์	t-test	P-Value
X_1	0.2416	0.57	0.583
X_2	0.1435	0.44	0.673
X_3	-0.5997	-0.66	0.525
X_4	-0.508	-0.51	0.625
X_5	-0.4368	-1.21	0.257
X_6	-0.257	-0.26	0.803
X_7	-0.401	-0.21	0.842
X_8	0.460	1.15	0.281

ตารางที่ 4.7 ค่า P-Value ค่าสัมประสิทธิ์ และค่า t ที่ใช้ทดสอบด้วยสถิติ t-test เพื่อวิเคราะห์การถดถอยระหว่างปัจจัยการตั้งค่าเครื่องจักรแต่ละปัจจัยกับตำหนิตามแนวทางด้านขวางของ (S_3) (ต่อ)

ปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์	t-test	P-Value
X_9	0.1115	0.35	0.736
X_{10}	0.1518	0.42	0.684
X_{11}	-11.1	-0.02	0.983
X_{12}	-277.5	-0.55	0.593

จากตารางที่ 4.7 แสดงผลจากการใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์ของปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักรกับจำนวนตำหนิที่เกิดขึ้น พบว่าไม่มีปัจจัยที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับตำหนิตามแนวทางด้านขวางของ (S_3) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ผลการวิเคราะห์ด้วย 2 เทคนิคข้างต้นพบว่าให้ผลที่เหมือนกันคือ ไม่มีปัจจัยใดในการตั้งค่าเครื่องจักรที่มีความสัมพันธ์กับตำหนิ S_3 อย่างมีนัยสำคัญ ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ต่อมาจึงทำการวิเคราะห์สาเหตุด้านพนักงาน (Man) พบว่าพนักงานขาดทักษะและความรอบคอบเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดตำหนิ S_3 ดังนั้นจึงจะนำปัจจัยพนักงานขาดทักษะและความรอบคอบไปศึกษาหาแนวทางในการปรับปรุงในขั้นตอนต่อไป

4.5 ผลการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดจำนวนตำหนิแต่ละประเภท

หลังจากที่ทำการหาสาเหตุของการเกิดตำหนิแต่ละชนิดแล้ว จึงทำการเสนอแนวทางในการศึกษาและปรับปรุงเพื่อลดจำนวนตำหนิซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.8 โดยมีผลของการปรับปรุงแยกตามประเภทของตำหนิ ดังนี้

ตารางที่ 4.8 สรุปแนวทางการแก้ไขตำหนิแต่ละประเภท

ประเภทตำหนิ	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
1) ตำหนิ S_1	ปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักรอันได้แก่	
	1) ปัจจัยการตั้งค่าเครื่องจักร X_3	เทคนิคการออกแบบ
	2) ปัจจัยการตั้งค่าเครื่องจักร X_8	การทดลอง
	3) ปัจจัยการตั้งค่าเครื่องจักร X_{10}	
2) ตำหนิ S_3	ปัจจัยด้านพนักงาน	เทคนิคป้องกัน
	1) พนักงานขาดทักษะและความรอบคอบ	ความผิดพลาด
		(Poka-Yoke)

4.5.1 ผลการลดตำหนิพื้นงานในแนวขวางไม่สม่ำเสมอ (S_1)

หลังจากที่ได้ทำการคัดกรองปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักรที่มีผลต่อตำหนิ S_1 ก็ได้้นำปัจจัยทั้ง 3 ได้แก่ ปัจจัย X_3 , ปัจจัย X_8 และปัจจัย X_{10} มาทำการหาค่าของปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักรที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดตำหนิน้อยที่สุดโดยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ และได้กำหนดปัจจัยในการศึกษา ดังตารางที่ 3.2 ซึ่งในที่บ้นได้นำมาแสดงอีกครั้งเพื่อความสะดวกของผู้อ่าน

ตารางที่ 3.2 ปัจจัยและระดับที่ใช้ในการทดลองเพื่อลดตำหนิที่เกิดขึ้นบนพื้นงาน

ปัจจัย	ปัจจัย	ระดับของปัจจัย	
		ระดับต่ำ (-1)	ระดับสูง (+1)
ปัจจัย A	1. ปัจจัยการตั้งค่าเครื่องจักร X_3	7	20
ปัจจัย B	2. ปัจจัยการตั้งค่าเครื่องจักร X_8	40	50
ปัจจัย C	3. ปัจจัยการตั้งค่าเครื่องจักร X_{10}	650	1050

หมายเหตุ: หน่วยของแต่ละปัจจัยไม่สามารถเปิดเผยได้ เนื่องจากเป็นความลับของทางบริษัท
กรณีศึกษา ผู้วิจัยจึงไม่สามารถนำมาแสดงในตารางได้

หลังจากทำการทดลองผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์และแปลผลของข้อมูลที่ได้จากการทดลองแบบ Full factorial 2^3 โดยค่าผลตอบแทน (Response) ของการทดลองคือ จำนวนตำหนิ S_1 ที่เกิดขึ้นบนพื้นงานทอขนาด 15 ตารางเมตรในแต่ละการทดลอง อย่างไรก็ตามเนื่องจากข้อมูลมีการแจกแจงแบบปัวซอง (Poisson distribution) ทำให้สมมุติฐานพื้นฐานของการออกแบบการทดลองที่ว่า ความแปรปรวนมีค่าคงที่ (Constant Variance) ไม่เป็นความจริง ดังนั้นจึงต้องมีการแปลงผลตอบแทน โดยวิธีการของ Freeman and Tukey transformation (Freeman & Tukey, 1950) เพื่อให้ข้อมูลมีความแปรปรวนที่คงที่ โดยสามารถแสดงผลการทดลองและผลของการแปลงค่าข้อมูลได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

การทดลองที่	ค่าระดับปัจจัย			ค่าผลตอบ			
				จำนวนตำหนิ / ผิงานทอ 15 ตร.ม.			
				ตำหนิ S ₁		ตำหนิ S ₂	
	A	B	C	ค่าจริง	F&T	ค่าจริง	F&T
	(ปัจจัย X ₃)	(ปัจจัย X ₈)	(ปัจจัย X ₁₀)	(y)	(y')	(y)	(y')
1	-1	-1	-1	10	6.4789	6.47890	1
2	1	-1	-1	23	9.6948	9.69481	1
3	-1	1	-1	1	2.4142	2.41421	1
4	1	1	-1	0	1	1.00000	1
5	-1	-1	1	1	2.4142	2.41421	1
6	1	-1	1	0	1	1.00000	4.68556
7	-1	1	1	0	1	1.00000	3.73205
8	1	1	1	0	1	1.00000	3.14626

ในการคำนวณค่า F&T ของผลตอบจำนวนตำหนิบนผิงานทอ สามารถคำนวณโดยใช้สมการ (4.1)

$$y' = \sqrt{X} + \sqrt{(X+1)} \quad \text{เมื่อ } X \geq 0 \quad (4.1)$$

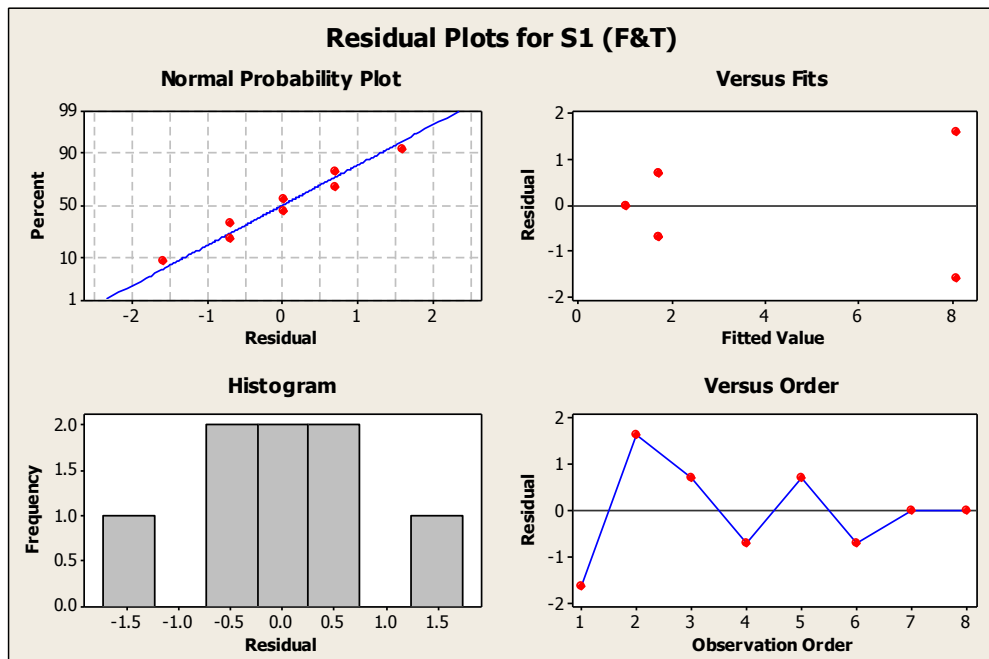
โดยที่ y' คือ ค่า F&T

X คือ จำนวนตำหนิบนผิงานทอที่เกิดขึ้นในแต่ละการทดลอง
จากนั้นนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1) การตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง

นำผลการทดลองที่ผ่านการแปลงค่าข้อมูลด้วยวิธี F&T ไปทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) เพื่อตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล ก่อนนำไปทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป เพื่อยืนยันว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการออกแบบการทดลองว่ารูปแบบของค่าส่วนตกค้างที่ได้จากข้อมูลในการทดลองเป็นไปตามหลักการของ $\mathcal{E}_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ และผลการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) แยกตามประเภทของตำหนิ มีรายละเอียดดังนี้

1.1) ตำแหน่งของพื้นงานในแนวขวางไม่สม่ำเสมอ (S_1)



รูป 4.7 กราฟแสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบคำหนี S_1 (F&T)

จากรูป 4.7 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

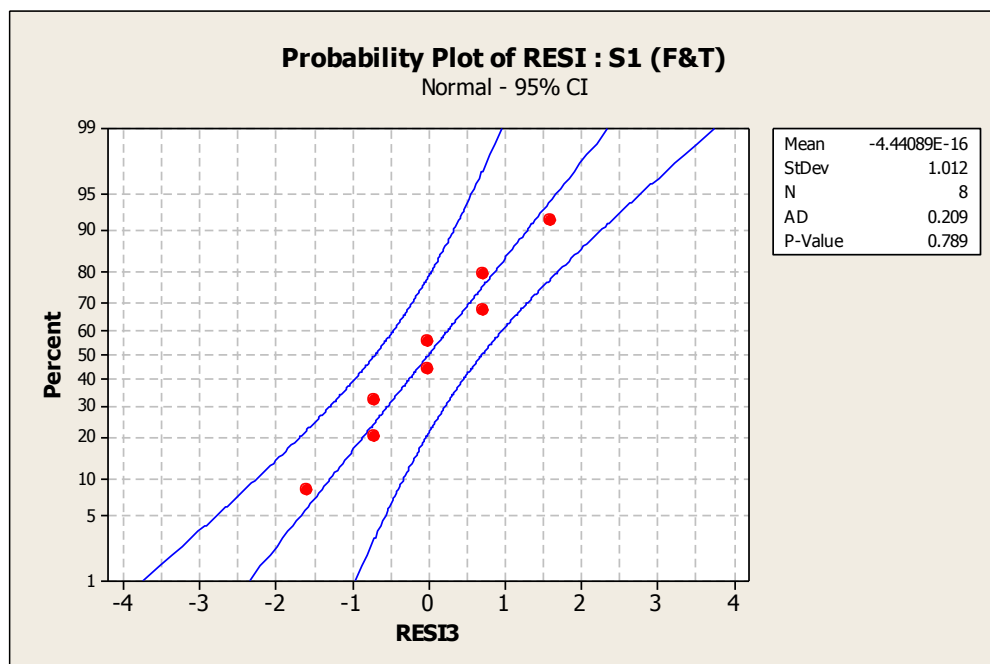
การตรวจสอบการกระจายตัวแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution)

จากกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นแนวเส้นตรง ไม่มีแนวโน้มในการกระจายตัวออกนอกเส้นตรง ไม่มีการกระจายตัวออกมาเป็นกลุ่มอย่างชัดเจน เช่นเดียวกันกับฮิสโตแกรมของส่วนตกค้างมีการกระจายตัวในทุกๆ ช่วงๆ ของข้อมูล มีแนวโน้มการกระจายตัวเป็นแบบปกติ และนอกจากนี้ผลการทดสอบ Normality Test ของส่วนตกค้าง ดังแสดงในรูป 4.8 แสดงให้เห็นว่าผลของค่าทดสอบทางสถิติของ Anderson-Darling เป็น 0.209 และค่า P-Value เป็น 0.789 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) คือ ผลตอบที่ผ่านการแปลงข้อมูลด้วยวิธี F&T มีการกระจายของส่วนตกค้างเป็นแบบปกติ อนึ่งสมมติฐานทางสถิติในการทดสอบนี้ คือ

H_0 : ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ

จึงสรุปได้ว่าการกระจายตัวส่วนตกค้างของข้อมูล F&T มีการกระจายตัวแบบปกติ



รูป 4.8 กราฟทดสอบความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างตำหนิ S_1

การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability)

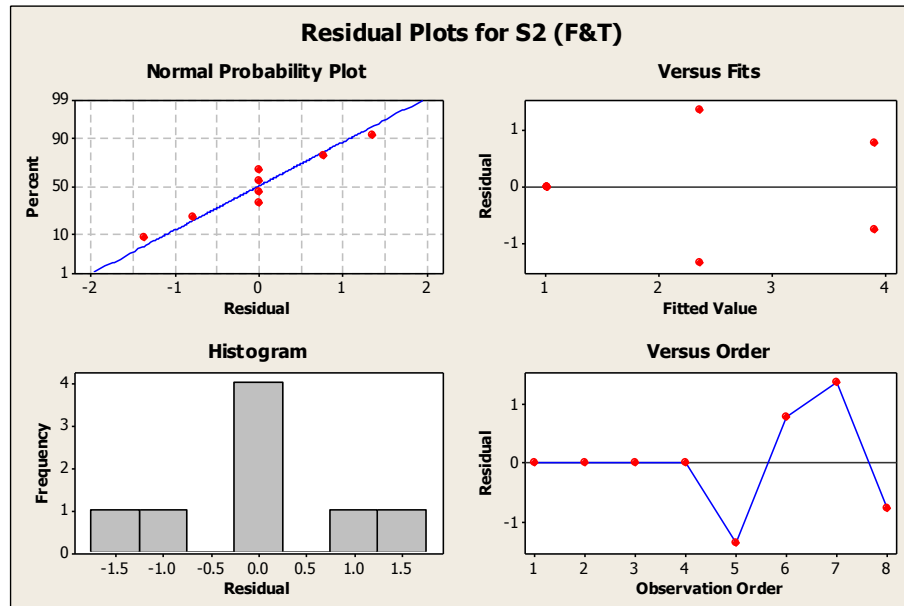
จากกราฟการกระจายของส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกทำนาย (Versus Fitted) ของข้อมูลผลตอบ (S_1) F&T ในรูป 4.7 จะพบการกระจายตัวที่ไม่มีแบบแผนชัดเจน มีการกระจายตัวอยู่ในทั้งทางด้านบวกและทางด้านลบโดยที่ไม่เกิดแนวโน้มใดๆ จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวอย่างอิสระ แสดงว่าข้อมูลมีความแปรปรวนที่เสถียรและคงที่

การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent)

จากกราฟส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง (Versus Order) ในรูป 4.7 พบว่าลักษณะการกระจายของข้อมูลในกราฟมีจุดข้อมูลขึ้นและจุดข้อมูลลงไม่มีแนวโน้มใดๆ และเป็นอิสระต่อกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลส่วนตกค้างมีการกระจายตัวอย่างอิสระไม่ขึ้นอยู่กับลำดับของการทดลอง

จากการตรวจสอบสมมุติฐานเบื้องต้นทั้ง 3 ประการของผลตอบจำนวนตำหนิ S_1 ที่ทำการแปลงข้อมูลด้วยวิธี F&T ทำให้สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเพียงพอที่จะนำไปทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนตำหนิที่จะเกิดขึ้นบนผืนงานทอในขั้นตอนต่อไป

1.2) ตำนีลวดทงด้นต้งขาด (S_2)



รูป 4.9 กราฟแสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบคำหนิ S_2 (F&T)

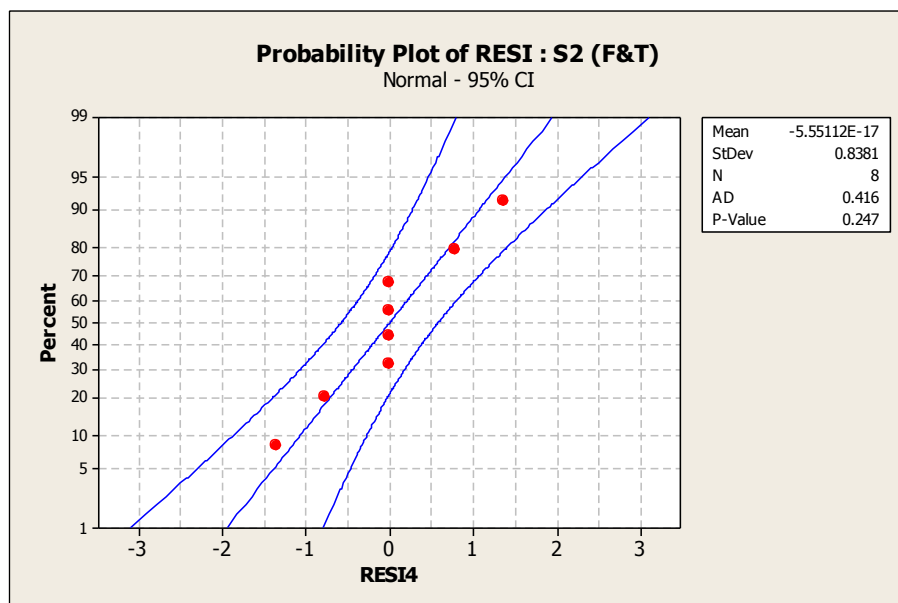
จากรูป 4.9 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

การตรวจสอบการกระจายตัวแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution)

จากกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot) พบว่าจุดของส่วนตกค้างในกราฟเรียงตัวมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงไม่กระจายออกมามากเกินไป เช่นเดียวกับฮิสโตแกรมที่มีแนวโน้มการกระจายตัวเป็นแบบปกติ และเมื่อพิจารณาผลการทดสอบ Normality Test ของส่วนตกค้าง ดังแสดงในรูป 4.10 พบว่าค่าทดสอบทางสถิติของ Anderson-Darling เป็น 0.416 และค่า P-Value เป็น 0.247 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าการกระจายตัวส่วนตกค้างของข้อมูล F&T มีการกระจายตัวแบบปกติ ซึ่งสมมุติฐานทางสถิติในการทดสอบนี้ได้แสดงในหัวข้อ 1.1

การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability)

จากกราฟการกระจายของส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกทำนาย (Versus Fitted) ของข้อมูลผลตอบ (S_2) F&T ในรูป 4.9 จะพบการกระจายตัวที่ไม่เกิดแนวโน้มใด จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวอย่างอิสระไม่ขึ้นอยู่กับค่าที่ถูกทำนาย แสดงว่าข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่



รูป 4.10 กราฟทดสอบความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างตำหนิ S_2

การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent)

จากกราฟส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง (Versus Order) ในรูป 4.9 พบว่าการกระจายตัวของข้อมูลมีความเป็นแบบอิสระต่อกัน ไม่มีแนวโน้มใดๆ ที่ชัดเจน จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบอิสระไม่ขึ้นอยู่กับลำดับของการทดลอง

จากผลการวิเคราะห์ดังที่กล่าวมาแสดงว่า สมการทำนายผลมีความเพียงพอและสมมุติฐานเบื้องต้นทั้ง 3 ประการมีความถูกต้อง จึงดำเนินการต่อในขั้นตอนต่อไป

2) การวิเคราะห์ความแปรปรวน

เนื่องจากการทดลองเพียง 1 ชั่วโมง ข้อจำกัดด้านเวลาในการทอดผืนงานและราคาวัตถุดิบ จึงทำให้ไม่สามารถหาค่า Pure Error ได้ ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์เพื่อประมาณค่า Pure Error ก่อนทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยมีรายละเอียดของการวิเคราะห์แยกตามประเภทของตำหนิ ดังนี้

2.1) ตำหนิตาของผืนงานในแนวขวางไม่สม่ำเสมอ (S_1)

ผลวิเคราะห์ของการประมาณผลกระทบและการวิเคราะห์ความแปรปรวนของทุกพจน์ แสดงดังตารางที่ 4.10 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการทำการทดลองเพียง 1 ชั่วโมง ทำให้ไม่สามารถประมาณค่า Error Sum of Squares (SSE) ได้ ดังนั้นจึงใช้เทอมที่มีค่า Sum of Squares (SS) น้อยๆ มาประมาณค่า SSE โดยเริ่มพิจารณาจาก Interaction Sum of Squares ที่มีอันดับสูงสุด (Highest Order Interaction) ก่อนจนไปถึง Main effects Sum of Squares (Montgomery, 2001) เพราะว่าอันตรกิริยาร่วม (Interaction) อันดับที่สูงกว่านั้นจะมีความสำคัญน้อยกว่าอันตรกิริยา (Interaction) ร่วมอันดับที่ต่ำกว่า

ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์จะสามารถประมาณค่า SSE ได้จากผลรวมของ 3-Way Interactions Sum of Squares คือ ABC (อันตรกิริยาร่วมของ X_3 , X_8 และ X_{10}) 2-Way Interactions Sum of Squares คือ AB (อันตรกิริยาระหว่าง X_3 กับ X_8) กับ AC (อันตรกิริยาระหว่าง X_3 กับ X_{10}) และ Main effects Sum of Squares คือ A (X_3)

ตารางที่ 4.10 การประมาณผลกระทบจากการทดลองและการวิเคราะห์ความแปรปรวนของทุกพจน์

โดยมีผลตอบเป็นจำนวนคำหิ S_1 (F&T)

Estimated Effects and Coefficients for S_1 (F&T) (coded units)

Term	Effect	Coef
Constant		3.125
X_3 (A)	0.097	0.048
X_8 (B)	-3.543	-1.772
X_{10} (C)	-3.543	-1.772
$X_3 * X_8$ (AB)	-0.804	-0.402
$X_3 * X_{10}$ (AC)	-0.804	-0.402
$X_8 * X_{10}$ (BC)	2.836	1.418
$X_3 * X_8 * X_{10}$ (ABC)	1.511	0.756

Analysis of Variance for S_1 (F&T) (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	50.2423	50.2423	16.7474	*	*
X_3 (A)	1	0.0188	0.0188	0.0188	*	*
X_8 (B)	1	25.1118	25.1118	25.1118	*	*
X_{10} (C)	1	25.1118	25.1118	25.1118	*	*
2-Way Interactions	3	18.6750	18.6750	6.2250	*	*
$X_3 * X_8$ (AB)	1	1.2928	1.2928	1.2928	*	*
$X_3 * X_{10}$ (AC)	1	1.2928	1.2928	1.2928	*	*
$X_8 * X_{10}$ (BC)	1	16.0894	16.0894	16.0894	*	*
3-Way Interactions	1	4.5667	4.5667	4.5667	*	*
$X_3 * X_8 * X_{10}$ (ABC)	1	4.5667	4.5667	4.5667	*	*
Residual Error	0	*	*	*		
Total	7	73.4840				

หลังจากที่สามารถประมาณค่า SSE ได้แล้วนั้น ในขั้นตอนต่อไปจะทำการวิเคราะห์เพื่อประมาณผลกระทบของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อข้อมูลของผลตอบ (S₁) F&T โดยพิจารณาเฉพาะปัจจัยที่ไม่ได้ถูกนำไปประมาณค่า Error Sum of Squares (SSE) ซึ่งจากการวิเคราะห์การประมาณผลกระทบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้ผลดังตารางที่ 4.11 พบว่า ปัจจัย X₈ (B) และปัจจัย X₁₀ (C) มีผลต่อค่าผลตอบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P-Value น้อยกว่า 0.05) ในส่วนอันตรกิริยาร่วมของ 2 ปัจจัย พบว่าอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย X₈ และปัจจัย X₁₀ (BC) มีค่า P-Value คือ 0.04 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าอันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัยนี้มีผลต่อค่าผลตอบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.11 การประมาณผลกระทบและการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยในการทดลองที่มีผลต่อผลตอบ (S₁) F&T

Estimated Effects and Coefficients for S₁ (F&T) (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		3.125	0.4734	6.60	0.003
X ₈ (B)	-3.543	-1.772	0.4734	-3.74	0.020*
X ₁₀ (C)	-3.543	-1.772	0.4734	-3.74	0.020*
X ₈ * X ₁₀ (BC)	2.836	1.418	0.4734	3.00	0.040*

S = 1.33894 R-Sq = 90.24% R-Sq(adj) = 82.92%

Analysis of Variance for S₁ (F&T) (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	50.224	50.224	25.112	14.01	
X ₈ (B)	1	25.112	25.112	25.112	14.01	0.020*
X ₁₀ (C)	1	25.112	25.112	25.112	14.01	0.020*
2-Way Interactions	1	16.089	16.089	16.089	8.97	
X ₈ * X ₁₀ (BC)	1	16.089	16.089	16.089	8.97	0.040*
Residual Error	4	7.171	7.171	1.793		
Pure Error	4	7.171	7.171	1.793		
Total	7	73.484				

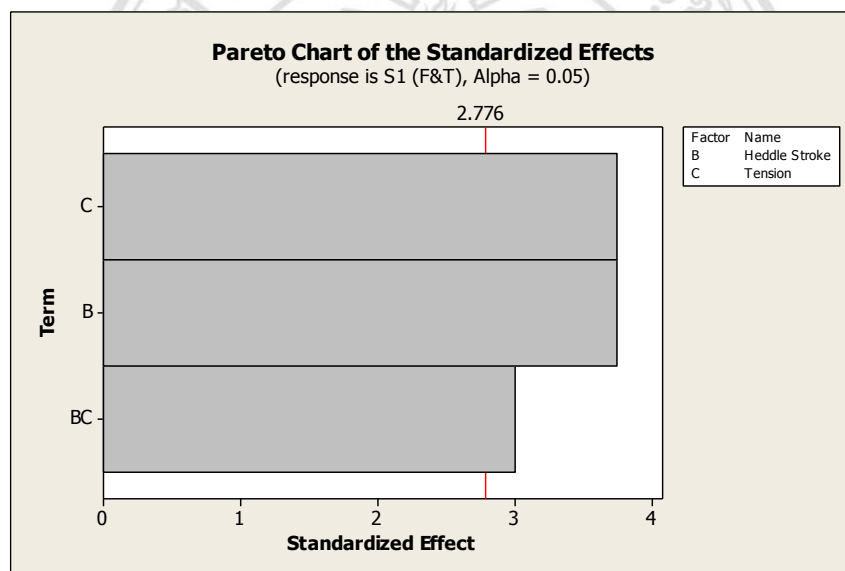
หมายเหตุ: * คือปัจจัยหลักและอันตรกิริยาอันดับสองที่มีผลต่อข้อมูลผลตอบ (S₁) F&T อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

$S = 1.33894$ $R-Sq = 90.24\%$ $R-Sq(adj) = 82.92\%$

สามารถอธิบายความหมายของค่า $R-Sq$ และ ค่า $R-Sq(adj)$ ได้ดังนี้

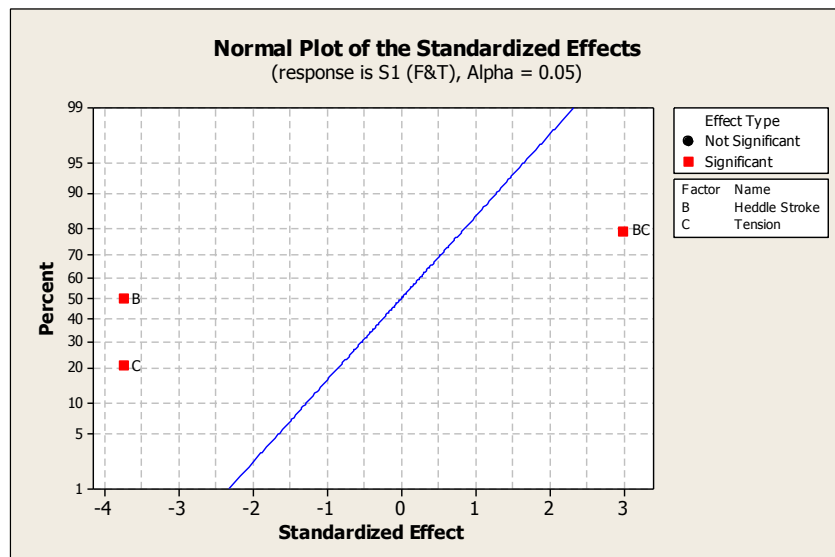
- 1) $R-Sq$ 90.24% แสดงว่าแบบจำลอง (model) นี้สามารถอธิบายความผันแปรของข้อมูลผลตอบ ที่มีผลเกิดจากตัวแปรปัจจัยอยู่ 90.24%
- 2) $R-Sq(adj)$ 82.92% เป็นค่าที่มีความหมายเหมือนกับค่า $R-Sq$ แต่คิดเพียงแค่จำนวนพจน์ที่ถูกนำมาใช้พยากรณ์ ซึ่งก็คือ ปัจจัย X_8 (B), ปัจจัย X_{10} (C) และอันตรกิริยาระหว่าง X_8 กับ X_{10} (BC)

นอกจากการนี้ยังสามารถใช้กราฟฟารโดของค่า Standardizes Effects และกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของผลกระทบ (Normal Probability Plot of Effect) เพื่อตรวจสอบปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าผลตอบได้อีกด้วย ดังแสดงในรูป 4.11 และรูป 4.12 ตามลำดับ



รูป 4.11 กราฟฟารโดแสดงผลกระทบที่มีต่อผลตอบ (S_1) F&T

จากรูป 4.11 พบว่าปัจจัยที่มีค่าผลกระทบมากกว่าค่าของเส้นนัยสำคัญ (Significant Line) ซึ่งก็คือค่า 2.776 ได้แก่ปัจจัย B, C และ BC แสดงว่าปัจจัยทั้ง 3 นี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อข้อมูลของผลตอบที่ผ่านการแปลงข้อมูลด้วยวิธี F&T อย่างมีนัยสำคัญ



รูป 4.12 กราฟแสดงความน่าจะเป็นแบบปกติของผลกระทบที่มีต่อผลตอบ (S₁) F&T

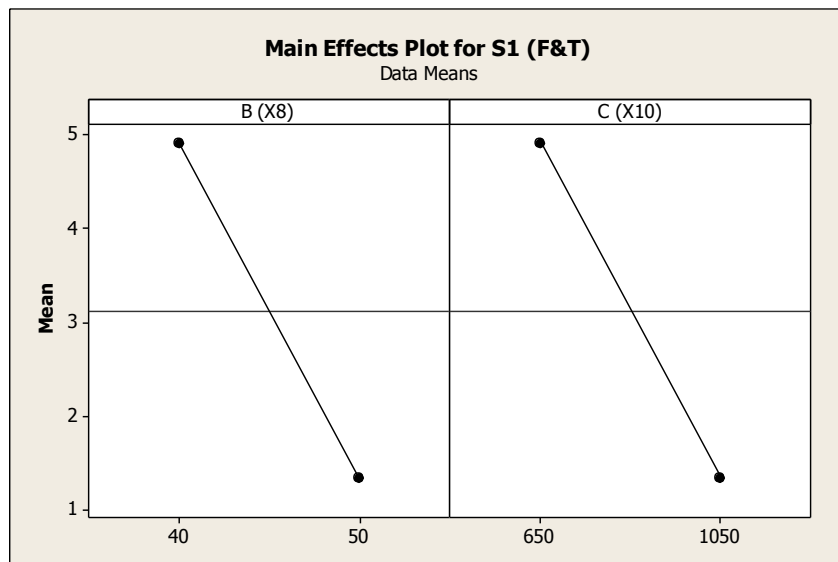
จากรูป 4.12 กราฟแสดงความน่าจะเป็นแบบปกติของผลกระทบจะเห็นว่าปัจจัยที่มีต่อจำนวนตำหนิ S₁ ที่ผ่านการแปลงข้อมูลด้วยวิธี F&T ได้แก่ ปัจจัยที่มีผลกระทบทางบวก คือ BC ส่วนปัจจัยที่มีผลกระทบทางลบคือ B และ C

จากผลการวิเคราะห์ข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนตำหนิ S₁ ที่ผ่านการแปลงข้อมูลด้วยวิธี F&T ที่ระดับนัยสำคัญ 95% โดยเรียงลำดับตามความสำคัญ มีดังนี้ คือ

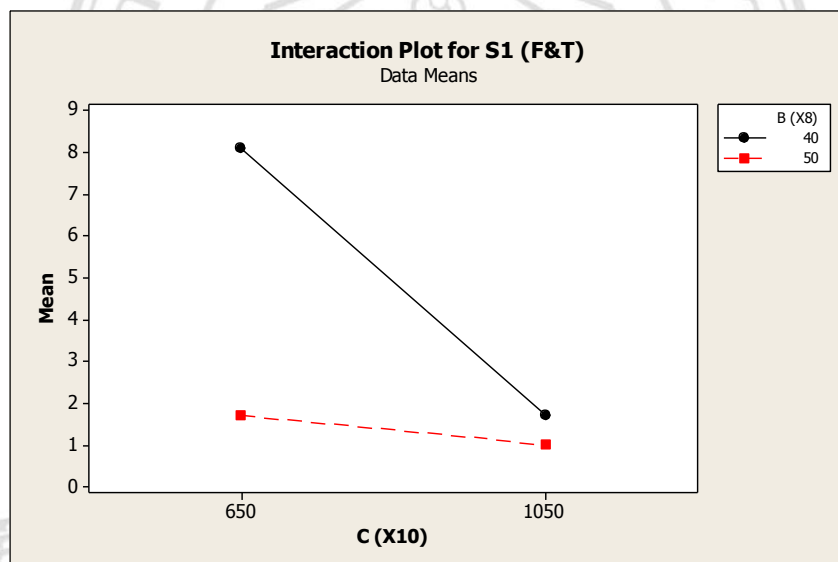
- 1) ปัจจัย X₈ (B)
- 2) ปัจจัย X₁₀ (C)
- 3) อันตรกิริยาระหว่าง X₈ กับ X₁₀ (BC)

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของผลกระทบของปัจจัยจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล ที่แสดงดังตารางที่ 4.11 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลตอบ (S₁) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ ปัจจัยหลัก (B และ C) และ อันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัย (BC) เนื่องจากมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05

ในการพิจารณาความเหมาะสมในการสร้างแบบจำลอง สามารถตัดสินใจได้จากค่า Sum of Squares ของแต่ละพจน์ ซึ่งทั้ง 3 พจน์ที่วิเคราะห์ได้มาข้างต้นมีค่า Sum of Squares ที่มาก และยังเป็นพจน์ที่มีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญ จึงสามารถสรุปได้ว่าทั้ง 3 พจน์นี้ (B, C และ BC) ควรจะปรากฏอยู่ในสมการแบบจำลอง



รูป 4.13 Main Effects Plot ของข้อมูลจำนวนตำหนิ S_1 ที่ผ่านการแปลงข้อมูลด้วยวิธี F&T



รูป 4.14 Interaction Plot ของข้อมูลจำนวนตำหนิ S_1 ที่ผ่านการแปลงข้อมูลด้วยวิธี F&T

จากรูป 4.13 และ รูป 4.14 พบว่า ผลของปัจจัย X_8 (B) ปัจจัย X_{10} (C) และอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย X_8 กับปัจจัย X_{10} (BC) ส่งผลกระทบบ่อยอย่างมีนัยสำคัญกับผลตอบ (S_1) F&T ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ความแปรปรวนในข้างต้น

2.2) ตำหนิลวดทางด้านตั้งขาด (S_2)

การประมาณผลกระทบและการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตำหนิ S_2 ใช้แนวทางเดียวกันกับการวิเคราะห์ในตำหนิ S_1 ซึ่งแสดงในหัวข้อ 2.1 ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ที่แสดงในตารางที่ 4.12

จะสามารถประมาณค่า Error Sum of Squares (SSE) ได้จากผลรวมของ 3-Way Interactions Sum of Squares คือ ABC (อันตรกิริยาร่วมของ X_3 , X_8 และ X_{10}) 2-Way Interactions Sum of Squares คือ AB (อันตรกิริยาระหว่าง X_3 กับ X_8) กับ BC (อันตรกิริยาระหว่าง X_8 กับ X_{10}) และ Main effects Sum of Squares คือ B (X_8)

ตารางที่ 4.12 การประมาณผลกระทบจากการทดลองและการวิเคราะห์ความแปรปรวนของทุกพจน์

โดยมีผลตอบเป็นจำนวนคำหับ S_2 (F&T)

Estimated Effects and Coefficients for S_2 (F&T) (coded units)

Term	Effect	Coef
Constant		2.0705
X_3 (A)	0.7749	0.3875
X_8 (B)	0.2982	0.1491
X_{10} (C)	2.1410	1.0705
$X_3 * X_8$ (AB)	-1.0678	-0.5339
$X_3 * X_{10}$ (AC)	0.7749	0.3875
$X_8 * X_{10}$ (BC)	0.2982	0.1491
$X_3 * X_8 * X_{10}$ (ABC)	-1.0678	-0.5339

Analysis of Variance for S_2 (F&T) (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	10.5464	10.5464	3.5155	*	*
X_3 (A)	1	1.2011	1.2011	1.2011	*	*
X_8 (B)	1	0.1778	0.1778	0.1778	*	*
X_{10} (C)	1	9.1675	9.1675	9.1675	*	*
2-Way Interactions	3	3.6595	3.6595	1.2198	*	*
$X_3 * X_8$ (AB)	1	2.2805	2.2805	2.2805	*	*
$X_3 * X_{10}$ (AC)	1	1.2011	1.2011	1.2011	*	*
$X_8 * X_{10}$ (BC)	1	0.1778	0.1778	0.1778	*	*
3-Way Interactions	1	2.2805	2.2805	2.2805	*	*
$X_3 * X_8 * X_{10}$ (ABC)	1	2.2805	2.2805	2.2805	*	*
Residual Error	0	*	*	*		
Total	7	16.4864				

จากการพิจารณาเฉพาะปัจจัยที่ไม่ได้ถูกนำไปประมาณค่า SSE สามารถทำการวิเคราะห์เพื่อประมาณผลกระทบของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อข้อมูลของผลตอบ (S₂) F&T ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.13 ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่า ไม่มีปัจจัยและอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยใดที่มีผลต่อค่าผลตอบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.13 การประมาณผลกระทบและการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยในการทดลองที่มีผลต่อผลตอบ (S₂) F&T

Estimated Effects and Coefficients for S₂ (F&T) (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		2.0705	0.3920	5.28	0.006
X ₃ (A)	0.7749	0.3875	0.3920	0.99	0.379
X ₁₀ (C)	2.1410	1.0705	0.3920	2.73	0.052
X ₃ * X ₁₀ (AC)	0.7749	0.3875	0.3920	0.99	0.379

S = 1.10869 R-Sq = 70.18% R-Sq(adj) = 47.81%

Analysis of Variance for S₂ (F&T) (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	10.369	10.369	5.184	4.22	0.103
X ₃ (A)	1	1.201	1.201	1.201	0.98	0.379
X ₁₀ (C)	1	9.167	9.167	9.167	7.46	0.052
2-Way Interactions	1	1.201	1.201	1.201	0.98	0.379
X ₃ * X ₁₀ (AC)	1	1.201	1.201	1.201	0.98	0.379
Residual Error	4	4.917	4.917	1.229		
Pure Error	4	4.917	4.917	1.229		
Total	7	16.486				

จากตารางที่ 4.13 ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของผลกระทบของปัจจัยจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลพบว่า ไม่มีปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลตอบตาม S₂ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากทุกปัจจัยมีค่า P-Value มากกว่า 0.05

ดังนั้นจึงไม่สามารถสร้างสมการแบบจำลองเพื่อใช้พยากรณ์ค่าของผลตอบตาม S₂ ได้ เนื่องจากไม่มีพจน์ใดจากการวิเคราะห์ในข้างต้น ที่มีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญ

3) การสร้างสมการพยากรณ์จำนวนตำหนิที่เกิดขึ้นบนผืนงานลวดตาข่าย

แบบจำลองหรือสมการทำนายผลจะประกอบไปด้วยผลกระทบหลักและอันตรกิริยาร่วม ที่มีผลต่อค่าผลตอบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยนำค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์ในตารางที่ 4.11 มาสร้างสมการ y' ซึ่งคือค่าพยากรณ์ของข้อมูลที่ผ่านการแปลงข้อมูลด้วยวิธี F&T ได้ดังนี้

สมการ F&T ขั้นสุดท้าย แบบ Coded Factors :

$$y' = 3.125 - 1.772 X_B - 1.772 X_C + 1.418 X_{BC} \quad (4.2)$$

ทั้งนี้ : สมการที่ใช้การแทนค่าปัจจัยแบบ Coded Unit จะแทนค่าตัวแปรเป็น -1 (ต่ำ) และ +1 (สูง)

สมการ F&T ขั้นสุดท้าย แบบ Actual Factors :

$$y' = 80.8451 - 1.55978 X_B - 0.0726758 X_C + 0.00141816 X_{BC} \quad (4.3)$$

y' หมายถึง ค่าพยากรณ์ของผลตอบ (จำนวนตำหนิ S_1)

X_B หมายถึง ค่าเข้ารหัส (Coded Value) ของปัจจัย B (X_8)

X_C หมายถึง ค่าเข้ารหัส (Coded Value) ของปัจจัย C (X_{10})

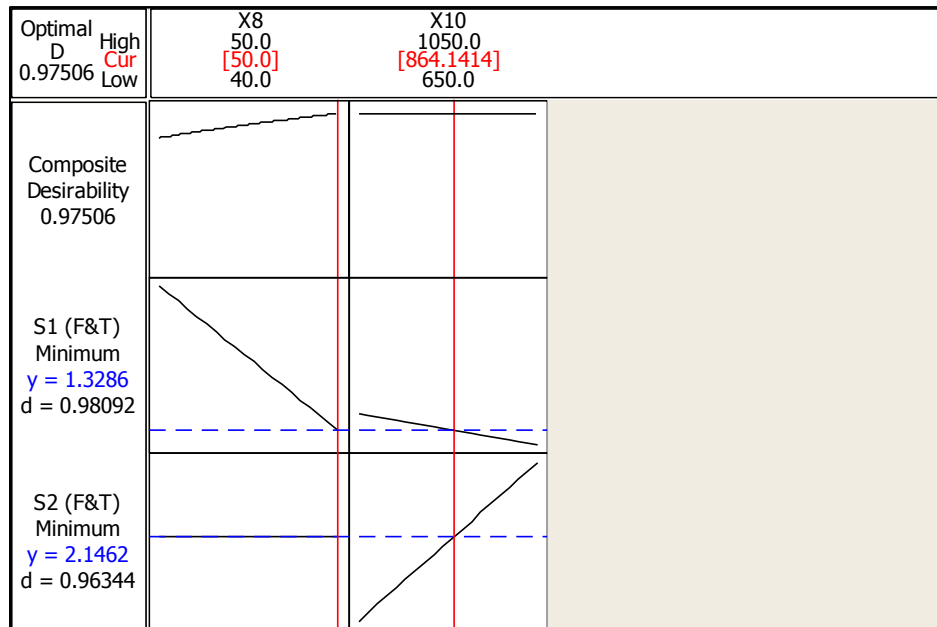
X_{BC} หมายถึง ค่าเข้ารหัส (Coded Value) ของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย BC

4) การหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อทำให้เกิดตำหนิบนผืนงานน้อยที่สุด

เมื่อได้สมการทำนายผลในข้อ 3 จึงได้ทำการวิเคราะห์หาค่าผลตอบที่เหมาะสมโดยใช้ฟังก์ชันการหาค่าผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization) ของโปรแกรม Minitab 16 และมีการกำหนดการตั้งค่าของค่าพารามิเตอร์ แสดงดังตารางที่ 4.14 โดยในงานวิจัยนี้ไม่ต้องการให้เกิดตำหนิขึ้นบนผืนงานจึงกำหนดค่าเป้าหมายเท่ากับ 1 ซึ่งเป็นค่าที่เกิดจากการแปลงด้วยวิธี F&T ซึ่งเทียบเท่ากับการเกิดตำหนิบนผืนงาน 0 จุด ในขณะที่ค่าสูงสุด (Upper) จะกำหนดจากผลการเกิดจำนวนตำหนิสูงสุดของการทดลองซึ่งนับว่าเป็นขอบเขตทั้งหมดที่จะเป็นไปได้ และเนื่องจากการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ 4.2.2 พบว่าตำหนิ S_1 และตำหนิ S_2 มีความสัมพันธ์กันจึงทำให้ในการวิเคราะห์หาค่าผลตอบที่เหมาะสมจำเป็นจะต้องวิเคราะห์ผลจำนวนตำหนิ S_1 และตำหนิ S_2 ร่วมกัน ดังนั้นจะต้องมีการกำหนดค่า Weight และค่า Import โดยที่ค่า Import ถูกกำหนดจากมูลค่าความเสียหายของตำหนิแต่ละชนิด และค่า Weight มีค่าน้อยกว่า 1 เพราะมีการกำหนดขอบเขตค่าสูงสุดที่ถือว่าเป็นอิสระ ซึ่งจะส่งผลทำให้โปรแกรมวิเคราะห์เลือกค่าที่ดีที่สุดออกมา

ตารางที่ 4.14 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ตั้งค่าในฟังก์ชัน Response Optimization

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
S_1 (F&T)	Minimum	1	1	9.69481	0.5	10
S_2 (F&T)	Minimum	1	1	4.68556	0.1	5



รูป 4.15 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนตำหนิ S_1 และตำหนิ S_2 ที่เกิดขึ้น

จากรูป 4.15 ผลการวิเคราะห์ ได้ระดับปัจจัยที่ทำให้เกิดจำนวนตำหนิ S_1 และตำหนิ S_2 บนผืนงานน้อยที่สุด มีค่า 1.3286 และ 2.1462 ตามลำดับ โดยค่าที่ได้นี้เป็นค่าที่ผ่านการแปลงข้อมูลด้วยวิธี F&T และมีระดับความพึงพอใจเท่ากับ 0.981 และ 0.963 ตามลำดับ โดยระดับของแต่ละปัจจัย ได้แก่ ปัจจัย X_8 ที่ 50 และ ปัจจัย X_{10} ที่ 864.14 แต่เนื่องจากไม่สามารถปรับตั้งค่าปัจจัย X_{10} ให้เป็นจุดทศนิยมได้จึงได้ปรับระดับปัจจัยเป็น 865 ส่วนปัจจัย X_3 ไม่มีผลต่อค่าผลตอบอย่างมีนัยสำคัญจึงได้กำหนดค่าที่ 7 เพื่อให้สะดวกและง่ายต่อการทำงาน สรุปค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดตำหนิบนผืนงานน้อยที่สุดได้ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดตำหนิบนผิงานน้อยที่สุด

	ปัจจัย	ระดับปัจจัย
ปัจจัย A	ปัจจัยการตั้งค่าเครื่องจักร X_3	7
ปัจจัย B	ปัจจัยการตั้งค่าเครื่องจักร X_8	50
ปัจจัย C	ปัจจัยการตั้งค่าเครื่องจักร X_{10}	865

5) ทำการทดลองเพื่อยืนยันผล

เมื่อได้ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดตำหนิบนผิงานน้อยที่สุด จากนั้นจึงทำการทดลองเพื่อยืนยันผล โดยใช้ระดับปัจจัยดังตารางที่ 4.15 แล้วเก็บข้อมูลจำนวนตำหนิ S_1 และตำหนิ S_2 ที่เกิดขึ้นบนผิงานทอในแต่ละรุ่น (Lot) จากกระบวนการผลิตจริง แต่เนื่องจากช่วงเวลาในการทำทดลองยืนยันผลนั้น บริษัทมีปริมาณการสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาอยู่ลดลงจึงทำให้สามารถทำการทดลองยืนยันผลได้เพียง 3 รุ่นการผลิต ซึ่งในแต่ละรุ่นการผลิตจะคิดเทียบเท่ากับขนาดผิงานประมาณ 1,350 ตารางเมตร แสดงผลดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ผลการทดลองเพื่อยืนยันผล

ทดลองครั้งที่	จำนวนตำหนิที่เกิดขึ้น (จุด/รุ่นการผลิต)	
	ตำหนิ S_1	ตำหนิ S_2
1	1.0587	0
2	0.7505	0.7505
3	0.7488	0
ค่าเฉลี่ย	0.8527	0.2502

จากตารางที่ 4.16 พบว่าหากมีการใช้ค่าระดับปัจจัยตามที่แสดงดังตารางที่ 4.15 จะส่งผลทำให้สามารถลดจำนวนตำหนิ S_1 ลงได้จาก 6.97 จุด เหลือเพียง 0.8527 จุด ต่อ 1 รุ่นการผลิต ในขณะที่ตำหนิ S_2 ลดลงจาก 6.95 จุด เหลือ 0.2502 จุด ต่อ 1 รุ่นการผลิต

4.5.2 ผลการลดตำหนิลดทางด้านขวางของ (S_3)

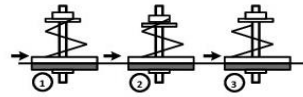
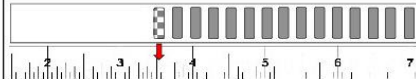
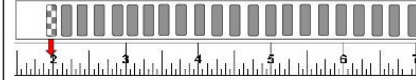
ผลจากการวิเคราะห์ในขั้นตอนก่อนหน้านี้พบว่าไม่มีปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักรใดที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดตำหนิ S_3 อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นการแก้ไขปัญหาจากสาเหตุในด้านพนักงาน โดยพบว่าพนักงานขาดทักษะและความรอบคอบ ขาดความสม่ำเสมอในการตรวจเช็คอุปกรณ์ และในบางครั้งการวัดและตั้งค่าอุปกรณ์บางอย่างบนเครื่องจักรยังไม่มีค่านั่นนอนและชัดเจนมากเพียงพอ ซึ่งสาเหตุเหล่านี้ส่งผลให้เกิดตำหนิ S_3 ขึ้น ซึ่งแต่เดิมพนักงานจะทำงานตาม

ความเคยชินของตนเองที่เน้นความสะดวกและรวดเร็วคือ เมื่อทำการสอยลวดเข้าเครื่องจักรและตั้งค่าเครื่องจักรเรียบร้อยแล้วจะเริ่มทำการทอ โดยไม่มีการตรวจสอบความพร้อมในการใช้งานอุปกรณ์ทุกครั้งเพราะมีการผลิตงานลวดตาข่ายชนิดเดิมอย่างต่อเนื่อง ส่งผลทำให้เกิดตำหนิ S_3 ขึ้นหากอุปกรณ์เกิดการชำรุดขณะทำการทอ เช่น การไม่ตรวจสอบความสมบูรณ์ของแผ่นกดลวดเวฟและสปริงยางไกล และไม่ตรวจสอบการทำงานของฟีดเดอร์ เป็นต้น นอกจากนี้พนักงานยังใช้วิธีการประมาณระยะการวัดและระยะต่างๆของการตั้งค่าอุปกรณ์บนตัวเครื่องจักรจากประสบการณ์ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากค่าที่กำหนดได้ ผู้วิจัยจึงได้ใช้หลักการป้องกันความผิดพลาดในการทำงานของพนักงาน (Poka Yoke) มาใช้ในการจัดทำเอกสารใบตรวจสอบเครื่องจักรก่อนทำการทอ เพื่อป้องกันการเกิดตำหนิ S_3 แสดงดังรูป 4.17 โดยวิธีดังกล่าวจะช่วยให้พนักงานทำการตรวจสอบอุปกรณ์และวิธีการทำงานให้ถูกต้องได้ตามขั้นตอนการตรวจสอบที่ได้ระบุไว้ในใบตรวจสอบ รวมทั้งให้มีการระบุค่าของการวัดและระยะการตั้งค่าของอุปกรณ์บนตัวเครื่องจักรให้ชัดเจนในใบตรวจสอบ ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้จากไม้บรรทัดที่ติดตั้งไว้บนเครื่องทอ แสดงดังรูปที่ 4.16 การทำเช่นนี้ช่วยทำให้พนักงานลดการใช้วิธีการประมาณค่าได้ และยังช่วยทำให้การวัดมีมาตรฐานมากยิ่งขึ้น

จากการทดลองใช้ใบตรวจสอบเครื่องจักรก่อนทำการทอ เพื่อป้องกันการเกิดตำหนิ S_3 ในกระบวนการผลิตจริงจำนวน 2 รุ่นการผลิต พบว่าจากเดิมก่อนการปรับปรุงการทำงานมีจำนวนตำหนิ S_3 เฉลี่ยอยู่ที่ 2.07 จุด ต่อ 1 รุ่นการผลิต หลังจากทำการปรับปรุงการทำงานด้วยวิธีที่กล่าวมาในกระบวนการผลิตจริงพบว่าค่าเฉลี่ยของการเกิดตำหนิ S_3 อยู่ที่ 2.24 จุด ต่อ 1 รุ่นการผลิต และ 0 จุด ต่อ 1 รุ่นการผลิต ซึ่งหากนำค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 รุ่นการผลิต มาเปรียบเทียบกับจำนวนตำหนิ S_3 เฉลี่ยก่อนการปรับปรุงพบว่า จำนวนตำหนิ S_3 ลดลงอยู่ที่ 1.123 จุด ต่อ 1 รุ่นการผลิตหรือเทียบเท่ากับผืนงานทอขนาด 1,350 ตารางเมตร



รูป 4.16 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ช่วยในการวัดระยะฟรีในการวิ่งของหัวสบบนเครื่องจักร

ใบตรวจสอบเครื่องจักรก่อนทำการทอ (ป้องกันการเกิดตำหนิ S_3)			เครื่องจักรที่ :																																																																							
ชื่อผู้บันทึก :		วัน/เดือน/ปี :																																																																								
เวลา :																																																																										
คำชี้แจง : ใส่เครื่องหมาย ✓ ลงใน □ เมื่อท่านได้ทำการตรวจสอบในขั้นตอนเป็นที่เรียบร้อยแล้ว พร้อมทั้งระบุรายละเอียดให้ชัดเจน																																																																										
ขั้นตอนที่ 1	ขั้นตอนที่ 2	ขั้นตอนที่ 3	ขั้นตอนที่ 4																																																																							
☐ ใช้ Bobbin Case ใส่ลวด Weft ☐ ใส่ลวด Weft ให้ถูกต้องโดยวางแกนลวดด้านที่มีสติ๊กเกอร์ขึ้นข้างบน  หมายเหตุ: ต้องเช็คการขึ้นของลวด Weft ในแต่ละด้านทุกครั้งก่อนใช้งาน ☐ เช็คการทำงานของ Feeder ตารางบันทึกการเปลี่ยนลวด Weft <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="3">วัน และ เวลา ที่ทำการเปลี่ยนลวด</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1)</td><td>16)</td><td>31)</td></tr> <tr><td>2)</td><td>17)</td><td>32)</td></tr> <tr><td>3)</td><td>18)</td><td>33)</td></tr> <tr><td>4)</td><td>19)</td><td>34)</td></tr> <tr><td>5)</td><td>20)</td><td>35)</td></tr> <tr><td>6)</td><td>21)</td><td>36)</td></tr> <tr><td>7)</td><td>22)</td><td>37)</td></tr> <tr><td>8)</td><td>23)</td><td>38)</td></tr> <tr><td>9)</td><td>24)</td><td>39)</td></tr> <tr><td>10)</td><td>25)</td><td>40)</td></tr> <tr><td>11)</td><td>26)</td><td>41)</td></tr> <tr><td>12)</td><td>27)</td><td>42)</td></tr> <tr><td>13)</td><td>28)</td><td>43)</td></tr> <tr><td>14)</td><td>29)</td><td>44)</td></tr> <tr><td>15)</td><td>30)</td><td>45)</td></tr> </tbody> </table>	วัน และ เวลา ที่ทำการเปลี่ยนลวด			1)	16)	31)	2)	17)	32)	3)	18)	33)	4)	19)	34)	5)	20)	35)	6)	21)	36)	7)	22)	37)	8)	23)	38)	9)	24)	39)	10)	25)	40)	11)	26)	41)	12)	27)	42)	13)	28)	43)	14)	29)	44)	15)	30)	45)	☐ สำรองและตรวจเช็คแผ่นกดลวด Weft หมายเหตุ: หากเกิดการชำรุดให้ทำการเปลี่ยนแผ่นใหม่ (ทำเครื่องหมาย ✓ ลงในตาราง)  ตารางตรวจสอบความเสียหายของแผ่นกดลวด Weft <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">รูปแบบความเสียหาย</th> <th colspan="3">ลำดับแผ่นกดลวด Weft</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>รอยลึก</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>รอยร้าว</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>รอยอื่นๆ มากกว่า 80%</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>สภาพสมบูรณ์</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> ☐ ตั้งแรงกดของ Tensor ให้ดีและเหมาะสม	รูปแบบความเสียหาย	ลำดับแผ่นกดลวด Weft			1	2	3	รอยลึก				รอยร้าว				รอยอื่นๆ มากกว่า 80%				สภาพสมบูรณ์				เช็คความพร้อมการใช้งานของอุปกรณ์ ดังนี้ ☐ สปริงยางไกล ☐ ระยะ Timing ของบาร์หูmm. ☐ ตรวจเช็คความตึงของลวดเวฟในขณะที่บาร์หูงานสับกันโดยที่ลวดเวฟต้องแน่นไม่หลุด	☐ ตรวจเช็คตัวปลดปล่อยหัวคร ☐ ตรวจเช็คชุดเฟืองให้มีช่วงฟรีในการวิ่งของหัวครอย่างน้อย 1-2 นิ้ว (คันเฟืองเดินหน้า)  ค่าที่อ่านได้.....นิ้ว (คันเฟืองถอยหลัง)  ค่าที่อ่านได้.....นิ้ว
วัน และ เวลา ที่ทำการเปลี่ยนลวด																																																																										
1)	16)	31)																																																																								
2)	17)	32)																																																																								
3)	18)	33)																																																																								
4)	19)	34)																																																																								
5)	20)	35)																																																																								
6)	21)	36)																																																																								
7)	22)	37)																																																																								
8)	23)	38)																																																																								
9)	24)	39)																																																																								
10)	25)	40)																																																																								
11)	26)	41)																																																																								
12)	27)	42)																																																																								
13)	28)	43)																																																																								
14)	29)	44)																																																																								
15)	30)	45)																																																																								
รูปแบบความเสียหาย	ลำดับแผ่นกดลวด Weft																																																																									
	1	2	3																																																																							
รอยลึก																																																																										
รอยร้าว																																																																										
รอยอื่นๆ มากกว่า 80%																																																																										
สภาพสมบูรณ์																																																																										

รูป 4.17 ใบตรวจสอบเครื่องจักรก่อนทำการทอ

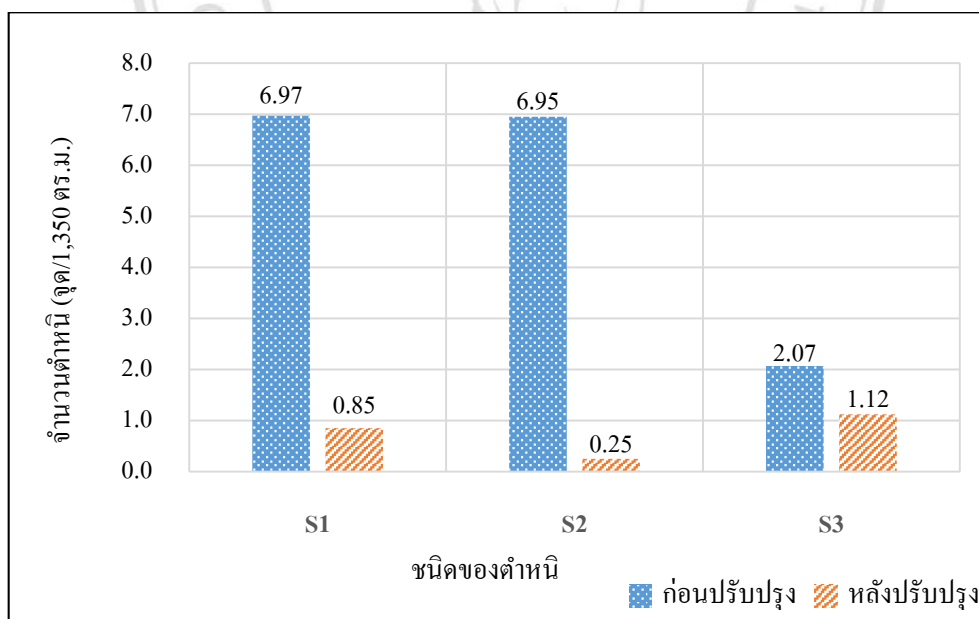
4.6 การเปรียบเทียบผลการเกิดตำหนีก่อนและหลังการปรับปรุง และกำหนดมาตรฐานการทำงาน

4.6.1 การเปรียบเทียบผลการเกิดตำหนีก่อนและหลังการปรับปรุง

หลังจากที่ได้ดำเนินงานวิจัยตามขั้นตอนที่ได้วางแผนไว้เรียบร้อยแล้ว โดยได้ทำการเก็บข้อมูลจำนวนตำหนิที่เกิดขึ้นบนพื้นงานหลังกระบวนการปรับปรุงที่แสดงดังตารางที่ 4.17 และนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจำนวนตำหนิก่อนทำการปรับปรุง ซึ่งได้ผลแสดงดังรูป 4.18

ตารางที่ 4.17 ข้อมูลจำนวนตำหนิที่เกิดขึ้นบนพื้นงานหลังกระบวนการปรับปรุง

ครั้งที่	จำนวนจุดตำหนิแต่ละประเภทบนพื้นงานทอลวดตาข่ายขนาด 1,350 ตารางเมตร		
	S_1	S_2	S_3
1	1.059	0	2.245
2	0.751	0.751	0.000
3	0.749	0	-
เฉลี่ย	0.853	0.250	1.123



รูป 4.18 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบจำนวนตำหนิเฉลี่ยก่อนและหลังการปรับปรุง

จากรูป 4.18 แสดงข้อมูลจำนวนจุดตำหนิ S_1 , ตำหนิ S_2 และตำหนิ S_3 เฉลี่ยบนพื้นงานทอลวดตาข่ายขนาด 1,350 ตารางเมตร หรือ 1 รุ่นการผลิต ก่อนและหลังทำการแก้ไขปรับปรุงพบว่าสามารถลดตำหนิ S_1 ลดลงได้ 6.12 จุด/1,350 ตร.ม. คิดเป็น 87.8% ในขณะที่ตำหนิ S_2 ลดลง 6.7 จุด/1,350 ตร.ม. คิดเป็น 96.4% และตำหนิ S_3 ลดลง 0.95 จุด/1,350 ตร.ม. คิดเป็น 45.8% แสดงว่าแนว

ทางการวิจัยเพื่อลดจำนวนตำหนิในกระบวนการผลิตลวดตาข่าย ได้ผลตามที่ได้ตั้งวัตถุประสงค์ไว้ในตอนต้น

4.6.2 กำหนดมาตรฐานการทำงาน

เมื่อได้แนวทางการตั้งค่าเครื่องจักรที่ใช้ทอลวดตาข่ายที่เหมาะสมแล้ว จึงได้ทำการกำหนดเอกสารการปฏิบัติงานการตั้งค่าเครื่องจักร เพื่อกำหนดเป็นมาตรฐานในการทำงานให้พนักงานทุกคนใช้แนวทางเดียวกันในการทำงานโดยเอกสารการปฏิบัติงานแสดงในภาคผนวก ข



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดตำหนิในกระบวนการผลิต ลวดตาข่ายแล้วหาวิธีในการลดจำนวนตำหนิในกระบวนการผลิตลวดตาข่าย สามารถสรุปและ อภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดตำหนิในกระบวนการผลิต ลวดตาข่าย โดยปัจจัยนี้จะนำไปสู่วิธีการแก้ไขเพื่อลดจำนวนตำหนิที่เกิดขึ้นบนผืนงาน โดยขั้นตอน การวิจัยเริ่มจากการศึกษากระบวนการผลิตลวดตาข่าย และคัดเลือกผลิตภัณฑ์ในการทำการศึกษ า หลังจากนั้นทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนตำหนิที่เกิดขึ้นบนผืนงานและพบว่าตำหนิมีหลาย ประเภท จึงทำการจัดลำดับความสำคัญของตำหนิ เพื่อคัดเลือกตำหนิที่ต้องทำการปรับปรุงก่อน โดย ใช้หลักการของพาเรโตรวมกับการใช้เทคนิคการหาความสัมพันธ์ (Association rules) ทั้งนี้เทคนิค การหาความสัมพันธ์นั้นใช้เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตำหนิว่ามีตำหนิชนิดใดเกิดขึ้น พร้อมกันหรือไม่ เพื่อช่วยลดประเภทของตำหนิที่ต้องศึกษาลง ผลจากการวิจัยพบว่า ตำหนิที่ทำให้เกิด ความเสียหายมากถึง 81.9 % คือ ตำหนิ S₁, ตำหนิ S₂, ตำหนิ S₃ และตำหนิ S₄ เมื่อพิจารณาผลของ กฎความสัมพันธ์พบว่า รุนการผลิตที่เกิดตำหนิ S₁ มักจะเกิดตำหนิ S₂ ตามขึ้นมาด้วยซึ่งมีมากถึง 88.5% ดังนั้นตำหนิ S₁ และ ตำหนิ S₃ จึงเป็นตำหนิที่มีความสำคัญและควรได้รับการแก้ไขก่อน จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดตำหนิโดยใช้แผนผังแสดงเหตุและผล ซึ่งจากการระดม สมองกับผู้ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตพบว่า การตั้งค่าเครื่องจักรเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดตำหนิบน ผืนงานมากที่สุด ดังนั้นจึงได้เก็บรวบรวมข้อมูลรายละเอียดการตั้งค่าเครื่องจักรและตำหนิที่เกิดขึ้นใน อดีตมาทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรจาก 2 วิธี คือ การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) และการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เพื่อหาปัจจัยในการตั้งค่า เครื่องจักรที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนตำหนิที่เกิดขึ้น ผลจากการวิจัยพบว่า ตำหนิ S₁ มีความสัมพันธ์ กับปัจจัย X₃, ปัจจัย X₈ และปัจจัย X₁₀ ในขณะที่ตำหนิ S₃ ไม่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยใด ต่อมาเป็น

ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดจำนวนตำหนิ โดยได้ทำการปรับปรุงแยกตามประเภทของตำหนิ คือ ปัญหาตำหนิ S_1 ได้นำปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยที่วิเคราะห์ได้จากข้างต้นมาทำการออกแบบการทดลอง แฟกทอเรียลที่ 2 ระดับ เพื่อหาค่าของปัจจัยที่เหมาะสม พบว่าระดับของปัจจัยที่ทำให้เกิดจำนวนตำหนิ น้อยที่สุด คือ กำหนดปัจจัย X_8 ที่ 50 ปัจจัย X_{10} ที่ 865 และปัจจัย X_3 ที่ 7 ส่วนตำหนิ S_3 ได้นำเทคนิค ป้องกันความผิดพลาด (Poka-Yoke) มาใช้เพื่อแก้ไขปัญหานักงานขาดทักษะและความรอบคอบ โดยการสร้างแผ่นตรวจสอบเครื่องจักรก่อนทำการทอ และสุดท้ายได้ทำการออกแบบเอกสารการ ปฏิบัติงานสำหรับการตั้งค่าเครื่องจักร เพื่อควบคุมให้พนักงานใช้มาตรฐานเดียวกันในการทำงาน

จากนั้นได้นำค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่วิเคราะห์ได้ไปทำการทดลองใช้ใน กระบวนการผลิตจริงเพื่อยืนยันผลการทดลอง ผลหลังจากการปรับปรุงพบว่าสามารถลดปัญหาตำหนิ S_1 ได้ถึง 87.8% หรือ 6.12 จุด/1 รุ่งการผลิต ในขณะที่ปัญหาตำหนิ S_2 ลดลงไป 6.7 จุด/1 รุ่งการผลิต เท่ากับ 96.4% และปัญหาตำหนิ S_3 ลดลงไป 0.947 จุด/1 รุ่งการผลิต ลดลงคิดเป็น 45.8 %

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

1. จากการเปรียบเทียบงานวิจัยครั้งนี้กับงานวิจัยในอดีต ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดของ เสียในกระบวนการผลิตลดค่าเสียหายเช่นเดียวกันพบรายละเอียดดังนี้

1.1 ผลจากงานวิจัยครั้งนี้มีความเหมือนและความแตกต่างกับงานวิจัยของเยวานาญ ศรีวิชัย (2554) และงานวิจัยของวิเชียร แก้วณะศรี (2550) ที่ได้มีการนำวงจร DMAIC ของเทคนิคซิกม่า มาใช้เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตลดค่าเสียหาย ผลจากการปรับปรุงแก้ไขสามารถช่วยลดจำนวน ตำหนิในกระบวนการผลิตลดค่าเสียหายลงได้เช่นเดียวกับผลการปรับปรุงในงานวิจัยครั้งนี้

1.2 ขั้นตอนของการจัดลำดับความสำคัญและคัดเลือกประเภทตำหนิที่ต้องทำการปรับปรุง ได้ผลที่แตกต่างกันออกไป และเมื่อนำผลการวิเคราะห์กฎความสัมพันธ์ของตำหนิแต่ละประเภทมา เปรียบเทียบกับผลของงานวิจัย Wongwan and Lasiritaworn (2018) ที่ได้นำเทคนิคการหากฎ ความสัมพันธ์ด้วยอัลกอริทึม FP- Growth มาใช้ศึกษาหาความสัมพันธ์ของตำหนิที่เกิดขึ้นใน กระบวนการผลิตลดค่าเสียหายสแตนเลสพบว่า ตำหนิ hard warp มีความสัมพันธ์กับตำหนิตาของผืน งานมีขนาดไม่สม่ำเสมอ (open mesh) ซึ่งแตกต่างกับงานวิจัยครั้งนี้ที่พบว่า ตำหนิตาของผืนงานมี ขนาดไม่สม่ำเสมอ (S_1) มีความสัมพันธ์กับตำหนิลดทางด้านตั้งขาด (S_2) ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าใน กระบวนการผลิตลดค่าเสียหายมีตำหนิบางประเภทที่มักจะเกิดขึ้นตามกันหรืออาจจะมีความสัมพันธ์กัน แต่เนื่องจากคุณสมบัติที่แตกต่างกันของผืนงานลดค่าเสียหาย จึงส่งผลทำให้เกิดตำหนิประเภทต่างกัน ตามไปด้วย จึงทำให้กฎความสัมพันธ์ที่วิเคราะห์ได้แตกต่างกัน ซึ่งสามารถนำผลที่ได้นี้ไปพัฒนาปรับ ใช้กับกระบวนการผลิตเพื่อช่วยลดของเสียได้ และเมื่อทำการพิจารณางานวิจัยของวิเชียร แก้วณะศรี (2550) พบว่า ปัญหาตำหนิตาของผืนงานในแนวขวางมีค่าไม่สม่ำเสมอเป็นปัญหาที่ถูกเลือกนำมา

ทำการศึกษา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปัญหาดำเนินงานในแนวขวางมีค่าไม่สม่ำเสมอมีความสำคัญเป็นอย่างมากจึงถูกเลือกนำมาทำการศึกษาในอันดับต้นๆ

1.3 ผลจากการวิเคราะห์เพื่อคัดกรองหาปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักรที่ทำให้เกิดตำหนิตามของแผ่นงานในแนวขวางมีค่าไม่สม่ำเสมอ (S_1) โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) และการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ทำให้พบ 3 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนตำหนิตาม S_1 ที่ระดับนัยสำคัญ 95% จากทั้งหมด 12 ปัจจัย และจากการศึกษางานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการลดของเสียในกระบวนการผลิตลดค่าขาย ไม่พบงานวิจัยใดที่นำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร จาก 2 วิธีข้างต้นมาใช้ โดยที่ข้อดีของการใช้เทคนิคดังกล่าวทำให้สามารถทราบถึงขนาดของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร และยังช่วยคัดกรองปัจจัยให้มีจำนวนลดลงได้ แต่ก็มีข้อเสียคือไม่สามารถใช้วิเคราะห์กับตัวแปรที่เป็นข้อมูลเชิงคุณภาพได้

1.4 ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ งานวิจัยของเขาวานา สุริวิชัย (2554) ได้นำเทคนิคการออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล 2^3 มาใช้เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อกระบวนการทำความสะอาดแผ่นงาน และมีผลตอบคือความยาวของแผ่นงานที่ตัดทิ้งเนื่องจากเกิดรอยตำหนิตามการล้างชนิดคราบน้ำ ซึ่งในงานวิจัยของผู้วิจัยนี้ก็ได้มีการนำการออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล 2^3 มาใช้เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมเช่นกัน แต่เป็นการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อกระบวนการลดค่าขายโดยมีผลตอบคือจำนวนตำหนิตามที่เกิดขึ้นบนแผ่นงาน ซึ่งผลจากการทดลองของทั้ง 2 งานวิจัยนี้สามารถนำค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมไปใช้ในกระบวนการผลิตจริงได้อีกทั้งยังส่งผลทำให้ลดของเสียในกระบวนการผลิตลงได้

2. ผลจากการวิจัยครั้งนี้ทำให้สามารถลดจำนวนตำหนิตามในกระบวนการผลิตลดค่าขายลงได้ ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบมูลค่าความเสียหายของการเกิดตำหนิตามแต่ละประเภทก่อนและหลังทำการปรับปรุงสามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 5.1 โดยคำนวณมูลค่าความเสียหายได้จากสมการต่อไปนี้

- มูลค่าความเสียหายของตำหนิตามที่ทำให้เกิดการซ่อม

$$= (\text{ค่าแรงของพนักงานที่ทำการซ่อมตำหนิตาม} + \text{ค่าวัสดุที่ใช้ซ่อม}) \times \text{จำนวนตำหนิตามที่เกิดขึ้น} \quad (5.1)$$

- มูลค่าความเสียหายของตำหนิตามที่ทำให้ต้องตัดทิ้ง (คิดเฉพาะส่วนที่ต้องตัดทิ้งยังไม่คิดส่วนที่ต้องทำใหม่)

$$= (\text{ค่าแรงของพนักงานที่ทำการผลิต} + \text{ค่าวัสดุที่ใช้ในการผลิต}) \times \text{จำนวนตำหนิตามที่เกิดขึ้น} \quad (5.2)$$

โดยที่ ค่าแรงของพนักงาน เท่ากับ 396 บาทต่อ 8 ชั่วโมง

ค่าวัสดุบริวาร 350 บาทต่อ 1 กิโลกรัม

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบมูลค่าความเสียหายของการเกิดตำหนิต่อแต่ละประเภทก่อนและหลังทำการปรับปรุง

ประเภทตำหนิ	มูลค่าความเสียหาย (บาท/ปี)		มูลค่าความเสียหายที่สามารถลดลงได้ (บาท/ปี)
	ก่อนทำการปรับปรุง	หลังทำการปรับปรุง	
S_1	145,786	17,786	128,000
S_2	220,888	7,952	212,936
S_3	68,138	36,931	31,207
รวม	434,812	62,669	372,143

จากตารางที่ 5.1 พบว่าในงานวิจัยครั้งนี้ การปรับปรุงกระบวนการผลิตลดค่าเสียหายเพื่อลดจำนวนตำหนิต่อแต่ละประเภท ส่งผลทำให้มูลค่าความเสียหายของการเกิดตำหนิตั้ง 3 ประเภทนี้ลดลงจาก 434,812 บาท/ปี เป็น 62,669 บาท/ปี คิดเป็นมูลค่าความเสียหายที่สามารถลดลงได้เป็นจำนวนเงิน 372,143 บาท/ปี หรือลดลงประมาณ 86 %

3. หากทำการพิจารณาปัญหาตำหนิ S_4 ร่วมด้วย จะพบว่าจำนวนตำหนิ S_4 ลดลงจาก 1.98 จุด/ผืนงานขนาด 1,350 ตารางเมตร เป็น 1.46 จุด/ผืนงานขนาด 1,350 ตารางเมตร หรือคิดเป็น 26.52% ที่เป็นเช่นนี้อาจมีผลมาจากผลของการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ที่พบว่า ตำหนิ S_1 มีความสัมพันธ์กับตำหนิ S_4 ซึ่งเมื่อสามารถลดจำนวนตำหนิ S_1 ลงได้ ก็จะช่วยให้จำนวนตำหนิ S_4 ลดลงตามไปด้วย

5.3 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยในอนาคต

1) งานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์ลวดตาข่ายงานทอกันปลวก เพราะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตสูงที่สุด ซึ่งในอนาคตอาจจะนำแนวคิดและขั้นตอนการทำวิจัย ไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อื่นๆที่มีความสำคัญรองลงมาได้ เพื่อให้จำนวนตำหนิบนผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งเป็นการสร้างคุณภาพให้กับผลิตภัณฑ์อีกทางหนึ่ง

2) เลือกใช้ข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2559 – 2561 มาทำการศึกษาซึ่งเป็นข้อมูลที่มีความเป็นปัจจุบันมากที่สุด และในอนาคตอาจจะใช้ข้อมูลจากจำนวนปีที่มากกว่านี้เพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

3) หลักการของการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์มีข้อจำกัดคือ ข้อมูลตำหนิที่นำมาทำการวิเคราะห์จะเป็นข้อมูลที่ทำการศึกษาเพียงว่าเกิดตำหนิชนิดนั้นขึ้น (แทนด้วยหมายเลข 1) หรือไม่เกิดตำหนิชนิดนั้น (แทนด้วยหมายเลข 0) ในแต่ละรุ่นการผลิต (Lot) ซึ่งไม่ได้มีการคำนึงถึงปริมาณจำนวนตำหนิที่เกิดขึ้นว่ามีมากน้อยเพียงใด ดังนั้นในอนาคตอาจจะทำการเก็บข้อมูลตำหนิต่อขนาด

พื้นที่ของผืนงานทอที่เล็กลง เพื่อให้มีจำนวนรายการข้อมูล (Transaction) เพิ่มมากยิ่งขึ้น เช่น แต่เดิมมีจำนวนรายการข้อมูลเพียง 30 ชุด เนื่องจากมีการเก็บข้อมูลคำหนึ่ต่อผืนงานขนาด 1,350 ตารางเมตร หรือ 1 รุ่นการผลิต (Lot) ซึ่งในอนาคตอาจมีการปรับเปลี่ยนให้มีการเก็บข้อมูลคำหนึ่ต่อผืนงานขนาด 100 ตารางเมตร ส่งผลทำให้มีจำนวนรายการข้อมูล (Transaction) เพิ่มขึ้นเป็น 405 ชุด ซึ่งการทำเช่นนี้อาจจะทำให้สามารถค้นพบกฎความสัมพันธ์ที่น่าสนใจเพิ่มขึ้นได้

4) จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการหากฎความสัมพันธ์ (Association rules) จึงเลือกศึกษาคำหนึ่ S_1 และ คำหนึ่ S_2 พร้อมกันเพื่อลดจำนวนคำหนึ่ที่ต้องศึกษาลง ซึ่งในอนาคตอาจจะทำการแยกศึกษาเฉพาะคำหนึ่ S_2 ต่อไป

5) จากการวิเคราะห์แผนผังก้างปลาของงานวิจัยนี้ ได้เลือกศึกษาเฉพาะปัจจัยในการตั้งค่าของเครื่องจักรที่ใช้ในการทอ เพราะมีปัจจัยต่างๆที่ต้องควบคุมอยู่เป็นจำนวนมากที่ส่งผลทำให้เกิดคำหนึ่มากที่สุด โดยที่ในอนาคตอาจจะเลือกศึกษาในปัจจัยด้านอื่นๆที่มีความสำคัญรองลงมา

6) ในขั้นตอนของการทดลอง ได้ทำการทดลองที่เครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว เพื่อควบคุมความแปรปรวนที่อาจจะเกิดขึ้นได้จากเครื่องจักร ซึ่งในอนาคตอาจจะนำแนวทางการวิจัยนี้ไปปรับใช้กับเครื่องจักรหมายเลขอื่นๆได้

7) ต้นทุนด้านวัตถุดิบมีราคาค่อนข้างสูง และการทอผืนงานใช้เวลานาน จึงทำการทดลองได้เพียง 1 ชั่วโมง ซึ่งในอนาคตอาจมีการทดลองมากกว่า 1 ชั่วโมง เพื่อให้ผลการทดลองมีความถูกต้องและแม่นยำเพิ่มมากขึ้น

8) นอกจากนี้เพื่อที่จะสามารถประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดลองได้ อาจมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของการออกแบบการทดลอง จากการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มจำนวน เป็นการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล และให้มีการทำซ้ำอย่างน้อย 2 ครั้ง (น้ำคำ ด่านไทยวัฒนา, 2558) โดยการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลมีข้อดี คือ มีความเหมาะสมกับการนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบการทดลองที่มีปัจจัยจำนวนมาก ซึ่งสามารถช่วยลดจำนวนการทดลองลงได้อย่างน้อยครึ่งหนึ่ง ส่งผลทำให้ค่าใช้จ่ายและเวลาในการทำทดลองลดลงตามไปด้วย แต่ทั้งนี้ก็มีข้อจำกัด คือ การเกิดอิทธิพลร่วมของกลุ่มแฝดแฝง (Aliases) หรือในบางตำราเรียกว่า คอนฟาวด์ (Confound) ที่หมายถึงการปนกันหรือติดกันจนแยกไม่ออก ซึ่งมีผลทำให้ค่าผลกระทบของ Effects ที่วิเคราะห์ได้เป็นค่าที่ปนกันและไม่สามารถแยกออกจากกันได้

เอกสารอ้างอิง

- กัญจน์รัช แซงทอง. 2557. การลดต้นทุนผลิตภัณฑ์ประเภทสปริงล้อยหน้า (FRONT FORK) ของรถจักรยานยนต์โดยใช้กิจกรรมการลดต้นทุนในเขตอุตสาหกรรม จังหวัดสมุทรปราการ. วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนานาชาติแสตมฟอร์ด.
- เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล. 2557. การควบคุมคุณภาพ Statistical Quality Control. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด.
- กาญจนา กาญจนสุทร. 2559. การควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กฤษณ์ นวลจันทร์. 2556. การค้นหาปัจจัยการผลิตที่ส่งผลทำให้เกิดจุดขาว ด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูลกรณีศึกษา: โรงงานยางแท่ง บริษัทศรีตรังแอโกรอินคัสทรี จำกัด (มหาชน) สาขาห้วยนาง จังหวัดตรัง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- จิตรลดา เลิศกิตติกุล, และนันทชัย กานตานันทะ. 2557. การลดของเสียของบรรจุภัณฑ์ด้วยการออกแบบการทดลอง. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น., 19(6), 886-899.
- ทวีวัฒน์ ทองจอน, และอนุชาติ เรืองโม. 2558. การปรับปรุงจิ๊กเพื่อตรวจสอบกระบวนการผลิตท่อส่งสารทำความเย็น. โครงการสหกิจศึกษา สาขาวิชาแมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- ทวีศักดิ์ คงตุก. 2560. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัลกอริทึมสำหรับค้นหาไอเท็มเซตที่ปรากฏร่วมกันบ่อย. วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม, 4(1), 34-42.
- தாகาฮาชิ มาโกะโตะ. 2551. เทคนิคการแก้ไขปัญหาย่างสร้างสรรค์. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ธนิดา สุนารักษ์. 2561. การลดของเสียในกระบวนการเชื่อมตัวยึดชุดสปีดจักรยานยนต์. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, 6(1), 6-15.

- น้ำคำ คำนวณวัฒนา. 2558. การหาจุดเหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงย้อนกลับของ รอยขีด โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ประชาสรณ์ แสนภักดี. 2546. การระดมสมอง (Brainstorming). สืบค้น 6 เมษายน 2562, จาก <http://www.prachasan.com/km1/brainstorming.pdf>
- ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา, และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2551. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด.
- ประมูล สุขสกาพ่อง, และพยุ่ง มีสัจ. 2559. การทำเหมืองข้อมูลกฎความสัมพันธ์ด้วยวิธีค่าถ่วงน้ำหนัก สูงสุดจากกราฟปริภูมิแบบสมมาตร. วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ, 12(1), 37-43.
- ปารเมศ ชูติมา. 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.
- ปิยพงษ์ ริดเจียว. 2554. การลดของเสียในกระบวนการผลิตกระจกโครเมียมโดยใช้หลักการออกแบบ การทดลอง. เอกสารการประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม (น.569-574).
- พงษ์ภี ศรีสวัสดิ์. 2560. SPSS / การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis). สืบค้น 7 มิถุนายน 2560, จาก <http://www.academia.edu/10607150/SPSS>
- ภัทรศยา ดันดิวัฒนกุล, และอรรถกร เก่งพล. 2556. การพยากรณ์มูลค่าต้นทุนของเสียในอุตสาหกรรม การผลิตฮาร์ดดิสก์ไครฟ์. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 23(1), 148-156.
- เขาวนาฏ ศรีวิชัย, และรุ่งนัทร ชมภูอินไหว. 2554. การลดข้อบกพร่องบนพื้นงานในกระบวนการ ผลิตลวดตาข่ายโดยใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า. วิศวกรรมสาร มข., 38(4), 373-383.
- เขาวนาฏ ศรีวิชัย. 2554. การลดผลิตภัณที่มีตำหนิในการผลิตลวดตาข่ายโดยใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ระพีพันธ์ โพธิ์ศรี. 2551. สถิติเพื่อการวิจัย. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รังสรรค์ เนียมสนิท. 2534. การวางแผนการทดลอง. ขอนแก่น: ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

- วิวัฒน์ ชินนาทศิริกุล. 2558. การทำเหมืองข้อมูล:ตอนการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วย *Apriori algorithm*. สืบค้น 20 พฤษภาคม 2560, จาก <http://www.wiwatchin.com/page/article/Apriori.pdf>
- วิชัย สุรเชิดเกียรติ. 2543. สถิติสำหรับวิศวกรรมศาสตร์ และวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ: สกายนักส.
- วิเชียร แก้วณะศรี. 2554. การลดจำนวนของเสียในอุตสาหกรรมทอลวดตาข่ายโดยใช้เครื่องมือคุณภาพ และวงจรดีเอ็มเอไอซีของเทคนิคซิกซ์ซิกมา. งานวิจัยการค้นคว้าแบบอิสระวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วิรัช กวินรวีบริรักษ์. 2559. วิธีทำแผนภูมิก้างปลา (*FISH-BONE DIAGRAM*). สืบค้น 18 พฤษภาคม 2560, จาก <http://www.ophconsultant.com/blog/viewtopic.php?id=55>
- วิรัช มัญญารักษ์. 2555. การออกแบบเพื่อป้องกันความผิดพลาดและลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตกรอบรูปโดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีโพลกา-โยเกะ. เอกสารการประชุมวิชาการ ข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 12 (น.247-257). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- วรพจน์ กริสุรเดช. 2557. การค้นหากฎความสัมพันธ์แบบเพิ่มขยายด้วยการประมาณค่าแบบ *Pessimistic*. รายงานการวิจัย. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ศักดิ์สิทธิ์ วัชรรัตน์. 2552. วิชาสถิติเพื่อการวิจัย. เอกสารประกอบการค้นคว้า. วิทยาลัยสารพัดช่าง พิษณุโลก.
- สยามไวร์ เน็ตติ้ง จำกัด. 2554. การทอลวดตาข่าย. สืบค้น 9 เมษายน 2562, จาก http://www.swn.co.th/index.php?lang=th&a_id=23.
- สรชัย พิศาลบุตร. 2554. หลักสถิติ *Principles of Statistics*. กรุงเทพฯ : วิทยพัฒน์ จำกัด.
- สายชล สีนสมบูรณ์ทอง. 2560. การทำเหมืองข้อมูลเล่ม 1 :การค้นคว้าความรู้จากข้อมูล. กรุงเทพฯ: จามจุรีโปรดักท์.
- สายชล สีนสมบูรณ์ทอง. 2551. สถิติวิศวกรรม = *Engineering Statistics* พิมพ์ครั้งที่ 3 . กรุงเทพฯ: จามจุรีโปรดักท์.
- สายชล สีนสมบูรณ์ทอง. 2558. การวางแผนแบบการทดลอง เล่ม 2. กรุงเทพฯ: จามจุรีโปรดักท์.

สุชาดา กิระนันท์. 2545. คำถามคำตอบเกี่ยวกับการทำเหมืองข้อมูลเบื้องต้น. สืบค้น 20 พฤษภาคม 2560, จาก https://home.kku.ac.th/wichuda/Knowledge/6DataMining/Datamining_Suchada.pdf

สุพัฒนพร เกษราพงศ์. 2552. การป้องกันการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือทางด้านคุณภาพ. เอกสารการประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยศรีปทุม (น.19-27). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

สุเมธ สาลี. 2559. *POKA YOKE*–ระบบป้องกันความผิดพลาด. สืบค้น 22 พฤษภาคม 2560, จาก <http://www.mim.psu.ac.th/index.php/2-uncategorised/91-poka-yoke>

สมกิต วงศ์มาก. 2549. การศึกษาอำนาจการทดสอบของการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวภายหลังการแปลงข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก โดยใช้เทคนิคการจำลองแบบมอนติคาร์โลและการใช้ข้อมูลจริง. วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

โสภิตา พัวมมี. 2550. การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่น โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา บริษัทในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

หนึ่งหทัย ชัยอากร. 2559. การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคค่า ไม่นิ่ง. สืบค้น 30 พฤษภาคม 2560, จาก <http://www.erp.mju.ac.th/articleDetail.aspx?qid=551>

อรเพ็ญ ชยาภัม, กฤติยา อังวรากร และเจริญ สุนทราวาณิช. 2555. การปรับปรุงการผลิตของบรรจุอาหารชนิดเคลือบโพลีโพรพิลีน. เอกสารการประชุมวิชาการรายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 12 (น.195-201). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

เสนชูบุ โคโจกานริ. 2540. *Poka-Yoke* เทคนิคป้องกันความผิดพลาด. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

Baharuddin, N.Q.I., Sukarma, L., Mohamad, E., Saptari, A., & Salleh, M.R., 2016. *Minimizing number of defects in Nikel plating process using Factorial design*. Journal of Advanced Manufacturing Technology, 10(1), 95-105.

- Freeman, M.F., & Tukey, J.W., 1950. *Transformations Related the Angular and the Square Root*. The Annual of Mathematical Statistical, 21, 607-611.
- Han, J., & Kamber, M., 2006. *Data Mining: Concepts and Techniques 2nd ed*. San Francisco , Morgan Kaufmann Publishers.
- Hinkle, D. E., Wiersma, W., & Jurs, S. R., 1998. *Applied Statistics for the Behavioral Sciences*, 4th ed. Boston, Houghton Mifflin Company.
- Istrat, V., & Lalic, N., 2017. *Association Rules as a Decision Making Model in the Textile Industry*. Fibres & Textiles in Eastern Europe, 25(4), 8-14.
- Jirasukprasert, P., Garza-Reyes, J.A., Kumar, V., & Lim, M.K., 2014. *A Six Sigma and DMAIC application for the reduction of defects in a rubber gloves manufacturing process*. International Journal of Lean Six Sigma, 5(1), 2-21
- Lasiritaworn, W.S., & Singtorn, N., & Tapeng, P., 2016. *Spare Parts Storage Improvement with Association Rules*. Proceeding of the World Congress on Engineering and Computer Science. San Francisco, 1023-1026.
- Monthomery, D. C., 2001. *Design and Analysis of Experiments*, 5th ed. United States of America, John Wiley & Sons Inc.
- Telas Wire Cloth Co.. 2550. *Fag About Wire Cloth: What are the common wire mesh defects?*. สืบค้น 9 เมษายน 2562, จาก https://www.wirecloth.org/wire_cloth/wire_cloth_faq.html.
- Wongwan, K., & Lasiritaworn, W.S., 2018. *Applicatiion of Association Rules in Woven Wire Mesh Defects Analysis*. Proceeding of 2018 7th International Conference on Industrial Technology and Management, 325-329.
- Yildirim, P., Birant, D., & Alpyildiz, T., 2017. *Discovering the relationships between yarn and fabric properties using association rule mining*. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 25, 4788-4804.



ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved



ภาคผนวก ก

ข้อมูลปริมาณตำหรับบนฝืนงานทอกันปลวก

ช่วงปี พ.ศ.2559 - 2561

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

ตาราง ก.1 ข้อมูลปริมาณตำหนิบนพื้นงานทอกันปลวก ในช่วงปี พ.ศ.2559 -2561

Lot	ปริมาณตำหนิแต่ละชนิด (จุด)																			
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₁₄	S ₁₅	S ₁₆	S ₁₇	S ₁₈	S ₁₉	S ₂₀
1	14	9		1		4		2												1
2	13	2		1		1												1		
3	19	1		1		2				1										
4	5	11	4					5									2			
5	38	16		1		4		5									2			
6		12	15	1				1	1											
7	11	1		1		12										1				
8	6	5		1		2											2			
9	8			1					1	1						1				1
10		1	3	2																
11	8	34		1		2		1							1					
12	1	27		1			1	7					1				4			
13	26	6	20		1	1											1			
14	6	1		1		2	2													
15	33	37	10	5	1	2	12	3									4			
16	3	1		3			1			1		1				1	3			
17	3	6	3	3		1														2
18	8	9	1	3		2							1							3
19	4	18		1				2									1			
20	10	17	16	6		3	42	11									1			
21	3	1		6		2	18													
22	3	1		2		4							1							
23	20	12		3		1		1												
24	2	2		1																
25	4		1	9		1	12			3								1		
26	2	2		4		1	4										3			
27		4		3				1												
28	1		2	2			1										1			
29	2	14		7		1		4												
30		2		1													1			



ภาคผนวก ข

คู่มือปฏิบัติงาน

การตั้งค่าเครื่องจักรก่อนทำการทอ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

บริษัท XXXX	คู่มือปฏิบัติงาน	รหัสเอกสาร: XX-YY
	(Supporting Document)	เริ่มใช้: XX/YY/ZZZZ
	จัดทำโดย : แผนก Weaving 1	แก้ไขครั้งที่ : 0
	หัวข้อ : การตั้งค่าเครื่องจักรก่อนทำการทอ	หน้าที่ : 1/2

1. ชื่อเรื่อง : การตั้งค่าเครื่องจักรก่อนทำการทอ

2. วัตถุประสงค์ :

- 2.1) เพื่อให้พนักงานได้เข้าใจวิธีการตั้งค่าที่ถูกต้องและเหมาะสม
- 2.2) เพื่อให้การทำงานเป็นไปในรูปแบบเดียวกัน

3. ขอบเขต :

- 3.1) คู่มือปฏิบัติงานฉบับนี้ใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงานในแผนก Production Weaving เท่านั้น
- 3.2) ใช้กับผลิตภัณฑ์งานทอทุกประเภท

4. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

- 4.1) Test weaving Record
- 4.2) TXX-09-0 การใช้เกียร์ และ ตารางการใช้เกียร์เบื้องต้นสำหรับ Indirect system
- 4.3) WIXX-03 การจัดเตรียมบาร์ คาซาริและโอสะ
- 4.4) WIXX-15 วิธีการตั้ง Timing หู ของเครื่องทอ Weaving 1

5. ขั้นตอนการดำเนินการ

- 5.1) ตรวจสอบและเช็คความพร้อมของเครื่องจักรก่อนที่จะเริ่มต้นการผลิตทุกครั้ง เพื่อให้มั่นใจว่าการทำงานจะอยู่ภายใต้การควบคุมของค่าที่กำหนดตามมาตรฐาน
- 5.2) เตรียมเครื่องจักรก่อนที่จะนำบีมเข้าสู่เครื่องจักร โดยการติดตั้งโอสะ (Reed) หัวพร (Rapier) และคัทเตอร์สำหรับตัดหางานให้เรียบร้อย บันทึกรายละเอียดการติดตั้งลงในใบ Test Weaving Record
- 5.3) ตั้งค่าความกว้างของผืนงานที่ตัวเครื่องจักรตามสเปคของงานที่กำหนด และตั้งค่าปัจจัย X_8 ที่ 50 เพื่อป้องกันการเกิดตำหนิบนผืนงาน บันทึกค่าลงในใบ Test weaving Record

บริษัท XXXX	คู่มือปฏิบัติงาน	รหัสเอกสาร: XX-YY
	(Supporting Document)	เริ่มใช้: XX/YY/ZZZZ
	จัดทำโดย : แผนก Weaving 1	แก้ไขครั้งที่ : 0
	หัวข้อ : การตั้งค่าเครื่องจักรก่อนทำการทอ	หน้าที่ : 2/2

5.4) นำบีมใส่เข้าในเครื่องจักร และสอยลวดจากจากบีมผ่านบาร์และโอสะ โดยทำการตรวจสอบอย่าให้มีการสอยลวดผิดช่อง, สอยลวดซ้ำ และการสอยลวดข้ามช่อง ให้ทำการสอยช่องละ 1 เส้นเท่านั้น

5.5) ทำการต่อลวดที่ค้างอยู่ในโรลหมุนด้านหน้ากับลวดของงานที่กำลังจะเข้าใหม่ เมื่อต่อเสร็จแล้วจึงทำการหมุนชุดโรลหมุนด้านหน้าให้ลวดที่ต่อกันออกมาจากบีมด้านหลังเครื่องจักร

5.6) หมุนชุดเฟือง Take off ให้ฝืนงานที่ค้างอยู่บนเครื่องจักรมีความตึง และจ็อกหัวศรมารับลวดเวฟและทำการทอฝืนงานประมาณ 1 นิ้ว เพื่อตรวจสอบความเรียบร้อยของการสอยงาน (หากมีการสอยลวดผิดให้ทำการแก้ไขก่อนจะเริ่มขึ้นตอนถัดไป)

5.7) ทำการตั้งค่าเครื่องจักรให้ได้ตามสเปคการทำงานที่กำหนดไว้ โดยดูจากเอกสารรหัส TXX-09-0, WIXX-03 และ WIXX-15 และเริ่มจากการหาค่าความถี่ลวดแนวนอน (Weft Mesh) โดยวัดฝืนงานบนตัวเครื่อง และจดบันทึกค่าลงใน Test weaving Record

5.8) ตั้งค่าปัจจัย X_{10} ที่ 865 สำหรับการทองานกันปลวก ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานที่จะส่งผลทำให้ค่าหนิลดน้อยลงที่สุด ซึ่งปกติค่าปัจจัย X_{10} จะส่งผลต่อความกว้างกับความหนาของฝืนงาน และมีผลต่อการเกิดตำหนิบนฝืนงานอีกด้วย

5.9) หลังจากได้ทำการตั้งค่าเครื่องจักรได้ตรงตามสเปคของงานทอที่กำหนดแล้ว จึงทำการจดบันทึกค่าต่างๆที่ได้ทำการตั้งค่านเครื่องจักรลงใน Test weaving Record

5.10) ตรวจสอบความเรียบร้อยตาม 4 ขั้นตอนในใบตรวจสอบเครื่องจักรก่อนทำการทอ (เพื่อป้องกันตำหนิ S_3) ประกอบกับการตรวจสอบเช็คเซ็นเซอร์, เกียร์, สายพาน ที่อยู่บนเครื่องทอว่าสามารถทำงานได้ดีหรือไม่และทำการบันทึกผล ลงใน Test weaving Record

5.11) ทำการทดลองทอ (Test Weaving) ขนาดความยาว 2.5-3 เมตร และส่งไปตรวจสอบยังแผนก Inspection และเมื่อแผนก Inspection ตรวจสอบให้ผ่านจึงเริ่มดำเนินการทองานม้วนที่ 1

5.12) เมื่อผ่านขั้นตอนการตรวจสอบทั้งหมดแล้วนั้น ให้ตัดฝืนงานต้นม้วนที่ 1 ส่ง QA เพื่อตรวจสอบ Wire Reduction Ratio (WRR; % การยืดของลวดหลังทอ) ก็ถือว่า เสร็จสิ้นกระบวนการตั้งค่าเครื่องจักรและการทดลองทอ



ภาคผนวก ค
แบบฟอร์มบันทึกการเก็บข้อมูล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวอริย์ วิริยพงสานนท์

วัน เดือน ปี เกิด 25 กันยายน พ.ศ. 2536

ประวัติการศึกษา ปีการศึกษา 2554 สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย

โรงเรียนกำแพงเพชรพิทยาคม

ปีการศึกษา 2558 สำเร็จการศึกษาวิทยาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี-

อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (เกียรตินิยมอันดับ 2)

ทุนการศึกษา

ระหว่างปีการศึกษา 2559 ถึง 2560 ได้รับทุนผู้ช่วยสอนและผู้ช่วยวิจัย (TA/RA) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ระหว่างปีการศึกษา 25560 ถึง 2561 ได้รับทุนผู้ช่วยวิจัยระดับปริญญาโทเพื่อ อุตสาหกรรม โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.)

ผลงานตีพิมพ์

Wiriaphongsanon, A., Chompu-inwai, R., “Analysis of Relationships Between Defects and Variables in Wire Mesh Production Using Association Rules and Simple Regression Analysis,” Proceedings of 2018 the 8th International Workshop on Computer Science and Engineering, 28-30 June, 2018, 335-341.

ประสบการณ์วิจัย การผลิตก๊าซสังเคราะห์จากปฏิกิริยารีฟอร์มมิงก๊าซเรือนกระจกโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์พลาสมาชนิดประกายไฟฟ้าร่อนขนาดเล็กร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา

ปีการศึกษา 2558

