การพัฒนาแนวทางสำหรับการควบคุมกระบวนการโดยใช้แผนภูมิควบคุม ในกระบวนการผลิตแผ่นลายวงจรชนิดอ่อน

นางสาวศิรินทรา ทันอินทรอาจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

GUIDELINE DEVELOPMENT FOR PROCESS CONTROL BY CONTROL CHARTS IN FLEXIBLE PRINTED CIRCUITS MANUFACTURING PROCESSES

Miss Sirintra Tan-intara-art

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาแนวทางสำหรับการควบคุมกระบวนการโดยใช้แผนภูมิควบคุมในกระบวนการผลิตแผ่นลายวงจรชนิดอ่อน
โดย	นางสาวศิรินทรา ทันอินทรอาจ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

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

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริจิรวนิช)

ศิรินทรา ทันอินทรอาจ : การพัฒนาแนวทางสำหรับการควบคุมกระบวนการโดยใช้แผนภูมิควบคุมในกระบวนการผลิตแผ่นลายวงจรชนิดอ่อน. (GUIDELINE DEVELOPMENT FOR PROCESS CONTROL BY CONTROL CHARTS IN FLEXIBLE PRINTED CIRCUITS MANUFACTURING PROCESSES)
อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร.นภัสสวงศ์ โจนโรวรรณ, 136 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแนวทางสำหรับการควบคุมกระบวนการโดยใช้แผนภูมิควบคุมในกระบวนการผลิตแผ่นลายวงจรชนิดอ่อน ซึ่งปัญหาสำคัญในการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมคือ ควรออกแบบการใช้แผนภูมิควบคุมอย่างไร เพื่อก่อให้เกิดความคุ้มค่าและเกิดประโยชน์ต่อองค์กร

ขั้นตอนของงานวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก คือ 1) การเลือกและจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ โดยการพิจารณาความวิกฤติเชิงเทคนิค และความวิกฤติเชิงต้นทุน 2) การจัดลำดับความสำคัญของกระบวนการจากการพิจารณาความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์โดยการประยุกต์ใช้แผนผังเมทริกซ์ 3) การเลือกประเภทแผนภูมิควบคุม การกำหนดความถี่ในการสุ่มและขนาดในการสุ่มตัวอย่าง 4) การประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุมด้วยการเปรียบเทียบผลประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้แผนภูมิควบคุมกับค่าใช้จ่ายในการใช้แผนภูมิควบคุม โดยพิจารณาจากอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน และ 5) การกำหนดหลักเกณฑ์ในการทบทวนแผนภูมิควบคุม

งานวิจัยนี้ได้นำแนวทางที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในโรงงานกรณีศึกษา พบว่าสามารถเลือกพารามิเตอร์ที่ควรทำการควบคุม 7 ประเภท จากพารามิเตอร์ทั้งหมด 51 ประเภท และได้ดำเนินการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างในส่วนที่เป็นข้อมูลเชิงผันแปรและข้อมูลเชิงลักษณะ โดยการวิเคราะห์อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10.75 และ 3.55 ตามลำดับ แสดงให้เห็นได้ว่ามีความคุ้มค่าต่อการใช้งานแผนภูมิควบคุม

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....
ปีการศึกษา 2555

5271451621 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : CONTROL CHARTS / STATISTICAL PROCESS CONTROL / PARAMETER PRIORITIZATION / COST OF QUALITY / TECHNICAL CRITICALITY

SIRINTRA TAN-INTARA-ART : GUIDELINE DEVELOPMENT FOR PROCESS CONTROL BY CONTROL CHARTS IN FLEXIBLE PRINTED CIRCUITS MANUFACTURING PROCESSES. ADVISOR : ASST. PROF. NAPASSAVONG ROJANAROWAN, PhD., 136 pp.

The objective of this research is to develop the guideline for controlling processes with the control charts in flexible printed circuit manufacturing. An important problem in control chart implementation is the design of control chart to yield the best value and benefits to the organization.

There are five steps proposed in the guideline. First, the parameters to control were selected and prioritized based on the technical and the cost criticality. Second, the processes to control were prioritized based on the relationship with process parameters using the matrix diagram. Third, the type of control charts, the sampling frequency and the sample size were determined. Fourth, the benefit to cost ratio of the control chart implementation was calculated to present the value of the control chart implementation. Fifth, the criteria for control limits revision were identified.

This research used the developed guideline in the case study factory and found that 7 out of 51 parameters should be monitored with control charts. The benefit to cost ratio of the variable control chart and the attribute control chart implementation were 10.75 and 3.55, respectively. Thus, it was worth for the organization to implement the control charts.

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

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

Academic Year : 2012 .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณต่อผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เนื่องด้วยความช่วยเหลือและการเสียสละเวลาในการให้คำชี้แนะและข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ และขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย และรองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริจิรวนิช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ พร้อมทั้งตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณโรงงานกรณีศึกษาที่ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณสมาชิกทุกท่านที่ได้ให้ข้อมูลและเข้าร่วมการระดมความคิดเห็นในการทำการวิจัย ตลอดจนพนักงาน ที่ให้ความร่วมมือในการทำงานเป็นอย่างดี

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้อง เพื่อนนิสิต และท่านที่มิได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจแก่ผู้ทำวิจัยเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของบริษัทกรณีศึกษา 1

1.1.1 ผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา 1

1.1.2 วัตถุดิบในการผลิตแผ่นลายวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อน 2

1.1.3 กระบวนการผลิตแผ่นลายวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อน 3

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 7

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 11

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย 11

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 11

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 11

1.7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 12

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 13

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 13

2.1.1 การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ 13

2.1.2 แผนภูมิควบคุม 14

2.1.3 ประเภทของแผนภูมิควบคุม 15

หน้า

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 23
2.2.1 งานวิจัยที่กล่าวถึงอุปสรรคและปัจจัยสำคัญของการดำเนินงานโดยใช้เทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติในองค์กร 23
2.2.2 งานวิจัยที่กล่าวถึงกรอบการดำเนินงานของการประยุกต์ใช้การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติและแผนภูมิควบคุม 24

บทที่ 3 การพัฒนาแนวทางสำหรับการเลือกพารามิเตอร์และกระบวนการเพื่อประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม 29
3.1 การเลือกและจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์และกระบวนการในการใช้แผนภูมิควบคุม 31
3.1.1 การจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้ายโดยการพิจารณาความวิกฤติเชิงเทคนิคและความวิกฤติเชิงต้นทุน 33
3.1.2 การจัดลำดับความสำคัญของกระบวนการจากการพิจารณาความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย 47
3.1.3 การพิจารณากระบวนการเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์แต่ละประเภท 59

บทที่ 4 การพัฒนาแนวทางในการเลือกประเภทของแผนภูมิควบคุม ความถี่ในการสุ่มตัวอย่างและขนาดตัวอย่าง 84
4.1 การพัฒนาแนวทางในการเลือกประเภทของแผนภูมิควบคุม ความถี่ในการสุ่มตัวอย่างและขนาดตัวอย่าง 84
4.1.1 การพัฒนาแนวทางในการเลือกประเภทของแผนภูมิควบคุม ความถี่ในการสุ่มตัวอย่างและขนาดตัวอย่างของข้อมูลเชิงลักษณะ (Attribute data) 86
4.1.2 การพัฒนาแนวทางในการเลือกประเภทของแผนภูมิควบคุม ความถี่ในการสุ่มตัวอย่างและขนาดตัวอย่างของข้อมูลชนิดแปรผัน (Variable data) 95

บทที่ 5 การพัฒนาแนวทางในประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุมและเกณฑ์การทบทวนแผนภูมิควบคุม 105

หน้า

5.1 การพัฒนาแนวทางในประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุม 105
5.1.1 การประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุมของพารามิเตอร์ที่เป็นข้อมูลเชิงแปรผัน (Variable data) 107
5.1.2 การประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุมของพารามิเตอร์ที่เป็นข้อมูลเชิงลักษณะ (Attribute data) 118
5.2 เกณฑ์การทบทวนแผนภูมิควบคุม 126

บทที่ 6 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ 128
6.1 สรุปผลงานวิจัย 128
6.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย 131
6.3 ข้อเสนอแนะ 132

รายการอ้างอิง 134
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 136

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สูตรการคำนวณแผนภูมิควบคุมประเภทข้อมูลเชิงลักษณะ สำหรับการผลิตในระยะสั้น 22
ตารางที่ 3.1 ระดับความวิกฤติเชิงเทคนิคของข้อบกพร่องแต่ละประเภท 34
ตารางที่ 3.2 มูลค่าความสูญเสียเฉลี่ยจากข้อบกพร่องแต่ละประเภทต่อเดือน 37
ตารางที่ 3.3 การจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ตามความวิกฤติเชิงเทคนิคที่อยู่ในระดับ Critical และความวิกฤติเชิงต้นทุน 43
ตารางที่ 3.4 การจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ตามความวิกฤติเชิงเทคนิคที่อยู่ในระดับ Major และความวิกฤติเชิงต้นทุน 44
ตารางที่ 3.5 การจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ตามความวิกฤติเชิงเทคนิคที่อยู่ในระดับ Minor และความวิกฤติเชิงต้นทุน 45
ตารางที่ 3.6 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์แต่ละประเภท 67
ตารางที่ 3.7 ผลการคำนวณขนาดจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐาน 77
ตารางที่ 3.8 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากระบบท่อ 79
ตารางที่ 3.9 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากระบบท่อ 79
ตารางที่ 3.10 เครื่องมือและเทคนิคทางคุณภาพที่ใช้โดยทั่วไป 82
ตารางที่ 4.1 ค่าขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม CCC-1, CCC-2, CCC-3 87
ตารางที่ 4.2 ค่าขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม CCC-4, CCC-5, CCC-6 88
ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณขนาดสิ่งตัวอย่างและ Power of Test 93
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแตกต่างของสัดส่วนของเสียประเภท FPP2 ของผลิตภัณฑ์ B และ C 93
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนของเสียแต่ละประเภท 94
ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณขนาดจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐาน 100
ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของค่าความหนาของการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ H และ I 102

หน้า

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของค่าความหนา ของการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ H และ I 103
ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงต้นทุนของวัตถุดิบและต้นทุนการตรวจสอบคุณภาพ 117
ตารางที่ 5.2 ขอบเขตควบคุมของ CCC-r เมื่อ r เท่ากับ 1,2 และ 3 โดยที่ p=0.0072 119
ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงต้นทุนจากของเสียและต้นทุนการตรวจสอบคุณภาพ 124
ตารางที่ 5.4 ตารางแสดงต้นทุนรวมก่อนและหลังประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมกับ ข้อมูลเชิงผันแปรและเชิงลักษณะ 125

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีเส้นลายวงจรด้านเดียว 1
ภาพที่ 1.2 ส่วนประกอบ CCL 2
ภาพที่ 1.3 ส่วนประกอบ CL 2
ภาพที่ 1.4 การใช้งานของ Adhesive และ Stiffener กับ FPC 3
ภาพที่ 1.5 กระบวนการผลิต 3
ภาพที่ 1.6 กระบวนการติดฟิล์มไวแสง 4
ภาพที่ 1.7 กระบวนการถ่ายแบบเส้นลายวงจร 4
ภาพที่ 1.8 กระบวนการล้างฟิล์มไวแสง 5
ภาพที่ 1.9 หน่วยกระบวนการผลิต 7
ภาพที่ 1.10 กระบวนการผลิตต่อเนื่องหลายขั้นตอน 8
ภาพที่ 1.11 สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างเดือนมิถุนายน 2553 ถึง ตุลาคม 2553 8
ภาพที่ 1.12 สัดส่วนของเสียเฉลี่ยแต่ละประเภท ที่เกิดขึ้นระหว่างเดือน มิถุนายน 2553 ถึง ตุลาคม 2553 9
ภาพที่ 3.1 สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างเดือนมกราคม 2554 ถึง สิงหาคม 2554 30
ภาพที่ 3.2 แสดงตัวอย่างการพิจารณาตามต้นทุนรวมเป็นหลัก 39
ภาพที่ 3.3 การจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย โดยใช้ความวิกฤติเชิงเทคนิคและความวิกฤติเชิงต้นทุน 41
ภาพที่ 3.4 กราฟแสดงต้นทุนรวมของข้อบกพร่องแต่ละประเภท 41
ภาพที่ 3.5 กราฟแสดงต้นทุนรวมของข้อบกพร่องทุกประเภทของระดับ Critical, Major และ Minor 42
ภาพที่ 3.6 จัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ตามความวิกฤติเชิงเทคนิคที่อยู่ ในระดับ Critical และความวิกฤติเชิงต้นทุน 43
ภาพที่ 3.7 จัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ตามความวิกฤติเชิงเทคนิคที่อยู่ ในระดับ Major และความวิกฤติเชิงต้นทุน 45
ภาพที่ 3.8 จัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ตามความวิกฤติเชิงเทคนิคที่อยู่ใน ระดับ Minor และความวิกฤติเชิงต้นทุน 46

หน้า

ภาพที่ 3.9 ตัวอย่างแผนผังเมทริกซ์สำหรับการพิจารณาความสัมพันธ์ของกระบวนการกับพารามิเตอร์ในขั้นสุดท้าย 49
ภาพที่ 3.10 แผนผังเมทริกซ์สำหรับการพิจารณาความสัมพันธ์ของกระบวนการกับพารามิเตอร์ในขั้นสุดท้าย 51
ภาพที่ 3.11 กราฟแสดงค่าคะแนนรวมของกระบวนการกับ FPP 57
ภาพที่ 3.12 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ FPP1ในกระบวนการเคลือบผิวหน้าทองแดงด้วยทอง 62
ภาพที่ 3.13 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ FPP2 ในกระบวนการเจาะรู 63
ภาพที่ 3.14 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ FPP2 ในกระบวนการอบด้วยความร้อนอัดด้วยแรงดัน 63
ภาพที่ 3.15 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ FPP4 ในกระบวนการอบด้วยความร้อนอัดด้วยแรงดัน 63
ภาพที่ 3.16 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ FPP2 ในกระบวนการตัดชิ้นงาน 64
ภาพที่ 3.17 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ FPP3,FPP5 และ FPP6 ในกระบวนการติดฟิล์มไวแสง 64
ภาพที่ 3.18 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ FPP4 ในกระบวนการกัดเส้นลายวงจร 65
ภาพที่ 3.19 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ FPP7 ในกระบวนการกัดเส้นลายวงจร 65
ภาพที่ 3.20 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ FPP7 ในกระบวนการถ่ายแบบเส้นลายวงจร 66
ภาพที่ 3.21 ตำแหน่งชิ้นงานที่ทำการวัด 72
ภาพที่ 3.22 แสดงลักษณะชิ้นงานในบ่อชุบเพื่อเคลือบผิวส่วนเปิดทองแดง 72
ภาพที่ 3.23 กราฟแสดงค่าการกระจายของค่าความหนาของการเคลือบผิวของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง 73
ภาพที่ 3.24 แผนภูมิแปรผันเชิงซ้อนตามตำแหน่งของชิ้นงาน 74

หน้า

ภาพที่ 3.25 ระบบการฉีดแบบเดิม 76
ภาพที่ 3.26 ระบบการฉีดแบบใหม่ 76
ภาพที่ 3.27 กราฟแสดงการกระจายของค่าความหนาของการเคลือบผิวทองแดงด้วยทองจากระบบท่อแบบเดิม (Before improve) 78
ภาพที่ 3.28 กราฟแสดงการกระจายของค่าความหนาของการเคลือบผิวทองแดงด้วยทองจากระบบท่อแบบใหม่ (After improve) 78
ภาพที่ 3.29 กราฟเปรียบเทียบค่าความหนาของการเคลือบผิวทองแดงด้วยทองก่อนและหลังปรับปรุง 80
ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงการกระจายตัวของข้อมูลสัดส่วนของเสียประเภท FPP2 85
ภาพที่ 4.2 กราฟทดสอบการกระจายตัวแบบปกติของข้อมูลสัดส่วนของเสียประเภท FPP2 85
ภาพที่ 4.3 แผนภูมิการไหลของการใช้แผนภูมิควบคุม CCC-r 90
ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงการกระจายตัวของค่าความหนาของการเคลือบผิวของผลิตภัณฑ์ D 95
ภาพที่ 4.5 กราฟทดสอบการกระจายตัวแบบปกติของค่าความหนาของการเคลือบผิวของผลิตภัณฑ์ H 101
ภาพที่ 4.6 กราฟทดสอบการกระจายตัวแบบปกติของค่าความหนาของการเคลือบผิวของผลิตภัณฑ์ I 102
ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของค่าความหนาของการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ H และ I 103
ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของค่าความหนาของการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ H และ I 104
ภาพที่ 5.1 ขนาดความกว้างของแผนภูมิควบคุมโดยทั่วไป 105
ภาพที่ 5.2 แผนภูมิควบคุม I-MR ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง 106
ภาพที่ 5.3 ค่าวัดที่เกิดขึ้นระหว่างค่าขอบเขตควบคุมบนและค่ากำหนดมาตรฐานด้านบน 107
ภาพที่ 5.4 รอบเวลาที่ยังไม่มีการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม 108
ภาพที่ 5.5 รอบเวลาที่มีการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม 108

หน้า

ภาพที่ 5.6 กราฟเปรียบเทียบต้นทุนคุณภาพของข้อมูลเชิงผันแปร 118
ภาพที่ 5.7 แผนภูมิควบคุม CCC-3 120
ภาพที่ 5.8 กราฟเปรียบเทียบต้นทุนคุณภาพของข้อมูลเชิงลักษณะ 124
ภาพที่ 5.9 กราฟเปรียบเทียบต้นทุนรวมก่อนและหลังประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม 125

บทที่ 1
บทนำ

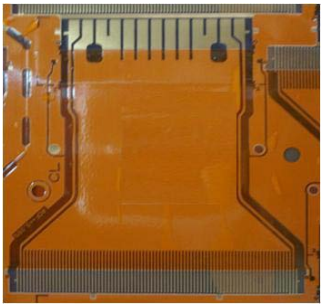
FPC (Flexible Printed Circuits) คือแผ่นลายวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อน มีข้อดีในการใช้งานคือ มีขนาดบาง มีน้ำหนักเบา มีความทนทานและยืดหยุ่นสูง และยังเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น กล้องถ่ายรูป โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ อีกมากมาย

ในกระบวนการผลิตแผ่นลายวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อนมีกระบวนการผลิตหลายขั้นตอน ขึ้นอยู่กับประเภทหรือชนิดของแผ่นลายวงจรนั้น ๆ ในปัจจุบันมีการแข่งขันทางธุรกิจกันสูงมาก ดังนั้น การผลิตสินค้าให้มีคุณภาพ และมีของเสียน้อยที่สุดจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อเป็นการลดต้นทุนของการผลิตลง การควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตจึงเป็นสิ่งสำคัญ การนำแผนภูมิควบคุมมาใช้ในการดูแนวโน้มของกระบวนการและเฝ้าติดตามปัญหาที่อาจเกิดขึ้น จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาให้มีการใช้อย่างเหมาะสมและคุ้มค่า

1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของบริษัทกรณีศึกษา

1.1.1 ผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผลิตแผ่นลายวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อน โดยจะแบ่งชนิดของแผ่นลายวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อนตามชั้น (Layer) ของทองแดงหรือชั้นของเส้นลายวงจร (Circuit) โดยมี 3 ประเภท ดังนี้คือ 1.Single Side มีเส้นลายวงจรอยู่เพียงด้านเดียว ซึ่งรูปร่างลักษณะจะแตกต่างกันออกไปตามการออกแบบเพื่อการใช้งาน 2. Double Side มีเส้นลายวงจรอยู่สองด้านทั้งด้านบนและด้านล่างและ 3.Multi Layer มีเส้นลายวงจรอยู่ตั้งแต่สามชั้นขึ้นไป



ภาพที่ 1.1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีเส้นลายวงจรด้านเดียว

และมีผลิตภัณฑ์หลักแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. Flexible Printed Circuits (แผ่นลายวงจรชนิดอ่อน)

2. Surface Mounting Technology (แผ่นลายวงจรที่มีการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์)

1.1.2 วัตถุดิบในการผลิตแผ่นลายวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อน

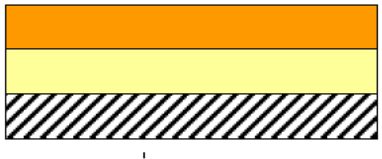
วัตถุดิบ (MATERIAL) ในการผลิตแผ่นลายวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อนนั้น มีการใช้วัตถุดิบหลายชนิด ซึ่งในงานวิจัยนี้จะยกตัวอย่างวัตถุดิบที่จำเป็นในการผลิตแผ่นลายวงจรชนิดอ่อนที่มีเส้นลายวงจรอยู่เพียงด้านเดียว เนื่องจากปัจจุบัน บริษัทกรณีศึกษาผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทนี้เป็นหลัก โดยวัตถุดิบแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1. วัตถุดิบที่ผลิตเป็นแผ่นลายวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อน ซึ่งหมายถึง วัตถุดิบที่เป็นโครงสร้างหลัก โดยจะยกตัวอย่างวัตถุดิบบางส่วนที่เป็นส่วนประกอบหลัก ประกอบด้วย

- Copper Clad Laminates หรือแผ่นทองแดง เป็นวัตถุดิบพื้นฐานที่สำคัญในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ซึ่งจะใช้สร้างเป็นเส้นลายวงจรประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ชั้นทองแดง (Copper Foil) เชื่อมติดกับเบสฟิล์ม (Base Film) ด้วยกาว (Adhesive) ดังภาพ

ภาพที่ 1.2 ส่วนประกอบ CCL

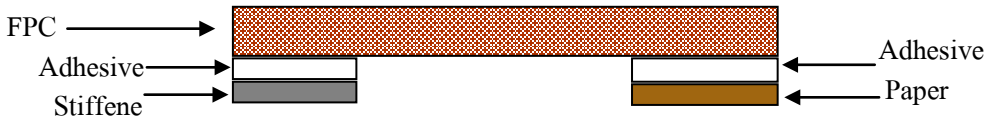
- Cover Lay โดยทั่วไปจะเรียกว่า โคเวอร์เลย์ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ใช้เคลือบเส้นลายวงจรหลังจากผ่านกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรเรียบร้อยแล้ว เพื่อป้องกันการเกิดสนิม (Rust) และป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเส้นลายวงจร และด้วยคุณสมบัติที่มีความทนทานและยืดหยุ่นสูง ก็จะทำให้ชิ้นงานมีความทนทานและยืดหยุ่นสูงด้วย ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ ชั้นของฟิล์ม (Film) หรือเรียกกันโดยทั่วไปว่า โคเวอร์เลย์ เชื่อมติดกับชั้นของกระดาษ (paper) ด้วยกาว (Adhesive) ดังภาพ



ภาพที่ 1.3 ส่วนประกอบ CL

2. วัตถุดิบที่ประกอบเข้ากับแผ่นลายวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อน ซึ่งหมายถึง วัตถุดิบที่ติดไปกับ

ตัวผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงหรือต้องการที่จะให้มีกาวเพื่อนำไปติดเข้ากับอุปกรณ์อื่นๆ ตลอดจนพิมพ์สัญลักษณ์ต่างๆ เช่น กาวที่ใช้เพื่อติดอุปกรณ์กับ FPC , STIFFENER เป็นวัตถุดิบที่ประกอบเข้ากับ FPC เพื่อที่จะเพิ่มความแข็งแรงให้กับ FPC , SYMBOL INK เป็นวัตถุดิบที่ประกอบเข้ากับ FPC เพื่อใช้พิมพ์สัญลักษณ์หรืออักษรแสดง รหัส วัน เดือน ปี ที่ผลิต หรือแสดงรหัสที่ลูกค้ากำหนด

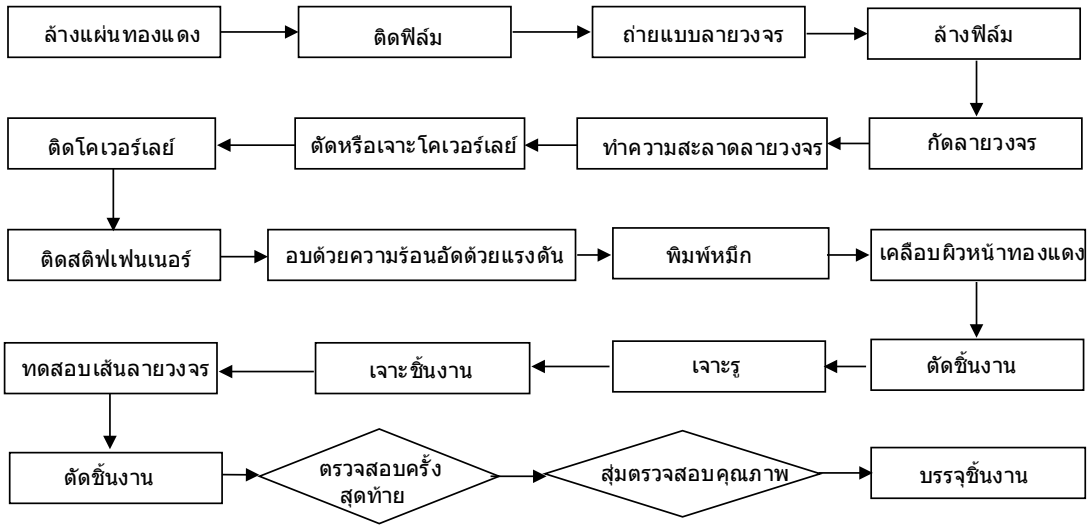


ภาพที่ 1.4 การใช้งานของ Adhesive และ Stiffener กับ FPC

3. วัตถุดิบที่ช่วยในการผลิตแผ่นลายวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อน ซึ่งหมายถึง วัตถุดิบที่ช่วยในการผลิตในแต่ละขั้นตอนการผลิต แต่วัตถุดิบนั้นจะไม่ติดไปกับตัวผลิตภัณฑ์ เมื่อทำการผลิตเรียบร้อยแล้ว

1.1.3 กระบวนการผลิตแผ่นลายวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อน

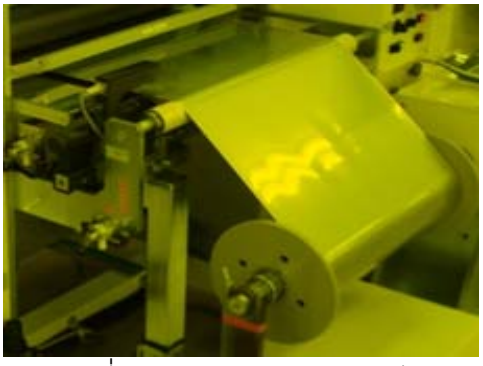
กระบวนการผลิต (Manufacturing Process) ในกระบวนการผลิตแผ่นลายวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อนนั้นจะมีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยในงานวิจัยนี้จะยกตัวอย่างขั้นตอนการผลิตแผ่นลายวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อนประเภท Single Side หรือที่มีเส้นลายวงจรอยู่เพียงด้านเดียวโดยเป็นผลิตภัณฑ์หลักกลุ่มที่ 1 ซึ่งกระบวนการผลิตโดยทั่วไปมีขั้นตอนดังนี้



ภาพที่ 1.5 กระบวนการผลิต

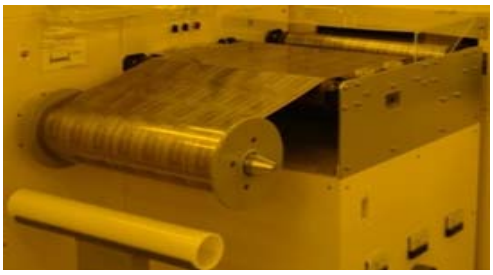
1. กระบวนการล้างทำความสะอาดผิวหน้าทองแดง (Material Scrubbing) ก่อนขึ้นรูปเส้นลายวงจรด้วยสารละลายเคมี เพื่อเป็นการกำจัดคราบสกปรกต่าง ๆ ที่มีอยู่บนผิวทองแดง

2. กระบวนการติดฟิล์มไวแสง (Dry film ,Photosensitive film laminate) คือการติดฟิล์มไวแสงลงบนแผ่นทองแดง (CCL : Copper Clad Layer) โดยการใช้ อุณหภูมิ และความร้อน ซึ่งฟิล์มไวแสงต้องเก็บไว้ในที่อุณหภูมิต่ำ และควบคุมด้วยไฟสีเหลือง เนื่องจากตัวฟิล์มไวแสงจะทำปฏิกิริยากับแสงอุลตราไวโอเลต และส่งผลให้ฟิล์มไวแสงแข็งตัวและเปลี่ยนสี (Polymerization) และไม่สามารถใช้งานได้



ภาพที่ 1.6 กระบวนการติดฟิล์มไวแสง

3. กระบวนการถ่ายแบบเส้นลายวงจรลงบนแผ่นทองแดง (Exposure) คือการใช้แสงอุลตราไวโอเลตส่องผ่านฟิล์มแม่แบบ (Master Film) ซึ่งเป็นฟิล์มขาวดำ ลงบนแผ่นทองแดงที่ผ่านกระบวนการติดฟิล์มไวแสงมาแล้วโดยฟิล์มไวแสงส่วนที่โดนแสงอุลตราไวโอเลตจะเกิดการแข็งตัว (Polymerization) และส่วนที่ไม่โดนแสงจะไม่แข็งตัว (Unpolymerization)



ภาพที่ 1.7 กระบวนการถ่ายแบบเส้นลายวงจร

4. กระบวนการล้างฟิล์มไวแสง (Dry film ,Photosensitive film) ส่วนที่ไม่โดนแสงอุลตราไวโอเลตออก (Development) ด้วยสารละลายที่มีสถานะเป็นด่าง

ภาพที่ 1.8 กระบวนการล้างฟิล์มไวแสง

5. กระบวนการกัดเส้นลายวงจร (Etching) คือการใช้สารละลายที่มีสถานะเป็นกรด กัดทองแดงส่วนที่ไม่มีฟิล์มไวแสงปกคลุมออก และเมื่อกัดทองแดงออกแล้วฟิล์มไวแสงที่ปกคลุมทองแดงส่วนที่เป็นเส้นลายวงจร ก็จะถูกล้างออกในกระบวนการนี้

6. กระบวนการทำความสะอาดเส้นลายวงจร (Circuit Scrubbing) กระบวนการนี้จะนำเส้นลายวงจรที่สร้างเสร็จแล้วมาทำความสะอาด เพื่อล้างสารเคมีที่ตกค้างบนผิวลายวงจรให้สะอาดก่อนที่จะนำไปเคลือบผิวลายวงจรในขั้นตอนต่อไป

7. กระบวนการตัดโคเวอร์เลย์ (Cover Lay Cutting) กระบวนการนี้จะใช้เครื่องจักรตัดโคเวอร์เลย์ จากสภาพม้วน (Roll) ให้เป็นแผ่น (Sheet) เพื่อให้ง่ายต่อการทำงานในกระบวนการต่อไป

8. กระบวนการติดโคเวอร์เลย์ (Cover Lay Laminate) กระบวนการนี้จะเคลือบผิวลายวงจรด้วยโคเวอร์เลย์ซึ่งถูกตัดตามแบบที่กำหนดไว้ จุดประสงค์ในการติดเพื่อป้องกันสนิม

9. กระบวนการติดสติฟเฟนเนอร์ลงบนแผ่นลายวงจร (Stiffener Lamination) กระบวนการนี้จะติดสติฟเฟนเนอร์ลงบนแผ่นลายวงจร ปกติแล้วมักติดบริเวณที่จะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ของลูกค้า (Connector Finger) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงในส่วนนั้นๆ

10. กระบวนการอบด้วยความร้อนอัดด้วยแรงดัน (Curing) กระบวนการนี้จะใช้ความร้อนสูงเพื่อละลายกาวของโคเวอร์เลย์ให้ติดกับทองแดงอย่างถาวร เพื่อป้องกันความชื้นจากอากาศไม่ให้เข้าไปทำปฏิกิริยาได้ ทำให้เส้นลายวงจรไม่เกิดสนิม

11. กระบวนการพิมพ์หมึก (Printing) กระบวนการนี้จะทำการพิมพ์หมึกลงบนผิวทองแดงที่ออกแบบไว้ โดยที่หมึกแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป

12. กระบวนการเคลือบผิวหน้าทองแดงด้วยทอง (Gold plating , Au plating) กระบวนการนี้จะเคลือบผิวหน้าทองแดงด้วยทองโดยให้กระแสไฟฟ้าลงบนผลิตภัณฑ์ การนำไปใช้งานเหมาะที่จะใช้ต่อเข้ากับงานอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการตัวนำกระแสไฟฟ้าที่ดี

13. กระบวนการตัดชิ้นงานตามเครื่องหมายที่กำหนด (Cutting) กระบวนการนี้นำชิ้นงานที่เป็นแผ่น (Sheet) มาตัดตามเส้นประ ขึ้นอยู่กับลักษณะของการออกแบบ

14. กระบวนการเจาะรู (Pilot Hole Punching) กระบวนการนี้จะทำการเจาะรูชิ้นงานตามเครื่องหมายที่กำหนด เพื่อนำไปเป็นตำแหน่งยึดชิ้นงานกับเครื่องมือที่ใช้สำหรับตรวจสอบเส้นลายวงจรขณะทดสอบและใช้เป็นตำแหน่งยึดชิ้นงานไม่ให้คลาดเคลื่อนจากตำแหน่งสำหรับเจาะและการตัดชิ้นงาน ดังนั้นกระบวนการผลิตนี้ต้องเน้นความแม่นยำเป็นพิเศษ

15. กระบวนการเจาะพื้นที่บางส่วนที่ไม่ต้องการออก (Piercing) กระบวนการผลิตนี้จะใช้แม่แบบ (Die) ที่ประกอบอยู่ในเครื่องจักร เจาะและตัดพื้นที่ส่วนที่ไม่ต้องการออก ซึ่งจะทำให้ชิ้นงานตัดได้ง่ายยิ่งขึ้นในกระบวนการตัดชิ้นงาน (Blanking)

16. กระบวนการตรวจสอบเส้นลายวงจรขาดจากกัน หรือ เส้นลายวงจรเชื่อมต่อกัน (Electrical Test) กระบวนการผลิตนี้ใช้เครื่องมือเพื่อตรวจสอบเส้นลายวงจรว่ามีเส้นลายวงจรขาดจากกันหรือเชื่อมต่อกันหรือไม่ เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้มีของเสียส่งไปยังลูกค้า

17. กระบวนการตัดชิ้นงาน (Blanking) กระบวนการผลิตนี้จะใช้แม่แบบ (Die) ที่ประกอบอยู่ในเครื่องจักรตัดชิ้นงานจากรูปแบบแผ่น (Sheet) เป็นชิ้นงาน (Piece)

18. กระบวนการตรวจสอบครั้งสุดท้าย (Final Inspection) กระบวนการนี้จะตรวจสอบชิ้นงานโดยเปรียบเทียบกับมาตรฐาน (Specification) กรณีพบชิ้นงานที่มีความบกพร่อง (Defect) ก็แยกออกมาเพื่อทำการตัดสินใจว่าซ่อมหรือทิ้ง อ้างอิงตามมาตรฐานการตรวจสอบ

19. กระบวนการสุ่มตรวจสอบคุณภาพ (Sampling) กระบวนการนี้แผนกประกันคุณภาพจะทำการสุ่มชิ้นงานเพื่อนำมาตรวจสอบคุณภาพโดยเกณฑ์การยอมรับขึ้นอยู่กับมาตรฐานการตรวจสอบที่ใช้

20. กระบวนการบรรจุชิ้นงาน (Packing) หลังจากตรวจสอบมาตรฐานของชิ้นงานผ่านแล้ว จะนำชิ้นงานมาบรรจุตามมาตรฐานที่กำหนด (Packing Standard) และจะถูกจัดเก็บไว้ในคลังสินค้า (Warehouse) เพื่อเตรียมส่งมอบให้กับลูกค้าต่อไป

ส่วนผลิตภัณฑ์หลักกลุ่มที่ 2 คือแผ่นลายวงจรที่มีการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Surface Mounting Technology) ซึ่งจะเรียกเป็นผลิตภัณฑ์ประเภท SMT โดยมีขั้นตอนการผลิตหลักแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนย่อยและจะทำงานแบบต่อเนื่องกัน ดังนี้คือ

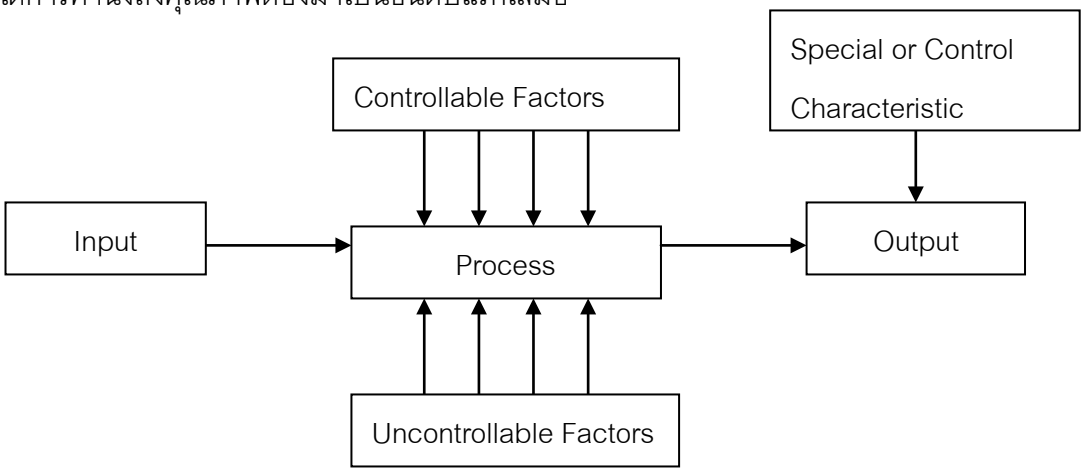
1. การพิมพ์ตะกั่ว (Printing) กระบวนการนี้จะทำการพิมพ์หรือปาดตะกั่วบนพื้นที่ที่กำหนดเพื่อใช้เป็นพื้นที่ในการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

2. การวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ (Mounting) กระบวนการนี้จะวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนพื้นผิวที่เป็นตะกั่ว

3. การอบผลิตภัณฑ์ด้วยความร้อน (Reflow) เป็นกระบวนการอบด้วยความร้อนเพื่อให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่วางอยู่บนตะกั่วเกิดการยึดติดกันอย่างถาวร

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

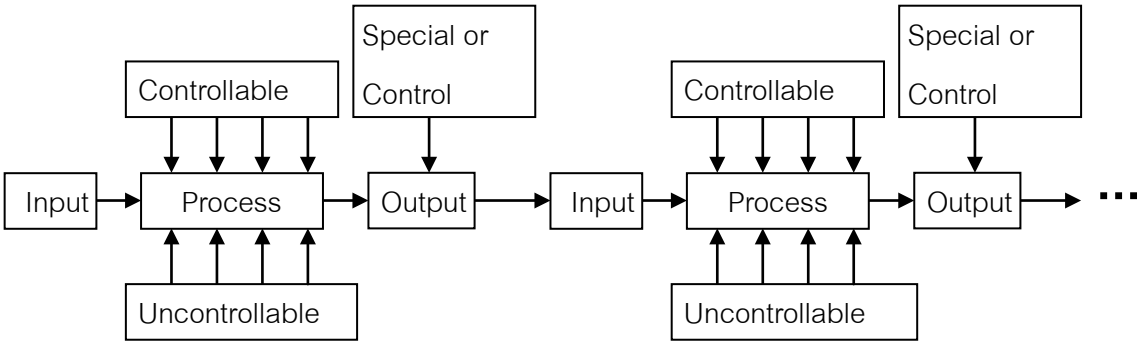
ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นลายวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อนมีการแข่งสูง ทั้งด้านราคา และคุณภาพ การผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า และการขยายตลาดให้กว้างขึ้น ซึ่งบริษัทกรณีศึกษามีการผลิตสินค้าเพื่อนำไปใช้ทั้งในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และมีการผลิตสินค้าสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมประเภทยานยนต์ ซึ่งการผลิตสินค้าไม่ว่าจะผลิตเพื่ออุตสาหกรรมใดการคำนึงถึงคุณภาพต้องมาเป็นอันดับแรกเสมอ



ภาพที่ 1.9 หน่วยกระบวนการผลิต

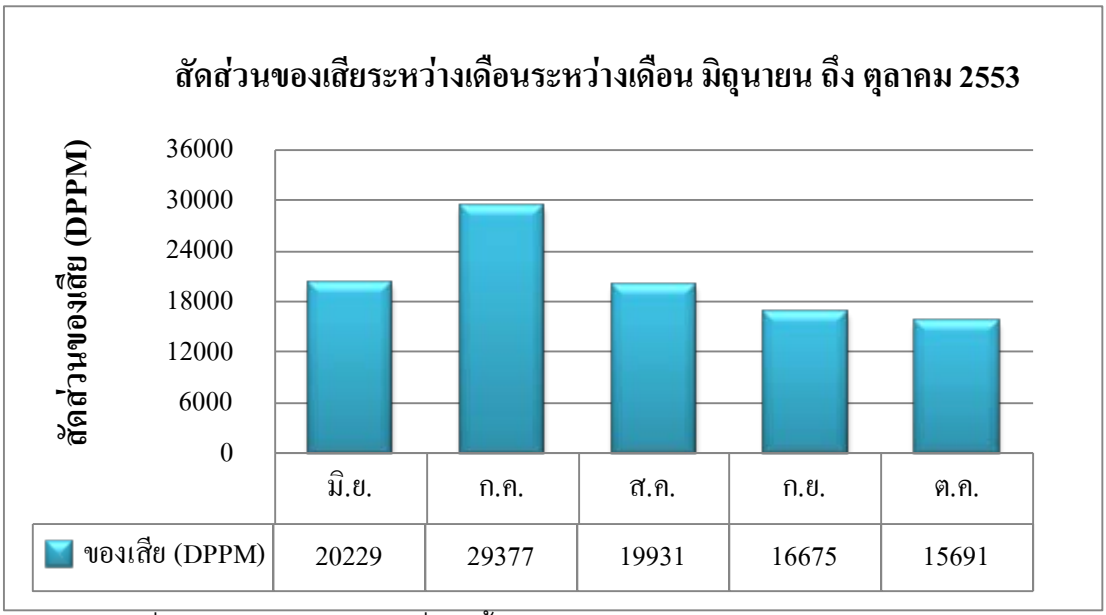
ในกระบวนการผลิตโดยทั่วไปก็จะประกอบไปด้วยปัจจัยนำเข้า (Input) จากนั้นก็จะผ่านเข้าไปในกระบวนการผลิต (Process) ซึ่งในการผลิตนั้นมีทั้งปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ (Controllable Factors) และควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) เมื่อกระบวนการผลิตเสร็จสิ้น ก็จะได้เป็นผลิตภัณฑ์หรือผลของกระบวนการนั้น ๆ (Output) ซึ่งในกระบวนการผลิตจริง ก็จะมีกระบวนการผลิตหลายขั้นตอนก่อนที่จะออกมาเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เช่นในบริษัทกรณีศึกษาก็จะมีกระบวนการผลิตแผ่นหลายวงจรชนิดอ่อนซึ่งมีขั้นตอนหรือหน่วยการผลิตหลายหน่วย แต่ละขั้นตอนก็จะมีปัจจัยในการผลิตที่แตกต่างกันไป และผลผลิต (Output) ที่ได้จากแต่

ละขั้นตอน ก็จะมีลักษณะพิเศษทางคุณภาพ (Special or Control Characteristic) ที่ได้แตกต่างกันออกไป



ภาพที่ 1.10 กระบวนการผลิตต่อเนื่องหลายขั้นตอน

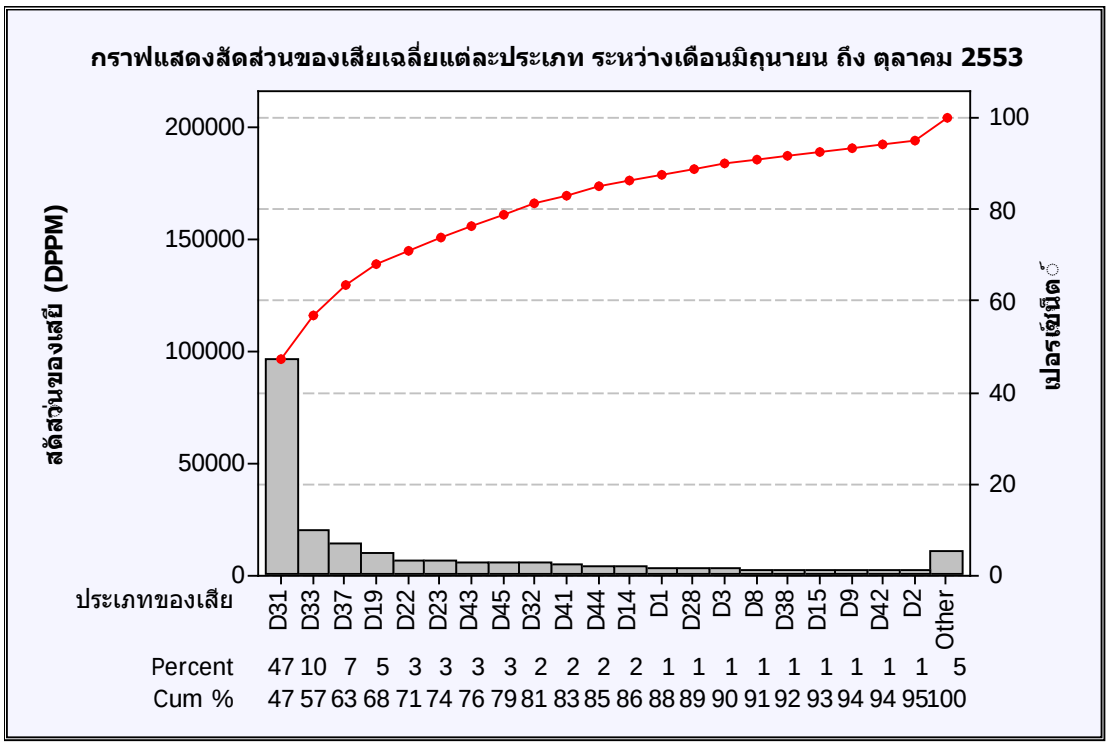
บริษัทกรณีศึกษาซึ่งมีธุรกิจหลักคือผลิตแผ่นลายวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อนนั้น มีกระบวนการผลิตที่มีขั้นตอนค่อนข้างมาก ดังนั้นการที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ออกมาให้มีคุณภาพตามที่ต้องการนั้น จึงต้องมีการควบคุมตัวแปรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต เพื่อเป็นการยืนยันคุณภาพของชิ้นงานในกระบวนการนั้น ๆ และลดความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดของเสียก่อนที่จะส่งไปยังกระบวนการถัดไป จากการเก็บข้อมูลของเสียสำหรับผลิตภัณฑ์ประเภท Single Side หรือที่มีเส้นลายวงจรอยู่เพียงด้านเดียวในบริษัทกรณีศึกษาที่เกิดขึ้นระหว่างเดือนมิถุนายน 2553 ถึง เดือนตุลาคม 2553 พบว่ามีของเสียเกิดขึ้นซึ่งคิดในหน่วยส่วนในล้านส่วน (DPPM) ดังแสดงในภาพที่ 1.11



ภาพที่ 1.11 สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างเดือนมิถุนายน 2553 ถึง ตุลาคม 2553

จากข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นนั้น มีของเสียเกินกว่าเป้าหมายที่บริษัทกำหนดไว้ต่อเนื่องทุกเดือน โดยบริษัทมีเป้าหมายที่ของเสียไม่เกิน 6,000 DPPM

จากการพิจารณาของเสียเฉลี่ยที่เกิดขึ้นแต่ละประเภท ระหว่างเดือนมิถุนายน 2553 ถึง ตุลาคม 2553 สามารถพิจารณาได้จากภาพที่ 1.12



ภาพที่ 1.12 สัดส่วนของเสียเฉลี่ยแต่ละประเภท ที่เกิดขึ้นระหว่างเดือนมิถุนายน 2553 ถึง ตุลาคม 2553

จากภาพ เมื่อทำการแยกประเภทของเสียและพิจารณาถึงปัญหาที่เกิดขึ้นรวม 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเกิดจากปัญหา 9 ประเภท จากปัญหาของข้อบกพร่องทั้งหมด 51 ประเภท ดังนี้คือ D31 คือ ความผิดปกติจากการเคลือบผิวส่วนเปิดของทองแดง D33 คือ ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับผิวเคลือบส่วนเปิดทองแดง D37 คือ ชิ้นงานบางส่วนมีรอยยุบหรือรอยบุ๋ม จากกระบวนการผลิตขั้นตอนสุดท้าย D19 คือ ความผิดปกติจากการเคลือบเส้นลายวงจร D22 คือ ชิ้นงานบางส่วนมีรอยยุบหรือรอยบุ๋ม จากกระบวนการเคลือบเส้นลายวงจร D23 คือ รอยยับรอยย่น D43 คือ ความผิดปกติจากกระบวนการผลิตขั้นตอนสุดท้าย D45 คือ สิ่งแปลกปลอมระหว่างชิ้นงานกับ Stiffener หรือ กาว D32 คือ คราบสนิม

จากข้อมูลแสดงสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้น จะเห็นได้ว่ามีสัดส่วนของเสียเกินกว่าที่บริษัทกำหนดไว้ และ 80 เปอร์เซ็นต์ของปัญหาเกิดจากปัญหาหลายประเภทและจากหลายกระบวนการ แผนภูมิควบคุมเป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการติดตามกระบวนการและตรวจจับการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการ หากมีความผิดปกติที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ก็จะทำให้ผู้ใช้งานแผนภูมิควบคุมทราบได้อย่างทันท่วงที และสามารถแก้ไขได้ทันเวลา ซึ่งเป็นการช่วยลดของเสียที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตได้

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นในบริษัทกรณีศึกษาเรื่องการประยุกต์ใช้การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistical Process Control) โดยแผนภูมิควบคุมนั้น พบว่ายังไม่มีการประยุกต์ใช้อย่างถูกต้อง โดยสามารถสรุปสภาพปัญหาได้ดังนี้

1. ไม่มีเกณฑ์ในการพิจารณาว่าควรจะใช้ แผนภูมิควบคุม (Control Chart) ในกระบวนการผลิตใด เนื่องจากกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์หนึ่ง ๆ มีหลายขั้นตอน โดยในปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษาจะเลือกควบคุมเฉพาะกระบวนการที่ลูกค้าร้องขอให้มีการทำแผนภูมิควบคุม และจะควบคุมเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าร้องขอ โดยควบคุมจากค่าพารามิเตอร์ของชิ้นงานในขั้นสุดท้ายเท่านั้น เช่นความหนา ความกว้าง และจะทำการเก็บวัดข้อมูลหลังจากที่ผลิตภัณฑ์ผลิตเป็นชิ้นงานที่สมบูรณ์แล้ว ด้วยเหตุนี้เมื่อเกิดปัญหาขึ้นก็ไม่สามารถแก้ไขได้ทันเวลา

2. ไม่มีเกณฑ์ในการพิจารณาเพื่อเลือกพารามิเตอร์ที่ต้องควบคุมในกระบวนการผลิตนั้น ๆ เนื่องจากแต่ละกระบวนการจะมีพารามิเตอร์ในการผลิตหลายประเภท ยกตัวอย่าง เช่น ในกระบวนการกัดเส้นลายวงจร จะประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ความเร็วรอบ อุณหภูมิ ความดัน ความเข้มข้นของน้ำยาเคมี เป็นต้น ซึ่งยังไม่มีการพิจารณาว่าหากจะทำแผนภูมิควบคุมควรจะเลือกควบคุมที่พารามิเตอร์ใด

3. ไม่มีการพิจารณาว่าควรใช้แผนภูมิควบคุม (Control Chart) ประเภทใด ซึ่งจากการเก็บข้อมูลพบว่า บริษัทกรณีศึกษามีการประยุกต์ใช้ $\bar{X}$-R Chart เพียงประเภทเดียวและยังไม่มีหลักเกณฑ์การใช้งานว่าควรจะใช้แผนภูมิควบคุมประเภทนั้น ๆ อย่างไร เช่น ขนาดตัวอย่าง ความถี่ เป็นต้น

จากข้อมูลการใช้งานแผนภูมิควบคุมของบริษัทกรณีศึกษาที่ยังไม่มีเกณฑ์การพิจารณาการใช้งานที่เหมาะสมนั้น อาจกลายเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียขึ้นเพราะกระบวนการผลิตไม่ได้รับการควบคุมที่มีประสิทธิภาพเพียงพอ ดังนั้นบริษัทกรณีศึกษาควรจะมีระบบควบคุมคุณภาพโดยการใช้แผนภูมิควบคุมที่ถูกต้องเหมาะสม ทั้งการเลือกกระบวนการ การเลือกปัจจัยที่

จะนำมาควบคุม และประเภทของแผนภูมิควบคุมที่ใช้ เมื่อเกิดปัญหาขึ้นในกระบวนการผลิต หรือเหตุผิดปกติเกิดขึ้นก็สามารถแก้ไขได้ทันเวลา ซึ่งเป็นการช่วยลดของเสียที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ทำให้ได้สินค้าที่มีคุณภาพดี และสามารถใช้แผนภูมิควบคุมได้อย่างมีประสิทธิผล

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาแนวทางสำหรับการควบคุมกระบวนการโดยใช้แผนภูมิควบคุมในกระบวนการผลิตแผ่นลายวงจรชนิดอ่อน

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. พัฒนาแนวทางสำหรับการควบคุมกระบวนการโดยใช้แผนภูมิควบคุมในกระบวนการผลิตแผ่นลายวงจรชนิดอ่อนกับผลิตภัณฑ์ประเภท Single Side หรือที่มีเส้นลายวงจรอยู่เพียงด้านเดียวเท่านั้น

2. การพัฒนาแนวทางจะมีขอบเขต หมายถึง
   - พัฒนาวิธีการเลือกกระบวนการ
   - พัฒนาวิธีการเลือกพารามิเตอร์
   - พัฒนาวิธีการเลือกประเภทของแผนภูมิควบคุม
   - พัฒนาวิธีการกำหนดความถี่ในการสุ่มตัวอย่างและขนาดตัวอย่าง
   - พัฒนาหลักเกณฑ์ในการพิจารณาทบทวนแผนภูมิควบคุม

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. วิธีการในการออกแบบการใช้แผนภูมิควบคุม ซึ่งหมายถึง วิธีการในการเลือกกระบวนการ วิธีการในการเลือกพารามิเตอร์ที่จะควบคุม วิธีการในการเลือกใช้ประเภทแผนภูมิควบคุม วิธีการกำหนดความถี่ในการสุ่มตัวอย่าง ขนาดตัวอย่าง และหลักเกณฑ์ในการทบทวนแผนภูมิควบคุม และวิธีการในการประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุม

2. แผนในการใช้แผนภูมิควบคุมในบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งประกอบไปด้วย กระบวนการที่จะควบคุม พารามิเตอร์ที่จะควบคุม ประเภทแผนภูมิควบคุมที่เลือกใช้ ความถี่ในการสุ่มตัวอย่าง ขนาดตัวอย่างที่เลือกใช้ และหลักเกณฑ์ในการทบทวนแผนภูมิควบคุม

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบกระบวนการผลิตที่ควรจะประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม (Control Chart) ได้

2. ทราบพารามิเตอร์ที่ต้องควบคุมในกระบวนการผลิตนั้น ๆ ได้

3. ทราบประเภทของแผนภูมิควบคุม (Control Chart) ที่ควรนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตนั้น ๆ ความถี่ในการสุ่มตัวอย่าง ขนาดตัวอย่าง และหลักเกณฑ์ในการทบทวนแผนภูมิควบคุม

4. สามารถนำวิธีการการออกแบบแผนภูมิควบคุมและกำหนดหลักเกณฑ์ในการใช้งานไปประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตอื่น ๆ ได้

5. ทราบวิธีในการประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุม

1.7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการใช้งานแผนภูมิควบคุม
2. ศึกษากระบวนการผลิตแผ่นลายวงจรชนิดอ่อนประเภทเส้นลายวงจรด้านเดียว
3. ศึกษาการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม (Control Chart) ในบริษัทกรณีศึกษา
4. กำหนดวิธีการในการเลือกพารามิเตอร์ที่จะทำการควบคุม
5. กำหนดวิธีการในการเลือกกระบวนการที่จะประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม
6. กำหนดวิธีการในการเลือกประเภทแผนภูมิควบคุมที่จะใช้ควบคุมพารามิเตอร์ในกระบวนการผลิต กำหนดความถี่ในการสุ่มและขนาดในการสุ่มตัวอย่าง
7. ประเมินค่าใช้จ่ายในการใช้งานแผนภูมิควบคุมที่ได้จากการพัฒนาแนวทางของงานวิจัยและคำนวณผลประโยชน์ที่ได้เป็นตัวเงิน เพื่อประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุม
8. กำหนดหลักเกณฑ์ในการทบทวนแผนภูมิควบคุม
9. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
10. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องการการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิตในปัจจุบัน มีการพัฒนาปรับปรุงด้วยวิธีการต่างๆ มากมาย และเมื่อทำการปรับปรุงกระบวนการแล้ว การเฝ้าติดตามกระบวนการถือเป็นสิ่งสำคัญ และเครื่องมือที่นิยมใช้ในการเฝ้าติดตามกระบวนการคือแผนภูมิควบคุม โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษางานวิจัยต่างๆ ที่กล่าวถึงความสำคัญของแผนภูมิควบคุม ประเภทของแผนภูมิควบคุม และแนวทางในการประยุกต์ใช้ เพื่อให้เป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัยต่อไป

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โดยทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในส่วนนี้ จะกล่าวถึงการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ ประเภทของแผนภูมิควบคุม ประโยชน์ของแผนภูมิควบคุม งานวิจัยที่กล่าวถึงกรอบการดำเนินงานของการประยุกต์ใช้การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติและแผนภูมิควบคุม อุปสรรคและปัจจัยสำคัญของการดำเนินงานโดยใช้เทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติในองค์กร ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้คือ

2.1.1 การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ

การผลิตสินค้าให้ได้คุณภาพถือเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการผลิตในปัจจุบัน เพราะคุณภาพถือเป็นหนึ่งปัจจัยที่มีส่วนสำคัญให้ธุรกิจสามารถดำเนินต่อไปได้ ซึ่งความหมายของคุณภาพนั้นคือ การที่สินค้าสามารถตอบสนองความต้องการและให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจ สามารถใช้ประโยชน์ได้ และตรงตามข้อกำหนด ซึ่งบริษัทที่สามารถผลิตสินค้าออกมาให้ได้คุณภาพที่ดีย่อมเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยให้มีความสามารถในการแข่งขันที่สูงขึ้นด้วย ดังนั้นการผลิตสินค้าให้ได้คุณภาพที่ดีจึงเป็นสิ่งจำเป็น ดังนั้นในปัจจุบันการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติจึงได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงกระบวนการ Motorcu และ Gu¨ llu¨ (2006) ได้กล่าวว่าวิธีการที่จะช่วยให้ได้คุณภาพที่ดีคือการใช้เทคนิคทางสถิติเพื่อควบคุมกระบวนการในทุกช่วงของการผลิต ถ้ากระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมก็สามารถดำเนินต่อไปได้ และไม่ต้องมีการปรับเปลี่ยนใดๆ Stuart, Mullins และ Drew (1996) ได้กล่าวว่าแผนภูมิควบคุมถือว่าเป็นเครื่องมือทางสถิติที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าเป็นเครื่องมือหนึ่งที่มีความสำคัญมากที่สุดสำหรับการควบคุมและการปรับปรุงคุณภาพ

เสรี ยูนิพันธ์, จรูญ มหิทธาฟองกุล และ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย (2528) ได้กล่าวถึงการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติไว้ดังนี้คือ วิธีการทางสถิตินั้นถูกนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาการตรวจสอบในสหรัฐอเมริกา โดย C.N. Frazee แห่งบริษัท Telephone Laboratories ซึ่งเริ่มตั้งแต่ปี ค.ศ. 1916 ในปี ค.ศ. 1924 Dr. Walter A. Shewhart แห่งบริษัท Western Electronic เป็นผู้บุกเบิกที่สำคัญ โดยการนำวิชาสถิติประยุกต์ในการควบคุมกรรมวิธีการผลิต และใช้แผนภูมิควบคุม (Control Charts) ที่จัดทำขึ้นมา การควบคุมคุณภาพในทางสถิติโดยทั่วไปนั้นหมายถึงการนำหลักและวิธีการทางสถิติต่าง ๆ ไปใช้ในการควบคุมคุณภาพ เพราะหลักและวิธีการทางสถิตินั้นมีความสำคัญและได้นำมาใช้ในเรื่องการควบคุมคุณภาพและนำมาใช้ในการเฝ้าติดตามและควบคุมกระบวนการเพื่อให้มั่นใจได้ว่ากระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมและสามารถผลิตสินค้าออกมาให้ได้คุณภาพ กระบวนการมีศักยภาพในการผลิตผลิตภัณฑ์ให้ออกมาได้ดีสม่ำเสมอ และเกิดของเสียน้อยที่สุด ซึ่งเครื่องมือหลัก ๆ ที่นำมาใช้คือแผนภูมิควบคุม และการออกแบบการทดลอง เพื่อการมุ่งสู่การพัฒนาคุณภาพอย่างต่อเนื่อง

ความผันแปรที่เกิดขึ้นภายในกระบวนการนั้นอาจจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพของสินค้า ดังนั้นการลดโอกาสที่จะเกิดของเสียนั้นเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistical Process Control หรือ SPC) เป็นเครื่องมือที่ช่วยป้องกันและช่วยแก้ปัญหาได้ และเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ทั้งเรื่องการลดต้นทุนและความพึงพอใจของลูกค้า

2.1.2 แผนภูมิควบคุม

วันรัตน์ จันทกิจ (2549) ได้ให้ความหมายของแผนภูมิควบคุม คือ เครื่องมือตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงไปของกระบวนการผลิต เพื่อการแก้ไขปัญหาด้านคุณภาพได้อย่างรวดเร็วและไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อสินค้าที่ผลิต

ในกระบวนการผลิตใด ๆ ย่อมมีความผันแปรที่สามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา ทั้งความผันแปรที่เกิดขึ้นเป็นปกติหรือโดยบังเอิญ (Chance causes) และความผันแปรที่สามารถตรวจพบและแก้ไขได้ (Assignable causes) เนื่องด้วยเหตุนี้จึงมีแผนภูมิควบคุม (Control Charts) เพื่อใช้ในการแสดงสถานะของกระบวนการว่ามีความแปรปรวนอยู่ในระดับที่คงที่อยู่หรือไม่ และเมื่อเกิดปัญหาขึ้นก็สามารถแก้ไขได้ทันเวลา ซึ่งการควบคุมคุณภาพโดยใช้แผนภูมิควบคุมนี้อาจจะเป็นการควบคุมในลักษณะข้อมูลเชิงปริมาณที่วัดค่าได้ (Variable Data) หรือข้อมูลเชิงลักษณะที่ไม่สามารถวัดค่าได้ (Attribute Data) และทำการบันทึกข้อมูลจากการสุ่มตัวอย่างในเวลาต่างๆ ซึ่งแผนภูมิควบคุมประกอบด้วย เส้นกึ่งกลาง (Control Limit) เส้นพิกัดควบคุมบน (Upper Control

Limit) และเส้นพิกัดควบคุมล่าง (Lower Control Limit) หากต้องการวิเคราะห์กระบวนการผลิตว่าอยู่ในสภาวะปกติหรืออยู่ภายใต้การควบคุมหรือไม่ ก็สามารถพิจารณาจุดของค่าวัดที่อยู่ในแผนภูมิควบคุม ว่ามีแนวโน้มไปด้านใดด้านหนึ่ง มีจุดนอกพิกัดควบคุมหรือไม่ หรือมีรูปแบบที่ผิดปกติไป หากตรวจพบความผิดปกติ ก็ต้องหาสาเหตุและแก้ไขต่อไป

ประโยชน์ของแผนภูมิควบคุม :

AIAG (2005) ได้กล่าวถึงประโยชน์ของแผนภูมิควบคุมไว้ดังนี้

- พนักงานสามารถนำมาใช้งานเพื่อการควบคุมกระบวนการอย่างต่อเนื่อง
- ช่วยให้กระบวนการทำงานได้อย่างต่อเนื่องและสามารถคาดการณ์ได้
- ช่วยให้กระบวนการมีการปรับปรุงคุณภาพที่ดีขึ้น , การลดต้นทุนลง , การทำงานให้มีประสิทธิผลดียิ่งขึ้น
- เป็นข้อมูลที่ใช้เป็นสื่อกลางในการพูดคุยประสานงานเกี่ยวกับประสิทธิภาพของกระบวนการ
- ช่วยจำแนกความแตกต่างของความผันแปรที่เกิดขึ้น ช่วยบ่งชี้ความผิดปกติภายในกระบวนการ และใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาในระบบ

2.1.3 ประเภทของแผนภูมิควบคุม

แผนภูมิควบคุมแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท โดยพิจารณาจากคุณลักษณะของข้อมูลที่ต้องการควบคุม คือ แผนภูมิควบคุมชนิดแปรผัน และ แผนภูมิควบคุมชนิดตามลักษณะ

- **แผนภูมิควบคุมชนิดแปรผัน** คือชนิดของข้อมูลเป็นแบบต่อเนื่อง (Variable Control Chart) ข้อมูลที่ได้มีลักษณะแบบต่อเนื่องหรือเป็นค่าที่วัดมา เช่นค่าความกว้าง ความหนา เป็นต้น AIAG (2005) ได้กล่าวไว้ว่าแผนภูมิควบคุมชนิดแปรผัน มีความสำคัญด้วยเหตุผลต่าง ๆ ดังนี้คือ

- ข้อมูลเชิงปริมาณ เช่นค่าที่ได้จากค่าวัด จะสามารถแปลผลข้อมูลได้มากกว่าผลลัพธ์เพียงคำว่าใช่หรือไม่ใช่ ได้หรือไม่ได้
- ถึงแม้ว่าการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณจะมีต้นทุนที่สูงกว่าการเก็บข้อมูลเชิงลักษณะ แต่การตัดสินใจนั้นจะทำได้รวดเร็วกว่าและใช้กลุ่มตัวอย่างที่น้อยกว่า สิ่งนี้จะนำไปสู่ต้นทุนรวมของการวัดที่น้อยกว่ารวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพด้วย
- ต้องการจำนวนของข้อมูลเพื่อใช้ในการตัดสินใจที่น้อยกว่า

- ช่วงเวลาระหว่างการออกนอกควบคุมและแผนการแก้ไขมักจะสั้นลงเสมอ

- สำหรับข้อมูลเชิงแปรผันถึงแม้ว่าข้อมูลแต่ละค่าจะอยู่ในค่าที่กำหนด แต่ประสิทธิภาพของกระบวนการก็สามารถที่จะนำมาคำนวณได้ และสามารถนำมาปรับปรุงได้ ซึ่งสิ่งนี้เป็นสิ่งสำคัญสู่การปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง

- แผนภูมิควบคุมชนิดแปรผันสามารถใช้อธิบายข้อมูลของกระบวนการในรูปของความผันแปรของกระบวนการเอง ความผันแปรแบบชิ้นต่อชิ้น และค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ด้วยเหตุนี้แผนภูมิควบคุมชนิดแปรผันมักจะใช้วิเคราะห์ทั้งสองอย่างคือ ค่าเฉลี่ยและค่าความผันแปร และแผนภูมิที่นิยมใช้คู่กันคือแผนภูมิ $\bar{X}$ และ R แต่ถึงแม้จะนิยมใช้มาก แต่ก็ไม่ได้เหมาะสมกับทุกสถานการณ์

- **แผนภูมิควบคุมชนิดตามลักษณะ** (Attribute Control Chart) คือชนิดของข้อมูลเป็นแบบหน่วยนับ เช่นแผนภูมิควบคุมเพื่อติดตามจำนวนของเสีย จำนวนข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน AIAG (2005) ได้กล่าวไว้ว่าแผนภูมิควบคุมชนิดตามลักษณะ มีความสำคัญด้วยเหตุผลต่าง ๆ ดังนี้คือ

- ข้อมูลเชิงลักษณะนั้นมีอยู่ในหลายกระบวนการ ซึ่งเทคนิคการวิเคราะห์นั้นมีประโยชน์มากในหลายๆ งาน แต่สิ่งที่สำคัญที่สุดคือการจำกัดความ และความแม่นยำในการตัดสินใจ

- ข้อมูลเชิงลักษณะสามารถนำมาใช้ได้กับหลายสถานการณ์ไม่ว่าที่ใดที่มีการตรวจซ่อมแซมการแยกของเสียและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจะเกี่ยวข้องกับการนำข้อมูลไปลงในแผนภูมิควบคุม

- ข้อมูลที่จะต้องเก็บรวบรวมสำหรับข้อมูลเชิงลักษณะใช้ต้นทุนไม่แพง เช่น go-nogo gage หรือการตรวจสอบโดยใช้สายตามีความจำเป็นที่จะต้องใช้ผู้ที่มีทักษะสูงในการตรวจสอบ

- การทำรายงานสรุปผลมักจะทำในรูปของข้อมูลเชิงลักษณะ และแผนภูมิเชิงลักษณะตัวอย่างเช่น อัตราส่วนของเสีย การตรวจสอบคุณภาพ จำนวนของเสีย

- **ประเภทของแผนภูมิควบคุมชนิดแปรผัน** (Variable Control Chart) ซึ่งเป็นแผนภูมิที่ประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่มีลักษณะแบบต่อเนื่องหรือเป็นค่าที่วัด ตัวอย่างเช่น

- แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและค่าพิสัย ($\overline{X}$ -R) เป็นแผนภูมิที่นิยมใช้มากกับข้อมูลที่มีค่าต่อเนื่อง กรณี $\overline{X}$ บอกให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย ส่วนค่า R บอกให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าการกระจาย แผนภูมินี้มีประโยชน์มากเพราะแสดงให้เห็นข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงหรือจุดผิดปกติทั้งค่าเฉลี่ยและค่าการกระจายวันรัตน์ จันทกิจ (2549) ได้แสดงขั้นตอนการสร้างแผนภูมิควบคุม ($\overline{X}$ -R) ดังนี้คือ

1. กำหนดสิ่งที่ต้องการควบคุม และกำหนดจำนวนตัวอย่าง
โดยทั่วไปแนะนำให้เก็บข้อมูล 100 ค่าขึ้นไป และเก็บขณะที่เครื่องจักรทำงาน โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย 4-5 ข้อมูล แต่ในการทำงานจริงมักจะพบปัญหา เช่นปัญหาเรื่องค่าใช้จ่าย หรืออื่น ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของโรงงานนั้น ๆ

2. การเก็บรวบรวมข้อมูล ขั้นตอนนี้อาจจะได้จากการจดบันทึกเพื่อความสะดวกในการกรอกข้อมูล

3. คำนวณค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มย่อย $\overline{X}$ โดยที่ $\overline{X} = \frac{\sum X}{n}$
โดยที่ n คือจำนวนข้อมูลภายในกลุ่มย่อย

4. คำนวณหาค่าพิสัย (R) คำนวณหาค่าพิสัยของแต่ละกลุ่มย่อย (n) โดยใช้สูตร
พิสัย = ค่าสูงสุดในกลุ่มย่อย – ค่าต่ำสุดในกลุ่มย่อย

5. คำนวณค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ย $\overline{\overline{X}}$ นำค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มย่อยมาหาค่าเฉลี่ยของกลุ่ม (N) อีกครั้งหนึ่ง โดยที่ $\overline{\overline{X}} = \frac{\sum \overline{X}}{N}$

5. คำนวณค่าเฉลี่ยของพิสัย $\overline{R}$ นำค่าพิสัย (R) ของแต่ละกลุ่มย่อยมาหาค่าเฉลี่ยของกลุ่ม (N) อีกครั้งหนึ่ง โดยที่ $\overline{R} = \frac{\sum R}{N}$

6. คำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ

คำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ $\overline{X}$ และ R โดยใช้สูตรต่อไปนี้

ขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ $\overline{X}$:

ขีดจำกัดควบคุมบน (Upper control limit : UCL) = $\overline{\overline{X}} + A_2\overline{R}$

เส้นกึ่งกลาง (Centerline : CL) = $\overline{\overline{X}}$

ขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower control limit : LCL) = $\overline{\overline{X}} - A_2\overline{R}$

ขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ R :

ขีดจำกัดควบคุมบน (Upper control limit : UCL) = $D_4\overline{R}$

เส้นกึ่งกลาง (Centerline : CL) = $\overline{R}$

ขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower control limit : LCL) = $D_3\overline{R}$

ซึ่ง A_2 D_3 และ D_4 เป็นค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับขนาดตัวอย่างในกลุ่ม และสามารถอ้างอิงได้จากหนังสือควบคุมคุณภาพโดยทั่วไป

- แผนภูมิควบคุม ($\overline{X}$ -S) เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมค่าผันแปรหรือค่าการกระจายด้วยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งมีจุดประสงค์เช่นเดียวกับแผนภูมิ R แต่แผนภูมิ S จะใช้เมื่อตัวอย่างของกลุ่มย่อยมีขนาดใหญ่หรือมีตัวอย่างมากกว่า 10 ค่า ซึ่งการประมาณค่า σ จากค่าพิสัย (R) อาจจะได้ค่าประมาณที่ไม่เที่ยงตรงเท่ากับค่า S (standard deviation)

การคำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ $\overline{X}$:

ขีดจำกัดควบคุมบน (Upper control limit : UCL) = $\overline{\overline{X}} + A_3\overline{S}$

เส้นกึ่งกลาง (Centerline : CL) = $\overline{\overline{X}}$

ขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower control limit : LCL) = $\overline{\overline{X}} - A_3\overline{S}$

โดย $\overline{S} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} Si$

เมื่อ $Si = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n}(\mathrm{X}ij - \overline{\mathrm{X}}\mathrm{i})^2}{\mathrm{n}-1}}$

การคำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ S :

ขีดจำกัดควบคุมบน (Upper control limit : UCL) = $B_4\overline{S}$

เส้นกึ่งกลาง (Centerline : CL) = $\overline{S}$

ขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower control limit : LCL) = $B_3\overline{S}$

- แผนภูมิ X และ MR เป็นแผนภูมิควบคุมค่าวัดและค่าเคลื่อนที่ของพิสัย โดยทั่วไปจะใช้กับข้อมูลที่มีขนาดตัวอย่างย่อยเท่ากับ 1 หน่วย หรือที่มีการผลิตต่ำ ต้องใช้เวลาตรวจสอบเป็นเวลานาน ข้อมูลหนึ่งข้อมูลนั้นสามารถเป็นตัวแทนของ 1 กระบวนการได้ เช่น ค่าความเข้มข้นของสารละลาย เป็นต้น

การคำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ MR (Moving Range) :

ขีดจำกัดควบคุมบน (Upper control limit : UCL) = $D_4\overline{MR}$

เส้นกึ่งกลาง (Centerline : CL) = $\overline{MR}$

ขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower control limit : LCL) = 0

การคำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ X :

ขีดจำกัดควบคุมบน (Upper control limit : UCL) = $\overline{X}+3\frac{\overline{MR}}{d_2}$

เส้นกึ่งกลาง (Centerline : CL) = $\overline{X}$

ขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower control limit : LCL) = $\overline{X}-3\frac{\overline{MR}}{d_2}$

- **แผนภูมิควบคุมชนิดตามลักษณะ** (Attribute Control Chart)

ซึ่งเป็นแผนภูมิที่ประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่มีลักษณะเป็นแบบหน่วยนับ ตัวอย่างเช่น

- แผนภูมิ p เป็นแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียในกระบวนการ

ผลิต โดยสัดส่วนของเสีย (p) คิดมาจากอัตราส่วนระหว่างจำนวนของเสีย (D) ต่อจำนวนชิ้นงานทั้งหมด (n) โดยขนาดตัวอย่างควรจะมีขนาดที่มากพอหรือมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

การคำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ p :

ขีดจำกัดควบคุมบน (Upper control limit : UCL) = $\overline{p}+3\sqrt{\frac{\overline{p}(1-\overline{p})}{\mathrm{n}}}$

เส้นกึ่งกลาง (Centerline : CL) = $\overline{p}$

ขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower control limit : LCL) = $\overline{p}-3\sqrt{\frac{\overline{p}(1-\overline{p})}{\mathrm{n}}}$

โดยค่าเฉลี่ยของสัดส่วนของเสีย คือ $\overline{p}=\frac{\sum_{i=1}^{m}Di}{mn}$

โดยที่ m คือจำนวนกลุ่มตัวอย่าง

D_i คือจำนวนของเสียของกลุ่มตัวอย่างที่ i

ในบางกรณีขนาดตัวอย่างก็มีขนาดของกลุ่มไม่คงที่ และไม่แน่นอนอาจเนื่องด้วยจำนวนการผลิตแต่ละวันที่ไม่เท่ากัน โดยวิธีการสร้างแผนภูมิมีดังนี้คือ

วิธีขีดจำกัดควบคุมไม่คงที่ :

จะมีการคำนวณขีดจำกัดควบคุมในแต่ละกลุ่มตัวอย่างโดยมีการคำนวณดังนี้

ขีดจำกัดควบคุม $\overline{p}\pm 3\sqrt{\frac{\overline{p}(1-\overline{p})}{\mathrm{n}}}$ เมื่อ $\overline{p}=\frac{\sum_{i=1}^{m}Di}{\sum_{i=1}^{m}n_i}$

- แผนภูมิ np เป็นแผนภูมิควบคุมจำนวนชิ้นงานของเสียในกระบวนการ ใช้ในกรณีสัดส่วนของเสียมีค่าน้อยและขนาดตัวอย่างคงที่

การคำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ np :

ขีดจำกัดควบคุมบน (Upper control limit : UCL) = $n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$

เส้นกึ่งกลาง (Centerline : CL) = $n\bar{p}$

ขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower control limit : LCL) = $n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$

- แผนภูมิ c เป็นแผนภูมิควบคุมจำนวนตำหนิ หรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบนผลิตภัณฑ์เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาด 1 หน่วย เช่นรอยตำหนิบนผลิตภัณฑ์ 1 ชิ้น

การคำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ c :

ขีดจำกัดควบคุมบน (Upper control limit : UCL) = $\bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$

เส้นกึ่งกลาง (Centerline : CL) = $\bar{c}$

ขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower control limit : LCL) = $\bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$

เมื่อ ค่าเฉลี่ยของข้อบกพร่องเท่ากับ $\bar{c} = \dfrac{\sum_{i=1}^{m} c_i}{m}$

- แผนภูมิ u เป็นแผนภูมิควบคุมจำนวนตำหนิ หรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบนผลิตภัณฑ์ โดยใช้ได้ในกรณีที่จำนวนหน่วยตรวจสอบในแต่ละครั้งเท่ากันหรือไม่เท่ากัน ซึ่งการคำนวณขีดจำกัดควบคุมในกรณีที่ขนาดตัวอย่างไม่เท่ากันสามารถใช้วิธีของแผนภูมิควบคุม p ได้

การคำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ u :

ขีดจำกัดควบคุมบน (Upper control limit : UCL) = $\bar{u} + 3\sqrt{\dfrac{\bar{u}}{n}}$

เส้นกึ่งกลาง (Centerline : CL) = $\bar{u}$

ขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower control limit : LCL) = $\bar{u} - 3\sqrt{\dfrac{\bar{u}}{n}}$

เมื่อ ค่าเฉลี่ยของข้อบกพร่องต่อหน่วยเท่ากับ $\bar{u} = \dfrac{\sum_{i=1}^{m} u_i}{m}$

- **แผนภูมิควบคุมชนิดแปรผันสำหรับการผลิตในระยะสั้น** (Short production runs) Montgomery (2001) ได้สรุปการใช้เทคนิคที่ประสบความสำเร็จสำหรับกระบวนการผลิตในระยะสั้น ดังนี้ คือ

- แผนภูมิ $\overline{X}$ และ R แผนภูมินี้จะพิจารณาค่าที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเป้าหมาย ซึ่งบางครั้งจะเรียกแผนภูมินี้ว่าแผนภูมิ Deviation from nominal (DNOM) ซึ่งเหมาะกับค่าของชิ้นงานที่มีความเบี่ยงเบนมาตรฐานใกล้เคียงกัน จำนวนการสุ่มตัวอย่างเท่ากัน โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้คือ

1. หาค่าที่เบี่ยงเบนจากค่าจริง (X_i) โดยนำค่าที่ได้จากการวัด (M_i) ลบค่าเป้าหมาย (T_j) ของชิ้นงานนั้น ๆ โดยที่ $X_i = M_i - T_j$
2. หาค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยที่โดยคิดมาจากค่าเบี่ยงเบน
3. ทำการสร้างแผนภูมิควบคุม

- แผนภูมิ Standardized $\overline{X}$ และ R แผนภูมิชนิดนี้เหมาะสำหรับข้อมูลที่มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละชิ้นงานนั้นต่างกัน โดยกำหนดว่า j คือ ลำดับที่ชิ้นงาน R_j ค่าพิสัยเฉลี่ย และ T_j คือค่าเป้าหมายของชิ้นงานนั้น ๆ จากนั้นทำการคำนวณค่าสำหรับแผนภูมิ Standardize R ดังนี้ $R_i^s = \frac{R_i}{\overline{R_j}}$

โดยที่ ขอบเขตควบคุมล่าง หรือ LCL = D_3, ขอบเขตควบคุมบน UCL = D_4

และคำนวณค่าสำหรับแผนภูมิ Standardize $\overline{X}$ ดังนี้ $\overline{X_i^s} = \frac{\overline{M_i} - T_i}{\overline{R_j}}$

โดยที่ ขอบเขตควบคุมล่าง หรือ LCL = $-A_2$, ขอบเขตควบคุมบน UCL = $+A_2$

- **แผนภูมิควบคุมชนิดตามลักษณะสำหรับการผลิตในระยะสั้น**

(Short production runs) สำหรับแผนภูมิควบคุมชนิดตามลักษณะสำหรับการผลิตระยะสั้น การใช้งานนั้นก็ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม ข้อดีคือการที่สามารถพลอตค่าของข้อมูลที่มาจากชิ้นงานต่างประเภทกันสามารถนำมาพลอตลงแผนภูมิเดียวกันได้ ซึ่งสูตรการคำนวณแสดงได้ดังนี้คือ

ตารางที่ 2.1 สูตรการคำนวณแผนภูมิควบคุมประเภทข้อมูลเชิงลักษณะสำหรับการผลิตในระยะสั้น

Attribute	Target Value	Standard Deviation	Statistic to Plot on the control Chart
$\hat{p}_i$	$\bar{p}$	$\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	$Z_i = \frac{\hat{p}_i - \bar{p}}{\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}}$
$n\hat{p}_i$	$n\bar{p}$	$\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$	$Z_i = \frac{n\hat{p}_i - n\bar{p}}{\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}}$
c_i	$\bar{c}$	$\sqrt{\bar{c}}$	$Z_i = \frac{c_i - \bar{c}}{\sqrt{\bar{c}}}$
u_i	$\bar{u}$	$\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$	$Z_i = \frac{u_i - \bar{u}}{\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}}$

- **การอ่านแผนภูมิควบคุม**

หากแผนภูมิควบคุมที่ใช้อยู่มีการกระจายตัวอยู่ในลักษณะที่ผิดปกติ ผู้ที่มีหน้าที่รับผิดชอบหรือผู้ที่ควบคุมกระบวนการผลิต ควรเข้าไปตรวจสอบกระบวนการ โดยมีแนวทางในการแปลความของแผนภูมิควบคุมดังนี้คือ

1. จุดอยู่นอกขีดจำกัดควบคุม Upper Control Limit และ Lower Control Limit
2. จุดเกิดความไม่สมบูรณ์ (runs) คือมีจุดเรียงอยู่ฝั่งเดียวกันหลายจุดโดยใช้เส้นกึ่งกลาง (Control Limit) เป็นเส้นกึ่งกลาง ถ้าความไม่สมดุลย์มีขนาด 7 จุด หรือ 5 จุดที่อยู่ฝั่งเดียวกัน และมี 1 จุดไปอยู่อีก 1 ฝั่ง และมีอีก 5 กลับมาอยู่ฝั่งเดียวกับจุดแรก หรือ 10 ใน 11 จุด หรือ 12 ใน 14 จุดอยู่ฝั่งเดียวกัน ความหมายต่าง ๆ เหล่านี้ถือว่าแผนภูมิควบคุมมีความผิดปกติ
3. เกิดแนวโน้ม (trends) คือจุดมีแนวโน้มเรียงสูงขึ้นหรือต่ำลง คือมี 7 จุดที่เรียงต่อเนื่องกันในทิศทางขึ้น หรือลง
4. เกิดช่วงซ้ำซ้อน (Periodicity) คือเกิดช่วงที่ซ้ำ ๆ กัน ในช่วงเวลาที่เท่า ๆ กัน
5. การเกาะกลุ่มรอบเส้นควบคุม (hugging the control line) คือจุดต่าง ๆ ที่อยู่บนแผนภูมิควบคุมอยู่เกาะกลุ่มใกล้เส้นกึ่งกลาง (Control Limit)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 งานวิจัยที่กล่าวถึงอุปสรรคและปัจจัยสำคัญของการดำเนินงานโดยใช้เทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติในองค์กร

(Antony และ Taner,2003; Does,Schippers และ Trip, 1997) ได้กล่าวถึงแนวทางในการดำเนินการทางสถิติว่า การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติเป็นเหมือนการเฝ้าติดตาม การจัดการ การคงไว้ และการปรับปรุงสภาวะของกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติที่มีประสิทธิภาพ ส่วนใหญ่คิดว่าการใช้การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ เป็นเพียงการทำแผนภูมิควบคุมเพื่อตอบสนองต่อข้อเรียกร้องของลูกค้าเท่านั้น ซึ่งในความเป็นจริง แผนภูมิควบคุมมีความสำคัญที่ช่วยระบุว่าเมื่อไหร่ควรที่จะมีการปรับกระบวนการเมื่อข้อมูลเกิดออกนอกการควบคุม และได้กล่าวถึงอุปสรรคและแนวทางในการประยุกต์ใช้การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติในองค์กรไว้ดังนี้

- การที่ไม่ได้รับความร่วมมือหรือความสนใจจากระดับผู้บริหาร ซึ่งผู้บริหารควรที่จะเข้าใจความหมายและประโยชน์ของ SPC เป็นลำดับแรก และควรมีความเชื่อมั่นในประสิทธิภาพของ SPC ที่เป็นเครื่องมือที่สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในองค์กรได้ ซึ่งการให้ความสนับสนุนจากผู้บริหารระดับสูง เป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้ SPC ประสบความสำเร็จ

- ขาดการอบรมและความรู้เกี่ยวกับ SPC ภายในองค์กรและยังไม่เห็นความสำคัญของ SPC ซึ่งสิ่งสำคัญของการทำ SPC คือ การทำงานด้วยความร่วมมือและความรับผิดชอบของหลายฝ่าย การได้รับคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านสถิติ

- ความล้มเหลวในการแปลความหมายแผนภูมิควบคุมและการดำเนินการใด ๆ ซึ่งจุดประสงค์หลักไม่เพียงแต่จัดการกับสาเหตุพิเศษเท่านั้นแต่ต้องทำให้กระบวนการอยู่ภายใต้สภาวะควบคุมด้วย เพราะเครื่องมือ (Tool) คือสิ่งพื้นฐานที่นำมาประยุกต์ใช้ แต่เทคนิค (Technique) จะเป็นสิ่งที่ช่วยให้เกิดความครอบคลุมในการช่วยแก้ไขปัญหา

- การขาดความรู้เกี่ยวกับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์หรือพารามิเตอร์ของกระบวนการในการวัดและตรวจสอบภายในกระบวนการนั้น สิ่งที่ดีที่สุดคือการระบุค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญและความสัมพันธ์กับผลลัพธ์ของกระบวนการโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง ซึ่งการออกแบบการทดลองเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการค้นหาตัวแปรที่สำคัญที่สุด ระดับของตัวแปร คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่สำคัญอาจจะระบุจาก QFD

- ระบบการวัดยังไม่ถูกต้อง ซึ่งระบบการวัดเป็นสิ่งที่สำคัญมากต่อความสำเร็จของการทำ SPC

- SPC ควรจะดำเนินการไม่เพียงเพราะตามความต้องการของลูกค้า แต่จะต้องนำไปใช้เพื่อทำให้ลูกค้าพึงพอใจกับความมีเสถียรภาพและความสามารถของกระบวนการ

2.2.2 งานวิจัยที่กล่าวถึงกรอบการดำเนินงานของการประยุกต์ใช้การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติและแผนภูมิควบคุม

Gaafar และ Keats (1992) ได้เสนอขั้นตอนการดำเนินงานการประยุกต์ใช้ SPC ดังนี้คือ 1. การสร้างวัฒนธรรมความรู้ความเข้าใจเข้าใจเกี่ยวกับ SPC และผู้ที่ควรอบรมส่วนแรกคือผู้บริหารระดับสูง 2. การเลือกกระบวนการแรกสำหรับการการประยุกต์ใช้ SPC ซึ่งมีความสำคัญมากต่อความสำเร็จของโครงการ และจะช่วยรับประกันได้ว่า SPC จะสามารถให้ผลประโยชน์ที่ชัดเจน 3. การจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ คือ การวิเคราะห์ระบบการวัด 4. ขั้นตอนการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม (Implementation) 5. การรวบรวมสู่ QIS (Quality Information System) 6. การพัฒนาปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

Srikaeo, และ Ashton (2005) ได้ประยุกต์ใช้ SPC ในการควบคุมกระบวนการ ซึ่งประกอบไปด้วย ฮิสโตแกรม การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย แผนภูมิควบคุมเพื่อดูว่าข้อมูลอยู่ในการควบคุมหรือไม่ การวิเคราะห์สมรรถภาพของกระบวนการเพื่อดูสภาพของกระบวนการ และการวิเคราะห์ระบบการวัด GR&R โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น ตัวแปรของวัตถุดิบ และตัวแปรของผลิตภัณฑ์

Does et al. (1997) ได้เสนอกรอบสำหรับการดำเนินการการควบคุมกระบวนการทางสถิติ โดยแบ่งออกเป็น 4 ระยะคือ

ระยะที่ 1 การรับรู้ คือให้พนักงานรู้จักและเข้าใจพื้นฐานประโยชน์ของ SPC

ระยะที่ 2 โครงการนำร่อง คือการก่อตั้งทีมทำงาน (process action teams) และเริ่มทำการประยุกต์ใช้ SPC ในกระบวนการจริง

ระยะที่ 3 การดำเนินการในการผลิต คือมีการประยุกต์ใช้ SPC ในกระบวนการต่าง ๆ พร้อมทั้งมีผู้ประสานงานที่เป็นผู้ติดต่อกับที่ปรึกษาภายนอกและให้ความรู้ด้าน SPC กับผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด

ระยะที่ 4 คุณภาพโดยรวม คือการขยาย SPC ไปยังส่วนงานอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ส่วนของการผลิตเพื่อจุดประสงค์คือการมุ่งสู่ระบบ TQM (Total Quality Management)

และได้แสดง ขั้นตอนของการประยุกต์ใช้ SPC ซึ่งมีอยู่ 10 ขั้นตอน โดยแบ่งออกเป็น 4 ช่วงดังนี้คือ

ช่วงที่ 1 : เป็นช่วงอธิบายกระบวนการและหาจุดบกพร่อง ประกอบด้วยขั้นตอนที่ 1 คือ Process description คือการวิเคราะห์ปัญหาจากสถานการณ์จริง ขั้นตอนที่ 2 คือ Cause and

effect analysis คือการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา และขั้นตอนที่ 3 คือ Risk analysis วิเคราะห์ปัญหาโดยการประยุกต์ใช้ FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)

ช่วงที่ 2 : เป็นช่วงหาแนวทางแก้ไขข้อพกพร่อง ประกอบด้วยขั้นตอนที่ 4 คือ Improvements คือหาแนวทางปรับปรุง ขั้นตอนที่ 5 คือ Define measurements การกำหนดสาเหตุของปัญหากำหนดพารามิเตอร์ที่จะปรับปรุง

ช่วงที่ 3 : เป็นช่วงกำหนดการวัดที่มีประสิทธิภาพและการควบคุมกระบวนการ ประกอบด้วยขั้นตอนที่ 6 คือ R&R study การวิเคราะห์ระบบการวัด , ขั้นตอนที่ 7 คือ Control charts คือการควบคุมกระบวนการโดยใช้แผนภูมิควบคุม ขั้นตอนที่ 8 คือ Out of control action plan คือการจัดทำแผนการทำงานเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุม

ช่วงที่ 4 : เป็นช่วงการประเมินประสิทธิภาพและการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ประกอบด้วยขั้นตอนที่ 9 คือ Process capability study คือพิจารณากระบวนการว่าอยู่ภายใต้ข้อกำหนด ขั้นตอนที่ 10 คือ Certification การประเมินผลการทำงาน

Napassavong Rojanarowan และ Prapasak Jirasettapong (2012) ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวทางในการจัดลำดับความสำคัญของกระบวนการและเลือกพารามิเตอร์ในการใช้แผนภูมิควบคุม โดยพิจารณาจากพารามิเตอร์ในขั้นสุดท้ายไปสู่การควบคุมกระบวนการเริ่มต้น โดยได้แบ่งประเภทของพารามิเตอร์ตามมาตรฐาน IPC-9191 โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ พารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย (Final Product Parameter หรือ FPP) พารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิต (In-process Product Parameter หรือ IPP) และพารามิเตอร์ของกระบวนการ (Process Parameter หรือ PP) ซึ่งการควบคุมผ่านพารามิเตอร์ของกระบวนการนั้นเป็นการควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยได้กำหนดขั้นตอนในการจัดลำดับความสำคัญและเลือกพารามิเตอร์ดังนี้คือ

1. จัดลำดับความสำคัญของ FPP โดยการกำหนดค่าวิกฤติเชิงเทคนิค โดยการแบ่งค่าออกเป็น 5 ระดับ จาก 1 ถึง 5 และการกำหนดค่าความวิกฤตเชิงสถิติจากระดับของดัชนีวัดความสามารถกระบวนการคือค่า Z-Score หรือสัดส่วนของเสียที่เกิดจากพารามิเตอร์นั้น ๆ ในหน่วย DPPM (Defect part per million) และนำคะแนนมารวมกันเพื่อจัดลำดับของ FPP

2. จัดลำดับของกระบวนการในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์แต่ละประเภท ในส่วนนี้จะใช้แผนผังเมทริกซ์มาใช้พิจารณาความสัมพันธ์ของ FPP กับกระบวนการ

ซึ่งการพิจารณาอาจเลือกจากการมุ่งเน้นทีละพารามิเตอร์ คือ FPP ที่มีระดับความสำคัญสูงที่สุด และพิจารณาเลือกกระบวนการที่มีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์นั้นมากเป็นอันดับแรก หรือ การมุ่งเน้นที่กระบวนการ คือพิจารณากระบวนการที่มีคะแนนสูงก่อน ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งาน

3. ศึกษากระบวนการเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์แต่ละประเภท ในขั้นตอนนี้คือการศึกษากระบวนการและการหาความสัมพันธ์ระหว่าง FPP กับ IPP และ PP โดยการศึกษาระหว่างสาเหตุและผลลัพธ์ ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีเช่น การวิเคราะห์ความล้มเหลว (Failure analysis) การใช้แผนภูมิสาเหตุและผลลัพธ์ (Cause and effect diagram) การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) การออกแบบการทดลอง (DOE) เป็นต้น

4. เลือกพารามิเตอร์ในการใช้งานแผนภูมิควบคุม

- ใช้แผนภูมิควบคุม FPP หากไม่สามารถระบุความสัมพันธ์ในเชิงสาเหตุและผลลัพธ์ระหว่าง FPP กับ IPP หรือ PP
- ใช้แผนภูมิควบคุม IPP หรือ PP ควบคู่ไปกับ FPP หากสามารถระบุความสัมพันธ์ในเชิงสาเหตุและผลลัพธ์ระหว่าง FPP กับ IPP หรือ PP ได้
- ยกเลิกการใช้แผนภูมิควบคุม FPP ได้ หากการควบคุมสามารถทดแทนได้ด้วยการควบคุม IPP หรือ PP
- ยกเลิกการใช้แผนภูมิควบคุม IPP ได้ หากการควบคุมสามารถทดแทนได้ด้วยการควบคุม PP

ผานิต โอฬารรัตน์มณี (2543) เสนอแนวทางในการออกแบบพารามิเตอร์สำหรับแผนภูมิควบคุม โดยกำหนดสิ่งที่ต้องการควบคุมจากการกำหนดลักษณะคุณภาพ (Quality characteristics) ซึ่งมีขั้นตอนในการเลือกลักษณะคุณภาพที่สำคัญที่สุด ดังนี้คือ

- การพิจารณาเพื่อกำหนดคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ โดยมีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น อาจทำให้คุณสมบัติไม่เป็นไปตามข้อกำหนด หรือมีคุณภาพลดลง
- การแปรคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในรูปลักษณะคุณภาพ คือการแบ่งออกเป็นลักษณะคุณภาพเกี่ยวกับปริมาณ (Quantitative) ซึ่งเป็นลักษณะทางคุณภาพที่สามารถวัดค่าได้โดยตรงและวัดได้ง่าย หรือลักษณะทางคุณภาพที่ต้องตรวจสอบโครงสร้างภายใน และลักษณะคุณภาพที่ปรากฏหรือแสดงออก (Sensory) เป็นลักษณะคุณภาพที่ใช้ประสาทสัมผัสทั้ง 5 คือ ตา

หู จมูก ลิ้น ร่างกาย มาประเมินผลในการยอมรับ หรือไม่ยอมรับ คุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้น เช่น สี ตำหนิ รูปร่าง ความหยาบ รส กลิ่น ความกังวาน เป็นต้น

- การจัดลำดับความสำคัญของลักษณะคุณภาพ โดยพิจารณาว่าหากลักษณะคุณภาพมีความสำคัญหลายชนิด จะต้องจัดลำดับความสำคัญจากมากที่สุดไปหาน้อยที่สุด เพื่อช่วยกำหนดสิ่งที่ต้องการควบคุม ซึ่งลักษณะที่คัดเลือกมานั้นต้องมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และพิจารณาค่าของลักษณะคุณภาพนั้นว่าเป็นการควบคุมทางด้านผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการ ซึ่งหากค่าที่ได้เป็นด้านกระบวนการ จะใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยแผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram) เพื่อพิจารณาพารามิเตอร์ของกระบวนการว่ามีความสัมพันธ์ร่วมกันกับลักษณะคุณภาพอย่างไร จากนั้นก็กำหนดหน่วยการวัดสำหรับลักษณะคุณภาพนั้น ๆ

- การกำหนดหน่วยในการวัด ขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของวิศวกรหรือผู้ผลิตว่าควรจะเลือกวิธีใด คือหน่วยวัดจากการวัดด้วยตัวแปร หรือหน่วยวัดจากการวัดด้วยคุณลักษณะ

- เงื่อนไขในการนำแผนภูมิควบคุมมาใช้ ควรทำการตรวจสอบข้อมูลว่ามีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ หรือข้อมูลอื่น ๆ ที่สามารถจะประมาณได้โดยการแจกแจงปกติ เงื่อนไขและเกณฑ์ในการเลือกใช้แผนภูมิชนิดแปรผัน คือความสามารถในการเก็บจำนวนตัวอย่างที่มากกว่า 1 ตัวอย่างและน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 ตัวอย่าง ควรเลือกใช้แผนภูมิ $\bar{X}$ และ R และ หากความสามารถในการเก็บจำนวนตัวอย่างมีค่ามากกว่า 10 ตัวอย่างควรเลือกใช้แผนภูมิ $\bar{X}$ และ S หากความสามารถในการเก็บจำนวนตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 1 ตัวอย่างควรเลือกใช้แผนภูมิ X-MR เงื่อนไขและเกณฑ์ในการเลือกใช้แผนภูมิตามลักษณะ คือ การควบคุมชิ้นงานที่เสีย ใช้แผนภูมิ p สนใจควบคุมจำนวนข้อบกพร่อง ใช้แผนภูมิ c

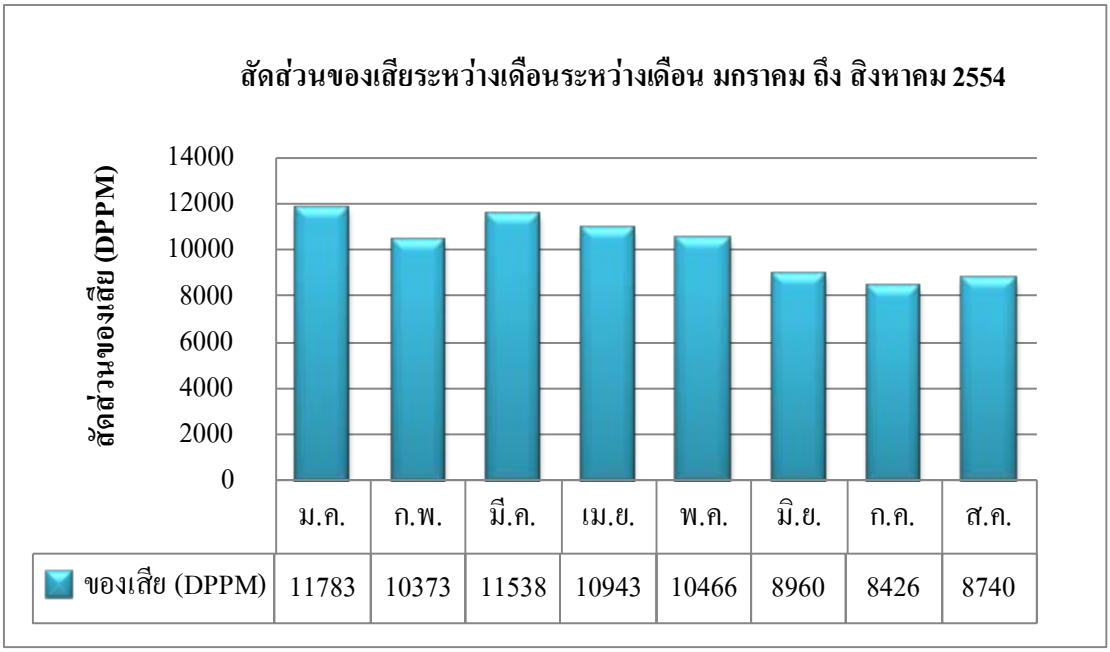
จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าการประยุกต์ใช้การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (SPC) เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการที่จะช่วยให้กระบวนการอยู่ในการควบคุมและให้กระบวนการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเครื่องมือสำคัญที่ใช้คือแผนภูมิควบคุม (Control Charts) และมีแนวทางการประยุกต์ที่แตกต่างกัน แต่ส่วนใหญ่ได้ระบุเกณฑ์ในการเลือกใช้แผนภูมิควบคุมจากปัญหาของเสีย ซึ่งในความเป็นจริงสิ่งที่ไม่ปรากฏออกมาเป็นของเสีย แต่มีความแปรปรวนในกระบวนการสูง หรือมีผลต่อต้นทุนการผลิต หรือปัจจัยอื่น ๆ ก็ควรที่จะนำมาเป็นปัจจัยในการพิจารณาเลือกพารามิเตอร์และใช้แผนภูมิควบคุมในกระบวนการนั้น ๆ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะหาแนวทางหรือทางเลือกในการเลือกปัจจัยและกระบวนการที่จะนำมา

ประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม เพื่อให้การประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมนั้นมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับองค์กรมากที่สุด

บทที่ 3
การพัฒนาแนวทางสำหรับการเลือกพารามิเตอร์และกระบวนการเพื่อประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม

ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่ง ๆ ย่อมประกอบไปด้วยกระบวนการผลิตหลายขั้นตอน หากองค์กรต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (SPC) จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่องค์กรนำมาใช้ โดยเฉพาะเครื่องมือหลักคือแผนภูมิควบคุม (Control chart) หากสามารถควบคุมกระบวนการทั้งหมดได้ย่อมเป็นเรื่องที่ดี แต่ในความเป็นจริงด้วยข้อจำกัดเช่น ทรัพยากรคน หรือการลงทุน จึงไม่สามารถประยุกต์ใช้ได้ครบทุกกระบวนการ แต่การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (SPC) ยังมีความจำเป็นที่จะต้องประยุกต์ใช้ในบริษัทกรณีศึกษา เนื่องจากมีการร้องขอจากลูกค้าในการใช้ SPC มาควบคุมกระบวนการ เพื่อสร้างความเชื่อมั่นในกระบวนการผลิต และในการปฏิบัติงานจริง บริษัทมักจะมีปัญหาและข้อสงสัยที่พบเสมอคือ ควรเลือกกระบวนการและพารามิเตอร์ที่จะประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมอย่างไร ควรใช้แผนภูมิควบคุมประเภทใด ควรกำหนดความถี่ในการสุ่มและขนาดในการสุ่มตัวอย่างเท่าไร ควรมีการทบทวนแผนภูมิควบคุมอย่างไร และที่สำคัญคือทำแล้วคุ้มค่าและสมควรทำหรือไม่

เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทที่ทำการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ผลิตตามคำสั่งซื้อ และการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละตัวนั้น ส่วนใหญ่จะทำการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง เพราะผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์เช่นโทรศัพท์มือถือ หรืออุปกรณ์อื่น ๆ มักจะมีการเปลี่ยนรุ่นค่อนข้างเร็ว และชิ้นส่วนของบริษัทกรณีศึกษาก็มีการเปลี่ยนรุ่นเช่นกัน ดังนั้น การคิดสัดส่วนของเสียจึงคิดจากของเสียรวมทั้งหมดทุกผลิตภัณฑ์ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาสัดส่วนของเสียในช่วงเดือนมกราคม 2554 ถึงเดือน สิงหาคม 2554 เพื่อพิจารณาข้อมูลให้เป็นปัจจุบันก่อนที่จะดำเนินการทำวิจัย เพื่อการพิจารณาข้อมูลที่ถูกต้องตามความเป็นจริง พบว่ามีของเสียเกิดขึ้นซึ่งคิดในหน่วยส่วนในล้านส่วน (DPPM) ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างเดือนมกราคม 2554 ถึง สิงหาคม 2554

จะเห็นได้ว่าบริษัทกรณีศึกษามีสัดส่วนของเสียที่ลดลงหากเทียบกับเดือนมิถุนายน ถึง ตุลาคม 2553 ซึ่งแสดงในบทที่ 1 แต่ก็ยังมีสัดส่วนของเสียในปริมาณที่สูงเกินกว่าที่ลูกค้ากำหนด คือ 6,000 DPPM ซึ่งจะแสดงรายละเอียดถึงประเภทของเสียที่เกิดขึ้นในขั้นต่อไป

จากการศึกษาพบว่าบริษัทกรณีศึกษายังไม่มีการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติที่ชัดเจน ซึ่งเกิดจากปัญหาต่าง ๆ เช่น ขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติ โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติที่สำคัญคือแผนภูมิควบคุม (Control chart) และไม่มีการกำหนดหลักเกณฑ์การใช้งานที่ชัดเจน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะพัฒนาแนวทางสำหรับการควบคุมกระบวนการโดยใช้แผนภูมิควบคุมในกระบวนการผลิตแผ่นลายวงจรชนิดอ่อนในงานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนดังนี้คือ

ขั้นตอนที่ 1 การเลือกและจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ โดยการพิจารณาความวิกฤติเชิงเทคนิค และความวิกฤติเชิงต้นทุน

ขั้นตอนที่ 2 การจัดลำดับความสำคัญของกระบวนการจากการพิจารณาความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์โดยการประยุกต์ใช้แผนผังเมทริกซ์

ขั้นตอนที่ 3 การเลือกประเภทแผนภูมิควบคุม การกำหนดความถี่ในการสุ่มและขนาดในการสุ่มตัวอย่าง

ขั้นตอนที่ 4 การประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุมด้วยการเปรียบเทียบผลประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้แผนภูมิควบคุมกับค่าใช้จ่ายในการใช้แผนภูมิควบคุม โดยพิจารณาจากอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน

ขั้นตอนที่ 5 การกำหนดหลักเกณฑ์ในการทบทวนแผนภูมิควบคุม

3.1 การเลือกและจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์และกระบวนการในการใช้แผนภูมิควบคุม

พารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย (Final Product Parameter หรือ FPP) คือ ลักษณะเชิงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านขั้นตอนการผลิตออกมาเป็นชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว และมีคุณสมบัติตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า

ในงานวิจัยนี้ ได้แบ่ง FPP ตามประเภทของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ โดยในบริษัทกรณีศึกษา มีทั้งหมด 51 ประเภท โดยข้อบกพร่องประเภทที่ 1 จะแทนด้วย D1 จนถึงข้อบกพร่องประเภทที่ 51 จะแทนด้วย D51 โดยมีรายละเอียดดังนี้

D1 คือ เส้นลายวงจรขาดจากกัน

D2 คือ บางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกัน

D3 คือ บางส่วนของเส้นลายวงจรเว้าแหว่ง

D4 คือ บางส่วนของเส้นลายวงจรเป็นรูโหว่

D5 คือ บางส่วนของเส้นลายวงจรยื่นออกมา

D6 คือ เหลือเศษทองแดงอยู่ระหว่างเส้นลายวงจร

D7 คือ คราบสนิม

D8 คือ ความผิดปกติของขนาดเส้นลายวงจร

D9 คือ บางส่วนของเส้นลายวงจรถูกกัดด้วยน้ำยา

D10 คือ รอยขีดข่วนบนเส้นลายวงจร

D11 คือ เส้นลายวงจรลอกหรือหลุด

D12 คือ คราบสกปรก

D13 คือ การติด CL คลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนด

D14 คือ สิ่งแปลกปลอม

D15 คือ ฟองอากาศ

D16 คือ กาวไหลเยิ้ม

D17 คือ พื้นที่บางส่วนที่ต้องพิมพ์หมึกคลุมเป็นรู

D18 คือ เกิดเศษเสี้ยนของ CL

D19 คือ ความผิดปกติจากการเคลือบเส้นลายวงจร

D20 คือ ไม่มี Stiffener ตามที่กำหนด

D21 คือ การติด Stiffener คลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนด

D22 คือ ชิ้นงานบางส่วนมีรอยยุบหรือรอยบุ๋ม จากกระบวนการเคลือบเส้นลายวงจร

D23 คือ รอยยับ รอยย่น

D24 คือ หมึกพิมพ์คลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนด

D25 คือ หมึกพิมพ์แตกร้าว

D26 คือ หมึกพิมพ์หลุดลอกหรือเผยอจากทองแดง

D27 คือ ไม่มีการเคลือบผิวในพื้นที่ที่กำหนด

D28 คือ บริเวณเคลือบเป็นรูมองไม่เห็นทองแดง

D29 คือ น้ำยาจากการเคลือบผิวซึมเข้าไปใต้ CL

D30 คือ ค่าความหนาของการเคลือบผิวไม่ตรงตามที่กำหนด

D31 คือ ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับผิวเคลือบส่วนเปิดทองแดง

D32 คือ คราบสนิม

D33 คือ การติดกระดาษกาวคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนด

D34 คือ การติด Stiffener คลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนด

D35 คือ เกิดฟองอากาศระหว่างชิ้นงานกับ Stiffener

D36 คือ ชิ้นงานบางส่วนมีรอยยุบหรือรอยบุ๋ม

D37 คือ รอยขีดข่วนบนผิวหน้าของชิ้นงาน

D38 คือ ชิ้นงานบางส่วนมีเสี้ยน

D39 คือ รอยยับ

D40 คือ การเจาะหรือตัดชิ้นงานคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนด

D41 คือ ชิ้นงานบางส่วนมีรอยฉีกขาด

D42 คือ ความผิดปกติจากกระบวนการผลิตขั้นตอนสุดท้าย

D43 คือ กระดาษกาวหรือ Stiffener เผยอ ไม่ติดชิ้นงาน

D44 คือ สิ่งแปลกปลอมระหว่างชิ้นงานกับ Stiffener หรือ กาว

D45 คือ Stiffener แตกหรือร้าว

D46 คือ ไม่มีชิ้นส่วนติดครบตามกำหนด (No material)

D47 คือ การตัดเจาะชิ้นงานบางส่วนไม่สมบูรณ์

D48 คือ ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบริเวณผิวที่ถูกทำให้นูน

D49 คือ ข้อบกพร่องที่เกิดบริเวณ Metal Dome

D50 คือ คราบสกปรกบนผิวชิ้นงาน

D51 คือ ทำตัวอย่างคุณภาพ

3.1.1 การจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้ายโดยการพิจารณาความวิกฤติเชิงเทคนิคและความวิกฤติเชิงต้นทุน

การพิจารณาเลือกพารามิเตอร์ในขั้นสุดท้ายนั้น ได้มีแนวคิดเกี่ยวกับการจัดลำดับด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น Goh, Xie M., และ Xie W. (1998) Napassavong Rojanarowan และ Prapasak Jirasettapong (2012) ได้กำหนดรายละเอียดของการจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย โดยพิจารณาจาก 2 ปัจจัย คือ ความวิกฤติเชิงเทคนิค และ ความวิกฤติเชิงสถิติ โดยที่ความวิกฤติเชิงเทคนิค (Technical criticality) คือ ระดับความรุนแรงของของเสียที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ และความวิกฤติเชิงสถิติ (Statistical criticality) คือ การพิจารณาจากระดับของดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการคือค่า Z-Score หรือ พิจารณาจากระดับของสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นจากพารามิเตอร์นั้นๆ ในหน่วย DPPM (Defect part per million)

โดยในงานวิจัยนี้จะทำการจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ในขั้นสุดท้ายจากความวิกฤติเชิงเทคนิคและความวิกฤติเชิงต้นทุน ซึ่งมีความหมายดังนี้คือ

1. **ความวิกฤติเชิงเทคนิค (Technical criticality)** เป็นระดับความรุนแรงของของเสียที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดระดับความรุนแรงของข้อบกพร่องมาจากข้อกำหนดที่ใช้เป็นมาตรฐานการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา (Internal Standard) หรือสามารถพิจารณาได้จากข้อมูลอื่น ๆ เช่น ข้อกำหนดของลูกค้า ข้อมูลของข้อร้องเรียนจากลูกค้า หรือการพิจารณาโดยวิศวกร หรือ ผู้บริหารฝ่ายควบคุมคุณภาพ ในที่นี้ประกอบไปด้วย 3 ระดับคือ ระดับรุนแรงขั้นวิกฤติ หรือ Critical level ระดับสำคัญ หรือ Major level และระดับย่อย หรือ Minor levelโดยที่

Critical level หมายถึง ข้อบกพร่องที่รุนแรงขั้นวิกฤติ ไม่สามารถนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งานได้ ถ้านำไปใช้งานจะมีผลเสียกับผลิตภัณฑ์ของลูกค้า

Major level หมายถึง ข้อบกพร่องสำคัญที่อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถใช้งานได้หรืออาจนำไปใช้งานได้แต่การใช้งานไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า

Minor level หมายถึง ข้อบกพร่องย่อยที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ผิดไปจากเกณฑ์หรือข้อกำหนดเพียงเล็กน้อย เป็นสิ่งที่ปรากฏทางสายตา ดูแล้วไม่สวยงาม แต่สามารถนำไปใช้งานได้ และมีผลต่อประสิทธิผลในการใช้งานผลิตภัณฑ์นั้นน้อยมาก

ซึ่งข้อบกพร่องประเภทต่าง ๆ ในบริษัทกรณีศึกษา ได้แบ่งออกเป็นระดับต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.1 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ระดับความวิกฤติเชิงเทคนิคของข้อบกพร่องแต่ละประเภท

ประเภทข้อบกพร่อง	ความวิกฤติเชิงเทคนิค	ประเภทข้อบกพร่อง	ความวิกฤติเชิงเทคนิค
D1	Critical	D27	Major
D2	Critical	D28	Major
D3	Major	D29	Major
D4	Major	D30	Critical
D5	Major	D31	Major
D6	Major	D32	Minor
D7	Minor	D33	Minor
D8	Critical	D34	Minor
D9	Major	D35	Minor
D10	Major	D36	Minor
D11	Major	D37	Minor
D12	Minor	D38	Major
D13	Major	D39	Minor
D14	Major	D40	Critical
D15	Major	D41	Major
D16	Major	D42	Major
D17	Major	D43	Major
D18	Minor	D44	Minor
D19	Major	D45	Minor
D20	Major	D46	Major
D21	Major	D47	Major
D22	Minor	D48	Major
D23	Minor	D49	Major
D24	Major	D50	Minor
D25	Major	D51	Minor
D26	Major		

2. **ความวิกฤติเชิงต้นทุน** (Cost criticality) ในงานวิจัยนี้จะทำการพิจารณามูลค่าความสูญเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องแต่ละประเภทหรือพารามิเตอร์ในขั้นสุดท้าย ซึ่งเป็นการขยายความหมายของความวิกฤติเชิงสถิติ (Statistical criticality) ที่คิดจากสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นจากพารามิเตอร์นั้นๆ ในหน่วย DPPM (Defect part per million) เพราะหากพิจารณาจากปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นนั้น อาจจะมีข้อจำกัดสำหรับบางกรณีที่มีประเภทข้อบกพร่องหลายประเภท และแต่ละประเภทนั้นมีปริมาณของเสียที่ใกล้เคียงกัน หรือในบางกรณีที่ข้อบกพร่องประเภทนั้นเกิดของเสียขึ้นในปริมาณมาก แต่ก็อาจจะไม่ใช่พารามิเตอร์ที่ก่อให้เกิดมูลค่าความสูญเสียสูงที่สุด เนื่องจากมีต้นทุนความสูญเสียต่อหน่วยที่ต่ำกว่า

ดังนั้น การพิจารณาคัดเลือกหรือจัดลำดับพารามิเตอร์นั้น ควรใช้หลักการของการคิดมูลค่าความสูญเสียเพื่อใช้ในการตัดสินใจ โดยการคิดมูลค่าความสูญเสียของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นนั้นมาคิดเป็นมูลค่าความสูญเสียทั้งจากของเสียเอง และความสูญเสียที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ โดยการคำนวณนั้น จะคิดจากความสูญเสียของข้อบกพร่องแต่ละประเภท ซึ่งได้แบ่งการพิจารณาความวิกฤติเชิงต้นทุนออกเป็น 4 ส่วนดังนี้คือ

ส่วนที่ 1 มูลค่าความสูญเสียจากของเสีย (Reject) ซึ่งคิดมาจาก

มูลค่าความสูญเสียจากของเสีย (Reject) = จำนวนชิ้นของของเสียที่เกิดขึ้น x ราคาต้นทุนการผลิตต่อชิ้น

ส่วนที่ 2 มูลค่าความสูญเสียจากการตรวจงานซ้ำ (Rescreen) ส่วนใหญ่เหตุการณ์นี้มักจะเกิดจากการได้รับข้อร้องเรียนจากลูกค้า (Complain) ทำให้บริษัทต้องทำการตรวจสอบงานซ้ำก่อนส่งงานลอตใหม่ให้ลูกค้า หรือทำการตรวจสอบงานซ้ำจากงานที่ลูกค้าส่งกลับมา

มูลค่าความสูญเสียจากการตรวจงานซ้ำ (Rescreen) = เวลาที่ใช้ในการตรวจซ้ำ (ชม.) x จำนวนพนักงานที่ใช้ x ค่าแรงของพนักงาน (บาท/ชม.)

ส่วนที่ 3 มูลค่าความสูญเสียจากการซ่อมงาน (Rework)

มูลค่าความสูญเสียจากการซ่อมงาน (Rework) = เวลาที่ใช้ในการซ่อมงาน (ชม.) x จำนวนพนักงานที่ใช้ x ค่าแรงของพนักงาน (บาท/ชม.)

ส่วนที่ 4 มูลค่าความสูญเสียจากชิ้นงานไม่ตรงตามเป้าหมาย (Out of target)

ซึ่งข้อบกพร่องที่มีความสูญเสียประเภทนี้ คือ ข้อบกพร่องประเภทที่มีต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูงในกระบวนการนั้น ๆ ตัวอย่างเช่น ความสูญเสียที่เกิดจากต้นทุนวัตถุดิบที่ต้องเสียมากเกินไปจากการใช้ปริมาณวัตถุดิบเกินค่าเป้าหมาย เช่น การเคลือบผิวเชื่อมด้วยตะกั่ว หากมีการเคลือบผิวที่มีความหนาเกินเป้าหมาย นั่นหมายถึงปริมาณตะกั่วที่เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งหมายถึงต้นทุนของตะกั่วที่ต้องสูญเสียไป หรือ ความสูญเสียจากมูลค่าทองที่ใช้เคลือบผิวส่วนเปิดของทองแดง

(Gold Plating) จากความหนาที่เกินเป้าหมาย (Target) ซึ่งหมายถึงปริมาณของทองที่เสียไปและเกี่ยวข้องกับต้นทุนโดยตรง ซึ่งข้อบกพร่องประเภทเชื่อมผิวเชื่อมด้วยตะกั่วนี้จะผลิตอยู่ในส่วนของกระบวนการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ (SMT) ซึ่งไม่ได้อยู่ในขอบเขตของงานวิจัย ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จะคิดความสูญเสียในส่วนที่ 4 จากการคิดมูลค่าความสูญเสียจากมูลค่าทองที่ใช้เคลือบผิวส่วนเปิดของทองแดง จากความหนาที่เกินเป้าหมายออกมาเป็นตัวเงิน

และข้อบกพร่องที่ไม่มีความสูญเสียในส่วนที่ 4 นี้คือ ข้อบกพร่องประเภทที่ไม่ได้มีการใช้วัตถุดิบเพิ่มเติมเข้าไปอย่างประเภทแรก เช่น ตะกั่ว หรือ ทอง ยกตัวอย่างข้อบกพร่องเช่น เส้นลายวงจรขาดจากกัน บางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกัน บางส่วนของเส้นลายวงจรเว้าแหว่ง รอยขีดข่วนบนผิวหน้าของชิ้นงาน การตัดชิ้นงานไม่ตรงกับที่กำหนด หรือ รอยยับ เป็นต้น ประเภทของข้อบกพร่องต่าง ๆ เหล่านี้ ไม่ได้มีการใช้วัตถุดิบอื่นเติมลงไป มีเพียงส่วนที่เป็นวัตถุดิบหลัก ๆ เท่านั้นที่เกิดความเสียหาย ซึ่งอาจจะเกิดจากทองแดง (Copper Clad Laminate) หรือ แผ่นเคลือบผิว (Cover Lay) เท่านั้น ข้อบกพร่องประเภทนี้ หากเกิดขึ้น ก็จะมีความสูญเสียเฉพาะอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือจากทั้งหมดของความสูญเสีย 3 ส่วนแรกเท่านั้น คือ ของเสีย (Reject) การตรวจงานซ้ำ (Rescreen) หรือ การซ่อมงาน (Rework) และหากข้อบกพร่องเหล่านี้เกิดขึ้น เช่น การตัดชิ้นงานไม่ตรงกับที่กำหนด หากกำหนดเป้าหมายของระยะของเส้นขอบผลิตภัณฑ์กับเส้นลายวงจรไว้ที่ระยะ 0.1 เซ็นติเมตรขึ้นไป หากตัดชิ้นงานได้ระยะมากกว่า 0.1 เซ็นติเมตร ก็ไม่ได้เกิดผลเสียใด ๆ ต่อต้นทุนต่อหน่วยของของเสียประเภทนี้ เพราะถึงแม้ว่าจะตัดชิ้นงานได้มากกว่า 0.1 เซ็นติเมตร ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ลูกค้ายอมรับ ไม่เกิดเป็นของเสีย (Reject) ไม่มีการตรวจงานซ้ำ (Rescreen) หรือ ไม่มีการซ่อมงาน (Rework) และไม่มีความสูญเสียจากชิ้นงานไม่ตรงตามเป้าหมาย (Out of target) เนื่องจากกระบวนการตัดชิ้นงาน ไม่ต้องใช้วัตถุดิบอื่นเติมลงไปเพื่อเป็นการเพิ่มต้นทุนของกระบวนการนี้ ซึ่งจะเห็นได้ว่า จะมีความต่างกับข้อบกพร่องประเภทเคลือบผิวหน้าด้วยตะกั่ว หรือเคลือบผิวหน้าด้วยทอง เป็นต้น

เมื่อทำการพิจารณาผลรวมของมูลค่าความสูญเสียเฉลี่ยทั้ง 4 ส่วน เป็นมูลค่าความสูญเสียรวมหรือต้นทุนรวม (Total cost) จากข้อบกพร่องแต่ละประเภทจากเดือน มกราคม 2554 ถึงเดือน สิงหาคม 2554

ตารางที่ 3.2 มูลค่าความสูญเสียเฉลี่ยจากข้อบกพร่องแต่ละประเภทต่อเดือน (บาท)

ประเภทข้อบกพร่อง	มูลค่าความสูญเสียจากของเสีย (Reject)	มูลค่าความสูญเสียจากการตรวจงานซ้ำ (Rescreen)	มูลค่าความสูญเสียจากการซ่อมงาน (Rework)	มูลค่าความสูญเสียจากชิ้นงานไม่ตรงตามเป้าหมาย(Out of target)	มูลค่าความสูญเสียรวม (Total cost)
D1	98,469	425	0	0	98,894
D2	68,889	1,174	0	0	70,063
D3	66,249	0	0	0	66,249
D4	25,294	0	0	0	25,294
D5	6,478	0	0	0	6,478
D6	4,688	64	0	0	4,752
D7	16,455	4,560	0	0	21,015
D8	16,350	4,246	0	0	20,597
D9	35,003	3,758	0	0	38,761
D10	4,905	0	0	0	4,905
D11	7,068	69	0	0	7,137
D12	12,132	0	0	0	12,132
D13	12,405	1,004	0	0	13,409
D14	39,299	490	0	0	39,789
D15	9,984	1,498	0	0	11,482
D16	9,077	0	0	0	9,077
D17	3,073	0	0	0	3,073
D18	1,205	603	0	0	1,807
D19	45,828	1,210	0	0	47,038
D20	240	0	0	0	240
D21	641	1,861	0	0	2,502
D22	51,629	0	1,210	0	52,839
D23	41,597	83	1,815	0	43,495
D24	117	124	0	0	241
D25	8	0	0	0	8
D26	5	0	0	0	5
D27	2,347	4,528	0	0	6,875
D28	39,668	0	0	0	39,668
D29	61	1,171	0	0	1,232
D30	3,349	0	0	2,024,207	2,027,556

ตารางที่ 3.2 (ต่อ) มูลค่าความสูญเสียเฉลี่ยจากข้อบกพร่องแต่ละประเภทต่อเดือน (บาท)

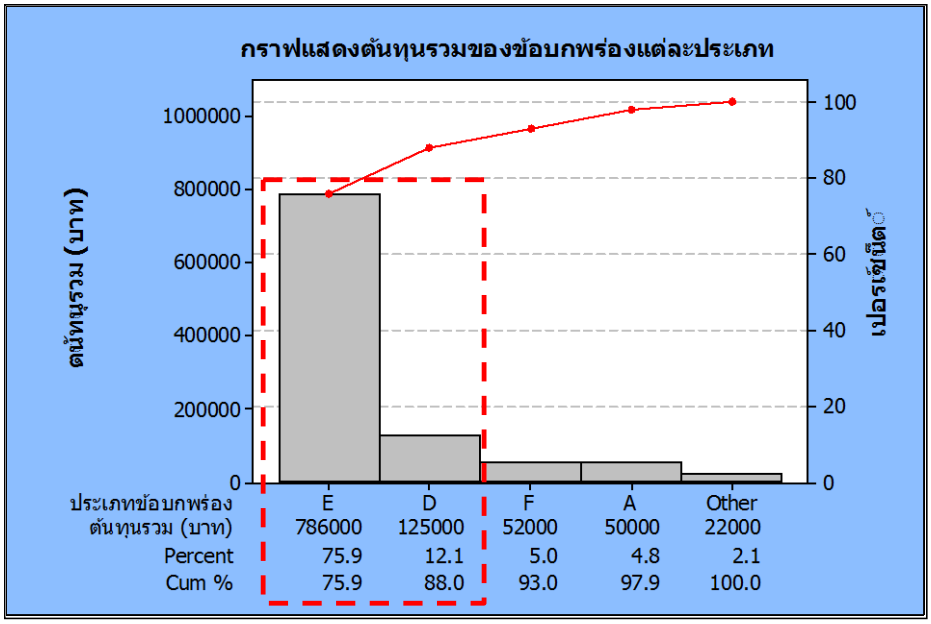
ประเภทข้อบกพร่อง	มูลค่าความสูญเสียจากของเสีย (Reject)	มูลค่าความสูญเสียจากการตรวจงานซ้ำ (Rescreen)	มูลค่าความสูญเสียจากการซ่อมงาน (Rework)	มูลค่าความสูญเสียจากชิ้นงานไม่ตรงตามเป้าหมาย(Out of target)	มูลค่าความสูญเสียรวม (Total cost)
D31	32,764	1,708	0	0	34,472
D32	19,822	0	0	0	19,822
D33	360	0	0	0	360
D34	9,685	2,558	0	0	12,243
D35	11,243	7,838	0	0	19,080
D36	73,262	0	0	0	73,262
D37	18,594	0	0	0	18,594
D38	1,942	0	0	0	1,942
D39	7,638	0	0	0	7,638
D40	388,927	22,396	0	0	411,323
D41	10,115	14	0	0	10,129
D42	20444	701	0	0	21,146
D43	4,149	1,955	0	0	6,104
D44	35,474	7,628	0	0	43,102
D45	2,476	408	0	0	2,884
D46	4,699	2,218	0	0	6,917
D47	425	1,969	0	0	2,394
D48	10	0	0	0	10
D49	1,660	0	0	0	1,660
D50	3,926	0	0	0	3,926
D51	1,647	0	0	0	1,647

จากตารางที่ 3.1 และ ตารางที่ 3.2 แสดงถึงความวิกฤติเชิงเทคนิคและความวิกฤติเชิงต้นทุนของข้อบกพร่องแต่ละประเภท ซึ่งจะเห็นได้ว่า ความวิกฤติทั้งสองด้านนี้มีความสำคัญทั้งกับฟังก์ชันการทำงานของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อลูกค้าและมีความสำคัญกับผู้ผลิตคือในเรื่องของต้นทุนที่เกิดขึ้นกับของเสียแต่ละประเภท

ซึ่งการพิจารณาเลือกพารามิเตอร์ขั้นสุดท้ายนั้น ในงานวิจัยนี้ มีวิธีการพิจาณาเลือก 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 การพิจารณาตามความวิกฤติเชิงต้นทุน (Cost criticality) **เป็นหลัก** คือคิดตามมูลค่าความสูญเสียรวมหรือต้นทุนรวม (Total cost) กล่าวคือ พิจารณาเลือกประเภทของ

พารามิเตอร์ที่ก่อให้เกิดต้นทุนรวมที่ 80 เปอร์เซ็นต์ และ พิจารณาตามความวิกฤติเชิงเทคนิคในระดับ Critical ทั้งหมดที่ไม่ได้อยู่ในส่วนของ 80 เปอร์เซ็นต์นั้นมาพิจารณาเช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น โรงงาน A มีประเภทข้อบกพร่องทั้งหมด 6 ประเภท คือ ประเภท A B C D E และ F โดยมีต้นทุนรวมตามลำดับดังนี้คือ 50,000 บาท 15,000 บาท 7,000 บาท 125,000 บาท 786,000 บาท และ 52,000 บาท และมีระดับความวิกฤติเชิงเทคนิคตามลำดับดังนี้ คือ ระดับ Major Critical Minor Critical Major และ Minor เป็นต้น เมื่อนำข้อมูลมาเรียงลำดับตามต้นทุนรวมเป็นกราฟพาเรโตนั้น จะได้ผลดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 แสดงตัวอย่างการพิจารณาตามต้นทุนรวมเป็นหลัก

จากภาพจะพบว่าข้อบกพร่องประเภท E และ D มีเปอร์เซ็นต์ของต้นทุนรวมที่ 80 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป คือมีเปอร์เซ็นต์ของต้นทุนรวมอยู่ที่ 88 เปอร์เซ็นต์ แต่หากพิจารณาตามวิธีที่ 1 จะพบว่า ยังมีของเสียอีก 1 ประเภทที่ต้องนำมาพิจารณาด้วยคือ ของเสียประเภท B เนื่องจากมีระดับความวิกฤติเชิงเทคนิคในระดับ Critical ถึงแม้ว่าของเสียประเภท B ไม่ได้อยู่ในส่วนของต้นทุนรวม 80 เปอร์เซ็นต์

วิธีที่ 2 การพิจารณาตามความวิกฤติเชิงเทคนิค (Technical criticality) **เป็นหลัก** กล่าวคือ พิจารณาตามระดับความวิกฤติเชิงเทคนิค เรียงลำดับจากระดับ Critical ไประดับ Major และสุดท้ายคือระดับ Minor และพิจารณามูลค่าความสูญเสียรวมเรียงลำดับจากมากไปน้อย ตามแต่ละระดับของความวิกฤติเชิงเทคนิคนั้น ๆ เนื่องจากความวิกฤติเชิงเทคนิคนั้น มี

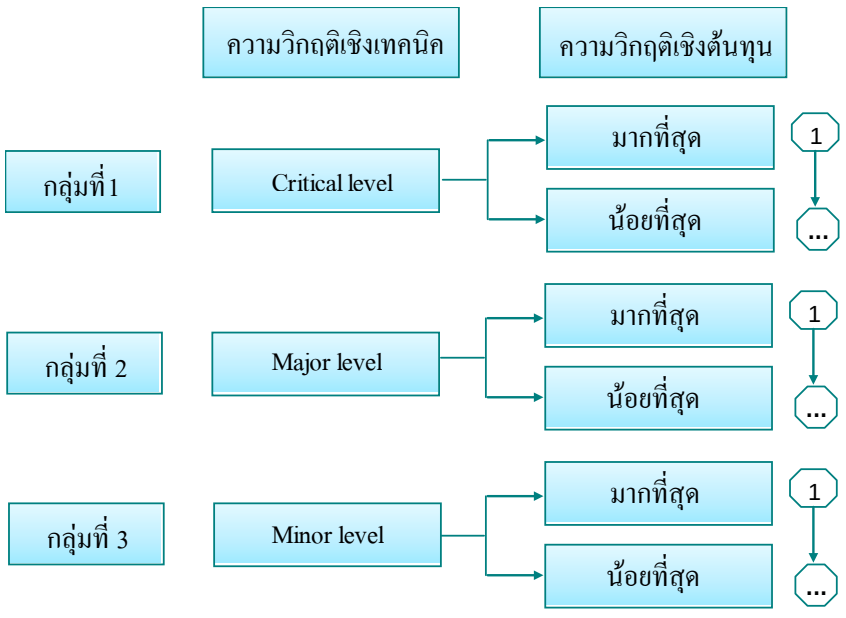
ผลกระทบต่อฟังก์ชันการทำงานและส่งผลต่อลูกค้าเป็นอย่างมาก เพราะมีบางกรณีที่เกิดของเสียที่มีความวิกฤติเชิงเทคนิคระดับ Critical ส่งไปถึงลูกค้า และหากลูกค้าตรวจไม่พบและนำชิ้นส่วนนั้นไปประกอบเป็นสินค้าออกจำหน่าย จะเกิดความเสียหายเป็นอย่างมากและส่งผลต่อภาพลักษณ์ของสินค้ายี่ห้อนั้น ๆ หากเกิดกรณีเช่นนี้ขึ้น ลูกค้าจะระงับการสั่งซื้อผลิตภัณฑ์นั้นจากบริษัทกรณีศึกษา (Stop order) หรือระงับการสั่งซื้อทั้งหมดทุกรุ่น (All series) ซึ่งจะเกิดผลเสียกับบริษัทอย่างมาก หรือหากไม่ระงับการสั่งซื้อ ลูกค้ามักจะสั่งให้ทำการตรวจสอบซ้ำ (Rescreen) อย่างน้อย 100 เปอร์เซ็นต์ หรือ 200 เปอร์เซ็นต์ คือทำการตรวจคุณภาพชิ้นงานซ้ำอย่างน้อย 1 รอบ หรือ 2 รอบก่อนที่จะส่งงานให้ลูกค้า เพื่อสร้างความมั่นใจว่าข้อบกพร่องประเภทนั้นจะไม่หลุดไปยังลูกค้าอีก ซึ่งสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ส่งผลกระทบต่อต้นทุนและกำไรของบริษัทเป็นอย่างมาก ซึ่งเป็นเหตุผลว่า เหตุใดจึงควรพิจารณาที่ความวิกฤติเชิงเทคนิคเป็นลำดับแรก สามารถพิจารณาตามลำดับก่อนหลังดังนี้คือ

กลุ่มที่ 1 พิจารณาจากความวิกฤติเชิงเทคนิคที่อยู่ในระดับ Critical และความวิกฤติเชิงต้นทุนเป็นลำดับจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด

กลุ่มที่ 2 พิจารณาจากความวิกฤติเชิงเทคนิคที่อยู่ในระดับ Major และความวิกฤติเชิงต้นทุนเป็นลำดับจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด

กลุ่มที่ 3 พิจารณาจากความวิกฤติเชิงเทคนิคที่อยู่ในระดับ Minor และความวิกฤติเชิงต้นทุนเป็นลำดับจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด

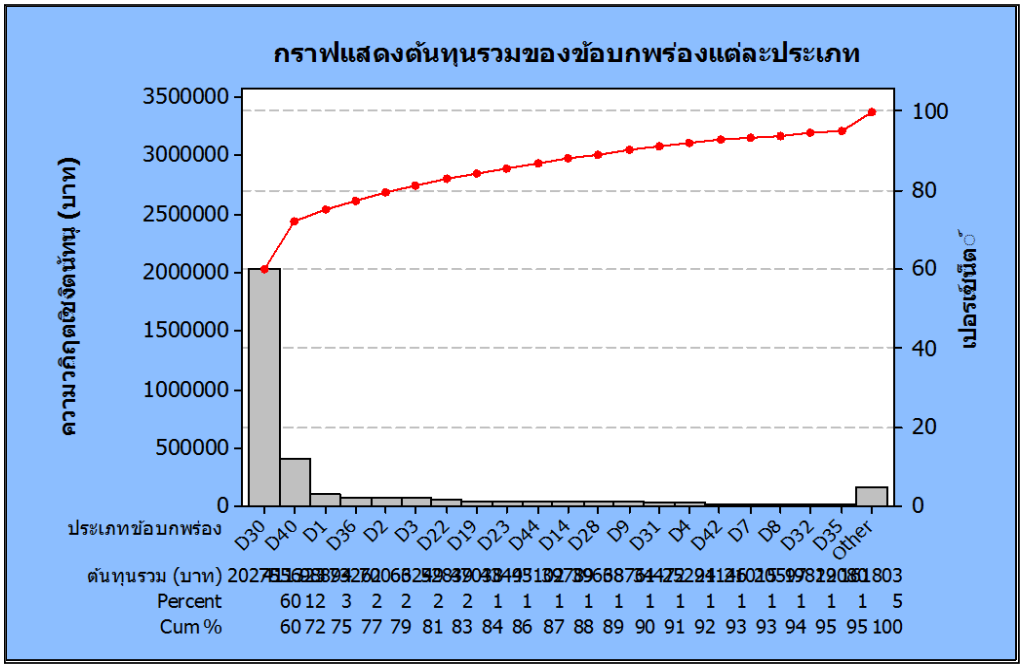
โดยการจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ได้แสดงในภาพที่ 3.3 ดังนี้คือ



ภาพที่ 3.3 การจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้ายโดยใช้ความวิกฤติเชิงเทคนิคและความวิกฤติเชิงต้นทุน

จากหลักการของวิธีการที่ 1 และ วิธีการที่ 2 เมื่อนำมาใช้กับข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษา สามารถพิจารณาพารามิเตอร์ขั้นสุดท้ายได้ดังนี้ คือ

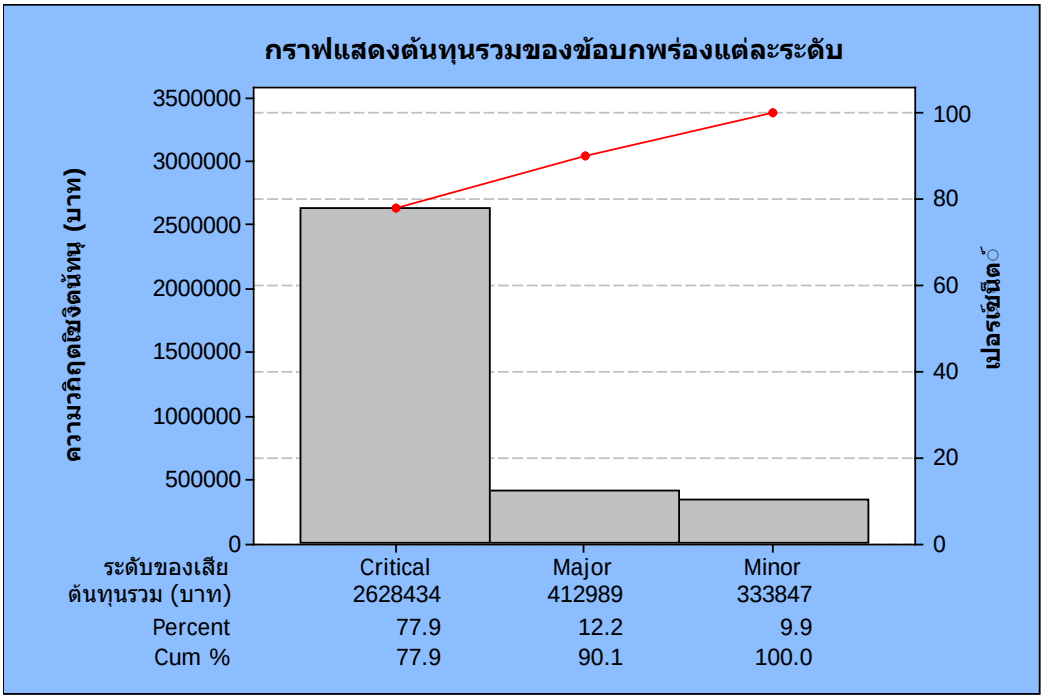
วิธีที่ 1 การพิจารณาตามความวิกฤติเชิงต้นทุน (Cost criticality) เป็นหลัก คือคิดตามมูลค่าความสูญเสียรวมหรือต้นทุนรวม (Total cost) และจากข้อมูลในตารางที่ 3.2 เมื่อเรียงลำดับต้นทุนรวมเป็นลำดับจากมากไปน้อยสามารถเรียงลำดับได้ตามภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 กราฟแสดงต้นทุนรวมของข้อบกพร่องแต่ละประเภท

จากภาพจะเห็นได้ว่าข้อบกพร่องที่ทำให้เกิดต้นทุนรวมเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ ประกอบไปด้วยข้อบกพร่องทั้งหมด 6 ประเภทตามลำดับดังนี้คือ D30 D40 D1 D36 D2 และ D3 และบริษัทกรณีศึกษาต้องทำการเพิ่มพารามิเตอร์ที่มีความวิกฤติเชิงเทคนิคระดับ Critical เข้าไปด้วย ถึงแม้ว่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เหล่านี้ไม่ได้อยู่ในส่วนของต้นทุนรวม 80 เปอร์เซ็นต์ก็ตาม เพราะส่งผลกระทบโดยตรงกับบริษัทและลูกค้า ซึ่งประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ อีก 1 ประเภท คือ D8 ดังนั้น พารามิเตอร์ที่บริษัทกรณีศึกษาต้องทำการศึกษามีทั้งหมด 7 ประเภท จากข้อบกพร่องทั้งหมด 51 ประเภท

และเมื่อทำการรวมต้นทุนรวมของข้อบกพร่องทุกประเภท โดยแยกเป็นระดับ Critical ระดับ Major และระดับ Minor นั้น สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.5 ดังนี้



ภาพที่ 3.5 กราฟแสดงต้นทุนรวมของข้อบกพร่องทุกประเภทของระดับ Critical, Major และ Minor

จากภาพที่ 3.5 จะเห็นได้ว่าต้นทุนรวมของข้อบกพร่องทุกประเภทในระดับ Critical มีต้นทุนรวมสูงที่สุดเมื่อเทียบกับระดับ Major และ Minor ซึ่งมีต้นทุนรวมถึง 77.9 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งข้อมูลนี้แสดงให้เห็นได้ว่าของเสียระดับ Critical ของบริษัทกรณีศึกษา ไม่ได้มีผลต่อความวิกฤติเชิงเทคนิคเท่านั้น แต่ยังส่งผลถึงความวิกฤติเชิงต้นทุนในระดับสูงด้วยเช่นเดียวกัน

ในการเลือกพารามิเตอร์ในการที่จะประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมนี้ อาจให้ผู้บริหารหรือผู้ที่เกี่ยวข้องทำการพิจารณาเลือกว่าจะทำมากหรือน้อยเพียงใด เพราะหากจะพิจารณาเรียงลำดับจาก ทุกพารามิเตอร์ในต้นทุนรวม 80 % และทุกพารามิเตอร์ที่มีความวิกฤติเชิงเทคนิคในระดับ Critical ก็สามารถทำได้ ขึ้นอยู่กับความสามารถหรือความเพียงพอของทรัพยากรต่าง ๆ ในหน่วยงานนั้น ๆ

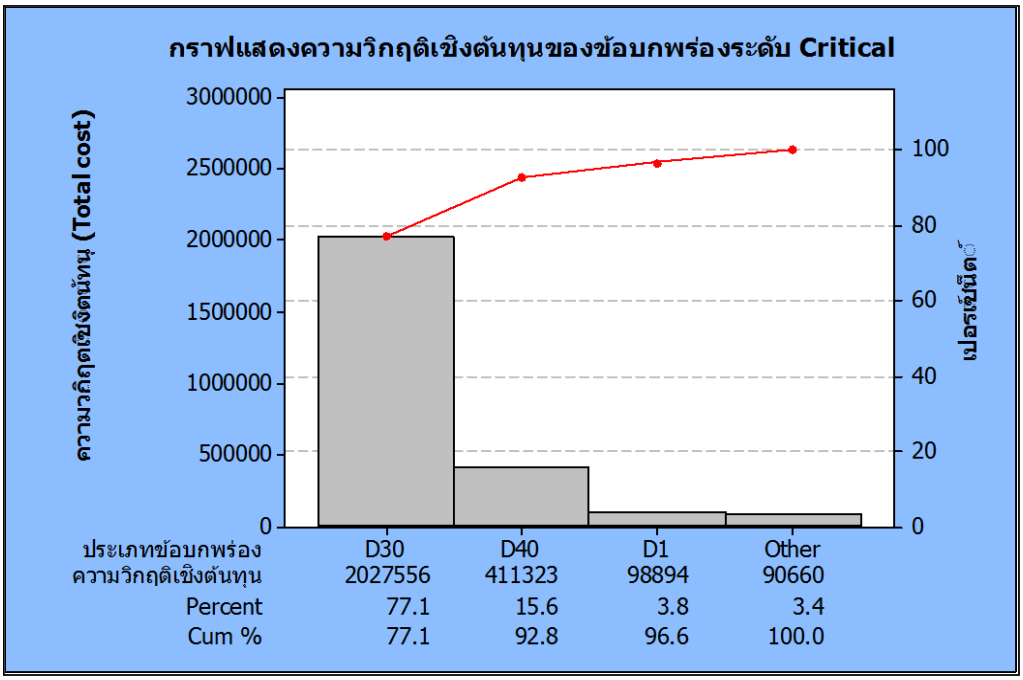
วิธีที่ 2 การพิจารณาตามความวิกฤติเชิงเทคนิค (Technical criticality) เป็นหลักสามารถแสดงลำดับความสำคัญของข้อบกพร่องแต่ละประเภทหรือพารามิเตอร์ในขั้นสุดท้ายของบริษัทกรณีศึกษาออกได้เป็นกลุ่มที่ 1 ถึง กลุ่มที่ 3 ดังนี้

กลุ่มที่ 1 พิจารณาจากความวิกฤติเชิงเทคนิคที่อยู่ในระดับ Critical และความวิกฤติเชิงต้นทุนเป็นลำดับจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด ตามตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3.3 การจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ตามความวิกฤติเชิงเทคนิคที่อยู่ในระดับ Critical และความวิกฤติเชิงต้นทุน

ลำดับที่	ประเภทข้อบกพร่อง	ความวิกฤติเชิงเทคนิค	ความวิกฤติเชิงต้นทุน
1	D1	Critical	98,894
2	D2	Critical	70,063
3	D8	Critical	20,597
4	D30	Critical	2,027,556
5	D40	Critical	411,323

การจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ สามารถแสดงการจัดลำดับด้วยกราฟได้ดังภาพที่ 3.6 ดังนี้



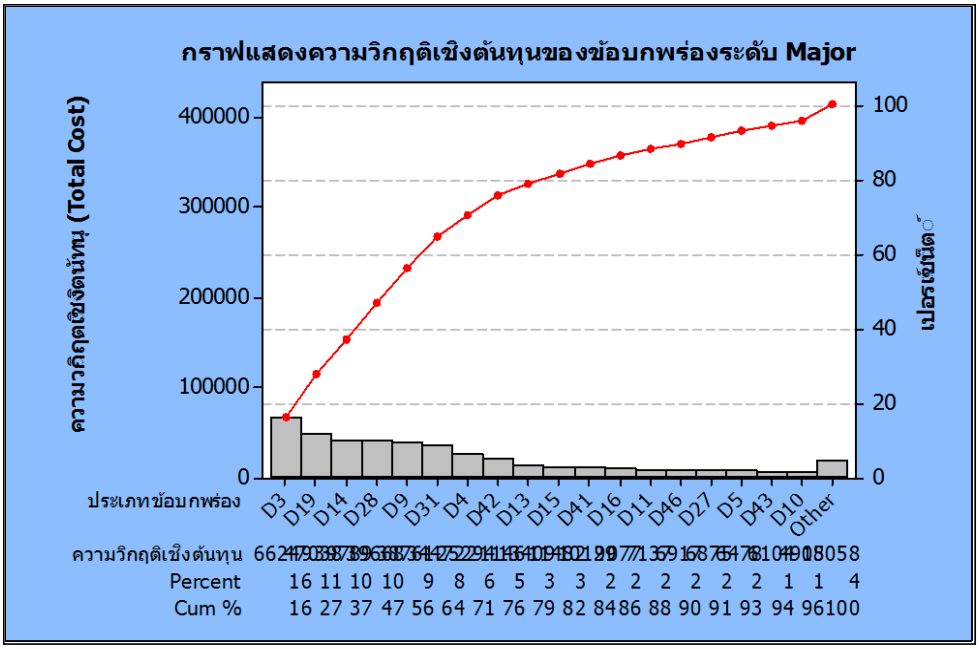
ภาพที่ 3.6 จัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ตามความวิกฤติเชิงเทคนิคที่อยู่ในระดับ Critical และความวิกฤติเชิงต้นทุน

กลุ่มที่ 2 พิจารณาจากความวิกฤติเชิงเทคนิคที่อยู่ในระดับ Major และความวิกฤติเชิงต้นทุนเป็นลำดับจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด ตามตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ตามความวิกฤติเชิงเทคนิคที่อยู่ในระดับ Major และความวิกฤติเชิงต้นทุน

ลำดับที่	ประเภทข้อบกพร่อง	ความวิกฤติเชิงเทคนิค	ความวิกฤติเชิงต้นทุน
1	D3	Major	66,249
2	D4	Major	25,294
3	D5	Major	6,478
4	D6	Major	4,752
5	D9	Major	38,761
6	D10	Major	4,905
7	D11	Major	7,137
8	D13	Major	13,409
9	D14	Major	39,789
10	D15	Major	11,482
11	D16	Major	9,077
12	D17	Major	3,073
13	D19	Major	47,038
14	D20	Major	240
15	D21	Major	2,502
16	D24	Major	241
17	D25	Major	8
18	D26	Major	5
19	D27	Major	6,875
20	D28	Major	39,668
21	D29	Major	1,232
22	D31	Major	34,472
23	D38	Major	1,942
24	D41	Major	10,129
25	D42	Major	21,146
26	D43	Major	6,104
27	D46	Major	6,917
28	D47	Major	2,394
29	D48	Major	10
30	D49	Major	1,660

การจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ สามารถแสดงการจัดลำดับด้วยกราฟได้ดังภาพที่ 3.7 ดังนี้



ภาพที่ 3.7 จัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ตามความวิกฤติเชิงเทคนิคที่อยู่ในระดับ Major และความวิกฤติเชิงต้นทุน

กลุ่มที่ 3 พิจารณาจากความวิกฤติเชิงเทคนิคที่อยู่ในระดับ Minor และความวิกฤติเชิงต้นทุนเป็นลำดับจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด ตามตารางที่ 3.5

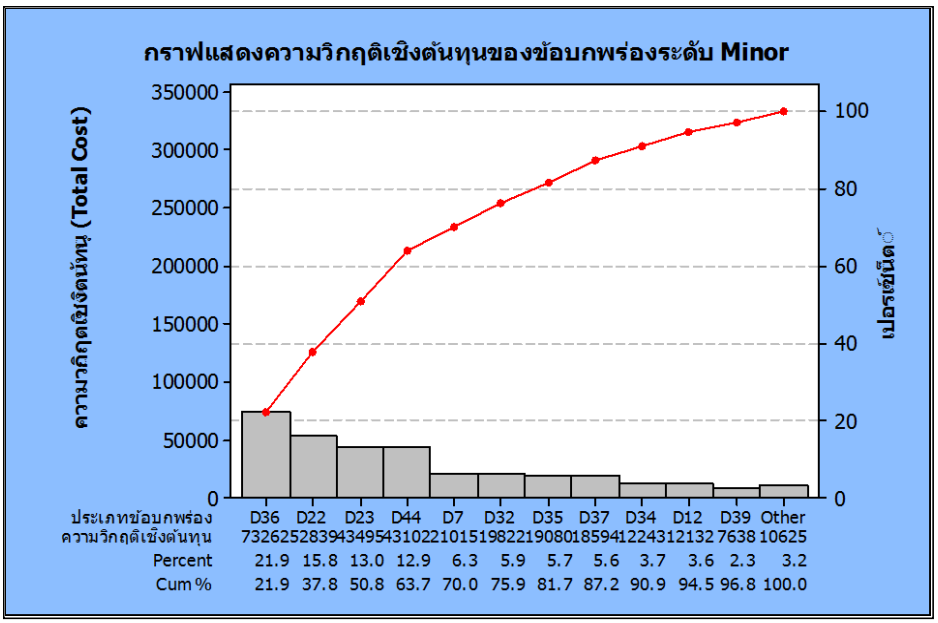
ตารางที่ 3.5 การจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ตามความวิกฤติเชิงเทคนิคที่อยู่ในระดับ Minor และความวิกฤติเชิงต้นทุน

ลำดับที่	ประเภทข้อบกพร่อง	ความวิกฤติเชิงเทคนิค	ความวิกฤติเชิงต้นทุน
1	D7	Minor	21,015
2	D12	Minor	12,132
3	D18	Minor	1,807
4	D22	Minor	52,839
5	D23	Minor	43,495
6	D32	Minor	19,822
7	D33	Minor	360

ตารางที่ 3.5 (ต่อ) การจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ตามความวิกฤติเชิงเทคนิคที่อยู่ในระดับ Minor และความวิกฤติเชิงต้นทุน

ลำดับที่	ประเภทข้อบกพร่อง	ความวิกฤติเชิงเทคนิค	ความวิกฤติเชิงต้นทุน
8	D34	Minor	12,243
9	D35	Minor	19,080
10	D36	Minor	73,262
11	D37	Minor	18,594
12	D39	Minor	7,638
13	D44	Minor	43,102
14	D45	Minor	2,884
15	D50	Minor	3,926
16	D51	Minor	1,647

การจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ สามารถแสดงการจัดลำดับด้วยกราฟได้ดังภาพที่ 3.8 ดังนี้



ภาพที่ 3.8 จัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ตามความวิกฤติเชิงเทคนิคที่อยู่ในระดับ Minor และความวิกฤติเชิงต้นทุน

จากการจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ด้วยวิธีการที่ 2 นี้ จะสามารถมั่นใจได้ว่าพารามิเตอร์ที่คัดเลือกมานั้นจะถูกเรียงลำดับตามความวิกฤติเชิงเทคนิคที่มีความร้ายแรงก่อนเสมอ และพารามิเตอร์ต่าง ๆ เหล่านั้นก็จะถูกจัดเรียงลำดับความสำคัญตามความวิกฤติเชิงต้นทุนจากมากไปน้อยเช่นเดียวกัน โดยวิธีการนี้มีข้อดีคือ สามารถพิจารณาข้อบกพร่องที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของลูกค้าได้เป็นลำดับแรก (First priority) แต่วิธีการนี้ อาจจะไม่เหมาะกับการควบคุมพารามิเตอร์ที่มีจำนวนมาก เพราะอาจจะไม่ครอบคลุมถึงพารามิเตอร์ที่มีความวิกฤติเชิงเทคนิคที่อยู่ระดับต่ำกว่า แต่มีต้นทุนที่สูงกว่าได้ แต่หากพารามิเตอร์มีจำนวนไม่มากก็สามารถพิจารณาเรียงลำดับจากกลุ่มที่ 1 ทุกพารามิเตอร์หรือบางพารามิเตอร์ และพิจารณาต่อไปที่กลุ่มที่ 2 หรือ 3 ก็สามารถทำได้ ขึ้นอยู่กับความสามารถหรือความเพียงพอของทรัพยากรในหน่วยงานนั้น ๆ

โดยในงานวิจัยนี้ จะพิจารณาเลือกพารามิเตอร์จากการจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์จากวิธีการที่ 1 โดยเน้นที่ความวิกฤติเชิงต้นทุนเป็นหลัก โดยวิธีการนี้จะครอบคลุมถึงพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนโดยตรงและส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจของลูกค้า เพราะพารามิเตอร์ที่ได้จะอยู่ในส่วนของต้นทุนรวม 80 เปอร์เซ็นต์และครอบคลุมข้อบกพร่องที่อยู่ในระดับ Critical ทั้งหมด ซึ่งพารามิเตอร์ที่ได้จากการพิจารณาด้วยวิธีการที่ 1 มีดังนี้คือ ข้อบกพร่องประเภทที่ D30 คือ ค่าความหนาของการเคลือบผิวไม่ตรงตามที่กำหนด ประเภทที่ D40 คือ การเจาะหรือตัดชิ้นงานคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนด ประเภทที่ D1 คือ เส้นลายวงจรขาดจากกัน ประเภทที่ D36 คือ ชิ้นงานบางส่วนมีรอยยุบหรือรอยบุ๋ม ประเภทที่ D2 คือ บางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกัน ประเภทที่ D3 คือ บางส่วนของเส้นลายวงจรเว้าแหว่ง และประเภทที่ D8 คือ ความผิดปกติของขนาดเส้นลายวงจร ดังนั้น พารามิเตอร์ที่บริษัทกรณีศึกษาต้องทำการศึกษาเป็นอันดับแรก มีทั้งหมด 7 ประเภท จากข้อบกพร่องทั้งหมด 51 ประเภท

ในความเป็นจริง การเลือกพารามิเตอร์เพื่อที่จะประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมนี้ อาจให้ผู้บริหารหรือผู้ที่เกี่ยวข้องทำการพิจารณาเลือกว่าจะทำมากหรือน้อยเพียงใด สามารถทำได้ครอบคลุมทุกพารามิเตอร์หรือไม่ ซึ่งสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ก็ขึ้นอยู่กับทรัพยากรของหน่วยงานนั้น ๆ ว่ามีความพร้อมมากหรือน้อยเพียงใด

3.1.2 การจัดลำดับความสำคัญของกระบวนการจากการพิจารณาความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย

Napassavong Rojanarowan และ Prapasak Jirasettapong (2012) ได้นำแนวทางในการแบ่งประเภทของพารามิเตอร์ตามมาตรฐาน IPC-9191 เพื่อการควบควบคุมกระบวนการทางสถิติไว้ 3 ประเภทคือ

- พารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย (Final Product Parameter หรือ FPP) คือ ลักษณะเชิงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เสร็จสิ้นแล้ว ที่ตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า
- พารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิต (In-process Product Parameter หรือ IPP) คือลักษณะเชิงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือชิ้นส่วนที่อยู่ระหว่างการผลิต
- พารามิเตอร์ของกระบวนการ (Process Parameter หรือ PP) คือ ตัวแปรหรือปัจจัยป้อนเข้าของกระบวนการผลิตที่มีผลต่อลักษณะเชิงคุณภาพของผลิตภัณฑ์

Napassavong Rojanarowan และ Prapasak Jirasettapong (2012) ได้กล่าวถึงการจัดลำดับกระบวนการโดยจัดตามลำดับความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการและ FPP โดยการใช้แผนผังเมทริกซ์ โดยการเขียนค่าคะแนนความสำคัญของ FPP แต่ละตัวลงในผังเมทริกซ์ และเขียนกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องลงไปในผังเมทริกซ์ จากนั้น พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการและ FPP โดยพิจารณาคะแนนตามด้านล่าง

0 = กระบวนการนั้นไม่มีความสัมพันธ์กับ FPP

1 = กระบวนการมีความสัมพันธ์กับ FPP ในระดับเล็กน้อย

4 = กระบวนการมีความสัมพันธ์กับ FPP ในระดับปานกลาง

9 = กระบวนการมีความสัมพันธ์กับ FPP ในระดับมาก

จากนั้นทำการคำนวนและบันทึกคะแนนรวมของกระบวนการลงในแผนผังเมทริกซ์ โดยคะแนนรวมของกระบวนการสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} I_j R_{ij}$$

โดยกำหนดให้ Si = คะแนนรวมของกระบวนการ i

Ij = ค่าระดับความสำคัญของ FPP j

Rij = ค่าความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการ i กับ ค่าระดับความสำคัญของ FPP j

โดยตัวอย่างแผนผังเมทริกซ์นี้แสดงได้ดังภาพที่ 3.9

ค่าระดับความสำคัญของพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย		3	5	8	3	9	2	4	5	3	8	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		พารามิเตอร์ A	พารามิเตอร์ B	พารามิเตอร์ C	พารามิเตอร์ D	พารามิเตอร์ E	พารามิเตอร์ F	พารามิเตอร์ G	พารามิเตอร์ H	พารามิเตอร์ I	พารามิเตอร์ J	รวม
	กระบวนการ											
1	กระบวนการที่ 1	1										3
2	กระบวนการที่ 2		4	9		4						128
3	กระบวนการที่ 3		4	4	9		4	1	9	1	9	211
4	กระบวนการที่ 4	9									5	67
5	กระบวนการที่ 5	4				9	1			9	1	130
6	กระบวนการที่ 6			1				9				44
7	กระบวนการที่ 7	1			1							6
8	กระบวนการที่ 8											0
9	กระบวนการที่ 9		9				9		1			68
10	กระบวนการที่ 10				4							12

ภาพที่ 3.9 ตัวอย่างแผนผังเมทริกซ์สำหรับการพิจารณาความสัมพันธ์ของกระบวนการกับพารามิเตอร์ในขั้นสุดท้าย

คะแนนของกระบวนการจากแผนผังเมทริกซ์นี้จะนำไปใช้ในการจัดลำดับความสัมพันธ์ของกระบวนการระหว่าง FPP , IPP และ PP โดยในงานวิจัยของ Napassavong Rojanarowan และ Prapasak Jirasettapong (2012) ได้นำเสนอแนวทางในการจัดลำดับความสำคัญของกระบวนการไว้ 2 แนวทางดังนี้คือ

แนวทางที่ 1 คือ มุ่งเน้นการจัดลำดับตามระดับความความสำคัญของ FPP

โดยมุ่งพิจารณากระบวนการที่มีความสัมพันธ์สูงที่สุดกับ FPP ที่มีความสำคัญสูงที่สุดเป็นลำดับแรกและพิจารณากระบวนการที่มีความสัมพันธ์ในระดับรองลงมากับ FPP ที่มีความสำคัญมากที่สุดเป็นลำดับที่ 2 จากรูปที่ 3.9 FPP E มีค่าคะแนนความสำคัญสูงที่สุด ดังนั้นกระบวนการที่มีความสัมพันธ์กับ FPP E สูงที่สุดคือกระบวนการที่ 5 ซึ่งจะเป็นกระบวนการที่จะนำมาพิจารณาก่อน และกระบวนการที่ 2 ที่มีระดับความสำคัญรองลงมา ก็จะถูกพิจารณาเป็นลำดับที่ 2 และพารามิเตอร์ที่จะถูกพิจารณาในลำดับต่อไปคือ FPP C และ FPP J โดยข้อดีของแนวทางนี้คือจะเชื่อมั่นได้ว่า PP และ IPP ของ FPP ที่มีระดับความสำคัญสูงที่สุดจะถูกนำมาควบคุม แต่มี

ข้อด้อยคือหากมี FPP ที่มีความสำคัญเท่ากันหลายพารามิเตอร์ก็จะระบุได้ยากว่ากระบวนการใดที่ควรนำมาพิจารณาก่อน โดยการศึกษาด้วยแนวทางมุ่งเน้นที่ FPP นี้ จะช้ากว่าการศึกษาแบบมุ่งเน้นที่กระบวนการ

แนวทางที่ 2 คือ มุ่งเน้นการจัดลำดับตามค่าคะแนนของกระบวนการ

โดยแนวทางที่ 2 นี้คือพิจารณาตามลำดับคะแนนของกระบวนการ โดยกระบวนการใดที่มีคะแนนสูงที่สุดก็จะได้รับการพิจารณาก่อน เนื่องจากกระบวนการที่มีคะแนนสูงสุดนั้น ก็น่าจะเป็นกระบวนการที่มีความสัมพันธ์ในระดับสูงกับ FPP ที่มีค่าระดับความสำคัญสูง จากรูปที่ 3.9 กระบวนการที่ควรนำมาพิจารณาก่อนคือกระบวนการที่ 3 เนื่องจากมีคะแนนสูงที่สุด และกระบวนการที่มีคะแนนรองลงมาก็จะได้รับการพิจารณาเป็นลำดับถัดไป ซึ่งจำนวนของกระบวนการที่จะนำมาพิจารณาก็ยังคงขึ้นอยู่กับความพร้อมของทรัพยากร ข้อดีของวิธีการนี้คือศึกษากระบวนการที่มีความสัมพันธ์กับ PP และ IPP ของแต่ละกระบวนการไปยัง FPP ในหลายประเภทได้ แต่มีข้อด้อยคือ การใช้แนวทางนี้ FPP ที่มีความสำคัญมากกว่าอาจจะได้รับการศึกษาช้ากว่า FPP ที่มีความสำคัญน้อยกว่าได้

ในงานวิจัยนี้จะจัดลำดับกระบวนการโดยพิจารณาความสัมพันธ์ของกระบวนการกับ FPP โดยการประยุกต์ใช้แผนผังเมทริกซ์มาช่วยในการพิจารณา โดยพารามิเตอร์ขั้นสุดท้ายหรือ FPP นี้ถูกเลือกด้วยวิธีการที่ 1 คือเน้นที่ความวิกฤติเชิงต้นทุนเป็นหลัก พารามิเตอร์ที่ได้จะอยู่ในส่วนของต้นทุนรวม 80 เปอร์เซ็นต์และครอบคลุมข้อบกพร่องที่อยู่ในระดับ Critical ทั้งหมด ประกอบไปด้วย FPP ทั้งหมด 7 ประเภท จากทั้งหมด 51 ประเภท ในงานวิจัยนี้จะจัดระดับความสำคัญของ FPP ทั้ง 7 ประเภทนี้ ตามความวิกฤติเชิงต้นทุน (Cost criticality) เป็นสำคัญ โดยจะพิจารณาจัดลำดับกระบวนการตามค่าคะแนนความสัมพันธ์ของกระบวนการกับพารามิเตอร์ ซึ่งอ้างอิงวิธีการนี้จากงานวิจัยของ Napassavong Rojanarowan และ Prapasak Jirasettapong (2012) โดยพิจารณาคะแนนตามด้านล่าง

0 = กระบวนการนั้นไม่มีความสัมพันธ์กับ FPP

1 = กระบวนการมีความสัมพันธ์กับ FPP ในระดับเล็กน้อย

4 = กระบวนการมีความสัมพันธ์กับ FPP ในระดับปานกลาง

9 = กระบวนการมีความสัมพันธ์กับ FPP ในระดับมาก

โดยวิธีการจัดลำดับกระบวนการด้วยวิธีการนี้ แสดงให้เห็นดังภาพที่ 3.10

ลำดับตามความวิกฤติเชิงต้นทุน 1		1	2	3	4	5	6	7	
พารามิเตอร์ขั้นสุดท้าย 2		D30 : ค่าความหนาของการเคลือบผิวไม่ตรงตามที่กำหนด	D40 : การเจาะหรือติดชิ้นงานคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนด	D1 : เส้นลายวงจรขาดจากกัน	D36 : ชิ้นงานบางส่วนมีรอยยุบหรือรอยนูน	D2 : บางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกัน	D3 : บางส่วนของเส้นลายวงจรเว้าแหว่ง	D8 : ความผิดปกติของขนาดเส้นลายวงจร	รวม 5
	กระบวนการ 3								
1	ทำความสะอาดผิวหน้าทองแดง								0
2	ติดฟิล์มไวแสง			4		4	4		12
3	ถ่ายแบบเส้นลายวงจร			1		1	1	4	7
4	ล้างฟิล์มไวแสง								0
5	กัดเส้นลายวงจร			1	4	1	1	4	11
6	ทำความสะอาดเส้นลายวงจร								0
7	ตัดโคเวอร์เลย์								0
8	ติดโคเวอร์เลย์						4		0
9	ติดสติฟเฟนเนอร์								0
10	อบด้วยความร้อนอัดด้วยแรงดัน		4		4				8
11	พิมพ์หมึก								0
12	เคลือบผิวหน้าทองแดงด้วยทอง	9							9
13	ตัดชิ้นงานตามเครื่องหมายที่กำหนด				1				1
14	การเจาะรู		9						9
15	เจาะพื้นที่บางส่วนที่ไม่ต้องการออก								0
16	ตรวจสอบเส้นลายวงจร				1				1
17	ตัดชิ้นงาน		4						4
18	ตรวจสอบครั้งสุดท้าย								0
19	สุ่มตรวจสอบคุณภาพ								0
20	บรรจุชิ้นงาน								0

ภาพที่ 3.10 แผนผังเมทริกซ์สำหรับการพิจารณาความสัมพันธ์ของกระบวนการกับพารามิเตอร์ในขั้นสุดท้าย

จากภาพที่ 3.10 จะเห็นได้ว่ามีการแบ่งแผนผังออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้คือ

ส่วนที่ 1 คือ ตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญของ FPP โดยพิจารณาตามต้นทุน ซึ่ง FPP เหล่านี้ได้ผ่านการจัดลำดับความสำคัญโดยวิธีการที่ 1 แล้ว

ส่วนที่ 2 คือ ประเภทของ FPP

ส่วนที่ 3 คือ ชื่อกระบวนการที่เกี่ยวข้อง

ส่วนที่ 4 คือ ค่าคะแนนความสัมพันธ์ของกระบวนการกับ FPP

ส่วนที่ 5 คือ ค่าคะแนนรวมของแต่ละกระบวนการ

โดยในงานวิจัยนี้ ได้ประยุกต์แนวทางในการเลือกกระบวนการไว้ 3 แนวทาง ดังนี้คือ

- **แนวทางที่ 1 คือ มุ่งเน้นการจัดลำดับกระบวนการตามระดับความความสำคัญของ FPP** ซึ่งลำดับความสำคัญของ FPP นี้จะเรียงลำดับตามวิธีการของการคัดเลือก FPP ด้วยวิธีที่ 1 คือการพิจารณาตามความวิกฤติเชิงต้นทุน (Cost criticality) เป็นหลัก คือคิดตามมูลค่าความสูญเสียรวมหรือต้นทุนรวม (Total cost) โดยพิจารณาเลือกประเภทของพารามิเตอร์ที่ก่อให้เกิดต้นทุนรวมที่ 80 เปอร์เซ็นต์ และ พิจารณาตามความวิกฤติเชิงเทคนิคในระดับ Critical ทั้งหมดที่ไม่ได้อยู่ในส่วนของ 80 เปอร์เซ็นต์ โดย FPP ที่มีต้นทุนรวมสูงที่สุดจะมีความสำคัญเป็นลำดับที่ 1 และ FPP ที่มีต้นทุนรวมน้อยที่สุดจะให้ความสำคัญเป็นลำดับสุดท้าย ซึ่งพารามิเตอร์ทั้งหมดอยู่ในส่วนที่ก่อให้เกิดต้นทุนรวม 80 เปอร์เซ็นต์และมีความวิกฤติเชิงเทคนิคระดับ Critical อยู่แล้ว โดยการจัดลำดับความสำคัญของกระบวนการนั้น ก็จะพิจารณากระบวนการที่มีความสัมพันธ์กับ FPP ในระดับมาก (9 คะแนน) และกระบวนการมีความสัมพันธ์กับ FPP ในระดับปานกลาง (4 คะแนน) เท่านั้น โดยจะเว้นการพิจารณากระบวนการที่มีความสัมพันธ์กับ FPP ในระดับเล็กน้อย (1 คะแนน) เพราะถือได้ว่ากระบวนการนั้นมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องหรือ FPP ประเภทนั้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และในการปฏิบัติงานจริงกระบวนการที่ควรจะได้รับการพิจารณาหรือควบคุมก่อน ก็ควรจะเป็นกระบวนการที่มีความสัมพันธ์กับ FPP นั้นในระดับมากหรือปานกลางก่อน เพราะหากเกิดกรณีที่มี FPP ที่ต้องทำการพิจารณาหลายตัว และแต่ละตัวมีกระบวนการที่เกี่ยวข้องมาก อาจจะต้องเสียทรัพยากรที่ต้องใช้ในการจัดการควบคุมกระบวนการมากตามไปด้วย ซึ่งสิ่งนี้อาจเป็นข้อจำกัดของหลาย ๆ หน่วยงาน แต่หากหน่วยงานใดสามารถควบคุมได้ทุกกระบวนการและไม่มีข้อจำกัดเรื่องทรัพยากรก็สามารถควบคุมทุกกระบวนการที่เกี่ยวข้องได้ทั้งหมด ทั้งที่มีความสัมพันธ์ในระดับมาก ปานกลาง และเล็กน้อย

- **แนวทางที่ 2 คือ มุ่งเน้นการจัดลำดับกระบวนการตามค่าคะแนนรวมเป็นลำดับมากไปน้อย** โดยกระบวนการที่มีค่าคะแนนรวมสูงที่สุดจะเป็นกระบวนการที่ได้รับการพิจารณาก่อน และกระบวนการที่มีคะแนนรองลงมาก็จะได้รับการพิจารณาเป็นลำดับถัดไป โดยในงานวิจัยนี้จะพิจารณา FPP ที่มีความสัมพันธ์กับกระบวนการนั้น ๆ ในระดับมาก (9 คะแนน) และ FPP ที่มีความสัมพันธ์กับกระบวนการในระดับปานกลาง (4 คะแนน) เท่านั้น โดยจะเว้นการพิจารณากระบวนการที่มีความสัมพันธ์กับ FPP ในระดับเล็กน้อย (1 คะแนน) เช่นเดียวกับแนวทางที่ 1

- **แนวทางที่ 3 คือ มุ่งเน้นการจัดลำดับกระบวนการตามค่าคะแนนรวมโดยพิจารณาเป็นเปอร์เซ็นต์** ในงานวิจัยนี้ จะทำการพิจารณากระบวนการที่มีค่าคะแนนรวม 80 เปอร์เซ็นต์จากค่าคะแนนรวมทั้งหมดและพิจารณา FPP ที่มีความสัมพันธ์กับกระบวนการนั้น ๆ ในระดับมาก (9 คะแนน) และปานกลาง (4 คะแนน) โดยจะเว้นการพิจารณากระบวนการที่มีความสัมพันธ์กับ FPP ในระดับเล็กน้อย (1 คะแนน) เช่นเดียวกับแนวทางที่ 1 และ 2 โดยในแนวทางที่ 3 นี้ผู้ใช้สามารถปรับค่าเปอร์เซ็นต์ได้ตามความเหมาะสมของหน่วยงานนั้น ๆ ไม่จำกัดเฉพาะ 80 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว

โดยสามารถแสดงการพิจารณาการจัดลำดับความสำคัญของกระบวนการจากทั้ง 3 แนวทางได้ดังนี้

1. **แนวทางที่ 1** คือ มุ่งเน้นการจัดลำดับกระบวนการตามระดับความความสำคัญของ FPP ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้จัดลำดับความสำคัญของ FPP จากความวิกฤติเชิงต้นทุน ซึ่งสามารถอ้างอิงได้จากรูปที่ 3.10 โดยเรียงลำดับเป็นลำดับที่ 1 ถึงลำดับที่ 7 โดย FPP แต่ละประเภทนั้นมีกระบวนการที่เกี่ยวข้องดังนี้คือ

- ข้อบกพร่องที่ D30 กำหนดให้เป็น FPP1 มีกระบวนการที่เกี่ยวข้อง 1 กระบวนการ คือ กระบวนการที่ 12 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 9 คะแนน)
- ข้อบกพร่องที่ D40 กำหนดให้เป็น FPP2 มีกระบวนการที่เกี่ยวข้อง 3 กระบวนการ คือ กระบวนการที่ 14 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 9 คะแนน) กระบวนการที่ 10 และ 17 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 4 คะแนน)
- ข้อบกพร่องที่ D1 กำหนดให้เป็น FPP3 มีกระบวนการที่เกี่ยวข้อง 3 กระบวนการ คือ กระบวนการที่ 2 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 4 คะแนน) กระบวนการที่ 3 และ 5 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 1 คะแนน)
- ข้อบกพร่องที่ D36 กำหนดให้เป็น FPP4 มีกระบวนการที่เกี่ยวข้อง 4 กระบวนการ คือ กระบวนการที่ 5 และ 10 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 4 คะแนน) กระบวนการที่ 13 และ 16 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 1 คะแนน)
- ข้อบกพร่องที่ D2 กำหนดให้เป็น FPP5 มีกระบวนการที่เกี่ยวข้อง 3 กระบวนการ คือ กระบวนการที่ 2 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 4 คะแนน) กระบวนการที่ 3 และ 5 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 1 คะแนน)

- ข้อบกพร่องที่ D3 กำหนดให้เป็น FPP6 มีกระบวนการที่เกี่ยวข้อง 3 กระบวนการ คือ กระบวนการที่ 2 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 4 คะแนน) กระบวนการที่ 3 และ 5 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 1 คะแนน)

- ข้อบกพร่องที่ D8 กำหนดให้เป็น FPP7 มีกระบวนการที่เกี่ยวข้อง 2 กระบวนการ คือ กระบวนการที่ 3 และกระบวนการที่ 5 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 4 คะแนน)

หรือสามารถเขียน FPP พร้อมกระบวนการที่เกี่ยวข้อง พร้อมด้วยคะแนนความสัมพันธ์ในวงเล็บท้ายหมายเลขของกระบวนการ ซึ่งเขียนได้ดังนี้คือ

FPP1 => 12(9)

FPP2 => 14(9), 10(4), 17(4)

FPP3 => 2(4), 3 (1), 5(1)

FPP4 => 5(4), 10(4), 13(1), 16(1)

FPP5 => 2(4), 3(1), 5(1)

FPP6 => 2(4), 3(1), 5(1)

FPP7 => 3(4), 5(4)

ในงานวิจัยนี้ การเลือกพิจารณากระบวนการที่เกี่ยวข้องกับ FPP จะพิจารณาจากกระบวนการที่มีความสัมพันธ์กับ FPP ในระดับมากและในระดับปานกลางกับ FPP แต่ละตัวเท่านั้น ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- กระบวนการที่ 12 มีความสัมพันธ์ในระดับมากกับ FPP1
- กระบวนการที่ 14 มีความสัมพันธ์ในระดับมากกับ FPP2
- กระบวนการที่ 10 มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางกับ FPP2 และ FPP4
- กระบวนการที่ 17 มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางกับ FPP2
- กระบวนการที่ 2 มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางกับ FPP3, FPP5 และ FPP6
- กระบวนการที่ 5 มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางกับ FPP4 และ FPP7
- กระบวนการที่ 3 มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางกับ FPP7

ดังนั้น จากแนวทางที่ 1 นี้ จะทำการพิจารณาทั้งหมด 7 กระบวนการ ดังนี้คือ กระบวนการที่ 12 : กระบวนการเคลือบผิวหน้าทองแดงด้วยทอง (Gold plating , Au plating) กระบวนการที่ 14 :กระบวนการเจาะรู (Pilot Hole Punching) กระบวนการที่ 10 : กระบวนการอบด้วยความร้อนอัดด้วยแรงดัน (Curing) กระบวนการที่ 17 : กระบวนการตัดชิ้นงาน (Blanking)

กระบวนการที่ 2 : กระบวนการติดฟิล์มไวแสง (Dry film ,Photosensitive film laminate) กระบวนการที่ 5 : กระบวนการกัดเส้นลายวงจร (Etching) และ กระบวนการที่ 3 : กระบวนการถ่ายแบบเส้นลายวงจร (Exposure)

2. **แนวทางที่** 2 คือ มุ่งเน้นการจัดลำดับกระบวนการตามค่าคะแนนรวมเป็นลำดับมากไปน้อย โดยเรียงลำดับกระบวนการที่มีค่าคะแนนสูงที่สุดเป็นลำดับแรกเรียงลำดับไปจนถึงกระบวนการที่มีคะแนนน้อยที่สุด ซึ่งสามารถอ้างอิงได้จากภาพที่ 3.10 โดยแต่ละกระบวนการมี FPP ที่เกี่ยวข้องดังนี้คือ

- กระบวนการที่ 2 ซึ่งมีคะแนนรวมของกระบวนการสูงที่สุดคือ 12 คะแนน มี FPP ที่เกี่ยวข้อง 3 ประเภทคือ FPP3, FPP5, FPP6 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 4 คะแนน)
- กระบวนการที่ 5 ซึ่งมีคะแนนรวมของกระบวนการคือ 11 คะแนน มี FPP ที่เกี่ยวข้อง 5 ประเภทคือ FPP4, FPP7 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 4 คะแนน) และ FPP3, FPP5, FPP6 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 1 คะแนน)
- กระบวนการที่ 12 ซึ่งมีคะแนนรวมของกระบวนการคือ 9 คะแนน มี FPP ที่เกี่ยวข้อง 1 ประเภทคือ FPP1 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 9 คะแนน)
- กระบวนการที่ 14 ซึ่งมีคะแนนรวมของกระบวนการคือ 9 คะแนน มี FPP ที่เกี่ยวข้อง 1 ประเภทคือ FPP2 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 9 คะแนน)
- กระบวนการที่ 10 ซึ่งมีคะแนนรวมของกระบวนการคือ 8 คะแนน มี FPP ที่เกี่ยวข้อง 2 ประเภทคือ FPP2 และ FPP4 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 4 คะแนน)
- กระบวนการที่ 3 ซึ่งมีคะแนนรวมของกระบวนการคือ 7 คะแนน มี FPP ที่เกี่ยวข้อง 4 ประเภทคือ FPP7 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 4 คะแนน) และ FPP3, FPP5, FPP6 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 1 คะแนน)
- กระบวนการที่ 17 ซึ่งมีคะแนนรวมของกระบวนการคือ 4 คะแนน มี FPP ที่เกี่ยวข้อง 1 ประเภทคือ FPP2 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 4 คะแนน)
- กระบวนการที่ 13 ซึ่งมีคะแนนรวมของกระบวนการคือ 1 คะแนน มี FPP ที่เกี่ยวข้อง 1 ประเภทคือ FPP4 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 1 คะแนน)
- กระบวนการที่ 16 ซึ่งมีคะแนนรวมของกระบวนการคือ 1 คะแนน มี FPP ที่เกี่ยวข้อง 1 ประเภทคือ FPP4 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 1 คะแนน)

หรือสามารถเขียนกระบวนการ และ FPP ที่เกี่ยวข้อง พร้อมด้วยคะแนนความสัมพันธ์ในวงเล็บท้ายหมายเลขของ FPP ได้ดังนี้คือ

กระบวนการที่ 2 => FPP3(4), FPP5(4), FPP6(4)

กระบวนการที่ 5 => FPP4(4), FPP7(4), FPP3(1), FPP5(1), FPP6(1)

กระบวนการที่ 12 => FPP1(9)

กระบวนการที่ 14 => FPP2(9)

กระบวนการที่ 10 => FPP2 (4), FPP4 (4)

กระบวนการที่ 3 => FPP7 (4), FPP3(1), FPP5(1), FPP6(1)

กระบวนการที่ 17 => FPP2 (4)

กระบวนการที่ 13 => FPP4 (1)

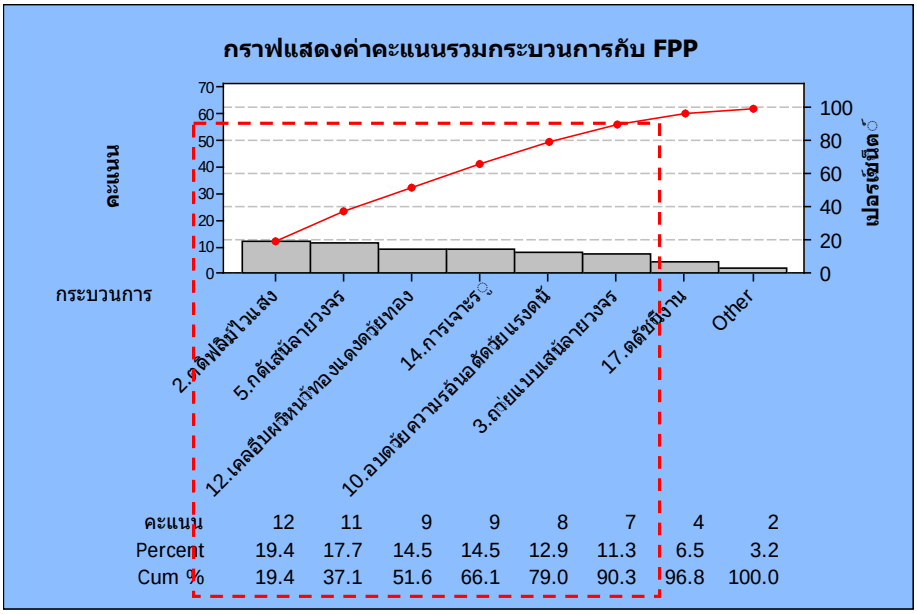
กระบวนการที่ 16 => FPP4 (1)

ในงานวิจัยนี้เน้นที่จะเลือกควบคุมกระบวนการที่มีความเกี่ยวข้องกับ FPP แต่ละตัว จากระดับความสัมพันธ์ในระดับมากและในระดับปานกลางโดยมีกระบวนการที่ต้องพิจารณาดังนี้คือ

- กระบวนการที่ 2 ซึ่งมีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางกับ FPP3, FPP5, FPP6
- กระบวนการที่ 5 ซึ่งมีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางกับ FPP4 และ FPP7
- กระบวนการที่ 12 ซึ่งมีความสัมพันธ์ในระดับมากกับ FPP1
- กระบวนการที่ 14 ซึ่งมีความสัมพันธ์ในระดับมากกับ FPP2
- กระบวนการที่ 10 ซึ่งมีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางกับ FPP2 , FPP4
- กระบวนการที่ 3 ซึ่งมีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางกับ FPP7
- กระบวนการที่ 17 ซึ่งมีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางกับ FPP2

ดังนั้น จากแนวทางที่ 2 นี้ จะทำการพิจารณาทั้งหมด 7 กระบวนการ ดังนี้คือ กระบวนการที่ 2 : กระบวนการติดฟิล์มไวแสง (Dry film ,Photosensitive film laminate) กระบวนการที่ 5 : กระบวนการกัดเส้นลายวงจร (Etching) กระบวนการที่ 12 : กระบวนการเคลือบผิวหน้าทองแดงด้วยทอง (Gold plating , Au plating) กระบวนการที่ 14 :กระบวนการเจาะรู (Pilot Hole Punching) กระบวนการที่ 10 : กระบวนการอบด้วยความร้อนอัดด้วยแรงดัน (Curing) กระบวนการที่ 3 : กระบวนการถ่ายแบบเส้นลายวงจร (Exposure) และกระบวนการที่ 17 : กระบวนการตัดชิ้นงาน (Blanking)

3. **แนวทางที่** 3 คือ มุ่งเน้นการจัดลำดับกระบวนการตามค่าคะแนนรวมโดยพิจารณาเป็นเปอร์เซ็นต์ ในงานวิจัยนี้จะทำการพิจารณากระบวนการที่มีค่าคะแนนรวม 80 เปอร์เซ็นต์จากค่าคะแนนรวมทั้งหมด



ภาพที่ 3.11 กราฟแสดงค่าคะแนนรวมของกระบวนการกับ FPP

โดยการพิจารณากระบวนการด้วยวิธีนี้จะทำให้มีกระบวนการที่ต้องพิจารณาทั้งหมด 6 กระบวนการ ซึ่งมีคะแนนรวม 90.3 เปอร์เซ็นต์

จากภาพที่ 3.10 แต่ละกระบวนการมี FPP ที่เกี่ยวข้องดังนี้คือ

- กระบวนการที่ 2 ซึ่งมี FPP ที่เกี่ยวข้อง 3 ประเภทคือ FPP3, FPP5, FPP6 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 4 คะแนน)
- กระบวนการที่ 5 ซึ่งมี FPP ที่เกี่ยวข้อง 5 ประเภทคือ FPP4 และ FPP7 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 4 คะแนน) และ FPP3, FPP5, FPP6 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 1 คะแนน)
- กระบวนการที่ 12 ซึ่งมี FPP ที่เกี่ยวข้อง 1 ประเภทคือ FPP1 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 9 คะแนน)
- กระบวนการที่ 14 ซึ่งมี FPP ที่เกี่ยวข้อง 1 ประเภทคือ FPP2 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 9 คะแนน)
- กระบวนการที่ 10 ซึ่งมี FPP ที่เกี่ยวข้อง 2 ประเภทคือ FPP2 และ FPP4 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 4 คะแนน)
- กระบวนการที่ 3 ซึ่งมี FPP ที่เกี่ยวข้อง 4 ประเภทคือ FPP7 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 4 คะแนน) และ FPP3, FPP5, FPP6 (มีคะแนนความสัมพันธ์ 1 คะแนน)

หรือสามารถเขียนกระบวนการ และ FPP ที่เกี่ยวข้อง พร้อมด้วยคะแนนความสัมพันธ์ในวงเล็บท้ายหมายเลขของ FPP ได้ดังนี้คือ

กระบวนการที่ 2 => FPP3(4), FPP5(4), FPP6(4)

กระบวนการที่ 5 => FPP4(4), FPP7(4), FPP3(1), FPP5(1), FPP6(1)

กระบวนการที่ 12 => FPP1(9)

กระบวนการที่ 14 => FPP2(9)

กระบวนการที่ 10 => FPP2 (4), FPP4 (4)

กระบวนการที่ 3 => FPP7 (4), FPP3(1), FPP5(1), FPP6(1)

ในงานวิจัยนี้เน้นที่จะเลือกควบคุมกระบวนการที่มีความเกี่ยวข้องกับ FPP แต่ละตัวจากระดับความสัมพันธ์ในระดับมากและในระดับปานกลางโดยมีกระบวนการที่ต้องพิจารณาดังนี้คือ

- กระบวนการที่ 2 ซึ่งมีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางกับ FPP3, FPP5 และ FPP6
- กระบวนการที่ 5 ซึ่งมีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางกับ FPP4 และ FPP7
- กระบวนการที่ 12 ซึ่งมีความสัมพันธ์ในระดับมากกับ FPP1
- กระบวนการที่ 14 ซึ่งมีความสัมพันธ์ในระดับมากกับ FPP2
- กระบวนการที่ 10 ซึ่งมีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางกับ FPP2 และ FPP4
- กระบวนการที่ 3 ซึ่งมีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางกับ FPP7

ดังนั้น จากแนวทางที่ 3 นี้ จะทำการควบคุมทั้งหมด 6 กระบวนการ และมีความสัมพันธ์ครอบคลุม FPP ทั้งหมด 7 ประเภท ซึ่งกระบวนการทั้งหมดที่จะนำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 6 กระบวนการดังนี้คือ กระบวนการที่ 2 คือ กระบวนการติดฟิล์มไวแสง (Dry film ,Photosensitive film laminate) กระบวนการที่ 5 : กระบวนการกัดเส้นลายวงจร (Etching) กระบวนการที่ 12 : กระบวนการเคลือบผิวหน้าทองแดงด้วยทอง (Gold plating , Au plating) กระบวนการที่ 14 :กระบวนการเจาะรู (Pilot Hole Punching) กระบวนการที่ 10 : กระบวนการอบด้วยความร้อนอัดด้วยแรงดัน (Curing) และกระบวนการที่ 3 : กระบวนการถ่ายแบบเส้นลายวงจร (Exposure)

จากแนวทางการจัดลำดับกระบวนการทั้ง 3 แนวทางนี้จะเห็นได้ว่า กระบวนการที่ถูกคัดเลือกมานั้นมีความคล้ายคลึงกันมาก ต่างกันแต่เพียงลำดับการพิจารณากระบวนการหรือจำนวนของกระบวนการเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งแต่ละแนวทางก็มีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกันไป เช่น ในแนวทางที่ 1 มีข้อดีคือ สามารถทำให้มั่นใจได้ว่ากระบวนการที่เกี่ยวข้องกับ FPP ที่สำคัญที่สุดจะได้รับการพิจารณาก่อน แต่มีข้อด้อยคือ การควบคุมกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับ FPP ด้วยจำนวนที่มากกว่า อาจจะได้รับการพิจารณาที่ช้ากว่า ส่วนในแนวทางที่ 2 มีข้อดีคือ สามารถทำการควบคุมกระบวนการที่มีความเกี่ยวข้องกับ FPP หลายประเภทได้ก่อน แต่มีข้อด้อยคือ

กระบวนการที่มีความเกี่ยวข้องกับ FPP ที่มีระดับความสำคัญในระดับต้น ๆ อาจจะถูกนำมาพิจารณาช้ากว่า และแนวทางที่ 3 มีข้อดีคือ จำนวนกระบวนการที่จะถูกนำมาพิจารณาอาจจะน้อยกว่า 2 แนวทางแรกและมีโอกาสครอบคลุม FPP ทุกประเภทได้ แต่มีข้อด้อยคือ บางกระบวนการที่ไม่ได้มีคะแนนอยู่ในส่วน 80 เปอร์เซ็นต์ของคะแนนรวมนั้น อาจจะมีความสัมพันธ์ระดับมากหรือปานกลางกับ FPP บางประเภทได้ ดังนั้นกระบวนการนี้อาจจะไม่ได้รับการพิจารณาด้วย เป็นต้น

ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเลือกพิจารณาจัดลำดับกระบวนการตามแนวทางที่ 1 คือพิจารณามุ่งเน้นการจัดลำดับตามระดับความความสำคัญของ FPP ซึ่งมีข้อดีคือจะสร้างความมั่นใจได้ว่า PP หรือ IPP ของ FPP ที่มีความสำคัญสูงที่สุดจะได้รับการพิจารณาก่อน ซึ่งความสำคัญในที่นี้หมายถึง FPP ที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนมากที่สุดเป็นลำดับแรก โดยสามารถจัดลำดับกระบวนการที่จะนำมาพิจารณาได้ดังนี้คือ

กระบวนการที่ 12 : กระบวนการเคลือบผิวหน้าทองแดงด้วยทอง (Gold plating , Au plating)
กระบวนการที่ 14 : กระบวนการเจาะรู (Pilot Hole Punching)
กระบวนการที่ 10 : กระบวนการอบด้วยความร้อนอัดด้วยแรงดัน (Curing)
กระบวนการที่ 17 : กระบวนการตัดชิ้นงาน (Blanking)
กระบวนการที่ 2 : กระบวนการติดฟิล์มไวแสง (Dry film ,Photosensitive film laminate)
กระบวนการที่ 5 : กระบวนการกัดเส้นลายวงจร (Etching)
และกระบวนการที่ 3 : กระบวนการถ่ายแบบเส้นลายวงจร (Exposure)

3.1.3 การพิจารณากระบวนการเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์แต่ละประเภท

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์แต่ละประเภท กล่าวคือการหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทั้ง 3 ประเภท คือ 1.พารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย (Final Product Parameter หรือ FPP) 2. พารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิต (In-process Product Parameter หรือ IPP) 3.พารามิเตอร์ของกระบวนการ (Process Parameter หรือ PP) ซึ่งวิธีการหาความสัมพันธ์มีหลายวิธีซึ่งได้กล่าวไว้ในงานวิจัยของ Napassavong Rojanarowan และ Prapasak Jirasettapong (2012) เช่น การบ่งชี้ความสัมพันธ์โดยใช้ความรู้ทางด้านวิศวกรรมหรือทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ การวิเคราะห์ความล้มเหลว (Failure analysis) การวิเคราะห์สาเหตุและผลลัพธ์โดยใช้แผนภูมิสาเหตุและผลลัพธ์

(Cause and Effect diagram) การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis หรือ FMEA) การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) การวิเคราะห์ตามหลักทำไม (Why-Why analysis) หรือการระดมสมองจากผู้เชี่ยวชาญที่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการนั้น ๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์ขั้นสุดท้ายและความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์แต่ละประเภท ซึ่งรูปแบบวิธีการในหัวข้อนี้นั้น ไม่มีกฎเกณฑ์ที่ชัดเจนว่าจะต้องใช้วิธีใด ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมตามแต่สถานการณ์และความพร้อมของผู้ที่ทำการศึกษาและปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

จากหัวข้อที่ 3.1.2 สามารถจัดลำดับกระบวนการและพารามิเตอร์ขั้นสุดท้ายที่จะนำมาพิจารณาได้ดังนี้คือ

ลำดับที่ 1 กระบวนการที่ 12 : กระบวนการเคลือบผิวหน้าทองแดงด้วยทอง (Gold plating , Au plating) มีความสัมพันธ์ในระดับมากกับ FPP1 : ค่าความหนาของการเคลือบผิวไม่ตรงตามที่กำหนด

ลำดับที่ 2 กระบวนการที่ 14 : กระบวนการเจาะรู (Pilot Hole Punching) มีความสัมพันธ์ในระดับมากกับ FPP2 : การเจาะหรือตัดชิ้นงานคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนด

ลำดับที่ 3 กระบวนการที่ 10 : กระบวนการอบด้วยความร้อนอัดด้วยแรงดัน (Curing) มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางกับ FPP2 : การเจาะหรือตัดชิ้นงานคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนด และ FPP4 : ชิ้นงานบางส่วนมีรอยยุบหรือรอยบุ๋ม

ลำดับที่ 4 กระบวนการที่ 17 : กระบวนการตัดชิ้นงาน (Blanking) มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางกับ FPP2 : การเจาะหรือตัดชิ้นงานคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนด

ลำดับที่ 5 กระบวนการที่ 2 : กระบวนการติดฟิล์มไวแสง (Dry film ,Photosensitive film laminate) มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางกับ FPP3 : เส้นลายวงจรขาดจากกัน , FPP5 : บางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกัน และ FPP6 : บางส่วนของเส้นลายวงจรเว้าแหว่ง

ลำดับที่ 6 กระบวนการที่ 5 : กระบวนการกัดเส้นลายวงจร (Etching) มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางกับ FPP4 : ชิ้นงานบางส่วนมีรอยยุบหรือรอยบุ๋ม และ FPP7 คือ ความผิดปกติของขนาดเส้นลายวงจร

ลำดับที่ 7 กระบวนการที่ 3 : กระบวนการถ่ายแบบเส้นลายวงจร (Exposure) มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางกับ FPP7 คือ ความผิดปกติของขนาดเส้นลายวงจร

โดยในงานวิจัยนี้จะทำการแสดงตัวอย่างการหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์แต่ละประเภทจากบางผลิตภัณฑ์เท่านั้นหรืออาจพิจารณาแบบภาพรวมขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา

เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษา มีผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตอยู่จำนวนมากและเปลี่ยนรุ่นการผลิตค่อนข้างเร็ว และพารามิเตอร์บางประเภทเช่น PP หรือ IPP ที่มีผลต่อ FPP นั้น ๆ มีค่าตัวเลขสำหรับการตั้งค่า (Setting) สำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน เช่นค่ากระแสไฟฟ้า ความดัน ความร้อน เวลา เป็นต้น และเนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของเวลา ทำให้การหาค่าพารามิเตอร์จริงที่มีค่าออกมาเป็นตัวเลข ไม่สามารถทำได้หมดทุกผลิตภัณฑ์ แต่พารามิตอร์ที่หาได้ ก็มีประโยชน์ต่อบริษัทกรณีศึกษา เพราะพารามิเตอร์ที่ได้ก็เป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อ FPP ในทุก ๆ ผลิตภัณฑ์เช่นกัน เพียงแต่ค่าตัวเลขของการตั้งค่าอาจจะแตกต่างกัน ซึ่งเมื่อทราบพารามิเตอร์ประเภท PP หรือ IPP ตัวใด ที่มีผลต่อ FPP ประเภทนั้นก็สามารถควบคุมพารามิเตอร์นั้นได้อย่างเหมาะสม แต่พารามิเตอร์ประเภท PP หรือ IPP ในบางกระบวนการก็สามารถควบคุมเป็นค่าเดียวกันและสามารถควบคุมได้อย่างครอบคลุมทุกผลิตภัณฑ์ได้ เช่น ค่าระยะเยื้องศูนย์ของการเจาะรู ค่าควบคุมสิ่งแปลกปลอม (Contamination) หรืออื่น ๆ ซึ่งค่าต่าง ๆ เหล่านี้ สามารถเป็นพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์ของ FPP ที่จะมีผลต่อทุก ๆ ผลิตภัณฑ์ได้เช่นกัน การควบคุมก็สามารถทำได้ด้วยการควบคุมพารามิเตอร์ค่าเดียวกันได้ โดยจะทำการระดมสมองเพื่อวิเคราะห์และพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยทีมงานซึ่งประกอบด้วย ผู้จัดการฝ่ายผลิต (Process manager) ผู้จัดการฝ่ายควบคุมคุณภาพ (QA manager) วิศวกรกระบวนการ (Process engineer) วิศวกรควบคุมคุณภาพ (QA engineer) หัวหน้าแผนก (Supervisor) หัวหน้าพนักงาน (Leader)

โดยการสรุปความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์แต่ละประเภทนี้ จะประยุกต์ใช้หลักการของผังต้นไม้ (Tree Diagram) โดยการตั้งจุดประสงค์หรือปัญหาไว้ด้านซ้ายและหาสาเหตุที่เกี่ยวข้องไปด้านขวาคล้ายกับหลักการทำไม-ทำไม (Why-Why analysis) พร้อมทั้งการให้คะแนนค่าความสัมพันธ์เช่นเดียวกับการให้คะแนนในผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)มีวิธีการคือให้ FPP อยู่ฝั่งซ้ายสุดและมี IPP และ PP อยู่ฝั่งขวา การเชื่อมโยงนี้จะเป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ของ IPP และ PP ที่มีความเกี่ยวข้องกับ FPP ในกระบวนการนั้น ๆ โดยขั้นตอนแรกคือการพิจารณาความสัมพันธ์ของ IPP ที่มีความสัมพันธ์กับ FPP หาก IPP ตัวใดมีความสัมพันธ์กับ FPP ในระดับมากและปานกลาง หรือมีคะแนนความสัมพันธ์ที่ 9 และ 4 IPP ตัวนั้นจะได้รับการพิจารณาเพื่อพิจารณา PP ที่เกี่ยวข้องกับ IPP ตัวนั้น ๆ และทำการพิจารณา IPP และ PP เพื่อนำมาประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมในลำดับถัดไป การพิจารณาค่าความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์แต่ละประเภทนั้นมีความหมายของค่าคะแนนเป็นดังนี้คือ

0 = FPP กับ IPP หรือ IPP กับ PP นั้นๆ ไม่มีความสัมพันธ์กัน

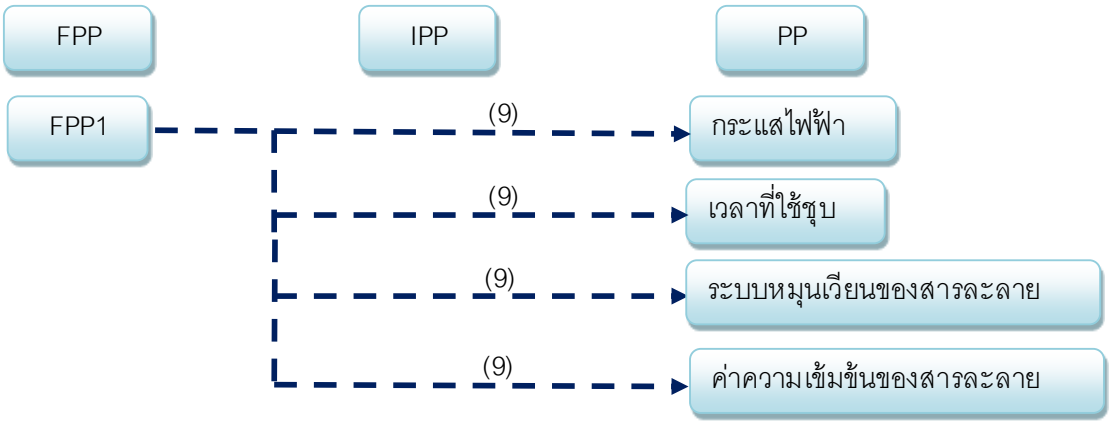
1 = FPP กับ IPP หรือ IPP กับ PP นั้นๆ มีความสัมพันธ์ในระดับเล็กน้อย

4 = FPP กับ IPP หรือ IPP กับ PP นั้นๆ มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลาง

9 = FPP กับ IPP หรือ IPP กับ PP นั้นๆ มีความสัมพันธ์ ในระดับมาก

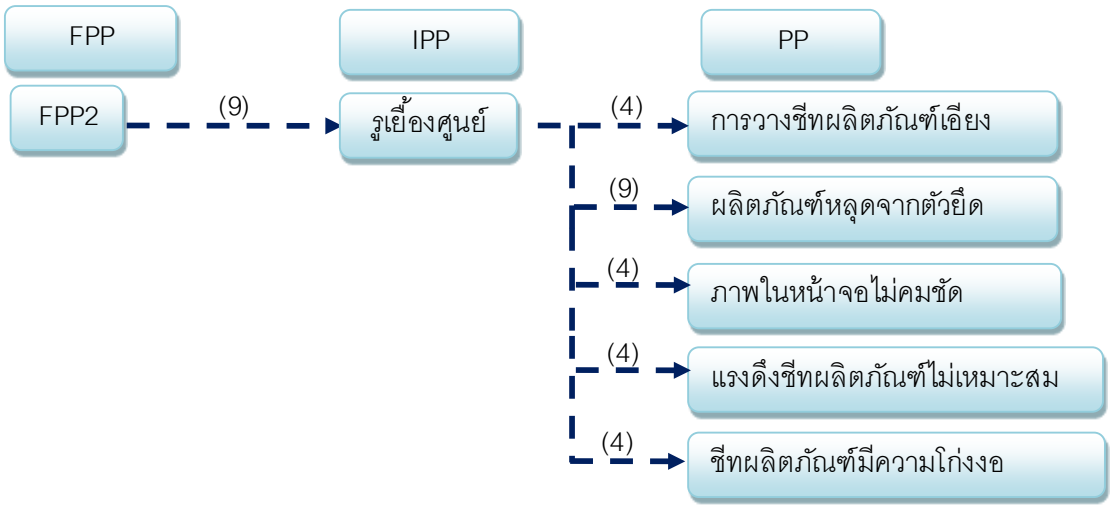
ในงานวิจัยนี้จะแสดงแผนภาพเฉพาะพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์ในระดับมากและระดับปานกลางเท่านั้น ซึ่งสามารถสรุป IPP และ PP ที่เกี่ยวข้องกับ FPP แต่ละประเภทได้ดังรูป

- **การพิจารณาลำดับที่ 1** กระบวนการที่ 12 : กระบวนการเคลือบผิวหน้าทองแดงด้วยทอง (Gold plating , Au plating) มีความสัมพันธ์ในระดับมากกับ FPP1 คือ ค่าความหนาของการเคลือบผิวไม่ตรงตามที่กำหนด



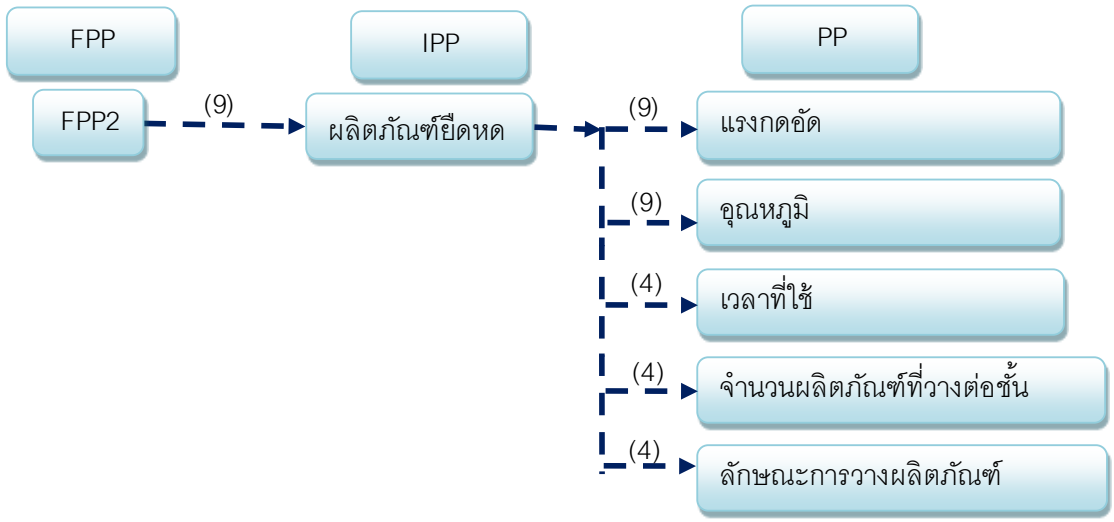
ภาพที่ 3.12 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ FPP1ในกระบวนการเคลือบผิวหน้าทองแดงด้วยทอง

- **การพิจารณาลำดับที่ 2** กระบวนการที่ 14 : กระบวนการเจาะรู (Pilot Hole Punching) มีความสัมพันธ์ในระดับมากกับ FPP2 คือ การเจาะหรือตัดชิ้นงานคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนด

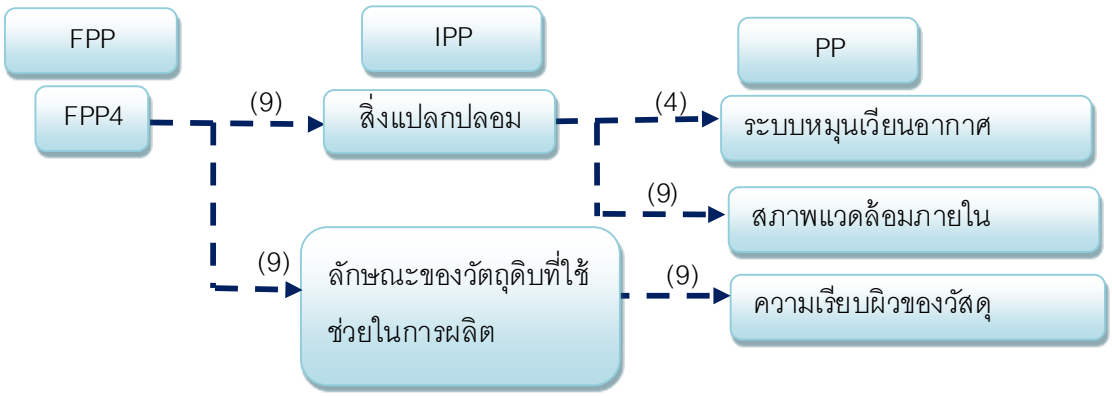


ภาพที่ 3.13 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ FPP2 ในกระบวนการเจาะรู

- **การพิจารณาลำดับที่** 3 กระบวนการที่ 10 : กระบวนการอบด้วยความร้อนอัดด้วยแรงดัน (Curing) มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางกับ FPP2 : การเจาะหรือตัดชิ้นงานคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนด และ FPP4 : ชิ้นงานบางส่วนมีรอยยุบหรือรอยบุ๋ม

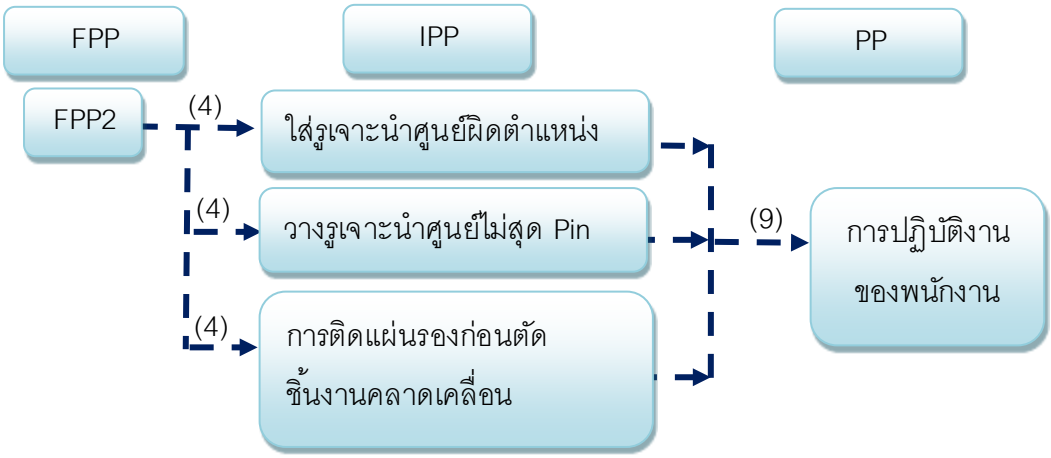


ภาพที่ 3.14 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ FPP2 ในกระบวนการอบด้วยความร้อนอัดด้วยแรงดัน



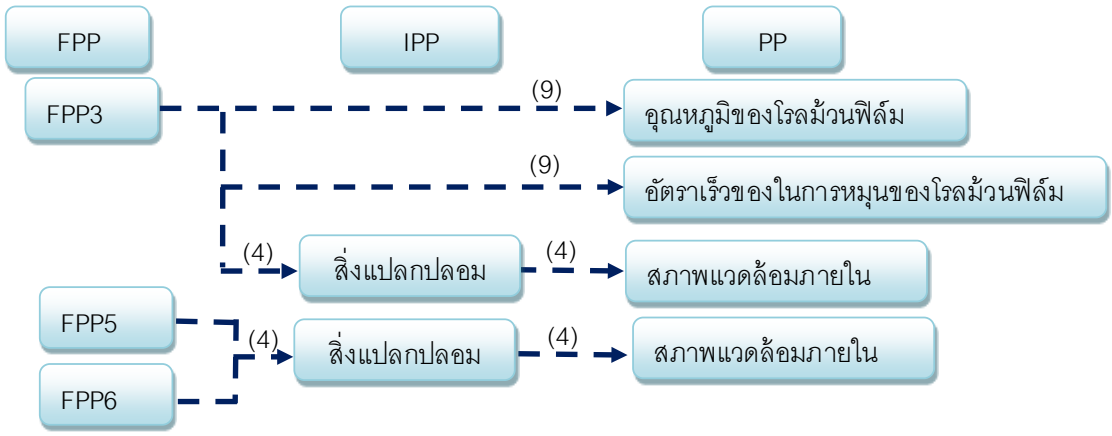
ภาพที่ 3.15 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ FPP4 ในกระบวนการอบด้วยความร้อนอัดด้วยแรงดัน

- **การพิจารณาลำดับที่ 4** กระบวนการที่ 17 : กระบวนการตัดชิ้นงาน (Blanking) มีความสัมพันธ์กับ FPP2 คือ การเจาะหรือตัดชิ้นงานคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนด



ภาพที่ 3.16 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ FPP2 ในกระบวนการตัดชิ้นงาน

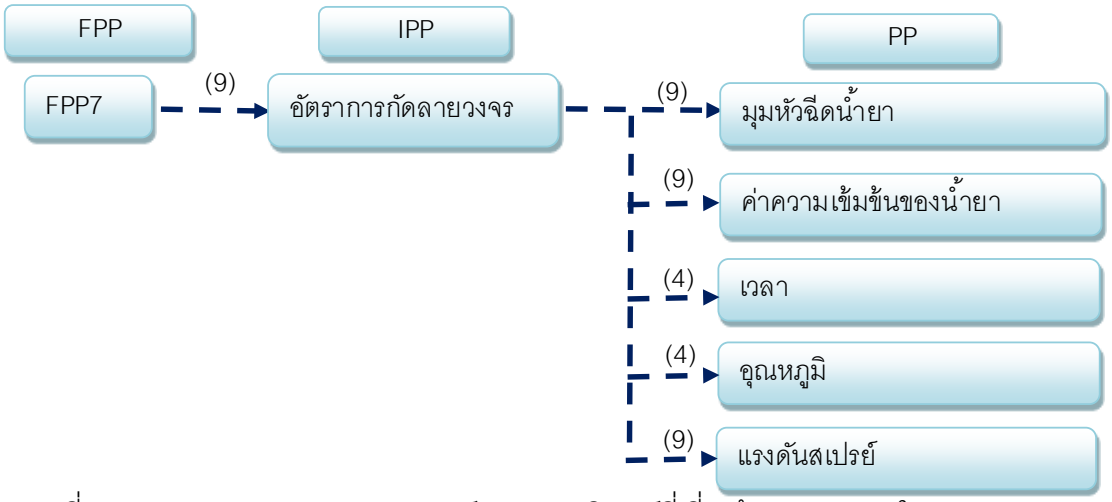
- **การพิจารณาลำดับที่ 5** กระบวนการที่ 2 คือ กระบวนการติดฟิล์มไวแสง (Dry film ,Photosensitive film laminate) มีความสัมพันธ์กับ FPP3 : เส้นลายวงจรขาดจากกัน , FPP5 : บางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกัน และ FPP6 : บางส่วนของเส้นลายวงจรเว้าแหว่ง



ภาพที่ 3.17 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ FPP3,FPP5 และ FPP6 ในกระบวนการติดฟิล์มไวแสง

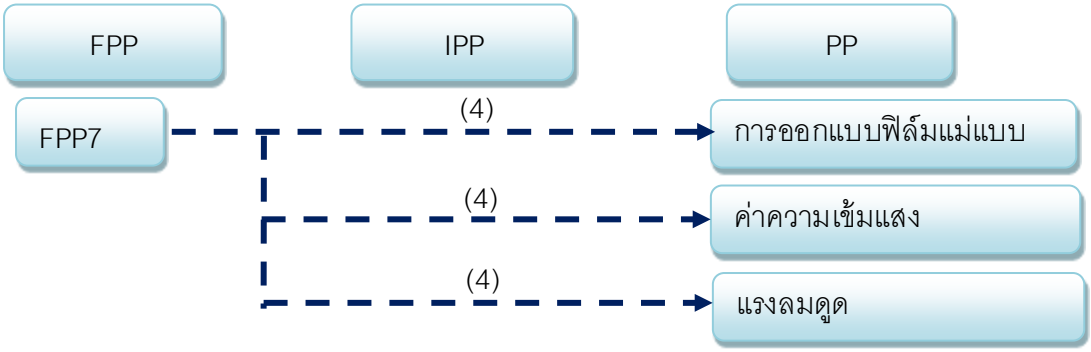
- **การพิจารณาลำดับที่ 6** พิจารณากระบวนการที่ 5 คือ กระบวนการกัดเส้นลายวงจร (Etching) มีความสัมพันธ์กับ FPP4 คือ ชิ้นงานบางส่วนมีรอยยุบหรือรอยบุ๋ม และ FPP7 คือ ความผิดปกติของขนาดเส้นลายวงจร

ภาพที่ 3.18 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ FPP4 ในกระบวนการกัดเส้นลายวงจร



ภาพที่ 3.19 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ FPP7 ในกระบวนการกัดเส้นลายวงจร

- **การพิจารณาลำดับที่ 7** พิจารณากระบวนการที่ 3 คือ กระบวนการถ่ายแบบเส้นลายวงจร (Exposure) มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางกับ FPP7 คือ ความผิดปกติของขนาดเส้นลายวงจร



ภาพที่ 3.20 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ FPP7 ในกระบวนการถ่ายแบบเส้นลายวงจร

จากภาพที่ 3.12 ถึง 3.20 สามารถสรุป IPP และ PP พร้อมทั้งการควบคุมพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของบริษัทกรณีศึกษาในปัจจุบัน เช่นการควบคุมโดยใช้แผนภูมิควบคุม (Control chart) ใบตรวจสอบ (Check sheet) เอกสารประกอบการทำงาน (Instruction) ระบบแจ้งเตือน (alarm) เป็นต้น โดยพารามิเตอร์ที่แสดงในตารางนี้ จะเป็นการจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ ซึ่ง 1 พารามิเตอร์อาจจะมีความเกี่ยวข้องกับหลายกระบวนการ ซึ่งสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์แต่ละประเภท

FPP	กระบวนการ	IPP	คะแนน (4,9)	การควบคุมได้-ไม่ได้	เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุม	PP	คะแนน (4,9)	การควบคุมได้-ไม่ได้	เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุม
1	12					1.กระแสไฟฟ้า	9	×	
						2.เวลาที่ใช้ชุบ	9	✓	ระบบแจ้งเตือน (alarm)
						3.ระบบหมุนเวียนของสารละลาย	9	✓	Pressure gauge, ใบตรวจสอบ (Check sheet)
						4.ค่าความเข้มข้นของสารละลาย	9	✓	ตรวจสอบโดยห้องวิเคราะห์สารเคมี, แผนภูมิควบคุม (Control chart)
2	14	1.รูเยื้องศูนย์	9	✓	ระบบแจ้งเตือน (alarm) สามารถกำหนดค่าสเปคได้เอง	1.การวางชีทผลิตภัณฑ์เอียง	4	✓	บล็อคสำหรับวาง
						2.ผลิตภัณฑ์หลุดจากตัวยึด	9	×	
						3.ภาพในหน้าจอไม่คมชัด	4	✓	ระบบแจ้งเตือน (alarm)
						4.แรงดึงชีทผลิตภัณฑ์ไม่เหมาะสม	4	✓	สามารถกำหนดค่าได้ (setting)
						5.ชีทผลิตภัณฑ์มีความโก่งงอ	4	✓	บล็อคสำหรับวาง และอุปกรณ์สำหรับดึงชีทผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 3.6 (ต่อ) ตารางความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์แต่ละประเภท

FPP	กระบวนการ	IPP	คะแนน (4,9)	การควบคุม ได้-ไม่ได้	เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุม	PP	คะแนน (4,9)	การควบคุม ได้-ไม่ได้	เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุม
2	10	1.ผลิตภัณฑ์ยืดหด	9	✗		1.แรงกดอัด	9	✓	กราฟอัตโนมัติบันทึกประจำเครื่อง (Graph recorder), ระบบแจ้งเตือน (alarm)
						2.อุณหภูมิ	9	✓	กราฟอัตโนมัติบันทึกประจำเครื่อง (Graph recorder), ระบบแจ้งเตือน (alarm)
						3.เวลาที่ใช้	4	✓	กราฟอัตโนมัติบันทึกประจำเครื่อง (Graph recorder), ระบบแจ้งเตือน (alarm)
						4.จำนวนผลิตภัณฑ์ที่วางต่อชั้น	4	✓	มาตรฐานการทำงาน (Process condition instruction)
						5.ลักษณะการวางผลิตภัณฑ์	4	✓	มาตรฐานการทำงาน (Process condition instruction)
2	17	1.ใส่รูเจาะนำศูนย์ผิดตำแหน่ง	4	✓	การออกแบบกำหนดตำแหน่งของ Pin กับรูที่ทำการเจาะ (Mistake proofing)	1.การปฏิบัติงานของพนักงาน	9	✓	มาตรฐานการทำงาน (Process condition instruction)
		2.วางรูเจาะนำศูนย์ไม่สุด Pin	4	✓	มาตรฐานการทำงาน (Process condition instruction)				
		3.การติดแผ่นรองก่อนตัดชิ้นงานคลาดเคลื่อน	4	✓	มาตรฐานการทำงาน (Process condition instruction)				

ตารางที่ 3.6 (ต่อ) ตารางความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์แต่ละประเภท

FPP	กระบวนการ	IPP	คะแนน (4,9)	การควบคุม ได้-ไม่ได้	เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุม	PP	คะแนน (4,9)	การควบคุม ได้-ไม่ได้	เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุม
4	10	1.สิ่งแปลกปลอม	9	×		1.ระบบหมุนเวียนอากาศ	4	✓	กำหนดรอบระยะเวลาการเปลี่ยนตัวกรองอากาศ , ใบตรวจสอบการทำความสะอาด (Check sheet)
						2.สภาพแวดล้อมภายใน	9	×	
		1.ลักษณะของวัตถุดิบที่ใช้ช่วยในการผลิต	9	×		1.ความเรียบผิวของวัสดุ	9	×	
4	5	1.ผลึกของน้ำยา	9	×		1.แรงลมดูดน้ำยา	4	✓	การกำหนดค่าความดัน
						2.ค่าความเข้มข้นของน้ำยา	4	✓	ตรวจสอบโดยห้องวิเคราะห์สารเคมี, แผนภูมิควบคุม (Control chart), ใบตรวจสอบ (Check sheet), ระบบแจ้งเตือน (alarm)
3	2	1.สิ่งแปลกปลอม	4	✓	แผนภูมิควบคุม	1.สภาพแวดล้อมภายใน	4	✓	ใบตรวจสอบ (Check sheet)
						2.อุณหภูมิของโรลม้วนฟิล์ม	9	✓	ระบบแจ้งเตือน (alarm) ,ใบตรวจสอบ (Check sheet)
						3.อัตราเร็วของในการหมุนของโรลม้วนฟิล์ม	9	✓	ใบตรวจสอบ (Check sheet)

ตารางที่ 3.6 (ต่อ) ตารางความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์แต่ละประเภท

FPP	กระบวนการ	IPP	คะแนน (4,9)	การควบคุม ได้-ไม่ได้	เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุม	PP	คะแนน (4,9)	การควบคุม ได้-ไม่ได้	เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุม
5	2	1.สิ่งแปลกปลอม	4	✓	แผนภูมิควบคุม	1.สภาพแวดล้อมภายใน	4	✓	ใบตรวจสอบ (Check sheet)
6	2	1.สิ่งแปลกปลอม	4	✓	แผนภูมิควบคุม	1.สภาพแวดล้อมภายใน	4	✓	ใบตรวจสอบ (Check sheet)
7	5	1.อัตราการกัดลายวงจร	9	✓	การกำหนดค่าตามมาตรฐานการทำงาน (Process condition instruction)	1.มุมหัวฉีดน้ำยา	9	✓	ใบตรวจสอบ (Check sheet)
						2.ค่าความเข้มข้นของน้ำยา	9	✓	ตรวจสอบโดยห้องวิเคราะห์สารเคมี, แผนภูมิควบคุม (Control chart), ใบตรวจสอบ (Check sheet), ระบบแจ้งเตือน (alarm)
						3.เวลา	4	✓	ใบตรวจสอบ (Check sheet)
						4.อุณหภูมิ	4	✓	ใบตรวจสอบ (Check sheet), มีระบบแจ้งเตือน (alarm)
						5.แรงดันสเปร	4	✓	ใบตรวจสอบ (Check sheet)
7	3					1.การออกแบบฟิล์มแม่แบบ	4	✓	แผนกออกแบบทำการออกแบบตามข้อกำหนดของลูกค้า
						2.ค่าความเข้มแสง	4	✓	ใบตรวจสอบ (Check sheet)
						3.แรงลมดูด	4	✓	ระบบแจ้งเตือน (alarm)

จากตารางที่ 3.6 เป็นการสรุปความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์แต่ละประเภท ซึ่งในตาราง 3.6 นี้ จะทำการสรุปตามความสำคัญของ FPP ซึ่งลำดับของกระบวนการก็จะถูกนำขึ้นมาพิจารณาตามลำดับความสำคัญของ FPP เช่นกัน เพื่อความสะดวกในการพิจารณาและควบคุมพารามิเตอร์ โดยใน 1 กระบวนการอาจมีความสัมพันธ์กับ FPP หลายประเภทจึงอาจไม่เห็นการเรียงลำดับของกระบวนการชัดเจนเช่นในเดียวกับหัวข้อเรื่องการจัดลำดับความสำคัญของกระบวนการ แต่ในภาพรวมพารามิเตอร์ที่นำมาพิจารณาและทำการสรุปนั้นเป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญเป็นลำดับมากไปน้อยซึ่งกระบวนการที่เกี่ยวข้องย่อมเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญต่อ FPP ที่ถูกจัดลำดับแล้วเช่นกัน

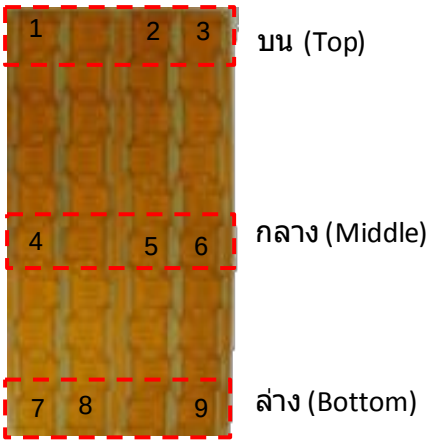
และในส่วนที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ มีจุดประสงค์เพื่อแสดงให้เห็นว่าก่อนที่จะทำการควบคุม IPP หรือ PP ใดๆ ควรทำการศึกษาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์เหล่านั้นก่อน เพื่อให้มั่นใจได้ว่าพารามิเตอร์ที่เราจะทำการควบคุมหรือเฝ้าติดตามเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยอาศัยหลักการของการออกแบบการทดลอง (DOE) หรือวิธีการอื่น ๆ ที่เหมาะสม โดยในส่วนนี้ จะทำการยกตัวอย่าง คือ FPP1 และพารามิเตอร์ของกระบวนการ (PP) ที่เกี่ยวข้องคือ ระบบหมุนเวียนของสารละลาย โดยมีระบบท่อที่อยู่ในบ่อชุบเป็นตัวแปร ซึ่งจะแสดงดังต่อไปนี้

การพิจารณาลำดับที่ 1 กระบวนการที่ 12 : กระบวนการเคลือบผิวหน้าทองแดงด้วยทอง (Gold plating , Au plating) มีความสัมพันธ์ในระดับมากกับ FPP1 คือ ค่าความหนาของการเคลือบผิวไม่ตรงตามที่กำหนด

เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษา มีผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตอยู่จำนวนมาก และค่าความหนาของการเคลือบผิวของผลิตภัณฑ์แต่ละผลิตภัณฑ์ มีค่าแตกต่างกัน ดังนั้นค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เป็นพารามิเตอร์ของกระบวนการ (PP) ซึ่งมีค่าไม่เท่ากันก็จะไม่สามารถหาได้หมดทุกผลิตภัณฑ์ ด้วยข้อจำกัดด้านเวลาของงานวิจัย แต่พารามิเตอร์ที่ได้นั้นมีประโยชน์ต่อบริษัทกรณีศึกษา เพราะสามารถเป็นพารามิเตอร์ตั้งต้นที่ใช้สำหรับควบคุม เพียงแต่ค่าตัวเลขอาจจะแตกต่างกัน ซึ่งเมื่อทราบพารามิเตอร์ประเภท PP หรือ IPP ตัวใด ก็สามารถกำหนดเป็นพารามิเตอร์ที่ต้องควบคุมได้

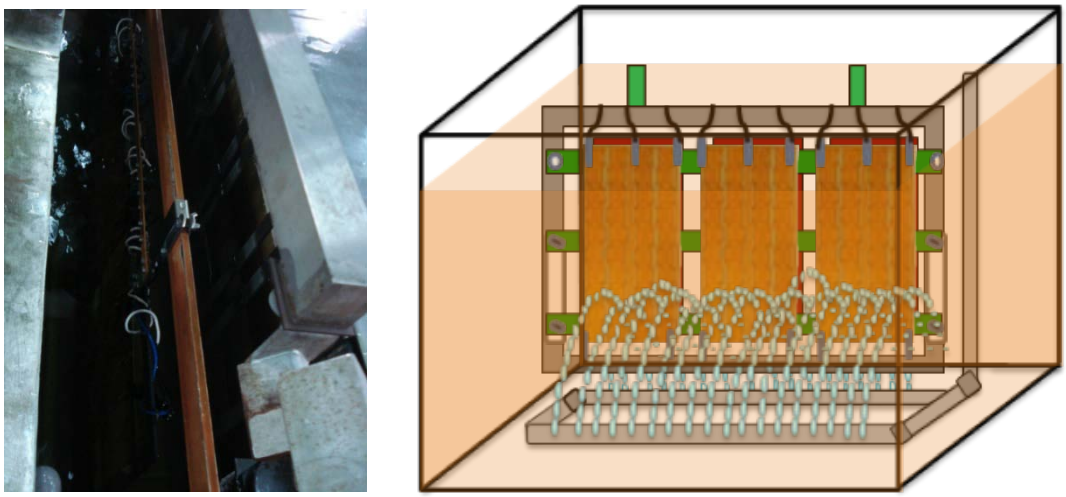
โดยในลำดับที่ 1 นี้ จะพิจารณาผลิตภัณฑ์ตัวอย่างค่าความหนาของการเคลือบผิวทองแดงด้วยทองของผลิตภัณฑ์ PD09 ซึ่งให้เป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่างของกระบวนการนี้ ซึ่งกลุ่มข้อมูลนี้ผู้วิจัยได้ทำการวัดโดยแบ่งชีทผลิตภัณฑ์ (Product sheet) ออกเป็น 3 ส่วน คือ ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ส่วนบน (Top) ส่วนกลาง (Middle) และส่วนล่าง (Bottom) ตามรูปที่ 3.12 เพื่อเปรียบเทียบค่าความหนาในแต่ละส่วนเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพิจารณา โดยการทำการสุ่มวัดงานทั้งหมด 6 วัน สุ่ม

วัด 4 รอบต่อวัน โดยวัดรอบละ 18 ชีทผลิตภัณฑ์ ชีทผลิตภัณฑ์ละ 9 ตำแหน่งหรือ 9 ชิ้นงาน ดังนั้นรวมการวัดทั้งหมดเป็น 432 ชีท หรือคิดเป็นชิ้นงานทั้งหมดคือ 3,888 ข้อมูล



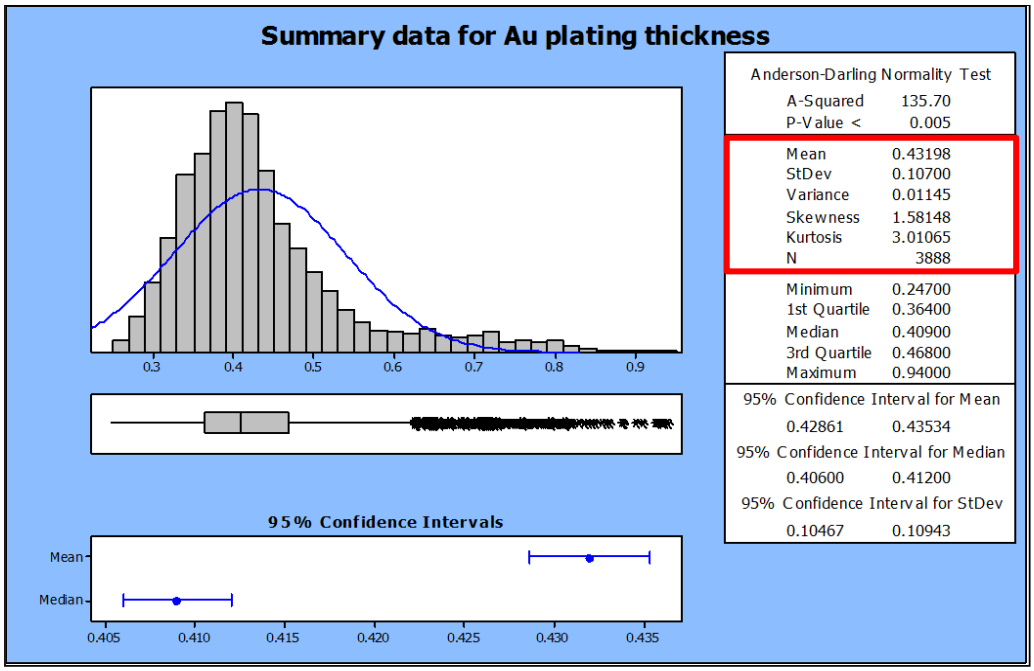
ภาพที่ 3.21 ตำแหน่งชิ้นงานที่ทำการวัด

ซึ่งสามารถแสดงลักษณะการชุบผลิตภัณฑ์ในบ่อชุบเพื่อเคลือบผิวหน้าทองแดงด้วยทอง ดังภาพที่ 3.22



ภาพที่ 3.22 แสดงลักษณะชิ้นงานในบ่อชุบเพื่อเคลือบผิวส่วนเปิดทองแดง

จากการเก็บข้อมูลค่าความหนาของการเคลือบผิวทองแดงด้วยทองของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง สามารถแสดงค่าการกระจายของค่าความหนาของการเคลือบผิวของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างได้ใน ภาพที่ 3.23

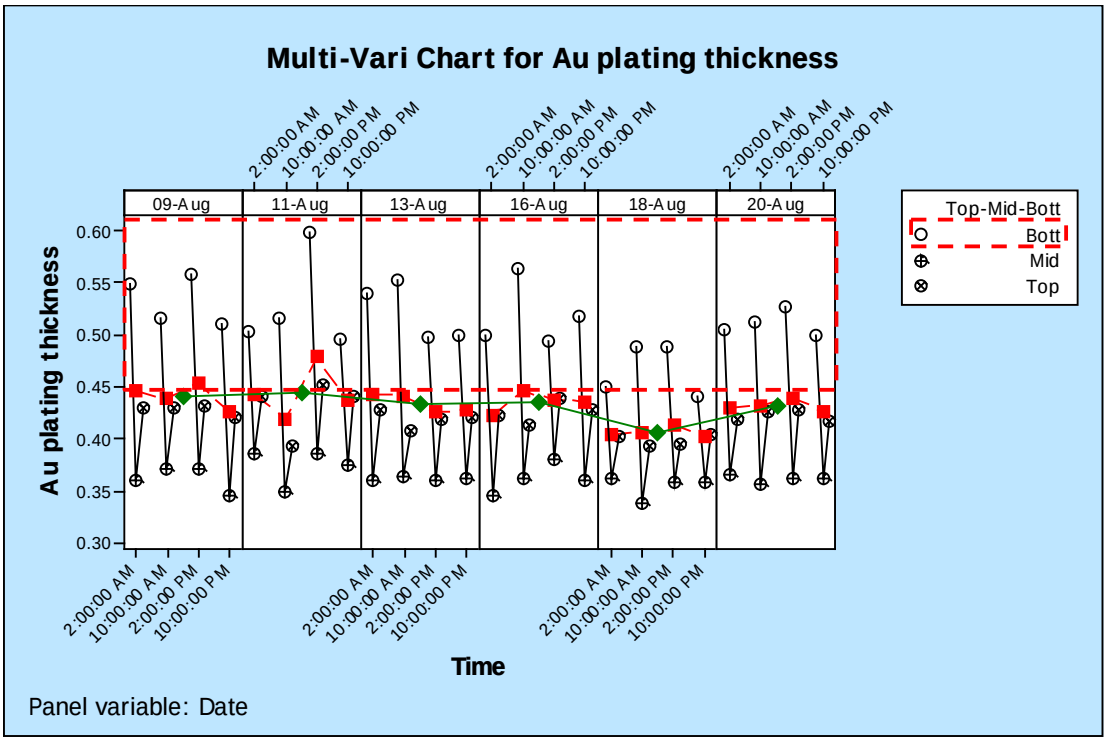


ภาพที่ 3.23 กราฟแสดงค่าการกระจายของค่าความหนาของการเคลือบผิวของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นพบว่าค่าความหนาของทองที่ใช้เคลือบผิวหน้าทองแดงในผลิตภัณฑ์ PD09 มีค่าเฉลี่ยความหนาอยู่ที่ 0.43 ไมครอน และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.107 เมื่อคิดต่อปริมาณการผลิตเฉลี่ย 1,750,000 ชิ้นต่อเดือน คิดเป็นมูลค่าทองเท่ากับ 5,535,825 บาท ซึ่งคิดมาจาก ปริมาตรของทองที่ใช้ต่อชิ้นคือใช้ในพื้นที่ส่วนเปิดทองแดงที่เคลือบคูณกับค่าความหนาของทอง โดยคิดออกมาเป็นน้ำหนักหน่วยกรัม และเทียบกับราคาทองหน่วยบาทต่อกรัม ซึ่งจะทำให้ทราบว่า น้ำหนักทองที่ใช้ต่อชิ้น (กรัม) คิดเป็นมูลค่าทองออกมาเป็นหน่วย บาทต่อชิ้น โดยปกติแล้วค่าความหนาต่ำสุดตามที่มาตรฐานกำหนด (LSL) คือ 0.2 ไมครอน ซึ่งเป็นการกำหนดขีดจำกัดต่ำสุดเพียงด้านเดียว คือต้องมีความหนา 0.2 ไมครอนขึ้นไปก็สามารถยอมรับเป็นชิ้นงานดีได้ แต่บริษัทกรณีศึกษาก็ได้ตั้งตั้งเป้าหมายสำหรับค่าความหนาของการเคลือบผิวทองของผลิตภัณฑ์ PD9 ให้มีความหนาที่ไม่เกิน 0.37 ไมครอน ดังนั้น จากข้อมูลที่ได้เมื่อนำมาคิดมูลค่าความสูญเสียของปริมาณความหนาที่เกิน 0.37 ไมครอนนั้นเป็นเงิน 794,274 บาทต่อเดือน ซึ่งจะเห็นได้ว่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นนี้ มีผลต่อต้นทุนการผลิตเป็นอย่างมาก ดังนั้น ในขั้นตอนนี้จึงจะแสดงตัวอย่างการหาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ FPP1 เพื่อนำมาเป็นพารามิเตอร์ในการควบคุมกระบวนการ

การพิจารณา IPP และ PP ในกระบวนการที่ 12 คือ กระบวนการเคลือบผิวหน้าทองแดงด้วยทอง (Gold plating , Au plating) ที่เกี่ยวข้องกับ FPP1 คือ ค่าความหนาของการเคลือบผิวไม่ตรงตามที่กำหนด โดยการพิจารณาในขั้นตอนนี้ จะทำการประชุมระดมความคิดร่วมกันจากผู้ที่หน้าที่รับผิดชอบกระบวนการและผู้ที่มีความชำนาญ เพื่อร่วมกันหาพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อค่าความหนาของการเคลือบผิวไม่ตรงตามที่กำหนด ซึ่งก่อนที่จะทำกระบวนการนี้ต้องทำการวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) ก่อนดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลอื่น ๆ เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในลำดับถัดไป

จากภาพที่ 3.23 จะพบว่าข้อมูลมีการกระจายค่อนข้างมากดังนั้น จึงทำการพิจารณาข้อมูลตามตำแหน่งของชิ้นงานที่ทำการวัด คือข้อมูลจากผลิตภัณฑ์ที่อยู่ด้านบน (Top) กลาง (Middle) และด้านล่าง (Bottom) ของบ่อชุบ (Au plating bath) และนำข้อมูลในแต่ละส่วนนี้มาพิจารณาโดยใช้แผนภูมิแปรผันเชิงซ้อน (Multi-Vari Chart) เพื่อวิเคราะห์ความผันแปรตามตำแหน่งของชิ้นงานที่อยู่ในชีทผลิตภัณฑ์เดียวกัน ตามภาพที่ 3.24



ภาพที่ 3.24 แผนภูมิแปรผันเชิงซ้อนตามตำแหน่งของชิ้นงาน

เมื่อนำข้อมูลมาทำการวัดเปรียบเทียบค่าความหนาของแต่ละตำแหน่ง พบว่าค่าความหนาของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ตำแหน่งด้านล่าง (Bottom) มีค่าความหนาที่สูงกว่าชิ้นงานที่อยู่ตำแหน่ง

กลาง (Middle) หรือ ตำแหน่งด้านบน (Top) ของบ่อชุบ (Au plating bath) จากนั้นผู้วิจัยและทีมงานจึงได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุและพารามิเตอร์หรือปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับค่าความผันแปรและค่าเฉลี่ยของค่าความหนาของทองที่เคลือบผิวส่วนเปิดของทองแดง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการทดลองด้วยการวิเคราะห์ปัจจัย 1 ปัจจัย เป็นตัวอย่างคือ ระบบการหมุนวียนของสารละลาย

ระบบหมุนเวียนของสารละลาย (Circulation system) ที่เกิดขึ้นภายในบ่อชุบ (Au plating bath) จะเกิดจากท่อที่อยู่ใต้บ่อชุบที่มีแรงดัน หมุนเวียนน้ำยาภายในบ่อ ซึ่งระบบหมุนเวียนน้ำยานี้หากระบบท่อเกิดหมุนเวียนน้ำยาไม่เหมาะสม ก็มีผลต่อค่าเฉลี่ยของความหนาที่เกิดขึ้นต่อผิวที่เคลือบได้ เช่น หากระบบหมุนเวียนน้ำยาไม่ทั่วถึง น้ำยาอาจจะเกิดการตกตะกอน และส่งผลต่อค่าเฉลี่ยและค่าความผันแปรในชิ้นงานได้ เมื่อพิจารณาข้อมูลจากรูปที่ 3.23 และ 3.24 จะพบว่าปัญหาที่พบมากที่สุดคือข้อมูลมีค่าความผันแปรค่อนข้างมาก โดยเฉพาะในเรื่องของตำแหน่งผลิตภัณฑ์ในบ่อชุบ (Product position) ที่มีค่าความหนาแตกต่างกัน โดยชิ้นงานที่อยู่ด้านล่าง (Bottom) จะมีค่าความหนามากกว่าชิ้นงานที่อยู่ด้านบน (Top) หรือตรงกลาง (Middle)

ดังนั้น จึงจะทำการพิจารณาปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อความผันแปรมากที่สุดคือระบบหมุนเวียนของสารละลาย จากการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญและวิศวกรกระบวนการ ระบบหมุนเวียนของสารละลายภายในบ่อชุบ เป็นพารามิเตอร์ที่มีความเกี่ยวข้องกับค่าความผันแปรมากที่สุด ซึ่งทิศทางของสารละลายจากท่อที่อยู่ภายใต้บ่อชุบจะฉีดเข้าหาชีทผลิตภัณฑ์ที่อยู่ด้านล่างก่อน ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ชิ้นงานด้านล่างมีค่าความหนาของการเคลือบผิวมีค่าสูงกว่าส่วนอื่น ๆ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคของทอง (Anode) จะสัมผัสกับชิ้นงานส่วนล่าง (Bottom) ได้เร็วกว่าส่วนอื่น ๆ

ในการทดลองนี้ จะแบ่งระบบหมุนเวียนของสารละลายออกเป็น 2 แบบ คือแบบเดิม (Before improve) และแบบใหม่ (After improve) ซึ่งแบบเดิมจะมีลักษณะของการฉีดสารละลายแบบพุ่งเข้าหาชีทผลิตภัณฑ์ และแบบใหม่จะมีลักษณะของการฉีดสารละลายแบบพุ่งตรง เพื่อไม่ให้สารละลายถูกฉีดเข้าหาชีทผลิตภัณฑ์ในตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งก่อน ดังภาพที่ 3.25 และ 3.26

ภาพที่ 3.25 ระบบการฉีดแบบเดิม

ภาพที่ 3.26 ระบบการฉีดแบบใหม่

การคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่าง

วิธีการคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองนี้ จะคำนวณด้วยฟังก์ชัน Power and Sample Size ของโปรแกรม MiniTab และกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้คือ

ระดับนัยสำคัญ(α) เท่ากับ 0.05

ค่าความแตกต่าง (Differences) เท่ากับ 0.05 ไมครอน

ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s) เท่ากับ 0.107

กำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดสอบความมีนัยสำคัญคือ n1 = n2 = 162 สิ่งตัวอย่าง

โดยจำนวน 162 สิ่งตัวอย่างนี้มีที่มาจาก การชุบชิ้นงานในแต่ละรอบ (Cycle) นั้นประกอบไปด้วย บ่อชุบ 3 บ่อ ในแต่ละบ่อจะมีชีทงานทั้งหมด 6 ชีท และทำการวัดงาน 9 ชิ้นต่อ 1 ชีท ดังนั้นจะได้จำนวนตัวอย่างที่ได้จากการชุบทั้งหมด 1 รอบ ดังนี้คือ

จำนวนตัวอย่างที่ใช้ = จำนวนบ่อ x จำนวนชีทต่อบ่อ x จำนวนชิ้นงานที่ใช้วัดต่อชีท

ดังนั้น จำนวนตัวอย่างที่ใช้ = 3x6x9 = 162 ตัวอย่าง

ได้ค่า Power of test เท่ากับ 99.46 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งนับว่าเพียงพอสำหรับการทดสอบ

ตารางที่ 3.7 ผลการคำนวณขนาดจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐาน

```
2-Sample t Test

Testing mean 1 = mean 2 (versus >)
Calculating power for mean 1 = mean 2 +
difference
Alpha = 0.05  Assumed standard deviation = 0.107

Sample
Difference    Size     Power
      0.05      162   0.994643

The sample size is for each group.
```

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การคำนวณผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยต่างๆ จะใช้ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ตลอดการวิเคราะห์ในทุกปัจจัย

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบ เนื่องจากต้องการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่กำหนดที่มีผลกระทบต่อค่าความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของความหนาของผิวเคลือบ ดังนั้นสมมติฐานหลักและสมมติฐานทางเลือกจึงกำหนดได้ดังนี้คือ

ทดสอบความแปรปรวน

$$Ho: \sigma_{y1}^2 \leq \sigma_{y2}^2$$

$$Ha: \sigma_{y1}^2 > \sigma_{y2}^2$$

ทดสอบค่าเฉลี่ย

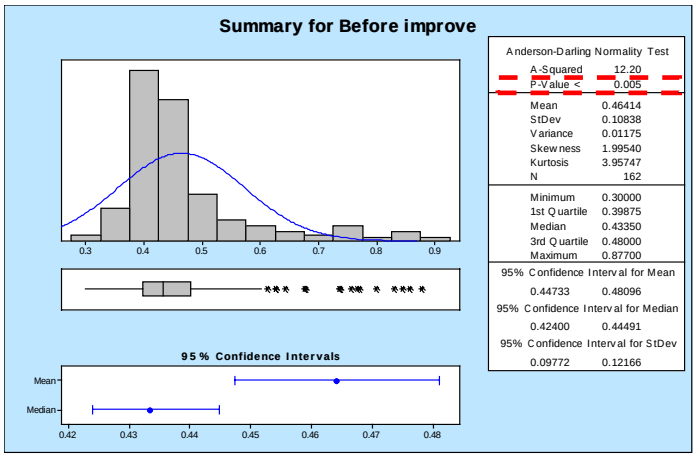
$$Ho: \mu_{y1} = \mu_{y2}$$

$$Ha: \mu_{y1} \neq \mu_{y2}$$

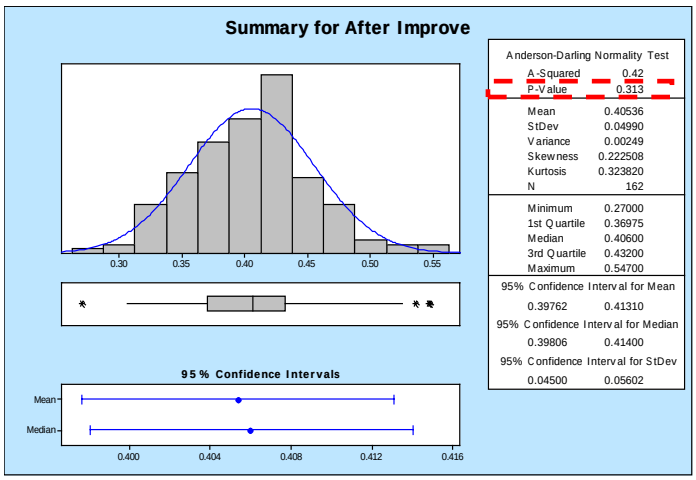
โดยกำหนดให้ σ_{y1}^2และ μ_{y1}ทนค่าความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของค่าความหนาของการเคลือบผิวทองแดงด้วยทอง ที่ถูกชุบภายใต้ระบบหมุนเวียนของสารละลายแบบเดิม (Before improve) คือพุ่งเข้าหาชีทผลิตภัณฑ์ตามลำดับ

และกำหนดให้ σ_{y2}^2 และ μ_{y2} แทนค่าความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของค่าความหนาของการเคลือบผิวทองแดงด้วยทองที่ถูกชุบภายใต้ระบบหมุนเวียนของสารละลายแบบใหม่ (After improve) คือไม่พุ่งเข้าหาชีทผลิตภัณฑ์ตามลำดับ

ในส่วนนี้จะกำหนดให้ระบบการฉีดสารละลายจากท่อแบบเดิม (Before improve) มีผลต่อค่าความหนาของทองที่ใช้เคลือบผิวส่วนเปิดของทองแดงภายใต้ระบบท่อแบบเดิม (Before improve) และ ระบบการฉีดสารละลายจากท่อแบบใหม่ (After improve) มีผลต่อค่าความหนาของทองที่ใช้เคลือบผิวส่วนเปิดของทองแดงภายใต้ระบบท่อแบบใหม่ (After improve) ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติดังภาพที่ 3.27 และ 3.28



ภาพที่ 3.27 กราฟแสดงการกระจายของค่าความหนาของการเคลือบผิวทองแดงด้วยทองจากระบบท่อแบบเดิม (Before improve)



ภาพที่ 3.28 กราฟแสดงการกระจายของค่าความหนาของการเคลือบผิวทองแดงด้วยทองจากระบบท่อแบบใหม่ (After improve)

จากการทดสอบการกระจายของข้อมูล พบว่าข้อมูลกลุ่มแรกไม่มีการกระจายแบบปกติ โดยสังเกตจากค่า P-value ที่มีค่าน้อยกว่า 0.05 กลุ่มที่สอง มีการกระจายที่เป็นแบบปกติด้วยความเชื่อมั่น 95% โดยสังเกตจากค่า P-value ที่มีค่ามากกว่า 0.05 เนื่องจากข้อมูลของกลุ่มที่ 1 ไม่มีการกระจายตัวแบบปกติ ดังนั้นจึงใช้ Levene's Test เพื่อทดสอบความแปรปรวน และการทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test เพื่อทดสอบค่าเฉลี่ย ซึ่งผลการคำนวณด้วยโปรแกรม MINITAB ได้ผลดังตารางที่ 3.8 และ 3.9

ตารางที่ 3.8 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากระบบท่อ

```
Test for Equal Variances: Before improve, After Improve

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

                  N      Lower     StDev     Upper
Before improve   162  0.0963080  0.108375  0.123746
 After Improve   162  0.0443476  0.049904  0.056982

F-Test (Normal Distribution)
Test statistic = 4.72, p-value = 0.000

Levene's Test (Any Continuous Distribution)
Test statistic = 14.49, p-value = 0.000
```

ด้วยความเชื่อมั่น 95% จากผลการคำนวณพบว่าค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 นั่นคือสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าความแปรปรวนของระบบท่อแบบเดิมมีค่าน้อยกว่าเท่ากับความแปรปรวนของระบบท่อแบบใหม่

ตารางที่ 3.9 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากระบบท่อ

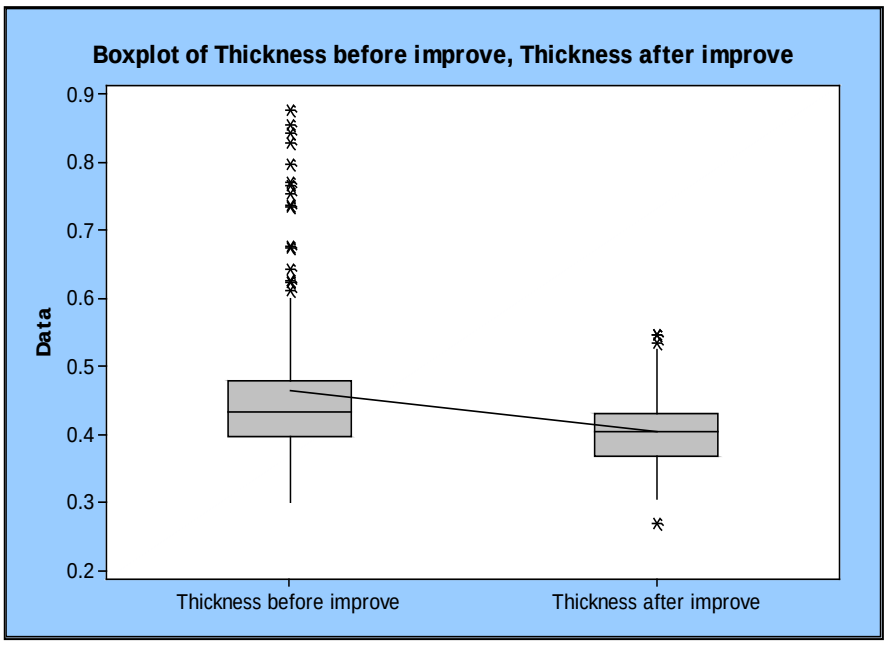
```
Two-Sample T-Test and CI: Before improve, After Improve

Two-sample T for Before improve vs After Improve

                       N    Mean   StDev  SE Mean
Before improve         162   0.464   0.108   0.0085
After Improve          162  0.4054  0.0499   0.0039


Difference = mu (Before improve) - mu (After Improve)
Estimate for difference:  0.05878
95% CI for difference:  (0.04034, 0.07723)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 6.27  P-Value = 0.000  DF = 322
Both use Pooled StDev = 0.0844
```

จากผลการทดสอบค่าเฉลี่ยพบว่าค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 นั่นคือสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 2 ระดับเท่ากัน จึงสรุปได้ว่า ระบบท่อหรือระบบการหมุนเวียนของสารละลาย มีผลกระทบต่อค่าความผันแปรและค่าเฉลี่ยความหนาของการเคลือบผิวหน้าทองแดงด้วยทอง อย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% ซึ่งในการทดลองในพารามิเตอร์ต่อไป จะทำการพิจารณาภายใต้ระบบการฉีดสารละลายด้วยท่อแบบใหม่ (After improve) เนื่องจากสามารถลดความผันแปรที่เกิดขึ้นกับค่าความหนาของทองที่ใช้เคลือบผิวได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงผลค่าความหนาเปรียบเทียบก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงได้ดังภาพ



ภาพที่ 3.29 กราฟเปรียบเทียบค่าความหนาของการเคลือบผิวทองแดงด้วยทองก่อนและหลังปรับปรุง

จากขั้นตอนการหาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ จะทำให้ทราบว่า FPP แต่ละประเภท มี IPP และ PP ที่เกี่ยวข้องด้วยพารามิเตอร์ใดบ้าง และจะเห็นได้ว่า IPP และ PP ในกระบวนการมีการควบคุมด้วยเครื่องมือและวิธีการต่าง ๆ เช่น ระบบแจ้งเตือน (alarm), เครื่องมือหรืออุปกรณ์ในกระบวนการที่สามารถตรวจสอบค่าได้ (pressure,temperature,speed monitor), ใบตรวจสอบการทำงาน (check sheet), การตรวจวิเคราะห์ผลด้วยห้องทดลอง (chemical laboratory room), แผนภูมิควบคุม (control chart), เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต (jig,tooling support,mistake proofing), กราฟบันทึกผลอัตโนมัติสำหรับเครื่องจักรเพื่อบันทึกค่ากำหนดที่ใช้ในการผลิต (graph recorder), มาตรฐานการทำงาน (process condition

instruction, work instruction, standard document) เป็นต้น โดยในความเป็นจริง ในกระบวนการผลิตอาจมีเครื่องมือที่สามารถตรวจจับการทำงานของกระบวนการอีกหลายเครื่องมือ และจากตารางยังมีบางพารามิเตอร์ที่ไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งหากมีทรัพยากรที่เพียงพอ บริษัทกรณีศึกษาควรทำการควบคุมพารามิเตอร์เหล่านั้น เช่น การติดตั้งอุปกรณ์แจ้งเตือนเพิ่ม (alarm) สำหรับพารามิเตอร์ที่ไม่มีระบบนี้ควบคุมอยู่ การเลือกวัสดุชนิดใหม่ (material) ที่มีคุณลักษณะเหมาะสมต่อกระบวนการผลิตให้มากกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน การปรับปรุงกระบวนการให้มีความรัดกุมมากขึ้นเช่น การจัดทำห้องควบคุม (clean room) เป็นต้น สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้จะช่วยให้การควบคุม IPP และ PP ที่อาจจะส่งผลต่อ FPP เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เครื่องมือในการปรับปรุงและควบคุมคุณภาพนั้นมีอยู่มากมายหลายชนิด Juan Jose´ Tarı´ และ Vicente Sabater (2004) ได้ระบุถึงเครื่องมือและเทคนิคต่าง ๆ ในการปรับปรุงคุณภาพที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์และเลือกใช้เครื่องมือได้ตามความเหมาะสมในแต่ละกระบวนการ โดยเครื่องมือต่าง ๆ ที่บริษัทกรณีศึกษาใช้ควบคุม IPP และ PP อยู่ในปัจจุบัน ก็เป็นส่วนหนึ่งในตารางนี้เช่นกัน เช่น ใบตรวจสอบการทำงาน (check sheet), แผนภูมิควบคุม (control chart), เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต (Poka Yoke), กราฟ และมีส่วนอื่นเพิ่มเติมเช่น การติดตั้งระบบแจ้งเตือน เครื่องมือหรืออุปกรณ์ในกระบวนการที่สามารถตรวจสอบค่าได้ หรือ การจัดทำมาตรฐานการทำงาน ก็สามารถเป็นเครื่องมือที่ช่วยติดตามการทำงานของกระบวนการได้เช่นเดียวกัน โดยเครื่องมือต่าง ๆ ที่ผู้วิจัยข้างต้นกล่าวถึงแสดงดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 เครื่องมือและเทคนิคทางคุณภาพที่ใช้โดยทั่วไป

เครื่องมือคุณภาพ พื้นฐาน 7 อย่าง	**เครื่องมือในการจัดการ 7 อย่าง**	**เครื่องมืออื่น ๆ**	**เทคนิค**
ผังแสดงเหตุและผล	แผนผังกลุ่มเชื่อมโยง	การระดมสมอง	การวัดเปรียบเทียบสมรรถนะ
ใบตรวจสอบ	แผนผังลูกศร	แผนควบคุม	การวิเคราะห์จุดประสงค์ของหน่วยงาน
แผนภูมิควบคุม	แผนผังแมทริกซ์	ผังงาน	การออกแบบการทดลอง
กราฟ	การวิเคราะห์ข้อมูลแบบตารางแมทริกซ์	การวิเคราะห์ปัจจัยสำเร็จและต่อต้าน	การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง
ฮิสโตแกรม	แผนภูมิขั้นตอนการตัดสินใจ	แบบสอบถาม	และผลกระทบด้านคุณภาพ
แผนภูมิพาเรโต	แผนผังภาพแสดงความสัมพันธ์	การสุ่มตัวอย่าง	การวิเคราะห์ความผิดพลาด
ผังการกระจาย	แผนผังระบบ		แบบแผนภูมิต้นไม้
			ระบบป้องกันความผิดพลาด
			กระบวนการแก้ปัญหา
			ต้นทุนคุณภาพ
			บ้านแห่งคุณภาพ
			ทีมงานปรับปรุงคุณภาพ
			การควบคุมกระบวนการด้วยหลักสถิติ

จากข้อมูลเบื้องต้น จะเห็นได้ว่า IPP และ PP ที่เกิดขึ้นในกระบวนการนั้น มีเครื่องมือที่ใช้ควบคุมหรือคอยตรวจสอบในกระบวนการอยู่แล้ว ซึ่งหากมองในแง่มุมในเรื่องความสำคัญที่ควรจะนำ IPP และ PP มาควบคุมด้วยแผนภูมิควบคุม (control chart) หรือไม่นั้น ย่อมมีความสำคัญ แต่หากมองในแง่มุมของความจำเป็นที่ควรควบคุมด้วยแผนภูมิควบคุมหรือไม่นั้น อาจไม่จำเป็นมากนัก เนื่องจากมีเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ทำการควบคุมอยู่ แต่หากต้องการควบคุม IPP หรือ PP ด้วยแผนภูมิควบคุมก็สามารถทำได้ หากหน่วยงานนั้นมีทรัพยากรที่เพียงพอ

แต่เนื่องจาก IPP และ PP นี้มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อ FPP หากเกิดความผิดปกติขึ้นกับ FPP ก็สามารถสอบกลับหรือตรวจสอบความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้จากข้อมูลของ IPP และ PP ในกระบวนการ ทำให้การหาสาเหตุความผิดปกติและการแก้ไข สามารถทำได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น ดังนั้นการควบคุมหรือตรวจสอบ IPP และ PP ในกระบวนการนั้นยังคงเป็นสิ่งจำเป็น เพียงแต่ควรจะเลือกเครื่องมือให้เหมาะสม ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ตามแนวทางในตารางที่ 3.6 และ 3.7 หรือสามารถใช้เครื่องมืออื่น ๆ ได้ขึ้นอยู่กับแต่ละองค์กร

และในส่วนของ FPP ยังควรมีการควบคุมด้วยแผนภูมิควบคุม เนื่องจาก FPP เป็นพารามิเตอร์ที่ไม่มีเครื่องมือใดที่คอยติดตาม (monitor) ต่างกับ IPP และ PP ที่มีการตรวจสอบ

ด้วยพนักงานก่อนและระหว่างทำการผลิตหรือเครื่องมืออื่น ๆ ที่กล่าวไว้ข้างต้น และ FPP ยังเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพที่ยังมีความจำเป็นสำหรับการนำข้อมูลมาใช้ในการรายงานผล พิจารณาปรับปรุงกระบวนการ และสามารถนำมากำหนดเป้าหมายทางคุณภาพขององค์กรได้อีกด้วย ซึ่งการเลือกประเภทของแผนภูมิควบคุม จะกล่าวถึงในบทถัดไป

สรุปขั้นตอนการเลือกและจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์และกระบวนการเพื่อประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม

ขั้นตอนที่ 1 จัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย (FPP) โดยการพิจารณาความวิกฤติเชิงเทคนิคและความวิกฤติเชิงต้นทุน

ขั้นตอนที่ 2 จัดลำดับความสำคัญของกระบวนการจากการพิจารณาความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย (FPP) โดยการใช้แผนผังเมทริกซ์

ขั้นตอนที่ 3 การพิจารณากระบวนการเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์แต่ละประเภท คือการหาความสัมพันธ์ระหว่าง FPP, IPP และ PP

ขั้นตอนที่ 4 ทำการศึกษาค่าที่เหมาะสมของ IPP หรือ PP ก่อนที่จะทำการควบคุม

ขั้นตอนที่ 5 เลือกพารามิเตอร์ในการใช้งานแผนภูมิควบคุม

บทที่ 4
การพัฒนาแนวทางในการเลือกประเภทของแผนภูมิควบคุม ความถี่ในการสุ่มตัวอย่างและขนาดตัวอย่าง

4.1 การพัฒนาแนวทางในการเลือกประเภทของแผนภูมิควบคุม ความถี่ในการสุ่มตัวอย่างและขนาดตัวอย่าง

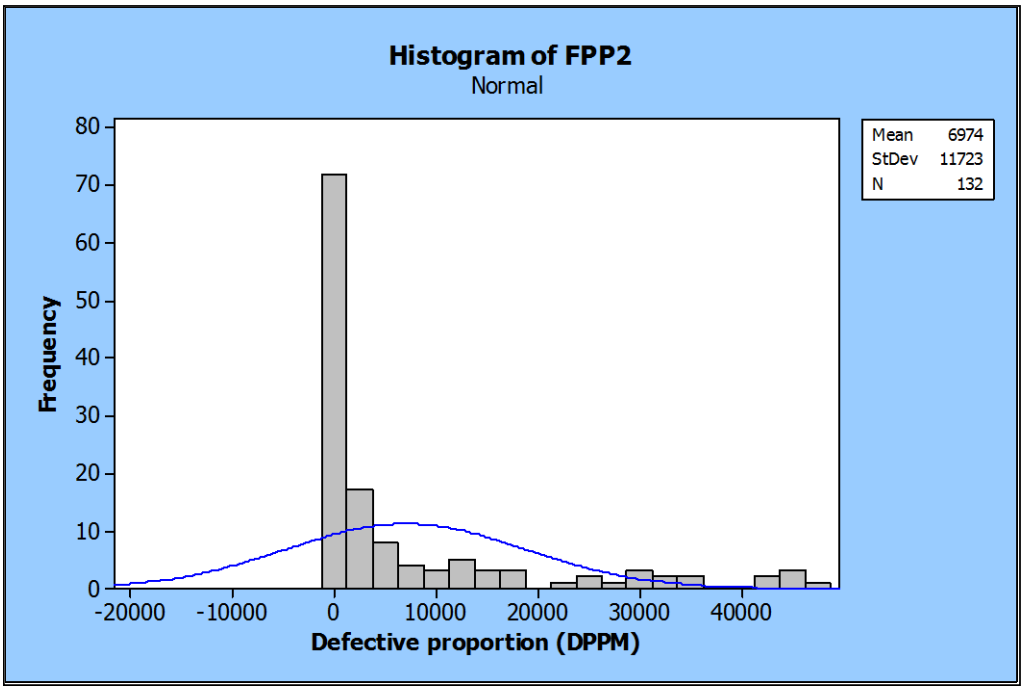
ในบทนี้จะกล่าวถึงการเลือกประเภทของแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างและความถี่ในการสุ่มตัวอย่าง ซึ่งจากบทที่แล้วได้ทำการเลือกพารามิเตอร์ที่ควบคุมทั้งหมด 7 ประเภท ซึ่งหากแบ่งตามลักษณะของการตรวจสอบชิ้นงาน จะแบ่งประเภทของเสียออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. **ข้อมูลเชิงลักษณะ** (Attribute data) เป็นข้อมูลเชิงคุณภาพที่ได้จากการตรวจสอบข้อบกพร่องที่ได้จากการตรวจสอบด้วยสายตาและการนับจำนวน ประกอบด้วยพารามิเตอร์ 5 ประเภท คือ FPP2 การเจาะหรือตัดชิ้นงานคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนด FPP3 เส้นลายวงจรขาดจากกัน FPP4 ชิ้นงานบางส่วนมีรอยยุบหรือรอยบุ๋ม FPP5 บางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกัน FPP6 บางส่วนของเส้นลายวงจรเว้าแหว่ง

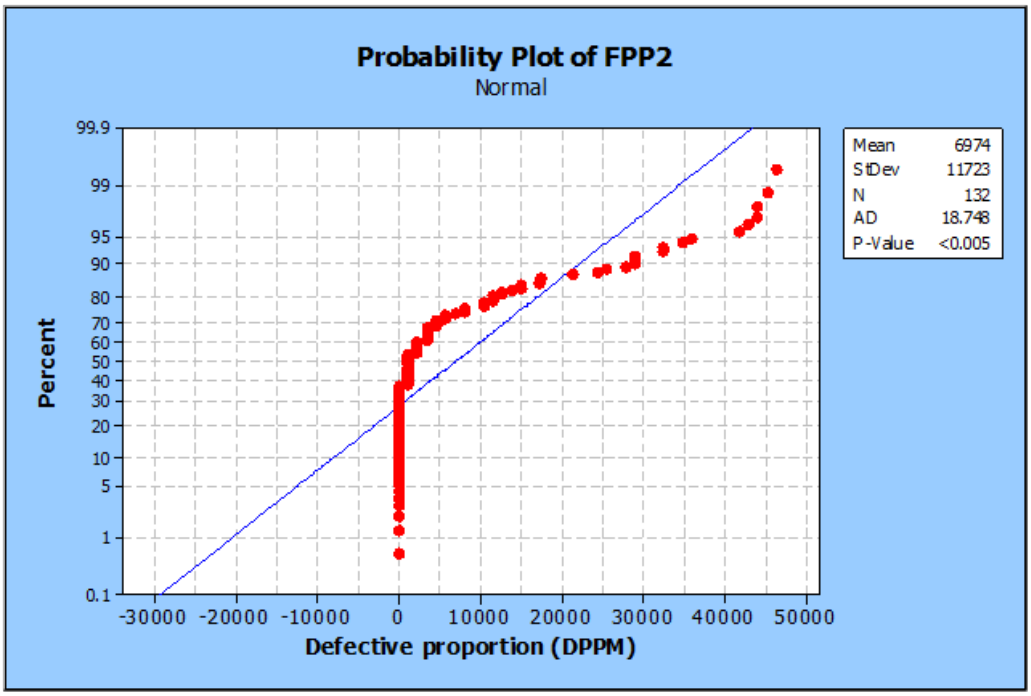
2. **ข้อมูลชนิดแปรผัน** (Variable data) เป็นข้อมูลลักษณะคุณภาพที่ได้จากการวัด ประกอบด้วยพารามิเตอร์ 2 ประเภท คือ FPP1 ค่าความหนาของการเคลือบผิวไม่ตรงตามที่กำหนด และ FPP7 ความผิดปกติของขนาดเส้นลายวงจร

เนื่องจากปัจจุบันระบบการผลิตในบริษัทกรณีศึกษามีการพัฒนาปรับปรุงอย่างต่อเนื่องด้วยกิจกรรมทางคุณภาพต่าง ๆ อีกทั้งการลดของเสียให้น้อยลง (Zero defect) ระบบการผลิตที่เปลี่ยนแปลงไป เช่นการผลิตสินค้าแบบระยะสั้นหรือการผลิตแบบหลายผลิตภัณฑ์ (Short Production Runs) ดังนั้นการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมควรพิจารณาให้เหมาะสมกับสถานการณ์ในปัจจุบัน ซึ่งการเก็บข้อมูลของเสียในบริษัทกรณีศึกษาจะทำการเก็บข้อมูลในลักษณะของเสียที่มีลักษณะเป็นชิ้น ดังนั้นแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมในการนำมาควบคุมคือแผนภูมิควบคุม p ซึ่งเป็นแผนภูมิควบคุมที่นิยมนำมาใช้ควบคุมสัดส่วนของเสียกันโดยทั่วไป แต่เนื่องจากการที่จะประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม p นั้น ข้อมูลที่จะนำมาควบคุมต้องมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal distribution) ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการเก็บข้อมูลเพื่อทดสอบการกระจายตัวของสัดส่วนของเสียแต่ละประเภทจาก FPP1 ถึง FPP7 ออกมาเป็นสัดส่วนในล้านส่วน (DPPM) จากผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง คือ ผลิตภัณฑ์ A โดยจะยกตัวอย่างการทดสอบการกระจายตัวของของเสีย

ประเภท FPP2 ดังภาพที่ 4.1 และ 4.2 และจากผลการทดสอบพารามิเตอร์ทั้ง 7 ประเภท พบว่าไม่มีพารามิเตอร์ใดที่มีการการกระจายตัวแบบปกติ



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงการกระจายตัวของข้อมูลสัดส่วนของเสียประเภท FPP2



ภาพที่ 4.2 กราฟทดสอบการกระจายตัวแบบปกติของข้อมูลสัดส่วนของเสียประเภท FPP2

4.1.1 การพัฒนาแนวทางในการเลือกประเภทของแผนภูมิควบคุม ความถี่ในการสุ่มตัวอย่างและขนาดตัวอย่างของข้อมูลเชิงลักษณะ (Attribute data)

จากกราฟแสดงการกระจายตัวและกราฟทดสอบการกระจายตัวแบบปกติของข้อมูลสัดส่วนของเสียของข้อมูลที่พบในบริษัทกรณีศึกษามีสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยมากและมีการกระจายตัวแบบไม่เป็นปกติ ดังนั้นการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม p ซึ่งใช้สำหรับการควบคุมกับข้อมูลที่ต้องมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal distribution) จึงไม่เหมาะสมกับบริษัทกรณีศึกษา โดยปัจจุบันมีงานวิจัยต่างๆ ได้เสนอแนวทางการเลือกใช้แผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมไว้กับข้อมูลที่มีลักษณะประเภทนี้ เช่นในงานวิจัยหนึ่งซึ่งทำการนำเสนอโดย Anna และ Caten (2012) ได้นำเสนอแผนภูมิควบคุมที่เรียกว่าแผนภูมิควบคุมเบต้า (Beta control chart) เพื่อใช้ในการเฝ้าติดตามสัดส่วนของเสียที่มีค่าน้อย ๆ โดยค่าของขอบเขตควบคุมจะอยู่ระหว่าง (0,1) ซึ่งสัดส่วนของเสียที่ได้ก็จะมีค่าอยู่ระหว่าง ($0 < p < 1$)

ในงานวิจัยข้างต้นได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม 4 ประเภทคือ Ryan, Shewahart, Chen และ Beta โดยผลการเปรียบเทียบพบว่าแผนภูมิควบคุมเบต้ามีประสิทธิภาพมากกว่าแผนภูมิควบคุมประเภทอื่น ๆ ซึ่งการพิจารณาประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมนี้ ได้พิจารณาจากค่า ARL_0 (In control average run length) คือค่าคาดหมายของตัวอย่างเฉลี่ยที่ต้องสุ่มจนกว่าจะพบจุดออกนอกขอบเขตควบคุม ทั้ง ๆ ที่กระบวนการอยู่ในสภาวะควบคุม และพิจารณาจากค่า ARL_1 (Out of control average run length) ซึ่งหมายถึง ค่าคาดหมายของจำนวนตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องสุ่มจนกว่าจะพบความผิดปกติ ซึ่งจากทั้งสองค่านี้แผนภูมิควบคุมเบต้า มีค่า ARL_1 น้อยที่สุด เมื่อเทียบกับแผนภูมิควบคุมประเภทอื่น ๆ ที่สัดส่วนของเสียที่เท่ากันและมีค่า ARL_0 มากที่สุดที่จำนวนตรวจสอบ $200 \leq n \leq 1{,}500$ ตัวอย่าง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผนภูมิควบคุมเบต้ามีการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการได้ดีที่สุด

ซึ่งการเลือกใช้แผนภูมิควบคุมเบต้านี้จะมีหลักการคล้ายกับแผนภูมิควบคุม p คือการควบคุมสัดส่วนของเสีย แต่ยังไม่มีการกำหนดขนาดตัวอย่างและความถี่ในการสุ่มที่ชัดเจน ในงานวิจัยของ (Goh และ Xie,2003; Xie, Lu, Goh และ Chan, 1999) ได้กล่าวถึงการควบคุมกระบวนการที่มีคุณภาพสูง (high-sigma หรือ near-zero defect) โดยการนำเสนอแผนภูมิควบคุมประเภท CCC (Cumulative count of conforming chart) และแผนภูมิควบคุม CCC-r เพื่อมาควบคุมกระบวนการ ซึ่งในการใช้แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย p หรือ np หากกระบวนการอยู่ในระดับที่ดีกว่า 3 ซิกมา การประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม p หรือ np อาจจะมีความไม่เหมาะสม เช่น

- หากกระบวนการที่มีคุณภาพของกระบวนการสูง ๆ มีขนาดตัวอย่างในการสุ่มไม่มาก

นัก จะมีผลทำให้ขอบเขตควบคุมบน (UCL) มีค่าต่ำกว่า 1 คือถ้าหากพบของเสียขึ้น 1 ชิ้น ก็จะเกิดการออกนอกการควบคุม ซึ่งหมายถึงว่าต้องไม่มีของเสียเกิดขึ้นเลย

- เกิดการแจ้งเตือนที่ผิดพลาดบ่อยครั้งขึ้น (False alarms)

- อาจมีการปรับปรุงกระบวนการล่าช้า เพราะการใช้แผนภูมิควบคุมแบบทั่ว ๆ ไป จะไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้จนกว่าจะตรวจสอบข้อมูลครบตามจำนวนที่กำหนดไว้

- กรณีที่มีของเสียต่ำ ขอบเขตควบคุมล่าง (LCL) จะมีค่าติดลบ และหากมีของเสียอยู่ที่ประมาณ 0.0001 เปอร์เซ็นต์ หรือ 100 ppm การที่จะให้ขอบเขตควบคุมล่างมีค่าเป็นบวกนั้นจะต้องใช้จำนวนตัวอย่างที่สูงมาก

และในงานวิจัยของ Xie et al. (1999) ได้กล่าวถึงการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมในกรณีที่มีสัดส่วนของเสียเกิดขึ้นน้อยๆ โดยการติดตามกระบวนการโดยเก็บข้อมูลสะสมของงานที่ตรวจสอบก่อนที่จะพบของเสียที่เกิดขึ้น r หน่วย ซึ่งได้สรุปค่าขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ CCC-1, CCC-2, CCC-3 ดังตารางที่ 4.1 และค่าขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ CCC-4, CCC-5, CCC-6 ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ค่าขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม CCC-1, CCC-2, CCC-3

	CCC-1			CCC-2			CCC-3		
p	UCL	CL	LCL	UCL	CL	LCL	UCL	CL	LCL
0.0001	66,074	6,932	13	91,895	16,786	530	114,341	26,746	2,118
0.0002	33,035	3,466	7	43,522	8,391	265	52,817	13,368	1,060
0.0003	22,023	2,311	5	29,487	5,594	177	35,959	8,913	707
0.0004	16,516	1,733	4	22,316	4,196	133	27,284	6,685	531
0.0005	13,212	1,386	3	17,953	3,357	107	21,990	5,349	425
0.0006	11,010	1,155	3	14,744	2,797	89	17,973	4,457	354
0.0007	9,437	990	2	12,699	2,398	77	15,505	3,820	304
0.0008	8,257	867	2	11,158	2,098	67	13,640	3,343	266
0.0009	7,339	770	2	9,831	1,865	60	11,982	2,971	237
0.0010	6,605	693	2	8,876	1,678	54	10,833	2,674	213
0.0020	3,301	347	1	4,436	839	27	5,414	1,337	107
0.0030	2,200	231	1	2,968	560	19	3,626	892	72
0.0040	1,649	173	1	2,222	420	14	2,715	669	54

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ค่าขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม CCC-1, CCC-2, CCC-3

	CCC-1			CCC-2			CCC-3		
p	UCL	CL	LCL	UCL	CL	LCL	UCL	CL	LCL
0.0050	1,319	139	1	1,776	336	12	2,169	535	44
0.0060	1,098	116	1	1,479	280	10	1,806	446	37
0.0070	941	99	1	1,269	240	9	1,550	382	32
0.0080	823	87	1	1,110	210	8	1,355	334	28
0.0090	731	77	1	986	187	7	1,204	297	25
0.0100	658	69	1	886	168	6	1,083	268	23
0.0200	328	35	1	441	84	4	539	134	12
0.0300	217	23	1	239	56	3	358	89	9
0.0400	162	17	1	219	42	2	268	67	7
0.0500	129	14	1	175	34	2	213	54	6

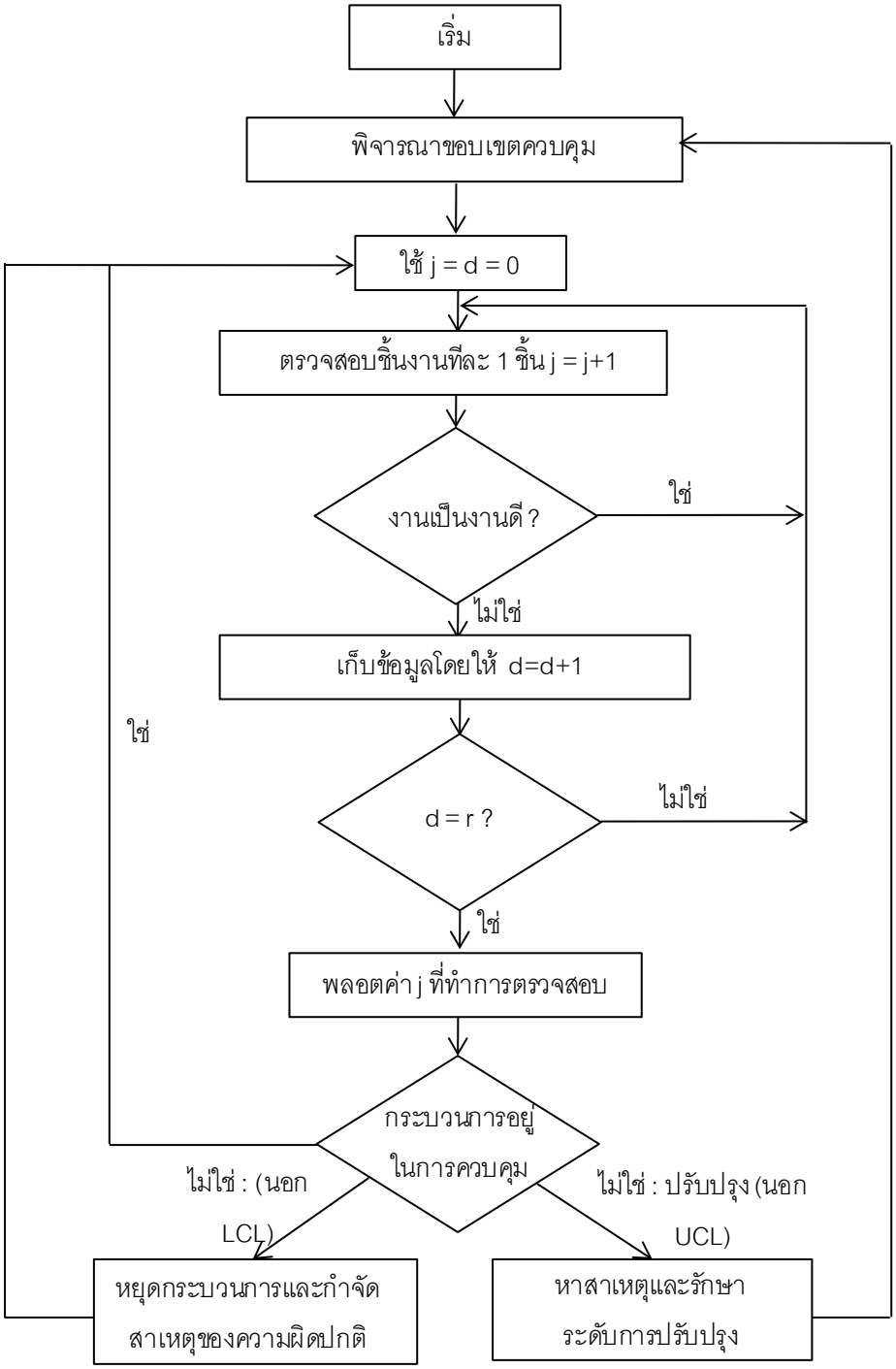
ตารางที่ 4.2 ค่าขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม CCC-4, CCC-5, CCC-6

	CCC-4			CCC-5			CCC-6		
p	UCL	CL	LCL	UCL	CL	LCL	UCL	CL	LCL
0.0002	61,309	18,357	2,328	69,284	23,349	3,961	76,940	28,343	5,877
0.0004	31,872	9,181	1,165	36,213	11,678	1,982	40,385	14,176	2,940
0.0006	20,936	6,120	777	23,726	7,785	1,322	26,403	9,450	1,961
0.0008	15,930	4,590	583	18,090	5,839	992	20,178	7,088	1,471
0.0010	12,628	3,672	467	14,327	4,671	794	15,952	5,670	1,177
0.0020	6,312	1,836	234	7,160	2,336	398	7,973	2,835	590
0.0030	4,231	1,224	157	4,804	1,557	266	5,355	1,890	394
0.0040	3,168	918	118	3,596	1,168	200	4,006	1,418	296
0.0050	2,528	735	95	2,873	934	160	3,201	1,134	237
0.0060	2,107	612	79	2,392	779	134	2,664	945	198
0.0070	1,809	525	68	2,054	667	115	2,289	810	170
0.0080	1,582	459	60	1,795	584	101	2,001	709	149
0.0090	1,405	408	53	1,595	519	90	1,777	630	133

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ค่าขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม CCC-4, CCC-5, CCC-6

	CCC-4			CCC-5			CCC-6		
p	UCL	CL	LCL	UCL	CL	LCL	UCL	CL	LCL
0.0100	1,263	367	48	1,434	467	81	1,598	567	120
0.0200	630	184	25	715	234	42	796	284	61
0.0300	418	123	17	475	156	29	529	189	42
0.0400	313	92	13	355	117	22	396	142	32
0.0500	249	74	11	283	94	18	316	114	26
0.0600	207	61	10	235	78	15	262	95	22
0.0700	177	53	9	201	67	14	224	81	19
0.0800	154	46	8	175	59	12	195	71	17
0.0900	136	41	7	155	52	11	173	63	16
0.1000	122	37	7	139	47	10	155	57	14

จากงานวิจัยของ Xie et al. (1998) ซึ่งการเลือก ค่า r หรือจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับสัดส่วนของเสียที่พบ หากสัดส่วนของเสีย (p) มีค่าน้อยมาก ๆ เช่นมีค่าน้อยกว่า 0.0001 ควรจะใช้แผนภูมิควบคุม CCC-1 แต่ก็สามารถเลือกใช้ค่า r ค่าอื่นได้ตามความเหมาะสม แต่การเลือกใช้ค่า r ที่มีค่าน้อยจะมีข้อดีมากกว่าคือ หากพิจารณาค่าควบคุมของค่า r ที่มีค่าน้อยกว่า เทียบที่สัดส่วนของเสียที่เท่ากันกับค่า r ที่มากกว่า เช่นในตารางที่ 4.1 ที่ p=0.002 แผนภูมิควบคุม CCC-2 จะมีค่า UCL = 4,436, CL=839, LCL=27 และที่ p=0.002 แผนภูมิควบคุม CCC-5 จะให้ค่า UCL = 7,160, CL=2,336, LCL=398 จะเห็นได้ว่าหากเลือกค่า r ที่น้อยกว่าความรวดเร็วในการตัดสินใจแก้ปัญหาเมื่อเกิดความผิดปกติก็จะมีความรวดเร็วตามไปด้วย โดยในงานวิจัยของ ธีรพร เสนพรหม (2550) ได้ประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมชนิดนี้ มาเฝ้าติดตามควบคุมแม่แบบเสียในกระบวนการ เนื่องจากสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อย โดยแผนภูมิการไหลของการใช้แผนภูมิควบคุม CCC-r แสดงดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 แผนภูมิการไหลของการใช้แผนภูมิควบคุม CCC-r

โดยที่ j คือ จำนวนชิ้นงานที่ตรวจสอบ

d คือ จำนวนชิ้นงานเสียที่พบ

r คือ จำนวนชิ้นงานเสียที่กำหนด

ซึ่งกระบวนการตัดสินใจในการพิจารณาแผนภูมิควบคุม CCC-r นั้น จะทำการพิจารณาแผนภูมิควบคุมที่ต่างจากแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย p หรือ np โดยทั่ว ๆ ไป คือ หากมีจุดอยู่เหนือขอบเขตควบคุมบน (UCL) แสดงว่ากระบวนการมีการปรับปรุง ขณะที่หากมีจุดพลอตอยู่ใต้ขอบเขตควบคุมล่าง (LCL) แสดงว่ากระบวนการแย่ลง ต้องทำการหาสาเหตุและแก้ไขความผิดปกติที่เกิดขึ้น ซึ่งการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมประเภทนี้จะถูกตรวจสอบชิ้นงานทีละชิ้น ๆ ซึ่งไม่มีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ดังนั้น การตรวจสอบลักษณะนี้จะทำให้กระบวนการถูกตรวจจับความผิดปกติได้เร็วขึ้น

และเนื่องจากกระบวนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษาเป็นการผลิตที่ผลิตหลายผลิตภัณฑ์และมีการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ในการผลิตอย่างรวดเร็ว (Short production runs) และมีสัดส่วนของเสียน้อย หากจะการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม CCC-r โดยแยกประเภทแผนภูมิควบคุมให้มีหนึ่งแผนภูมิต่อ 1 ผลิตภัณฑ์ อาจสร้างความยุ่งยากต่อการประยุกต์ใช้งาน ซึ่งทำให้เกิดความสิ้นเปลืองทรัพยากร ทั้งกับเวลาที่พนักงานที่ต้องเปลี่ยนแผนภูมิควบคุมทุกๆ การเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ และปริมาณเอกสารที่ต้องมีเป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังไม่พบงานวิจัยที่กล่าวถึงแผนภูมิควบคุมที่ทำการประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตแบบหลายผลิตภัณฑ์ (Short production runs) และมีสัดส่วนของเสียต่ำ (Low defective proportion)

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้เสนอวิธีการในการใช้แผนภูมิควบคุมเดียวในกรณีที่มีการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ โดยเสนอให้มีการทดสอบค่าสัดส่วนของเสียของผลิตภัณฑ์ที่มีแนวโน้มที่จะทำการผลิตต่อเนื่องว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ หากสัดส่วนของเสียแต่ละประเภทมีค่าไม่แตกต่างกัน ก็ควรประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมหนึ่งแผนภูมิกับหลายผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งเป็นผลดีต่อการลดทรัพยากรที่ต้องใช้ในการสร้างแผนภูมิควบคุม ทั้งลดกำลังคน เวลา และเอกสารที่ต้องจัดเก็บ อีกทั้งการตรวจสอบของเสียของบริษัทกรณีศึกษา จะมีมาตรฐานการตรวจสอบงาน (Standard specification) ที่ถูกใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงเหมือนกันทุกผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำให้เชื่อมั่นได้ว่า ทุกๆผลิตภัณฑ์จะถูกตรวจสอบภายใต้มาตรฐานและข้อกำหนดเดียวกัน

โดยข้อมูลที่จะทำการทดสอบสมมติฐานนี้ เป็นการเก็บข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างในเดือนตุลาคมและพฤศจิกายน พ.ศ. 2555 และเนื่องจากการทดสอบนี้ เป็นการทดสอบสมมติฐานเพื่อการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมเชิงลักษณะ ดังนั้น จึงจะทำการทดสอบกับของเสีย 5 ประเภท ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่จะทำการควบคุม ประกอบด้วย

- FPP2 การเจาะหรือตัดชิ้นงานคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนด
- FPP3 เส้นลายวงจรขาดจากกัน

- FPP4 ชิ้นงานบางส่วนมีรอยยุบหรือรอยบุ๋ม
- FPP5 บางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกัน
- และ FPP6 บางส่วนของเส้นลายวงจรเว้าแหว่ง

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตในบริษัทกรณีศึกษามีผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตอยู่หลายผลิตภัณฑ์ ซึ่งหากจะทำการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม CCC-r ในหลายผลิตภัณฑ์ในแผนภูมิควบคุมเดียวกัน ผลิตภัณฑ์ในแผนภูมินั้น ๆ ควรมีสัดส่วนของเสียที่ใกล้เคียงกัน เพราะหากมีสัดส่วนที่แตกต่างกัน อาจจะก่อให้เกิดปัญหาในการพิจารณาแผนภูมิควบคุมที่จะนำมาใช้ และมีปัญหาในการตีความหมายแผนภูมิควบคุมได้ เป็นต้น

โดยในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาว่า สัดส่วนของเสียแต่ละผลิตภัณฑ์นั้น มีความแตกต่างกันกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยจะทำการยกตัวอย่างการสอบสมมติฐานกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง 2 ผลิตภัณฑ์ คือผลิตภัณฑ์ B, C ซึ่งมีแนวโน้มในการผลิตมากและเพื่อสร้างความเชื่อมั่นในการนำมาวิเคราะห์ข้อมูล

โดยจะแสดงตัวอย่างการทดสอบสมมติฐานว่าสัดส่วนของเสียของผลิตภัณฑ์ B (PB) ผลิตภัณฑ์ C (PC) ว่าสัดส่วนของเสียของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์นี้ มีสัดส่วนของเสียแตกต่างกันหรือไม่ โดยจะยกตัวอย่างวิธีการทดสอบกับของเสียประเภท FPP2 โดยมีวิธีการทดสอบสมมติฐานดังนี้

1. FPP2 การเจาะหรือตัดชิ้นงานคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนด

การคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่าง

วิธีการคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองนี้ จะคำนวณด้วยฟังก์ชัน Power and Sample Size for 2 Proportions ของโปรแกรม Minitab ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลของเสียของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างในเดือนตุลาคมและพฤศจิกายน 2555 และจะทำการทดสอบว่ามีค่า Power of Test เพียงพอสำหรับการทดสอบหรือไม่ ซึ่งโดยทั่วไปจะกำหนดให้อยู่ที่ค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ และกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ทำการตรวจสอบ = 267,000 ชิ้น

ระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05

สัดส่วนของเสีย FPP2 ของผลิตภัณฑ์ B (PB) หรือ Proportion 1 = 0.0014

สัดส่วนของเสีย FPP2 ของผลิตภัณฑ์ C (PC) หรือ Proportion 2 = 0.0041

โดยทำการแทนค่าต่างๆ เหล่านี้ลงในโปรแกรม เพื่อทำการคำนวณ ดังนั้นจะพบว่า ได้ Power of test เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งนับว่าเพียงพอสำหรับการทดสอบ

ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณขนาดสิ่งตัวอย่างและ Power of Test

```
Power and Sample Size

Test for Two Proportions

Testing proportion 1 = proportion 2 (versus not =)
Calculating power for proportion 2 = 0.0041
Alpha = 0.05

               Sample
Proportion 1     Size  Power
      0.0014  267000      1

The sample size is for each group.
```

การทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานว่าสัดส่วนของเสียของผลิตภัณฑ์ B (PB) ผลิตภัณฑ์ C (PC) ของ FPP2 : การเจาะหรือตัดชิ้นงานคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยทำการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ B และ C จำนวน 267,000 ชิ้น มีของเสียเกิดขึ้น 369 ชิ้น และ 1,084 ชิ้นตามลำดับ โดยสมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

H0 : PB = PC

Ha : PB $\neq$ PC

ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแตกต่างของสัดส่วนของเสียประเภท FPP2 ของผลิตภัณฑ์ B และ C

```
Test and CI for Two Proportions

Sample     X       N  Sample p
1        369  267000  0.001382
2       1084  267000  0.004060


Difference = p (1) - p (2)
Estimate for difference:  -0.00267790
95% CI for difference:  (-0.00295724, -0.00239856)
Test for difference = 0 (vs not = 0):  Z = -18.79  P-Value = 0.000

Fisher's exact test: P-Value = 0.000
```

จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่าค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.000 นั่นหมายถึงสัดส่วนของเสียประเภท FPP2 ของผลิตภัณฑ์ B และ C มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และจากการทดสอบ FPP ทั้งหมด 5 ประเภทนั้น สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนของเสียแต่ละประเภท

ประเภทของเสีย	Power of Test	ขนาดตัวอย่าง (ชิ้น)	ผล
FPP2	100	267,000	ต่างอย่างมีนัยสำคัญ
FPP3	99.66	267,000	ต่างอย่างมีนัยสำคัญ
FPP4	100	267,000	ต่างอย่างมีนัยสำคัญ
FPP5	100	267,000	ต่างอย่างมีนัยสำคัญ
FPP6	100	267,000	ต่างอย่างมีนัยสำคัญ

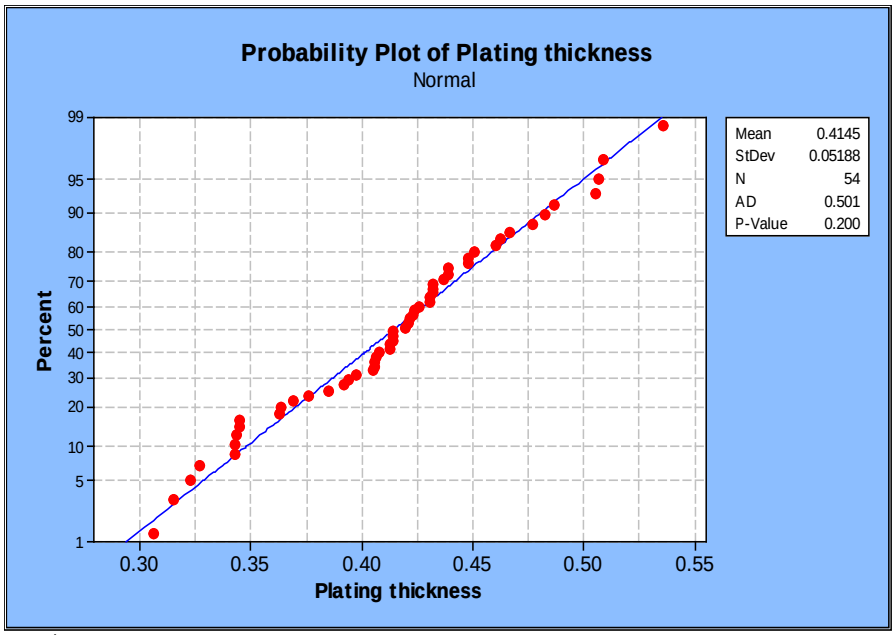
จากข้อมูลสัดส่วนของเสียของพารามิเตอร์ที่จะทำการควบคุมที่แสดงให้เห็นในข้างต้นนั้น มีค่าน้อยมาก ดังนั้นแผนภูมิควบคุมที่จะนำมาใช้ควบคุมคือแผนภูมิควบคุม CCC-r ในการเฝ้าติดตามจำนวนของเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม CCC-r กับข้อมูลเชิงลักษณะ (Attribute data) ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพที่ได้จากการตรวจสอบข้อบกพร่องจากการตรวจสอบด้วยสายตาและการนับจำนวน โดยความถี่ในการสุ่มตัวอย่างและขนาดตัวอย่างจะไม่ได้รับการกำหนดในแผนภูมิควบคุมลักษณะนี้ ซึ่งสามารถอ้างอิงวิธีการใช้แผนภูมิควบคุมได้จากภาพที่ 4.3 แผนภูมิการไหลของการใช้แผนภูมิควบคุม CCC-r

กล่าวโดยสรุปคือพารามิเตอร์ทั้ง 5 ประเภท ซึ่งประกอบด้วย FPP2 การเจาะหรือตัดชิ้นงานคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนด FPP3 เส้นลายวงจรขาดจากกัน FPP4 ชิ้นงานบางส่วนมีรอยยุบหรือรอยบุ๋ม FPP5 บางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกัน FPP6 บางส่วนของเส้นลายวงจรเว้าแหว่ง จะทำการประยุกต์ใช้ แผนภูมิควบคุม CCC-r ในบริษัทกรณีศึกษา และจากผลการทดสอบสมมติฐานจะเห็นได้ว่าสัดส่วนของเสียแต่ละประเภทของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างมีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงควรทำการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม CCC-r โดยการแยกแผนภูมิกัน หรือหากสามารถจัดกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีสัดส่วนของเสียไม่แตกต่างกันได้ ก็ควรประยุกต์ใช้แผนภูมิเดียวกันเพื่อเป็นการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมให้มีความเหมาะสมกับบริษัทกรณีศึกษาที่มีการผลิตแบบหลายผลิตภัณฑ์ (Short production runs) อีกทั้งเป็นการประหยัดทรัพยากรที่ต้องใช้ในการสร้างแผนภูมิควบคุมอีกหนทางหนึ่ง

4.1.2 การพัฒนาแนวทางในการเลือกประเภทของแผนภูมิควบคุม ความถี่ในการสุ่มตัวอย่างและขนาดตัวอย่างของข้อมูลชนิดแปรผัน (Variable data)

สำหรับการพิจารณาตามลักษณะของข้อมูลชนิดแปรผัน (Variable data) เป็นข้อมูลลักษณะคุณภาพที่ได้จากการวัดคือ FPP1 ค่าความหนาของการเคลือบผิวไม่ตรงตามที่กำหนดและ FPP7 ความผิดปกติของขนาดเส้นลายวงจร ซึ่งการเลือกประเภทของแผนภูมิควบคุมเพื่อเฝ้าติดตามค่าที่ได้จากการวัดนี้จึงควรได้รับการพิจารณา เพื่อเฝ้าติดตามค่าที่ได้จากการวัดเนื่องจากหากประยุกต์ใช้กับแผนภูมิควบคุม CCC-r เพื่อติดตามสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้น อาจไม่สามารถเฝ้าติดตามค่าความผันแปรของค่าที่ได้จากการวัดได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะพารามิเตอร์ของ FPP1 ค่าความหนาของการเคลือบผิวไม่ตรงตามที่กำหนด เพราะถึงแม้ว่าจะไม่มีของเสียเกิดขึ้น แต่ความผันแปรที่เกิดขึ้นก็ส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนการผลิตเนื่องจากค่าความหนาของการเคลือบผิวที่เกิดขึ้นคือมูลค่าของทองที่ใช้ไป ดังนั้นการพิจารณาแผนภูมิควบคุมที่ได้จากการวัด ที่ไม่ใช่แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ควรนำมาพิจารณา

และจากการเก็บข้อมูลค่าการวัดของพารามิเตอร์ FPP1 คือ ค่าความหนาของการเคลือบผิวของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง คือ ผลิตภัณฑ์ D ได้ผลดังภาพ



ภาพที่ 4.4 กราฟทดสอบการกระจายตัวแบบปกติของค่าความหนาของการเคลือบผิวของผลิตภัณฑ์ D

จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal distribution) และในปัจจุบันกระบวนการผลิตมักจะเป็นกระบวนการที่ผลิตหลายผลิตภัณฑ์ (Short production runs)

ซึ่งในบริษัทกรณีศึกษาก็มีการผลิตลักษณะนี้เช่นเดียวกัน ดังนั้นการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมกับระบบการผลิตที่เปลี่ยนแปลงไปย่อมมีความจำเป็นในการนำมาใช้ควบคุมกระบวนการ ซึ่งการพิจารณาเลือกใช้แผนภูมิควบคุมสำหรับการผลิตหลายผลิตภัณฑ์และมีการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็วนี้ ควรทำการทดสอบค่าความแตกต่างของความผันแปรของพารามิเตอร์ที่ต้องการควบคุม

และในการพิจารณาเลือกใช้แผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการผลิตที่มีลักษณะการผลิตแบบหลายผลิตภัณฑ์ (Short production runs) นั้น Montgomery (2001) ได้กล่าวถึงแผนภูมิควบคุมสำหรับข้อมูลแบบผันแปรสำหรับกระบวนการผลิตในระยะสั้นไว้คือ $\bar{x}$ และ R Chart for short production runs หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Deviation from normal (DNOM) control chart ซึ่งแผนภูมิควบคุมนี้เป็นแผนภูมิที่เหมาะกับการนำมาใช้ในการควบคุมกระบวนการที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์หลายประเภท และสามารถนำค่าที่ได้จากการวัดมาพลอตข้อมูลลงไปในแผนภูมิโดยใช้ค่าเบี่ยงเบนไปจากค่าเป้าหมาย (Target หรือ Nominal) ของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ มาคำนวณแผนภูมิควบคุม หรือสามารถนำค่าประมาณค่ากลางมาใช้แทนได้หากกรณีผลิตภัณฑ์มีค่าควบคุมด้านเดียว และเหมาะกับกระบวนการที่มีความเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละผลิตภัณฑ์เท่ากันหรือใกล้เคียงกันในทุกผลิตภัณฑ์ หากมีค่าต่างกันควรประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม Standardized $\bar{x}$ และ R charts

แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) ยังคงเป็นแผนภูมิที่นิยมใช้กันมาก เพื่อเฝ้าติดตามค่าเฉลี่ยของลักษณะคุณภาพที่กำหนดไว้ และกลุ่มตัวอย่างก็เป็นเรื่องสำคัญที่ควรพิจารณา และควรพิจารณาต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการตรวจสอบโดยการสุ่มตัวอย่าง (Sampling inspection cost) ที่รวมถึงการพิจารณาต้นทุนคงที่ (Fixed cost) และพิจารณาต้นทุนผันแปร (Variable cost) ด้วย โดยการคำนวณค่าที่เหมาะสมที่สุดของกลุ่มตัวอย่างสำหรับแผนภูมิควบคุม นี้สามารถทำได้โดยวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสม (Optimization design) เพื่อให้ได้ค่าของจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมที่สุด (Optimal values) โดยการพิจารณาจากหลายๆปัจจัย เช่น สัดส่วนระหว่าง ต้นทุนคงที่ของการสุ่มตัวอย่าง (Fixed sampling cost) และพิจารณาต้นทุนผันแปรของการสุ่มตัวอย่าง (Variable sampling cost), ค่าความต่าง (shift) ของค่าเฉลี่ยกระบวนการ และค่า ARL จำนวนจุดโดยเฉลี่ยที่จะต้องทำการพล็อตที่สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ ในกรณีทั่วๆไป จำนวนตัวอย่างที่ใช้กับแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 3 และ 4 ตัวอย่าง

ปัจจุบันมีอยู่ 2 วิธีการหลักๆในการออกแบบแผนภูมิควบคุม วิธีการแรก คือวิธีการทางสถิติ (Statistical method) เพื่อที่จะให้แผนภูมิควบคุมมีประสิทธิภาพในเชิงสถิติมากที่สุด และวิธีการที่สองคือวิธีการทางเศรษฐศาสตร์ (Economic method) เช่นลดต้นทุนของการควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติ (SPC) ให้น้อยที่สุด ซึ่งบางครั้งการคำนึงถึงด้านเศรษฐศาสตร์ก็อาจจะมีจุดด้อย เช่น การคำนวณด้วยวิธีที่ไม่ถูกต้องนัก โดยเฉพาะค่าต้นทุนต่างๆที่นำมาคำนวณ

ซึ่งปัจจุบัน แผนภูมิควบคุมที่ใช้นั้น โดยปกติแล้วจะถูกออกแบบด้วยวิธีการทางสถิติ และแผนภูมิควบคุมที่นิยมใช้มากที่สุดคือค่าเฉลี่ย$\overline{X}$สำหรับการพิจารณาค่าเฉลี่ยของข้อมูลประเภทผันแปร และด้วยข้อจำกัดของการเข้าถึงข้อมูลต้นทุนต่างๆ ที่ไม่สามารถเข้าถึงได้ การคำนวณด้วยวิธีการทางเศรษฐศาสตร์ก็จะมักจะสามารถทำได้ยาก ซึ่งข้อจำกัดด้านการเข้าถึงและได้มาซึ่งข้อมูลก็เป็นข้อจำกัดหนึ่งในการทำงานวิจัยนี้ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้พิจารณาแนวทางในการคำนวณความถี่ในการสุ่มตัวอย่างและขนาดตัวอย่างโดยวิธีการทางสถิติ โดยอ้างอิงวิธีการคำนวณจากเอกสารการสอนของ นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ ซึ่งสามารถแสดงวิธีการคำนวณได้ดังนี้ โดยที่ :

- ATS (Average Time to Signal) คือ ระยะเวลาเฉลี่ยในการส่งสัญญาณ หรือจำนวนชั่วโมงเฉลี่ยที่แผนภูมิควบคุมจะสามารถตรวจจับความผันแปรจากสาเหตุพิเศษได้

โดยที่ ATS = $ARL_1 * h$

- ARL (Average run length) คือ ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม

- ARL_0 (In-control ARL) คือ จำนวนจุดโดยเฉลี่ยที่จะต้องทำการพล็อตว่ามีการออกนอกการควบคุมทั้งที่จริง ๆ แล้ว กระบวนการอยู่ในการควบคุม โดยที่ $ARL_0 = 1/\alpha$

- ARL_1 (Out-of-control ARL) คือ จำนวนจุดโดยเฉลี่ยที่จะต้องทำการพล็อตที่สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้จริงเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุมจริง โดยที่$ARL_1 = 1/1-\beta$

- FAF คือ จำนวนชั่วโมงโดยเฉลี่ยที่แผนภูมิควบคุมจะปรากฏออกมาว่าออกนอกกการควบคุม ทั้ง ๆ ที่กระบวนการอยู่ในการควบคุม (In-control) โดยที่$FAF = ARL_0 * h$

- h คือ ระยะเวลาระหว่างความถี่ในการเก็บข้อมูลแต่ละกลุ่มย่อย

- α คือ ความน่าจะเป็นที่จะพบจุดออกนอกการควบคุม (Out of control) ทั้งที่กระบวนการอยู่ในการควบคุม (In-control) เป็นความผิดพลาดประเภทที่ 1 (Type I error)

- βคือ ความน่าจะเป็นในการที่ไม่สามารถตรวจจับความเปลี่ยนแปลงในตัวอย่างได้ ซึ่งหมายถึงความน่าจะเป็นที่จะไม่พบจุดที่ออกนอกการควบคุม (out of control) โดยที่กระบวนการนั้นออกนอกการควบคุม (out of control) เป็นความผิดพลาดประเภทที่ 2 (Type II error)

- k คือ ค่าความต่าง (Shift) ของค่าเฉลี่ยกระบวนการ หรือของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- n คือ ขนาดตัวอย่าง

ขั้นตอนในออกแบบความถี่ในการสุ่มตัวอย่างและขนาดการสุ่มตัวอย่าง

ขั้นตอนที่ 1 : กำหนดค่าα 0.0027 คือ ต้องการกำหนดค่า L ให้เท่ากับ 3 ($L = Z_{0.0027/2} = 3$)

ขั้นตอนที่ 2 : คำนวณค่า ARL_0 (In-control ARL)

$$ARL_0 = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{0.0027} = 370$$

ขั้นตอนที่ 3 : กำหนดค่า FAF เช่นกำหนดไม่ให้มีการเกิดการแจ้งเตือนที่ผิดพลาดไม่เกิน 1 ครั้งในทุกๆ 720 ชั่วโมงของการผลิต

ขั้นตอนที่ 4: ทำการคำนวณค่าความถี่ในการสุ่มตัวอย่าง

$$Freq = \frac{FAF}{ARL_0} = \frac{720}{370} = 1.94 \approx 2 \text{ hours}$$

ขั้นตอนที่ 5: พิจารณาค่า β (เช่นให้ β =0.1)

ขั้นตอนที่ 6 : พิจารณาค่าδ และพิจารณาค่า σ หรือพิจารณาค่า $k = \frac{\delta}{\sigma}$

โดยในงานวิจัยนี้จะทำการกำหนดค่า k ที่เท่ากับ 1.5 คือเท่ากับ 1.5σ

ขั้นตอนที่ 7 : คำนวณหาค่า n

$$n = \frac{\left[Z_{1-\alpha/2} - Z_{\beta}\right]^2}{\delta^2}\ \sigma^2 = \frac{[3-(-1.28)]^2}{1.5^2} = 8.14 \approx 9$$

ขั้นตอนที่ 8 : คำนวณค่า ARL_1 และ ATS

$$ARL_1 = \frac{1}{1-\beta} = \frac{1}{1-0.1} = 1.11$$

$$ATS = ARL_1 * Freq = 1.11 * 2 = 2.22 \text{ hours}$$

จากการคำนวณข้างต้น จะเห็นได้ว่าหากต้องการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย จะต้องทำการกำหนดขนาดตัวอย่างไว้ที่ 9 ตัวอย่าง และความถี่ในการสุ่มตัวอย่างไว้ที่ทุกๆ 2 ชั่วโมง โดยหากประยุกต์ใช้วิธีนี้ในกรณีทั่วไปก็สามารถทำได้

แต่ในสถานการณ์จริงของบริษัทกรณีศึกษา จะทำการวัดข้อมูลของพารามิเตอร์ประเภทข้อมูลเชิงผันแปร (Variable data) คือ FPP1 ค่าความหนาของการเคลือบผิวไม่ตรงตามที่กำหนด และ FPP7 ความผิดปกติของขนาดเส้นลายวงจร โดยการวัดทุกล็อตของทุกผลิตภัณฑ์ โดยทำการวัดล็อตละ 1 ข้อมูลหรือล็อตละ 1 ชิ้น เวลาเฉลี่ยของการผลิตต่อ 1 ล็อตจะอยู่ที่ประมาณ 20-30 นาทีต่อ 1 ล็อต ซึ่งจะเห็นได้ว่า ทุกๆ 20-30 นาทีจะได้ข้อมูลการวัดซึ่งเป็นการสุ่มตัวอย่าง 1 ข้อมูล ดังนั้น การประยุกต์ใช้หรือกำหนดขนาดตัวอย่างจากการคำนวณข้างต้น ไว้ที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 9 ตัวอย่าง และมีความถี่ในการสุ่มตัวอย่างทุกๆ 2 ชั่วโมงนั้น อาจจะทำได้ช้ากว่าการนำข้อมูลที่วัดได้จากการทำงานโดยปกตินั้นมาทำการพล็อต อีกทั้งบริษัทกรณีศึกษายังมีข้อจำกัดในการจัดสรรทรัพยากรเพื่อการทำงานที่ต่างไปจากเดิม คือต้องเพิ่มจำนวนในการสุ่มเป็น 9 ตัวอย่าง ในทุกๆ 2 ชั่วโมง ซึ่งโดยปกติก็ทำการวัดงานในทุกล็อตของผลิตภัณฑ์อยู่แล้วอีกทั้งยังเป็นความต้องการของลูกค้า และผู้วิจัยก็เห็นว่า หากนำข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยปกติ คือวัดในทุกๆ ล็อตของผลิตภัณฑ์นั้นมาประยุกต์ใช้ ก็สามารถพิจารณาค่าเฉลี่ยและความผันแปรได้ในทุกผลิตภัณฑ์ และทุกล็อตการผลิต ซึ่งเหมาะกับการผลิตแบบเปลี่ยนผลิตภัณฑ์บ่อยครั้งและผลิตครั้งละไม่มาก (Short Production Run) ของบริษัทกรณีศึกษาเป็นอย่างดี ซึ่งแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมกับการเก็บข้อมูลลักษณะนี้คือแผนภูมิควบคุม X-MR หรือ I-MR ซึ่งเป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมค่าการกระจายของค่าที่วัดได้ด้วยค่าพิสัยเมื่อขนาดของตัวอย่างย่อยเท่ากับ 1 หน่วย

แต่เนื่องจากผลิตภัณฑ์ในบริษัทกรณีศึกษามีหลายผลิตภัณฑ์และมีลักษณะการผลิตแบบระยะสั้น (Short Production run) ซึ่งหมายถึง ค่ามาตรฐาน (Specification) ของแต่ละผลิตภัณฑ์ย่อมมีค่าที่แตกต่างกัน ดังนั้น ก่อนทำการควบคุมด้วยแผนภูมิควบคุมนี้ ควรทำการพิจารณาค่าควบคุม (Control limit) ของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ก่อนที่จะทำการควบคุม หรือสามารถพิจารณาได้ว่า หากผลิตภัณฑ์มีค่ามาตรฐาน (Specification) ที่เท่ากัน มีค่าเฉลี่ยและค่าความผันแปรที่ไม่แตกต่างกัน ก็สามารถจัดให้อยู่ในกลุ่มผลิตภัณฑ์เดียวกัน ที่มีค่าควบคุม (Control limit) เดียวกันได้

ผู้วิจัยจึงได้เสนอตัวอย่างการทดสอบค่าเฉลี่ยและค่าความผันแปรของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างในกรณีที่มีค่ามาตรฐาน (Specification) ที่เท่ากัน 2 ผลิตภัณฑ์คือผลิตภัณฑ์ H และ I โดยมีค่าต่ำสุดตามที่มาตรฐานกำหนด (Lower Specification Limit) อยู่ที่ 0.2 ไมครอน และ ค่าสูงสุดตามที่มาตรฐานกำหนด (Upper Specification Limit) อยู่ที่ 0.5 ไมครอน โดยทำการทดสอบว่าค่าเฉลี่ยและค่าความผันแปรของทั้งสองผลิตภัณฑ์นี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ เพื่อพิจารณาว่าผลิตภัณฑ์ทั้งสองประเภทนี้สามารถประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมเดียวกันได้หรือไม่ โดยจะยกตัวอย่างในส่วนของค่าที่ได้จากการวัดค่าพารามิเตอร์ของ FPP1 คือค่าความหนาของการเคลือบผิว (Plating thickness) โดยการทดสอบสมมติฐานมีดังนี้

การคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่าง

วิธีการคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองนี้ จะคำนวณด้วยฟังก์ชัน Power and Sample Size ของโปรแกรม MiniTab และกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้คือ

ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05

ค่าความแตกต่าง (Differences) เท่ากับ 0.01 ไมครอน

ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s) เท่ากับ 0.02

กำหนด Power of test เท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณขนาดจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐาน

```
2-Sample t Test

Testing mean 1 = mean 2 (versus not =)
Calculating power for mean 1 = mean 2 + difference
Alpha = 0.05  Assumed standard deviation = 0.02

            Sample  Target
Difference    Size   Power  Actual Power
      0.01      86     0.9      0.903230

The sample size is for each group.
```

จากตารางที่ 4.6 ทำให้ได้ผลการคำนวณตัวอย่างที่ Power of test เท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์คือ 86 ตัวอย่าง

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การคำนวณผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยต่างๆ จะใช้ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 โดยสมมติฐานหลักและสมมติฐานทางเลือก กำหนดได้ดังนี้คือ

ทดสอบความแปรปรวน:

$$H_o : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$
$$H_a : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

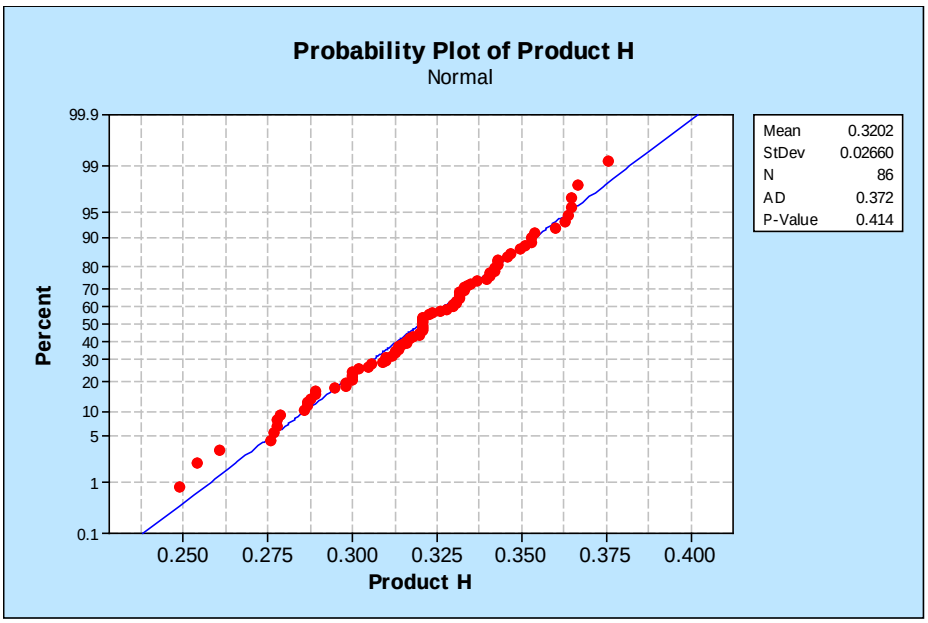
ทดสอบค่าเฉลี่ย :

$$H_o : \mu_1 = \mu_2$$
$$H_a : \mu_1 \neq \mu_2$$

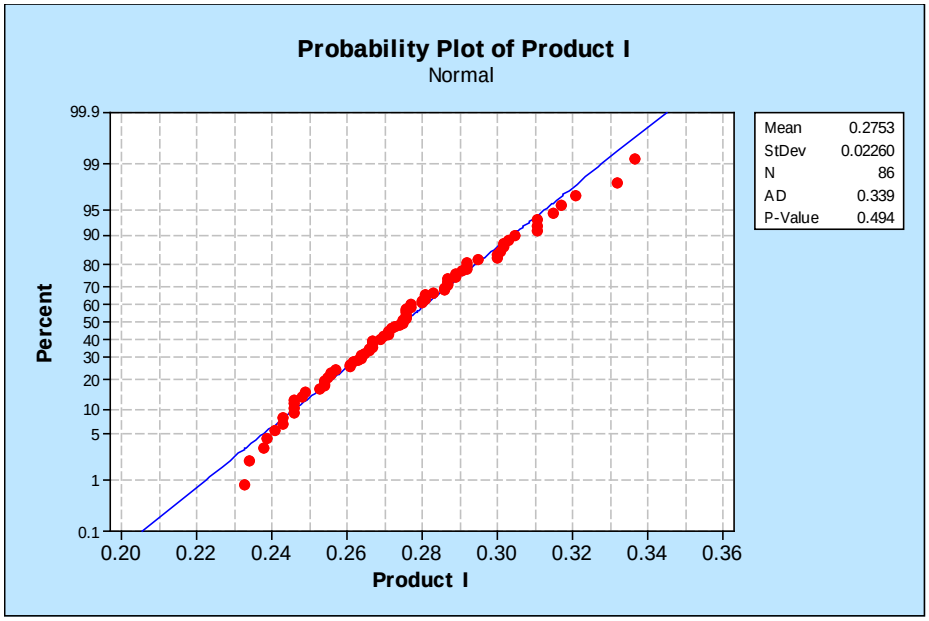
โดยกำหนดให้ σ_1^2 และ μ_1แทนค่าความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของค่าความหนาของการเคลือบผิวทองแดงด้วยทองของผลิตภัณฑ์ H

และกำหนดให้ σ_2^2 และ μ_2แทนค่าความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของค่าความหนาของการเคลือบผิวทองแดงด้วยทองของผลิตภัณฑ์ I

โดยในการทดลองนี้ทำการเก็บข้อมูลจากการวัดของพารามิเตอร์ FPP1 คือค่าความหนาของการเคลือบผิว (Plating thickness) จากผลิตภัณฑ์ H และ I โดยการพิจารณาค่าการกระจายตัวแบบปกติได้ผลดังภาพ



ภาพที่ 4.5 กราฟทดสอบการกระจายตัวแบบปกติของค่าความหนาของการเคลือบผิวของผลิตภัณฑ์ H



ภาพที่ 4.6 กราฟทดสอบการกระจายตัวแบบปกติของค่าความหนาของการเคลือบผิวของผลิตภัณฑ์ I

จากการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลข้างต้น พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติด้วยความเชื่อมั่น 95% โดยสังเกตจากค่า P-value ที่มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงใช้ F-Test เพื่อทดสอบความแปรปรวน และการทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test เพื่อทดสอบค่าเฉลี่ย ซึ่งผลการคำนวณด้วยโปรแกรม MINITAB ได้ผลดังตารางที่ 4.14 และ 4.15

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของค่าความหนาของการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ H และ I

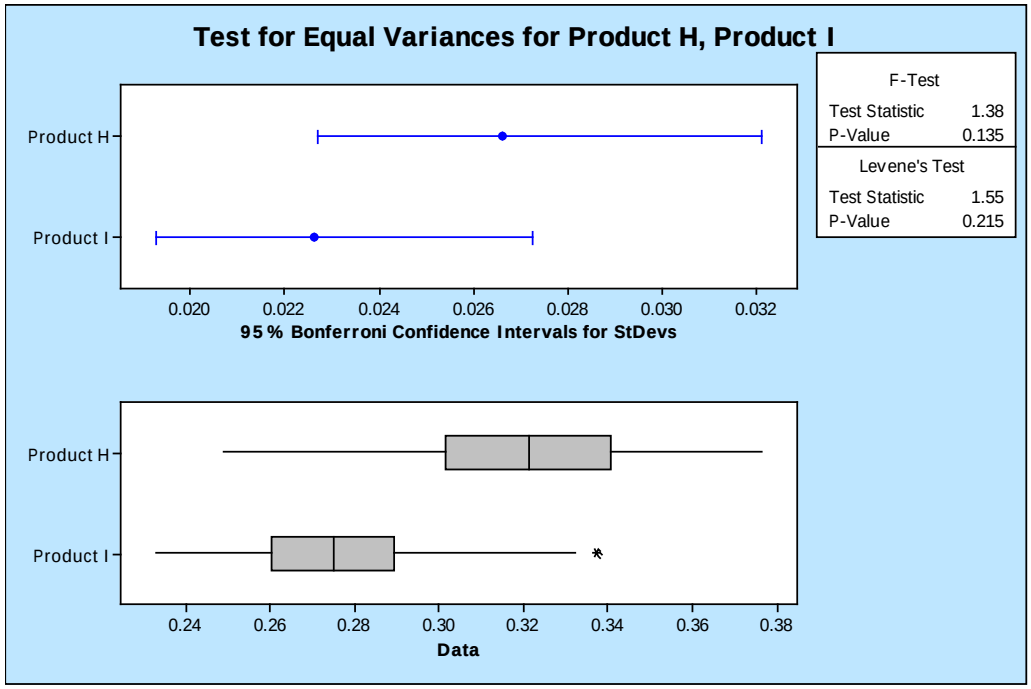
```
Test for Equal Variances: Product H, Product I

95% Bonferroni confidence intervals for standard
deviations

            N      Lower      StDev      Upper
Product H  86  0.0226826  0.0265965  0.0320622
Product I  86  0.0192741  0.0225999  0.0272442


F-Test (Normal Distribution)
Test statistic = 1.38, p-value = 0.135


Levene's Test (Any Continuous Distribution)
Test statistic = 1.55, p-value = 0.215
```



ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของค่าความหนาของการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ H และ I

จากตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.7 ด้วยความเชื่อมั่นที่ 95% จากผลการคำนวณพบว่าค่า P-value มีค่า 0.135 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 นั่นคือไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าความแปรปรวนของค่าความหนาของการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ H และ I มีค่าที่เท่ากัน

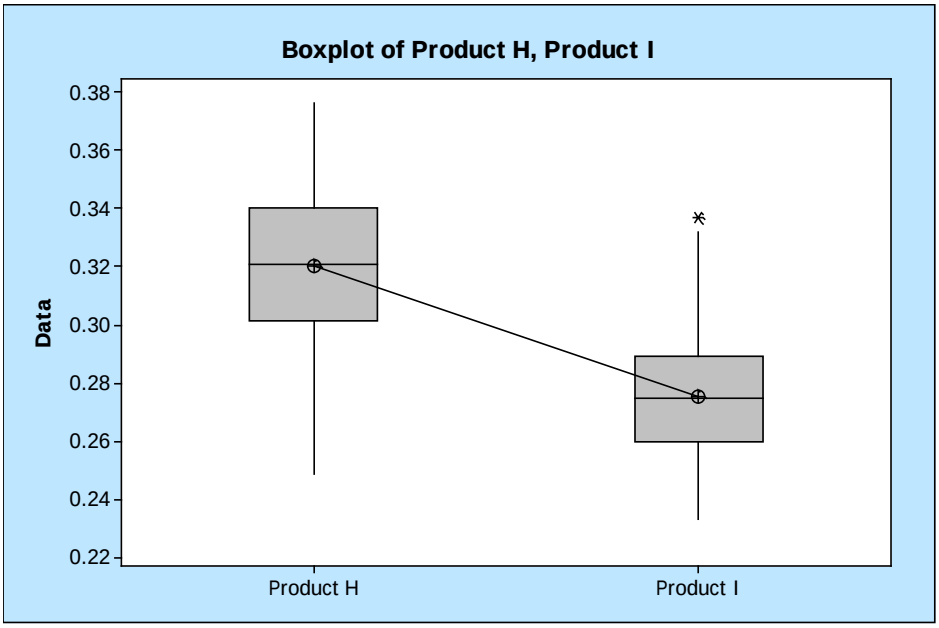
ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของค่าความหนาของการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ H และ I

Two-Sample T-Test and CI: Product H, Product I

Two-sample T for Product H vs Product I

	N	Mean	StDev	SE Mean
Product H	86	0.3202	0.0266	0.0029
Product I	86	0.2753	0.0226	0.0024

Difference = mu (Product H) - mu (Product I)
Estimate for difference: 0.04492
95% CI for difference: (0.03749, 0.05235)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 11.94
P-Value = 0.000 DF = 170
Both use Pooled StDev = 0.0247



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของค่าความหนาของการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ H และ I

จากตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.8 ด้วยความเชื่อมั่นที่ 95% จากผลการคำนวณพบว่าค่า P-value มีค่า 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 นั่นคือสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าค่าเฉลี่ยของค่าความหนาของการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ H และ I มีค่าที่เท่ากัน

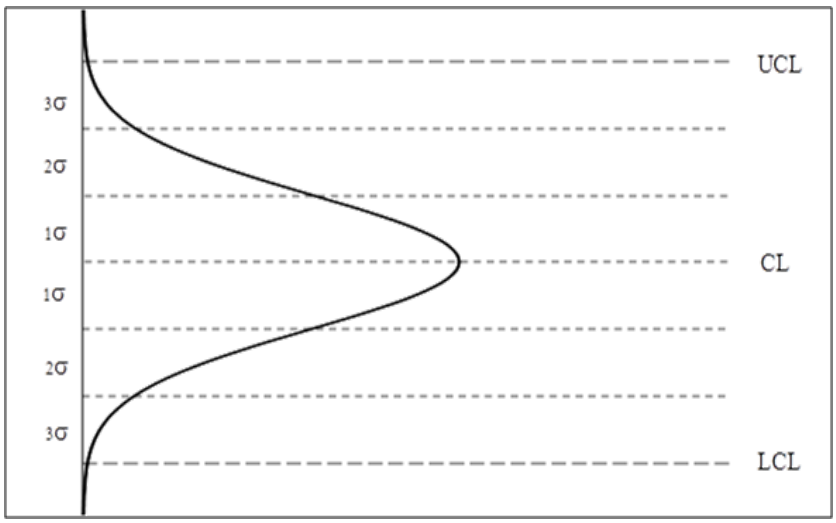
ดังนั้น จากตัวอย่างการทดสอบว่าผลิตภัณฑ์สองประเภทนี้สามารถใช้แผนภูมิเดียวกัน โดยมีค่าขอบเขตควบคุม (Control limit) เดียวกันได้หรือไม่ โดยทำการทดสอบว่าค่าเฉลี่ยและค่าความผันแปรของทั้งสองผลิตภัณฑ์นี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยผลที่ได้คือค่าความผันแปรมีค่าที่ไม่แตกต่างกัน แต่สำหรับค่าเฉลี่ยแล้วมีค่าที่แตกต่างกัน ดังนั้น อาจทำการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม Standardized X – R หรืออาจแยกแผนภูมิควบคุมโดยใช้แผนภูมิ X-MR

กล่าวโดยสรุปคือพารามิเตอร์ทั้ง 2 ประเภท ซึ่งประกอบด้วย FPP1 คือค่าความหนาของการเคลือบผิว (Plating thickness) และ ค่าพารามิเตอร์ของ FPP7 คือค่าขนาดของเส้นลายวงจร (Circuit width) จะทำการประยุกต์ใช้ แผนภูมิควบคุม X-MR หรือ I-MR ในบริษัทกรณีศึกษา โดยมีขนาดตัวอย่างเท่ากับ 1 หน่วย และความถี่ในการเก็บข้อมูลคือทุก ๆ 1 ล็อตซึ่งมีเวลาผลิตเฉลี่ยทุกๆ 20-30 นาที หรือเวลานี้อาจเปลี่ยนแปลงได้จากข้อกำหนดและการปรับเ้ กระบวนการ

บทที่ 5
การพัฒนาแนวทางในประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุมและเกณฑ์การทบทวนแผนภูมิควบคุม

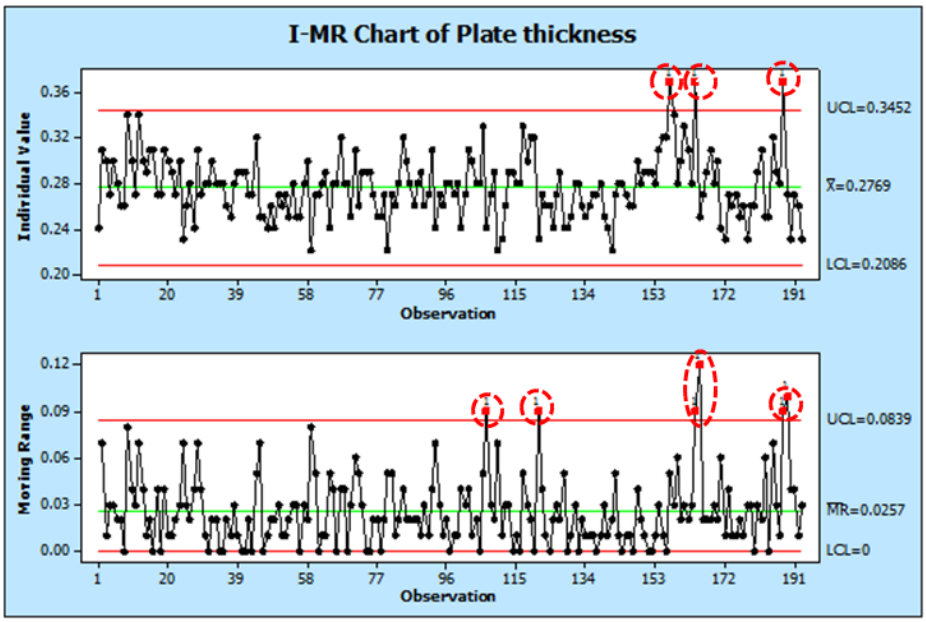
5.1 การพัฒนาแนวทางในประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุม

โดยทั่วไปแล้ว แผนภูมิควบคุมเป็นเครื่องมือที่ใช้เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตให้อยู่ภายใต้การควบคุม ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ช่วยดักจับกระบวนการผลิตว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ ซึ่งทำให้ผู้ผลิตสามารถปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้นตลอดเวลา อีกทั้งยังสามารถช่วยลดความแปรปรวนของกระบวนการผลิตและเป็นการช่วยให้เกิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง โดยปกติแผนภูมิควบคุมจะถูกกำหนดให้มีความกว้างอยู่ที่ระดับ 3 ซิกมา โดยแสดงดังภาพที่ 5.1



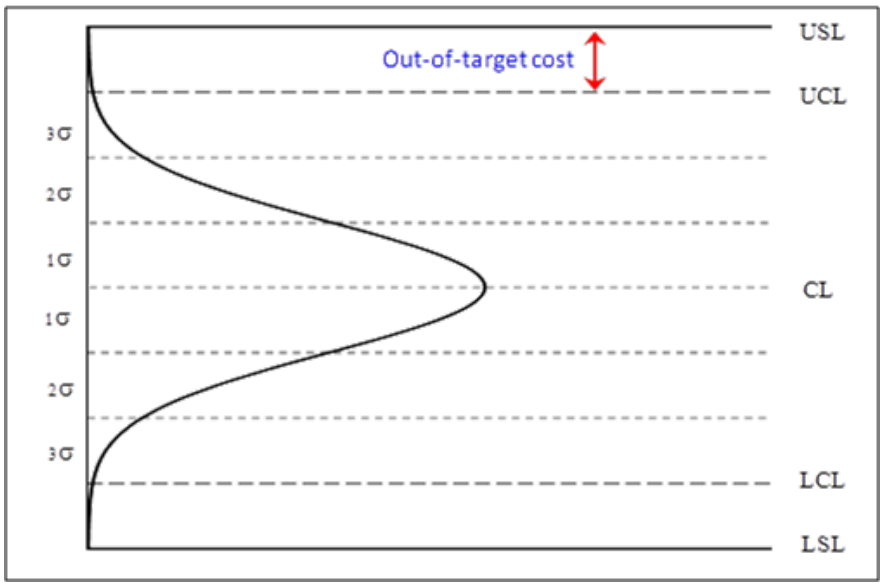
ภาพที่ 5.1 ขนาดความกว้างของแผนภูมิควบคุมโดยทั่วไป

ในสถานการณ์ของบริษัทกรณีศึกษาในปัจจุบัน มีการเก็บข้อมูลของเสีย มีการเก็บข้อมูลที่เป็นค่าวัดพารามิเตอร์สำคัญต่างๆ ในผลิตภัณฑ์ แต่ยังไม่มีการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม ซึ่งผู้วิจัยได้สุ่มเลือกค่าจากการวัดความหนาของทองที่ใช้เคลือบส่วนเปิดผิวหน้าทองแดง (Gold plate thickness) ซึ่งมีหน่วยการวัดเป็นไมครอน มา 1 ผลิตภัณฑ์ โดยการทำแผนภูมิควบคุม I-MR ด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผลดังภาพที่ 5.2



ภาพที่ 5.2 แผนภูมิควบคุม I-MR ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

จากรูปจะเห็นได้ว่ามีค่าที่อยู่นอกการควบคุมทั้งในส่วนของ Individual และ Moving Range จากหลายล็อตการผลิต แต่เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษา จะพิจารณาหรือปรับปรุงกระบวนการก็ต่อเมื่อพบว่ามีค่าวัดเกินค่ามาตรฐาน (Specification) เท่านั้น ทำให้เสียโอกาสในการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งหากเกิดการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ยเดิม (Mean shift) ย่อมหมายถึงโอกาสที่จะเกิดของเสียก็มีมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสิ่งนี้ ถือเป็นหนึ่งในความสูญเสียที่จะเกิดขึ้นจากการไม่ประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม อีกทั้งในบางกระบวนการที่มีการสูญเสียไม่เฉพาะของเสียที่เกิดขึ้นเท่านั้น แต่อาจจะมีการสูญเสียวัตถุดิบที่ใช้ไปในการผลิตเกินกว่าความจำเป็น เช่น ทอง ตะกั่ว หรือหมึกพิมพ์ที่ใช้เคลือบผิว ความหนาส่วนเกินที่เสียไป หมายถึงต้นทุนของวัตถุดิบที่สูญเสียไปด้วย เช่นค่าที่ได้ มีค่าเฉลี่ยหรือค่าของการวัดอยู่ระหว่างค่าขอบเขตควบคุมบน (UCL) และค่ามาตรฐานด้านบน (USL) เมื่อไม่มีการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม ผลิตภัณฑ์นั้นๆ ก็จะมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่าที่ควรจะเป็นหากเทียบกับกรณีที่มีการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม ซึ่งพิจารณาพื้นที่ดังกล่าวนี้ได้ดังภาพที่ 5.3 ที่อยู่ในส่วนของค่าที่ได้ไม่ตรงตามกำหนด (Out-of-target) เพราะหากมีการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมแล้ว ค่าเฉลี่ยที่เกินค่าขอบเขตควบคุมบนนั้นต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไขแล้ว เป็นต้น



ภาพที่ 5.3 ค่าวัดที่เกิดขึ้นระหว่างค่าขอบเขตควบคุมบนและค่ากำหนดมาตรฐานด้านบน

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาต้นทุนในส่วนนี้ กับพารามิเตอร์ที่มีต้นทุนประเภทนี้อยู่ เพราะหากไม่มีการใช้แผนภูมิควบคุม ก็มีความเป็นไปได้ที่ค่าที่ได้จากการวัดจะอยู่ในช่วงของ Out-of-target cost ไปในระยะเวลาหนึ่ง จนกว่าจะเกิดการปรับปรุงกระบวนการ หรืออื่นๆ ซึ่งเป็นต้นทุนที่สามารถลดได้หากประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม

แนวทางในประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุม

ในงานวิจัยนี้จะแบ่งแนวทางการประเมินสำหรับข้อมูล 2 ประเภทคือ การประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุมของพารามิเตอร์ที่เป็นข้อมูลเชิงแปรผัน และการประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุมของพารามิเตอร์ที่เป็นข้อมูลเชิงลักษณะ โดยมีแนวทางการประเมินความคุ้มค่า ดังนี้คือ

5.1.1 **การประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุมของพารามิเตอร์ที่เป็นข้อมูลเชิงแปรผัน** (Variable data)

โดยปกติแล้วในบริษัทกรณีศึกษาจะพิจารณาเปอร์เซ็นต์ของเสียหลังจากที่ทำการผลิตเป็นรอบวัน หรือคิดตามล็อตการผลิตซึ่งวิธีการเช่นนี้จะทำให้เกิดความล่าช้าในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น เพราะไม่สามารถรับทราบปัญหาได้อย่างทันท่วงที ซึ่งในงานวิจัยของ Napassavong Rojanarowan และ Nopavut Punyasiri (2012) ได้กล่าวถึงรอบเวลา (Cycle time) ในการผลิตว่ามีอยู่ 4 ช่วงเวลาคือ

ช่วงที่ 1 คือ ช่วงเวลาที่กระบวนการอยู่ในการควบคุม (In-control stage)

ช่วงที่ 2 คือ ช่วงเวลาที่สามารถตรวจจับความผิดปกติหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ย (Detection stage)

ช่วงที่ 3 คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการหาสาเหตุความผิดปกติ (Assignable cause stage)

ช่วงที่ 4 คือ ช่วงเวลาของการแก้ปัญหา (Repairing stage)

ซึ่งสามารถเขียนรอบเวลาที่กล่าวข้างต้น โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Napassavong Rojanarowan และ Nopavut Punyasiri (2012) เป็นรอบเวลาก่อนที่ยังไม่มีการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม และรอบเวลาหลังจากที่มีการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมได้ดังนี้

กำหนดให้ :

T_0 = เวลาเฉลี่ยที่กระบวนการอยู่ในการควบคุม

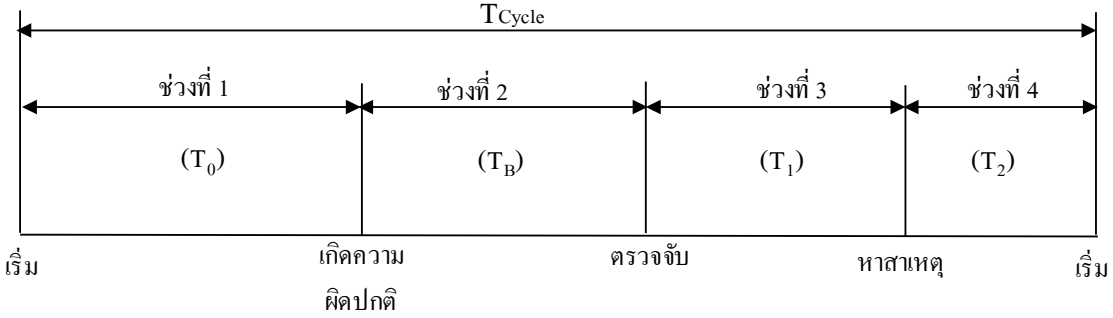
ATS = เวลาเฉลี่ยในการตรวจพบความผิดปกติหลังจากที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ย (Mean shift) ในกรณีที่มีการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม

T_B = เวลาเฉลี่ยในการตรวจพบความผิดปกติหลังจากที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ย (Mean shift) ในกรณีที่ไม่มีการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม

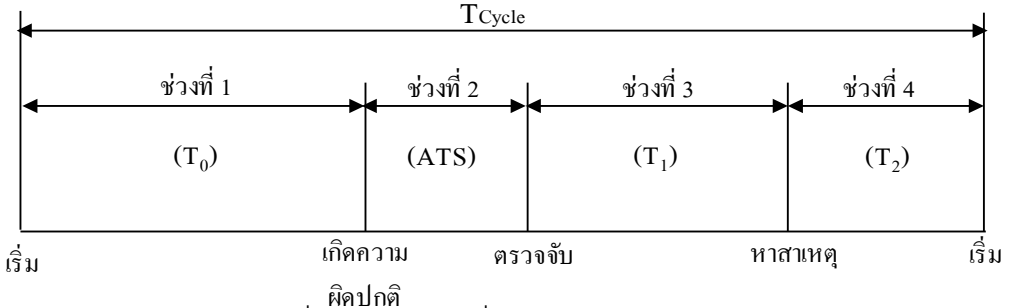
T_1 = เวลาเฉลี่ยในการหาสาเหตุของความผิดปกติ

T_2 = เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการ

T_{Cycle} = รอบเวลารวม



ภาพที่ 5.4 รอบเวลาที่ยังไม่มีการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม



ภาพที่ 5.5 รอบเวลาที่มีการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม

โดยในงานวิจัยนี้ จะกำหนดให้เวลา T_0 , T_1 และ T_2 ใช้เวลาเท่ากัน
หากจะพิจารณาถึงช่วงเวลาที่มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม คือ ช่วงเวลาที่ 1 คือช่วงเวลาที่กระบวนการอยู่ในสภาวะควบคุม และช่วงเวลาที่ 2 คือช่วงเวลาที่สามารถตรวจจับความผิดปกติได้หลังจากที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ย

โดยรอบเวลาในการตรวจพบความผิดปกติที่เกิดขึ้นในกระบวนการโดยที่ยังไม่มีการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม คือ $T_{Cycle\ (Before)} = T_0 + T_B + T_1 + T_2$

และรอบเวลาในการตรวจพบความผิดปกติที่เกิดขึ้นในกระบวนการโดยที่มีการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม คือ $T_{Cycle\ (After)} = T_0 + ATS + T_1 + T_2$

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า สิ่งที่เกิดความแตกต่างระหว่างการไม่ประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมและประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมคือ ค่าความต่างของเวลาในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ยคือค่าความต่างของ T_B และ ATS

โดยในงานวิจัยนี้จะประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุม โดยอ้างอิงแนวคิดในการประเมินต้นทุนในการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมจากงานวิจัยของ Napassavong Rojanarowan และ Nopavut Punyasiri (2012) โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเด็นหลัก คือ

1. ความคุ้มค่าจากการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ยในกรณีเกิดของเสีย (Defect cost)

โดยในการคิดความคุ้มค่านี้ มาจากแนวคิดของฟังก์ชันความน่าจะเป็นของการกระจายตัวแบบปกติ โดยความน่าจะเป็นที่จะเกิดของเสียขึ้นในกระบวนการผลิตเป็นดังนี้
กำหนดให้

- μ_0 = ค่าเฉลี่ย
- σ_0 = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- USL = ค่ากำหนดตามมาตรฐานด้านบน (Upper Specification Limit)
- LSL = ค่ากำหนดตามมาตรฐานด้านล่าง (Lower Specification Limit)
- P_R = อัตราการผลิตผลิตภัณฑ์ต่อหนึ่งหน่วยเวลา (ชิ้น/เวลา)
- C_u = ราคาต่อหน่วย (บาท/หน่วย)
- P(A) คือความน่าจะเป็นที่จะมีของเสียเกิดขึ้นในกรณีที่มีค่าเฉลี่ยหรือค่าวัดเท่ากับ

$$\mu_0 + k\sigma_0$$

ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าวัดหรือค่าเฉลี่ยไปเท่ากับ $\mu_0 + k\sigma_0$ ก็จะส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นของโอกาสที่จะเกิดของเสียมีค่าดังนี้

โดยมีสมการ คือ

$P(A) = P(X > USL) + P(X < LSL)$

$$= P\left(Z > \frac{USL - (\mu_0 + k\sigma_0)}{\sigma_0} \right) + \left(Z < \frac{LSL - (\mu_0 + k\sigma_0)}{\sigma_0} \right) \quad (1)$$

ดังนั้น ต้นทุนของเสียที่สามารถประหยัดได้คำนวณได้จาก เวลาที่สามารถลดได้ในกรณีที่สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ยคูณกับอัตราการผลิตในช่วงเวลาหนึ่งคูณราคาต่อหน่วย โดยมีสมการดังนี้คือ

ต้นทุนจากของเสียที่สามารถประหยัดได้ = $(T_B - ATS) \times P(A) \times P_R \times C_u$ (2)

2. ความคุ้มค่าจากการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ยจากค่าวัดไม่ตรงตามที่กำหนด (Out-of-target cost)

โดยต้นทุนส่วนนี้เป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นจากความสูญเสียจากวัตถุดิบที่ใช้ไปในการผลิตเกินกว่าค่าควบคุม ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยต้นทุนส่วนนี้คิดจากค่าของพารามิเตอร์ที่มีค่าเฉลี่ยหรือค่าของการวัดอยู่ระหว่างค่าขอบเขตควบคุมบน (UCL) และค่ามาตรฐานด้านบน (USL)

กำหนดให้

- μ_0 = ค่าเฉลี่ย
- σ_0 = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- UCL = ค่าขอบเขตควบคุมด้านบน (Upper Control Limit)
- USL = ค่ากำหนดตามมาตรฐานด้านบน (Upper Specification Limit)
- P_R = อัตราการผลิตผลิตภัณฑ์ต่อหนึ่งหน่วยเวลา (ชิ้น/เวลา)
- T_O = ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ปกติ เช่น กรัม/หน่วย
- T_N = ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงไปยังบริเวณ UCL,USL เช่น กรัม/หน่วย
- C_m = ราคาของวัตถุดิบต่อหน่วย เช่น บาท/กรัม
- P(OT) คือค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้นกรณี Out-of-target โดยอยู่ในช่วงพื้นที่ระหว่าง UCL และ USL

โดยความน่าจะเป็นที่จะเกิดความสูญเสียในสถานการณ์นี้ เป็นดังนี้

$$P(OT) = P(UCL<X<USL) = P\left(\frac{UCL-(\mu_0+k\sigma_0)}{\sigma_0}\right)<Z<\left(\frac{USL-(\mu_0+k\sigma_0)}{\sigma_0}\right)$$

$$= P\left(\frac{(\mu_0+3\sigma_0)-(\mu_0+k\sigma_0)}{\sigma_0}\right)<Z<\left(\frac{USL-(\mu_0+k\sigma_0)}{\sigma_0}\right)$$

$$= P\,\frac{(3-k)\sigma_0}{\sigma_0}<Z<\left(\frac{USL-(\mu_0+k\sigma_0)}{\sigma_0}\right) \quad (3)$$

ดังนั้นต้นทุนวัตถุดิบที่สามารถประหยัดได้จากการตรวจจับกรณี Out-of-target คือ

$$\text{Out-of-target} = (T_B - ATS) \times P(OT) \times \{P_R \times [(T_N - T_O) * C_m]\} \quad (4)$$

โดยในงานวิจัยนี้ จะยกตัวอย่างการคำนวณความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุมของพารามิเตอร์ที่เป็นข้อมูลเชิงผันแปร (Variable data) 1 พารามิเตอร์ คือ FPP1 ค่าความหนาของการเคลือบผิวไม่ตรงตามที่กำหนด จากผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง 1 ผลิตภัณฑ์คือผลิตภัณฑ์ CJM-132 เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์ที่มีทั้งการประเมินความคุ้มค่าจากการลดเวลาในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ยในกรณีเกิดของเสีย (Defect cost) และความคุ้มค่าจากการลดเวลาในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ยจากค่าวัดไม่ตรงตามที่กำหนด (Out-of-target cost) ซึ่งตัวอย่างการคำนวณมีดังนี้

1.ความคุ้มค่าจากการลดเวลาในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ยในกรณีเกิดของเสีย (Defect cost) อ้างอิงจากสมการที่ 2 จะได้ว่า

ต้นทุนจากของเสียที่สามารถประหยัดได้ = $(T_B - ATS) \times P(A) \times P_R \times C_u$

กำหนดให้

- T_B = เวลาเฉลี่ยในการตรวจพบความผิดปกติหลังจากที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ย (Mean shift) ในกรณีที่ไม่มีการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม หากเกิดการ Out of specification ขึ้นนั้นเวลาที่ใช้ในช่วงของการผลิต รวมเวลาของการรอวัดงาน (X-ray thickness) จนถึงการตรวจพบความผิดปกติ จะมีเวลาที่ใช้เฉลี่ยเท่ากับ 3 ชั่วโมง ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วจะพบความผิดปกติประมาณ 2 เดือน ต่อ ครั้ง หรือ 6 ครั้งต่อปี
- ATS = 2.22 ชั่วโมง (อ้างอิงจากบทที่ 4)
- μ_0 = 0.270 ไมครอน
- σ_0 = 0.068 ไมครอน
- USL = 0.5 ไมครอน
- LSL = 0.2 ไมครอน
- P_R = 30,736 ชิ้น/ชั่วโมง
- C_u = 15.876 บาท/ชิ้น

- k = 1.5

- P(A) ความน่าจะเป็นที่จะมีของเสียเกิดขึ้นในกรณีที่มีค่าเฉลี่ยหรือค่าวัดเท่ากับ $\mu_0 + k\sigma_0$

P(A) = P(X > USL) + P(X < LSL)

$$= P\left(Z > \frac{USL - (\mu_0 + k\sigma_0)}{\sigma_0} \right) + \left(Z < \frac{LSL - (\mu_0 + k\sigma_0)}{\sigma_0} \right)$$

$$= P\left(Z > \frac{0.5 - (0.27 + (1.5 * 0.068))}{0.068} \right) + \left(Z < \frac{0.2 - (0.27 + (1.5 * 0.068))}{0.068} \right)$$

= 0.0314 + 0.0057

= 0.0371

แทนค่าที่ได้ทั้งหมดลงในสมการ จะได้ว่า

ต้นทุนจากของเสียที่สามารถประหยัดได้ = $(T_B - ATS) \times P(A) \times P_R \times C_u$

= (3-2.22) x 0.0371 x 30,736 x 15.876

= 14,120.72 บาทต่อครั้ง

ดังนั้นต้นทุนจากของเสียที่สามารถประหยัดได้มีค่าประมาณ 14,121 x 6 = 84,726 บาทต่อปี

2. **ความคุ้มค่าจากการลดเวลาในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ยจากค่าวัดไม่ตรงตามที่กำหนด** (Out-of-target cost) อ้างอิงจากสมการที่ 4

ต้นทุนวัตถุดิบที่สามารถประหยัดได้จากการตรวจจับกรณี Out-of-target คือ

$$\text{Out-of-target} = (T_B - ATS) \times P(OT) \times \{P_R \times [(T_N - T_O) * C_m]\}$$

กำหนดให้

- T_B = เวลาเฉลี่ยในการตรวจพบความผิดปกติหลังจากที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ย (Mean shift) ในกรณีที่ไม่มีการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม ซึ่งโดยปกติบริษัทกรณีศึกษาจะไม่มีการพิจารณาปรับปรุงค่าเฉลี่ย จะพิจารณาเพียงว่าค่าที่วัดได้จะอยู่ภายใต้ค่ากำหนดตามมาตรฐานด้านบน (USL) และ ค่ากำหนดตามมาตรฐานด้านล่าง (LSL) หรือไม่เท่านั้น ดังนั้นเวลาในการพิจารณาค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจึงใช้เวลาค่อนข้างมาก เช่นมีการพิจารณาเมื่อมีการเปลี่ยนแผนการผลิต (Forecast) จึงทำการทบทวนค่าเฉลี่ยจากล็อตการผลิตที่ผ่านมาหรือตามรอบการเก็บบันทึกข้อมูลที่เวลา 3 เดือนต่อครั้ง หรือ 4 ครั้งต่อปี ซึ่ง T_B นี้ จะคิดเวลารวมในการผลิตเฉลี่ย

ต่อวันคูณกับจำนวณวันที่ใช้ในการพิจารณาค่าเฉลี่ยตามรอบเวลาข้างต้น ซึ่ง T_B เฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างนี้ อยู่ที่เวลาเฉลี่ย 525 ชั่วโมงต่อครั้ง

- ATS = 2.22 ชั่วโมง (อ้างอิงจากบทที่ 4)
- μ_0 = 0.270 ไมครอน
- σ_0 = 0.068 ไมครอน
- USL = 0.5 ไมครอน
- P_R = 30,736 ชิ้น/ชั่วโมง
- k = 1.5
- T_O = คิดจาก μ_0 คือที่ความหนาเท่ากับ 0.27 ไมครอน ใช้ทองเท่ากับ 0.0003426 กรัม/ชิ้น
- T_N = คิดจาก ($\mu_0 + k\sigma_0$) คือที่ความหนาเท่ากับ 0.372 ไมครอน ใช้ทองเท่ากับ 0.0004721 กรัม/ชิ้น
- C_m = ราคาทองซึ่งอยู่ที่ 1094.581 บาท/กรัม ซึ่งคิดมาจากราคาทองเฉลี่ยที่ใช้ในเดือนกุมภาพันธ์ 2556 ที่ราคา 1,094,581 บาท/กิโลกรัม
- P(OT) = ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้นกรณี Out-of-target โดยอยู่ในช่วงพื้นที่ระหว่าง UCL และ USL โดยความน่าจะเป็นที่จะเกิดความสูญเสียในสถานการณ์นี้ เป็นดังนี้

P(OT) = P(UCL<X<USL)

$$= P\ \frac{(3-k)\sigma_0}{\sigma_0} < Z < \left(\frac{USL-(\mu_0+k\sigma_0)}{\sigma_0} \right)$$

$$= P\ \frac{(3-1.5)*0.068}{0.068} < Z < \left(\frac{0.5-(0.27+(1.5*0.068)}{0.068} \right)$$

= P (1.5 < Z < 1.88)

= 0.0367

แทนค่าที่ได้ทั้งหมดลงในสมการ จะได้ว่า

Out-of-target = $(T_B - ATS) \times P(OT) \times \{P_R \times [(T_N - T_O) * C_m]\}$

= (525 – 2.22) x 0.0367 x {30,736 x [(0.0004721 - 0.0003426) * 1094.581]}

= 83,589.18 บาทต่อครั้ง

ดังนั้นต้นทุนวัตถุดิบที่สามารถประหยัดได้จากการตรวจจับกรณี Out-of-target มีค่าประมาณ 83,589 x 4 = 334,356 บาทต่อปี

หากคิดต้นทุนรวมจากของเสียที่สามารถประหยัดได้และต้นทุนวัตถุดิบที่สามารถประหยัดได้จากการตรวจจับกรณี Out-of-target ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง CJM-132 มีค่าเท่ากับ 419,082 บาทต่อปี

หากจะทำการพิจารณาว่าแผนภูมิควบคุมนี้ มีความคุ้มค่าต่อการนำมาใช้งานหรือไม่ สามารถพิจารณาได้จากการเปรียบเทียบผลประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้แผนภูมิควบคุมกับค่าใช้จ่ายในการใช้แผนภูมิควบคุม โดยผลประโยชน์ที่ได้รับคิดจากต้นทุนรวมจากของเสียที่สามารถประหยัดได้และต้นทุนวัตถุดิบที่สามารถประหยัดได้จากการตรวจจับกรณี Out-of-target ต้นทุนที่ต้องใช้ในการดำเนินการแผนภูมิควบคุมเป็นต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการเก็บข้อมูล ต้นทุนในการวิเคราะห์ข้อมูลและแก้ไขปัญหา ซึ่งเป็นผลจากเวลาที่ใช้ พนักงานที่ใช้ และทรัพยากรอื่นๆที่เกี่ยวข้อง โดยในงานวิจัยนี้ได้นำแนวทางในการคำนวณต้นทุนของการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมจากงานวิจัยของ Napassavong Rojanarowan และ Nopavut Punyasiri (2012) มาอ้างอิง โดยต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม X-MR ของพารามิเตอร์ค่าความหนาของการเคลือบผิวไม่ตรงตามที่กำหนด (FPP1) จากผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง CJM-132 ในบริษัทกรณีศึกษา โดยจะคำนวณต้นทุนออกเป็น 2 ส่วนดังนี้คือ

ต้นทุนส่วนที่ 1 เป็นต้นทุนในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลกรณีกระบวนการอยู่ในการควบคุม ซึ่งได้แก่ เวลาในการเก็บตัวอย่าง เวลาที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล เวลาที่ใช้ในการวัดชิ้นงานของพนักงาน เวลาที่ใช้ในการตรวจติดตามผลของวิศวกรกระบวนการ

ต้นทุนส่วนที่ 2 เป็นต้นทุนในการวิเคราะห์ข้อมูลกรณีกระบวนการออกนอกการควบคุม ซึ่งหมายถึงต้นทุนของเวลาที่ใช้ไปกับการวิเคราะห์หาสาเหตุของความผิดปกติที่เกิดขึ้น โดยวิศวกรกระบวนการ เช่น การตรวจสอบกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการเคลือบผิว เวลาที่ใช้ในการเคลือบ ว่ามีความผิดปกติหรือไม่ เป็นต้น

กำหนดให้

- L_E = อัตราค่าจ้างของวิศวกรกระบวนการ (บาท/ชม./คน)
- L_C = อัตราค่าจ้างของพนักงาน (บาท/ชม./คน)
- T_{PICK} = เวลาในการเก็บตัวอย่าง (ชม./ครั้ง)
- f = ความถี่ในการสุ่มตัวอย่างและความถี่ในการวัดชิ้นงาน (ครั้ง/ชม.)
- f_{MOR} = ความถี่ในการติดตามผล (ครั้ง/ชม.)
- T_{TEST} = เวลาที่ใช้ในการวัดชิ้นงาน (ชม./ชิ้น)
- n = ขนาดตัวอย่างในการวัด (ชิ้น/ครั้ง)

- T_{REC} = เวลาที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล (ชม./ครั้ง)
- T_{MOR} = เวลาในการตรวจติดตามแผนภูมิควบคุม (ชม./ครั้ง)
- T_{ACT} = เวลาที่วิศวกรใช้เพื่อวิเคราะห์ปัญหา (ชม./ครั้ง)

โดยมีสมการการคำนวณดังนี้คือ :

ต้นทุนที่ใช้ในการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมกับข้อมูลเชิงผันแปรของต้นทุนส่วนที่ 1

$$= [L_C \times (T_{PICK} \times f)] + \{L_C \times [(T_{TEST} + T_{REC}) \times f \times n]\} + [L_E \times (T_{MOR} \times f_{MOR})] \quad (5)$$

ต้นทุนที่ใช้ในการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมกับข้อมูลเชิงผันแปรของต้นทุนส่วนที่ 2

$$= (L_E \times T_{ACT}) \quad (6)$$

โดยที่ :

- L_C = 77 บาท/ชม./คน
- T_{PICK} = 0.025 ชม./ครั้ง
- f = 2 ครั้ง/ชม.
- T_{TEST} = 0.0083 ชม./ชิ้น
- n = 1 ชิ้น/ครั้ง
- T_{REC} = 0.017 ชม./ครั้ง
- L_E = 145 บาท/ชม./คน
- T_{MOR} = 0.033 ชม./ครั้ง
- f_{MOR} = 2 ครั้ง/ชม.
- T_{ACT} = 1.5 ชม./ครั้ง

ดังนั้น ต้นทุนที่ใช้ในการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมกับข้อมูลเชิงผันแปรของต้นทุนส่วนที่ 1 มีค่าเท่ากับ

$$= [L_C \times (T_{PICK} \times f)] + \{L_C \times [(T_{TEST} + T_{REC}) \times f \times n]\} + [L_E \times (T_{MOR} \times f_{MOR})]$$

$$= [77 \times (0.025 \times 2)] + \{77 \times [(0.0083 + 0.017) \times 2 \times 1]\} + [145 \times (0.033 \times 2)]$$

= 17.32 บาท / ชั่วโมง

ซึ่งหากคิดอัตราการผลิตเฉลี่ยต่อวันของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ 7 ชั่วโมงต่อวัน หรือ 25 วันต่อเดือน จะต้องใช้ต้นทุนในการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมเท่ากับ 3,031 บาท/เดือน หรือคิดเป็น 36,372 บาท/ปี

และต้นทุนที่ใช้ในการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมกับข้อมูลเชิงผันแปรของต้นทุนส่วนที่ 2 มีค่าเท่ากับ

$= (L_E \times T_{ACT})$

$= 145 \times 1.5$

= 217.5 บาท/ครั้ง

โดยต้นทุนในส่วนที่ 2 นี้ เมื่อคิดจากอัตราการเกิดความผิดปกติในเบื้องต้นที่ 12 ครั้งต่อปี คิดจากค่าเฉลี่ย 1 ครั้งต่อเดือน สามารถคิดต้นทุนในส่วนนี้ได้เท่ากับ 217.5 x 12 = 2,610 บาทต่อปี

ดังนั้น ต้นทุนรวมในการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมกับข้อมูลเชิงผันแปรจากต้นทุนส่วนที่ 1 และ ต้นทุนส่วนที่ 2 มีค่าเท่ากับ 36,372 + 2,610 = 38,982 บาทต่อปี

หากต้องการประเมินว่าแผนภูมิควบคุมนี้มีความคุ้มค่าต่อการประยุกต์ใช้งานหรือไม่นั้น ควรพิจารณาจากอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio) โดยมีแนวทางในการตัดสินใจคือหาก B/C มากกว่า 1.0 ก็สามารถยอมรับได้ว่า แผนภูมิควบคุมนั้นมีความคุ้มค่าต่อการนำมาประยุกต์ใช้งาน แต่หาก B/C มีค่าน้อยกว่า 1.0 ก็สามารถบอกได้ว่า แผนภูมิควบคุมนั้นไม่มีความคุ้มค่าที่จะนำมาประยุกต์ใช้งาน

จากตัวอย่างข้างต้น เมื่อนำข้อมูลผลประโยชน์ที่ได้ คิดเป็น 419,082 บาทต่อปี และต้นทุนในการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมเท่ากับ 38,982 บาท/ปี เมื่อนำมาประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุมของพารามิเตอร์ที่เป็นข้อมูลเชิงผันแปร (Variable data) โดยการคำนวณ B/C ได้ผลดังนี้คือ

$$Benefit\ Cost\ Ratio = \frac{419{,}082}{38{,}982}$$

$$= 10.75$$

ดังนั้น แผนภูมิควบคุม X-MR สำหรับควบคุมพารามิเตอร์ FPP1 คือ ค่าความหนาของการเคลือบผิวไม่ตรงตามที่กำหนด ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง CJM-132 มีความคุ้มค่าต่อการประยุกต์ใช้งานในบริษัทกรณีศึกษา เนื่องจากมีค่า B/C มากกว่า 1.0

โดยงานวิจัยในส่วนนี้ จะทำการเปรียบเทียบต้นทุนคุณภาพที่เกิดขึ้นจากมูลค่าวัตถุดิบที่สามารถประหยัดได้ คือต้นทุนทองที่ใช้ในการเคลือบผิวหน้าทองแดงเป็นต้นทุนความบกพร่องด้านคุณภาพภายใน (Internal Failure Costs) เทียบกับต้นทุนในการตรวจสอบค่าความหนาของการเคลือบผิวจากพนักงานเป็นต้นทุนการตรวจสอบคุณภาพ (Appraisal Costs) โดยไม่ได้รวมถึงต้นทุนคุณภาพอื่นๆ ซึ่งต้นทุนก่อนการใช้แผนภูมิควบคุมในส่วนนี้ จะคิดมาจาก เวลาในการเก็บ

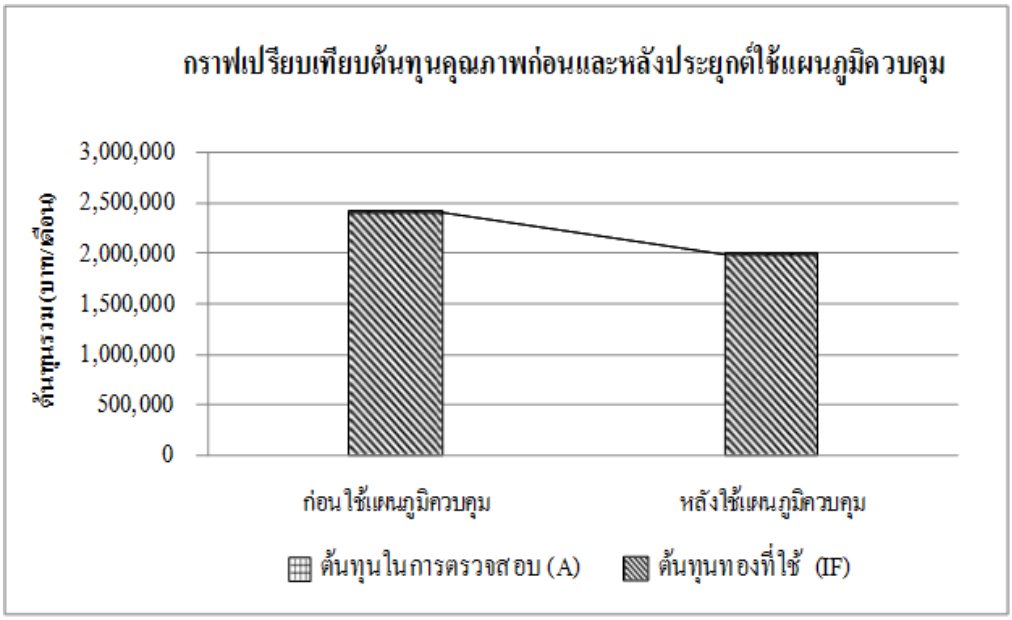
ตัวอย่าง เวลาที่ใช้ในการวัดชิ้นงาน เวลาที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล ซึ่งหลังใช้แผนภูมิควบคุมจะมีต้นทุนเกี่ยวกับเวลาในการตรวจติดตามแผนภูมิควบคุมโดยวิศวกร

โดยในการวิจัยในส่วนนี้ จะอ้างอิงข้อมูลหลักจากผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่กล่าวมาข้างต้นคือ CJM-132 โดยกำหนดให้ค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้น เป็นตัวแทนค่าความหนาของการเคลือบผิวของผลิตภัณฑ์ทุกชิ้นในช่วงการผลิตนั้นทั้งหมด โดยกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้ คือ ความหนาทองเฉลี่ย ก่อนใช้แผนภูมิควบคุมมีค่าเท่ากับ 0.320 ไมครอน น้ำหนักทองที่ใช้ 0.00041 กรัมต่อชิ้น และหลังใช้แผนภูมิควบคุม ความหนาทองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.270 ไมครอน น้ำหนักทองที่ใช้ 0.00034 กรัมต่อชิ้น โดยมีอัตราการผลิตก่อนและหลังอยู่ที่ 5,378,800 ชิ้นต่อเดือน ราคาทองอยู่ที่ 1,094.581 บาทต่อกรัม ซึ่งสามารถคิดมูลค่าทองได้จาก น้ำหนักของทองที่ใช้คูณกับราคาทองต่อกรัมและคูณกับอัตราการผลิต ซึ่งคิดต้นทุนทองที่ใช้ออกมาได้ในหน่วยบาทต่อเดือน ส่วนต้นทุนในการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลนั้น ก่อนการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมจะคิดจากต้นทุนในการเก็บและบันทึกข้อมูลเป็นหลัก และหลังประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม จะพิจารณาต้นทุนของการเฝ้าติดตามและวิเคราะห์ปัญหาร่วมด้วย โดยต้นทุนที่ได้แสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงต้นทุนของวัตถุดิบและต้นทุนการตรวจสอบคุณภาพ

รายการต้นทุนคุณภาพ	ก่อนใช้แผนภูมิควบคุม	หลังใช้แผนภูมิควบคุม
ต้นทุนทองที่ใช้ (บาท/เดือน) (IF)	2,413,888	2,001,761
ต้นทุนที่ใช้ในการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูล (บาท/เดือน) (A)	1,356	3,249
ต้นทุนรวม (บาท/เดือน)	2,415,244	2,005,010

ดังนั้น หากนำข้อมูลที่ได้นำมาเปรียบเทียบเฉพาะต้นทุนที่คิดมาจากต้นทุนทองที่ใช้จากเงื่อนไขที่กล่าวไว้ข้างต้นคือกำหนดให้ค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้น เป็นตัวแทนค่าความหนาของการเคลือบผิวของผลิตภัณฑ์ทุกชิ้นในช่วงการผลิตนั้นทั้งหมด เป็นต้นทุนความบกพร่องด้านคุณภาพภายใน (Internal Failure Costs) จะพบว่า ต้นทุนของทองที่ใช้หลังประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมจะมีค่าลดลง และต้นทุนที่ใช้ในการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูล หรือต้นทุนการตรวจสอบคุณภาพ (Appraisal Costs) จะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยต้นทุนรวมที่ลดลงคิดเป็น 410,234 บาทต่อเดือน หรือคิดเป็น 16.99 เปอร์เซ็นต์ต่อเดือน สามารถพิจารณาได้จากภาพที่ 5.6



ภาพที่ 5.6 กราฟเปรียบเทียบต้นทุนคุณภาพของข้อมูลเชิงผันแปร

5.1.2 การประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุมของพารามิเตอร์ที่เป็นข้อมูลเชิงลักษณะ (Attribute data)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุมของข้อมูลเชิงลักษณะ ซึ่งหลักการโดยทั่วไปของแผนภูมิควบคุมเชิงลักษณะนี้ จะเป็นการควบคุมโดยพิจารณาสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นภายในกระบวนการ ซึ่งความสำคัญของแผนภูมิควบคุมนี้คือ สามารถทำให้ผู้ผลิตหรือผู้ควบคุมกระบวนการทราบถึงปัญหาของสียที่เกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่ากระบวนการที่ยังไม่มีการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม นั่นหมายถึงเวลาในการแก้ปัญหาก็จะถูกแก้ไขได้รวดเร็วขึ้นตามความสามารถในการตรวจจับ ส่งผลให้โอกาสที่จะเกิดของเสียมีค่าลดลงด้วยเช่นกัน โดยงานวิจัยนี้ ได้เสนอแนวทางในการประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุมของพารามิเตอร์ที่เป็นข้อมูลเชิงลักษณะ ดังนี้

กำหนดให้

D_1 = ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นก่อนใช้แผนภูมิควบคุม (ชิ้นต่อหนึ่งหน่วยเวลา เช่น ต่อสัปดาห์ หรือ ต่อเดือน)

D_2 = ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นหลังใช้แผนภูมิควบคุม (ชิ้นต่อหนึ่งหน่วยเวลา เช่น ต่อสัปดาห์ หรือ ต่อเดือน)

C_u = ราคาต่อหน่วย (บาท/หน่วย)

ต้นทุนที่สามารถลดของเสียได้ = $(D_1 - D_2) \times C_u$ (7)

การประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุมของพารามิเตอร์ที่เป็นข้อมูลเชิงลักษณะ (Attribute data) ในงานวิจัยนี้ได้เลือกชนิดของแผนภูมิควบคุมที่ใช้คือแผนภูมิ CCC-r ซึ่งผู้วิจัยได้กล่าวถึงแผนภูมิควบคุมนี้ไว้ในบทที่ 4 โดยเป็นการนำเอาจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ทำการตรวจสอบ (Inspection) จนพบผลิตภัณฑ์ที่มีความบกพร่อง r ชิ้น มาพล็อตลงไปในแผนภูมิควบคุม ซึ่งเมื่อประยุกต์ใช้แล้ว ก็สามารถพิจารณาได้ว่าของเสียที่เกิดขึ้นก่อนและหลังประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม มีจำนวนของเสียที่ลดลงหรือไม่ โดยหลักการใช้แผนภูมิควบคุม CCC-r จะพิจารณา ค่า r และ LCL เป็นหลัก เนื่องจากหากเทียบค่า r ที่น้อยกว่า จะมีค่า LCL ที่น้อยลงเช่นกัน นั่นหมายถึง หากต้องการตรวจจับกระบวนการให้ได้อย่างรวดเร็ว ก็ควรเลือกที่ค่า r มีค่าน้อย เพื่อให้การตรวจพบของเสียมีโอกาสที่จะออกนอก LCL ได้รวดเร็วขึ้น

ในงานวิจัยนี้จะทำการเก็บข้อมูลของเสียจากผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง SOP-045 โดยพิจารณาของเสียที่เกิดขึ้นในทุกประเภท เนื่องจากพนักงานที่ทำหน้าที่ตรวจสอบจะพิจารณาของเสียทุกประเภทในชิ้นงานนั้นๆ จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นพบว่า มีสัดส่วนของเสีย (p) อยู่ที่ 0.0072 โดยจะเลือกใช้ค่า r ที่เท่ากับ 3 เนื่องจากการเลือกใช้ค่า r ที่มากกว่านี้ จะมีผลให้เกิดการตรวจจับที่ช้าลง และหากเลือกที่ r ที่น้อยเกินไป ก็อาจส่งผลให้มีการแจ้งเตือนกระบวนการว่ามีการออกนอกการควบคุมด้วยความถี่ที่มากเกินไป ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตที่ต้องหยุดกระบวนการเพื่อหาสาเหตุความผิดปกติ เป็นต้น

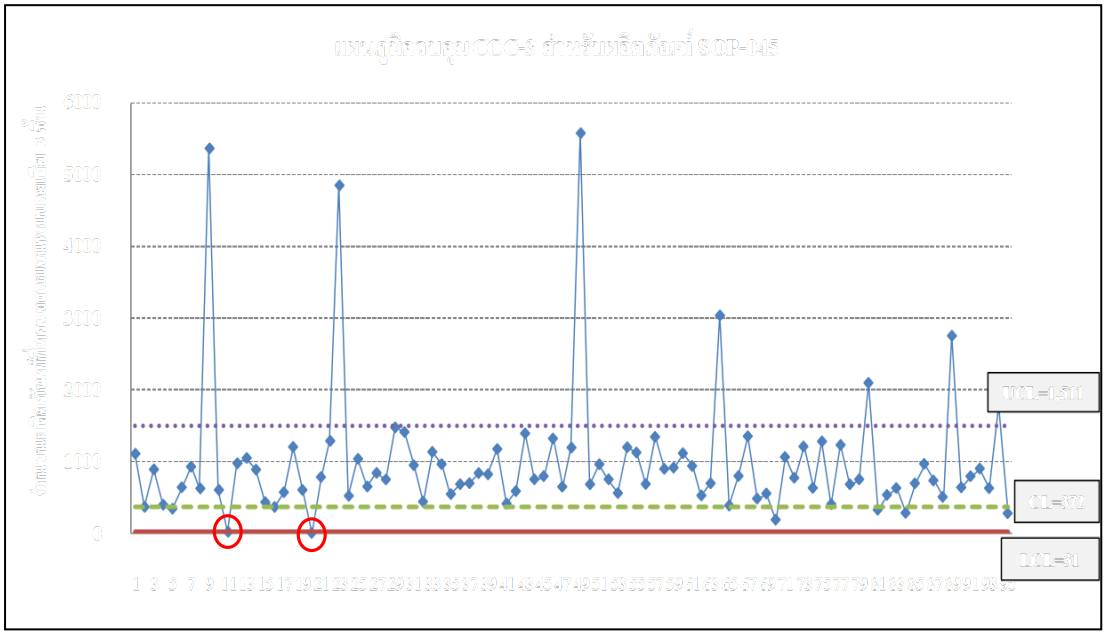
โดยของเขตควบคุมของ CCC-r แสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ขอบเขตควบคุมของ CCC-r เมื่อ r เท่ากับ 1,2 และ 3 โดยที่ p = 0.0072

p	CCC-1			CCC-2			CCC-3		
	UCL	CL	LCL	UCL	CL	LCL	UCL	CL	LCL
0.0070	941	99	1	1,269	240	9	1,550	382	32
0.0072	917	97	1	1,237	234	9	1,511	372	31
0.0080	823	87	1	1110	210	8	1,355	334	28

จากผลการทดลองใช้แผนภูมิ CCC-3 เป็นระยะเวลา 1 เดือน คือเดือนมกราคม พ.ศ. 2556 ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง SOP-045 โดยที่มีขอบเขตควบคุม LCL = 31, CL = 372 และ UCL = 1,511 พบว่ามีจุดที่ออกนอก LCL จำนวน 2 จุดใน 1 เดือน โดยปัญหาที่เกิดขึ้นได้ทำการแจ้งไปยังวิศวกรกระบวนการที่เกี่ยวข้องพร้อมแก้ไขปัญหา ซึ่งการออกนอกเส้นควบคุม LCL นี้หมายถึง จำนวนของเสียที่ตรวจพบมีความถี่แบบผิดปกติคือตรวจพบของเสียครบตามจำนวน

ที่ตั้งไว้ตามค่า r จากการตรวจสอบชิ้นงานผ่านไปเพียงไม่กี่ชิ้น ซึ่งเป็นสิ่งเตือนให้ทราบได้ว่ากระบวนการเกิดความผิดปกติขึ้น ส่วนกรณีที่เกิดจุดที่ออกนอกการควบคุม UCL จะหมายถึงกระบวนการมีการควบคุมที่ดี ความหมายคือ มีการตรวจสอบจำนวนชิ้นงานไปเป็นจำนวนมากกว่าจะพบของเสียครบตามจำนวนที่ตั้งไว้ตามค่า r ซึ่งควรเก็บข้อมูลในช่วงนั้น ๆ ไว้ ว่ามีการผลิตงานอย่างไร เพื่อการพัฒนาคุณภาพของกระบวนการต่อไป



ภาพที่ 5.7 แผนภูมิควบคุม CCC-3

โดยปกติผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจะมีการผลิตเฉลี่ยต่อเดือน 102 ล็อต หรือคิดเป็น 97,920 ชิ้นต่อเดือน ซึ่งคิดเฉลี่ยมาจากเดือน พฤศจิกายน และ ธันวาคม พ.ศ.2555 โดยมีของเสียเฉลี่ย 753 ชิ้นต่อเดือน และจากการเก็บข้อมูลของเสียในเดือนที่มีการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม CCC-3 ในเดือนมกราคม พ.ศ.2556 พบว่ามีของเสียเกิดขึ้น 287 ชิ้น โดยผลิตภัณฑ์นี้มีราคาต่อหน่วยชิ้นละ 43.31 บาท ซึ่งสามารถคิดต้นทุนที่สามารถลดของเสียได้ ดังนี้

ต้นทุนที่สามารถลดของเสียได้ = (D1 – D2) x Cu

= (753-287) x 43.31

= 20,182 บาท/เดือน

ดังนั้นต้นทุนที่สามารถลดของเสียได้ มีค่าประมาณ 20,182 x 12 = 242,184 บาทต่อปี

หากต้องการพิจารณาว่าแผนภูมิควบคุมนี้มีความคุ้มค่าต่อการนำมาใช้งานหรือไม่นั้น สามารถพิจารณาได้จากการเปรียบเทียบผลประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้แผนภูมิควบคุม โดยผลประโยชน์ที่ได้รับคิดจากต้นทุนของเสียที่สามารถประหยัดได้ ต้นทุนที่ต้องใช้ในการดำเนินการ

แผนภูมิควบคุมเป็นต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการเก็บข้อมูล ต้นทุนในการวิเคราะห์ข้อมูลและแก้ไขปัญหา ซึ่งมีหลักการคิดคล้ายกับการประเมินความคุ้มค่าในส่วนของข้อมูลเชิงผันแปร โดยต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม CCC-r จากผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง SOP-045 ในบริษัทกรณีศึกษา โดยจะคำนวณต้นทุนออกเป็น 2 ส่วนดังนี้คือ

ต้นทุนส่วนที่ 1 เป็นต้นทุนในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลกรณีกระบวนการอยู่ในการควบคุม ซึ่งได้แก่ เวลาในการตรวจสอบชิ้นงาน เวลาที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล

ต้นทุนส่วนที่ 2 เป็นต้นทุนในการวิเคราะห์ข้อมูลกรณีกระบวนการออกนอกการควบคุม โดยวิศวกรกระบวนการ ซึ่งเวลาในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

กำหนดให้

- L_E = อัตราค่าจ้างของวิศวกรกระบวนการ (บาท/ชม./คน)
- L_C = อัตราค่าจ้างของพนักงาน (บาท/ชม./คน)
- T_{INS} = เวลาในการตรวจสอบชิ้นงาน (ชม./ ล็อต)
- N_{LOT} = อัตราการผลิตชิ้นงาน (ล็อต/ชม.)
- T_{REC} = เวลาที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล (ชม./ครั้ง)
- f = ความถี่ในการเก็บข้อมูลเฉลี่ย (ครั้ง/ชั่วโมง)
- f_{MOR} = ความถี่ในการติดตามผล (ครั้ง/ชม.)
- T_{MOR} = เวลาในการตรวจติดตามแผนภูมิควบคุม (ชม./ครั้ง)
- T_{ACT} = เวลาที่วิศวกรใช้เพื่อวิเคราะห์ปัญหา (ชม./ครั้ง)

โดยต้นทุนที่ใช้ในการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมกับข้อมูลเชิงลักษณะของต้นทุนส่วนที่ 1 มีค่าเท่ากับ

$$= [L_C \times (T_{INS} \times N_{LOT})] + [L_C \times (T_{REC} \times f)] + [L_E \times (T_{MOR} \times f_{MOR})] \quad (8)$$

และต้นทุนที่ใช้ในการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมกับข้อมูลเชิงลักษณะของต้นทุนส่วนที่ 2 มีค่าเท่ากับ

$$= (L_E \times T_{ACT}) \quad (9)$$

โดยที่ :

- L_E = 145 บาท/ชม./คน
- L_C = 77 บาท/ชม./คน
- T_{INS} = 0.53 ชม./ ล็อต

- N_{LOT} = 0.415 ล็อต/ชม.
- T_{REC} = 0.05 ชม./ครั้ง
- f = 1 ครั้ง/ชั่วโมง
- f_{MOR} = 1 ครั้ง/ชม.
- T_{MOR} = 0.033 ชม./ครั้ง
- T_{ACT} = 2 ชม./ครั้ง

ดังนั้น ต้นทุนที่ใช้ในการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมกับข้อมูลเชิงลักษณะของต้นทุนส่วนที่ 1 มีค่าเท่ากับ

$= [L_C \times (T_{INS} \times N_{LOT})] + [L_C \times (T_{REC} \times f)] + [L_E \times (T_{MOR} \times f_{MOR})]$

$= [77 \times (0.53 \times 0.415)] + [77 \times (0.05 \times 1)] + [145 \times (0.033 \times 1)]$

= 25.5 บาท/ชั่วโมง

ซึ่งหากคิดอัตราการผลิตเฉลี่ยต่อวันของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ 8 ชั่วโมงต่อวัน หรือ 25 วันต่อเดือน จะต้องใช้ต้นทุนในการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมเท่ากับ 5,100 บาทต่อเดือน หรือคิดเป็น 61,200 บาทต่อปี

และต้นทุนที่ใช้ในการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมกับข้อมูลเชิงลักษณะของต้นทุนส่วนที่ 2 มีค่าเท่ากับ

$= (L_E \times T_{ACT})$

$= 145 \times 2$

= 290 บาท/ครั้ง

โดยต้นทุนในส่วนที่ 2 นี้ เมื่อคิดจากอัตราการเกิดความผิดปกติในเบื้องต้นที่ 24 ครั้งต่อปี คิดจากค่าเฉลี่ย 2 ครั้งต่อเดือน อ้างอิงจากแผนภูมิ CCC-r สามารถคิดต้นทุนในส่วนนี้ได้เท่ากับ 290 x 24 = 6,960 บาทต่อปี

ดังนั้น ต้นทุนรวมในการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมกับข้อมูลเชิงลักษณะจากต้นทุนส่วนที่ 1 และ ต้นทุนส่วนที่ 2 มีค่าเท่ากับ 61,200 + 6,960 = 68,160 บาทต่อปี

การประเมินว่าแผนภูมิควบคุมนี้มีความคุ้มค่าต่อการประยุกต์ใช้งานหรือไม่นั้น มีแนวทางในการพิจารณาได้จากอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio) เช่นเดียวกับการประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุมของพารามิเตอร์ที่เป็นข้อมูลเชิงผันแปร โดยมีแนวทางในการตัดสินใจคือหาก B/C มากกว่า 1.0 ก็สามารถยอมรับได้ว่า แผนภูมิควบคุมนั้นมี

ความคุ้มค่าต่อการนำมาประยุกต์ใช้งาน แต่หาก B/C มีค่าน้อยกว่า 1.0 ก็สามารถบอกได้ว่าแผนภูมิควบคุมนั้นไม่มีความคุ้มค่าที่จะนำมาประยุกต์ใช้งาน

จากตัวอย่างข้างต้น เมื่อนำข้อมูลผลประโยชน์ที่ได้ คิดเป็น 242,184 บาทต่อปี และต้นทุนในการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมเท่ากับ 68,160 บาท/ปี เมื่อนำมาประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุมของพารามิเตอร์ที่เป็นข้อมูลเชิงลักษณะ (Attribute data) โดยการคำนวณ B/C ได้ผลดังนี้คือ

$$Benefit\ Cost\ Ratio = \frac{242,184}{68,160}$$
$$= 3.55$$

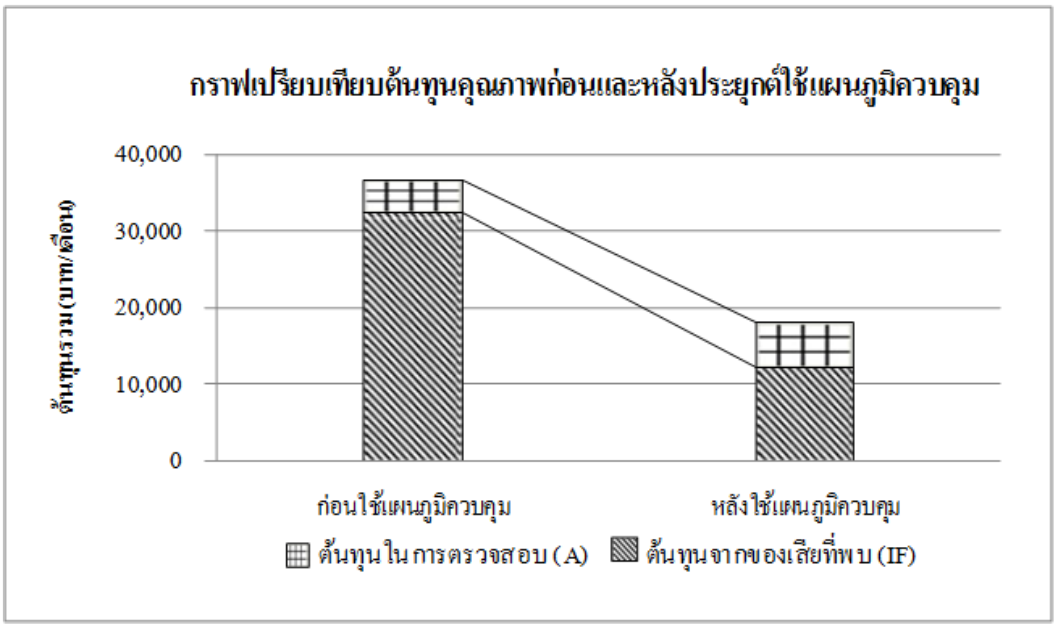
ดังนั้น แผนภูมิควบคุม CCC-3 สำหรับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง SOP-045 มีความคุ้มค่าต่อการประยุกต์ใช้งานในบริษัทกรณีศึกษา เนื่องจากมีค่า B/C มากกว่า 1.0

โดยงานวิจัยในส่วนนี้ จะทำการเปรียบเทียบต้นทุนคุณภาพที่เกิดขึ้นจากมูลค่าของของเสียที่ลดลงได้ เป็นต้นทุนความบกพร่องด้านคุณภาพภายใน (Internal Failure Costs) เทียบกับต้นทุนในการตรวจสอบความบกพร่องของผลิตภัณฑ์จากพนักงานเป็นต้นทุนการตรวจสอบคุณภาพ (Appraisal Costs) โดยไม่ได้รวมถึงต้นทุนคุณภาพอื่นๆ ซึ่งต้นทุนก่อนการใช้แผนภูมิควบคุมในส่วนนี้ จะคิดมาจาก เวลาที่ใช้ในการตรวจสอบชิ้นงาน เวลาที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล ซึ่งหลังใช้แผนภูมิควบคุมจะมีต้นทุนเกี่ยวกับเวลาในการตรวจติดตามแผนภูมิควบคุมโดยวิศวกร โดยในการวิจัยในส่วนนี้ จะอ้างอิงข้อมูลหลักจากผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่กล่าวมาข้างต้นคือ SOP-045 จากข้อมูลพบว่า มีของเสียเฉลี่ย 753 ชิ้นต่อเดือน และหลังประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม พบว่ามีของเสียเกิดขึ้น 287 ชิ้น โดยผลิตภัณฑ์นี้มีราคาต่อหน่วยชิ้นละ 43.31 บาท ส่วนต้นทุนในการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลนั้น ก่อนการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมจะคิดจากต้นทุนในการตรวจสอบและบันทึกข้อมูลเป็นหลัก และหลังประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม จะพิจารณาต้นทุนของการเฝ้าติดตามและวิเคราะห์ปัญหาโดยวิศวกรร่วมด้วย โดยต้นทุนที่ได้แสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงต้นทุนจากของเสียและต้นทุนการตรวจสอบคุณภาพ

รายการต้นทุนคุณภาพ	ก่อนใช้แผนภูมิควบคุม	หลังใช้แผนภูมิควบคุม
ของเสียที่พบ (บาท/เดือน) (IF)	32,612	12,430
ต้นทุนที่ใช้ในการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูล (บาท/เดือน) (A)	4,157	5,680
ต้นทุนรวม (บาท/เดือน)	36,769	18,110

ดังนั้น หากนำข้อมูลที่ได้นำมาเปรียบเทียบ จากของเสียที่พบเป็นความบกพร่องด้านคุณภาพภายใน (Internal Failure Costs) จะพบว่า ของเสียที่เกิดขึ้นหลังจากที่ประยุกต์ใช้แผนภูมิมีจำนวนลดลง และต้นทุนที่ใช้ในการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูล หรือต้นทุนการตรวจสอบคุณภาพ (Appraisal Costs) จะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยต้นทุนรวมที่ลดลงคิดเป็น 18,659 บาทต่อเดือน หรือคิดเป็น 50.75 เปอร์เซ็นต์ต่อเดือน สามารถพิจารณาได้จากภาพที่ 5.8



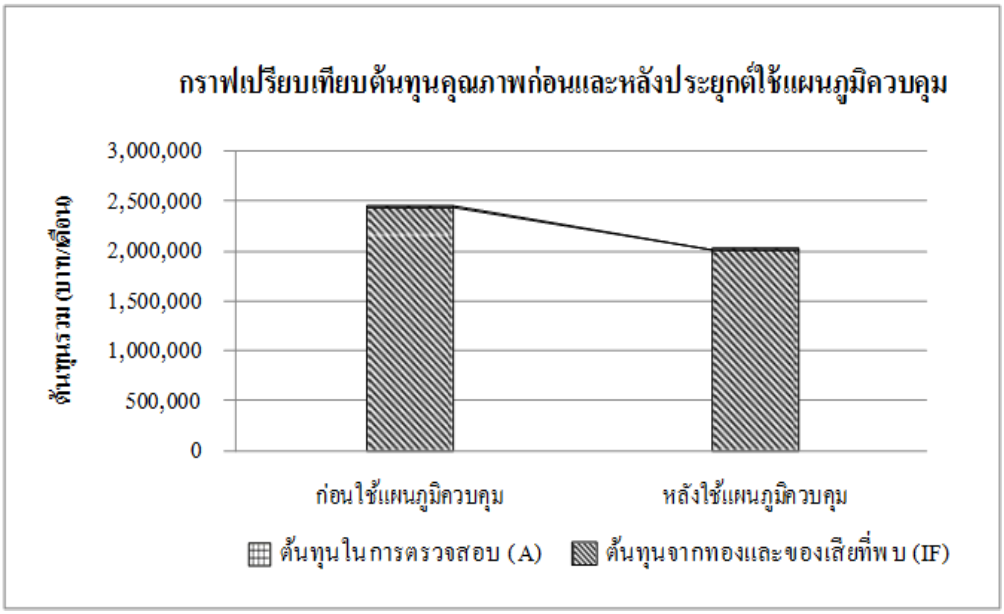
ภาพที่ 5.8 กราฟเปรียบเทียบต้นทุนคุณภาพของข้อมูลเชิงลักษณะ

ดังนั้น หากทำการเปรียบเทียบต้นทุนรวมจากการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมกับข้อมูลเชิงผันแปรและเชิงลักษณะ จากผลิตภัณฑ์ตัวอย่างทั้ง 2 ตัวอย่าง โดยต้นทุนรวมก่อนการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมเท่ากับ 2,452,013 บาทต่อเดือน และต้นทุนรวมหลังการประยุกต์ใช้แผนภูมิ

ควบคุมเท่ากับ 2,023,120 บาทต่อเดือน มีส่วนต่างของต้นทุนที่ลดลงเท่ากับ 428,893 บาทต่อเดือน หรือคิดเป็น 17.49 เปอร์เซ็นต์ต่อเดือน สามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 5.4 และภาพที่ 5.9

ตารางที่ 5.4 ตารางแสดงต้นทุนรวมก่อนและหลังประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมกับข้อมูลเชิงผันแปรและเชิงลักษณะ

รายการต้นทุนคุณภาพ	ก่อนใช้แผนภูมิควบคุม	หลังใช้แผนภูมิควบคุม
ต้นทุนจากทองและของเสียที่พบ (IF)	2,446,500	2,014,191
ต้นทุนในการตรวจสอบ (A)	5,513	8,929
ต้นทุนรวม (บาท/เดือน)	2,452,013	2,023,120



ภาพที่ 5.9 กราฟเปรียบเทียบต้นทุนรวมก่อนและหลังประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม

จากการพิจารณาการประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุมของพารามิเตอร์ที่เป็นข้อมูลเชิงแปรผัน และแผนภูมิควบคุมของพารามิเตอร์ที่เป็นข้อมูลเชิงลักษณะ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง เนื่องจากผู้วิจัย สามารถนำผลของต้นทุนที่เกิดขึ้นก่อนและหลังประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมมาคำนวณความคุ้มค่าจากตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่นำมาศึกษาได้ และผ่านการเห็นชอบจากแผนกการเงิน หัวหน้างาน และวิศวกรกระบวนการ ว่าสามารถประเมินความคุ้มค่า

ด้วยหลักการนี้ได้ เนื่องจากต้นทุนที่สามารถลดได้คือประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม เช่น จากการลดต้นทุนของวัตถุดิบ ก็สามารถนำไปวิเคราะห์เป็นต้นทุนของผลิตภัณฑ์ในส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ เพื่อนำไปเป็นส่วนหนึ่งในการประเมินราคาของผลิตภัณฑ์ในอนาคตได้

โดยการคำนวณด้วยสูตรการคำนวณที่กล่าวมาข้างต้น ผู้ศึกษาควรมีการพิจารณาความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุมเป็นระยะ เมื่อค่าตัวแปรต่างๆในสมการมีความเปลี่ยนแปลงไป เช่น สัดส่วนของเสีย ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์นั้นๆ อัตราการผลิต เวลาที่ใช้ในการตรวจสอบความถี่ จำนวนตัวอย่าง ค่าแรงของพนักงาน ค่าแรงของวิศวกร เป็นต้น ตัวแปรต่างๆเหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงไปได้ตามเวลา ดังนั้น เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น ควรมีการพิจารณาทบทวนว่า แผนภูมิควบคุมนั้นยังมีความคุ้มค่าต่อการประยุกต์ใช้ในองค์กรอยู่หรือไม่ โดยคิดจากอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio)

5.2 เกณฑ์การทบทวนแผนภูมิควบคุม

ในปัจจุบัน มีการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมกันอย่างแพร่หลาย แต่โดยส่วนมากแล้ว จะประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมโดยมีการกำหนดขอบเขตควบคุม (Control limit) ไว้ที่ค่าค่าหนึ่ง และทำการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมภายใต้ค่าควบคุมนั้น โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าควบคุมที่ใช้เลย หรือมีการกำหนดช่วงเวลาในการทบทวน เช่น ทุกๆ 1 เดือน หรือทุกๆ 6 เดือน ซึ่งหากข้อมูลที่มีอยู่มีค่าเฉลี่ยหรือค่าความผันแปรที่เปลี่ยนแปลงไป แต่ไม่มีการพิจารณาทบทวนแผนภูมิควบคุม หรือมีการกำหนดช่วงเวลาที่ไม่เหมาะสม อาจส่งผลถึงการวิเคราะห์แผนภูมิควบคุมจากหลักการพิจารณาแผนภูมิควบคุมโดยทั่วไป เช่น

- พิจารณาว่ากระบวนการผลิตยังอยู่ภายใต้การควบคุม เมื่อผู้ใช้เห็นว่าจุดต่างๆ ที่พล็อตอยู่ในแผนภูมิควบคุมนั้นกระจายอยู่ในช่วงขีดจำกัดควบคุมบนและล่างอย่างสม่ำเสมอ
- มีการปรับปรุงกระบวนการเมื่อพบว่ามีจุดตกนอกขีดจำกัดควบคุมบนหรือล่าง หรือพิจารณาจากหลักการแปลความแผนภูมิแผนภูมิควบคุม (Patterns on control charts) จาก Montgomery (2009) ที่เชื่อมโยงและมีความหมายเกี่ยวกับการปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยหรือค่าความแปรปรวนเช่นการเกิดจุดพล็อตต่อเนื่องกัน 8 จุด (Run) ในด้านใดด้านหนึ่งของเส้นกึ่งกลาง เป็นต้น

หากมีการพิจารณาแผนภูมิควบคุมจากที่กล่าวข้างต้น โดยที่มีค่าขอบเขตควบคุม (Control limit) ที่ไม่เหมาะสมแล้ว ย่อมส่งผลเสียตามมา คือ การพิจารณาว่ากระบวนการผลิตยังอยู่ภายใต้การ

ควบคุม ทั้งที่จริงแล้ว กระบวนการอาจจะมีความผิดปกติเกิดขึ้นแล้ว หรือมีการปรับปรุงกระบวนการที่ไม่จำเป็น เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลต่อต้นทุนที่จะเกิดขึ้นตามมา

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเสนอแนวทางในการพิจารณาทบทวนแผนภูมิควบคุม โดยพิจารณาจากปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวน ทั้งนี้ควรเก็บข้อมูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นในกระบวนการและนำข้อมูลนั้นมาวิเคราะห์ทางสถิติว่ากระบวนการได้มีการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนไปอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ซึ่งสามารถใช้ sensitivity rules ในการตรวจจับความเปลี่ยนแปลง หากมีความเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนไปอย่างมีนัยสำคัญ จำเป็นต้องมีการทบทวนแผนภูมิควบคุม ความเปลี่ยนแปลงในกระบวนการที่อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวน มีดังนี้คือ

- การเปลี่ยนแปลงเครื่องจักรอุปกรณ์ หรือมีการปรับตั้งค่าเครื่องจักรใหม่
- การเปลี่ยนแปลงค่าเงื่อนไขเฉพาะ (Condition) ในกระบวนการผลิต เช่น ค่าความเข้มข้นของน้ำยาเคมี เวลา อุณหภูมิ ความดัน อัตราเร็ว
- การเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบที่ใช้ ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้อาจมีคุณสมบัติบางประการที่แตกต่างกัน
- การเปลี่ยนสายการผลิต
- การปรับปรุงกระบวนการ เช่นการปรับปรุงคุณภาพ การลดของเสีย การแก้ไขความผิดปกติจากสาเหตุพิเศษ
- การเปลี่ยนแปลงวิธีการวัด หรือเครื่องมือวัด เช่นอาจมีเครื่องมือวัดที่สามารถวัดค่าได้ละเอียดมากขึ้น เป็นต้น

บทที่ 6
สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาแนวทางสำหรับการควบคุมกระบวนการโดยใช้แผนภูมิควบคุมในอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นลายวงจรชนิดอ่อน ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนดังนี้คือ

ขั้นตอนที่ 1 การเลือกและจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ โดยการพิจารณาความวิกฤติเชิงเทคนิค และความวิกฤติเชิงต้นทุน

การเลือกและจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ โดยการจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย (FPP) ด้วยการพิจารณาความวิกฤติเชิงเทคนิค (Technical criticality) และความวิกฤติเชิงต้นทุน (Cost criticality) โดยความวิกฤติเชิงเทคนิคแบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ ระดับรุนแรงขั้นวิกฤติ หรือ Critical level ระดับสำคัญ หรือ Major level และระดับย่อย หรือ Minor level และความวิกฤติเชิงต้นทุน (Cost criticality) ประกอบไปด้วย ส่วนที่ 1 มูลค่าความสูญเสียจากของเสีย (Reject) ส่วนที่ 2 มูลค่าความสูญเสียจากการตรวจงานซ้ำ (Rescreen) ส่วนที่ 3 มูลค่าความสูญเสียจากการซ่อมงาน (Rework)
ส่วนที่ 4 มูลค่าความสูญเสียจากชิ้นงานไม่ตรงตามเป้าหมาย (Out of target)

ซึ่งการพิจารณาเลือกพารามิเตอร์ขั้นสุดท้าย มีวิธีการพิจาณาเลือก 2 วิธีคือ

วิธีที่ 1 การพิจารณาตามความวิกฤติเชิงต้นทุน (Cost criticality) เป็นหลัก คือคิดตามมูลค่าความสูญเสียรวมหรือต้นทุนรวม (Total cost) โดยพิจารณาเลือกประเภทของพารามิเตอร์ที่ก่อให้เกิดต้นทุนรวมที่ 80 เปอร์เซ็นต์ และ พิจารณาตามความวิกฤติเชิงเทคนิคในระดับ Critical ทั้งหมดที่ไม่ได้อยู่ในส่วนของ 80 เปอร์เซ็นต์นั้นมาพิจารณา

วิธีที่ 2 การพิจารณาตามความวิกฤติเชิงเทคนิค (Technical criticality) เป็นหลัก คือพิจารณาตามระดับความวิกฤติเชิงเทคนิคเรียงลำดับจากระดับ Critical ไประดับ Major และสุดท้ายคือระดับ Minor และพิจารณามูลค่าความสูญเสียรวมเรียงลำดับจากมากไปน้อย ตามแต่ละระดับของความวิกฤติเชิงเทคนิคนั้น ๆ

โดยในงานวิจัยนี้ จะพิจารณาเลือกพารามิเตอร์จากการจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์จากวิธีที่ 1 โดยมีพารามิเตอร์ที่ควรนำมาประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมทั้งหมด 7 ประเภท จากข้อบกพร่องทั้งหมด 51 ประเภท

ขั้นตอนที่ 2 การจัดลำดับความสำคัญของกระบวนการจากการพิจารณาความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์โดยการประยุกต์ใช้แผนผังเมทริกซ์

โดยได้เสนอแนวทางในการเลือกกระบวนการไว้ 3 แนวทาง ดังนี้คือ

แนวทางที่ 1 คือ การจัดลำดับความสำคัญของกระบวนการ โดยพิจารณากระบวนการที่มีความสัมพันธ์กับ FPP ซึ่งเป็น FPP ที่ผ่านการคัดเลือกมาแล้วจากขั้นตอนการเลือกพารามิเตอร์ในข้างต้น โดยให้ FPP ที่มีต้นทุนรวมสูงที่สุดนั้นมีความสำคัญเป็นลำดับที่ 1 และ FPP ที่มีต้นทุนรวมน้อยที่สุดมีความสำคัญเป็นลำดับสุดท้าย โดยจะพิจารณากระบวนการที่มีความสัมพันธ์กับ FPP เหล่านั้น ในระดับมาก (9 คะแนน) และกระบวนการมีความสัมพันธ์กับ FPP ในระดับปานกลาง (4 คะแนน) และจากแนวทางที่ 1 นี้ จะทำการพิจารณาทั้งหมด 7 กระบวนการ จาก 20 กระบวนการ

แนวทางที่ 2 คือ มุ่งเน้นการจัดลำดับกระบวนการตามค่าคะแนนรวมเป็นลำดับมากไปน้อย โดยกระบวนการที่มีค่าคะแนนรวมสูงที่สุดจะเป็นกระบวนการที่ได้รับการพิจารณาก่อน และกระบวนการที่มีคะแนนรองลงมาก็จะได้รับการพิจารณาเป็นลำดับถัดไป และจากแนวทางที่ 2 นี้ จะทำการพิจารณาทั้งหมด 7 กระบวนการ จาก 20 กระบวนการ

แนวทางที่ 3 คือ มุ่งเน้นการจัดลำดับกระบวนการตามค่าคะแนนรวมโดยพิจารณาเป็นเปอร์เซ็นต์ ในงานวิจัยนี้ จะทำการพิจารณากระบวนการที่มีค่าคะแนนรวม 80 เปอร์เซ็นต์จากค่าคะแนนรวมทั้งหมดและพิจารณา FPP ที่มีความสัมพันธ์กับกระบวนการนั้น ๆ ในระดับมาก (9 คะแนน) และปานกลาง (4 คะแนน) และจากแนวทางที่ 3 นี้ จะทำการพิจารณาทั้งหมด 6 กระบวนการ จาก 20 กระบวนการ

ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเลือกพิจารณาจัดลำดับกระบวนการตามแนวทางที่ 1 คือพิจารณามุ่งเน้นการจัดลำดับตามระดับความความสำคัญของ FPP ซึ่งมีข้อดีคือจะสร้างความมั่นใจได้ว่า PP หรือ IPP ของ FPP ที่มีความสำคัญสูงที่สุดจะได้รับการพิจารณาก่อน ซึ่งความสำคัญในที่นี้หมายถึง FPP ที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนมากที่สุดเป็นลำดับแรก

3. การพิจารณากระบวนการเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์แต่ละประเภท ทั้ง 3 ประเภท คือ 1.พารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย (FPP) 2. พารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิต (IPP) 3.พารามิเตอร์ของกระบวนการ (PP) โดยการสรุปความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์แต่ละประเภทนี้ จะประยุกต์ใช้หลักการของผังต้นไม้ (Tree Diagram) พร้อมทั้งการให้คะแนนค่าความสัมพันธ์เช่นเดียวกับการให้คะแนนในผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) มีวิธีการคือให้ FPP อยู่ฝั่งซ้ายสุดและมี IPP และ PP อยู่ฝั่งขวา การเชื่อมโยงนี้จะเป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ของ IPP และ PP ที่มีความเกี่ยวข้องกับ FPP ใน

กระบวนการนั้น ๆ โดยเรียงลำดับกระบวนการตามค่าความสำคัญจากขั้นตอนข้างต้น เพื่อให้ได้มาซึ่งปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์ขั้นสุดท้ายและความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์แต่ละประเภท

4. ทำการศึกษาค่าที่เหมาะสมของ IPP หรือ PP ก่อนที่จะทำการควบคุม เพื่อให้มั่นใจได้ว่า พารามิเตอร์ที่เราจะทำการควบคุมหรือเฝ้าติดตามเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด อีกทั้งเป็นการช่วยยืนยันได้ในระดับหนึ่งว่า หากมีการควบคุม IPP หรือ PP ที่เหมาะสม คุณภาพของชิ้นงานก็จะมีคุณภาพที่เช่นกัน

5. เลือกพารามิเตอร์ในการใช้งานแผนภูมิควบคุม ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แผนภูมิควบคุมกับพารามิเตอร์ประเภท FPP เนื่องจาก FPP เป็นพารามิเตอร์ที่ไม่มีเครื่องมือใดที่คอยติดตาม (monitor) ต่างกับ IPP และ PP ที่มีการตรวจสอบด้วยพนักงานก่อนและระหว่างทำการผลิตหรือเครื่องมืออื่น ๆ ที่กล่าวไว้ในงานวิจัย และ FPP ยังเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพที่ยังมีความจำเป็นสำหรับการนำข้อมูลมาใช้ในการรายงานผล พิจารณาปรับปรุงกระบวนการ และสามารถนำมากำหนดเป้าหมายทางคุณภาพขององค์กร

ขั้นตอนที่ 3 การเลือกประเภทแผนภูมิควบคุม การกำหนดความถี่ในการสุ่มและขนาดในการสุ่มตัวอย่าง

โดยในขั้นตอนนี้จะพิจารณาความเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งานในบริษัทกรณีศึกษาเป็นหลัก สำหรับข้อมูลเชิงลักษณะ (Attribute data) ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แผนภูมิควบคุม CCC-r ซึ่งเหมาะกับการควบคุมในกระบวนการที่มีสัดส่วนของเสียต่ำ (Low defective proportion) โดยจะไม่มีความถี่ในการสุ่มตัวอย่างและขนาดตัวอย่างที่ชัดเจน เนื่องจากจะเป็นการเก็บข้อมูลจากจำนวนชิ้นงานที่ตรวจสอบทั้งหมดไปจนกว่าจะพบของเสียตามที่กำหนดและทำการพล็อตกราฟ สำหรับข้อมูลชนิดแปรผัน (Variable data) จะทำการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม X-MR หรือ I-MR ในบริษัท โดยมีขนาดตัวอย่างเท่ากับ 1 หน่วย และความถี่ในการเก็บข้อมูลคือทุก ๆ 1 ล็อตซึ่งมีเวลาผลิตเฉลี่ยทุกๆ 20-30 นาที หรือเวลานี้อาจเปลี่ยนแปลงได้จากข้อกำหนดและการปรับตั้งภายในกระบวนการ

ขั้นตอนที่ 4 การประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุมด้วยการเปรียบเทียบผลประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้แผนภูมิควบคุมกับค่าใช้จ่ายในการใช้แผนภูมิควบคุม

โดยพิจารณาจากอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio) โดยมีแนวทางในการตัดสินใจคือหาก B/C มากกว่า 1.0 ก็สามารถยอมรับได้ว่า แผนภูมิควบคุมนั้นมีความคุ้มค่าต่อการนำมาประยุกต์ใช้งาน แต่หาก B/C มีค่าน้อยกว่า 1.0 ก็สามารถบอกได้ว่า แผนภูมิควบคุมนั้นไม่มีความคุ้มค่าที่จะนำมาประยุกต์ใช้งาน

ซึ่งได้แบ่งแนวทางการประเมินความคุ้มค่าสำหรับข้อมูล 2 ประเภทคือ

1.การประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุมของพารามิเตอร์ที่เป็นข้อมูลเชิงแปรผัน โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเด็นหลัก คือ การประเมินผลประโยชน์ที่ได้จากความคุ้มค่าจากการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ยในกรณีเกิดของเสีย (Defect cost) และความคุ้มค่าจากการลดเวลาในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ยจากค่าวัดไม่ตรงตามที่กำหนด (Out-of-target cost) เทียบกับต้นทุนที่ต้องใช้ในการดำเนินการแผนภูมิควบคุม
จากตัวอย่างในงานวิจัย พบว่าได้ค่า B/C เท่ากับ10.75 ซึ่งสรุปได้ว่ามีความคุ้มค่าต่อการประยุกต์ใช้งานในบริษัทกรณีศึกษา

2. การประเมินความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุมของพารามิเตอร์ที่เป็นข้อมูลเชิงลักษณะ โดยจะพิจารณาผลประโยชน์ที่ได้จากมูลค่าของสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นภายในกระบวนการก่อนและหลังใช้แผนภูมิควบคุมและเปรียบเทียบกับต้นทุนที่ต้องใช้ในการดำเนินการแผนภูมิควบคุม จากตัวอย่างในงานวิจัย พบว่าได้ค่า B/C เท่ากับ 3.55 ซึ่งสรุปได้ว่ามีความคุ้มค่าต่อการประยุกต์ใช้งานในบริษัทกรณีศึกษา

ขั้นตอนที่ 5 การกำหนดหลักเกณฑ์ในการทบทวนแผนภูมิควบคุม

ในขั้นตอนนี้จะพิจารณาหลักเกณฑ์ในการทบทวนแผนภูมิควบคุมจากสถานการณ์ที่อาจส่งผลให้เกิดความเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ยหรือค่าความผันแปร ซึ่งสามารถใช้ sensitivity rules ในการตรวจจับความเปลี่ยนแปลง หากมีความเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนไปอย่างมีนัยสำคัญ จำเป็นต้องมีการทบทวนแผนภูมิควบคุม การพิจารณาความเปลี่ยนแปลงต่างๆในกระบวนการ เช่น การเปลี่ยนแปลงเครื่องจักรอุปกรณ์ การเปลี่ยนแปลงค่าเงื่อนไขเฉพาะการปรับปรุงกระบวนการต่างๆ การวิเคราะห์ความผิดปกติของจุดพล็อตในแผนภูมิควบคุม เป็นต้น

6.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอถึงแนวทางในการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ เช่น การจัดลำดับความสำคัญของกระบวนการ การพิจารณาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์แต่ละประเภท ซึ่งในขั้นตอนนี้มีความจำเป็นที่ต้องอาศัยความร่วมมือจากหลายส่วนงานในการออกความคิดเห็นและระดมสมอง โดยเฉพาะการให้คะแนนความสัมพันธ์ ซึ่งบางครั้งหากไม่ได้ผู้ที่มีประสบการณ์ในกระบวนการนั้นๆมากพอ หรือสมาชิกในกลุ่มการทำงานมีความเห็นที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน อาจส่งผลให้ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เกิดความแตกต่างและอาจส่งผลให้ลำดับความสำคัญในการพิจารณากระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งอาจจะ

ไม่ได้ลำดับความสำคัญที่แท้จริง อีกทั้งพารามิเตอร์ที่ต้องทำการพิจารณาค่าที่เหมาะสม เช่น IPP หรือ PP ด้วยวิธีการทางสถิติต่างๆ และพารามิเตอร์ FPP ที่ควรประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม อาจทำได้ไม่ครอบคลุมทุกพารามิเตอร์ เนื่องจากข้อจำกัดของเวลาและทรัพยากร จึงทำให้เสนอได้เฉพาะบางพารามิเตอร์และบางผลิตภัณฑ์เท่านั้น และในส่วนของการเลือกประเภทแผนภูมิควบคุมการกำหนดความถี่ในการสุ่มและขนาดในการสุ่มตัวอย่างอาจไม่สามารถทำตามทฤษฎีที่ควรจะเป็นได้ทั้งหมด เนื่องจากข้อจำกัดของทรัพยากรและขั้นตอนการปฏิบัติงานที่มีอยู่เดิมที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ แต่ผู้วิจัยก็ได้นำเสนอแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมกับพนักงานผู้ปฏิบัติงาน และลักษณะการทำงานในกระบวนการนั้นๆ เพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานของบริษัทกรณีศึกษาที่มีอยู่เดิม ซึ่งได้นำเสนอได้เพียงบางพารามิเตอร์ไม่สามารถแสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้ได้ทั้งหมดทุกพารามิเตอร์ที่ทำการคัดเลือกมา และในส่วนของการประเมินค่าความคุ้มค่าในการใช้แผนภูมิควบคุม จะมีข้อจำกัดในการหาข้อมูล เช่น ความถี่ในการออกนอกการควบคุม เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา ความน่าจะเป็นที่จะมีของเสียเกิดขึ้น หรือความน่าจะเป็นในกรณี Out-of-target อาจจะได้ข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างเนื่องจากข้อมูลส่วนใหญ่มาจากการเก็บข้อมูลเพียงช่วงระยะเวลาสั้นๆ หากมีเวลาในการเก็บข้อมูลที่ชัดเจน และมีการเก็บข้อมูลด้วยระยะเวลาที่มากขึ้น ก็จะช่วยให้การประเมินความคุ้มค่ามีความแม่นยำมากขึ้นตามไปด้วย

6.3 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวทางในการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมในอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นลายวงจรชนิดอ่อน ซึ่งในบริษัทกรณีศึกษาจะมีการระบุความวิกฤติเชิงเทคนิคไว้อย่างชัดเจนในแต่ละประเภท จึงทำให้ง่ายต่อการเลือกพารามิเตอร์ในการประยุกต์ใช้ แต่หากในอุตสาหกรรมใดไม่มีการระบุที่ชัดเจน อาจต้องพิจารณาความสำคัญด้วยวิธีการต่างๆ ว่าพารามิเตอร์นั้นๆ มีความวิกฤติเชิงเทคนิคในระดับใด เพื่อให้สอดคล้องกับแนวทางในการเลือกพารามิเตอร์ที่ได้นำเสนอไว้ในงานวิจัยและง่ายต่อการพิจารณา อีกทั้งในส่วนของความวิกฤติเชิงต้นทุน ผู้ศึกษาสามารถพิจารณาต้นทุนอื่นๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการผลิตนั้นๆ มาพิจารณาเพิ่มเติมเพื่อให้พารามิเตอร์นั้นมีความคุ้มค่าต่อการประยุกต์ใช้งานแผนภูมิควบคุม

และในส่วนของการพิจารณาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์แต่ละประเภท ควรคัดเลือกทีมงานที่มีความรับผิดชอบในกระบวนการนั้นๆโดยตรง ทั้งระดับผู้จัดการแผนก วิศวกรกระบวนการ หัวหน้างาน ที่มีประสบการณ์ในการพิจารณากระบวนการนั้นๆได้อย่างถูกต้อง และหากประยุกต์ใช้

แผนภูมิควบคุมแล้ว ควรกำหนดผู้รับผิดชอบงานในแต่ละส่วนอย่างชัดเจน ตั้งแต่การวัด การเก็บข้อมูล การแจ้งผล เพื่อให้การประยุกต์ใช้งานแผนภูมิควบคุมในองค์กร เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ มีความคุ้มค่ามากที่สุด

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ธีรพร เสนพรหม. การลดแม่แบบแก้วเสียในกระบวนการผลิตเลนส์พลาสติกโดยใช้แนวคิดซิกซ์ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ. เอกสารคำสอน เรื่อง การควบคุมคุณภาพ (Quality Control). ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผานิต โอฬารรัตน์มณี. ระบบสนับสนุนการเลือกใช้และออกแบบพารามิเตอร์แผนภูมิควบคุม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

วันรัตน์ จันทกิจ. 17 เครื่องมือนักคิด Problem Solving Devices. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, 2549.

เสรี ยูนิพันธ์, จรูญ มหิทธาฟองกุล และ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย. เทคนิคการควบคุมคุณภาพ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

ภาษาอังกฤษ

AIAG. Statistical process control reference manual. 3rd ed. 2005.

Anna, A.M.O., and Caten, C.S. Beta control charts for monitoring fraction data. Expert Systems with Applications (2012).

Antony, J., and Taner, T. A conceptual framework for the effective implementation of statistical process control. Business Process Management 9 (2003) : 473-489.

Does, R.J.M.M., Schippers, W.A.J., and Trip, A. A framework for implementation of statistical process control. International Journal of Quality Science 2 (1997) : 181-198.

Gaafar, L.K., and Keats, J.B. Statistical Process Control: A Guide for Implementation. International Journal of Quality & Reliability Management 9 (1992) : 9-20.

Goh, T.N., and Xie, M. Statistical control and a six sigma process. Quality Engineering 15 (2003) : 587-592.

Goh, T.N., Xie, M., and Xie, W. Prioritizing processes in initial implementation of statistical process control. IEEE Transactions on Engineering Management 45 (1998) : 66-72.

Montgomery, D.C. Introduction to statistical quality control. 4th ed. John Willey & Sons (Asia), 2001.

Motorcu, A.R., and Gullu, A. Statistical process control in machining, a case study for machine tool capability and process capability. Materials & Design 27 (2006) : 364-372.

Pyzdek T. and Keller P. The Six Sigma Handbook, 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2009.

Rojanarowan, N., and Jirasettapong, P. Prioritizing processes and selecting parameters for control charts implementation. Advanced Science Letters 14 (2012) : 310-315.

Rojanarowan, N., and Punyasiri, N.Practical economic statistical design of $\overline{X}$ chart. Advanced Engineering Forum 1 (2011) : 381-386.

Srikaeo, K., Furst, J.E., and Ashton, J. Characterization of wheat-based biscuit cooking process by statistical process control techniques. Food Control 16 (2005) : 309-317.

Stuart, M., Mullins, E., and Drew, E. Statistical quality control and improvement. European Journal of Operational Research 88 (1996) : 203-214.

Tari, J.J., and Sabater, V. Quality tools and techniques : Are they necessary for quality management?. International Journal of Production Economics 92 (2004) : 267-280

Xie, M., Lu, X.S., Goh, T.N. and Chan, L.Y. A quality monitoring and decision-making scheme for automated production processes. International Journal of Quality & Reliability Management 16 (1999) : 148-157.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวศิรินทรา ทันอินทรอาจ เกิดเมื่อวันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ.2527 ที่จังหวัดนครพนม สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปีการศึกษา 2549 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2552