ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การลดของเสียจากกระบวนการชุบโครเมี่ยม โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า
กรณีศึกษา : บริษัทในอุตสาหกรรมชุบโครเมี่ยม

โดย นายวสันต์ พุกผาสุข

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

_____คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.มงคล หวังสถิตย์วงษ์)

26 มีนาคม 2550

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรถกร เก่งพล)

_____กรรมการ

(อาจารย์ ดร.วิชัย รุ่งเรืองอนันต์)

_____กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ณัฐพล อารีรัชชกุล)

_____กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ชัยพร วงศ์พิศาล)

การลดของเสียจากกระบวนการชุบโครเมี่ยม โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า
กรณีศึกษา : บริษัทในอุตสาหกรรมชุบโครเมี่ยม

นายวสันต์ พุกผาสุข

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ : นายวสันต์ พุกผาสุข
ชื่อวิทยานิพนธ์ : การลดของเสียจากกระบวนการชุบโครเมี่ยม โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ซิกม่า กรณีศึกษา : บริษัทในอุตสาหกรรมชุบโครเมี่ยม
สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรถกร เก่งพล
ปีการศึกษา : 2549

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นและปรับปรุงคุณภาพผิวงานชุบโครเมี่ยมโดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า โดยมีเป้าหมาย คือ การลดอัตราของเสียที่เกิดขึ้นลง 70 เปอร์เซ็นต์ การดำเนินงานจะเริ่มจากขั้นตอนการกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น โดยระบุถึงขอบเขตปัญหาที่จะทำการแก้ไข และกำหนดตัวชี้วัดการปรับปรุงกระบวนการ โดยอาศัยการวัดความสามารถกระบวนการ พบว่า การเกิดเม็ดหรือตามดบนผิวชิ้นงานเป็นเหตุทำให้เกิดของเสียมากที่สุด จึงนำปัญหานี้มาทำการแก้ไข ขั้นตอนที่สองจะเป็นการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาโดยการสร้างแผนที่กระบวนการ ทำให้ทราบความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละงานในกระบวนการ จากนั้นจะทำการวิเคราะห์สาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหา โดยสร้างแผนภาพสาเหตุและผล ซึ่งจะนำมาเชื่อมโยงกับค่าระดับความเสี่ยงที่ได้จากการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ เพื่อค้นหาสาเหตุที่น่าจะมีผลกระทบต่อปัญหามากที่สุด จากนั้นจะศึกษาระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบชิ้นงานก่อนชุบโครเมี่ยม เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความถูกต้องในระบบการตรวจสอบ ขั้นตอนที่สามเป็นการวิเคราะห์สาเหตุที่มีผลกระทบกับค่าความหยาบผิวชิ้นงานโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน และนำมาหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ โดยเทคนิคการออกแบบการทดลองและการหาพื้นที่ตอบสนอง ขั้นตอนสุดท้ายจะดำเนินการควบคุมตัวแปรต่างๆ โดยอาศัยคู่มือการปฏิบัติงาน และเทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ ผลจากการปรับปรุง พบว่า ค่าเฉลี่ยของเสียต่อเดือนลดลงจาก 146,295 PPM เหลือเพียง 25,780 PPM และทำให้ลดมูลค่าความสูญเสียจาก 774,714 เหลือ 128,648 บาทต่อเดือน โดยสามารถลดระดับการเกิดของเสียลง 82 เปอร์เซ็นต์ซึ่งบรรลุตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 145 หน้า)

คำสำคัญ : ซิกซ์ ซิกม่า, ชุบโครเมี่ยม, ความหยาบผิว

_____อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

Name : Mr.Wasan Pukphasuk

Thesis Title : Defect Reduction in Chromium Plating Process by Applying Six Sigma Solution Case Study : A Company in Chromium Plating Industry

Major Field : Industrial Engineering
King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok
Thesis Advisor : Assistant Professor Dr.Athakorn Kengpol

Academic year : 2006

Abstract

The objective of this thesis is to reduce the amount of produced defect and to improve the surface quality of Chromium plating with the use of Six Sigma applications. The goal was to reduce the rate of produced defect by 70%. The process started with definitions and scope of the problem and identified the process improvement with the application of the Process Capability measurement. It was found that deposit or pitting produced on work was the major cause of defect. Therefore, this problem was brought into consideration. The second step was the measurement process to investigate the causes of problems by using the Process Map and this in turn, showed the relations of work factors in the process. Then, the problem was analysed with Cause and Effect Diagram which could link to risk priority number resulted from Failure Mode& Effect Analysis in Process. With the study of Measurement System Analysis, the process can increase the precision and accuracy of the inspection system. The third step was to analyse factors affecting the roughness of the work surface with the use of Analysis of Variance. The result was employed to sort out an optimal factor level in the process improvement step with Design of Experiment technique and Response Surface Methodology. The last step was variables control with Work in Process and Statistic Process Control technique. It was found that the average rate of defect per month was reduced from 146,295 PPM to 25,780 PPM and the loss value decreased from 774,714 baht to 128,648 baht per month. The set goal of 82% defect reduction level was achieved.

(Total 145 pages)

Keywords : Six Sigma, Chromium Plating, Roughness

_____Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรถกร เก่งพล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงที่กรุณาสละเวลาให้แนวคิดและคำแนะนำ ตลอดจนตรวจสอบข้อบกพร่องในการทำวิจัย ซึ่งอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยในครั้งนี้

การดำเนินงานวิจัยฉบับนี้ได้รับความร่วมมืออย่างดีจาก บริษัทแสงเจริญเพลทติ้ง (2005) จำกัด นอกจากนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณธวัชชัย สุจิตรานุรักษ์ ผู้จัดการโรงงาน คุณเชาว์ คุ้มชาติ ผู้จัดการฝ่ายผลิต คุณนรินทร์ เกตุอู๊ต ผู้จัดการฝ่ายประกันคุณภาพ คุณอุไรพร จันทร์แรม หัวหน้าแผนกเคมี และพนักงานทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ผู้เป็นเบื้องหลังอันยิ่งใหญ่ที่ทำให้ผู้จัดทำมีวันนี้ได้ และบูรพคณาจารย์ทุกท่านซึ่งเป็นผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชานับตั้งแต่ครั้งเยาว์วัยจวบจนกระทั่งทุกวันนี้

วสันต์ พุกผาสุข

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย	2
1.4 แนวทางของการดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ประโยนช์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 การบริหารงานคุณภาพ	5
2.3 ไตรศาสตร์ด้านคุณภาพ	7
2.4 การบริหารคุณภาพด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า	10
2.5 เป้าหมายของซิกซ์ ซิกม่า	11
2.6 คณะทำงานตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่า	14
2.7 ขั้นตอนการดำเนินงานตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่า	16
2.8 เครื่องมือสำหรับวิธีการซิกซ์ ซิกม่า	18
2.9 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	46
2.10 บทสรุป	50
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	53
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	53
3.2 การสำรวจสภาพการดำเนินงานทางการผลิตและปัญหาที่เกิดขึ้น	56
3.3 เป้าหมายการดำเนินงานวิจัย	65
3.4 บทสรุป	66

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	67
4.1 การกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase)	67
4.2 การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)	71
4.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)	87
4.4 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)	96
4.5 การควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control Phase)	113
4.6 สรุปผลการดำเนินงานตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่า	115
4.7 บทสรุป	120
บทที่ 5 บทสรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	121
5.1 บทสรุปผลงานวิจัย	121
5.2 ข้อดีและข้อเสียในการดำเนินงานแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า	123
5.3 ปัญหาและอุปสรรคในงานวิจัย	124
5.2 ข้อเสนอแนะ	124
บรรณานุกรม	125
ภาคผนวก ก	129
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	130
ภาคผนวก ข	137
ข้อมูลของเสีย	138
ภาคผนวก ค	141
คู่มือปฏิบัติงาน	142
ประวัติผู้วิจัย	145

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	เกณฑ์การให้ลำดับขั้นผลกระทบของความรุ่นแรง	22
2-2	การให้ลำดับโอกาสเกิดความผิดพลาด	23
2-3	โอกาสที่จะตรวจจับโดยการควบคุมกระบวนการ	24
2-4	ชนิดของข้อมูล	35
2-5	การเลือกแผนภูมิควบคุมสำหรับข้อมูลตัวแปรใช้กับกระบวนการเชิงป้องกัน	36
2-6	การเลือกแผนภูมิควบคุมสำหรับข้อมูลคุณสมบัติใช้กับกระบวนการเชิงดักปัญหา	36
2-7	สูตรในการคำนวณขอบเขตควบคุม	37
2-8	ค่าคงที่สำหรับการคำนวณขอบเขตควบคุม	38
3-1	รายละเอียดต้นทุนการผลิตต่อชิ้นงาน	64
4-1	การเปรียบเทียบดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ	71
4-2	การวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวน	76
4-3	การวิเคราะห์ระบบการวัดผู้ตรวจสอบชิ้นงานก่อนชุบโครเมี่ยมก่อนปรับปรุง	79
4-4	การวิเคราะห์ระบบการวัดผู้ตรวจสอบชิ้นงานก่อนชุบโครเมี่ยมหลังปรับปรุง	83
4-5	สรุปปัจจัยและคุณลักษณะของปัจจัยป้อนเข้า	90
4-6	ข้อมูลทดสอบความหยาบผิวชิ้นงานที่วิธีการล้างชิ้นงานแบบเดิม และใหม่	92
4-7	ข้อมูลทดสอบความหยาบผิวชิ้นงานที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 4 A/dm^2 และ 6 A/dm^2	93
4-8	ข้อมูลทดสอบความหยาบผิวชิ้นงานที่อุณหภูมิ 40 °C และ 60 °C	94
4-9	ข้อมูลทดสอบความหยาบผิวชิ้นงานที่ค่าพีเอช 4 และ 5	95
4-10	ปัจจัยและคุณลักษณะของปัจจัยป้อนเข้า	97
4-11	ผลการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง	100
4-12	ผลการทดลองด้วยวิธีการหาพื้นผิวตอบสนองกำลังสอง	104
4-13	ข้อมูลความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าทุกๆ ชั่วโมงช่วงวันที่ 22-29 ม.ค. ปี 2550	113
4-14	ข้อมูลค่าพีเอชทุกๆ ชั่วโมงช่วงวันที่ 22-29 ม.ค. ปี 2550	114
4-15	การเปรียบเทียบดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการก่อน-หลังปรับปรุง	119
ก-1	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	130

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก-2	แสดงความสัมพันธ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการนำไปใช้	135
ข-1	ข้อมูลของเสีย	138
ค-1	คู่มือการปฏิบัติงานวิธีการล้างชิ้นงาน	142

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	เงื่อนไขที่จำเป็นในการสร้างความพอใจ	6
2-2	เงื่อนไขที่เพียงพอในการสร้างความพอใจ	6
2-3	ไตรศาสตร์ด้านคุณภาพของจูราน	7
2-4	ความสัมพันธ์ด้านไตรศาสตร์คุณภาพของจูราน	9
2-5	ลักษณะการกระจายตัวแบบปกติ และระดับของเสีย	12
2-6	การแจกแจงปกติเปรียบเทียบระดับมาตรฐาน $\pm 3\sigma$ และ $\pm 6\sigma$	13
2-7	การเปลี่ยนแปลงค่าตั้งโดยธรรมชาติ $\pm 1.5\sigma$	14
2-8	วิธีการของการเฝ้าติดตาม	35
2-9	การกระจายของจุดบนแผนภูมิควบคุมแสดงความผิดปกติในกระบวนการผลิต	40
2-10	แผนภาพงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	51
3-1	เครื่อข่ายการดำเนินงานวิจัย	54
3-2	ชิ้นส่วนกันชนหลังรถยนต์ที่ทำการชุบโครเมี่ยม	57
3-3	แผนภาพกระบวนการชุบโครเมี่ยม	60
3-4	ของเสียที่เกิดขึ้นช่วงเดือน ม.ค-พ.ค. ปี 2549	64
3-5	ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นช่วงเดือน ม.ค-พ.ค. ปี 2549	65
3-6	เป้าหมายการดำเนินโครงงานวิจัย	65
4-1	แผนภาพพาเรโตจำแนกตามลักษณะอาการของปัญหา	68
4-2	แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียช่วงเดือน ม.ค-พ.ค. ปี 2549	69
4-3	แผนที่กระบวนการชุบโครเมี่ยม	73
4-4	แผนภาพแสดงสาเหตุและผลของปัญหาการเกิดของเสีย	75
4-5	แผนภาพพาเรโตแสดงสาเหตุของปัญหาการเกิดของเสีย	78
4-6	ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับก่อนปรับปรุง	80
4-7	กราฟการประมาณค่าแบบช่วง%รีพีททะบิลิตี้ และ%รีโปรดิวซิบิลิตี้ก่อนปรับปรุง	81
4-8	ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับหลังปรับปรุง	84
4-9	กราฟการประมาณค่าแบบช่วง%รีพีททะบิลิตี้ และ%รีโปรดิวซิบิลิตี้หลังปรับปรุง	85
4-10	การเปรียบเทียบกระบวนการทำความสะอาดชิ้นงาน	88
4-11	ผลลัพธ์การคำนวนจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน	91

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-12	ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความหยาบผิวชิ้นงานที่วิธีการล้างชิ้นงานแบบเดิมและใหม่	92
4-13	ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนความหยาบผิวชิ้นงานที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 4 A/dm^2 และ 6 A/dm^2	93
4-14	ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนความหยาบผิวชิ้นงานที่อุณหภูมิ 40 ˚C และ 60 ˚C	94
4-15	ผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนความหยาบผิวชิ้นงานที่ค่าพีเอช 4 และ 4.5	95
4-16	ผลลัพธ์การคำนวนจำนวนสิ่งตัวอย่างแบบ 2^k แฟคทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง	99
4-17	ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานการกระจายแบบปกติ	101
4-18	ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของข้อมูล	101
4-19	ผลลัพธ์การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของข้อมูล	102
4-20	ผลลัพธ์การทดลองแบบ 2^3 แฟคทอเรียล	103
4-21	ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานการกระจายแบบปกติ	105
4-22	ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของข้อมูล	106
4-23	ผลลัพธ์การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของข้อมูล	106
4-24	ผลลัพธ์การทดลองหาพื้นผิวตอบสนองกำลังสอง	107
4-25	โครงร่างระหว่างปัจจัยวิธีการล้างและค่าพีเอช	108
4-26	พื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยวิธีการล้างและค่าพีเอช	108
4-27	โครงร่างระหว่างปัจจัยวิธีการล้างและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า	109
4-28	พื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยวิธีการล้างและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า	109
4-29	โครงร่างระหว่างปัจจัยความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าและค่าพีเอช	110
4-30	พื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าและค่าพีเอช	110
4-31	ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสม	111
4-32	ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสม เมื่อกำหนดความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเป็น 4.4 A/dm^2 และค่าพีเอชเป็น 4.25	112

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-33	แผนภูมิควบคุม X-R สำหรับค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า	114
4-34	แผนภูมิควบคุม X-R สำหรับค่าพีเอช	115
4-35	สรุปผลการดำเนินงานแก้ไข	116
4-36	แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียช่วง 22 ม.ค. ถึง 22 ก.พ. ปี 2550	117
4-37	มูลค่าความสูญเสียที่ลดลง	119
ค-1	การนำชิ้นงานชุบบ่อน้ำล้างเย็นและทำการขัดด้วยฟองน้ำ	139
ค-2	การล้างในบ่อน้ำด่างเย็น	142
ค-3	การวางชิ้นงานบนแท่นรองเพื่อติดตะขอ	142
ค-4	การนำชิ้นงานติดตั้งกับ Jig	142
ค-5	การขัดล้างคราบที่ตกค้างภายในชิ้นงาน	143
ค-6	การหมุนบิดตามเข็มนาฬิการเพื่อเปิด Timer	143
ค-7	การวางปลาย Jig ต้องแนบสนิทกับแท่นรอง	144
ค-8	การจุ่มล้างทำความสะอาดชิ้นงาน	144

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในสภาวการณ์ปัจจุบันที่ธุรกิจอุตสาหกรรมทุกแขนงมีการแข่งขันทางการค้าที่รุนแรงและข้อมูลทางการตลาดที่แสดงว่าลูกค้ามีความต้องการสินค้าที่มีความหลากหลายในเวลาที่รวดเร็วการเพิ่มอัตรการผลิตและการปรับปรุงการทำงานนั้นจึงเป็นหัวใจที่สำคัญของการอยู่รอดทางธุรกิจและการเติบโตทางอุตสาหกรรม เพื่อให้สามารถแข่งขันกับคู่แข่งขันรายอื่นๆ ได้ จึงจำเป็นที่จะต้องเตรียมพร้อมรับสถานการณ์ในอนาคต ผู้ประกอบการจึงมีความจำเป็นที่จะต้องผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นไปตามความต้องการของลูกค้า โดยมีต้นทุนต่ำด้วยประสิทธิภาพที่สูงสุดและต้องลดเวลานำในการผลิตเพื่อให้สามารถส่งสินค้าได้ภายในระยะเวลาที่เร็วขึ้น อีกทั้งธุรกิจต่างๆ ก็ทำการขยายกำลังการผลิตโดยคาดการณ์ว่าตลาดจะเติบโต แต่ในความเป็นจริงเศรษฐกิจกลับทรุดทำให้ธุรกิจต่างๆ ได้รับผลกระทบจากการลงทุนที่ทำไว้ อุตสาหกรรมงานชุบเคลือบผิวโลหะก็ได้รับผลกระทบในปัจจัยต่างๆ ข้างต้นด้วย เนื่องจากในช่วงที่ผ่านมาอุตสาหกรรมในกลุ่มนี้มีการขยายตัวจำนวนมาก เพราะงานชุบเคลือบผิวโลหะไม่ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงอย่างใด เมื่อเกิดภาวะถดถอยทางเศรษฐกิจทำให้กำลังซื้อภายในประเทศลดลง ตลาดเป็นของผู้บริโภคทำให้อำนาจต่อรองของผู้บริโภคมีสูงสามารถต่อรองและเลือกผู้จัดส่งได้ตามเงื่อนไขที่ต้องการ โดยปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการตัดสินใจของผู้บริโภคมีสองปัจจัย คือ ราคาและคุณภาพทำให้อุตสาหกรรมงงานชุบผิวโลหะต้องทำการปรับตัวอย่างมากจำเป็นต้องอาศัยเทคนิคเหมาะสมมาทำการปรับปรุงสภาพการผลิตให้ต้นทุนสินค้าต่ำและมีคุณภาพที่สามารถแข่งขันในตลาดได้ เพื่อให้องค์กรอยู่รอดได้

บริษัทแสงเจริญเพลทติ้ง (2005) จำกัด เป็นหนึ่งอุตสาหกรรมที่ประกอบการเกี่ยวกับชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า (Chromium Plating) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่บริษัททำการผลิต คือ กันชนท้ายรถยนต์ในกระบวนการชุบโครเมี่ยมของโรงงานมีของเสียเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเฉลี่ยต่อเดือนประมาณ 146,295 PPM ของเสียที่เกิดขึ้นนี้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการนำกลับไปทำใหม่ (Rework) หรือจำหน่ายในราคาที่ต่ำลง สิ่งเหล่านี้ถือเป็นการสูญเสียที่สมควรพิจารณาให้ลดน้อยลงหรือมีค่าเป็นศูนย์ (Zero Defect) จึงจำเป็นต้องอาศัยเทคนิคที่มีความเหมาะสมมาทำการปรับปรุงสภาพการผลิตให้ต้นทุนสินค้าต่ำและมีคุณภาพที่สามารถแข่งขันในตลาดได้

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้ทำการวิจัยเล็งเห็นว่าวิธีการซิกซ์ ซิกม่านี้จะเป็นแนวทางที่ช่วยในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งจะสามารถช่วยในการค้นหาปัญหาที่ซ่อนแร้น (Hidden factory) เช่น งานที่ต้องนำกลับมาทำใหม่ (Rework) งานที่ต้องนำไปทำลายทิ้ง (Scrap) อีกทั้งยังสร้างความพึงพอใจสูงสุดของลูกค้า โดยมีการพัฒนาและปรับปรุงทั้งทางด้านคุณภาพตลอดจนการลดต้นทุนการผลิต ซึ่งเป็นแนวทางที่ช่วยลดความผันแปรระยะยาวในกระบวนการผลิตโดยอาศัยการวิเคราะห์และการตัดสินใจอย่างมีเหตุผลภายใต้ข้อมูลที่สามารถเชื่อถือได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นและปรับปรุงคุณภาพผิวงานชุบโครเมี่ยม โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า

1.3 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย

1.3.1 การวิจัยฉบับนี้ทำการศึกษาเฉพาะบริษัทแสงเจริญเพลทติ้ง (2005) จำกัด โดยเน้นเฉพาะปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำงานของสายงานชุบโครเมี่ยม

1.3.2 การวิจัยฉบับนี้ทำการศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์กันชนท้ายรถยนต์โมเดล H61B ในสายการชุบโครเมี่ยม

1.4 แนวทางของการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 8 ขั้นตอน ตามแนวทางของซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนต่อไปนี้

1.4.1 การสำรวจสภาพการดำเนินงานทางการผลิตและปัญหาที่เกิดขึ้น

1.4.2 การกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase)

1.4.3 การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

1.4.4 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

1.4.5 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

1.4.6 การควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control Phase)

1.4.7 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

1.4.8 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงขั้นตอนการใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่าและเครื่องมือทางคุณภาพไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาด้านคุณภาพในโรงงานอุตสาหกรรม

1.5.2 ลดปริมาณของเสียอันเนื่องมาจากไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพในกระบวนการผลิต

1.5.3 สามารถกำหนดแนวทางการป้องกันของเสียในอนาคต

1.5.4 สามารถเพิ่มคุณภาพของกระบวนการผลิตให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สร้างความพึงพอใจแก่ลูกค้า

บทที่ 2
ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

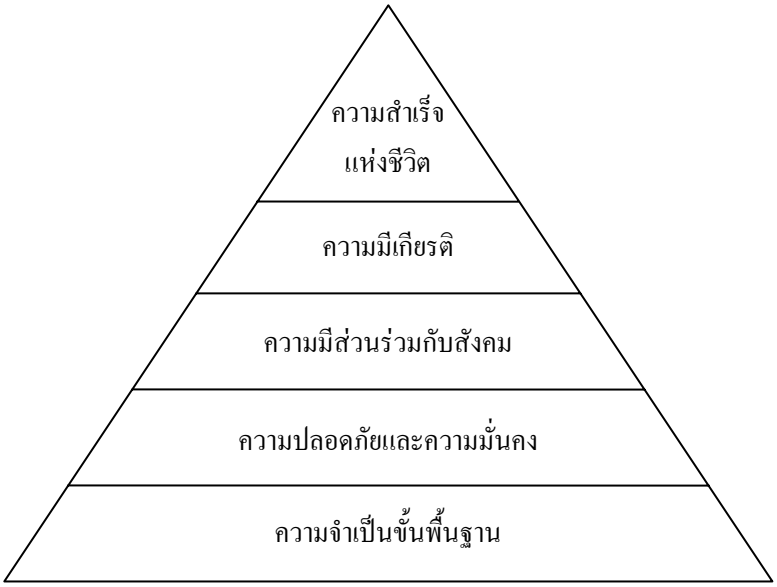
ในส่วนนี้จะบรรยายเกี่ยวกับทฤษฎี และหลักการที่ใช้ในโครงงานวิจัยในครั้งนี้ เนื่องจากการดำเนินงานทั้งหมดเป็นไปตามขั้นตอนมาตรฐานของวิธีการซิกซ์ ซิกม่า ดังนั้นเนื้อหาในบทนี้จะประกอบไปด้วย หลักการบริหารคุณภาพ ไตรศาสตร์ด้านคุณภาพ (The Quality Trilogy) และการบริหารคุณภาพด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า โดยเนื้อหาจะเน้นหลักการต่างๆ เป็นลักษณะภาพรวมและเหตุผลที่นำมาใช้ เพื่อความเข้าใจในการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเหล่านี้ในขั้นตอนต่างๆ ของการดำเนินงานได้อย่างเหมาะสม

2.2 การบริหารงานคุณภาพ

เนื่องจากการแข่งขันทางธุรกิจได้มีการทวีความรุนแรงมากขึ้นตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันทำให้มีการผลักดันทางธุรกิจ ทำให้เกิดการพัฒนาด้านผลิตภัณฑ์ การผลิต และการบริการ เพื่อชิงความเป็นผู้นำของตลาด ดังนั้นแนวความคิดด้านคุณภาพก็ได้เปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยเปลี่ยนจากแนวความคิดจากการผลิตอะไรก็ขายได้ (Product out Concept) เป็นแนวความคิดแบบผลิตเอาใจตลาด (Market in Concept) และจากวิวัฒนาการนี้เองที่ทำให้สามารถกล่าวได้ว่า “คุณภาพเป็นกลยุทธ์ในการบริหารธุรกิจ” กล่าวคือเป็นการบริหารที่มุ่งสร้างกำไรอย่างเป็นธรรมแก้องค์กรด้วยการสร้างความพึงพอใจแบบเบ็ดเสร็จต่อลูกค้าและจะสามารถนิยามคุณภาพในยุคนี้ได้ว่าเป็น “การสร้างความพอใจต่อลูกค้าแบบเบ็ดเสร็จ” (Total Customer Satisfaction : TCS)

กิติศักดิ์ (2547: 25-26) ได้กล่าวถึงนิยามของ “คุณภาพ” ไว้ว่า คือ การสร้างความพอใจต่อลูกค้า ดังนั้นประเด็นที่มีความสำคัญมากในการบริหารคุณภาพ คือ ทำอย่างไรจึงจะทำให้ผู้ผลิตได้ทราบว่าลูกค้ามีความพึงพอใจหรือไม่ซึ่งจะพบว่า “ความพึงพอใจเป็นผลจากการตอบสนองต่อความต้องการ (Want หรือ Requirement) อันจะเป็นเงื่อนไขที่จำเป็นและเพียงพอ (Necessary and Sufficient Condition) ของความพึงพอใจ” เงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการตอบสนองต่อความต้องการคือ “ความจำเป็น (Needs)” ของลูกค้าโดยความจำเป็นของลูกค้านี้ได้รับการกำหนดเป็นลำดับชั้น (Hierarchy of Needs) ซึ่งสามารถกล่าวในทฤษฎีลำดับชั้นแห่งความจำเป็นของมาสโลว์ (Maslow)

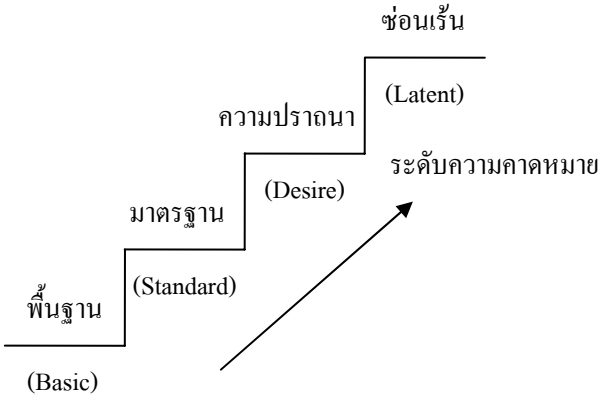
และเงื่อนไขที่เพียงพอสำหรับการตอบสนองต่อความต้องการได้ คือ “ความคาดหมาย (Expectation)” ซึ่งความคาดหมายนี้จะแบ่งเป็นระดับ คือ



ความจำเป็น (Needs) คือ ผลจากความไม่เดือดร้อน

ภาพที่ 2-1 เงื่อนไขที่จำเป็นในการสร้างความพอใจ (กิติศักดิ์, 2547)

จะเห็นได้ว่าจากการที่ลูกค้ามีความจำเป็นตามลำดับชั้นและภายใต้แต่ละความจำเป็นลูกค้ามีความคาดหมายหลายระดับ ทำให้ลูกค้ามีความต้องการไม่สิ้นสุด ซึ่งจะทำให้คุณภาพมีความหมายเพียงจินตภาพที่จำเป็นต้องมีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ตรงต่อความต้องการของลูกค้าเสมอ



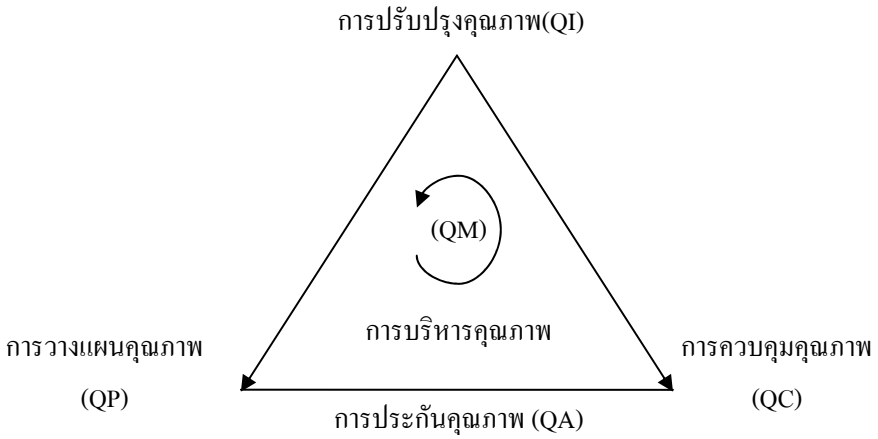
ความคาดหมาย (Expectation) คือ เงื่อนไขที่เพียงพอต่อความจำเป็นของลูกค้า

ภาพที่ 2-2 เงื่อนไขที่เพียงพอในการสร้างความพอใจ (กิติศักดิ์, 2547)

การแข่งขันที่สูงขึ้นในธุรกิจทำให้เกิดวิกฤตการณ์ในการบริหารธุรกิจมีผลทำให้แต่ละองค์กรต้องการ “ความมีระบบ” ของการบริหารคุณภาพโดยแนวทางในการบริหารคุณภาพนี้จะต้องเป็นการกำหนดแนวความคิดด้านคุณภาพ (Way of Thinking about Quality) ซึ่งทำให้บุคลากรทุกสายงาน (Function) ในทุกระดับขององค์กร (Hierarchy) เริ่มตั้งแต่ผู้บริหารระดับสูง (CEO) จนถึงพนักงานทั้งในสำนักงานและโรงงานมีส่วนร่วมในการบริหารงานคุณภาพซึ่ง จูราน ได้คิดค้นการบริหารคุณภาพตามแนวทางดังกล่าว จูราน ได้เรียกศาสตร์ในการบริหารคุณภาพนี้ว่า “ไตรศาสตร์ด้านคุณภาพ (The Quality Trilogy)” หรือ “ไตรศาสตร์ของจูราน (The Juran Trilogy)”

2.3 ไตรศาสตร์ด้านคุณภาพ (The Quality Trilogy)

Juran (1986)ได้กล่าวถึงนิยามของการบริหารคุณภาพไว้ว่า “การบริหารคุณภาพ (Quality Management : QM) หมายถึง กระบวนการในการชี้บ่งและบริหารกิจกรรมต่างๆ ที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำเนินการ เพื่อสามารถบรรลุจุดประสงค์ด้านคุณภาพขององค์กร (The Process of Identifying and Administering the Activities Needed to Achieve the Quality Objective of an Organization) ซึ่งเป็นกระบวนการในการชี้บ่งและการบริหารบริหารกิจกรรม ประกอบไปด้วย 3 กระบวนการหลักๆ คือ การวางแผนคุณภาพขององค์กร และการประกันคุณภาพ (QA) หมายถึงการสร้างความเชื่อมั่นให้เกิดแก่ลูกค้า



ภาพที่ 2-3 ไตรศาสตร์ด้านคุณภาพของจูราน (Juran, 1986)

2.3.1 การวางแผนคุณภาพ (Quality Planning : QP)

การวางแผนคุณภาพ หมายถึง การกำหนดซึ่งเป้าหมายที่จะบรรลุสู่ความคาดหมายของลูกค้าที่กำหนดแล้วทำการจัดสรรทรัพยากรที่มีจำกัดต่อวิธีการที่จะทำให้เกิดความมั่นใจว่าผลจากวิธีการดังกล่าวทำให้ลูกค้ามีความพึงพอใจ

2.3.2 การควบคุมคุณภาพ (Quality Control : QC)

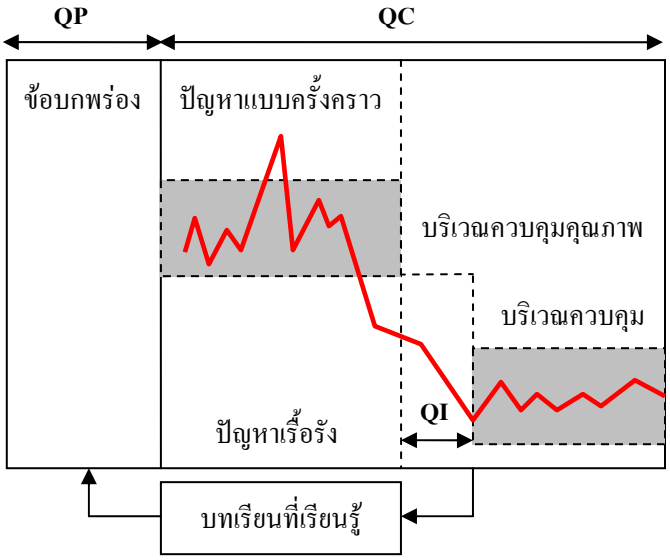
การควบคุมคุณภาพ หมายถึง การเฝ้าพินิจผลกระบวนการเพื่อจะทำการเปรียบเทียบกับความคาดหมายของลูกค้า ถ้าหากพบว่าผลการดำเนินการตามกระบวนการมิได้เป็นไปตามความคาดหมายที่ส่งผลให้ลูกค้าเกิดความไม่พอใจแล้วจะต้องค้นหาสาเหตุของความไม่พอใจดังกล่าวเพื่อจะแก้ไขให้ถูกต้อง

2.3.3 การปรับปรุงคุณภาพ (Quality Improvement : QI)

การปรับปรุงคุณภาพ หมายถึง การคาดการณ์ความคาดหมายใหม่ของลูกค้าสำหรับผลิตภัณฑ์เดิมหรือการค้นหาความจำเป็นของลูกค้าสำหรับการพิจารณาผลิตภัณฑ์ใหม่แล้วทำการวางแผนใหม่ตลอดจนการควบคุมใหม่เพื่อให้บรรลุตามเป้าหมายใหม่

2.3.4 การประกันคุณภาพ (Quality Assurance : QA)

การประกันคุณภาพ หมายถึง การดำเนินการใดๆ เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นต่อลูกค้าภายใต้แนวความคิดของไตรศาสตร์ด้านคุณภาพนี้ กระบวนการบริหารคุณภาพจะเริ่มต้นจากการวางแผนคุณภาพ โดยจะคาดหมายว่าคุณภาพควรจะอยู่ที่ระดับหนึ่งภายใต้การออกแบบระบบคุณภาพและเรียกสาเหตุของปัญหาจากระบบที่ออกแบบนี้ว่า “สาเหตุของปัญหาเรื้อรัง (Chronic Waste)” ซึ่งจะมีคุณสมบัติ คือ สามารถคาดการณ์ได้ภายหลังจากการวางแผนคุณภาพสิ้นสุดลงจะต้องดำเนินการภายใต้การควบคุมคุณภาพเป็นลำดับต่อมา กล่าวคือ จะเป็นการดำเนินการที่พยายามให้คุณภาพเป็นไปตามเป้าหมายคุณภาพที่วางแผนไว้และเรียกสภาวะของกระบวนการแบบนี้ว่า “สภาวะเสถียร” โดยจะทำการกำจัด “ปัญหาแบบครั้งคราว (Sporadic Spike)” ซึ่งคุณสมบัติของปัญหาแบบนี้ คือ ไม่สามารถคาดการณ์ได้ภายใต้สภาวะเสถียรจะทำให้สามารถคาดการณ์สมรรถนะของกระบวนการที่ควรจะเป็นได้การปรับปรุงคุณภาพจึงถูกนำมาใช้เพื่อดำเนินการแก้ไขและยกระดับของคุณภาพขึ้นจากเดิม ซึ่งลักษณะการดำเนินการแบบนี้จะมีการนำบทเรียนที่ได้รับมาใช้เป็นแนวทางในการวางแผนคุณภาพต่อไป ซึ่ง จูราน ได้แสดงความสัมพันธ์ของไตรศาสตร์ด้านคุณภาพนี้ ดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 ความสัมพันธ์ด้านไตรศาสตร์คุณภาพของจูราน (กิติศักดิ์, 2547)

การบริหารคุณภาพแบบเบ็ดเสร็จ (Total Quality Management : TQM) ดังที่ (Kano, 1985) ได้ให้นิยามเกี่ยวกับการบริหารคุณภาพแบบเบ็ดเสร็จไว้ว่า "เป็นการบริหารธุรกิจเพื่อให้ได้กำไรอย่างเป็นธรรมโดยผ่านการสร้างความพึงพอใจให้กับบุคลากรทุกฝ่ายที่มีส่วนได้เสียกับธุรกิจ (Stake holder)" ซึ่งในการบริหารคุณภาพแบบเบ็ดเสร็จนั้นจะไม่มีรูปแบบแน่นอนทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าวัฒนธรรมขององค์กรนั้นๆ เป็นอย่างไรซึ่งในการจัดการบริหารคุณภาพแบบเบ็ดเสร็จให้สำเร็จนั้นจะมีประสิทธิภาพเต็มที่ตามแต่ละองค์กรเท่านั้นไม่สามมารถเลียนแบบกันได้ ดังนั้นก่อนที่จะดำเนินการกำหนดตัวแบบในการบริหารคุณภาพแบบเบ็ดเสร็จจะต้องทำการเข้าใจถึงวัฒนธรรมองค์กรของตนเสียก่อนโดยสังเกตจากความคิด (Think) การปฏิวัติ (Practice) ความเชื่อ (Believe) และความคิดเห็น (Opinion) ของคนในองค์กรเสียก่อน อย่างไรก็ตามถึงแม้การบริหารแบบ TQM นี้จะมีตัวแบบแตกต่างกันออกไปตามแต่ละองค์กร แต่ทั้งนี้การบริหารจะต้องอยู่ภายใต้ 3 ปรัชญา และ 4 หลักการกล่าว คือ

ปรัชญาของการบริหารคุณภาพแบบเบ็ดเสร็จ

1. ความมีส่วนร่วมจากบุคลากรทุกฝ่ายในทุกระดับทั่วทั้งองค์กร (Company Wide)
2. ความมีระบบ (Systematic)
3. การตัดสินใจด้วยข้อเท็จจริง (Scientific)

หลักการบริหารคุณภาพแบบเบ็ดเสร็จ

1. การบริหารเน้นที่ลูกค้า (Customer Oriented Management)

2. ความเป็นเลิศด้านทรัพยากรมนุษย์ (Human Resource Excellence)
3. ความเป็นผู้นำด้านผลิตภัณฑ์ (Product Leadership)
4. ความเป็นเลิศด้านการบริหาร (Management Excellence)

2.4 การบริหารคุณภาพด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า

Breyfogle (1999) ได้กล่าวไว้ว่า ปัจจุบันหลายองค์กรทางธุรกิจและอุตสาหกรรมได้ประสบความสำเร็จในการนำเอาวิธีการซิกซ์ ซิกม่ามาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของการบริการและผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ก็เพราะว่าวิธีซิกซ์ ซิกม่าเป็นวิธีที่มีรากฐานมาจากวิทยาศาสตร์และสถิติซึ่งสามารถพิสูจน์ได้พร้อมทั้งมีหลักการและวิธีทำที่แน่นอน Park (2003) กล่าวว่าถึงจุดกำเนิดของวิธีการซิกซ์ ซิกม่า เริ่มขึ้นเมื่อบริษัทโมโตโรล่า ได้พัฒนาและสร้างโครงการเพื่อปรับปรุงคุณภาพของสินค้าโดย ไมเคิล แฮรี่ (Mikel Harry) และบ็อบ แกลวิน (Bob Galvin) ในช่วงปี ค.ศ. 1980 บริษัทโมโตโรล่า ซึ่งอาศัยแนวคิดของการอธิบายกระบวนการด้วยการศึกษาความแปรปรวนของปารมาจารย์ W. Edwards Deming บิดาแห่งการพัฒนาคุณภาพ หลังจากเรื่องราวของความสำเร็จของวิธีการซิกซ์ ซิกม่ากระจายออกไปแล้วบริษัทยักษ์ใหญ่อย่าง General Electric Sony AlliedSignal และ Motorola สามารถยึดครองความสนใจจากตลาดการเงินแห่งสหรัฐอเมริกาและทำการเผยแพร่กลยุทธ์ทางธุริกิจวิธีนี้ออกไป วิธีการทางซิกซ์ ซิกม่านี้จะเกี่ยวข้องกับการใช้เครื่องมือทางสถิติอย่างมีระบบเพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์และบริการที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่า เร็วกว่าและราคาถูกกว่าในการแข่งขันแทนที่จะเสียต้นทุนด้านการฝึกฝนและสร้างความเข้าใจในการดำเนินการกลับมาให้ได้มาซึ่งผลกำไรสุทธิที่มากกว่าแน่นอนกว่า

2.4.1 หลักการของซิกซ์ ซิกม่า

ซิกซ์ ซิกม่า เป็นหลักการของวิธีทางสถิติที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการทางธุรกิจเพื่อเป็นการพัฒนาประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน โดยวิธีการซิกซ์ ซิกม่ามีจุดมุ่งหมายประการสำคัญต่อการปฏิบัติการที่ปราศจากความผิดพลาด และยังสามารถคืนกำไรต่อองค์กรด้วย (Breyfogle, 1999)

2.4.2 ความหมายของซิกซ์ ซิกม่า

Harry (1997) ได้กล่าวถึงความหมายของซิกซ์ ซิกม่าไว้ 3 ความหมาย ดังนี้ คือ

1. กลยุทธ์ทางธรุกิจซึ่งทำให้เกิดการได้เปรียบทางการแข่งขัน กล่าวคือ ถ้าสามารถปรับปรุงระดับของซิกซ์ ซิกม่าในกระบวนการแล้วจะมีผลทำให้เกิดการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และมีต้นทุนที่ต่ำลงโดยผลที่ตามมา คือ ความพึงพอใจของลูกค้าที่มีมากขึ้น

2. ปรัชญาที่ทำให้สามารถทำงานได้ด้วยความฉลาดมากขึ้น ซึ่งจะหมายความว่าสามารถลดข้อผิดพลาดให้น้อยลงในทุกๆ ด้าน โดยจากการผลิตสินค้าเพื่อตอบสนองยอดการสั่งซื้อเราจะสามารถค้นพบ และลดแหล่งที่มาของความแปรปรวนในกระบวนการซึ่งทำให้ระดับซิกม่าสูงขึ้น อันหมายถึง การปรับปรุงของความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) โดยมีผลให้ข้อผิดพลาดหรือของเสียไม่เกิดขึ้น

3. เครื่องมือวัดทางสถิติซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ การบริการ หรือกระบวนการมีคุณภาพเป็นอย่างไร วิธีการของซิกซ์ ซิกม่าจะทำให้เปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การบริการหรือกระบวนการที่มีลักษณะคล้ายกันหรือแตกต่างกันได้ ซึ่งทำให้รู้ว่าเรานำหน้าหรืออยู่หล้าหลังผู้อื่นและที่สำคัญที่สุดก็คือเราสามารถรู้ว่าจำเป็นต้องก้าวไปสู่ที่ใดและอะไรที่เราต้องกระทำเพื่อไปสู่เป้าหมายนั้น

ซิกม่า จะเป็นสัญลักษณ์ซึ่งแสดงความเสถียร (Stability) ของกระบวนการ เช่น ถ้าบอกว่ากระบวนการมีสมรรถภาพเท่ากับ ซิกซ์ ซิกม่า อันหมายถึง กระบวนการนั้นในระยะยาว (Long Term) มีโอกาสที่จะเกิดของเสียไม่เกิน 3.4 PPM (Part Per Million)

2.4.3 วิสัยทัศน์ ปรัชญา กลยุทธ์และเป้าหมาย

2.4.3.1 วิสัยทัศน์ของซิกซ์ ซิกม่า

วิสัยทัศน์ของซิกซ์ ซิกม่า คือ การสร้างความประทับใจต่อลูกค้าโดยการส่งมอบผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพระดับโลกให้กับลูกค้าผ่านการดำเนินการที่มีสมรรถนะระดับซิกซ์ ซิกม่าในทุกๆ สิ่งที่เราทำ

2.4.3.2 ปรัชญาของซิกซ์ ซิกม่า

ปรัชญาซิกซ์ ซิกม่า คือ การประยุกต์แนวทางที่มีระบบและมีโครงสร้าง เพื่อการปรับปรุงอย่างพลิกโฉมหน้า (Breakthrough) ในทุกๆ ส่วนของการดำเนินธุรกิจของเรา

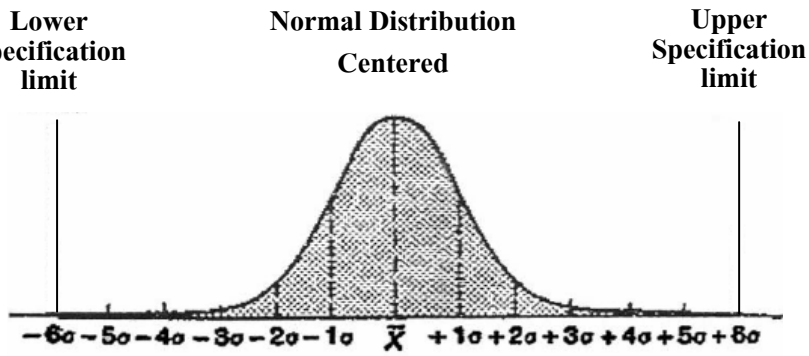
2.4.3.3 กลยุทธ์ของซิกซ์ ซิกม่า

กลยุทธ์ของซิกซ์ ซิกม่า คือ การปรับปรุงแบบพลิกโฉมหน้า (Breakthrough Improvement) ซึ่งการปรับปรุงนี้จะมีอยู่ 4 ขั้นตอน คือ การวัด (Measure Phase) การวิเคราะห์ (Analysis Phase) การปรับปรุง (Improve Phase) และการควบคุม (Control Phase)

2.5 เป้าหมายของซิกซ์ ซิกม่า

Breyfogle (1999) ซึ่งได้กล่าวว่าในกระบวนการผลิตหรือบริการโดยทั่วๆ ไปลักษณะของผลิตภัณฑ์มักจะกระจายตัวแบบปกติ คือ มีระดับของความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ระดับ $\pm 3\sigma$ ซึ่งสามารถคิดเป็น %ของผลิตภัณฑ์ที่จะได้รับการยอมรับ (%ของความแน่นอน) ซึ่งจะได้เท่ากับ

99.73% ซึ่งที่ระดับความเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\pm 3\sigma$ นี้จะทำให้โอกาสที่จะเกิดของเสียถึง 2,700 PPM นั่นคือ ในผลิตภัณฑ์หนึ่งล้านหน่วยจะมีโอกาสเป็นของเสียเท่ากับ 2,700 หน่วย โดยยังถือได้ว่าไม่เป็นระดับที่ลูกค้าพอใจ เพราะลูกค้ามีความต้องการให้โอกาสในการเกิดของเสียใกล้เคียงศูนย์มากที่สุด ดังภาพที่ 2-5 ซึ่งแสดงลักษณะการกระจายตัวแบบปกติ และระดับของเสียที่ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลระดับต่างๆ



Spec Limit	Percent	Defective ppm
±1σ	68.27	317300
±2σ	95.45	45500
±3σ	99.73	2700
±4σ	99.9937	63
±5σ	99.999943	0.57
±6σ	99.9999998	0.002

ภาพที่ 2-5 ลักษณะการกระจายตัวแบบปกติ และระดับของเสีย (Breyfogle, 1999)

จากความพยายามพัฒนาคุณภาพของกระบวนการผลิตโดยมีเป้าหมายให้ของเสียใกล้เคียงจำนวนศูนย์มากที่สุดนับตั้งแต่ปี ค.ศ 1985 โดยบริษัท โมโตโลล่า ได้นำซิกซ์ ซิกม่ามาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตหรือบริการโดยมีเป้าหมายอยู่ที่ระดับของความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ระดับ $\pm 6\sigma$ ซึ่งถ้าพิจารณาจากค่าความสามารถของกรบวนการในระยะสั้น (ค่าC_p) นั้นจะได้ค่า C_p เท่ากับ 2 ซึ่งความหมาย คือ มีโอกาสในการเกิดของเสียเพียงแค่ 0.002 PPM สามารถอธิบายดังสมการที่ 2-1 และสามารถเปรียบเทียบระดับความเบี่ยงเบนมาตรฐานระดับ $\pm 3\sigma$ และ $\pm 6\sigma$ นั้น ดังภาพที่ 2-7

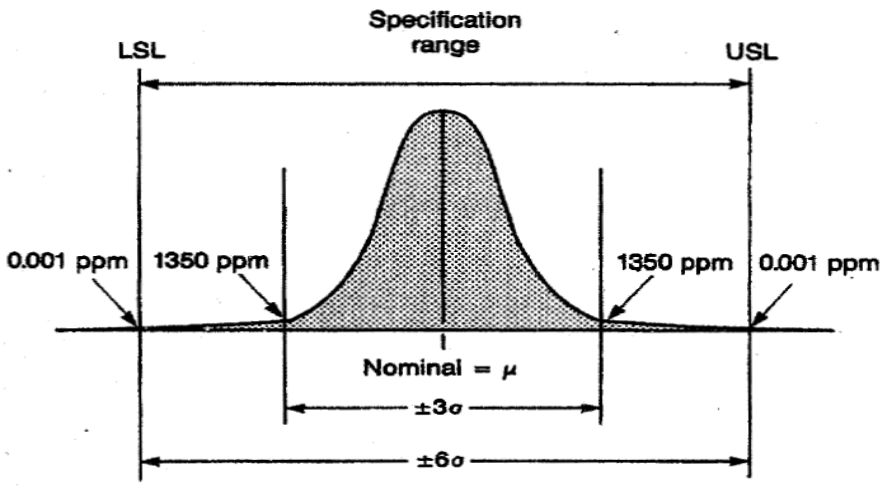
ความสามารถกระบวนการระยะสั้น คือ การเอาลักษณะของความผันแปรของกระบวนการอันเนื่องมาจากสาเหตุทางธรรมชาติภายใต้การควบคุม โดยทำการศึกษาในระยะสั้นมาอธิบายความ

มีประสิทธิภาพของกระบวนการว่ามีความสามารถในการผลิตให้ได้อยู่ในช่วงข้อกำหนดเฉพาะมากน้อยเพียงใด

$$C_p = \frac{\text{ความต้องการของลูกค้า}}{\text{ความสามารถของกระบวนการ}} = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = 2 \qquad (2\text{-}1)$$

ความสามารถกระบวนการระยะยาว (Long Term Process Capability : C_{pk}) คือ การศึกษาถึงประสิทธิภาพของกระบวนการในระยะยาว เพื่อทำการประเมินล่วงหน้าถึงความสามารถของกระบวนการ และแนวทางในการควบคุมกระบวนการตลอดช่วงระยะเวลาที่ยาวนาน

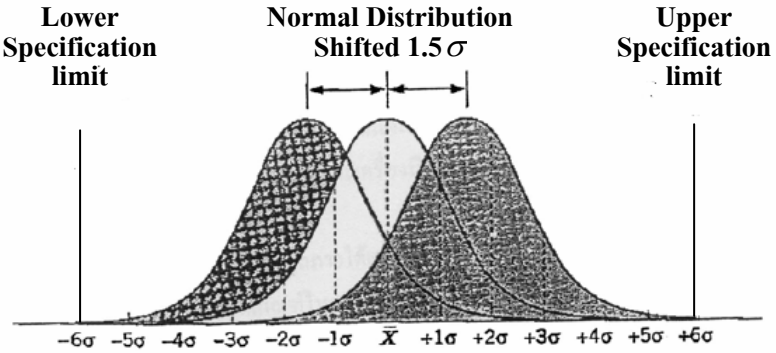
$$C_{pk} = \frac{\text{ความต้องการของลูกค้า}}{\text{ความสามารถของกระบวนการ}} = \min\left[\frac{USL - \bar{X}}{3\sigma}, \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma}\right] = 2 \qquad (2\text{-}2)$$



ภาพที่ 2-6 การแจกแจงปกติเปรียบเทียบระดับมาตรฐาน $\pm 3\sigma$ และ $\pm 6\sigma$ (Breyfogle, 1999)

จากสมการที่ 2-2 เมื่อการกระจายของข้อมูลอยู่กึ่งกลางมาตรฐานตามภาพที่ 2-6 ค่า C_{pk} จะเท่ากับ 2 เหมือนกับ C_p ซึ่งหมายถึง โอกาสเกิดของเสียเท่ากับ 0.002 PPM แต่เมื่อมาพิจารณาจากค่าความสามารถของกระบวนการในระยะยาวนั้น จะพบว่าในกระบวนการใดๆ ค่ากลางของข้อมูลมักมีการเปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่ตั้งไว้ในตอนแรก (Setting Value) โดยมักจะเปลี่ยนแปลงเท่ากับ $\pm 1.5\sigma$ โดยปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “Shifts and Drifts” เมื่อกระบวนการได้มีการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่าแล้วจะทำให้มีโอกาสในการเกิดของเสียเท่ากับ 3.4 PPM พบว่า

โอกาสในการเกิดของเสียนั้นน้อยมาก ดังภาพที่ 2-7 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าตั้งโดยธรรมชาติ $\pm 1.5\sigma$



Spec Limit	Percent	Defective ppm
±1σ	30.23	667700
±2σ	69.13	308700
±3σ	93.32	66810
±4σ	99.3890	6210
±5σ	99.97670	233
±6σ	99.999660	3.4

ภาพที่ 2-7 การเปลี่ยนแปลงค่าตั้งโดยธรรมชาติ $\pm 1.5\sigma$ (Breyfogle, 1999)

จากการริเริ่มของบริษัทโมโตโรล่าในการใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่าพัฒนากระบวนการทุกๆ ด้านของบริษัทโดยการตั้งเป้าหมายที่ $\pm 6\sigma$ นี้ทำให้คุณภาพของกระบวนการผลิตดีขึ้นอย่างมาก ซึ่งส่งผลให้สามารถลดต้นทุนลงได้จากความสำเร็จทำให้เป้าหมายเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ ซึ่งองค์กรมากมายต่างให้ความสนใจและนำวิธีการซิกซ์ ซิกม่ามาพัฒนาองค์กรเพื่อสามารถแข่งขันและเป็นผู้นำทางธุรกิจ

2.6 คณะทำงานตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่า

โกศล (2546: 64) ได้กล่าวไว้ว่า ในการดำนินการตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่านั้นทุกสิ่งทุกอย่างเริ่มต้น และจบลงด้วยการสร้างความพึงพอใจให้เกิดกับลูกค้าสำหรับในมุมมองของลูกค้าไม่เคยสนใจเลยว่าองค์กรจะนำแนวทางไหนมาใช้ในบริหาร แต่ลูกค้าในใจที่ผลลัพธ์เท่านั้น และการที่ลูกค้าสนใจผลลัพธ์ นั่นคือ ลูกค้าต้องการให้เกิดความเปลี่ยนแปลง และการเปลี่ยนแปลงนี้ต้องเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบพลิกโฉมหน้า ดังนั้น การทำให้องค์กรประสบความสำเร็จในการปรับปรุงเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าให้ได้นั้นต้องเริ่มที่การพัฒนาคน โดยการจัดตั้ง

คณะทำงานขึ้นมาและผ่านการฝึกอบรม เพื่อเข้าให้เข้าใจถึงแนวคิดหลักการตลอดจนเครื่องมือที่ใช้ในการแก้ปัญหาตามบทบาท หน้าที่ ความรับผิดชอบของแต่ละคน โดยแนวทางในการกำหนดคณะทำงานมีดังนี้

2.6.1 ผู้ให้การสนับสนุนคณะทำงาน

Champion จะเป็นผู้ที่มีอำนาจอยู่ในระดับบริหารของหน่วยงานนั้นโดยตรง โดยจะมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับคณะทำงานในหลายๆ เรื่องด้วยกัน ได้แก่ การเป็นผู้สนับสนุนและคอยช่วยเหลือคณะทำงาน เป็นผู้กำหนดนโยบายให้แก่คณะทำงานเพื่อใช้ในการกำหนดเป้าหมายโครงการต่อไป ช่วยคณะทำงานในการเลือกโครงการ กำหนดขอบเขตการดำเนินงาน และเป้าหมายความสำเร็จของโครงการ เมื่อโครงการดำเนินไปแล้ว Champion ก็มีหน้าที่ช่วยเหลือในการกำจัดอุปสรรคที่ขัดขวางการดำเนินงานของคณะทำงาน เช่น การให้การสนับสนุนในเรื่องของปัจจัยการดำเนินงานต่างๆ และหน้าที่ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ การช่วยตัดสินใจเลือกกระบวนการปรับปรุงกระบวนการซึ่งถือได้ว่า การเลือก Champion ที่มีความเหมาะสมมีความสำคัญต่อความสำคัญต่อความสำเร็จของโครงการอย่างมาก และทุกคณะทำงานจะต้องมี Champion คอยให้การสนับสนุนด้วยผู้ที่จะมาเป็น Champion ของโครงการได้จะต้องผ่านการอบรมความรู้พื้นฐานของวิธีการซิกซ์ซิกม่าพอสมควร

2.6.2 ผู้นำคณะทำงานและสมาชิก

Black Belt จะเป็นผู้ที่ทำงานเต็มเวลาให้กับการนำคณะทำงานในการประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ซิกม่าดำเนินโครงการให้ประสบความสำเร็จตามเป้าหมาย และความต้องการทางธุรกิจหน้าที่หลักของ Black Belt และจะทำการเลือกโครงการร่วมกับ Champion โดยทำการจัดตั้งคณะทำงานและนำคณะทำงานในการทำงานการทำงานร่วมกันให้ประสบความสำเร็จ และจะมีหน้าที่ในการจัดการประชุม ควบคุมการทำงานของคณะทำงานให้เป็นไปตามเป้าหมาย และเป็นสื่อกลางเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างคณะทำงานกับ Champion

เพื่อทำหน้าที่ต่างๆ เหล่านี้ Black Belt ที่เหมาะสมจึงไม่ใช่แค่เพียงผู้ที่มีความรู้ในงานที่ทำเป็นอย่างดี หรือผู้ที่มีความรู้ความเข้าใจในสถิติ และเทคนิคต่างๆ เท่านั้น แต่ต้องเป็นผู้ที่มีทัศนคติในเชิงรุก เป็นผู้นำ และเข้ากับคนได้ง่าย ไม่อายที่จะร้องของความช่วยเหลือ หรือถามจากผู้รู้เมื่อมีปัญหา เพราะในการดำเนินงานนั้น Black Belt ซึ่งจะต้องทำหน้าที่ในการประสานงานต่างๆ เช่น ฝึกสอนให้ความรู้ และนำเทคนิคต่างๆ เกี่ยวกับสถิติมาใช้อย่างเหมาะสมเป็นเสมือนพี่เลี้ยงและผู้นำของกลุ่ม ดังนั้นผู้ที่จะเป็น Black Belt โดยสมบูรณ์ได้จะต้องผ่านการอบรมตามหลักสูตรอันจะประกอบด้วยขั้นตอน DMAIC สถิติและหลักสูตรความเป็นผู้นำ นอกจากนี้ยังต้องผ่านการสอบข้อเขียนและการสัมภาษณ์จาก Master Black Belt

โดยปกติแล้วองค์กรที่นำวิธีการซิกซ์ ซิกม่ามาประยุกต์ใช้ซึ่งจะมี Black Belt อยู่ 1% ของจำนวนพนักงานทั้งหมด แต่ก็ขึ้นกับนโยบายของแต่ละองค์กร สำหรับบางองค์กรอาจเลือกผู้ที่ยังคงทำงานอยู่ในสายงานมาเป็นหัวหน้าคณะทำงานรองจาก Black Belt ซึ่งเรียกว่า Green Belt หรือสมาชิกซึ่งจะมีคุณสมบัติคล้ายกับ Black Belt แต่ไม่ได้ทำงานเต็มเวลาในการดำเนินโครงการ ในบางองค์กรอาจอาศัยทั้ง Black Belt เป็นหัวหน้าคณะทำงาน และมี Green Belt เป็นส่วนหนึ่งของคณะทำงาน

2.6.3 ที่ปรึกษา Black Belt (Master Black Belt)

การทำงานจะมี Master Black Belt เป็นส่วนหนึ่งในคณะทำงานที่ไม่ได้ทำงานเต็มเวลาแต่จะเป็นผู้ที่มีความรู้ความเชี่ยวในวิธีการซิกซ์ ซิกม่าการใช้เครื่องมือทางสถิติและเทคนิคต่างๆ เป็นพิเศษซึ่งเมื่อใดที่คณะทำงานมีปัญหาในการดำเนินงาน หรือการคำนวณต่างๆ Master Black Belt มีหน้าที่ให้คำปรึกษาแนะนำรวมไปถึงการจัดการฝึกอบรมให้แก่คณะทำงานด้วย ในบางองค์การนั้นการจะสอบเป็น Black Belt โดยสมบูรณ์ได้รับความเห็นชอบผู้ที่เป็น Master Black Belt ด้วย และผู้ที่จะเป็น Master Black Belt ได้ก็ต้องผ่านการสอบเป็น Black Belt มาแล้วและผ่านการสอบเลื่อนขั้นเป็น Master Black Belt ด้วยเช่นกัน

2.6.4 คณะทำงาน (Members)

ในคณะทำงานจะมีผู้ที่เชี่ยวชาญในหน่วยงานที่เป็น Green Belt เป็นผู้ที่มีหน้าที่รับผิดชอบโดยตรงในงานนั้นๆ เข้าร่วนอยู่ในคณะทำงานด้วย ซึ่งคณะทำงานจะร่วมกันศึกษาและดำเนินการตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่าเพื่อทำการปรับปรุงงานตามเป้าหมายของโครงการ ซึ่งก็ควรเป็นผู้ที่มีหน้าที่รับผิดชอบต่องานนั้นๆ โดยตรงและมีความรู้ในงานนั้นๆ เพื่อที่จะร่วมเสนอแนะร่วมดำเนินการและนำไปสู่งการแก้ปัญหาที่ถูกต้องด้วย

2.7 ขั้นตอนการดำเนินงานตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่า

อนุวัตน์ (2546: 110-111) ได้กล่าวไว้ว่า เมื่อฝ่ายบริหารองค์กรได้ทำตัดสินใจอย่างจริงจังจะเริ่มดำเนินนโยบายตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่าแล้วก็จะทำการฝึกอบรมฝ่ายบริหารให้เข้าใจวิธีการซิกซ์ ซิกม่าเพื่อให้สามารถเตรียมพร้อมสำหรับการเป็น Champion ในแต่ละโครงการและทำการกำหนดบุคลากรที่มีความเหมาะสมเพื่อกำหนดไปเป็น Black Belt โดยจะมีการกำหนดนโยบายและเริ่มดำเนินการของฝ่ายบริหารตลอดไปจนถึงการเริ่มกระจายนโยบายไปสู่การปฏิบัติ Black Belt ที่ผ่านการอบรมแล้วจะร่วมกับ Champion เพื่อจะสามารถทำการเลือกปัญหาแล้วกำหนดคณะทำงานและเริ่มดำเนินงานตามขั้นตอน DMAIC ดังต่อไปนี้

2.7.1 การกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase)

ในขั้นตอนนี้จะเริ่มจากการศึกษาความต้องการของลูกค้า อาจได้จากการสำรวจความต้องการหรือข้อมูลการร้องเรียนโดย Black Belt และ Champion จะร่วมกันทำงานและนำความต้องการของลูกค้ามากระจายเป็นปัจจัยคุณภาพที่สำคัญของกระบวนการปัญหาคุณภาพต่างๆ ที่ตรงกับความต้องการของลูกค้ารวมถึงปัญหาที่ไม่สามารถแก้ไขได้ในหน่วยงานปกติก็จะถูกจัดเรียงลำดับความสำคัญและถูกเลือกดำเนินการแก้ไขปรับปรุงและเมื่อ Black Belt และ Champion สามารถกำหนดโครงการได้แล้วก็จะร่วมกันกำหนดขอบเขตการดำเนินงานและคณะทำงานต่อไป

สิ่งสำคัญที่จะได้จากขั้นตอนนี้ประกอบไปด้วยหัวข้อโครงการ รายละเอียดของปัญหา ขอบเขตการดำเนินงาน เป้าหมายโครงการ แผนการดำเนินงาน คณะทำงานและหน้าที่ความรับผิดชอบต่างๆ ของผู้มีส่วนร่วมโครงการ

2.7.2 การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

ส่วนในขั้นตอนนี้ Black Belt และคณะทำงานจะร่วมกันในการกำหนดแนวทางในการวัดประสิทธิภาพของกระบวนการทำการศึกษากระบวนการโดยละเอียด กำหนดปัจจัยที่ได้รับจากกระบวนการหรือตัวแปรตอบสนองกระบวนการ (Key Process Output Variables : KPOVs : Ys) และปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variables : Xs) ต่างๆ ของกระบวนการที่ส่งผลต่อ KPOVs ตามสมการ $Y = f(X_1, X_2, \ldots, X_n)$ กำหนดแนวทางในการวัดปัจจัยต่างๆ ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดหากผลการวิเคราะห์ระบบการวัดมีความผันแปรมากเกินกว่าที่กำหนด จะต้องทำการปรับปรุงระบบการวัดให้ดีเสียก่อน เมื่อยอมรับได้แล้วจึงทำการศึกษาระสิทธิภาพการดำเนินงานในปัจจุบัน กำหนดปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่น่าจะส่งผลกระทบต่อระดับคุณภาพของ Output ของกระบวนการเพื่อจะดำเนินการศึกษาและวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

สิ่งสำคัญที่จะได้จากขั้นตอนนี้ประกอบไปด้วย ปัจจัยนำเข้าของกระบวนการ (KPIVs) ตัวแปรสำคัญจะที่ได้รับจากกระบวนการ (KPOVs) แนวทางในการวัดและระบบการวัดที่มีประสิทธิภาพ ระดับประสิทธิภาพการดำเนินงานในปัจจุบันและสาเหตุที่จะทำการวิเคราะห์เพื่อพิสูจน์หาข้อเท็จจริง

2.7.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

ขั้นตอนนี้จะนำเข้ามี่สำคัญของกระบวนการมาทำการวิเคราะห์ผ่านวิธีการทางสถิติเชิงอนุมาน เพื่อดูว่าปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลกระทบต่อกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา หากปัจจัยใดที่ทดสอบแล้วพบว่ามีนัยสำคัญก็จะนำไปดำเนินการปรับปรุงในขั้นตอนต่อไป

จากการดำเนินงานในขั้นตอนนี้ทำให้เข้าใจในกระบวนการมากขึ้น และมาตรฐานการทำงานต่างๆ จะถูกทบทวนและปรับปรุงใหม่ ตัวแปรต่างๆ จะถูกกำหนดและศึกษาและทำให้ทราบว่าปัจจัยใดมีผลต่อปัญหาจริง และนำปัจจัยเหล่านี้ไปทำการปรับปรุงอย่างเหมาะสม

2.7.4 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

ขั้นตอนนี้เป็นการออกแบบและทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่าง KPOVs กับปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อ KPOV นั้นๆ และหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยที่จะทำให้ระดับ KPOVs ที่ดีที่สุด จากนั้นจะดำเนินการวิเคราะห์ระบบการวัดของแต่ละปัจจัย เพื่อทำให้การดำเนินการควบคุมในขั้นตอนต่อไปเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

สิ่งสำคัญที่จะได้รับจากการดำเนินงานขั้นตอนนี้ คือ แนวทางการปรับปรุงกระบวนการที่ดีที่สุดกระบวนการที่ได้รับการปรับปรุงจนเหมาะสม และปัจจัยสำหรับการดำเนินการควบคุม

2.7.5 การควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control Phase)

เมื่อทำการปรับปรุงกระบวนการแล้ว ขั้นตอนนี้เป็นการออกแบบวิธีการควบคุมปัจจัยต่างๆ เพื่อให้พนักงานสามารถควบคุมได้ด้วยตนเอง แล้วทำการประเมินความสามารถของกระบวนการผลิตอีกครั้งเปรียบเทียบกับเป้าหมายในตอนแรก ถ้าหากยังไม่ได้ตามเป้าหมายก็จะต้องย้อนกลับไปทำตามขั้นตอนก่อนหน้านี้อีกครั้ง นอกจากนี้แล้วจะต้องมีการประเมินผลการดำเนินงานโดยวัดจากระดับคุณภาพที่เปลี่ยนไป และประเมินความสามารถในการลดต้นทุน หรือความพึงพอใจของลูกค้าที่เปลี่ยนไปหลังจากการปรับปรุงกระบวนการ

สิ่งสำคัญที่ได้รับจากขั้นตอนนี้ คือ แผนการควบคุมกระบวนการ หลักฐานการปรับปรุงกระบวนการ บทสรุปการดำเนินงาน และกระบวนการที่ดีขึ้น

2.8 เครื่องมือสำหรับวิธีการซิกซ์ ซิกม่า

เครื่องมือหลักสำหรับวิธีการซิกซ์ ซิกม่านั้นจะประกอบไปด้วย เครื่องมือทางสถิติต่างๆ และเครื่องมือทางคุณภาพ (Quality Tools) เป็นหลัก นอกจากนั้นยังมีเทคนิคพิเศษอีกหลายอย่างในการช่วยสร้างความสะดวกในการดำเนินงาน ซึ่งจะกล่าวถึงเครื่องมือที่นิยมใช้ในขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.8.1 ขั้นตอนการกำหนดปัญหา (Define Phase)

2.8.1.1 การกำหนดปัญหา (Problem Statement)

ในขั้นตอนนี้จะทำการระบุปัญหาที่ต้องการทำการศึกษาและแก้ไข ซึ่งปัญหานั้นๆ จะต้องสัมพันธ์ในส่วนที่มีผลกระทบต่อลูกค้า หรือทางด้านคุณภาพ (CTQ's : Critical to Quality)

2.8.2 ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

2.8.2.1 แผนภาพกระบวนการผลิต (Process Map)

ส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งในการที่จะหาสาเหตุของปัญหา ซึ่งในการสร้างแผนภาพของกระบวนการผลิตจะต้องทำอย่างละเอียดทุกขั้นตอนในการประกอบผลิตภัณฑ์ เพื่อที่จะได้สามารถระบุถึงตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการผลิต (Process Input) รวมทั้งผลลัพธ์ในกระบวนการผลิต (Process Output) ซึ่งขั้นตอนนี้จึงเป็นการตรวจวิเคราะห์ของกระบวนการผลิต ซึ่งอาจจะทำให้เราทราบถึงสิ่งผิดปกติหรือทราบสาเหตุที่แท้จริงของความบกพร่องในการผลิตที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งขั้นตอนนี้อาจเป็นขั้นตอนที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์ปัญหาโดยการทดลองและการตั้งสมมติฐาน หรือโดยการใช้ข้อมูลทางด้านสถิติที่มีการเก็บรวบรวมอย่างถูกวิธี การสร้างแผนการไหลของผลิตภัณฑ์ต้องใช้การระดมสมอง และทีมงานที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์เพื่อที่จะได้รายละเอียดที่สำคัญและครบถ้วนของกระบวนการผลิต ซึ่งแผนภาพการไหลนั้นจะต้องสามารถบอกถึงสาเหตุแห่งความบกพร่องของผลิตภัณฑ์ (Cause of Poor Quality : COPQ) เพื่อนำมาสร้างแผนการไหลของผลิตภัณฑ์จำเป็นอย่างยิ่งในการระบุที่มาของข้อบกพร่องและสิ่งที่ซ่อนในกระบวนการผลิต (Hidden Factory) ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลให้สูญเสียเวลา เงิน ทรัพยากร และพื้นที่ในการจัดเก็บ

2.8.2.2 ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

วีระพงษ์ (2542: 31) ผังแสดงเหตุและผล คือ ผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางคุณภาพกับปัจจัยต่างๆ ที่มีความเกี่ยวข้อง กล่าวคือคุณลักษณะทางคุณภาพคือผลที่เกิดขึ้นจากเหตุ คือ ปัจจัยต่างๆ ที่เป็นต้นตอของคุณลักษณะอันนั้น การสร้างผังแสดงเหตุและผลที่จะเอื้อประโยชน์ต่อการแก้ปัญหาได้จริงๆ ไม่ใช่เรื่องง่ายผู้ที่สามารถสร้างผังแสดงเหตุและผลได้ถูกต้อง คือ ผู้ที่มีโอกาสจะแก้ปัญหาทางคุณภาพได้ถูกต้องเช่นเดียวกัน ข้อสังเกตเกี่ยวกับกับผังแสดงเหตุและผลจะต้องทำการแยกแยะและเลือกสรรเพื่อหาปัจจัยอันเป็นสาเหตุแห่งปัญหานั้นควรใช้การปรึกษาหารือในกลุ่มคนหลายๆ ความคิดมาร่วมกันเพราะการละเว้นหรือมองข้ามปัจจัยบางอย่างไปจะก่อผลเสียภายหลังได้ (อาจทำให้การแก้ปัญหาผิดจุดได้) เลือกคุณลักษณะของปัญหาและปัจจัยสาเหตุในรูปของขนาดหรือปริมาณที่สามารถใส่หน่วยวัดลงไปได้ เพราะในที่สุดแล้วผลสรุปจากผังก้างปลาจะต้องนำไปแก้ไขปรับปรุงตัวแปรต่างๆ ก่อนสรุปปัญหาควรใส่น้ำหนักหรือคะแนนให้กับปัจจัยสาเหตุแต่ละตัวเพื่อจะได้ใช้การจัดลำดับความสำคัญของปัญหา ซึ่งแนวทางเสนอแนะนี้จะนำไปผังแสดงเหตุและผลที่ได้ไปเชื่อมโยงกับ FMEA

2.8.2.3 การวิเคราะห์ภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบในกระบวนการ (FMEA Process)

การวิเคราะห์ภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบในกระบวนการหรือ FMEA Process เพื่อช่วยเพิ่มความเที่ยงตรง (Reliability) ของกระบวนการเพื่อการผลิตหรือการออกแบบการควบคุมกระบวนการ (อรรถกร, 2547: 170)

ก) จุดประสงค์ของ FMEA ซึ่ง ธนากร (2543: 22) ได้กล่าวไว้ดังนี้

1. สามารถที่จะพิจารณาและประเมินโอกาสที่จะเกิดภาวะความผิดพลาดของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการและผลกระทบต่างๆ

2. แบ่งแยกกิจกรรมซึ่งสามารถที่จะกำจัดหรือลดโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาด

3. กระบวนการเตรียมเอกสารต่างๆ เพื่อส่งเสริมกิจกรรมดังที่กล่าวมาข้างต้น

ข) ประโยชน์ในการประยุกต์ใช้วิเคราะห์ภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบ Fox (1993) ได้กล่าวไว้ว่า เมื่อมีการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบอย่างเหมาะสม ประโยชน์ของการใช้จะมีดังต่อไปนี้

1. ทำให้มีความรู้เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์มากยิ่งขึ้น เนื่องมาจากวิธีการต่างๆ ของการทำงานของภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบจะใช้ผู้เชี่ยวชาญจากหลายหน่วยงาน ดังนั้น ความเข้าใจที่ดีขึ้นร่วมกันในการออกแบบและใช้งานจะเป็นสิ่งที่ทำให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

2. ลดเวลาการทำงานหากภาวะความผิดพลาดและสาเหตุได้ถูกค้นพบก่อนที่จะมีการสร้างชิ้นงานต้นแบบหรือประกอบชิ้นงาน จะสามารถลดเวลาในการทดสอบชิ้นงานที่ได้รับการออกแบบอย่างไม่เหมาะสมไปได้มาก

3. ลดต้นทุนการออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ไม่เหมาะสม มักจะถูกออกแบบใหม่ที่ดีกว่าอยู่บ่อยครั้ง ดังนั้นหากมีการพบความผิดพลาดอย่างรวดเร็วก็จะสามารถลดจุดด้อยได้ก่อน อันจะทำให้มีการสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบน้อยครั้ง เป็นผลให้ต้นทุนการผลิตลดลง

4. ลดต้นทุนการรับประกันการซ่อม และเรียกกลับมาซ่อมหรือปรับปรุง การปรับปรุงให้การออกแบบและผลิตมีประสิทธิภาพจะสามารถลดปริมาณความเสียหาย ซึ่งเกี่ยวเนื่องโดยตรงกับต้นทุนการรับประกันการซ่อมและเรียกกลับมาซ่อม ซึ่งจะลดต้นทุนโดยรวมของผลิตภัณฑ์ และเป็นการส่งเสริมภาพลักษณ์ของบริษัทให้ดียิ่งขึ้น

5. คุณภาพสูงขึ้น สิ่งที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดล้วนแต่เป็นองค์ประกอบที่ช่วยให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดียิ่งขึ้น ซึ่งจะเป็นผลให้ผู้ใช้มีความพึงพอใจมากยิ่งขึ้น

6. สามารถเก็บข้อมูลดียิ่งขึ้น การสร้างและการเก็บข้อมูลที่เหมาะสมของภาวะผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบจะเป็นสิ่งที่ต้องมีการเก็บข้อมูลในการออกแบบผลิตภัณฑ์ไว้ทั้งหมด ซึ่งจะป้องกันความผิดพลาดซึ่งจะเคยเกิดขึ้นในอดีตอันเกิดจากความตั้งใจที่ดี นอกเหนือจากนั้นการเก็บข้อมูลการปรับปรุงและวิเคราะห์ต่างๆ จะช่วยให้การออกแบบขั้นต่อไปในอนาคตมีความสะดวกยิ่งขึ้น

ค) ชนิดของวิเคราะห์ภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบนั้น ธนากร (2543: 23) ได้กล่าวไว้ว่า เป็นวิธีการวิเคราะห์ปัญหาหรือความล้มเหลวอย่างเป็นระบบมีขั้นตอนสำหรับการค้นหาสาเหตุของความผิดพลาดก่อนที่จะเกิดขึ้นจริง เพื่อเป็นการป้องกันก่อนที่จะเกิดปัญหารายแรงขึ้นมาภายหลังและเป็นการลดความเสี่ยงของการเกิดปัญหา โดยทั่วไปแล้ว FMEA สามารถแบ่งตามวิธีการนำไปใช้งานได้หลายอย่าง คือ

1. System FMEA จะใช้สำหรับการออกแบบหรือปรับปรุงระบบการทำงานในการใช้งานมักจะรวมอยู่ในขั้นตอนของ FMEA ชนิดอื่น ได้แก่ การสร้างแนวความคิดในการออกแบบและกำหนดรายละเอียดของระบบงาน การออกแบบ การพัฒนา การทดสอบ และการประเมินผลระบบ

2. Design FMEA ซึ่งนิยมใช้สำหรับการวิเคราะห์ผลและการแก้ไขงานที่มีการทดลอง หรือปฏิบัติเป็นครั้งแรกมักจะพิจารณาเกี่ยวข้องกับกลุ่มของการรวมส่วนประกอบต่างๆ หรือส่วนย่อยๆ เข้าด้วยกันและส่วนของผลิตภัณฑ์ว่ามีหน้าที่การใช้งานตามที่ออกแบบเหมาะสมแล้วหรือไม่และส่วนใดจะมีปัญหาจะป้องกันหรือลดระดับความเสี่ยงได้มากน้อยแค่ไหน

3. Process FMEA ซึ่งนิยมใช้สำหรับกระบวนการผลิตมีลักษณะเหมือนกับ Design FMEA แต่จะทำการพิจารณาเกี่ยวกับปัจจัยการผลิตที่สำคัญ คือ พนักงาน เครื่องจักร วัสดุวิธีการ การวัดและสภาพแวดล้อมของการผลิต โดยทั่วไปแล้วเครื่องจักรจะเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดเมื่อจัดทำ Process FMEA

4. Service FMEA เกี่ยวข้องกับการให้บริการเป็นหลัก โดยนิยมให้คนเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดเมื่อจัดทำ Service FMEA

5. Machinery FMEA ซึ่งนิยมใช้สำหรับการวิเคราะห์เครื่องจักรอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้โดยแบ่งเป็นส่วนประกอบต่างๆ เช่น โครงสร้างเครื่องจักร เครื่องมือส่วนทำความเย็น ส่วนส่งกำลัง ส่วนหล่อลื่น ชุดเกียร์ ตลับลูกปืน ฯลฯ

ง) งานเอกสารของ FMEA การวิเคราะห์ปัญหาหรือความล้มเหลวที่เกิดขึ้นโดยวิธีการ FMEA ซึ่งถือว่าเป็นการวางระบบเตือนภัยล่วงหน้าและเป็นเทคนิคการป้องกันปัญหาชนิดหนึ่ง ซึ่งมีส่วนช่วยวิศวกรกระบวนการในการศึกษาสาเหตุและผลกระทบต่างๆ ก่อนที่การ

ออกแบบหรือวิธีการกระบวนการผลิตจะสรุปผลขั้นสุดท้ายทุกเรื่องทุกด้านที่มีการวิเคราะห์ร่วมกัน จะถูกบันทึกลงแบบฟอร์มมาตรฐานของ FMEA โดยมักจะเริ่มต้นจากหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่งของกระบวนการผลิตจะถูกนำมาพิจารณาอย่างละเอียดว่ามีชนิดหรือรูปแบบของปัญหาและความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นหรือเคยเกิดขึ้นมาแล้วมีอะไรบ้าง มีสาเหตุมาจากเรื่องใด และจะมีผลกระทบอย่างไรหลังจากนั้นจะมีการประมาณตัวเลขระดับความเสี่ยงหรือที่เรียกกันว่าค่า RPN ซึ่งมาจากคำว่า Risk Priority Number ให้กับแต่ละปัญหา

จ) การคำนวณค่า RPN มาจากผลคูณค่าพารามิเตอร์ 3 ตัว คือ O×S×D เมื่อ

S = Severity คือ เกณฑ์การให้ลำดับขั้นผลกระทบของความรุ่นแรง

O = Occurrence คือ การให้ลำดับโอกาสเกิดความผิดพลาด

D = Detection คือ โอกาสที่จะตรวจจับโดยการควบคุมกระบวนการ

ค่า S, O และ D นิยมใช้เป็นตัวเลขจำนวนเต็มมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 ดังนั้นเมื่อค่าระดับความเสี่ยงต่ำสุดของการเกิดปัญหา คือ ค่า RPN = 1 ซึ่งมาจาก 1×1×1 หมายความว่า ความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีน้อยมาก และความรุนแรงของผลกระทบ เมื่อเกิดปัญหานี้มีน้อยมากเช่นกัน และสามารถตรวจจับปัญหานี้ได้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้าอย่างสมบูรณ์ส่วนค่าระดับความเสี่ยงสูงสุดของการเกิดปัญหา คือ ค่า RPN = 1000 ซึ่งมาจาก 10×10×10 หมายความว่าความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีมาก เช่น พบทุกวันและระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้ก็มีมาก เช่นกระบวนการผลิตต้องหยุดทั้งหมด หรือลูกค้า ต้องยกเลิกสัญญาสั่งซื้อ เป็นต้น และยังไม่มีวิธีการตรวจจับปัญหานี้ได้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้าเลย

ทั้งนี้การให้คะแนนค่า S, O และ D ซึ่งประเมินค่าโดยมีการลำดับความสำคัญ ดังตารางที่ 2-1, 2-2 และ 2-3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2-1 เกณฑ์การให้ลำดับขั้นผลกระทบของความรุ่นแรง

เกณฑ์ (ผลกระทบของระดับความรุ่นแรง)	ลำดับที่ (Rank)
อาจจะทำให้เกิดอันตรายกับเครื่องจักรอื่นหรือกับผู้ปฏิบัติงานอย่างสูง	10
อาจทำให้เกิดอันตรายกับเครื่องจักรอื่นหรือกับผู้ปฏิบัติงาน	9
ทำให้การผลิตหยุดชะงักอย่างมาก และผลิตจำนวน 100% อาจจะต้องกลายเป็นผลิตภัณฑ์เสีย (Scrapped 100%)	8
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์อาจจะต้องมีการนำมาเลือกบางส่วนที่เสียออก (<100% เป็นผลิตภัณฑ์เสีย)	7

ตารางที่ 2-1 (ต่อ)

เกณฑ์ (ผลกระทบของระดับความรุ่นแรง)	ลำดับที่ (Rank)
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์มีเสีย <100% แต่อาจไม่ต้องนำมาเลือกบางส่วนออก	6
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์จำนวน <100% อาจจะต้องมาผลิตอีกครั้ง (Reworked 100%)	5
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์อาจจะต้องมีการนำมาเลือกบางส่วนที่เสียออก แล้วนำส่วนที่เหลือมาทำอีกครั้ง (Reworked <100%)	4
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์จำนวนน้อยกว่า 100% อาจจะต้องนำมาทำใหม่ในสายการผลิต แต่ภายนอกสถานีการผลิต	3
ทำให้กรผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์จำนวนน้อยกว่า 100% อาจจะต้องนำมาทำใหม่ในสายการผลิต และภายในสถานีการผลิต	2
ไม่มีผลกระทบ	1

ตารางที่ 2-2 การให้ลำดับโอกาสเกิดความผิดพลาด

โอกาสในกรเกิดความผิดพลาด (Occurrence Opportunity of Failure)	อัตราความเป็นไปได้ในการเกิดความผิดพลาด (Possible Failure Rate)	ลำดับที่ (Rank)
สูงมาก (ความผิดพลาดเกิดขึ้นเกือบแน่นอน)	มากกว่าหรือเท่ากับ 1 ใน 2	10
	1 ใน 3 ถึง 1 ใน 2	9
สูง (ความผิดพลาดมีบ่อยครั้ง)	1 ใน 8 ถึง 1 ใน 3	8
	1 ใน 20 ถึง 1 ใน 8	7
ปานกลาง (ความผิดพลาดเกิดขึ้นบ้าง)	1 ใน 80 ถึง 1 ใน 20	6
	1 ใน 400 ถึง 1 ใน 80	5
	1 ใน 2,000 ถึง 1 ใน 400	4
ต่ำ (ความผิดพลาดมีเกิดขึ้นน้อยครั้ง)	1 ใน 15,000 ถึง 1 ใน 2000	3
	1 ใน 150,000 ถึง 1 ใน 15,000	2
ต่ำมาก (ความผิดพลาดมีโอกาสกิดได้น้อยมาก)	มากกว่า 1 ใน 1,500,000 ถึง 1 ใน 150,000	1

ตารางที่ 2-3 โอกาสที่จะตรวจจับโดยการควบคุมกระบวนการ

โอกาสการตรวจ (Detection Opportunity)	โอกาสที่จะตรวจจับโดยการควบคุมกระบวนการ (Opportunity of Detection by Process Control)	ลำดับที่ (Rank)
ไม่สามารถตรวจจับได้อย่างแน่นอน	การควบคุมการออกแบบไม่สามารถตรวจจับโอกาสที่จะเป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาด (หรือไม่มีการควบคุมการออกแบบเลย)	10
มีโอกาสตรวจจับได้เล็กน้อยที่สุด	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับที่จะเป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้เล็กน้อยที่สุด	9
มีโอกาสตรวจจับได้เล็กน้อยมาก	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้เล็กน้อยมาก	8
มีโอกาสตรวจจับได้ต่ำมาก	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้ต่ำมาก	7
มีโอกาสตรวจจับได้ต่ำ	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้ต่ำ	6
มีโอกาสตรวจจับได้ปานกลาง	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้ปานกลาง	5
มีโอกาสตรวจจับได้ค่อนข้างสูง	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้ค่อนข้างสูง	4
มีโอกาสตรวจจับได้สูง	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้สูง	3
มีโอกาสตรวจจับได้สูงมาก	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้สูงมาก	2
มีโอกาสตรวจจับได้ค่อนข้างแน่นอน	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้ค่อนข้างแน่นอน	1

2.8.2.4 วิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลนับ

กิตติศักดิ์ (2542: 186-188) ได้กล่าวไว้ว่า ปกติวัตถุต่างๆ ล้วนแต่จะมีค่าคงที่ของคุณสมบัติเฉพาะต่างๆ ค่าหนึ่งซึ่งถือเป็น “ค่าจริง” ของวัตถุตามคุณสมบัติเฉพาะนั้นๆ โดยพบว่า “การวัด” จะเป็นการกำหนดค่าที่เป็นตัวเลขให้กับคุณสมบัติเฉพาะเหล่านั้นๆ ในการกระบวนการวัด หรือ

ระบบการวัดจะมีองค์ประกอบหลักๆ คือ เครื่องมือวัด พนักงานวัด วิธีการวัด สิ่งที่ได้รับการวัด และสิ่งแวดล้อมในการวัดแต่เนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้จะมีความไม่เท่ากันจึงส่งผลให้เกิดความผันแปรในระบบการวัดขึ้น ซึ่งความผันแปรนี้มีอยู่ด้วยกันสองลักษณะ คือ ความผันแปรที่เป็นไปด้วยสาเหตุธรรมชาติ (Common Cause of Variation) ซึ่งความผันแปรจะอยู่ในลักษณะเสรียรภาพที่สามารถทำนายได้ แต่ความผันแปรอีกลักษณะหนึ่ง คือ ความผันแปรที่เป็นไปด้วยสาเหตุแห่งความผิดพลาด (Special Cause of Variation) ความผันแปรนี้จะไม่เสถียรและไม่สามารถทำนายได้ ในการวัดเพื่อการประกันคุณภาพจึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการตรวจจับสาเหตุแห่งความผิดพลาดแล้วทำการกำจัดทิ้งควบคู่ไปกับการพยายามลดสาเหตุธรรมชาติแห่งความผันแปรอย่างต่อเนื่อง

สาเหตุด้านความผันแปรของระบบการวัดเหล่านี้จะมีผลทำให้ค่าวัดที่ได้เบี่ยงเบนไปจากค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัดเสมอ กล่าวคือ ถ้าให้ X หมายถึงค่าที่วัดได้ และ μ หมายถึง ค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัดแล้ว ซึ่งจะได้ว่า $X_i = \mu + \varepsilon$ โดยจะเรียก ε นี้ว่าค่าคาดเคลื่อนของค่าวัด (Measurement Error) ในการวิเคราะห์ระบบการวัดนี้มีจุดมุ่งหมายสำคัญในการวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัดแล้วทำการปรับปรุง

จากความคาดเคลื่อนของค่าที่มีทั้งปริมาณที่สามารถกำจัดได้ และกำจัดไม่ได้จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการกำจัดปริมาณที่สามารถควบคุมได้ก่อน อันได้แก่ ความคาดเคลื่อนจากความผิดซึ่งเป็นผลมาจากความผิดพลาด (Special Cause) เช่น การขาดความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องมือวัด ซึ่งสามารถกำจัดได้โดยการกำหนดขั้นตอน และวิธีการวัดที่แน่นอนการฝึกอบรมพนักงานวัด การทำมาตรฐานของสิ่งที่ได้รับการวัด เป็นต้น เมื่อดำเนินการทำให้ระบบการวัดเป็นมาตรฐานแล้วก็จะดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือเพื่อการกำจัดความคาดเคลื่อนเชิงระบบ หลังจากนั้นจะมีการลดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มซึ่งสาเหตุมาจากธรรมชาติ (Common Cause) ต่างๆ ด้วยการประเมินถึงแหล่งความผันแปรต่างๆ ทั้งจากเครื่องมือวัด พนักงานวัด ตลอดจนสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อค่าวัด

การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) จะเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัดเพื่อแยกแยะแหล่งของความผันแปรต่างๆ ดำเนินการปรับปรุงในการวิเคราะห์จะสนใจในการวิเคราะห์ความถูกต้อง และการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดแล้วพยายามปรับให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ ซึ่งความแม่นยำของการวัดจะประกอบไปด้วย

1. ความสามารถในการทำซ้ำ หรือรีพีททะบิลิติ้ (Repeatability) หมายถึง ความแตกต่างของระบบการวัดภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน

2. ความสามารถในการทำเหมือน หรือรีโปรดิวซิบิลิติ้ (Reproducibility) หมายถึง ความแตกต่างของระบบการวัดภายใต้เงื่อนไขต่างกัน

สำหรับการศึกษาความสามารถของระบบการวัดแบบอาศัยข้อมูลจะเป็นการประเมินโดยการเปรียบเทียบชิ้นงานที่ทำการตรวจสอบกับพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะ ซึ่งจะทำให้สามารถประเมินผลของข้อมูลออกมาเป็นยอมรับ และปฏิเสธ หรือ ผ่าน และไม่ผ่าน การประเมินผลจะออกมาในรูปของความมีประสิทธิผลของการตรวจสอบ (Screen Effectiveness) อันจะหมายถึงความสามามารถของระบบการวัดในการแยกแยะงานไม่ดีออกจากงานที่ดี ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการยอมรับจะขึ้นอยู่กับ %ของความผิดพลาดในการตรวจสอบ (%Error) ดังนี้

1. <10% Error สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้

2. 10% ถึง 30% อาจยอมรับได้ซึ่งขึ้นอยู่กับความสำคัญในสิ่งประยุกต์ใช้ค่าใช้จ่ายในการวัด ตลอดจนปัจจัยอื่นๆ ฯลฯ

3. >30% ไม่สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้และมีความจำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุความผันแปรแล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

ในการประเมินผลกระบวนการวัดมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการเลือกสิ่งตัวอย่างงานจากกระบวนการผลิตประมาณ 20-30 ชิ้น โดยพยายามให้สิ่งตัวอย่างงานดังกล่าวประกอบไปด้วย สิ่งตัวอย่างงานที่มีคุณภาพดี สิ่งตัวอย่างงานที่คุณภาพไม่ดี และสิ่งตัวอย่างงานที่มีคุณาภาพก้ำกึ่งในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน

2. เลือกพนักงานวัดหรือพนักงานตรวจสอบมา 2-4 คน โดยพนักงานที่เลือกมาจะต้องเป็นพนักงานที่มีหน้าที่ประจำในการตรวจสอบคุณภาพ และได้ผ่านการฝึกอบรมมาอย่างดี และผ่านการสอบประเมินผลแล้ว

3. ทำการเลือกพนักงานขึ้นมาก่อนหนึ่งคนแล้วให้ตรวจสอบสิ่งตัวอย่างสุ่มเพื่อประเมินผลของพนักงานแต่ละคนนี้ความจำเป็นต้องทำการตรวจสอบ “ซ้ำ” อย่างน้อยชิ้นงานละ 2-3 ครั้ง

4. ทำการเลือกพนักงานคนที่สองขึ้นมาแล้วดำเนินการตรวจสอบอย่างสุ่มเหมือนข้อ 3 และทำเช่นนี้กับพนักงานคนอื่นๆ อีกจนครบทุกคนตามที่วางแผนไว้

5. ดำเนินการประเมินผลด้วยดัชนีต่างๆ ดังนี้

$$\%\text{รีพีททะบิลิติ้ของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตรวจสอบเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \quad (2\text{-}3)$$

$$\%\text{ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \quad (2\text{-}4)$$

$$\%\text{ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิติ้ของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ทุกคนตรวจสอบได้เหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \quad (2\text{-}5)$$

$$\%\text{ประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ทุกคนตรวจสอบถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \qquad (2\text{-}6)$$

%รีพีททะบิลิติ้จะใช้การวิเคราะห์ความแม่นยำในขณะที่ %ความไม่ไบอัสจะใช้วิเคราะห์ความถูกต้อง (ไบอัส หมายถึง ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากการวัดอ้างอิง) และในการเปรียบเทียบเกณฑ์การยอมรับกับ %Error จะได้เท่ากับ 100 ลบค่า %เหล่านี้เป็น %Error

6. ดำเนินการตัดสินใจเพื่อปฏิบัติการแก้ไขจากดัชนีที่คำนวนได้จากดัชนีตามสมการที่ หากค่า %รีพีททะบิลิติ้ของพนักงานตรวจสอบได้ต่ำกว่าเกณฑ์ (น้อยกว่า 90%) แสดงถึงการขาดความแม่นยำของพนักงานจำเป็นต้องทำการฝึกอบรมพนักงานรวมทั้งการประเมินผลพนักงานใหม่แต่หาก %ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบได้ต่ำกว่าเกณฑ์ หมายถึง การตรวจสอบของพนักงานขาดความถูกต้องจำเป็นต้องปรับปรุงวิธีการตรวจสอบเสียใหม่ และหาก %ประสิทธิผลด้านรัพีททะบิลิติ้ของการตรวจสอบ และ %ประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของการตรวจสอบได้ต่ำกว่าเกณฑ์จะหมายถึงระบบการตรวจสอบขาดความแม่นยำ และขาดความถูกต้องจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุจากดัชนีข้างต้นแล้วทำการแก้ไขให้ถูกต้อง เพื่อให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

2.8.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)

2.8.3.1 สถิติและการควบคุมคุณภาพ

เจริญ (2539: 3) ได้ให้คำนิยามคำว่า สถิติไว้ดังนี้ สถิติ คือ ศาสตร์แขนงหนึ่งที่ใช้ตัดสินในเหตุการณ์ภายใต้ความผันแปร โดยการตัดสินใจประกอบด้วยการรวบรวม การวิเคราะห์ตลอดจนการสรุปผลเพื่อดำเนินการจากข้อมูล

2.8.3.2 การตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบ (Hypothesis Testing)

จากที่กล่าวมาแล้วในลำดับขั้นตอนการออกแบบการทดลองว่าในการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้วิธีทางสถิตินั้นจะมีความเสี่ยงเข้ามาเกี่ยวข้องอยู่เสมอ ดังนั้นการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลจึงต้องอยู่ภายใต้ความเสี่ยงดังกล่าว

การตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบจะตั้งสมมติฐานใน 2 ทางเลือก คือ

Ho : ระดับของปัจจัยไม่มีผลต่อกระบวนการผลิต

H1 : ระดับของปัจจัยมีผลต่อกระบวนการผลิต

ทั้งนี้ภายใต้ความเสี่ยง 2 ตัวคือ α และ β

α คือ ความเสี่ยงในการที่จะไม่ยอมรับสมมุติฐานหลัก (Null Hypothesis) ทั้งที่สมมติฐานหลักเป็นจริง หมายถึง ความเสี่ยงในการยอมรับสมมติฐานหลักทั้งที่สมมติฐานหลักไม่เป็นจริงจากความเสี่ยงของทั้ง 2 แบบนี้เอง จึงต้องมีการกำหนดจำนวนซ้ำที่ใช้ในการทดลองเพื่อให้มีความเชื่อมั่น หรือมีความเสี่ยงตามที่กำหนดไว้ และในการทำการวิเคราะห์ก็มักจะให้ค่าของ α คงที่

และให้ค่า β น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

การตั้งสมมุติฐานจะเป็นการตั้งด้วยความหวังที่จะปฏิเสธ ดังนั้นในการทำการทดสอบสมมุติฐานย่อมมีความเสียงที่จะเกิดความผิดพลาดแบบที่ 1 หากเราจะทำการปฏิเสธสมมุติฐานหลัก ในทางปฏิบัติจะเริ่มจากการตั้งสมมุติฐาน ออกแบบการทดลอง ดำเนินการสุ่มตัวอย่างแล้วทำการวิเคราะห์เพื่อหาความเชื่อมั่นที่จะปฏิเสธสมมุติฐานหลักนั้นๆ

ในทางปฏิบัติเมื่อตั้งสมมุติฐานได้แล้วจะทำการออกแบบการทดลองตามความเหมาะสมโดยอาศัยหลักการของ Design of Experiment (DOE) ซึ่งจะกล่าวในขั้นตอนต่อไป

2.8.4 ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

2.8.4.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments)

Montgomery (1997)T ได้กล่าวว่า การออกแบบการทดลองเพื่อตรวจดูว่าปัจจัย (Factor) ใดหรือตัวแปร (Input Variable) ใดที่มีผลต่อสิ่งที่ให้ความสำคัญ (หรือความสนใจ) ในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา (Output Response) ปัจจัย (Factor) ในการผลิตสามารถแบ่งเป็น

1. ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการผลิต

2. ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการผลิต

การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ได้ว่า ปัจจัยใดมีผลต่อผลิตภัณฑ์หรือไม่ต้องทำการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยอย่างน้อย 2 ระดับ แล้วจะทำการทดลองจากนั้นจึงวิเคราะห์ผลการทดลอง

2.8.4.2 วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง

ก) เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือ การพิสูจน์ข้อเท็จจริง หรือความเชื่อจากประสบการณ์ หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต

ข) เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มี ผลต่อกระบวนการ

2.8.4.3 คำจำกัดความ (Definition)

ก) อิทธิพลหรือผล (Effect) คือ ผลของตัวแปรต้นที่มีต่อตัวแปรตาม

ข) ปัจจัย (Factor) คือ สิ่งที่คิดว่ามีอิทธิพลต่อผลการทดลองของคุณสมบัติในตัวผลิตภัณฑ์

ค) ระดับของปัจจัย (Level of Factor) คือ สภาวะต่างๆ ของปัจจัยหนึ่งๆ ที่ทำการกำหนดในการทดลอง

ง) ปัจจัยรบกวน (Noise Factor) คือ ปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบเล็กๆ น้อย และไม่สามารถควบคุมได้

2.8.4.4 หลักในการออกแบบการทดลอง

ก) การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ การให้โอกาสในการเก็บข้อมูลของข้อมูลแต่ละตัวเท่าๆ กัน เพื่อกระจายผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ให้กับทุกระดับที่ศึกษาให้เท่าๆ กัน การทำแบบสุ่มยังสามารถแบ่งออกได้อีกเป็น 3 วิธี คือ

1. แบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomization)
2. แบบสุ่มอย่างง่าย (Simple Randomization)
3. แบบสุ่มแบบสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete Randomization within Blocks)

ข) การทำซ้ำ (Replication) หมายถึง การทำการทดลองซ้ำในแต่ละข้อมูลเพื่อกำจัดเอาผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ออก

ค) การบล็อก (Blocking) คือ การจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็น ช่วงเพื่อลดผลจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ แต่ไม่จำเป็นที่จะต้องมีการทำเสมอไปอะไรบ้างในการผลิต ซึ่งการนิยามปัญหานี้จะเกี่ยวโยงไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองการเลือก

2.8.4.5 ขั้นตอนการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง

ก) การนิยามปัญหาเป็นการระบุว่าความต้องการในการผลิตคืออะไร และต้องการรู้อะไรบ้างในการผลิต ซึ่งการนิยามปัญหานี้จะเกี่ยวโยงไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองการเลือกปัจจัยที่มีผลและระดับปัจจัยเป็นการใช้หลักการทางทฤษฎีและประสบการณ์ที่เคยปฏิบัติมาในการผลิต เพื่อระบุว่ามีปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง และในแต่ละปัจจัยนั้นควรจะมีช่วงในการทดลองเป็นอย่างไร เพื่อระบุระดับของปัจจัยในการทดลองสุดท้าย คือ การระบุว่าระดับที่ใช้เป็นแบบกำหนด (Fixed Levels) แบบสุ่ม (Random Levels) หรือแบบผสม (Mixed Levels) ซึ่งสามารถกล่าวโดยสังเขปได้ ดังต่อไปนี้

1. แบบกำหนด (Fixed Levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน
2. แบบสุ่ม (Random Levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าของปัจจัยได้แน่นอน
3. แบบผสม (Mixed Levels) หมายถึง การผสมผสานระดับของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนดได้และแบบสุ่ม

ข) การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variables) ผู้ทำการทดลองจะต้องเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาและการวัดค่านั้นจะต้องแม่นยำรวมทั้งความถูกต้องของเครื่องวัดด้วย

ค) การเลือกแบบทดลองจะต้องพิจารณาถึงจำนวนข้อมูลที่ทำซ้ำในการทดลอง ความเหมาะสมข้อจำกัดในการสุ่ม (Randomization) และการบล็อก (Blocking) ที่เกี่ยวข้องทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวโยงกันในด้านความเสี่ยง และต้นทุนที่ใช้ในการทดลองสำหรับการเลือกปัจจัย

ง) ในขณะทำการทดลองจะต้องปฏิบัติตามหลักการที่ได้ทำออกแบบไว้ นั่นคือต้องมีการสุ่ม การทำซ้ำ ข้อควรระวังในขณะทำการทดลอง คือ ความถูกต้องของเครื่องมือวัดและความสม่ำเสมอในการทดลอง เพื่อให้ความผิดพลาด (Error) ที่ออกมามีน้อยที่สุดการวิเคราะห์ข้อมูลในการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้ความรู้ทางด้านสถิติเข้ามาวิเคราะห์และสรุปผลรวมทั้งตัดสินความถูกต้องของข้อมูลที่เกิดขึ้น ก่อนที่จะตีความข้อมูลวิธีทางสถิติไม่อาจบอกได้ว่าปัจจัยใดมีผล (Effect) เท่าใดได้แน่นอนแต่เป็นเพียงเครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ภายใต้ความเชื่อมั่นเป็นเปอร์เซนต์ในการสรุปผล และข้อเสนอแนะเมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลแล้วจะต้องสรุปผลของการวิเคราะห์ ซึ่งอาจแสดงในรูปกราฟ ตาราง แผนภูมิ ฯลฯ

2.8.4.6 การเลือกแบบการทดลอง

ก) แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design) ซึ่งใช้กับการทดลองปัจจัยเดี่ยว (Single Factor Experiment) เป็นปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้มีขนาดไม่โตนักและไม่มีปัจจัยรบกวนการทดลอง ซึ่งจะทำโดยยึดหลักการทำแบบสุ่ม (Randomization) และการทำซ้ำ (Replication)

ขั้นตอนในการทำการทดลอง

1. การกำหนดตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) และปัจจัยที่สามารถทำการควบคุมได้ (Controllable Factor) ที่สนใจ
2. ทำการทดลองโดยสุ่มแบบสมบูรณ์ (Complete Random) ในการวัดค่า
3. วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

ข) แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม (Randomize Block Design) นั้นจะใช้กับการทดลองปัจจัยเดียว และมีปัจจัยรบกวน (Noise Factor) หลักการของแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม คือ ต้องทำการสุ่มทุกครั้งและจะต้องทำซ้ำทุกการทดลองต้องทำการบล็อก (Blocking) สามารถลดปัจจัยรบกวนการบล็อก (Blocking) โดยอาจจะทำมากกว่า 1 บล็อก ก็ได้ซึ่งขึ้นกับจำนวนของปัจจัยรบกวน

ขั้นตอนในการทำการทดลอง

1. ออกแบบและวางแผนการทดลอง

2. เก็บข้อมูล

3. การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Table) ซึ่งจะต้องมีผลของบล็อก (Block Effect) ด้วย

4. แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design) จะใช้กับการทดลองที่มีปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัย ซึ่งเป็นการทดลองที่มีหลายปัจจัย (Multiple Factor Experiment) และเนื่องจากปัจจัย (Factor) มีมากกว่า 1 ปัจจัย ดังนั้น นอกจากการเกิดอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่สนใจแล้วยังอาจเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction Effect) ได้ด้วยอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction Effect) คือ ผลที่เกิดขึ้นจากการที่ปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปแล้วมีผลทำให้อิทธิพล (Effect) ของอีกปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงด้วย

2.8.4.7 แนวทางการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ส่วนนี้จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปช่วยในการคำนวนซึ่งทำให้ได้ค่าของ P Values (Probability Values) ที่สัมพันธ์โดยตรงกับ α อันจะหมายถึงโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดหากทำการปฏิเสธสมมุติฐานหลัก ซึ่งเมื่อเราให้ค่า α=0.05 จะหมายถึงว่าเรายอมรับความผิดพลาดแบบที่ 1 เท่ากับ 0.05 หรือมีโอกาสผิดพลาดได้หนึ่งใน 20 ของการตัดสินใจทั้งหมด ดังนั้นในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อพิสูจน์สมมุติฐานนั้น หากพบว่าค่า P Values มีค่ามากกว่า 0.05 หมายถึงโอกาสที่การปฏิเสธสมมุติฐานหลักแล้วกระทำความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้มากกว่า 0.05 ซึ่งก็ไม่สามารถที่จะปฏิเสธสมมุติฐานหลักและต้องยอมรับสมมุติฐานหลักนั้น แต่หากค่า P Values มีค่าน้อยกว่า 0.05 จะทำการปฏิเสธสมมุติฐานหลักแล้วทำการยอมรับสมมุติฐานอื่นๆ แทน

2.8.5 ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต (Control Phase)

2.8.5.1 แผนภูมิควบคุม

วีระพงษ์ (2542: 52) ได้อธิบายความหมายของแผนภูมิควบคุม (Control Chart) ดังนี้

แผนภูมิควบคุม คือ แผนภูมิหรือกราฟที่จัดทำขึ้นล่วงหน้า โดยอาศัยข้อมูลจากขอบเขตที่กำหนด (Specification) สามารถระบุคุณสมบัติทางคุณภาพข้อใดข้อหนึ่งของชิ้นงานที่ดำเนินการผลิตและต้องการจะควบคุม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการติดตามผลการผลิตจากกระบวนการผลิตขั้นตอนใดตอนหนึ่ง โดยการตรวจวัดคุณภาพของชิ้นงานซึ่งในการวัดข้อมูลอาจจะอยู่ในลักษณะ 2 แบบ คือ ข้อมูลที่ได้จากการวัด (Variable Data) และข้อมูลที่ได้จากการนับ (Attribute Data) จากนั้นเขียนบันทึกลงในแผนภูมินั้นๆ ซึ่งโดยปกติจะมีเส้นควบคุม 3 เส้น ได้แก่ เส้นขอบเขตกลาง คือ เส้นที่แสดงขนาดหรือจำนวนที่เป็นข้อกำหนดหรือเป้าหมายในการผลิตเส้นขอบเขต

ควบคุมบนและเส้นขอบเขตควบคุมล่างเป็นค่าที่อนุญาตให้มีความคลาดเคลื่อนในการผลิตเกิดขึ้นได้ และหากอยู่ในขอบเขตนี้ก็ถือว่า ผลการผลิตยอมรับได้แต่หากว่าค่าที่ได้อยู่นอกเหนือขอบเขตควบคุม (ไม่ว่าในทางมากกว่าหรือต่ำกว่า) ถือว่าการผลิตในขณะนั้นยอมรับไม่ได้จะต้องมีการปรับปรุงแก้ไขจุดบกพร่องโดยทันที

โดยธรรมชาติของกระบวนการผลิตทั้งหลายย่อมมีความผันแปร (Variation) ที่จะเกิดขึ้นกับชิ้นงานหรือผลผลิตได้ โดยความผันแปรบางชนิดเป็นเรื่องปกติและอนุญาติหรือยอมให้เกิดขึ้นได้ในการผลิต โดยไม่ก่อความเสียหายต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แต่ความผันแปรบางชนิดมีผลกระทบมากและมีผลเสียหายต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพราะทำให้ขนาดของชิ้นงานหรือคุณสมบัติบางประการผิดไปจากมาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นการเข้าใจในสาเหตุแห่งความผันแปรจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยสาเหตุความผันแปรต่างๆ มีผลมาจากสาเหตุสำคัญ 2 ชนิด คือ

สาเหตุที่เป็นปกติวิสัย หรือเป็นธรรมชาติของการผลิต (Chance Cause) เป็นลักษณะสาเหตุของความผันแปรที่ไม่มีความรุนแรง และไม่มีผลต่อคุณภาพของสินค้าที่ผลิตได้เกิดจากความผันแปรหรือความแตกต่างเล็กๆ น้อยๆ ของวัตถุดิบและปัจจัยการผลิตต่างๆ ซึ่งแน่นอนว่าไม่มีของสองสิ่งที่เหมือนกันทุกประการวัตถุดิบ 100 ชิ้นที่มีขนาดตรงกันตามข้อกำหนดทั้ง 100 ชิ้นก็จะมีขนาดแต่ละชิ้นที่แตกต่างกันออกไปเพียงแต่ว่าความแตกต่างเหล่านั้นอยู่ในพิกัดที่ขอบเขตข้อกำหนดได้อนุญาตเอาไว้แล้วในค่าพิกัดความเผื่อ (Tolerance) ของชิ้นงาน

ฉะนั้นความผันแปรในคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากสาเหตุที่เป็นปกติวิสัยของการผลิตจึงเป็นสิ่งที่ยอมรับได้ในการควบคุมคุณภาพด้วยแผนภูมินี้ นั่นคือ กระบวนการผลิตที่เขียนแสดงด้วยแผนภูมิควบคุมแล้วไม่มีจุดใดจุดหนึ่งอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุม (The Process is in Control)

สาเหตุที่ระบุได้หรือสาเหตุที่กำจัดได้ (Assignable Cause) เป็นลักษณะสาเหตุของความผันแปรที่เกิดจากความผิดพลาด ความผิดปกติ ความชำรุด ความไม่ได้เกณฑ์ฯลฯ ของปัจจัยการผลิตต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และไม่ใช่เป็นปกติวิสัยหรือธรรมชาติของการผลิตนั้นๆ จำเป็นจะต้องได้รับการกำจัดหรือแก้ไขจึงจะทำให้คุณภาพของงานผลิตกลับเข้าสู่สภาวะปกติอีกครั้งได้

ในแผนภูมิควบคุมเมื่อมีจุด (ซึ่งเขียนจากการเก็บข้อมูล และวัดค่าชิ้นงาน ตัวอย่างจากการผลิต) ปรากฏว่าอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุมย่อมแสดงได้ว่าเกิดมีสาเหตุที่ระบุได้เกิดขึ้นมาในกระบวนผลิตนั้นแล้ว และเรียกสภาวะการผลิตนั้นว่ากระบวนการผลิตอยู่นอกควบคุม (The Process is Out of Control)

ดำรง (2538: 33) ได้อธิบายว่าแผนภูมิควบคุมคิวซี เป็นคิวซีเทคนิคอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ควบคุมการผลิตในระหว่างการผลิต เพื่อตรวจสอบว่ากระบวนการผลิตมีจุดใดเปลี่ยนแปลงหรือไม่หรือ

การเปลี่ยนแปลงนั้นๆ ยังอยู่ในพิกัดควบคุมหรือไม่ปกติจะใช้แผนภูมิควบคุมกับระบบการผลิตสภาพปกติหรือมีการผลิตสม่ำเสมอจะไม่ใช้กับการผลิตเป็นแบบเลวๆ หรือมีความผิดปกติโดยเด็ดขาดจุดมุ่งหมายที่ใช้เทคนิคของแผนภูมิควบคุมมีดังนี้

1. เพื่อหาเป้าหมายหรือมาตรฐานของการผลิต
2. เพื่อใช้เป็นเครื่องมือตรวจสอบว่าการผลิตอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่
3. เพื่อใช้เป็นเครื่องมือเพื่อให้ได้เป้าหมายที่วางแผนล่วงหน้าไว้แล้ว

การนำแผนภูมิควบคุมมาใช้งานก่อนอื่นจำเป็นต้องเข้าใจลักษณะของเส้นควบคุม เสียก่อน คือ เส้นควบคุมข้อกำหนด (Specification Limit) หมายถึง ค่าขอบเขตข้อกำหนดของสินค้าหรือชิ้นงานที่โรงงานหรือรัฐบาลเป็นผู้กำหนดขึ้น ทั้งนี้เส้นควบคุมข้อกำหนดขึ้นอยู่กับดุลพินิจของผู้ออกแบบว่าต้องการเสี่ยงหรือความปลอดภัย (Safety Factor) ไว้ที่ระดับเท่าใด

เส้นควบคุมขีดความสามารถ (Process Capability Limit) หมายถึง ค่าขอบเขตจริงของความสามารถกระบวนการโดยทั่วไปคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ของประชากรหรือคำนวณจากกลุ่มตัวอย่างที่จำนวนมาก เส้นควบคุมขีดความสามารถมีขนาดความกว้างเท่ากับค่าห่างจากค่าเฉลี่ยของประชากร $\pm 3\sigma$ และกำหนดเส้นขอบเขตควบคุมสำหรับเป็นสัญญาณเตือนว่าการผลิตเริ่มออกจากการควบคุม หรือยังกำหนดในช่วงค่าเฉลี่ย $\pm 2\sigma$

การใช้งานแผนภูมิควบคุมการใช้แผนภูมิควบคุมในกระบวนการผลิตควรมีเทคนิคต่อไปนี้ เลือกบริเวณที่จะควบคุมก่อนอื่นก็คือปัญหาอะไรที่จะต้องทำและเรามีจุดมุ่งหมายอะไรจากการตัดสินใจในปัญหาทำให้ทราบทันทีอย่างชัดแจ้งว่าต้องการข้อมูลอะไรพิจารณาการใช้แผนภูมิควบคุมแบบไหนอาจจะเป็นแผนภูมิ แบบ $\overline{X}$-R, x, pn, p, c หรือ u Chart ก็ได้ขึ้นอยู่กับโรงงานและผลิตภัณฑ์แต่ละแห่งทำแผนภูมิควบคุม

สำหรับการวิเคราะห์เก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่เหมาะสมแล้วใช้ข้อมูลที่ผ่านมาทำแผนภูมิถ้ามีจุดใดๆ ผิดปกติต้องทำการค้นหาเหตุผลที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยนไปทันทีแล้วทำการแก้ไขสร้างแผนภูมิควบคุมสำหรับการควบคุมในโรงงาน หากว่าต้นเหตุที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยนได้ขจัดหมดสิ้นแล้วจากในข้อ 3 และกระบวนการผลิตก็คงที่ให้พิจารณาดูอีกครั้งว่าผลิตภัณฑ์ได้มาตรฐานตามที่กำหนดไว้หรือไม่หลังจากนั้นถ้าทุกอย่างเรียบร้อยก็ให้สรุปผลทั้งหมด เพื่อทำมาตรฐานวิธีการทำงาน (Standardize Working Procedure) หรืออาจจะมีการปรับปรุงให้ดีขึ้น ถ้าจำเป็นต่อเส้นควบคุมของแผนภูมิออกไปจากนั้นพล๊อตข้อมูลที่เก็บได้ในแต่ละวันต่อไปควบคุมกระบวนการผลิต ถ้าการทำงานของคนงานและวิธีการผลิตเป็นแบบมาตรฐานแล้ว

แผนภูมิควบคุมจะชี้แสดงออกให้เห็นว่าสภาวะที่โรงงานอยู่ภายใต้การควบคุม ที่ดีหรือไม่ แต่ถ้าปรากฏว่ามีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นซึ่งจะต้องค้นหาสาเหตุทันทีแล้วแก้ไขให้ถูกต้องเสียคำนวณเส้น

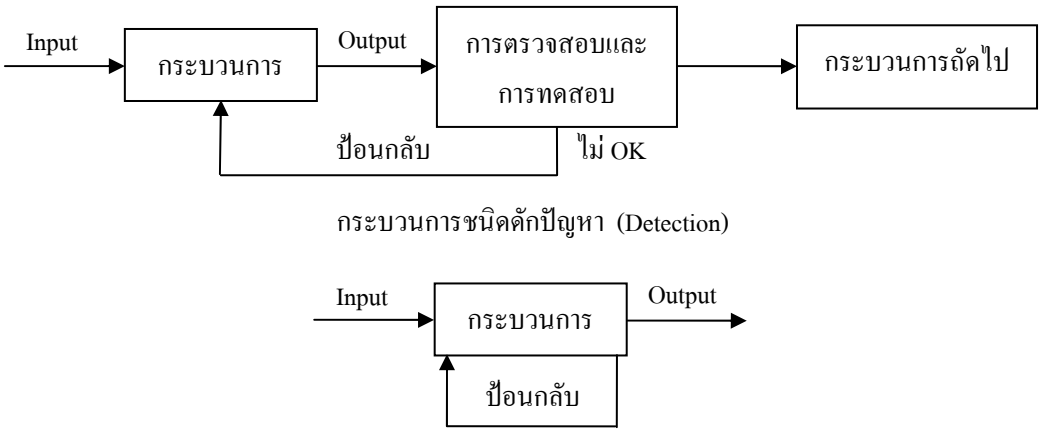
ควบคุมใหม่ ถ้าเครื่องจักรหรือมาตรฐานการทำงานเปลี่ยนแปลงเส้นควบคุมต้องนำมาคำนวณใหม่ ถ้าการควบคุมของกระบวนการผลิตในโรงงานยังดีตลอดระดับคุณภาพที่แสดงบนแผนภูมิจะปรับดีเพิ่มด้วย ในกรณีเช่นนี้ให้สังเกตแผนภูมิควบคุมเป็นระยะในการคำนวณเส้นควบคุมให้สังเกตกฎต่อไปนี้

1. ข้อมูลที่มีจุดผิดปกติซึ่งจะสามารถค้นพบสาเหตุหรือไม่มีการแก้ไขควรจะรวมเข้าไปในการคำนวณใหม่

2. ข้อมูลที่มีจุดผิดปกติแต่ไม่พบสาเหตุหรือไม่มีการแก้ไขควรที่จะรวมเข้าไปในการคำนวณใหม่

เทวินทร์ (2540: 98) กล่าวถึง Statistical Process Control (SPC) ไว้ว่าในการที่จะให้เจ้าของกระบวนการสามารถทราบผลการปฏิบัติงานของตนเองและเป็นการก่อให้เกิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องจำเป็นต้องมีการเฝ้าติดตามเพื่อที่จะมีการป้อนกลับ (Feedback) ซึ่งจะมีรูปแบบและความเร็วในการป้อนกลับที่ต่างกันจะทำให้ได้ระบบการควบคุมกระบวนการที่ต่างระบบกัน โดยที่การป้อนกลับชนิดทันทีทันใดจะเป็นระบบการควบคุมกระบวนการที่เป็นเชิงป้องกัน (Prevention) อันเป็นวิธีการของการตรวจสอบ และทดสอบระหว่างที่กระบวนการกำลังดำเนินอยู่ หากพบว่ากระบวนการกำลังจะไม่อยู่ภายใต้ภาวการณ์ควบคุมก็ให้ทำการป้อนกลับ แล้วทำการหยุดกระบวนการเพื่อสืบสวนหาสาเหตุทันทีส่วนการป้อนกลับชนิดหลังจากทราบความจริงแล้วจะเป็นระบบการควบคุมกระบวนการที่เป็นเชิงดักปัญหา (Detection) เช่น การผลิตจนเสร็จแล้วค่อยมาป้อนกลับว่าพบข้อบกพร่องจากการตรวจสอบหรือทดสอบอะไรบ้าง ดังภาพที่ 2-8 สำหรับวิธีการของการเฝ้าติดตาม

นอกจากนี้ อาจกล่าวได้ว่าระบบการควบคุมกระบวนการที่เป็นเชิงป้องกันจะเป็นกระบวนการ เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการเกิดของเสียส่วนระบบการควบคุมกระบวนการที่เป็นเชิงดักปัญหาจะเป็นการควบคุมระดับการยอมรับได้ในการเกิดของเสีย



ภาพที่ 2-8 วิธีการของการเฝ้าติดตาม

โดยจุดมุ่งหมายของ SPC ต้องการมุ่งเน้นไปที่กระบวนการเชิงป้องกัน แต่ในขณะเดียวกันก็ต้องการกระบวนการเชิงดักปัญหามาผสมกับเชิงป้องกันในบางครั้ง ดังนั้น เทคนิคด้านสถิติที่นำมาประยุกต์ใช้ เช่น แผนภูมิควบคุม จึงมีความหลากหลายขึ้นอยู่กับจุดมุ่งหมายและชนิดของข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกัน คือ ชนิดข้อมูลตัวแปร (Variable Data) และชนิดข้อมูลคุณสมบัติ (Attribute Data) ดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ชนิดของข้อมูล

ชนิดของข้อมูล	ความต่อเนื่องของข้อมูล	ตัวอย่างที่มาของข้อมูล
ตัวแปร (Variable)	1. มีความต่อเนื่อง (Continuous)	การชั่งน้ำหนัก
	2. ไม่มีความต่อเนื่อง (Discrete)	การนับจำนวนชิ้นงาน
คุณสมบัติ (Attribute)	ไม่มีความต่อเนื่อง	การนับจำนวนชิ้นงานดีและไม่ดี

ก่อนที่จะมีการเลือกใช้ชนิดของแผนภูมิควบคุมเจ้าของกระบวนการต้องเลือกคุณลักษณะทางคุณภาพ (Quality Characteristic) จะทำการควบคุมสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ คุณลักษณะของกระบวนการ (Process Characteristic) เช่น อุณหภูมิ เวลา และคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ (Product Characteristic) เช่น ความยืดหยุ่น

โดยที่เจ้าของกระบวนการทราบได้จากคุณลักษณะพิเศษที่กำหนดโดยลูกค้าหรือตามที่ระบุไว้ในแผนควบคุม ผลจากการเลือกชนิดของคุณลักษณะทางคุณภาพก็จะทำให้ทราบได้ว่าข้อมูลที่ได้นั้นเป็นข้อมูลชนิดใด โดยดูตัวอย่างการเลือกแผนภูมิควบคุมสำหรับข้อมูลตัวแปรได้จากตารางที่ 2-5 และสำหรับข้อมูลคุณสมบัติได้จากตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-5 การเลือกแผนภูมิควบคุมสำหรับข้อมูลตัวแปรใช้กับกระบวนการเชิงป้องกัน

ขนาดตัวอย่างหรือจำนวนค่าที่วัดแต่ละครั้ง (n)	เงื่อนไขในการเลือก	ชนิดของแผนภูมิควบคุม
1	ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารเนื้อเดียวกัน (เช่น ก๊าซ, สารเคมี) หรือธรรมชาติของกระบวนการต้องการเพียง 1 ค่า	X-MR Chart
น้อยกว่า 9	ไม่สะดวกในการคำนวนค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	Median-R Chart
	สะดวกในการคำนวนค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	$\bar{x}$-R Chart
มากกว่า 9	ไม่สะดวกในการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S)	$\bar{x}$-R Chart
	สะดวกในการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S)	$\bar{x}$-S Chart

ตารางที่ 2-6 การเลือกแผนภูมิควบคุมสำหรับข้อมูลคุณสมบัติใช้กับกระบวนการเชิงดักปัญหา

ความคงที่ของจำนวนตัวอย่าง (n)	เงื่อนไขในการเลือก	ชนิดแผนภูมิควบคุม
คงที่	สนใจการควบคุมจำนวนชิ้นงานที่เป็นชิ้นงานเสีย (Defective หรือ Nonconforming Product)	p Chart หรือ np Chart
ไม่คงที่	สนใจการควบคุมจำนวนชิ้นงานที่เป็นชิ้นงานเสีย (Defective หรือ Nonconforming Product)	p Chart
คงที่	สนใจการควบคุมจำนวนตำหนิ (Defect) หรือจำนวนข้อบกพร่อง (Nonconformities)	u Chart หรือ c Chart
ไม่คงที่	สนใจการควบคุมจำนวนตำหนิ (Defect) หรือจำนวนข้อบกพร่อง (Nonconformities)	u Chart

ขั้นตอนในการประยุกต์ใช้แผนควบคุม

1. กำหนดคุณลักษณะทางคุณภาพที่ต้องการควบคุม เพื่อต้องการทราบชนิดของข้อมูล

2. เลือกแผนภูมิควบคุมที่มีความเหมาะสมกับคุณลักษณะนั้นๆ ทำเมื่อทราบถึงชนิดแผนภูมิควบคุมแล้ว

3. กำหนดแผนการสุ่มหรือจากข้อกำหนดของแผนควบคุม และคำนวนจำนวนตัวอย่างหรือขนาดตัวอย่าง และความถี่ในการตรวจ/วัด

4. เก็บรวบรวมข้อมูลแล้วกำหนดจุดลงบนแผนภูมิควบคุม

5. คำนวณขอบเขตควบคุม (Control Limits) ตามสูตรที่ได้แจงไว้ดังตาราง 2-7 และค่าคงที่ที่ได้ ดังตารางที่ 2-8

6. ลากเส้นขอบเขตควบคุมบนแผนภูมิควบคุมเพื่อดูว่ามีจุดใดที่อยู่นอกขอบเขตควบคุมบ้างให้ทำการสืบสวนหาสาเหตุและปฏิบัติการแก้ไขในบางกรณีอาจคำนวณขอบเขตควบคุมใหม่

7. นำขอบเขตควบคุมที่ได้ไปกำหนดคุณภาพต่อไปจนกว่าจะได้มีการเสนอเปลี่ยนแปลงโดยวิศวกรคุณภาพหรือวิศวกรกระบวนการ

8. แปลความหมายของจุดที่กำหนดใหม่ทุกครั้งตามวิธีการทดสอบความผิดปกติ 6 ข้อ

9. ทำการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการอย่างต่อเนื่อง โดยในการปรับปรุงแผนภูมิควบคุมที่ส่อความผิดปกติจะถูกตัดออกแล้วนำจุดที่เหลือไปคำนวณขีดจำกัดควบคุมและสร้างแผนภูมิควบคุมใหม่ ซึ่งโดยทั่วไปจะได้แผนภูมิควบคุมที่แคบลงแผนภูมิควบคุมที่ปรับปรุงแล้วนี้อาจนำไปใช้ เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตในอนาคตได้

ตารางที่ 2-7 สูตรในการคำนวณขอบเขตควบคุม

แผนภูมิควบคุม		**CL**	**ขอบเขตควบคุม**		**สิ่งที่ต้องควบคุม**
			UCL	**LCL**	
$\bar{X}-R$	$\bar{X}$ Chart	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}}+A_2\bar{R}$	$\bar{\bar{X}}-A_2\bar{R}$	$\bar{X}$ (ค่าเฉลี่ย)
	R Chart	$\bar{R}$	$D_4\bar{R}$	$D_3\bar{R}$	$\bar{R}$ (พิสัย)
$\bar{X}-s$	$\bar{X}$ Chart	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}}+A_3\bar{R}$	$\bar{\bar{X}}-A_3\bar{R}$	$\bar{X}$ (ค่าเฉลี่ย)
	s Chart	$\bar{s}$	$D_4\bar{R}$	$D_3\bar{R}$	$\bar{s}$ (ค่าเบนเบี่ยนมาตรฐาน)

ตารางที่ 2-7 (ต่อ)

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

ตารางที่ 2-8 ค่าคงที่สำหรับการคำนวณขอบเขตควบคุม

จำนวนตัวอย่างหรือจำนวนค่าที่วัดได้ในแต่ละครั้ง (n)	A_2	D_2	A_4	D_3	D_4	A_3	B_3	B_4
2	1.880	1.128	1.880	0	3.67	2.659	0	3.267
3	1.023	1.693	1.187	0	2.574	1.954	0	2.568
4	0.729	2.056	0.796	0	2.282	1.628	0	2.266
5	0.577	2.326	0.691	0	2.114	1.427	0	2.089
6	0.483	2.534	0.549	0	2.004	1.287	0.030	1.970
7	0.419	2.704	0.509	0.0076	1.924	1.182	0.118	1.882
8	0.373	2.847	0.434	0.136	1.864	1.099	0.185	1.815
9	0.337	2.970	0.412	0.184	1.816	1.032	0.239	1.761
10	0.308	3.078	0.365	0.223	1.777	0.975	0.284	1.716

11	0.285	3.173	0.350	0.256	1.744	0.927	0.321	1.676
12	0.266	3.258	0.317	0.283	1.717	0.886	0.354	1.646
13	0.249	3.336	0.306	0.307	1.693	0.850	0.382	1.618
14	0.235	3.407	0.282	0.328	1.672	0.817	0.406	1.594
15	0.223	3.472	0.274	0.347	1.653	0.789	0.428	1.572

แนวทางในการกำหนดจำนวนตัวอย่าง

1. ถ้าจำนวนตัวอย่างที่มากจะทำให้ขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างอยู่ใกล้เส้นกึ่งกลาง ทำให้แผนควบคุมแคบจึงสามารถบอกเหตุการณ์เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงไปของกระบวนการผลิตได้ดีกว่า

2. จำนวนตัวอย่างมากทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบสูง

3. ถ้าการทดสอบตัวอย่างเป็นการทดสอบที่ทำให้ชิ้นงานถูกทำลายไปจำนวนตัวอย่างไม่ควรใช้มากการรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้สร้างแผนภูมิควบคุมจะใช้ตารางบันทึกผลแตกต่างกันไปตามแต่ประเภทของแผนภูมิ

4. การคำนวณขีดจำกัดควบคุมและสร้างแผนภูมิควบคุมข้อมูลจากตัวอย่างที่เก็บไว้นั้นจะถูกนำไปใช้คำนวณขีดจำกัดควบคุมเพื่อสร้างแผนภูมิควบคุมต่อไปขีดจำกัดควบคุมประกอบด้วยขีดจำกัดควบคุมบน (UCL) เส้นกึ่งกลาง (CL) และขีดจำกัดควบคุมล่าง (LCL)

5. เขียนจุดและวิเคราะห์แผนภูมิควบคุม เมื่อได้แผนภูมิควบคุมแล้วเขียนจุดของตัวอย่างลงในแผนภูมิควบคุมจะได้จุดแสดงสภาพการผลิตว่าอยู่ในการควบคุมหรือไม่และสมควรหยุดกระบวนการผลิต เพื่อปรับตั้งกระบวนการผลิตใหม่หรือยัง

6. ปรับปรุงแผนภูมิควบคุม จุดที่เขียนแสดงในแผนภูมิที่ส่อความผิดปกติจะถูกตัดออกแล้วนำจุดที่เหลือไปคำนวณขีดจำกัดควบคุมและสร้างแผนภูมิควบคุมใหม่ซึ่งโดยทั่วไปจะได้แผนภูมิควบคุมที่แคบลงซึ่งอาจนำไปใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตในอนาคต หรือนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นเช่นนำไปใช้คำนวณสมรรถภาพกระบวนการ

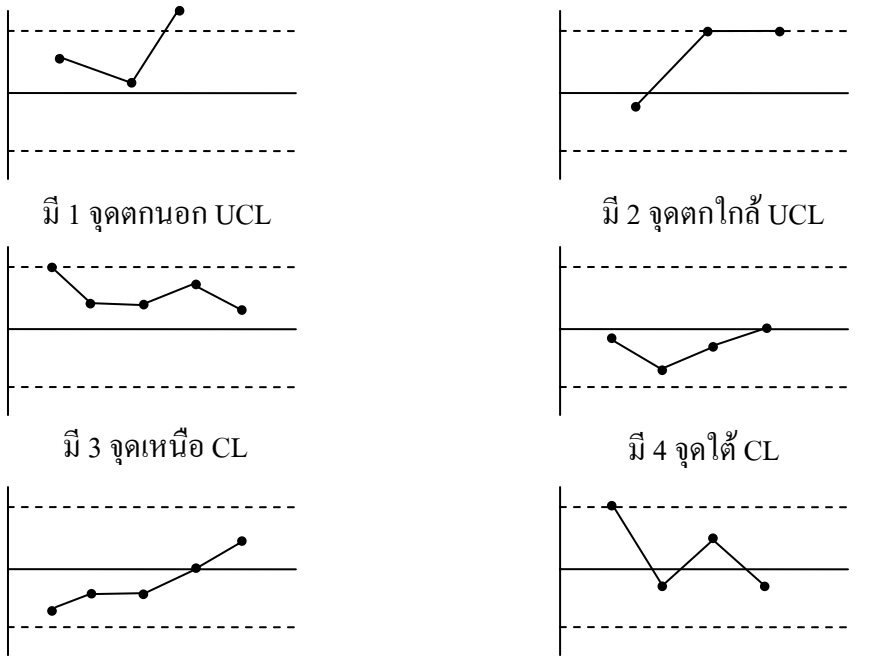
7. แผนควบคุมจะนำไปใช้ เพื่อการพัฒนาคุณภาพสินค้าเป้าหมายสำคัญของการใช้แผนภูมิควบคุม เพื่อให้ผู้ผลิตสามารถปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพของสินค้าอย่างต่อเนื่องตลอดไป

การควบคุมคุณภาพ คือ การควบคุมให้ลักษณะคุณภาพมีค่าเฉลี่ยและการกระจายตามที่กำหนดค่าที่กำหนดนี้จะเรียกว่าขีดจำกัดข้อกำหนด (Specification Limit) โดยขีดจำกัดข้อกำหนดนี้ประกอบด้วย ขีดจำกัดข้อกำหนดบน (Upper Specification Limit) หรือที่เขียนย่อว่า USL และขีดจำกัดข้อกำหนดล่าง (Lower Specification Limit) หรือที่เขียนย่อว่า LSL ลักษณะคุณภาพบางชนิดอาจกำหนดเฉพาะขีดจำกัดข้อกำหนดล่างเพียงอย่างเดียว เช่น ความสามารถในการทนแรงดึง

ของเหล็กเส้น เป็นต้น

ลักษณะของจุดที่ควรให้ความสำคัญ คือ

1. มี 1 จุดตกนอก ULC และ LCL
2. มี 2 จุดติดต่อกันเกาะอยู่ใกล้ขีดจำกัดควบคุมบนหรือขีดจำกัดควบคุมล่าง
3. มี 5 จุดติดต่อกันที่อยู่ด้านใดด้านหนึ่งของเส้นกึ่งกลาง
4. มี 5 จุดติดต่อกันที่แสดงแนวโน้มขึ้นหรือลงตลอด
5. มีจุดที่เปลี่ยนระดับอย่างรวดเร็ว
6. มีจุดที่แสดงวัฏจักร



ภาพที่ 2-9 การกระจายของจุดบนแผนภูมิควบคุมแสดงความผิดปกติในกระบวนการผลิต

2.8.5.2 วิธีการอ่านแผนภูมิควบคุม

วีระพงษ์ (2537: 52) กล่าวไว้ว่า สิ่งที่สำคัญที่สุดของการควบคุมคุณภาพโดยใช้แผนภูมิ คือ การอ่านหรือตีความหมายจากภาพที่ปรากฏบนแผนภูมิเพื่อโยงเหตุผลไปที่สภาวะของกระบวนการผลิต และเมื่อเราตรวจพบความผิดปกติของกระบวนการผลิตโดยอ่านจากแผนภูมิควบคุมนี้แล้วเราจะได้ไปทำการแก้ไขที่สาเหตุของความผันแปรใดๆ ในกระบวนการผลิตนั้น เพื่อปรับสภาวะการ

ผลิตให้กลับสู่สภาวะที่อยู่ในควบคุม (In-Controlled) ได้ต่อไป

ต่อไปนี้ คือ ข้อแนะนำเกี่ยวกับ 6 ลักษณะอาการสำคัญ เพื่อการอ่านแผนภูมิควบคุมอยู่นอกควบคุมพบได้ชัดเจน คือ มีจุดในแผนภูมิปรากฏอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุม เรียกว่า จุดอยู่นอกควบคุม (Out of Control) อาจอยู่นอกค่าสูงหรือค่าต่ำก็ได้

1. การรัน (Run) เมื่อปรากฏในขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) ติดต่อกันบนซีกใดซีกหนึ่งของเส้นค่ากลางเราเรียกว่า “เกิดรัน” ความยาวของรันแต่ละชุดนับจากจำนวนจุดในชุดนั้นและรันที่มีความยาวตั้งแต่ 7 จุดขึ้นไปเราตีความได้ว่าได้เกิดความผิดปกติขึ้นแล้วในการผลิตช่วงที่เกิดรันนั้น

2. การเกิดแนวโน้ม การที่มีจุดต่อเนื่องกันไปในทิศทางเดียวกันอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการสลับฟันปลาเลยมีผลทำให้เส้นต่อจุดเหล่านั้นคล้ายๆ เส้นตรงพาดขึ้นหรือพาดลงเช่นนี้เราเรียกว่ามีการเกิดแนวโน้ม (Trend) ขึ้นในแผนภูมิควบคุมแนวโน้มที่ว่านี้คือ แนวโน้มที่กำลังบอกเราว่าค่าเฉลี่ยของขนาดควบคุมที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตนั้นกำลังมีปัญหาหรือมีแนวโน้มจะเคลื่อนไปจากขนาดกำหนดที่ได้ตั้งเอาไว้แต่แรก

3. การเกิดการเข้าใกล้เส้นขอบเขตควบคุม ถ้าหากเราแบ่งระยะ 3 ซิกม่า (3σ) จากเส้นค่ากลางออกเป็นเส้น 2σ แล้วพบว่ามี 2 จุดใน 3 จุดที่ต่อเนื่องกันในแต่ละช่วงได้ตกไปอยู่ในพื้นที่ระหว่างเส้น 2σ กับเส้นขอบเขตควบคุม 3σ ถือได้ว่าเกิดการเข้าใกล้เส้นขอบเขตควบคุม (Approach to the Control Limits) และเป็นการบอกว่ามีความผิดปกติขึ้นในกระบวนการผลิตแล้ว

4. การเกิดการเข้าใกล้เส้นค่ากลาง หากพบว่าเส้นกราฟทั้งหมดตกอยู่ในระหว่างเส้น 1.5σ นับจากเส้นค่ากลางขึ้นไปและลงมาแล้วไม่ได้หมายความว่ากระบวนการผลิตนั้นอยู่ในควบคุมแต่กลับแสดงว่า คงจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นในการกำหนดขนาดของกลุ่มย่อยข้อมูลอาจมีการปะปนกันของข้อมูลที่นำมาจากต่างประชากรกันและเกิดการปะปนกัน

5. การเกิดวัฏจักรมีลักษณะ คือ ค่าในเส้นกราฟจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ มีลักษณะเป็นวงจรวงรอบ หรือวัฏจักรที่เกือบจะทำนายลักษณะเส้นกราฟในช่วงต่อๆ ไปได้ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าเกิดวัฏจักร (Periodicity)

2.8.5.3 ดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการ

กิติศักดิ์ (2546: 162-164) กล่าวว่าเป็นตัวบ่งชี้ความสามารถของกระบวนการซึ่งเน้นในเรื่องของความผันแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการและความเข้าใกล้ค่าเป้าหมายที่ต้องการ โดยจะช่วยให้เจ้าของกระบวนการผู้บริหารและลูกค้าได้ว่า

1. กระบวนการที่มีส่วนเกี่ยวข้องอยู่นั้นจะมีความสามารถในการให้ผลลัพธ์ได้ตามที่ต้องการหรือออกแบบไว้หรือไม่ ซึ่งเป็นการสะท้อนให้เห็นถึงความอยู่ตัวของความผันแปรที่เกิดจากสาเหตุ

ชนิดสามัญ (Common Cause)

2. มีความสามารถในการควบคุมความผันแปรที่มีอยู่ในกระบวนการเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่เราหรือลูกค้าต้องการได้ดีแค่ไหน อย่างไร

3. ชิ้นงานที่ผลิตออกมามีแนวโน้มของการเกิดของเสียที่มีขนาดโตเกินไป (เข้าใกล้หรืออยู่นอกขอบเขตกำหนดด้านบน) หรือมีขนาดที่เล็กเกินไป (เข้าใกล้หรืออยู่นอกขอบเขตกำหนดด้านล่าง) เพื่อที่จะสามารถช่วยให้เจ้าของกระบวนการสามารถปรับกระบวนการเข้าหาจุดที่มีความเหมาะสมได้อย่างถูกทิศทาง และมีความเหมาะสมในเชิงเศรษฐกิจ

การคำนวณค่าดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการนั้นขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการวัดคุณภาพของกระบวนการ ดังนี้

1. การประเมินความสามารถกระบวนการของกระบวนการที่มีข้อมูลวัด

การวัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ เพื่อพิจารณากระบวนการนั้นมีความสามารถแค่ไหน (Potential Capability Indices) โดยมีดัชนีเป็น C_p (C ย่อมาจาก Capability หรือความสามารถส่วน p Process หรือกระบวนการ) ซึ่งจะไม่สนใจว่าค่าเฉลี่ยหรือตำแหน่งของกระบวนการ (x) จะตั้งอยู่ตรงกลาง (Centering) ของเขตกำหนดหรือไม่

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \qquad (2\text{-}7)$$

โดยที่ USL : Upper Specification Limit หรือขอบเขตกำหนดด้านบน

LSL : Lower Specification Limit หรือขอบเขตกำหนดด้านล่าง

σ : Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การวัดความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการพร้อมด้วยตำแหน่งของค่าเฉลี่ยของกระบวนการว่าตั้งอยู่ตรงกลางของขอบเขตกำหนดหรือไม่สำหรับกระบวนการที่กำลังดำเนินอยู่ โดยวัดค่าดัชนีอยู่ในรูป C_{pk} โดยค่าที่น้อยที่สุดของดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการที่เป็นขอบเขตกำหนดด้านบน (C_{pu}) หรือดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการที่จะเป็นขอบเขตกำหนดด้านล่าง (C_{pl})

$$C_{pk} = C_p\,(1\text{-}k) \qquad (2\text{-}8)$$

$$C_{pu} = \frac{USL - \bar{x}}{3\sigma} \quad (2\text{-}9)$$

$$C_{pl} = \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma} \quad (2\text{-}10)$$

โดยที่ k : ระยะที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการอยู่ห่างจากตรงกลางของขอบเขตกำหนด

อัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ ในการศึกษาอัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการแบบระยะสั้น (C_R) จะสนใจเฉพาะความผันแปรของกระบวนการที่ถือว่าค่าเซตติ้งของกระบวนการอยู่กับที่ และในการศึกษาความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการนี้จะถือว่าค่าเฉลี่ยของกระบวนการที่แสดงถึงผลจากค่าเซตติ้งของ กระบวนการจะอยู่ตรงกลางข้อกำหนดเฉพาะ

$$C_R = \frac{6\sigma}{USL - LSL} \quad (2\text{-}11)$$

2. การประเมินความสามารถของกระบวนการที่มีข้อมูลแบบนับ

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นจะสามารถทำการประเมินความสามารรถของกระบวนการได้ก็ต่อเมื่อข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลวัดหรือข้อมูลที่มีลักษณะเชิงผันแปร แต่ถ้าข้อมูลที่สนใจเป็นแบบข้อมูลนับหรือข้อมูลที่มีลักษณะเชิงคุณภาพก็สามารถทำการประเมินความสามารถของกระบวนการได้เช่นเดียวกัน

ในการประเมินดัชนีความสามารถของกระบวนการของข้อมูลแบบนับนี้จะอาศัยแนวความคิดเดียวกับการประเมินความสามารถของกระบวนการสำหรับข้อมูลวัด กล่าวคือให้ทำการประเมินความผันแปรของกระบวนการเปรียบเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะเพื่อทำการกำหนดสัดส่วนของเสียจากกระบวนการที่ศึกษาแต่เนื่องจากข้อมูลแบบนับเป็นข้อมูลที่ไม่มีคุณสมบัติอธิบายความผันแปรจึงมีความจำเป็นต้องกำหนดข้อมูลนับให้อยู่ในรูปของจำนวนของเสีย เพื่อการเทียบเคียงให้อยู่ในรูปของสเกลของการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน (Z) อาจจะเรียกว่า $Z_{quivalent}$ หรือ $B_{enchmark}$ สำหรับการแปลงให้เป็นดัชนีความสามารถของกระบวนการ

อย่างไรก็ตามในการกำนหนดค่าความสามารถของกระบวนการในกรณีข้อมูลแบบนับนี้จะขึ้นอยู่กับเกณฑ์การตัดสินใจของผู้วิเคราะห์เป็นสำคัญ เช่น ถ้าหากต้องการประเมินถึงความสามารถของกระบวนการในรูปแบบสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นแล้วก็สามารถใช้ค่าสัดส่วนโดย

เฉลี่ยของเสีย ($\bar{p}$) เป็นตัววัดความสามารถของกระบวนการได้แต่ถ้าหากต้องการประเมินในรูปดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการเพื่อการเปรียบเทียบผลการปรับปรุงกระบวนการก็จะสามารถแสดงอยู่ในรูปของดัชนี P_p, P_{pk} ดังนั้น ในการประเมินความสามารถของกระบวนการสำหรับข้อมูลแบบนับนี้จะต้องเริ่มต้นจากการหาค่า $\bar{p}$ ก่อนเสมอ

$$\bar{p} = \frac{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องโดยรวม } (\sum np)}{\text{จำนวนตรวจสอบโดยรวม } (\sum n)} \qquad (2\text{-}12)$$

ดังนั้น ในการประเมินค่า $\bar{p}$ จะต้องประเมินจากข้อมูลโดยรวม ค่าดัชนีประเมินจากค่า $\bar{p}$ จึงถือเป็นดัชนีความสามารถของกระบวนการแบบระยะยาวเสมอ โดยความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการอาจจะประเมินได้ในรูปอัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการแบบระยะยาว (P_R) หรือดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการแบบระยะยาว (P_p) สำหรับความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการจะประเมินได้ในรูปดัชนีความสามารถด้านสมรรนะของกระบวนการแบบระยะยาว (P_{pk})

$$P_{p\,Bench} = \frac{1}{3} Z_{Bench} \qquad (2\text{-}13)$$

โดยที่ Z_{Bench} จะได้จากกรณีกำหนดให้สัดส่วนเสียมีค่าเท่ากันทั้งสองด้าน

$$P_{R\,Bench} = \frac{1}{P_{p\ Bench}} \qquad (2\text{-}14)$$

$$P_{pk\ Bench} = \frac{1}{3} Z_{Bench} \qquad (2\text{-}15)$$

โดยที่ Z_{Bench} ได้จากการกำหนดให้สัดส่วนของเสียอยู่ที่ด้านใดด้านหนึ่งของค่ากลางเพียงด้านเดียว

1. การประเมินความสามารถกระบวนการจากแผนภูมิควบคุม p และ npด้วยแผนภูมิควบคุม p และ np ที่ใช้ควบคุมสัดส่วนและจำนวนของเสียโดยลำดับ จะสามารถประมาณค่าสัดส่วนโดยเฉลี่ยของเสีย ($\bar{p}$) ได้จากค่ากลางของแผนภูมิควบคุม p และในกรณีแผนภูมิควบคุม

np จะสามารถหา $\bar{p}$ ได้จากสมการ 2.8 และเมื่อได้ค่า $\bar{p}$ แล้วจะสามารถหา Z_{Bench} จากตารางแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน จากนั้นสามารถหาค่าอัตราส่วนความสามารถกระบวนการ และดัชนีความสามารถกระบวนการจากสมการ 2.13, 2.14 และ2.15

หมายเหตุ

1. หากแผนภูมิควบคุม p มีจุดออกนอกพิกัดควบคุมต้องทำการตัดออกและคำนวนค่า $\bar{p}$ ใหม่เสมอ

2. การประเมินความสามารถกระบวนการจากแผนภูมิควบคุม u และ c แผนภูมควบคุม u และ c จะเป็นแผนภูมิควบคุมข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ โดยจะมีการแจกแจงเป็นแบบปัวซอง (Poisson) ที่มีฟังก์ชันความน่าจะเป็น คือ

$$P\ (\text{จำนวนข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์}) = \frac{u^x e^{-u}}{x!} \qquad (2\text{-}16)$$

โดยมีการแจกแจงแบบปัวซอง และนิยามให้

$$\bar{u} = \frac{\text{จำนวนรวมข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์}\ (\sum c)}{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ตรวจสอบ}\ (\sum n)} \qquad (2\text{-}17)$$

เมื่อได้ $\bar{p}$ แล้วจะสามารถคำนวนดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการเหมือนกรณีแผนภูมิควบคุม p ทุกประการ

2.8.5.4 ความหมายของค่าดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการ

ก) อัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (C_R และ P_R) ยิ่งมีค่าน้อยกว่า 0.88 ซึ่งแสดงว่าความสามารถของกระบวนการยิ่งสูง ซึ่งหมายถึงความผันแปรจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ของกระบวนการในการดำเนินงานภายใต้การควบคุมระยะสั้นมีค่าไม่เกิน 88 เปอร์เซ็นต์ของช่วงความคาดเคลื่อนอนุโลมทั้งหมดจะเป็น “ช่วงเผื่อ (Safety Zone)” สำหรับปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ของค่าเซตติ้งของกระบวนการ

ข) ดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (C_p และ P_p) ถ้ายิ่งมีค่ามากกว่า 1.33 แสดงว่า กระบวนการมีความผันแปรน้อยหรือมีความมั่นคงสูง

ค) ดัชนีความสามารถด้านสมรรนะของกระบวนการ (C_{pk} และ P_{pk}) ถ้ายิ่งมีค่ามากกว่า 1.33 แสดงว่า การเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่งกระบวนการมีความผันแปรน้อยหรือมีความมั่นคงสูง

หมายเหตุ

1. ถ้าค่าดัชนี C_p และ C_{pk} ยิ่งมีค่ามากกว่า 1.33 แสดงว่า กระบวนการมีความผันแปรน้อย หรือมีความมั่นคงสูง

2. ถ้าค่าดัชนี C_p กับค่า C_{pk} มีค่าที่ไม่เท่ากัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยของกระบวนการไม่อยู่ตรงกลางของขอบเขตกำหนด หากค่า $C_{pk} = C_{pu}$ ก็แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของกระบวนการเข้าใกล้ด้าน USL มากกว่า หรือหนีห่างจากด้าน LSL มากเกินไป

2.9 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นพดุล (2547) ทำการศึกษาหลักการและแนวคิดลีนซิกซ์ ซิกม่ามาทำการปรับปรุงความพร้อมในการตอบสนองในอุตสาหกรรมบริการทันตกรรม โดยการหาแนวทางเพื่อลดเวลาที่ผู้ป่วยต้องใช้ในการรับบริการ และเพิ่มความพร้อมในการให้บริการข้อมูล ซึ่งพบว่าปัญหา คือ เวลารอคอย เพื่อทำการรักษายาวนานสาเหตุหลักเกิดจากการจัดสรรจำนวนทันตแพทย์ในแต่ละประเภทไม่สอดคล้องกับจำนวนผู้ป่วยที่ต้องการเข้ารับการรักษาซึ่งก่อให้เกิดแถวคอยสะสมเป็นจำนวนมาก จึงได้พิจารณาปรับเพิ่มและจัดสรรจำนวนชั่วโมงทำงานของทันตแพทย์ใหม่ให้สอดคล้องกับความต้องการเข้ารับบริการของผู้ป่วย ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณพบว่าสามารถกำจัดแถวคอยสะสมของทุกประเภทการรักษาได้ภายใน 3.7 เดือน นอกจากนี้ยังได้มีการใช้เทคนิคการจำลองปัญหาเพื่อตัดสินใจในเรื่องรูปแบบของการตรวจคัดกรองที่ทำให้ระยะเวลาในการรับบริการน้อยกว่ารูปแบบเดิมในปัญหาเรื่องความล่าช้าในขั้นตอนการชำระเงิน พบว่าหลังจากพิจารณาปรับเปลี่ยนการทำงานของเจ้าหน้าที่สามารถลดเวลารอเพื่อชำระเงินค่ารักษาได้จาก 7 นาที เหลือ 2 นาที และในขั้นตอนการนัดหมายล่าช้า พบว่าการสร้างระบบการจัดเรียงและค้นหาแฟ้มใหม่โดยใช้รหัสเอกสารและป้ายดัชนีสามารถลดเวลาค้นหาแฟ้มจาก 2 นาที เหลือ 10 วินาที

วุฒิชัย (2546) ทำการศึกษาหลักการและแนวคิดของซิกซ์ ซิกม่ามาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาสีเป็นสนิม จึงได้นำปัญหานี้มาทำโครงงานวิจัยโดยตัววัดผลลัพธ์ของการวิจัยนี้ คือ ค่ารอยผุพองที่เกิดขึ้นจากการทดสอบด้วยน้ำเกลือที่จำนวน 500 ชั่วโมง ซึ่งเป็นค่าที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของงานพ่นสีในส่วนของการเกิดสนิมโดยตรง จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อค่ารอยผุพองที่เปลี่ยนไป คือ ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำล้างก่อนพ่นสี ค่าความเข้มข้นของสารเคมี LK และ A1 ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าของน้ำล้างก่อนพ่นสีเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่ารอยผุพอง

ค่อนข้างมาก แต่เนื่องจากในการปรับปรุงค่าการนำไฟฟ้าของน้ำล้างก่อนพ่นสีจำเป็นต้นลงทุนเครื่องจักรที่มีราคาสูง และในโครงงานวิจัยนี้มิได้ทำการเผื่องบประมาณไว้ จึงนำปัจจัยเฉพาะปัจจัยของค่าความเข้มข้นของสารเคมี LK และ A1 มาทำการปรับปรุงค่ารอยผุพองด้วยการออกแบบการทดลองและการหาพื้นที่ผลตอบสนอง ซึ่งจากการปรับปรุงด้วยการเพิ่มความเข้มข้นของสารเคมี LK และ A1 ในขั้นตอนของการออกแบบการทดลอง สามารถทำการลดค่ารอยผุพองจากค่าปัจจุบัน คือ 7.14 มิลลิเมตร ลดเหลือ 4.46 มิลลิเมตร และเมื่อทำการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการใช้วิธีพื้นที่ผิวตอบสนองผลที่ได้จากการดำเนินการการปรับตั้งค่าปัจจัยนำเข้าที่จุดที่เหมาะสมที่สุดให้ค่ารอยผุพองของการทดสอบด้วยน้ำเกลือที่จำนวน 500 ชั่วโมง ณ เวลาปัจจุบัน คือ เฉลี่ย 3.60 มิลลิเมตร

ประภาพร (2546) ทำการศึกษาหลักการและแนวคิดของซิกซ์ ซิกม่ามาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในธุรกิจโดยเลือกแก้ปัญหาที่กระทบต่อต้นทุนในกระบวนการผลิตอุปกรณ์ใยแก้วนำแสง จากการศึกษาพบว่าในกระบวนการผลิตมีอัตราวัตถุดิบเสียเนื่องจากค่าความสูญเสียทางแสงสูงเกินค่ากำหนดเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตต่อชิ้นเฉลี่ยสูงขึ้น 5.01 เหรียญสหรัฐซึ่งทำให้บริษัทมีรายได้และกำไรลดลง จึงทำการวิจัยโดยมีเป้าหมายคือลดอัตราวัตถุดิบเสียเนื่องจากค่าความสูญเสียทางแสงสูงเกินค่ากำหนดจาก 26,700 ชิ้นต่อวัตถุดิบหนึ่งล้านชิ้นให้เหลือน้อยกว่า 7,810 ชิ้นต่อวัตถุดิบหนึ่งล้านชิ้น ขั้นแรกของการวิจัย คือ การวิเคราะห์และประเมินผลระบบการวัดต่อมาจึงวิเคราะห์หาปัจจัยป้อนเข้าที่สำคัญในกระบวนการซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหา ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ทำให้ค่าความสูญเสียทางแสงของชิ้นงานสูงเกินค่ากำหนด คือ อุณหภูมิและความชื้นของสภาวะแวดล้อมขณะชิ้นงานเย็นตัวจึงทำการปรับปรุงโดยหาค่าอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองและเปลี่ยนค่าปรับตั้งอุณหภูมิและความชื้นขณะชิ้นงานเย็นตัวตามผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติผลจากการปรับปรุงพบว่าอัตราวัตถุดิบเสียลดลงเหลือเพียง 7,550 ชิ้นต่อวัตถุดิบหนึ่งล้านชิ้นซึ่งสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ประมาณปีละ 8,372 เหรียญสหรัฐ

อุษณีย์ (2545) ทำการศึกษาการควบคุมคุณภาพโดยใช้แนวทางของซิกซ์ ซิกม่า เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระป๋องอันเนื่องจากข้อบกพร่องต่างๆ ระบบการดำเนินการคุณภาพตามแนวทางของ ซิกซ์ ซิกม่า จากการศึกษาพบว่าในระยะเวลา 4 เดือน สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระป๋องลดลงจาก 4,400 DPM เป็น 2,849 DPM เมื่อเปรียบเทียบในระดับ σ สามารถปรับปรุงจากระดับ 2.85 เป็นที่ระดับ 2.986 ทั้งนี้ในแต่ละวันจะ มีของเสียที่เกิดจากการตรวจสอบเฉลี่ย 1,200 DPM หากลดการตรวจสอบที่ไม่จำเป็นลงจะส่งผลให้ของเสียลดลง

ได้อีก 50% โดยการประมาณการจะสามารถลดลงเหลือประมาณ 2000 DPM หรือระดับ σ อยู่ที่ 3.092 ซึ่งหากมีการควบคุมอย่างต่อเนื่องประมาณ 6 เดือน จะทำให้ความผันแปรในกระบวนการผลิตลดลงอีก 1.5σ เป็นผลทำให้สัดส่วนของเสียลดลงอยู่ที่ระดับ 4.592σ

จรัสพงศ์ (2543) ทำการศึกษาแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า และทำการประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการเคลือบสีรถกระบะ ซึ่งจากการสำรวจสภาพปัญหาของผลิตภัณฑ์รถกระบะภายในกระบวนการเคลือบผิวชั้นบนสุดของแผนกสี พบว่าปัญหาประเภทสีหยดเป็นปัญหาหนึ่งซึ่งยังไม่เคยได้รับการแก้ไข ยากต่อการหาสาเหตุและมีต้นทุนการซ่อมแซมที่สูงระดับหนึ่ง โดยมีระดับปัญหาเฉลี่ยปลายปี พ.ศ. 2543 อยู่ที่ 0.2 จุดบกพร่องต่อหน่วยผลิตภัณฑ์และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนระดับ 0.37 จุดบกพร่องต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ต้นปี พ.ศ. 2544 ผลจากการดำเนินโครงงานวิจัย พบว่าสาเหตุของปัญหาสีหยด คือ การเสียหายจากการซ่อมบำรุงของอุปกรณ์ Bell Cup ในสถานีพ่นอัตโนมัติที่ 3 การเสียหายจากการใช้งานผิดวิธีของ Air Cap สำหรับปืนพ่นโดยใช้คน และการขาดมาตรฐานในการทำความสะอาดปืนพ่นสีโดยใช้คน จึงจัดหาโดยสั่งซื้ออุปกรณ์ที่จำเป็นดังกล่าวเพื่อปรับปรุงกระบวนการ โดยสามารถปรับปรุงกระบวนการโดยการเปลี่ยน Bell Cup ทั้งหมดเปลี่ยนปืนพ่นโดยใช้คนบางส่วนจำนวน 10 กระบอก ในสถานีที่ 9 และ 10 และเริ่มใช้มาตรการทำความสะอาดปืนพ่นโดยใช้คนอัตรา 10 คันต่อ 1 ครั้ง สามารถลดระดับสีหยดลงได้ร้อยละ 70 หรือลดลงเหลือ 0.1 จุดบกพร่องต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

Dose, et al. (2002) ได้ทำการศึกษาวิจัยเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการนำแนวคิดซิกซ์ ซิกม่านำไปประยุกต์ใช้ในงานการผลิต (Traditional Manufacturing) กับงานที่ไม่ใช่การผลิต (Nonmanfacturing) ซึ่งมีการจัดทำโครงการซิกซ์ ซิกม่าโดยใช้กลุ่มตัวอย่างที่ดำเนินงานการผลิต 3 โครงการ แล้วทำการเปรียบเทียบแบบขั้นตอนต่อขั้นตอน (Phase by Phase) กับงานที่ไม่ใช่การผลิต 5 โครงการ พบว่าในการจัดทำผังกระบวนการในขั้นตอนนิยามปัญหานั้น ในงานที่ไม่ใช่การผลิตจะมีผังกระบวนการที่ไม่ชัดเจน ซึ่งต่างจากในงานการผลิตที่ผังกระบวนการจะมีความชัดเจน และในขั้นตอนการวัดสภาพของปัญหาซึ่งต้องมีการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการในงานการผลิตจะมีตัวชี้วัดที่ชัดเจน เช่น ค่าความสามารถของกระบวนการ (C_{pk}) แต่ในงานที่ไม่ใช่การผลิตไม่มีตัววัดที่ชัดเจนจึงนิยมวัดในรูปแบบค่าเฉลี่ย และความแปรปรวนของข้อมูล และยังพบว่าการกระจายตัวของข้อมูลมีลักษณะกองไปทางด้านเดียว ส่วนในขั้นตอนการปรับปรุงในงานที่ไม่ใช่การผลิตจะไม่ค่อยนำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เข้ามาเกี่ยวข้อง แต่จะเป็นการกำจัดปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลเสียโดยวิธีการทั่วไป

Banuelas Coronado and Antony (2002) ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่นำไปสู่ความสำเร็จใน

การนำซิกซ์ ซิกม่าประยุกต์ใช้ขององค์การต่างๆ เพื่อใช้ในการปรับปรุงกลยุทธ์ทางธุรกิจโดยการเพิ่มกำไรจากการขจัดความแปรปรวนและลดของเสียในกระบวนรวมถึงการลดค่าใช้จ่ายทางคุณภาพทราบถึงความต้องการและความคาดหวังของลูกค้า โดยการนำเทคนิคและเครื่องมือทางสถิติ อย่างเช่น Motorola ได้ใช้จ่ายในการให้ความรู้และอบรมพนักงาน $170 million แต่สามารถที่จะประหยัดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากค่าใช้จ่ายทางคุณภาพได้ถึง $2.2 million ปัจจัยที่นำไปสู่ความสำเร็จ (CSFs) ได้แก่

1. การประกาศเจตนารมณ์และความมุ่งมั่นของผู้บริหารระดับสูง เช่น ในช่วงเริ่มต้นนั้นผู้บริหารระดับสูงของ Allied Signal โดยทำการลดเป้าหมายทางการเงินลงเพื่อช่วยสนับสนุนโครงการในเบื้องต้นรวมถึงผู้บริหารระดับสูงของ GE ต้องทำการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผังองค์การและเปลี่ยนทัศนคติของพนักงาน

2. การเปลี่ยนแปลงวัฒนธรรมองค์การซึ่งเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของพนักงาน โดยการขจัดความกลัวของพนักงานที่จะซ่อนเร้นข้อผิดพลาด หรือการต่อต้านการเปลี่ยนแปลงให้ยอมรับการปรับปรุงพัฒนาด้วยการเพิ่มแรงจูงใจ การให้ความรู้

3. การติดต่อสื่อสาร เช่น Sony Electronics ที่ให้ความสำคัญกับการแสดงข้อมูลต่างๆ เพื่อให้ทั้งองค์การหลีกเลี่ยงและเรียนรู้ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอย่างทั่วถึงพร้อมกัน

4. การจัดโครงสร้างภายในองค์การ Citibank เน้นการทำงานเป็นทีม การทำงานข้ามสายงานสามารถวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาสำคัญได้ถึง 73 %

5. การฝึกอบรมโดยเน้น Belt System เพื่อช่วยทำให้เกิดการทำงานตามหลักการของซิกซ์ซิกม่าทั่วทั้งองค์การ

6. การเชื่อมโยงซิกซ์ ซิกม่าสู่กลยุทธ์ทางธุรกิจ เช่น Ford Motor Company ได้ดำเนินการเปลี่ยนกลยุทธ์จาก TQM ที่เน้นการแก้ไขปัญหาแต่ไม่ได้พิจารณาทางค่าใช้จ่ายแต่ซิกซ์ ซิกม่ามีการวิเคราะห์ถึงต้นทุน-กำไรทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ถึง $200,000-250,000

7. การเชื่อมโยงซิกซ์ ซิกม่าสู่ลูกค้าเพื่อช่วยลดช่องว่างระหว่างความคาดหวังของลูกค้ากับความสามารถของการทำงานที่ทำได้จริง

8. การเชื่อมโยงซิกซ์ ซิกม่าสู่ผู้ส่งมอบ ควรสร้างความสัมพันธ์อันดีและมีผู้ส่งมอบน้อยรายเพื่อที่จะลดความแปรปรวนต่างๆ

9. ในการใช้เครื่องมือและเทคนิคต่างๆ ตามหลักสถิติ เช่น เครื่องมือคุณภาพการทดสอบสมมติฐานและอื่นๆ

10. การเลือกโครงการตามความสำคัญ พิจารณาจากการแข่งขันทางธุรกิจการได้เปรียบทางธุรกิจรอบเวลาของกระบวนการ ผลผลิตโดยรวม เป็นต้น

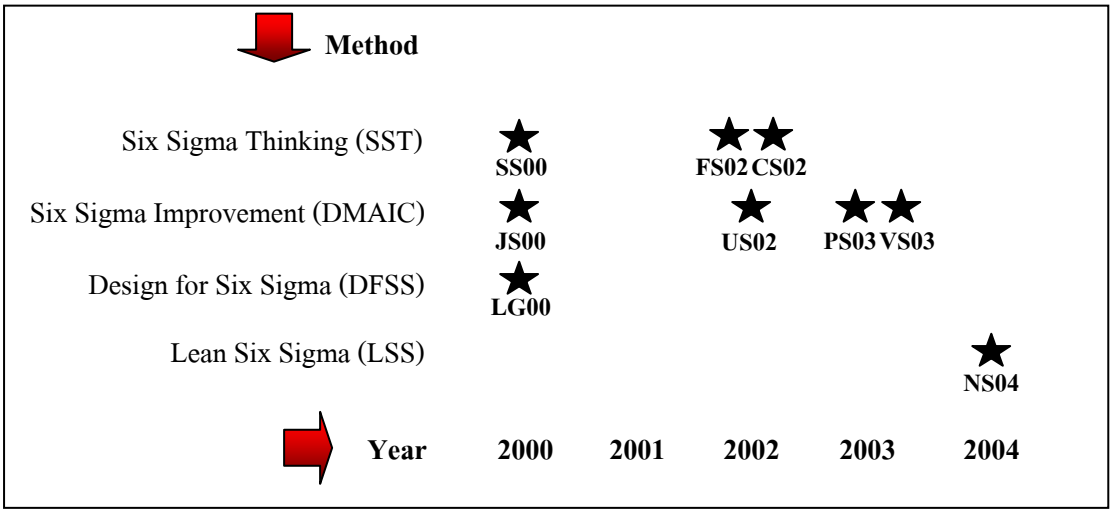
LG Electronics (2000) ได้ทำการปรับปรุงการผลิตชิ้นส่วนเตาไมโครเวฟโดยอาศัยหลักการซิกซ์ ซิกม่า จากการศึกษาพบปัญหาเกี่ยวเนื่องมาจากความผิดพลาดในการออกแบบชิ้นส่วนประกอบเตาไมโครเวฟ ซึ่งก่อให้เกิดการชำรุดอย่างรวดเร็ว และไฟฟ้ารั่ว จากการวิเคราะห์ทำให้ทราบสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาดังกล่าว คือ ความคาดเคลื่อนตำแหน่งของรูน็อตยึดประตูเตาไมโครเวฟ ซึ่งมีระดับปัญหาอยู่ที่ 1,100 DPMO จากนั้นได้ทำการปรับปรุงด้วยการออกแบบการทดลองและการหาพื้นที่ผลตอบสนอง เพื่อให้ระดับปัญหาเกิดน้อยที่สุด ซึ่งผลจากการปรับปรุงชิ้นส่วนประตูไมโครเวฟชนิดที่ 1 ความสูงรูน็อตยึดตำแหน่งบนเดิม 15.82 mm. เป็น 16.33 mm. ความสูงรู น็อตยึดตำแหน่งล่างเดิม 16.23 mm. เป็น 16.33 mm. และจากเประตูไมโครเวฟชนิดที่ 2 ความสูงรูน็อตยึดตำแหน่งบนเดิม 16.31 mm. เป็น 16.36 mm. ความสูงรูน็อตยึดตำแหน่งล่างเดิม 16.16 mm. เป็น 16.29 mm. ซึ่งจากการปรับปรุงทำให้ระดับปัญหาลดลงอยู่ที่ 750 DPMO

Samsung (2000) ได้ทำการศึกษาโดยสร้างทีมงานวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ซึ่งอาศัยแนวทางซิกซ์ ซิกม่าหรืออาจจะเรียกว่า R&D Six Sigma โดยทีมงานได้ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์นาฬิกา ซึ่งกระบวนการวิจัยและพัฒนาจะมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้ การสังเกตและจำกัดความ (Recognize and Define) การระบุปัญหา (Identify) การออกแบบ (Design) การทำให้เหมาะสม (Optimize) และการทำให้มีเหตุมีผล (Validate) ซึ่งการประยุกต์ใช้หลักการข้างต้นสามารถลดต้นทุนสินค้า $0.2 ต่อเรือน และสร้างกำไร $ 0.25 ล้านต่อปี

2.10 บทสรุป

จากที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดนั้นจะเป็นทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัยโดยแบ่งออกเป็นสามส่วนใหญ่ๆ ที่สำคัญเริ่มต้นจากหลักการบริหารคุณภาพ โดยเนื้อส่วนนี้จะระบุถึงนิยามความสำคัญของคุณภาพที่ลูกค้าต้องการภายใต้การตอบสนองต่อความจำเป็นและความคาดหวังที่มีความสัมพันธ์กับส่วนที่สองคือ “ไตรศาสตร์ด้านคุณภาพ” ของจูรานและ “การบริหารคุณภาพแบบเบ็ดเสร็จ” ของคาโนกล่าวคือ ไตรศาสตร์ด้านคุณภาพจะเน้นการสร้างความมั่นใจด้านคุณภาพด้วยการประกันคุณภาพ (QA) ให้กับลูกค้า และการบริหารคุณภาพแบบเบ็ดเสร็จเป็นแนวทางสำหรับการบริหารคุณภาพที่บุคลากรทุกฝ่ายในองค์กรมีส่วนรับผิดชอบ เพื่อสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า สุดท้ายจะเป็นเนื้อหาเกี่ยวกับการบริหารคุณภาพด้วยแนวทางซิกซ์ ซิกม่า เนื้อหาเริ่มต้นจากประวัติความเป็นมาของซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งมาจากการค้นคว้าของบริษัท โมโตโรล่า โดยอาศัยแนวคิดความแปรปรวนของกระบวนการของปารามาจารย์เดมมิ่ง และหลักการของซิกซ์ ซิกม่าจะป็นการจัดการกับต้นทุนคุณภาพต่ำ ซึ่งความหมายของซิกซ์ ซิกม่าจริงๆ นั้นจะหมายถึงความผันแปรในกระบวนการ ถ้ากระบวนการใดมีความสามารถของกระบวนการอยู่ที่

6 ซิกม่า กระบวนการนั้นจะมีโอกาสในการสร้างของเสียเพียง 3.4 PPM หรืออาจเทียบเท่ากับศูนย์ ในการดำเนินงานตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่านั้นจำเป็นต้องจัดตั้งคณะทำงานจะประกอบไปด้วย Champion, Black Belt, Master Black Belt และ Member ส่วนขั้นตอนการดำเนินงานตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่านั้นจะประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลักโดยเรียกย่อๆ ว่า “DMAIC” ซึ่งในแต่ละลำดับขั้นตอนของการดำเนินงานซิกซ์ ซิกม่าจะประกอบด้วยเครื่องมือทางสถิติและเครื่องมือคุณภาพช่วยสร้างความสะดวกในการดำเนินงาน สุดท้ายได้กล่าวถึงผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยสามารถสรุปรายละเอียดได้ ดังตารางที่ ก-1 ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้วสามารถแบ่งการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 4 กลุ่ม คือ การสร้างแนวความคิดเกี่ยวกับซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma Thinking) หลังจากการประยุกต์ใช้นำเอาวิธีการซิกซ์ ซิกม่าไปทำการปรับปรุงแก้ไขปัญหาต่างๆ (Six Sigma Improvement) การนำเอาวิธีการซิกซ์ ซิกม่าไปใช้เพื่อการออกแบบชิ้นส่วน (Design for Six Sigma) และการผสมผสานหลักการลีนและวิธีการซิกซ์ ซิกม่า เพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหา ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ดังตารางที่ ก-2 และสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ ดังภาพที่ 2-10



ภาพที่ 2-10 แผนภาพงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ส่วนการนำทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากบทที่สองไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้จะซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในบทที่สามต่อไป

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

จากทฤษฎีต่างๆ ที่นำมาใช้ในการทำวิจัยที่กล่าวมาในบทที่ 2 ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินการวิจัยมาประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาในงานวิจัยนี้ เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 8 ขั้นตอน ตามแนวทางของซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนต่อไปนี้

3.1.1 การสำรวจสภาพการดำเนินงานทางการผลิตและปัญหาที่เกิดขึ้น

3.1.2 การกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase)

3.1.2.1 การกำหนดวัตถุประสงค์ของการวิจัย

3.1.2.2 การพิจารณาความสามารถของกระบวนการผลิต (Process Capability)

3.1.3 การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

3.1.3.1 ทำการศึกษากระบวนการผลิตทั้งกระบวนการ

3.1.3.2 การระดมความคิดเพื่อแจกแจงสาเหตุและผลกระทบของข้อบกพร่อง (Cause and Effect Diagram)

3.1.3.3 วิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับ

3.1.3.4 การระดมความคิดเพื่อทำการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effect Analysis : FMEA)

3.1.3.5 การวิเคราห์โดยใช้แผนผังพาเรโต (Parato Diagram)

3.1.3.6 สรุปผลและวางแผนขั้นตอนต่อไป

3.1.4 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

3.1.4.1 การทดสอบความมีนัยสำคัญด้วยเครื่องมือทางสถิติ เช่น ANOVA, Hypothesis Testing

3.1.4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อเลือกปัจจัยที่สำคัญที่ต้องนำไปทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป

3.1.4.3 สรุปผลและวางแผนขั้นตอนต่อไป

3.1.5 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

3.1.5.1 การออกแบบการทดลอง (DOE)

3.1.5.2 กำหนดตัวแปร และข้อจำกัดต่างๆ ที่อาจจะส่งผลกระทบต่อการทดลอง

3.1.5.3 กำหนดขั้นตอนการทดลองและวิธีการเก็บข้อมูล

3.1.5.4 ทำการทดลองตามที่วางแผนไว้

3.1.5.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

3.1.6 การควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control Phase)

3.1.6.1 ทำการพิจารณาเลือกแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมกับตัวแปรนั้นๆ

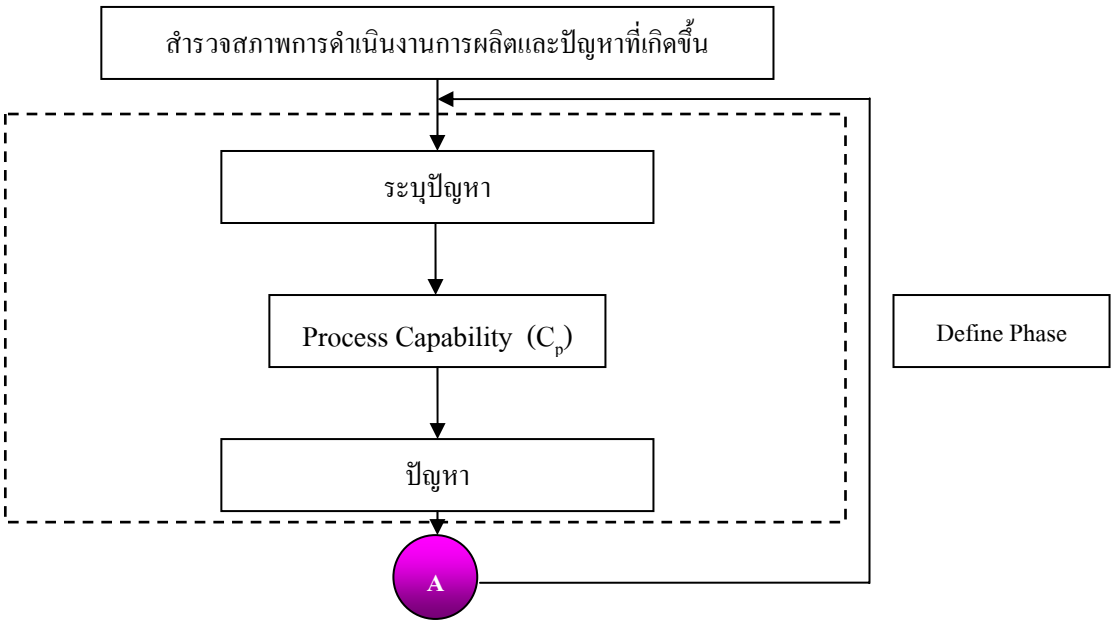
3.1.6.2 กำหนดวิธีการวัด ขนาดตัวอย่าง และความถี่ในการวัด

3.1.6.3 เก็บข้อมูลหลังการปรับปรุง

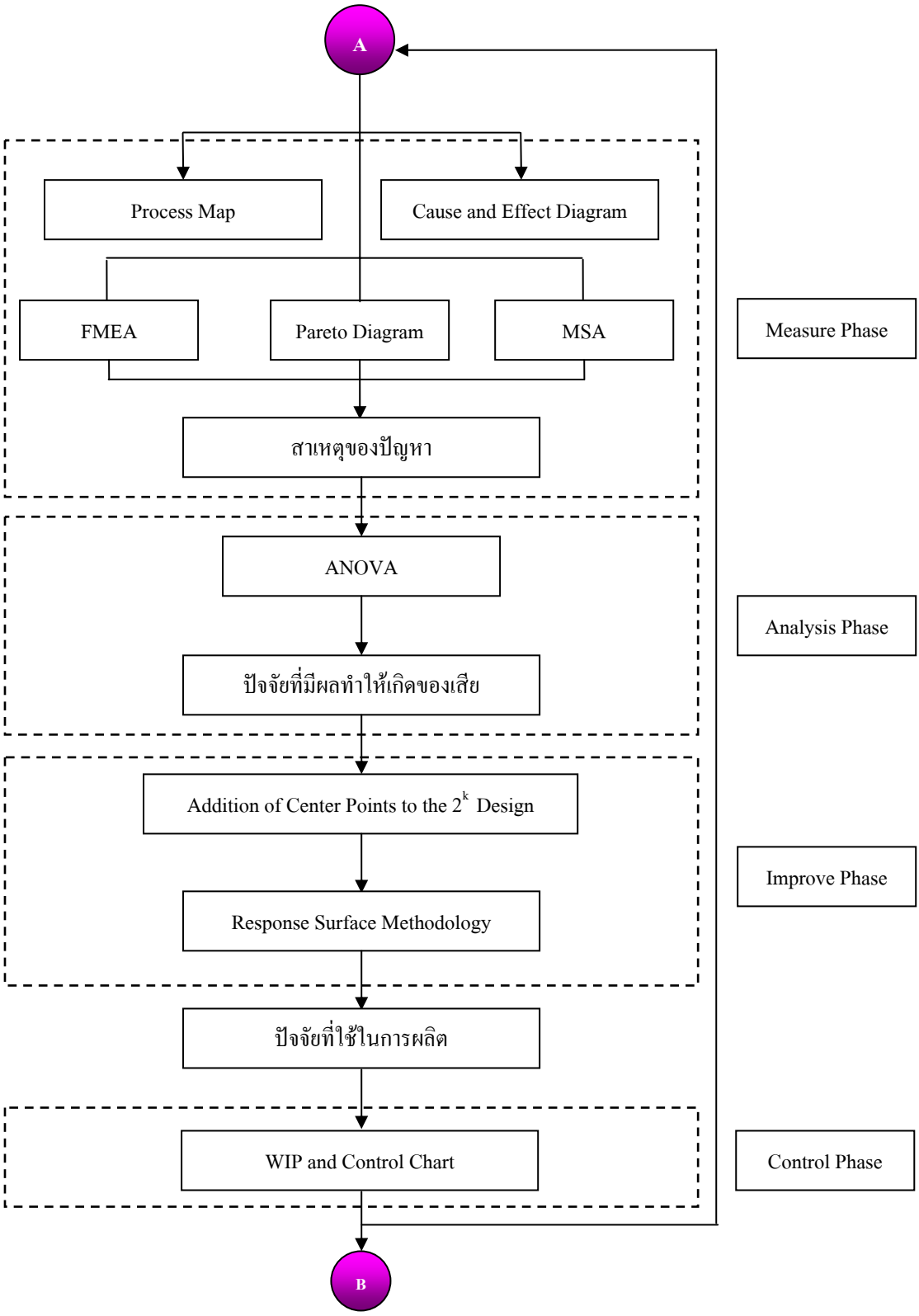
3.1.6.4 สรุปผลการปรับปรุง

3.1.7 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

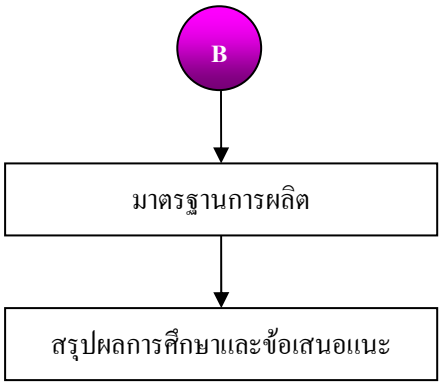
3.1.8 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ ดังแสดงในภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 เครื่อข่ายการดำเนินงานวิจัย


A
Process Map
Cause and Effect Diagram
FMEA
Pareto Diagram
MSA
Measure Phase
สาเหตุของปัญหา
ANOVA
Analysis Phase
ปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดของเสีย
Addition of Center Points to the 2^k Design
Improve Phase
Response Surface Methodology
ปัจจัยที่ใช้ในการผลิต
WIP and Control Chart
Control Phase
B

ภาพที่ 3-1 (ต่อ)



ภาพที่ 3-1 (ต่อ)

3.2 การสำรวจสภาพการดำเนินงานทางการผลิตและปัญหาที่เกิดขึ้น

3.2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของบริษัทกรณีศึกษา

บริษัท แสงเจริญเพลทติ้ง (2005) จำกัด โดยเป็นบริษัทที่มีประสบการณ์ในการชุบมากกว่า 40 ปีจากบริษัทในเครือแสงเจริญ ซึ่งได้แก่ บริษัทแสงเจริญเพลทติ้งเซอร์วิส จำกัด บริษัทแสงเจริญกัลวาไนซ์ จำกัด บริษัทแสงเจริญฮอทดิพ กัลวาไนซ์ จำกัด โดยภารกิจหลักของบริษัทฯ คือ การรองรับอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ที่ต้องการการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยโครเมี่ยม และส่งมอบชิ้นส่วนรถยนต์ด้วยคุณภาพระดับโลกได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นไปได้ตามกำหนดเวลา เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า ทำให้บริษัท สามารถให้ผลตอบแทนกลับคืนไปยังผู้ถือหุ้นได้ตามสมควรรวมทั้งเสริมสร้างรากฐานชีวิตความเป็นอยู่ที่ดี และการพัฒนาพนักงานของบริษัททุกคน ในขณะเดียวกันก็ช่วยส่งเสริมชุมชน และรักษาสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ บริษัทดำเนินกิจการอยู่ภายใต้นโยบายคุณภาพที่ว่า “ให้นโยบายด้วยงานทีคุณภาพทันตามกำหนดเวลา เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า และพัฒนาองค์กรอย่างต่อเนื่อง”

นอกจากนี้ทางโรงงานได้มีพัฒนาและมีการจัดทำระบบคุณภาพ ISO9001 : 2000 ในองค์กรขึ้น เพื่อที่จะสามารถผลิตสินค้าที่มีคุณภาพสร้างความพึงพอใจให้แก่ลูกค้า

3.2.2 ลักษณะผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์หลักของโรงงานจะเป็นการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ที่ต้องการชุบเคลือบผิวด้วยโครเมี่ยม ซึ่งในปัจจุบันชิ้นส่วนรถยนต์หลักที่ส่งมาทำการชุบ คือ กันชนท้ายรถยนต์ดังแสดงในภาพที่ 3-2

ภาพที่ 3-2 ชิ้นส่วนกันชนหลังรถยนต์ที่ทำการชุบโครเมี่ยม

3.2.3 กระบวนการผลิต

กระบวนการชุบเคลือบผิวชิ้นส่วนรถยนต์เป็นการผลิตแบบต่อเนื่อง โดยการใช้เครื่องจักรและแรงงานคนร่วมกันการผลิตสินค้านั้นจะผลิตตามแบบที่ลูกค้าสั่งผลิต ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้

3.2.3.1 การตรวจรับชิ้นงาน ทำการพิจาณาความเรียบร้อยของผิวชิ้นงานโดยจะต้องไม่มีสนิม รอยบุบ รอยแตก รอยร้าว และลักษณะการเสียรูปทรงต่าง เช่น บิดงอ มีรอยบิ่น มีรอยข่วนลึก

3.2.3.2 การเตรียมผิวชิ้นงานก่อนชุบ เนื่องจากผิวของชิ้นงานที่จะทำการชุบนั้นอาจมีร่องรอยต่างอยู่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการเตรียมผิวชิ้นงานด้วยล้อขัดที่เคลือบด้วยผงทราย (Emery Wheel) ขนาดของผงทรายมีขนาดตั้งแต่ เบอร์ 180, 240, 320 และทำการขัดผิวชิ้นงานด้วยล้อหางม้า ซึ่งทำจากวัสดุเทมฝีโคไฟเบอร์ หรือบางอย่างทำจากปอ สุดท้าย คือ การตรวจสอบผิวงานที่ทำการขัดด้วยขัดที่เคลือบด้วยผงทราย และล้อหางม้า

3.2.3.3 ทำการเคลื่อนย้ายด้วยรถเข็น เพื่อนำชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพผิวไปสู่บ่อชุบโดยวางบน Jig และนำ Jig ที่มีชิ้นงานแขวนอยู่ไปแขวนไว้บนเครน

3.2.3.4 การนำชิ้นงานลงบ่อน้ำด่างร้อน (Soak Clean : บ่อที่ 1) เนื่องจากผิวชิ้นงานอาจจะมีคราบน้ำมันหรือไขมันเกาะติดอยู่ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องเอาน้ำมันหรือไขมันออกจากผิวชิ้นงาน จากนั้นทำการตรวจเช็คคราบไขมัน โดยตรวจดูว่าไม่มีคราบไขมันติดอยู่ที่ผิวชิ้นงาน

3.2.3.5 ทำการเคลื่อนย้ายชิ้นงานที่ทำการชุบกำจัดไขมันในบ่อที่ 1 ด้วยเครนไปยังบ่อที่ 2 และ 3 ซึ่งเป็นบ่อน้ำประปา

3.2.3.6 ล้างชิ้นงานด้วยน้ำประปา (บ่อที่ 2 และ 3) หลังจากทำการชุบกำจัดไขมันในบ่อที่ 1 แล้วก็นำชิ้นงานมาทำความสะอาดด้วยน้ำ 2 ครั้ง โดยการจุ่มลงในบ่อน้ำประปาทั้งสองบ่อตามลำดับ

3.2.3.7 ทำการเคลื่อนย้ายชิ้นงานที่ทำล้างด้วยน้ำประปาในบ่อที่ 2 และ 3 ด้วยเครนไปยังบ่อที่ 4 ซึ่งเป็นบ่อน้ำด่างร้อน

3.2.3.8 ล้างชิ้นงานโดยการนำชิ้นงานลงในบ่อไฟฟ้าด่าง (Electro Clean : บ่อที่ 4) เพื่อทำให้ชิ้นงานสะอาดหมดจด

3.2.3.9 ทำการเคลื่อนย้ายชิ้นงานที่ทำล้างน้ำด่างร้อนในบ่อที่ 4 ด้วยเครนไปยังบ่อที่ 5 และ 6 ซึ่งเป็นบ่อน้ำประปา

3.2.3.10 ล้างชิ้นงานด้วยน้ำประปา (บ่อที่ 5 และ 6) หลังจากทำการล้างด้วยน้ำด่างร้อนเสร็จแล้วทำการล้างชิ้นงานด้วยน้ำประปา 2 ครั้ง เหมือนในขั้นตอนที่ 6

3.2.3.11 ทำการเคลื่อนย้ายชิ้นงานที่ทำล้างน้ำประปาในบ่อที่ 5 และ 6 ด้วยเครนไปยังบ่อที่ 7 ซึ่งเป็นบ่อกรด

3.2.3.12 การล้างทำความสะอาดด้วยกรด (Pickling and Dipping : บ่อที่ 7) เพื่อทำการกัดสนิมเหล็ก และทำให้ผิวเงาสุกใส

3.2.3.13 ทำการเคลื่อนย้ายชิ้นงานที่ทำล้างในบ่อกรดในบ่อที่ 7 ด้วยเครนไปยังบ่อที่ 7 และ 8 ซึ่งเป็นน้ำกลั่นเพื่อทำการล้าง

3.2.3.14 ล้างชิ้นงานด้วยน้ำกลั่น (บ่อที่ 8 และ 9) หลังจากทำการชุบในบ่อที่ 7 แล้วก็นำชิ้นงานมาชุบทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง ทำโดยการจุ่มลงในบ่อน้ำประปาทั้งสองบ่อตามลำดับ

3.2.3.15 ทำการเคลื่อนย้ายชิ้นงานที่ทำล้างน้ำกลั่นในบ่อที่ 8 และ 9 ด้วยเครนไปยังบ่อที่ 10 ซึ่งเป็นบ่อกรดบ่อที่ 2

3.2.3.16 ชุบชิ้นงานในบ่อกรด (บ่อที่ 10) เพื่อทำการกระตุ้นผิวชิ้นงานให้สามารถชุบเคลือบผิวด้วยนิเกิลในบ่อต่อไปได้

3.2.3.17 ทำการเคลื่อนย้ายชิ้นงานที่ทำชุบในบ่อกรดในบ่อที่ 10 ด้วยเครนไปยังบ่อที่ 11 ซึ่งเป็นบ่อน้ำกลั่น

3.2.3.18 ล้างชิ้นงานด้วยน้ำกลั่น (บ่อที่ 11) หลังจากทำการชุบในบ่อที่ 10 แล้วก็นำชิ้นงานมาชุบทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น

3.2.3.19 ทำการเคลื่อนย้ายชิ้นงานที่ทำล้างด้วยน้ำกลั่นในบ่อที่ 11 ด้วยเครนไปยังบ่อที่ 12, 13, 14 ซึ่งเป็นบ่อนิเกิลกึ่งเงา

3.2.3.20 ชุบชิ้นงานลงในบ่อนิเกิลกึ่งเงา (Semi-Bright Nickel : บ่อที่ 12, 13 และ 14) การชุบนิเกิลกึ่งเงานี้ใช้ชุบรองพื้นก่อนชุบเงา ซึ่งนิเกิลกึ่งเงานี้มีความเหนียวดีกว่านิเกิลเงาและไม่

เปราะเวลาชุบมีการเคลือบดีกว่านิเกิลเงา เนื่องจากว่ามีสารบางอย่างใส่ลงไปเพื่อเกิดความเหนียวแน่นบนผิวนิเกิล

3.2.3.21 ทำการเคลื่อนย้ายชิ้นงานที่ทำชุบในบ่อนิเกิลกึ่งเงา ในบ่อที่ 12, 13 และ 14 ด้วยเครนไปยังบ่อที่ 15 และ16 ซึ่งเป็นบ่อนิเกิลเงา

3.2.3.22 ชุบชิ้นงานในบ่อนิเกิลเงา (Bright Nickel : บ่อที่ 15 และ 16) การชุบนิเกิลเงานี้จะเป็นตัวชุบรองพื้นให้เงาก่อนชุบโครเมี่ยม

3.2.3.23 ทำการเคลื่อนย้ายชิ้นงานที่ทำชุบแล้วในบ่อนิเกิลเงาในบ่อที่ 15 และ 16 ด้วยเครนไปยังบ่อที่ 17 ซึ่งเป็นบ่อน้ำกลั่น

3.2.3.24 ทำล้างชิ้นงานด้วยน้ำกลั่น (บ่อที่ 17) หลังจากทำการชุบในบ่อที่ 15 และ 16 แล้วก็นำชิ้นงานมาชุบทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น

3.2.3.25 ทำการเคลื่อนย้ายชิ้นงานที่ทำการล้างชิ้นงานด้วยน้ำกลั่นเสร็จแล้วในบ่อที่ 17 ด้วยเครนไปยังบ่อที่ 18 ซึ่งเป็นบ่อชุบไมโครนิเกิล

3.2.3.26 นำชิ้นงานมาทำการชุบไมโครนิเกิล (Mico Nickel : บ่อที่ 18) เป็นการชุบให้ผิวโลหะมีความมันเงาขึ้น

3.2.3.27 ทำการเคลื่อนย้ายชิ้นงานที่ทำการชุบไมโครนิเกิลในบ่อที่ 18 ด้วย เครนไปยังบ่อที่ 19, 20 และ 21 ซึ่งเป็นบ่อน้ำกลั่น

3.2.3.28 ล้างชิ้นงานด้วยน้ำกลั่น (บ่อที่ 19, 20 และ 21) หลังจากทำการชุบในบ่อที่ 17 แล้วก็นำชิ้นงานมาชุบทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง โดยการจุ่มลงในบ่อน้ำกลั่นทั้งสามบ่อตามลำดับ

3.2.3.29 ทำการเคลื่อนย้ายชิ้นงานที่ทำล้างด้วยน้ำกลั่นในบ่อที่ 19, 20 และ 21 ด้วยเครนไปยังบ่อที่ 22 ซึ่งเป็นบ่อชุบกระตุ้นผิวโครเมี่ยม

3.2.3.30 นำชิ้นงานมาชุบกระตุ้นผิวโครเมี่ยม (บ่อที่ 22) เพื่อเตรียมผิวให้โครเมี่ยมยึดเกาะดียิ่งขึ้น

3.2.3.31 ทำการเคลื่อนย้ายชิ้นงานที่ทำการชุบกระตุ้นผิวโครเมี่ยมแล้วในบ่อที่ 22 ด้วยเครนไปยังบ่อที่ 23 ซึ่งเป็นบ่อชุบโครเมี่ยม

3.2.3.32 ชุบผิวชิ้นงานด้วยโครเมี่ยม (Chromium Plating : บ่อที่ 23) เป็นการชุบเพื่อจุดมุ่งหมายป้องกันไม่ให้โลหะอื่นเป็นสนิม และให้ความสวยงาม ทนต่อการเสียดสี และทนต่อการผุกร่อน

3.2.3.33 ทำการเคลื่อนย้ายชิ้นงานที่ทำการชุบโครเมี่ยมในบ่อที่ 23 ด้วยเครนไปยังบ่อที่ 24, 25 และ 26 ซึ่งเป็นบ่อน้ำกลั่น

3.2.3.34 ล้างชิ้นงานด้วยน้ำกลั่น (บ่อที่ 24, 25 และ 26) หลังจากทำการชุบในบ่อที่ 23 แล้วก็นำชิ้นงานมาชุบทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง โดยการจุ่มลงในบ่อน้ำกลั่นทั้งสามบ่อตามลำดับ

3.2.3.35 จากนั้นทำการผึ่งให้แห้ง และทำการตรวจสอบหลังการชุบ

3.2.3.36 ทำการยกชิ้นงานลงจากเครน และนำชิ้นงานออกจาก Jig วางบนรถเข็นและเคลื่อนย้ายชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพผิวไปสู่ขั้นตอนการพ่นสี และบรรจุหีบห่อ

3.2.3.33 ทำการพ่นสีและตรวจสอบคุณภาพขั้นสุดท้ายเตรียมบรรจุหีบห่อ ดังภาพที่ 3-3

แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต (Process Chart)		METHOD	SUMMART IMPROVED
หัวข้อแผนภูมิ : กระบวนการชุบโครเมี่ยม		OPERATION ○	19
แผนก : ฝ่ายการผลิต		TRANSPORT ⇨	20
ผู้รับผิดชอบ : คุณเชาว์ คุ้มชาติ		DELAYS D	1
SUMMART		HOLD □	1
DISTANCE (m)		INSPECTION ▽	5
TIME (min)	80	TOTAL	46

ขั้นตอนการผลิต	สัญลักษณ์ ○	⇨	D	□	▽
1. ตรวจรับชิ้นงานและสารเคมี					●
2 เคลื่อนย้ายชิ้นงานและสารเคมี		●			
3. การเตรียมผิวชิ้นงานก่อนชุบด้วยล้อขัด	●				
4. เคลื่อนย้านชิ้นงานด้วยยกจากคนงาน		●			
5. ตรวจสอบงานขัด					●
6. นำชิ้นงานวางบน Jig นำ Jig วางบนเครน	●				
7. การล้างด้วยน้ำด่างร้อน (Soak Clean : บ่อที่ 1)	●				
8. ตรวจดูว่าไม่มีคราบไขมันติดอยู่ที่ผิวชิ้นงาน					●
9. เคลื่อนย้ายด้วยเครน		●			

ภาพที่ 3-3 แผนภาพกระบวนการชุบโครเมี่ยม

แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต (Process Chart)		METHOD	SUMMART IMPROVED
หัวข้อแผนภูมิ : กระบวนการชุบโครเมี่ยม		OPERATION ○	19
แผนก : ฝ่ายการผลิต		TRANSPORT ⇨	20
ผู้รับผิดชอบ : คุณเชาว์ คุ้มชาติ		DELAYS D	1
SUMMART		HOLD □	1
DISTANCE (m)		INSPECTION ▽	5
TIME (min)	80	TOTAL	46

ขั้นตอนการผลิต	สัญลักษณ์ ○	⇨	D	□	▽
10. ล้างชิ้นงานด้วยน้ำประปา (บ่อที่ 2-3) ตามลำดับ	●				
11. เคลื่อนย้ายด้วยเครน		●			
12. การล้างด้วยน้ำด่างร้อน (Electro Clean : บ่อที่ 4)	●				
13. เคลื่อนย้ายด้วยเครน		●			
14. ล้างชิ้นงานด้วยน้ำประปา (บ่อที่ 5-6) ตามลำดับ	●				
15. เคลื่อนย้ายด้วยเครน		●			
16. การล้างทำความสะอาดด้วยกรด (Pickling and Dipping : บ่อที่ 7)	●				
17. เคลื่อนย้ายด้วยเครน		●			
18. ล้างชิ้นงานด้วยน้ำกลั่น (บ่อที่ 8-9) ตามลำดับ	●				
19. เคลื่อนย้ายด้วยเครน		●			
20. ชุบชิ้นงานในบ่อกรด (บ่อที่ 10)	●				
21. เคลื่อนย้ายด้วยเครน		●			
22. ล้างชิ้นงานด้วยน้ำกลั่น (บ่อที่ 11)	●				
23. เคลื่อนย้ายด้วยเครน		●			
24. ชุบชิ้นงานในบ่อนิเกิลกึ่งเงา (Semi–Bright Nickel : บ่อที่ 11, 12, 13)	●				
25. เคลื่อนย้ายด้วยเครน		●			
26. ชุบชิ้นงานในบ่อนิเกิลเงา (Bright Nickel : บ่อที่ 15, 16)	●				

ภาพที่ 3-3 (ต่อ)

แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต (Process Chart)		METHOD	SUMMART IMPROVED
หัวข้อแผนภูมิ : กระบวนการชุบโครเมี่ยม		OPERATION ○	19
แผนก : ฝ่ายการผลิต		TRANSPORT ⇨	20
ผู้รับผิดชอบ : คุณเชาว์ คุ้มชาติ		DELAYS D	1
SUMMART		HOLD □	1
DISTANCE (m)		INSPECTION ▽	4
TIME (min)	80	TOTAL	46

ขั้นตอนการผลิต	สัญลักษณ์ ○	⇨	D	□	▽
27. เคลื่อนย้ายด้วยเครน		●			
28. ล้างชิ้นงานด้วยน้ำกลั่น (บ่อที่ 17)	●				
29. เคลื่อนย้ายด้วยเครน		●			
30. นำชิ้นงานมาทำการชุบไมโครนิเกิล (Mico Nickel : บ่อที่ 18)	●				
31. เคลื่อนย้ายด้วยเครน		●			
32. ล้างชิ้นงานด้วยน้ำกลั่น (บ่อที่ 19–20-21)	●				
33. เคลื่อนย้ายด้วยเครน		●			
34. นำชิ้นงานมาชุบกระตุ้นผิวโครเมี่ยม (บ่อที่ 22)	●				
35. เคลื่อนย้ายด้วยเครน		●			
36. ชุบผิวชิ้นงานด้วยโครเมี่ยม (Chromium Plating : บ่อที่ 23)	●				
37. เคลื่อนย้ายด้วยเครน		●			
38. ล้างชิ้นงานด้วยน้ำกลั่น (บ่อที่ 24–25-26) ตามลำดับ	●				
39. เคลื่อนย้ายด้วยเครน		●			
40. ทำการผึ่งให้แห้ง			●		
41. เคลื่อนย้ายชิ้นงานด้วยรถเข็น		●			
42. ทำการตรวจสอบหลังการชุบ					●
43. เคลื่อนย้ายชิ้นงานด้วยรถเข็น		●			

ภาพที่ 3-3 (ต่อ)

แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต (Process Chart)		METHOD	SUMMART IMPROVED
หัวข้อแผนภูมิ : กระบวนการชุบโครเมี่ยม		OPERATION ○	19
แผนก : ฝ่ายการผลิต		TRANSPORT ⇨	20
ผู้รับผิดชอบ : คุณเชาว์ คุ้มชาติ		DELAYS D	1
SUMMART		HOLD □	1
DISTANCE (m)		INSPECTION ▽	5
TIME (min)	80	TOTAL	46

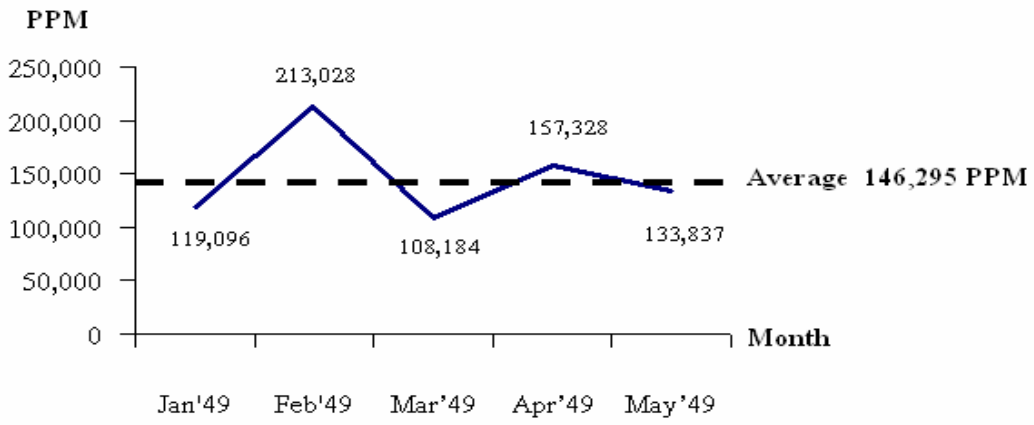
ขั้นตอนการผลิต	สัญลักษณ์ ○	⇨	D	□	▽
44. ทำการพ่นสี	●				
45. ตรวจสอบคุณภาพขั้นสุดท้ายเตรียมบรรจุหีบห่อ					●
46. บรรจุหีบห่อ				●	

ภาพที่ 3-3 (ต่อ)

3.2.4 สภาพปัญหาที่เกิดขึ้น

ในสายการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยโครเมี่ยมนั้น เมื่อทำการผลิตชิ้นงานออกมาแล้วชิ้นงานจะมีปัญหาทางด้านคุณภาพผิวที่เหมือนๆ กันคือ มีรอยขีดข่วน รอยบุบ รอยสนิม ผิวชิ้นงานเป็นเม็ดหรือตามด เป็นต้น หากชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการชุบแล้วมีรอยตำหนิดังกล่าวแล้ว ชิ้นงานเหล่านั้นจำเป็นต้องทำการผลิตใหม่ (Rework) โดยการนำไปลอกโครเมี่ยมออกและทำการชุบโครเมี่ยมใหม่ ซึ่งทำให้เกิดต้นทุนในการผลิตที่สูงขึ้น

จากการตรวจสอบข้อมูลสถิติของเสียจากกระบวนการชุบ เดือน ม.ค–พ.ค. ปี 2549 ดังตารางที่ ข-1 พบว่าของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการอยู่ระหว่าง 108,184 PPM ถึง 213,028 PPM หรือระดับ 10.81 ถึง 21.3 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิต ที่ระดับการผลิตเฉลี่ย 4,686 ชิ้นงานต่อเดือน มีค่าเฉลี่ยของของเสียต่อเดือน เท่ากับ 146,295 PPM ซึ่งจัดอยู่ในช่วงของ 1σ นับได้ว่าเป็นค่ามาตรฐานที่ค่อนข้างต่ำ จึงควรที่จะแก้ไขปรับปรุงกระบวนการเพื่อให้มีระดับมาตราฐานที่สูงขึ้น



ภาพที่ 3-4 ของเสียที่เกิดขึ้นช่วงเดือน ม.ค-พ.ค. ปี 2549

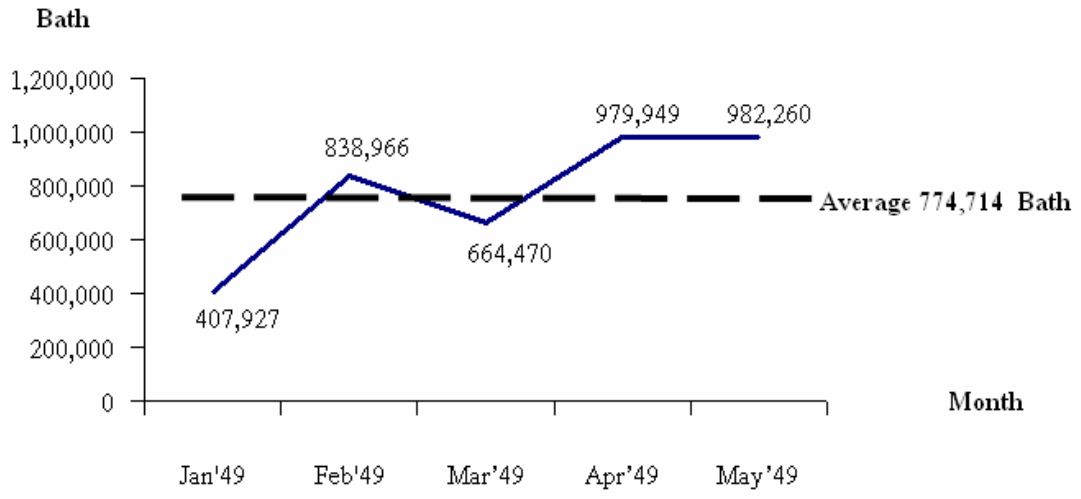
เมื่อทำการพิจารณาข้อมูลด้านต้นทุนจากฐานข้อมูลบริษัท พบว่า ต้นทุนการผลิตมาจากองค์ประกอบหลัก คือ ค่าแรงงานทางตรง (Direct Labor) ค่าวัตถุดิบจำพวกน้ำยาชุบและสารเคมี (Material Labor) และค่าโสหุ้ย (Overhead Cost) ซึ่งมีรายละเอียด ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 รายละเอียดต้นทุนการผลิตต่อชิ้นงาน

รายการ	บาทต่อชิ้นงาน
1. ค่าจ้างขัด	100
2. ค่าจ้างพนักงานตรวจสอบ	15
3. ค่าเครื่องมือและวัสดุขัดเตรียมผิวชิ้นงาน	100
4. ค่าเครื่องมือและวัสดุเคาะตกแต่งชิ้นงาน	50
5. ค่าไฟฟ้า	18
6. ค่าวัสดุดิบและสารเคมี	813
7. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ	59.60
รวม	1,155.60

จากตารางที่ 3-1 พบว่า ในการผลิตชิ้นงานจะมีต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 1,155.60 บาทต่อชิ้นงาน หากพิจารณาต้นทุนที่เพิ่มขึ้น โดยคำนวนจากจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในช่วงเดือน ม.ค-พ.ค. ปี 2549 คูณกับต้นทุนการการผลิตต่อชิ้นงานแล้ว ทำให้ทราบถึงมีค่าเฉลี่ยต้นทุนที่เพิ่มขึ้น

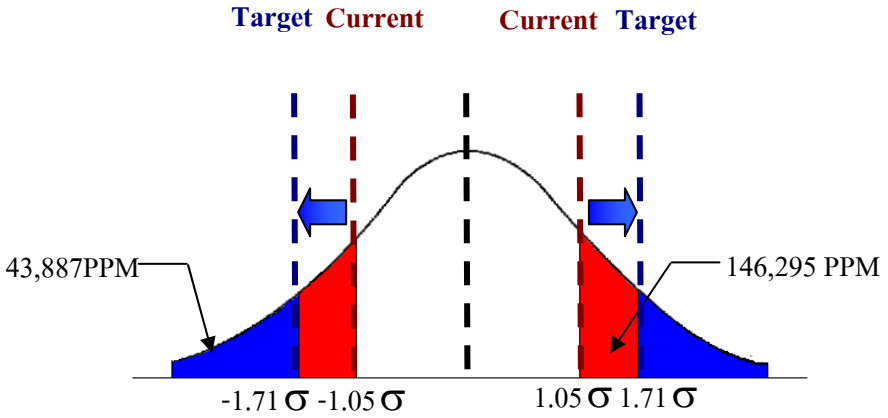
เฉลี่ยเท่ากับ 774,714 บาทต่อเดือน ที่ระดับการผลิตเฉลี่ย 4,686 ชิ้นงานต่อเดือน ดังภาพที่ 3.5 ดังนั้น ผู้วิจัยเห็นควรว่าควรหาสาเหตุอันเนื่องมาจากวัตถุดิบเสีย เพื่อช่วยในการลดต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้นได้



ภาพที่ 3-5 ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นช่วงเดือน ม.ค-พ.ค. ปี 2549

3.3 เป้าหมายการดำเนินงานวิจัย

เป้าหมายของโครงงานวิจัยนี้ คือ การลดอัตราของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการชุบโครเมี่ยมลงจากเดิม 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าเฉลี่ยของเสียต่อเดือนเดิมอยู่ที่ 146,295 PPM ลดลงเหลือเพียงเดือนละ 43,888 PPM



ภาพที่ 3-6 เป้าหมายการดำเนินโครงงานวิจัย

3.4 บทสรุป

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทที่ 3 แล้วนั้นทำให้สามารถสร้างขั้นตอนการดำเนินงาน และถือว่าขั้นตอน DMAIC เป็นกุญแจสำคัญในการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการซิกซ์ซิกม่า โดยขั้นตอนนั้นจะเริ่มต้นจากการสำรวจการดำเนินงานการผลิตและปัญหาเบื้องต้นทำให้เราทราบถึงความรุ่นแรงของปัญหาและทำให้สามารถประมาณค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้น นำไปสู่การกำหนดวัตถุประสงค์ของการวิจัยได้ ในขั้นตอนการกำหนด (Define Phase) จะเป็นการกำหนดทีมงาน หัวหน้าทีม วางแผนการปฏิบัติงาน และเก็บรวบรวมข้อมูล ในขั้นตอนดังกล่าวนี้จะทำการวัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการสะท้อนด้วยค่าความสามารถกระบวนการ เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างแผนงานในการแก้ไข ในขั้นตอนการวัด (Measure Phase) เป็นขั้นตอนวัดความผิดพลาดต่างๆ และเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการปรับปรุง โดยเริ่มต้นจากการสร้างแผนที่กระบวนการทำให้สามารถทราบถึงปัจจัยและความสัมพันธ์ในแต่ละงานในกระบวนการ หลังจากนั้นนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาจากการศึกษามาสร้างแผนที่กระบวนการ จากนั้นเข้าสู่การระดมสมองสร้างผังก้างปลา เพื่อแสดงเหตุและผลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา และนำปัจจัยที่ระบุในผังก้างปลามาเข้าสู่กระบวนการระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ เพื่อค้นหาสาเหตุที่น่าจะมีผลกระทบต่อปัญหามากที่สุด และสุดท้ายทำการวิเคราะห์ระบบการวัด เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการวัดของพนักงาน ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้ก็คือ สาเหตุของปัญหาที่ก่อให้เกิดปัญหา จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analysis Phase) ขั้นตอนนี้จะนำข้อมูลที่ได้มาจากการวัดหรือตรวจสอบ เพื่อมาวิเคราะห์ทางสถิติว่ามีผลหรือไม่กับปัญหาที่เกิดขึ้น ผลลัพธ์จากขั้นตอนนี้ คือ ปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดของเสีย ในขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase) เป็นการหาทางปรับรุงแก้ไข รวมถึงการวัดประสิทธิภาพและประสิทธิผล การปรับปรุงจะต้องเป็นแบบถาวร เพื่อลดโอกาสของความผิดพลาดในอนาคต เครื่องมือที่ใช้ในขั้นตอนนี้ คือ การออกแบบการทดลอง สู่ขั้นตอนสุดท้ายคือการควบคุม (Control Phase) เมื่อทำการปรับปรุงแก้ไขอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลแล้ว ต้องมีการควบคุมเพื่อให้แน่ใจว่าจะไม่เกิดความผิดพลาด เนื่องจากสาเหตุที่ได้รับการแก้ไขแล้ว เครื่องมือที่ใช้ควบคุมในขั้นตอนนี้ คือ แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย จากขั้นตอนสุดท้ายนี้จำเป็นต้องมีการสรุปผลงานหลังจากการนำวิธีการซิกซ์ ซิกม่า มาใช้ในรูปของการแปลงความผิดพลาดที่ลดลงเป็นต้นทุนที่ลดลงหรือตัวเงินที่ไม่ต้องสูญเสียไป

จากขั้นตอนการดำเนินงานและปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ทำให้สามารถทราบถึงแนวทางในการนำวิธีการซิกซ์ ซิกม่ามาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ไขปัญหา ซึ่งผลการดำเนินงานจะกล่าวต่อไปในบทต่อไป

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานวิจัย

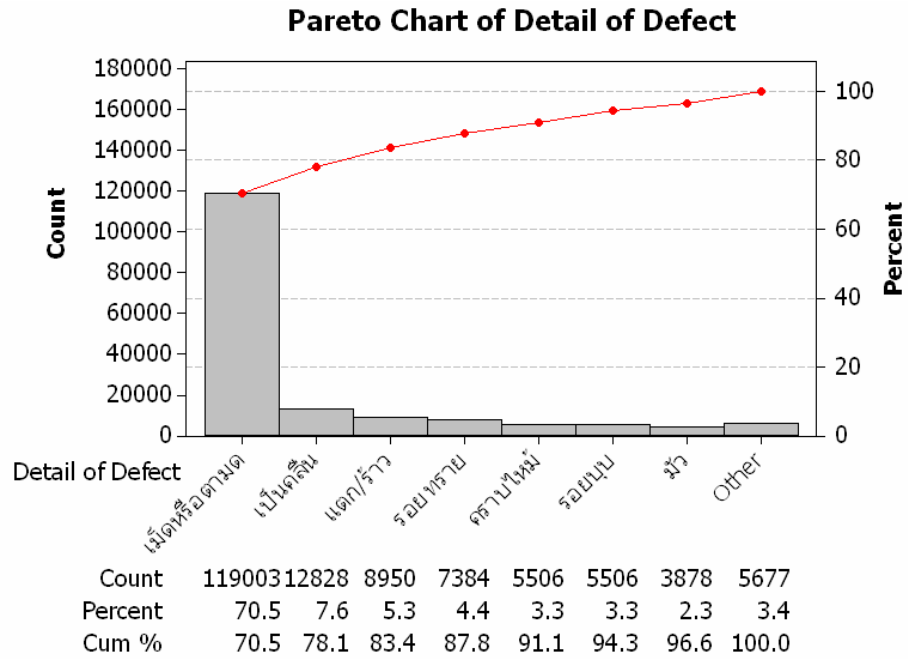
จากขั้นตอนการวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ซึ่งได้แสดงรายละเอียดวิธีการวิเคราะห์และแนวทางการแก้ไขปัญหาการเกิดของเสียในกระบวนการชุบโครเมี่ยม สำหรับในบทนี้จะแสดงถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการดำเนินงานแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่าโดยประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนที่เรียกย่อๆ ว่า DMAIC ซึ่งรายละเอียดในการดำเนินงานจะมีดังต่อไปนี้

4.1 การกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase)

ในขั้นตอนการกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้นนี้จะเริ่มต้นจากการระบุหัวข้อปัญหาที่จะทำการแก้ไขโดยจะพิจารณาถึงปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อองค์กรมากที่สุด ซึ่งจะทำให้สามารถวิเคราะห์และดำเนินการแก้ไขได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นได้ ต่อมาจะเป็นขั้นตอนการกำหนดตัวชี้วัดการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการ มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทราบถึงลักษณะความผันแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการ และสามารถกำหนดเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า โดยขั้นตอนต่างๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 การระบุปัญหา

จากการศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในช่วงเดือน ม.ค-พ.ค. ปี 2549 พบค่าเฉลี่ยการเกิดของเสียเท่ากับ 146,295 PPM ทำให้เกิดต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 774,714 บาทต่อเดือน อันมีสาเหตุมาจากผิวชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการผลิตนั้นเกิดรอยตำหนิไม่ผ่านตามเกณฑ์คุณภาพที่ลูกค้ากำหนด ซึ่งรอยตำหนิที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานยังที่จะสามารถแบ่งออกได้หลายลักษณะ ดังนั้นเพื่อที่จะสามารถดำเนินการแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงจำเป็นต้องมีการระบุหัวข้อของปัญหาที่จะทำการแก้ไข โดยอาศัยเครื่องมือทางด้านการควบคุมคุณภาพ คือ การจัดทำแผนภาพพาเรโต ซึ่งจะจำแนกตามลักษณะอาการของปัญหาด้านคุณภาพผิวชิ้นงานที่เป็นผลทำให้เกิดของเสียในช่วงเดือน ม.ค-พ.ค. ปี 2549 ดังภาพที่ 4-1



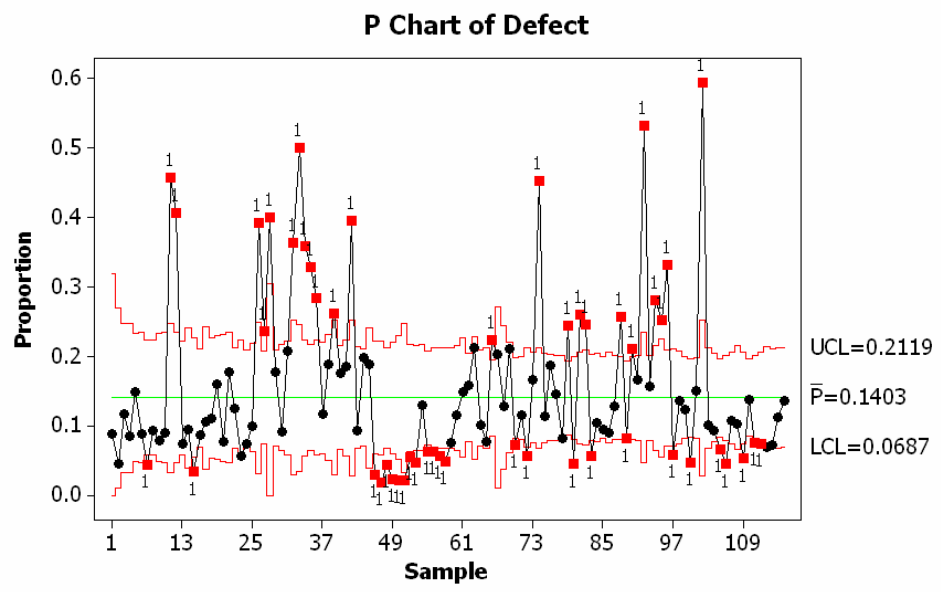
ภาพที่ 4-1 แผนภาพพาเรโตจำแนกตามลักษณะอาการของปัญหา

จากภาพที่ 4-1 พบว่า ของเสียส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นนั้นมาจากลักษณะอาการของผิวชิ้นงานที่ทำการผลิตเกิดเป็นเม็ดหรือตามดมากที่สุดเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 119,003 PPM สามารถคิดเป็น 70.5 เปอร์เซ็นต์ของการเกิดของเสียทั้งหมด ดังนั้นจึงเลือกศึกษาถึงสาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้เกิดเม็ดหรือตามดบนผิวชิ้นงาน และทำการแก้ไขป้องกัน เพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้น

4.1.2 ความสามารถกระบวนการ (Process Capability Index)

การศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบันสามารถศึกษาด้วยการวัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการสะท้อนด้วยค่า Process Capability (C_{pk}) และแสดงถึงค่าการเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่งของกระบวนการ

จากข้อมูลสถิติของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างเดือน ม.ค.-พ.ค. ปี 2549 สามารถนำมาเขียนเป็นแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p Chart) ดังภาพที่ 4-2 ซึ่งพบว่ามี 7 จุดต่อเนื่องกันลักษณะเป็นแนวโน้ม แสดงว่าค่าเฉลี่ยของขนาดควบคุมที่ผลิตได้จากกระบวนการนั้นมีปัญหา หรือมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนไปจากขนาดกำหนดที่ได้ตั้งเอาไว้ และกระบวนการมีสาเหตุอื่นๆ (Assignable Cause) เกิดขึ้น



ภาพที่ 4-2 แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียช่วงเดือน ม.ค.-พ.ค. ปี 2549

การศึกษาหาความสามารถกระบวนการช่วงเดือน ม.ค.-พ.ค. ปี 2549 จะสามารถทำได้จากแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย ดังภาพที่ 4-2 เนื่องจากแผนภูมิควบคุมดังกล่าว พบว่า ค่าของ p ออกนอกพิกัดควบคุมจึงจำเป็นต้องตัดออกและคำนวนค่า $\bar{p}$ ใหม่ ซึ่งจะได้เท่ากับ $\bar{p}_{new}$=0.1186

ในการประเมินความสามารถด้านศักยภาพจะถือว่ากระบวนการมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะจึงสามารถทำการเทียบเคียงด้วยการให้ค่าสัดส่วนของเสียเท่ากันที่แต่ละด้านของการแจกแจง ในที่นี้จะเท่ากับ 0.0593 ค่าที่ได้เมื่อทำการเปิดหาค่า Z_{Bench} จากตารางการแจกแจงแบบปกติมาตรฐานจะได้ค่า Z_{Bench}=1.5608

จากสูตร ดัชนีความสามารถเชิงศักยภาพของกระบวนการระยะยาว ดังสมการที่ 2-13

$$P_{p\,Bench} = \frac{1}{3}Z_{Bench}$$

แทนค่า

$$P_{p\,Bench} = \frac{1}{3}(1.5608)$$

$$= 0.520$$

เมื่อทำการพิจารณาดัชนีศักยภาพของกระบวนการระยะยาว ($P_{p\ Bench}$) พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.520 ซึ่งน้อยกว่า 1.33 แสดงว่าความสามารถของกระบวนการสายงานการชุบโครเมี่ยมมีความผันแปรสูงและมีความมั่นคงน้อย

จากสูตร อัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะยาว ดังสมการที่ 2-14

$$P_{R\ Bench} = \frac{1}{P_{p\ Bench}}$$

แทนค่า

$$P_{R\ Bench} = \frac{1}{0.520}$$

$$= 1.923$$

เมื่อทำการพิจารณาอัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะยาว ($P_{R\ Bench}$) พบว่า มีค่าเท่ากับ 1.923 ซึ่งจะมีค่ามากกว่า 0.88 แสดงว่ามีความผันแปรจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ในการดำเนินการระยะยาว (หรือผลจากการออกแบบกระบวนการ)

สำหรับการประเมินความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการจะพิจารณาโดยถือว่าผลิตภัณฑ์ทั้งหมดอยู่ที่ด้านใดด้านหนึ่งของการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งเมื่อเปิดจากตารางการแจกแจงแบบปกติ จะได้ค่า Z_{Bench}=1.188

จากสูตร ดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว ดังสมการที่ 2-15

$$P_{pk\ Bench} = \frac{1}{3}Z_{Bench}$$

แทนค่า

$$P_{pk\ Bench} = \frac{1}{3}(1.188)$$

$$= 0.396$$

เมื่อทำการพิจารณาดัชนีศักยภาพของกระบวนการระยะยาว ($P_{pk\ Bench}$) พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.396 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.33 แสดงว่าการเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่งกระบวนการมีความผันแปรมาก

สรุปการศึกษาความสามารถของกระบวนการในกระบวนการชุบโครเมี่ยม พบว่า ดัชนีความสามารถเชิงศักยภาพของกระบวนการระยะยาว อัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของ

กระบวนการระยะยาว และดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะยาวไม่อยู่ในระดับมาตรฐาน ดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 การเปรียบเทียบดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ

	$P_{p\ Bench}$	$P_{R\ Bench}$	$P_{pk\ Bench}$
ค่ามาตราฐาน	มากกว่า 1.33	น้อยกว่า 0.88	มากกว่า 1.33
ค่าที่คำนวนได้	0.520	1.923	0.396

4.1.3 สรุปผลการดำเนินงานการกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น

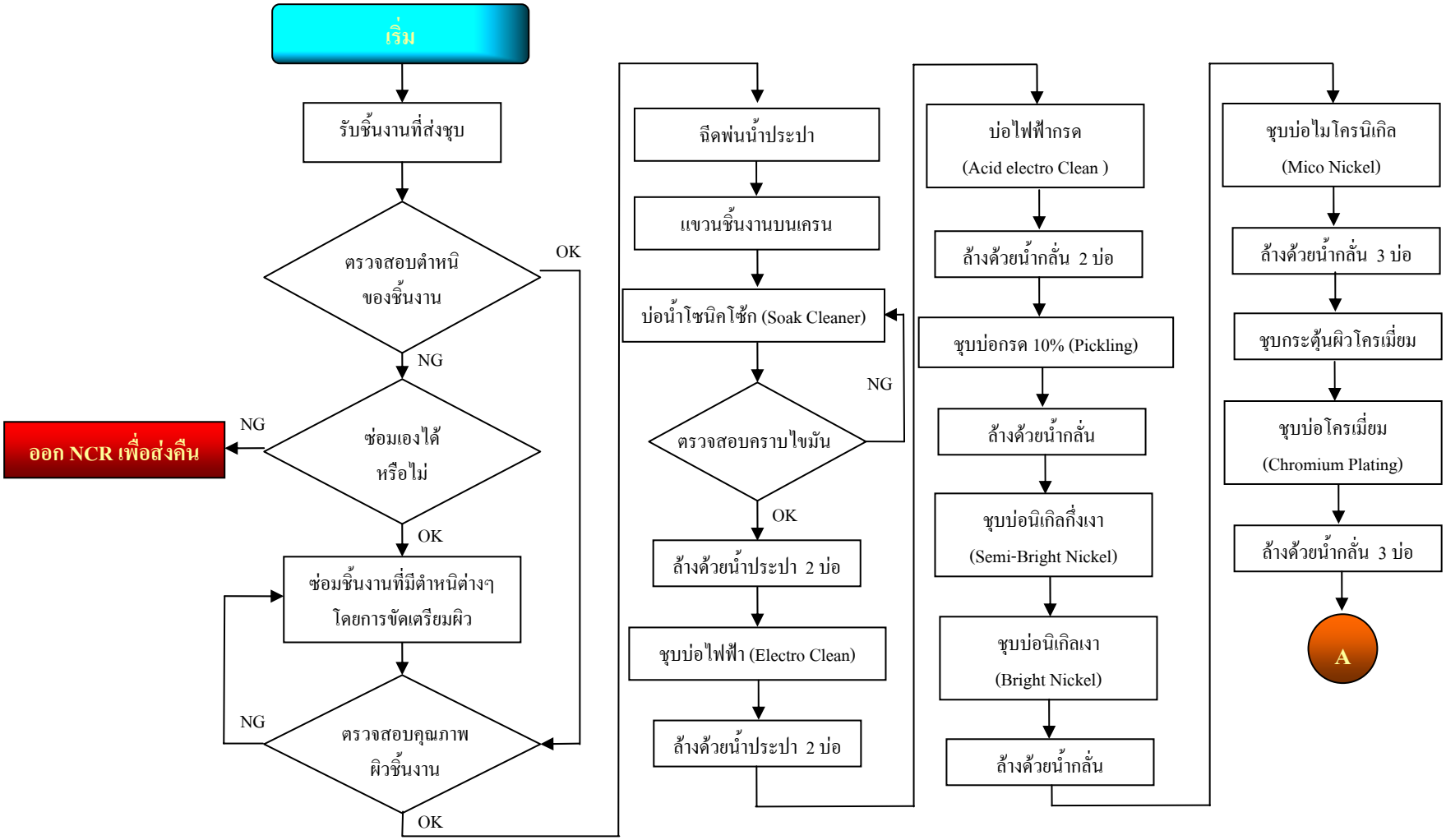
จากที่กล่าวมาทั้งหมดในส่วนของขั้นตอนการปัญหาที่เกิดขึ้น เริ่มตั้งแต่การพิจารณาปัญหาที่มีความรุ่นแรงมากที่สุดที่ทำให้เกิดของเสียในกระบวนการชุบโครเมี่ยม ซึ่งสามารถจำแนกตามลักษณะอาการของปัญหาด้านคุณภาพผิวชิ้นงานที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ สภาพผิวชิ้นงานที่ทำการผลิตเป็นเม็ดหรือตามด โดยปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นส่งผลต่อความสามารถกระบวนการที่ต่ำกว่ามาตราฐาน ซึ่งแสดงในรูปดัชนีความสามารถเชิงศักยภาพและดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ พบว่า ความสามารถของกระบวนการสายงานการชุบโครเมี่ยมนั้นมีความผันแปรสูงและมีความมั่นคงน้อย ดังนั้นจากสภาพปัญหาข้างต้นนี้จึงมีความจำเป็นต้องหาสาเหตุและดำเนินการแก้ไขในขั้นตอนต่อไป

4.2 การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

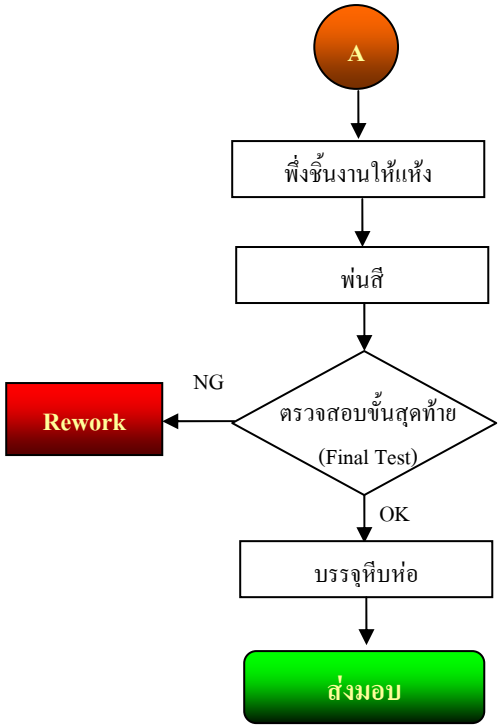
ในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กันในงานแต่ละงานโดยอาศัยการสร้างแผนที่กระบวนการผลิต จากนั้นจะทำการวิเคราะห์สาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาด้วยการวิเคราะห์แผนภาพแสดงสาเหตุและผล แต่เนื่องจากการวิเคราะห์แผนภาพแสดงสาเหตุและผลจะไม่สามารถระบุได้ว่าสาเหตุใดมีความสำคัญมากที่สุดที่จะต้องได้รับการแก้ไขเป็นอันดับแรก ดังนั้นจึงต้องอาศัยการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ โดยจะช่วยระบุความสำคัญของสาเหตุด้วยตัวเลขความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดปัญหา จากข้อมูลตัวเลขดังกล่าวเมื่อนำมาทำการสร้างแผนภาพพาเรโตก็จะช่วยทำให้ทราบถึงสาเหตุที่มีความสำคัญมากที่สุดที่จะต้องได้รับการแก้ไข ในขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการลดความผิดพลาดจากพนักงานตรวจสอบชิ้นงานก่อนชุบโครเมี่ยม โดยวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับ ซึ่งการดำเนินงานในขั้นตอนต่างๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 การสร้างแผนที่กระบวนการผลิต (Process Map)

การสร้างแผนที่กระบวนการผลิต เป็นงานขั้นตอนแรกของการศึกษาและพัฒนาคุณภาพของการผลิต เนื่องจากจะทำให้สามารถทราบถึงปัจจัยและความสัมพันธ์ในแต่ละงานในกระบวนการและลักษณะงานไม่ก่อให้เกิดคุณค่า (Non Value Added) ในกระบวนการได้อีกด้วย ดังภาพที่ 4-3



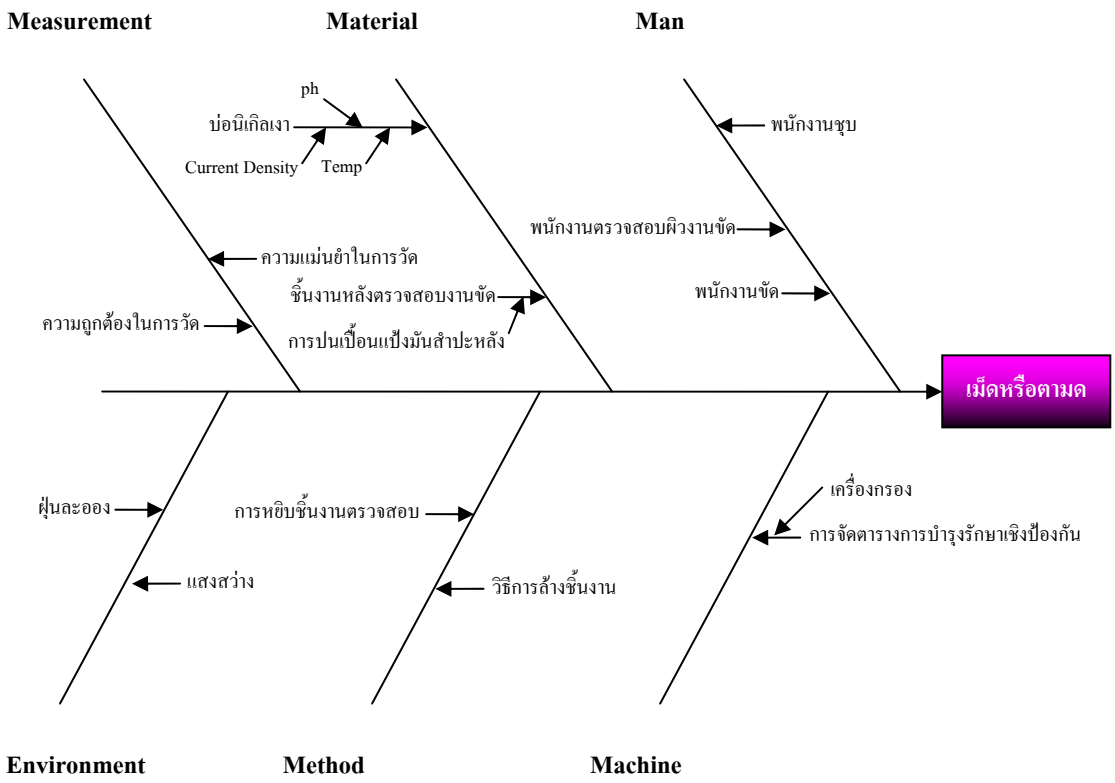
ภาพที่ 4-3 แผนที่กระบวนการชุบโครเมี่ยม


A
พึ่งชิ้นงานให้แห้ง
พ่นสี
ตรวจสอบขั้นสุดท้าย
(Final Test)
NG
Rework
OK
บรรจุหีบห่อ
ส่งมอบ

ภาพที่ 4-3 (ต่อ)

4.2.2 การวิเคราะห์แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

เมื่อทำการศึกษากระบวนการโดยครบถ้วนแล้ว จะพอทำให้ทราบว่าตัวแปรเข้าที่สำคัญของกระบวนการมีอะไรบ้าง ต่อมาจึงมีความจำเป็นต้องทำการระดมสมอง เพื่อทำการค้นหาสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยขั้นตอนของการระดมสมองนั้นจะให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องร่วมกันแสดงความคิดเห็น ซึ่งในความคิดเห็นนี้จะไม่จำกัดปริมาณและคุณภาพของความคิด เพื่อป้องกันการตกหล่นของสาเหตุที่อาจมีผลกระทบต่อปัญหา



ภาพที่ 4-4 แผนภาพแสดงสาเหตุและผลของปัญหาการเกิดของเสีย

4.2.3 การวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ (FMEA Process)

การวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการนั้นจะทำการศึกษาและวิเคราะห์ถึงความผิดพลาดของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นมา โดยจะทำการคิดอย่างเป็นระบบและคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ ดังนั้นสาเหตุที่มิได้ตัดออกจากแผนภาพแสดงสาเหตุและผลจะถูกนำมาทำการวิเคราะห์ต่อในการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ เพื่อสามารถค้นหาสาเหตุที่น่าจะมีผลกระทบต่อปัญหามากที่สุดได้ ดังตารางที่ 4-2

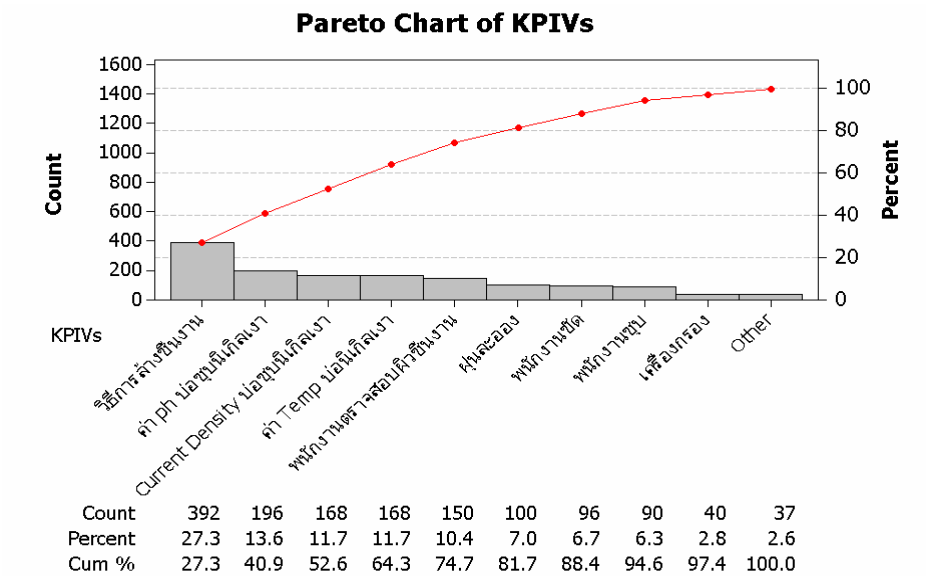
ตารางที่ 4-2 การวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวน

Failure Mode & Effect Analysis Process : FMEA Process								
Process : ชุบโครเมี่ยม Model : H61B								
ปัจจัยนำเข้าหลักของกระบวนการ	ลักษณะความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้	ผลกระทบจากความผิดพลาด	SEV	สาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาด	OCC	การควบคุมในปัจจุบัน	DET	RPN
พนักงานขัด	ผิวชิ้นงานมีรอยที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพชิ้นขัดที่กำหนดจำนวนมาก	ทำให้ต้องทำการขัดผิวชิ้นงานหลายครั้ง	6	พนักงานขาดการฝึกอบรมที่ถูกต้องในวิธีการขัดผิวชิ้นงาน	5	ทำการอบรมเกี่ยวกับเกณฑ์ผ่านคุณภาพชิ้นงานขัดที่กำหนดและการปฏิบัติตาม WI	4	96
พนักงานตรวจสอบผิวชิ้นงาน	ผิวชิ้นงานมีรอยที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพงานขัดที่กำหนด	ทำให้มีชิ้นงานที่ผิวชิ้นงานไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพที่กำหนดผ่านไปยังบ่อชุบ	5	พนักงานขาดการฝึกอบรมที่ถูกต้องในหลักเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพผิวชิ้นงาน	5	ทำการอบรมเกี่ยวกับเกณฑ์ผ่านคุณภาพชิ้นงานขัด	6	150
การหยิบชิ้นงานเพื่อทำการตรวจสอบ	ไม่ระมัดระวังในการหยิบชิ้นงาน	ทำให้ชิ้นงานเกิดรอยตำหนิบนผิวของชิ้นงาน	3	พนักงานขาดการฝึกอบรมที่ถูกต้อง	2	การตรวจสอบการปฏิบิติตาม WI	2	12
แสงสว่างขณะตรวจสอบผิวชิ้นงาน	อุปกรณ์ให้แสงสว่างเสีย	ทำให้การตรวจสอบคุณภาพ	5	ขาดการบำรุงรักษาอุปกรณ์ช่วยในการตรวจสอบ	5	การตรวจสอบตามตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน	1	25
วิธีการล้างชิ้นงาน	ชิ้นงานมีความสกปรก และเศษโลหะเกาะเนื่องจากความ	ชิ้นงานเกิดเม็ดหรือตามดและหลุดลอก	7	สิ่งสกปรกที่มาจากขั้นตอนเตรียมผิวชิ้นงาน	7	การตรวจสอบด้วยสายตาของผู้ทำการล้าง	8	392

ตารางที่ 4-2 (ต่อ)

Failure Mode & Effect Analysis Process : FMEA Process								
Process : ชุบโครเมี่ยม Model : H61B								
ปัจจัยนำเข้าหลักของกระบวนการ	ลักษณะความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้	ผลกระทบจากความผิดพลาด	SEV	สาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาด	OCC	การควบคุมในปัจจุบัน	DET	RPN
	ร้อนในการขัดผิว							
พนักงานชุบ	การบังคับครนไม่ถูกวิธี	ทำให้ชิ้นงานหล่นและเกิดการกระแทก	6	พนักงานขาดการฝึกอบรม	5	การตรวจสอบและการปฏิบิติตาม WI	3	90
ค่าพีเอชบ่อชุบนิเกิลเงา	ค่าพีเอชต่ำกว่ากำหนด	ชิ้นงานเกิดเม็ดหรือตามด, ไม่เงา	7	ความเข้มข้นของ H_3BO_3 ลดลง	7	การตรวจสอบค่าพีเอชด้วย ph meter	4	196
อุณหภูมิในบ่อชุบนิเกิลเงา	อุณหภูมิในบ่อชุบต่ำเกินไป	ชิ้นงานเกิดเม็ดหรือตามด, รอยไหม้ และผิวหยาบ	7	การตั้งค่า Temp. Controller ไม่ตรงตามมาตราฐาน	6	การตรวจเช็คการ Set ค่าบน Temp. Controller	4	168
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงกว่ามาตราฐาน	ชิ้นงานเกิดเม็ดหรือตามด, และรอยไหม้	7	การตั้งค่า Amp. Controller ไม่ตรงตามมาตราฐาน	6	การตรวจเช็คการ Set ค่าบน Amp. Controller	4	168
ฝุ่นละออง	การฝุ่งกระจายของฝุ่นละออง	ชิ้นงานเกิดเม็ดหรือตามด	6	ลมและการเคลื่อนย้ายโดยรถ	3	การนำตาข่ายตาละเอียดมาบังบริเวณข้างปากบ่อ	4	100
เครื่องกรอง	เครื่องจักรเสียหรือประสิทธิภาพต่ำ	ทำให้สารละลายมีการปนเปื้อนที่สูง	5	ขาดการบำรุงรักษา	4	การตรวจเช็คตามตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน	2	40

จากค่าตัวเลขระดับความเสี่ยง (RPN) ซึ่งมาจากการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการข้างต้นสามารถนำมาสร้างแผนภาพพาเรโต เพื่อทำการคัดเลือกสาเหตุที่สำคัญ และพิจารณาว่าสาเหตุใดบ้างที่เป็นสาเหตุที่ควรนำมาทำการแก้ไขปัญหา ดังภาพที่ 4-5 โดยหลักของการพิจารณาคัดเลือกสาเหตุที่สำคัญนั้นจะใช้หลักการพาเรโต คือ ข้อมูลที่มีความสำคัญจะมีเพียงจำนวนเล็กน้อย และข้อมูลที่มีความสำคัญเล็กน้อยมีจำนวนมาก



ภาพที่ 4-5 แผนภาพพาเรโตแสดงสาเหตุของปัญหาการเกิดของเสีย

จากภาพที่ 4-5 แสดงให้เห็นว่าสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อโอกาสการเกิดของเม็ดหรือตามดในกระบวนการชุบโครเมี่ยมที่ได้คัดเลือก มีดังต่อไปนี้ คือ วิธีการล้างชิ้นงาน 27.3 เปอร์เซ็นต์ ค่าพีเอชบ่อนิเกิลเงา 13.6 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิบ่อนิเกิลเงา 11.7 เปอร์เซ็นต์ และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 11.7 เปอร์เซ็นต์

สาเหตุที่ได้รับการคัดเลือกนี้มีระดับความเสี่ยงก่อให้เกิดปัญหาเป็น 64.3 เปอร์เซ็นต์ของสาเหตุของปัญหาทั้งหมด และสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ยังไม่มีมาตรฐานการผลิตที่เหมาะสมซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาน้อยที่สุด ซึ่งจะทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

4.2.4 วิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับ (Measurement System Analysis)

จากภาพที่ 4-5 สาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาส่วนหนึ่งนั้นมาจากสาเหตุจากพนักงานตรวจสอบผิวชิ้นงานก่อนชุบโครเมี่ยม โดยมีระดับความเสี่ยงก่อให้เกิดปัญหาเท่ากับ 10.4 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสาเหตุนี้จึงมีความจำเป็นในที่ต้องทำการศึกษา ดังนั้น การทำการวิจัยครั้งนี้ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ รอยตำหนิที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วนกันชนหน้ารถยนต์เป็นตัวแปรที่มีลักษณะเชิงคุณภาพ ซึ่งข้อมูล

ที่ได้จะมาจากการนับ ในแผนกตรวจสอบผิวชิ้นงานในขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงานก่อนชุบ ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในการควบคุมคุณภาพผิวชิ้นงานก่อนทำการชุบโครเมี่ยม ซึ่งหากชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบมีรอยตำหนิเกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้จะเป็นผลทำให้คุณภาพผิวชิ้นงานที่ทำการชุบโครเมี่ยมนั้นไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ โดยรายละเอียดการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.4.1 การวิเคราะห์ระบบการวัดผู้ตรวจสอบก่อนชุบโครเมี่ยมก่อนปรับปรุง

การตรวจสอบคุณภาพผิวชิ้นงานก่อนทำการชุบโครเมี่ยมในโรงงานกรณีศึกษาจะมีพนักงานตรวจสอบอยู่ 2 คน และมีหัวหน้าผู้รับผิดชอบในการตรวจสอบชิ้นงานก่อนที่ทำการชุบโครเมี่ยม 1 คน โดยข้อมูลการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับ ดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 การวิเคราะห์ระบบการวัดผู้ตรวจสอบชิ้นงานก่อนชุบโครเมี่ยมก่อนปรับปรุง

Attribute Repeatability and Reproducibility					
Part : Bumper Rear Center			Analysis by : คุณสุนทรี ลอยนภา		
No.	Expect	Operator 1		Operator 2	
		1st Reading	2nd Reading	1st Reading	2nd Reading
1	กึ่ง OK	OK	NG	OK	OK
2	กึ่ง NG	NG	NG	NG	NG
3	NG	NG	NG	NG	NG
4	OK	NG	OK	OK	OK
5	กึ่ง NG	NG	NG	NG	NG
6	OK	OK	NG	NG	OK
7	OK	OK	OK	OK	OK
8	กึ่ง OK	NG	NG	NG	OK
9	OK	OK	NG	NG	OK
10	NG	NG	NG	NG	NG
11	NG	NG	NG	NG	NG
12	NG	NG	NG	NG	NG
13	NG	NG	NG	NG	NG
14	กึ่ง NG	NG	NG	NG	NG
15	NG	NG	NG	NG	OK
16	NG	NG	NG	NG	NG
17	กึ่ง NG	NG	NG	NG	NG
18	NG	NG	NG	NG	NG

ตารางที่ 4-3 (ต่อ)

Attribute Repeatability and Reproducibility					
Part : Bumper Rear Center			Analysis by : คุณสุนทรี ลอยนภา		
No.	Expect	Operator 1		Operator 2	
		1st Reading	2nd Reading	1st Reading	2nd Reading
19	NG	NG	NG	NG	NG
20	กึ่ง OK	OK	NG	NG	NG
21	OK	NG	NG	NG	NG
22	OK	NG	NG	NG	NG
23	กึ่ง OK	OK	OK	OK	OK
24	OK	NG	NG	NG	NG
25	NG	NG	OK	NG	NG
26	NG	NG	NG	NG	NG
27	กึ่ง NG	NG	NG	NG	NG
28	NG	NG	NG	NG	NG
29	NG	NG	NG	NG	NG
30	กึ่ง OK	OK	NG	NG	NG

ผลการวิเคราะห์โปรแกรม Minitab แสดงดังภาพที่ 4-6 และ 4-7

Within Appraisers

```
Assessment Agreement

Appraiser  # Inspected  # Matched  Percent      95 % CI
i                   30         25    83.33  (65.28, 94.36)
2                   30         28    93.33  (77.93, 99.18)

# Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.
```

ภาพที่ 4-6 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับก่อนปรับปรุง

Each Appraiser vs Standard

```
Assessment Agreement

Appraiser  # Inspected  # Matched  Percent      95 % CI
1                   30         19    63.33  (43.86, 80.07)
2                   30         17    56.67  (37.43, 74.54)

# Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known
standard.
```

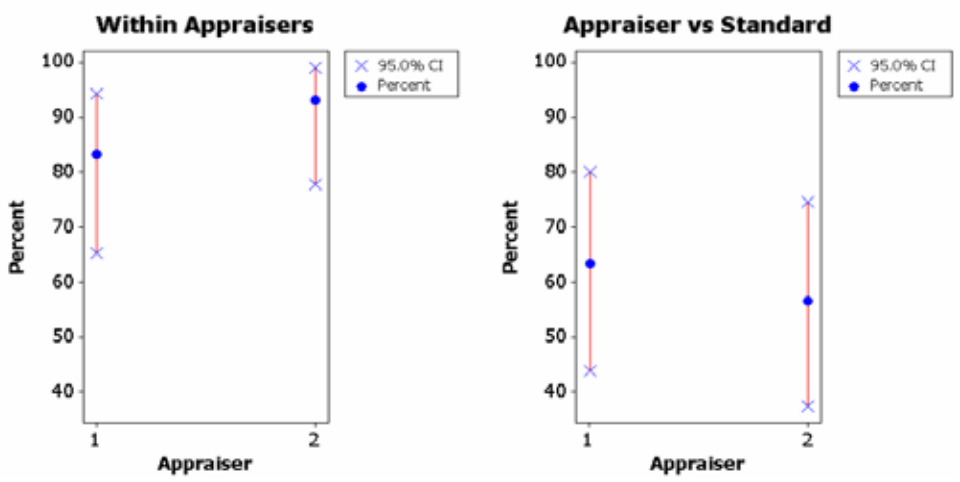
Between Appraisers

```
Assessment Agreement

# Inspected  # Matched  Percent      95 % CI
         30         21    70.00  (50.60, 85.27)

# Matched: All appraisers' assessments agree with each other.
```

All Appraisers vs Standard

```
Assessment Agreement

# Inspected  # Matched  Percent      95 % CI
         30         15    50.00  (31.30, 68.70)

# Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.
```

ภาพที่ 4-6 (ต่อ)



ภาพที่ 4-7 กราฟการประมาณค่าแบบช่วง%รีพีททะบิลิตี้ และ%รีโปรดิวซิบิลิตี้ก่อนปรับปรุง

จากภาพที่ 4-6 และ 4-7 สามารถตีความหมายจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ดังต่อไปนี้

1. ค่า %รีพีททะบิลีตี้ของพนักงานตรวจสอบคนที่ 1, 2 มีค่าเท่ากับ 83.33% และ 93.33 ตามลำดับ และการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับค่ารีพีททะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 1, 2 จะอยู่ในช่วง 65.28 ถึง 94.36 และ 77.93 ถึง 99.18 ตามลำดับ

2. ค่า %ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบคนที่ 1, 2 จะมีค่าเท่ากับ 63.33% และ 56.67% ตามลำดับ และการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับค่าความไม่ไบอัสของพนักงานคนที่ 1, 2 จะอยู่ในช่วง 43.86 ถึง 80.07 และ 37.43 ถึง 74.54 ตามลำดับ

3. ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลีตี้เท่ากับ 70.00% ซึ่งแสดงว่าพนักงาน 2 คนตรวจสอบงาน 100 ชิ้น จะมีเพียง 70 ชิ้นเท่านั้นที่พนักงานทั้งสองคนตรวจสอบได้ผลลัพธ์เหมือนกัน และการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลีตี้จะอยู่ในช่วง 50.60 ถึง 85.27

4. ประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ เท่ากับ 50.00% แสดงว่าในการใช้พนักงาน 2 คนตรวจสอบงานจำนวน 100 ชิ้น จะมีเพียง 50 ชิ้นเท่านั้นที่พนักงานทั้งสองคนตรวจสอบได้ถูกต้องเหมือนกัน และการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับประสิทธิผลด้านโปรดิวซิบิลิตี้จะอยู่ในช่วง 31.30 ถึง 68.70

จากข้างต้น %รีพีททะบิลีตี้ และ%ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน พบว่าพนักงานคนที่ 1 มีค่ารีพีททะบิลิตี้ที่ต่ำมาก ส่วนพนักงานคนที่ 2 มีค่ารีพีททะบิลิตี้ที่สูง โดยเมื่อคิด %ของความผิดพลาดในการตรวจสอบทั้งสองจะมีค่าเท่ากับ 16.67% และ 6.67% ความหมายของค่ารีพีททะบิลิตี้นี้จะแสดงถึงความแม่นยำในการวัด เพื่อแก้ไขปัญหาค่ารีพีททะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 1 ให้มีค่าสูงขึ้นจึงจำเป็นต้องทำการอบรมพนักงานใหม่ รวมถึงการประเมินผลพนักงานใหม่ เพื่อปรับปรุงรีพีททะบิลีตี้ให้ดีขึ้น ในส่วน %ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบซึ่งบ่งบอกการใช้การวิเคราะห์ที่ถูกต้อง พบว่า พนักงานทั้งสองมีค่าต่ำมากโดยเมื่อคิด %ของความผิดพลาดในการตรวจสอบจะมีค่าเท่ากับ 36.67% และ 43.33% ดังนั้นต้องทำการปรับปรุงวิธีการตรวจสอบใหม่หรือมิฉะนั้นจะต้องกำหนดใช้ชิ้นงานได้รับการตรวจสอบโดยผู้ชำนาญการเฉพาะเท่านั้น

ดัชนีแสดงประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลีตี้และประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบทั้งสองโดยประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลีตี้ หมายถึง ความสามารถของระบบการวัด หรือตรวจสอบแยกแยะงานไม่ดีออกจากงานดี โดยไม่คำนึงถึงความถูกต้องกับคุณภาพที่เป็นจริง พบว่าจากการประเมิณค่าประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลีตี้เท่ากับ 70.00% ซึ่งจะแสดงว่าพนักงานทั้งสองตรวจสอบ 100 ชิ้น จะมีเพียง 70 ชิ้นที่พนักงานทั้งสองคนตรวจสอบได้ผลลัพธ์เหมือนกัน ซึ่งแสดงว่าพนักงานยังต้องการการฝึกอบรมเพื่อปรับปรุงความเข้าใจในการตรวจสอบ ในส่วน

ประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ หมายถึง ความสามารถของระบบการวัดหรือตรวจสอบได้ซ้ำและเหมือนกันนั้นตรงกับคุณภาพแท้จริงของสิ่งตัวอย่างงานหรือไม่ พบว่าประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบนั้นมีค่าเท่ากับ 50.00% แสดงว่าในการใช้พนักงาน 2 คนตรวจสอบงาน 100 ชิ้น จะมีเพียง 50 ชิ้นเท่านั้นที่พนักงานทั้งสองคนตรวจสอบได้ถูกต้องเหมือนกัน ซึ่งแสดงว่าต้องมีการปรับปรุงวิธีการตรวจสอบ เพื่อสามารถให้พนักงานทั้งสองเข้าใจและสามารถทำการวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง จากปัญหาดังกล่าวจึงมีความจำเป็นระบุถึงสาเหตุความผันแปรแล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง โดยวิธีการฝึกอบรมพนักงานต่อไป

4.2.4.2 การวิเคราะห์ระบบการวัดผู้ตรวจสอบผิวชิ้นงานก่อนชุบโครเมี่ยมหลังปรับปรุง

หลังจากทำการฝึกอบรมพนักงานโดยใช้มาตรฐานการฝึกอบรมเดียวกัน ซึ่งการฝึกอบรมเดี่ยวกันนี้จะเป็นการลดความผันแปรในการตัดสินใจของพนักงานตรวจสอบทั้งสอง และจะทำให้ความผันแปรในการวัดลดลงอีกด้วย ส่งผลทำให้คุณภาพผิวชิ้นงานก่อนทำการชุบโครเมี่ยมดีมากยิ่งขึ้น โดยข้อมูลการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับแสดงในตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 การวิเคราะห์ระบบการวัดผู้ตรวจสอบชิ้นงานก่อนชุบโครเมี่ยมหลังปรับปรุง

Attribute Repeatability and Reproducibility					
Part : Bumper Rear Center			Analysis by : คุณสุนทรี ลอยนภา		
No.	Expect	Operator 1		Operator 2	
		1st Reading	2nd Reading	1st Reading	2nd Reading
1	OK	OK	OK	OK	OK
2	NG	NG	NG	NG	NG
3	OK	OK	OK	OK	OK
4	NG	NG	NG	NG	NG
5	กึ่ง OK	OK	OK	OK	OK
6	NG	NG	NG	OK	NG
7	กึ่ง OK	OK	OK	OK	OK
8	NG	NG	NG	NG	NG
9	กึ่ง NG	NG	NG	NG	NG
10	NG	NG	NG	NG	NG
11	กึ่ง OK	OK	OK	OK	OK
12	NG	NG	NG	NG	NG
13	กึ่ง OK	NG	OK	NG	OK
14	NG	NG	NG	NG	NG

ตารางที่ 4-4 (ต่อ)

Attribute Repeatability and Reproducibility					
Part : Bumper Rear Center			Analysis by : คุณสุนทรี ลอยนภา		
No.	Expect	Operator 1		Operator 2	
		1st Reading	2nd Reading	1st Reading	2nd Reading
15	OK	OK	OK	OK	OK
16	NG	NG	NG	NG	NG
17	กึ่ง OK	OK	OK	OK	OK
18	NG	NG	NG	NG	NG
19	กึ่ง NG	NG	NG	NG	NG
20	NG	NG	NG	NG	NG
21	กึ่ง NG	NG	NG	NG	NG
22	OK	OK	OK	OK	OK
23	OK	OK	OK	OK	OK
24	กึ่ง NG	NG	NG	NG	NG
25	OK	OK	OK	OK	OK
26	กึ่ง NG	NG	NG	NG	NG
27	OK	OK	OK	OK	OK
27	OK	OK	OK	OK	OK
28	OK	OK	OK	OK	OK
29	OK	OK	OK	OK	OK
30	OK	OK	OK	OK	OK

ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab แสดงดังภาพที่ 4-8 และ 4-9

With in Appraisers

```
Assessment Agreement

Appraiser  # Inspected  # Matched  Percent      95 % CI
1                   30         29    96.67  (82.78, 99.92)
2                   30         28    93.33  (77.93, 99.18)

# Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.
```

ภาพที่ 4-8 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับหลังปรับปรุง

Each Appraiser vs Standard

```
Assessment Agreement

Appraiser  # Inspected  # Matched  Percent      95 % CI
1                   30         29    96.67  (82.78, 99.92)
2                   30         28    93.33  (77.93, 99.18)

# Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known
standard.
```

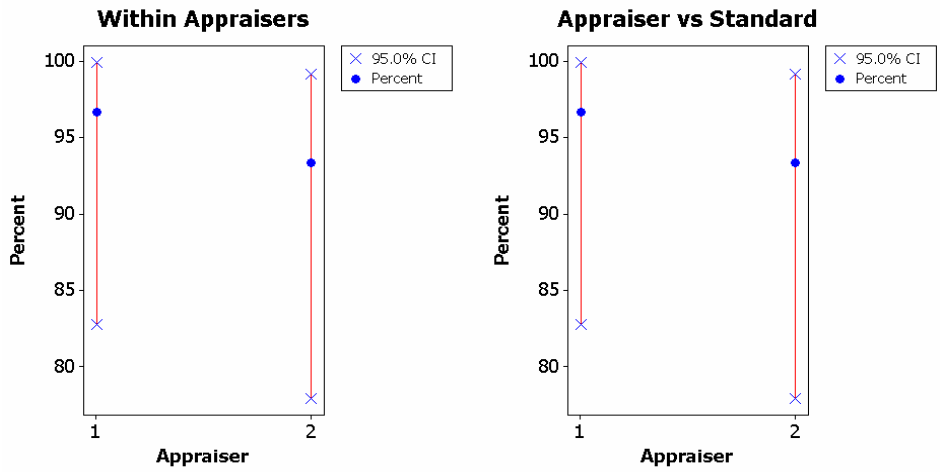
Between Appraisers

```
Assessment Agreement

# Inspected  # Matched  Percent      95 % CI
         30         28    93.33  (77.93, 99.18)

# Matched: All appraisers' assessments agree with each other.
```

All Appraisers vs Standard

```
Assessment Agreement

# Inspected  # Matched  Percent      95 % CI
         30         28    93.33  (77.93, 99.18)

# Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.
```

ภาพที่ 4-8 (ต่อ)



ภาพที่ 4-9 กราฟการประมาณค่าแบบช่วง%รีพีททะบิลิตี้ และ%รีโปรดิวซิบิลิตี้หลังปรับปรุง

จากภาพที่ 4-8 และ 4-9 สามารถตีความหมายจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ดังต่อไปนี้

1. ค่า %รีพีททะบิลีตี้ของพนักงานตรวจสอบคนที่ 1, 2 มีค่าเท่ากับ 96.67% และ 93.33% ตามลำดับ และการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับค่ารีพีททะบิลิตี้ของพนักงานคนที่ 1, 2 จะอยู่ในช่วง 82.78 ถึง 99.92 และ 77.93 ถึง 99.18 ตามลำดับ

2. ค่า %ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบคนที่ 1, 2 จะมีค่าเท่ากับ 96.67% และ 93.33% ตามลำดับ และการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับค่าความไม่ไบอัสของพนักงานคนที่ 1, 2 จะอยู่ในช่วง 82.78 ถึง 99.92 และ 77.93 ถึง 99.18 ตามลำดับ

3. ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลีตี้เท่ากับ 93.33% ซึ่งแสดงว่าในการใช้พนักงาน 2 คนตรวจสอบงานจำนวน 100 ชิ้น จะมีเพียง 93 ชิ้นเท่านั้นพนักงานทั้งสองคนตรวจสอบได้ผลลัพธ์เหมือนกัน และการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลีตี้จะอยู่ในช่วง 77.93 ถึง 99.18

4. ประสิทธิผลความไม่ไบอัสเท่ากับ 93.33% แสดงว่าในการใช้พนักงาน 2 คนตรวจสอบงาน 100 ชิ้น จะมีเพียง 93 ชิ้นเท่านั้นที่พนักงานทั้งสองคนตรวจสอบได้ถูกต้องเหมือนกัน และการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับประสิทธิผลความไม่ไบอัสจะอยู่ในช่วง 77.93 ถึง 99.18

จากข้างต้น %รีพีททะบิลีตี้และ %ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน พบว่าพนักงานทั้งสองมีค่ารีพีททะบิลิตี้ที่สูงขึ้นจากเดิม แสดงว่าเมื่อทำการฝึกอบรมพนักงานสามารถเพิ่มความความแม่นยำให้พนักงานมากขึ้น และเมื่อคิด %ของความผิดพลาดในการตรวจสอบจะมีค่าเท่ากับ 3.33% และ 6.67% จากเดิม 16.67% และ 6.67% ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงความผิดพลาดของพนักงานตรวจสอบในการตรวจสอบลดลง ในส่วน %ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบทั้งสองก็มีค่าสูงขึ้นจากเดิมเช่นเดียวกัน แสดงว่าเมื่อทำการปรับปรุงวิธีการตรวจสอบและอบรมพนักงานทั้งสอง ทำให้พนักงานทั้งสองมีความเข้าใจและสามารถวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง และเมื่อคิด %ของความผิดพลาดในการตรวจสอบจะมีค่าเท่ากับ 3.33% และ 6.67% จากเดิม 36.67% และ 43.33% ตามลำดับ แสดงเห็นถึงความผิดพลาดของพนักงานตรวจสอบที่ลดลงเนื่องจากการใช้หลักการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง

ดัชนีแสดงประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลีตี้และประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบทั้งสองหลังจากทำการฝึกอบรม พบว่า จากการประเมิณค่าประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลีตี้เท่ากับ 93.33% แสดงว่าพนักงานทั้งสองตรวจสอบ 100 ชิ้น จะมีเพียง 93.33 ชิ้นที่พนักงานทั้งสองคนตรวจสอบได้ผลลัพธ์เหมือนกัน ซึ่งแสดงว่าพนักงานมีความเข้าใจในสเปคทำให้เพิ่มความแม่นยำในการตรวจสอบ ในส่วนประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของพนักงาน พบว่า ประสิทธิผล

ด้านความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ เท่ากับ 93.33% แสดงว่าในการให้พนักงาน 2 คน ตรวจสอบงานจำนวน 100 ชิ้น จะมีเพียง 93.33 ชิ้นเท่านั้นที่พนักงานทั้งสองคนตรวจสอบได้ถูกต้องเหมือนกัน ซึ่งแสดงว่าการปรับปรุงวิธีการตรวจสอบ ทำให้พนักงานทั้งสองเข้าใจและสามารถทำการวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง

4.2.5 สรุปผลการดำเนินงานการวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา

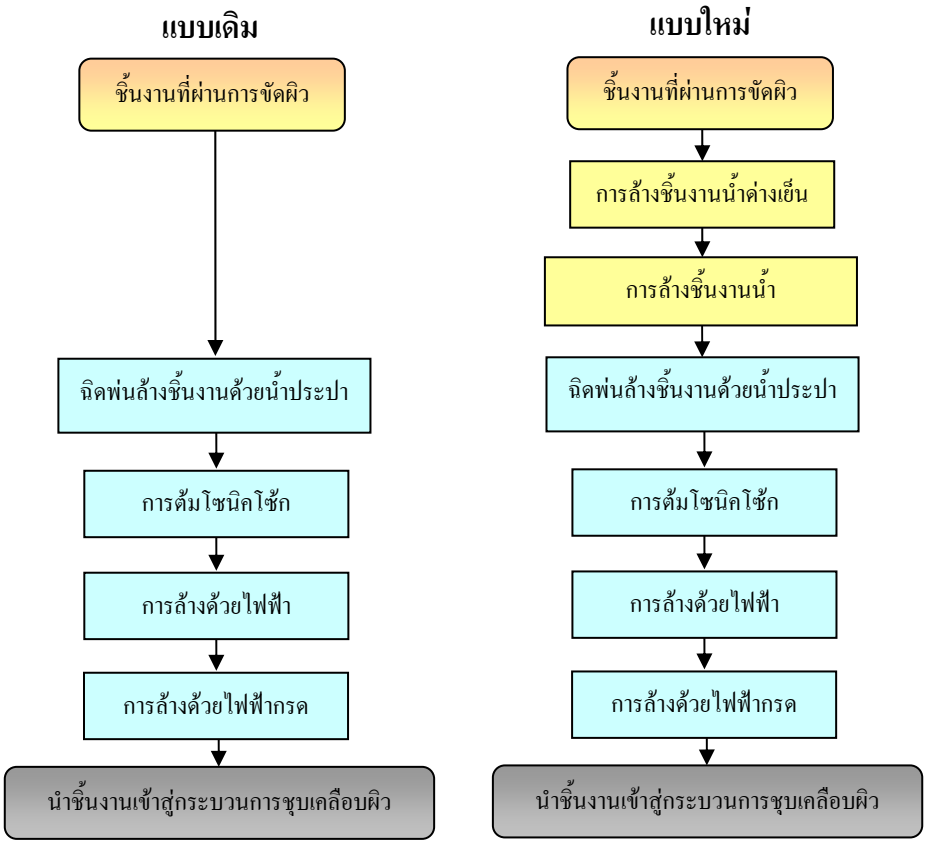
จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดในส่วนของขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา โดยเริ่มต้นจากการสร้างแผนที่กระบวนการผลิต เพื่อทราบถึงปัจจัยและความสัมพันธ์ในแต่ละงานในกระบวนการ และการวิเคราะห์แผนภาพสาเหตุและผล เพื่อทำการค้นหาสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาขึ้น มาจนถึงการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ คือ ต้องการค้นหาสาเหตุที่มีความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาที่ทำการศึกษา โดยระดับความสำคัญนั้นจะสะท้อนด้วยค่าตัวเลขระดับความเสี่ยง และเมื่อนำค่าตัวเลขระดับความเสี่ยงดังกล่าวนำมาสร้างแผนภาพพาเรโต สามารถสรุปได้ว่าสาเหตุหลักที่อาจส่งผลกระทบต่อการเกิดของเสียที่ควรจะทำการแก้ไข คือ ขั้นตอนการทำความสะอาดชิ้นงานก่อนชุบชิ้นงาน ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ และค่าพีเอชในบ่อนิเกิลเงา ซึ่งจะนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป สุดท้ายคือ การวิเคราะห์ระบบการวัดพนักงานตรวจสอบชิ้นงานก่อนชุบโครเมี่ยม จากการวิเคราะห์ พบว่า จำเป็นต้องทำการฝึกอบรมและปรับปรุงวิธีการตรวจสอบ เพื่อสามารถเพิ่มความแม่นยำ และลดอคติในการตรวจสอบชิ้นงาน เป็นผลให้สามารถลดของเสียที่เกิดขึ้นได้

4.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

จากขั้นตอนการวัดผลได้ทำการศึกษาหาสาเหตุเบื้องต้นที่ได้มาจากการการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ พบว่า สาเหตุที่น่าจะส่งผลกระทบต่อปัญหาที่ทำการศึกษา คือ ขั้นตอนการทำความสะอาดชิ้นงานก่อนชุบชิ้นงาน ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ และค่าพีเอชในบ่อนิเกิลเงา เพื่อกำหนดทิศทางในการปรับปรุงแก้ไขได้ถูกต้อง จึงทำการวิเคราะห์ปัญหา โดยอาศัยวิธีการทางสถิติ ซึ่งแนวทางการวิเคราะห์จะเริ่มทำการวิเคราะห์ทีละสาเหตุทีละปัจจัย (One Factor at a Time) โดยการดำเนินการทดลองเพื่อหาข้อมูลสนับสนุนสมมติฐานที่ตั้งไว้ เพื่อเป็นการยืนยันว่าสาเหตุที่สงสัยนั้นก็คือ สาเหตุที่แท้จริงของปัญหาหรือความบกพร่องด้านคุณภาพ นอกจากนี้เมื่อมีการยืนยันว่าสาเหตุเหล่านั้นมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และสามารถสรุปได้ต่อไปว่าสาเหตุดังกล่าวอย่างมีผลกระทบมากน้อยเพียงใด โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.1 การวิเคราะห์ขั้นตอนการทำความสะอาดชิ้นงานก่อนชุบ

ความสะอาดของชิ้นงานเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการชุบเคลือบผิวโลหะ จากการวิเคราะห์สาเหตุใหญ่ที่ส่งผลให้สิ่งสกปรกติดมากับผิวชิ้นงานนั้นมาจากขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงาน ซึ่งมีผลจากยาขัดโลหะ (Polishing Compound) ล้อขัด (Emery Wheel) รวมถึงเศษโลหะที่มาจากการขัดผิวชิ้นงานด้วย ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เมื่อผ่านกระบวนการขัดที่ทำให้เกิดความร้อนในขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงานนั้น ก็อาจจะส่งผลให้สิ่งสกปรกเหล่านี้มีแรงยึดติดมากยิ่งขึ้น ดังนั้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความสะอาดของชิ้นงานจึงมีการเพิ่มเติมขั้นตอนการทำความสะอาดชิ้นงานหลังจากขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงาน โดยการทำความสะอาดชิ้นงานด้วยน้ำด่างเย็น (Soak Clean) และน้ำประปา โดยให้พนักงานล้างชิ้นงานด้วยฟองน้ำก่อนเข้าการล้างแบบเดิม ดังภาพที่ 4-10



ภาพที่ 4-10 การเปรียบเทียบกระบวนการทำความสะอาดชิ้นงาน

จากสาเหตุดังกล่าวจึงดำเนินการทดสอบสมมติฐานP เพื่อต้องการทราบว่าที่วิธีการล้างจะส่งผลกระทบต่อค่าความหยาบที่เกิดขึ้นหรือไม่ ซึ่งจะสามารถกำหนดมาตราฐานการปฏิบัติงานได้อย่างเหมาะสม

4.3.2 การวิเคราะห์ปัจจัยในบ่อนิเกิลเงา

จากสาเหตุเบื้องต้นนั้น สาเหตุที่น่าจะส่งผลกระทบต่อปัญหาที่ทำให้การศึกษาอันดับที่สองถึงสี่นั้นเป็นปัจจัยที่เกิดในบ่อนิเกิลเงา อันได้แก่ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า อุณหภูมิและค่าพีเอช โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.2.1 ปัจจัยความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า

UNIDO Handtools Project (2006) ได้ทำการศึกษากระบวนการชุบโครเมี่ยม ซึ่งระบุถึงการเกิดปัญหาผิวชิ้นงานหยาบเป็นเม็ดหรือตามดบนชิ้นงาน เกิดจากปัจจัยด้านความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงในบ่อนิเกิลเงาที่มีค่าต่ำกว่า 2 A/dm^2

อนันต์ (2538) กล่าวว่า ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า มีความสำคัญในบ่อชุบนิเกิล เนื่องจากค่าความหนาแน่นของไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะทำให้ ประสิทธิภาพขั้วต่ำ การเกาะเคลือบผิวขรุขระเปราะ พบว่า ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในการชุบนิเกิลควรอยู่ในช่วง 4-5 A/dm^2

จากการตรวจสอบข้อมูลการผลิต พบว่า การควบคุมความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าอยู่ในช่วง 4-6 A/dm^2 ดังนั้น จึงดำเนินการทดสอบสมมติฐานค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในบ่อชุบนิเกิลที่ระดับ 4 A/dm^2 และ 6 A/dm^2 เพื่อที่จะต้องการทราบว่าที่ระดับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ใช้การผลิตในปัจจุบันจะส่งผลกระทบต่อค่าความหยาบที่เกิดขึ้นหรือไม่ และต้องการทราบค่าที่เหมาะสมในการผลิต

4.3.2.2 ปัจจัยด้านอุณหภูมิ

UNIDO Handtools Project (2006) ได้ทำการศึกษากระบวนการชุบโครเมี่ยม ซึ่งระบุถึงการเกิดปัญหาผิวชิ้นงานหยาบเป็นเม็ดหรือตามดบนชิ้นงาน เกิดจากปัจจัยด้านอุณภูมิที่เปลี่ยนแปลงในบ่อนิเกิลเงา ซึ่งค่าที่เหมาะสมควรอยู่ที่ 55-60 °C

จากการตรวจสอบข้อมูลการผลิต พบว่า การควบคุมอุณภูมิอยู่ในช่วง 50-60 °C ดังนั้น จึงดำเนินการทดสอบสมมติฐานค่าอุณภูมิในบ่อชุบนิเกิลที่ระดับ 50°C และ 60°C เพื่อที่จะต้องการทราบว่าที่ระดับอุณภูมิที่ใช้การผลิตในปัจจุบันจะส่งผลกระทบต่อค่าความหยาบที่เกิดขึ้นหรือไม่ และต้องการทราบค่าที่เหมาะสมในการผลิต

4.3.2.3 ปัจจัยค่าพีเอช

UNIDO Handtools Project (2006) ได้ทำการศึกษากระบวนการชุบโครเมี่ยม ซึ่งระบุถึงการเกิดปัญหาผิวชิ้นงานหยาบเป็นเม็ดหรือตามดบนชิ้นงาน เกิดจากปัจจัยค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงในบ่อนิเกิลเงา ที่มีค่าต่ำกว่า 4.2-4.4

อนันต์ (2538) กล่าวว่า ค่าพีเอช มีความสำคัญในบ่อชุบนิเกิล ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะทำให้เกิดกำลังการชุบเคลือบผิวไม่ดี ประสิทธิภาพขั้วลบต่ำ การเกาะเคลือบผิวขรุขระเปราะ พบว่า ค่าพีเอชควรอยู่ในช่วง 3.5 - 4.5

จากการตรวจสอบข้อมูลการผลิต พบว่า การควบคุมระดับค่าพีเอชอยู่ในช่วง 4.0-4.5 ดังนั้น จึงดำเนินการทดสอบสมมติฐานค่าพีเอชในบ่อชุบนิเกิลที่ระดับ 4.0 และ 4.5 เพื่อที่จะต้องการทราบว่าที่ระดับค่าพีเอชที่ใช้การผลิตในปัจจุบันจะส่งผลกระทบต่อค่าความหยาบที่เกิดขึ้นหรือไม่ และต้องการทราบค่าที่เหมาะสมในการผลิต

ตารางที่ 4-5 สรุปปัจจัยและคุณลักษณะของปัจจัยป้อนเข้า

ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
	1	2	
วิธีการล้างชิ้นงาน	แบบเดิม	แบบใหม่	ไม่มี
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า	4	6	แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร
อุณหภูมิ	50	60	องศาเซลเซียส
ค่าพีเอช	4.0	4.5	หน่วย

4.3.3 แนวทางการวิเคราะห์

แนวทางการวิเคราะห์นั้นจะทำการวิเคราะห์ทีละสาเหตุทีละปัจจัย (One Factor at a Time) โดยใช้วิธีการทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (One-Way ANOVA) โดยในการทดลองนี้จะมีจุดมุ่งหมายเพื่อกลั่นกรองปัจจัยต่างๆ (Screening Factors) ที่สงสัยออกไปก่อนหรือเป็นการกรองเฉพาะปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหยาบผิวชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญไปทำการออกแบบการทดลองในขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase) ต่อไป

4.3.4 การทดสอบความหยาบผิวชิ้นงาน

การทดสอบความหยาบผิวชิ้นงาน ซึ่งทำการวัดความหยาบผิวจากชิ้นงาน โดยใช้เครื่องวัดความหยาบผิว Hommelwerke Hommel Tester T20A ระยะวัด 10 มิลิเมตร ชิ้นละ 4 จุดที่ระดับการชุบต่างๆ และทำการบันทึกผล

4.3.5 การคำนวนจำนวนสิ่งตัวอย่าง

การคำนวนจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองนี้จะคำนวนด้วยโปรแกรม Minitab และกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

1. ระดับนัยสำคัญ (α) มีค่าเท่ากับ 0.05 ซึ่งความน่าจะเป็นในการยอมรับสมมติฐาน (β) เท่ากับ 0.05 หรือ Power of Test เท่ากับ 0.95 และ

2. จากข้อมูลในอดีตความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) มีค่าเท่ากับ 0.245

3. กำหนดค่าความแตกต่างสูงสุดของกระบวนการ (Value of the Maximum Difference) อยู่ที่ 10 μM คือ ถ้าค่าความหยาบผิวโดยเฉลี่ยของกระบวนการชุบมีค่าแตกต่างจาก 10 μM แล้วต้องมีการปรับตั้งค่ากระบวนการใหม่

Power and Sample Size

```
One-way ANOVA

Alpha = 0.05  Assumed standard deviation = 0.245  Number of Levels = 2


   SS  Sample  Target                    Maximum
Means    Size   Power  Actual Power  Difference
  50       2    0.85      0.954770           10
  50       2    0.90      0.954770           10
  50       2    0.95      0.954770           10

The sample size is for each level.
```

ภาพที่ 4-11 ผลลัพธ์การคำนวนจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากภาพที่ 4-11 การคำนวนสามารถสรุปได้ว่าจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองอย่างน้อยต้องมีค่าเท่ากับ 3 ชิ้นงาน

4.3.6 การกำหนดสมมติฐานการทดลอง

$HBB_0 : C_{new}=C_{old}$: วิธีการล้างชิ้นงานไม่มีผลค่าความหยาบผิวชิ้นงาน

$H_1 : C_{new}\neq C_{old}$: วิธีการล้างชิ้นงานมีผลค่าความหยาบผิวชิ้นงาน

4.3.7 ผลการทดสอบความหยาบผิว

ตารางที่ 4-6 ข้อมูลทดสอบความหยาบผิวชิ้นงานที่วิธีการล้างชิ้นงานแบบเดิม และใหม่

ค่าความหยาบผิว (μm)										
จุดที่ / ชิ้นงานที่	การล้างแบบเดิม					การล้างแบบใหม่				
	1	2	3	4	ค่าเฉลี่ย	1	2	3	4	ค่าเฉลี่ย
1	1.49	1.61	1.47	1.51	1.520	0.98	1.45	1.45	1.15	1.257
2	1.43	1.49	1.53	1.61	1.515	1.25	1.25	0.98	1.44	1.230
3	1.53	1.61	1.53	1.63	1.575	1.35	1.53	1.23	1.48	1.397
4	1.46	1.57	1.54	1.59	1.540	1.45	1.48	1.35	1.35	1.407

4.3.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

One-way ANOVA: Roughness versus Method Clean

```
Source        DF       SS       MS      F      P
Method Clean   1  0.09191  0.09191  19.80  0.004
Error          6  0.02785  0.00464
Total          7  0.11977

S = 0.06814   R-Sq = 76.74%   R-Sq(adj) = 72.87%


                           Individual 95% CIs For Mean Based on
                           Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev  ------+---------+---------+---------+---
1      4  1.5375  0.0272                      (--------*-------)
2      4  1.3231  0.0924  (-------*--------)
                           ------+---------+---------+---------+---
                               1.30      1.40      1.50      1.60

Pooled StDev = 0.0681
```

ภาพที่ 4-12 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความหยาบผิวชิ้นงานที่วิธีการล้างชิ้นงานแบบเดิมและใหม่

4.3.9 สรุปผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากภาพ 4-12 ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.004 เพราะฉะนั้นจึงสามารถปฏิเสธสมมติฐาน H_0 จึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีการล้างชิ้นงานมีผลต่อค่าความหยาบผิวชิ้นงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการชุบโครเมี่ยมอย่างมีนัยสำคัญด้วยนัยสำคัญ 0.05

4.3.10 การกำหนดสมมติฐานการทดลอง

$H_0 : A_4 = A_6$: ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าไม่มีผลค่าความหยาบผิวชิ้นงาน

$H_1 : A_4 \neq A_6$: ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามีผลค่าความหยาบผิวชิ้นงาน

4.3.11 ผลการทดสอบความหยาบผิว

ตารางที่ 4-7 ข้อมูลทดสอบความหยาบผิวชิ้นงานที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าระดับ 4 A/dm^2 และ 6 A/dm^2

ค่าความหยาบผิว (μm)										
จุดที่ / ชิ้นงานที่	ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 4 A/dm^2					ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 6 A/dm^2				
	1	2	3	4	ค่าเฉลี่ย	1	2	3	4	ค่าเฉลี่ย
1	1.48	1.51	1.47	1.51	1.492	2.10	2.15	2.45	2.50	2.300
2	1.55	1.49	1.53	1.51	1.520	2.15	2.15	2.10	2.10	2.125
3	1.59	1.57	1.53	1.49	1.545	2.05	1.95	2.21	2.10	2.077
4	1.66	1.57	1.54	1.59	1.590	2.15	2.10	2.10	2.05	2.100

4.3.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

One-way ANOVA: Roughness versus Current Density

```
Source           DF       SS       MS       F      P
Current Density   1  0.75338  0.75338  125.49  0.000
Error             6  0.03602  0.00600
Total             7  0.78940

S = 0.07748   R-Sq = 95.44%   R-Sq(adj) = 94.68%


                           Individual 95% CIs For Mean Based on
                           Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev   --+---------+---------+---------+-------
1      4  1.5369  0.0414   (--*---)
2      4  2.1506  0.1015                          (---*---)
                           --+---------+---------+---------+-------
                           1.50      1.75      2.00      2.25

Pooled StDev = 0.0775
```

ภาพที่ 4-13 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนความหยาบผิวชิ้นงานที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 4 A/dm^2 และ 6 A/dm^2

4.3.13 สรุปผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากภาพที่ 4-13 ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.000 เพราะฉะนั้นจึงสามารถปฏิเสธสมมติฐาน H_{B0} จึงสามารถสรุปได้ว่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามีผลต่อค่าความหยาบผิวชิ้นงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการชุบโครเมี่ยมอย่างมีนัยสำคัญด้วยนัยสำคัญ 0.05

4.3.14 การกำหนดสมมติฐานการทดลอง

$H_0 : T_{50}=T_{60}$: อุณหภูมิไม่มีผลค่าความหยาบผิวชิ้นงาน

$H_1 : T_{50}\neq T_{60}$: อุณหภูมิมีผลค่าความหยาบผิวชิ้นงาน

4.3.15 ผลการทดสอบความหยาบผิว

ตารางที่ 4-8 ข้อมูลทดสอบความหยาบผิวชิ้นงานที่ระดับอุณหภูมิ 50˚C และ 60˚C

ค่าความหยาบผิว (μm)										
จุดที่ / ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ 50 ˚C					อุณหภูมิ 60 ˚C				
	1	2	3	4	ค่าเฉลี่ย	1	2	3	4	ค่าเฉลี่ย
1	1.54	1.54	1.61	1.57	1565	1.58	1.49	1.46	1.51	1.510
2	1.55	1.48	1.50	1.51	1.510	1.53	1.53	1.51	1.48	1.512
3	1.57	1.57	1.50	1.42	1.490	1.57	1.51	1.49	1.49	1.515
4	1.57	1.48	1.60	1.53	1.545	1.62	1.60	1.43	1.46	1.527

4.3.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

One-way ANOVA: Roughness versus Temp

```
Source  DF        SS        MS     F      P
Temp     1  0.000613  0.000613  1.67  0.244
Error    6  0.002200  0.000367
Total    7  0.002813

S = 0.01915   R-Sq = 21.78%   R-Sq(adj) = 8.74%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev  ----+---------+---------+---------+-----
1      4  1.5338  0.0259          (-----------*-----------)
2      4  1.5163  0.0078  (-----------*-----------)
                          ----+---------+---------+---------+-----
                            1.500     1.520     1.540     1.560

Pooled StDev = 0.0191
```

ภาพที่ 4-14 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนความหยาบผิวชิ้นงานที่อุณหภูมิ 40˚C และ 60˚C

4.3.17 สรุปผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากภาพที่ 4-14 ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.244 เพราะฉะนั้นจึงสามารถยอมรับสมมติฐาน H_0 จึงสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อค่าความหยาบผิวชิ้นงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการชุบโครเมี่ยมอย่างมีนัยสำคัญด้วยนัยสำคัญ 0.05

4.3.18 การกำหนดสมมติฐานการทดลอง

$H_0 : P_{4.0}=P_{4.5}$: ค่าพีเอชไม่มีผลค่าความหยาบผิวชิ้นงาน

$H_0 : P_{4.0}\neq P_{4.5}$: ค่าพีเอชมีผลค่าความหยาบผิวชิ้นงาน

4.3.19 ผลการทดสอบความหยาบผิว

ตารางที่ 4-9 ข้อมูลทดสอบความหยาบผิวชิ้นงานที่ระดับค่าพีเอช 4.0 และ 4.5

ค่าความหยาบผิว (μm)										
จุดที่ / ชิ้นงานที่	ค่าพีเอช เท่ากับ 4.0					ค่าพีเอช เท่ากับ 4.5				
	1	2	3	4	ค่าเฉลี่ย	1	2	3	4	ค่าเฉลี่ย
1	2.45	2.20	2.15	2.34	2.285	1.60	1.54	1.65	1.70	1.622
2	2.15	2.05	2.10	2.40	2.175	1.75	1.48	1.63	1.72	1.645
3	2.30	2.15	2.18	2.20	2.207	1.75	1.65	1.45	1.45	1.575
4	1.98	2.21	2.41	2.44	2.260	1.64	1.58	1.71	1.68	1.652

4.3.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

One-way ANOVA: Roughness versus ph

```
Source  DF       SS       MS       F      P
ph       1  0.73963  0.73963  399.86  0.000
Error    6  0.01110  0.00185
Total    7  0.75073

S = 0.04301   R-Sq = 98.52%   R-Sq(adj) = 98.28%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev   -+---------+---------+---------+--------
1      4  2.2319  0.0498                                  (--*-)
2      4  1.6238  0.0349   (-*--)
                           -+---------+---------+---------+--------
                          1.60      1.80      2.00      2.20

Pooled StDev = 0.0430
```

ภาพที่ 4-15 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนความหยาบผิวชิ้นงานที่ค่าพีเอช 4 และ 4.5

4.3.21 สรุปผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากภาพที่ 4-15 ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.000 เพราะฉะนั้นจึงสามารถปฏิเสธสมมติฐาน H_0 จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าพีเอชมีผลต่อค่าความหยาบผิวชิ้นงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการชุบโครเมี่ยมอย่างมีนัยสำคัญด้วยนัยสำคัญ 0.05

4.3.22 สรุปผลการดำเนินงานการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากผลการดำเนินงานในขั้นตอนการวิเคราะห์ โดยเริ่มจากการนำปัจจัยที่มีผลกระทบต่อโครงการที่ได้มาจากขั้นตอนการวัดผลมาทำการทดลองซึ่งผลของการวิเคราะห์ พบว่า วิธีการล้างและปัจจัยในบ่อชุบนิเกิล อันได้แก่ ค่าพีเอช และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้พื้นผิวของชิ้นงานขุรขระเกิดเป็นเม็ดหรือตามด โดยมีผลต่อค่าความหยาบผิวชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะนำไปพิจาณาในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการต่อไป

4.4 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

ในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการนี้จะนำปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความหยาบผิวชิ้นงาน ในการปรับปรุงจำเป็นต้องอาศัยการพิสูจน์หรือการทดสอบสมมติฐานโดยอาศัยการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) และวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology : RSM) โดยจะนำมาใช้หาค่าที่ดีที่สุดของค่าผลตอบสนอง ซึ่งการปรับปรุงแก้ไขนั้นสามารถปรับปรุงคุณสมบัติอันเป็นเหตุในการลดของเสียได้ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.4.1 การออกแบบการทดลองแบบ $2PP^k$ แฟคทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Addition of Center Points to the 2^k Design)

การออกแบบการทดลองที่มีสองระดับ เป็นการออกแบบการทดลองที่มีประโยชน์และนิยมใช้กันอย่างมากในอุตสาหกรรม ประการสำคัญในการใช้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลสองระดับ คือ สมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นเส้นตรง (Linearity) ของผลที่เกิดขึ้นจากปัจจัยต่างๆ โดยสามารถเขียนเป็นตัวแบบทางคณิตศาสตร์กำลังหนึ่ง (First-Order Model) ประกอบด้วยเทอมต่างๆ ได้แก่ อิทธิพลของปัจจัยหลัก และอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่างๆ ดังสมการที่ 4-1

$$yBB_i = \beta_0 + \sum_{j=i}^{k} \beta_j x_j + \sum_{i<j} \sum \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

(4-1)

บางกรณีมีส่วนโค้งในฟังก์ชันผลตอบสนอง ซึ่งไม่เพียงพอที่จะสร้างสมการของแบบจำลองดังสมการที่ 4-1 ได้ ดังนั้นตัวแบบสมการพื้นที่ผิวตอบสนองกำลังสอง (Second-Order Response Surface Model) ดังสมการที่ 4-2 จึงเป็นแบบจำลองที่มีความเหมาะสมกว่า เนื่องจากแบบจำลองนี้สามารถแสดงส่วนโค้งบางประการของฟังก์ชันของผลตอบสนอง ส่วนโค้งนี้เกิดจากการบิดเบี้ยวของระนาบ (Plane) ที่ถูกทำให้เกิดขึ้นจากอิทธิผลของ $\beta_{ij}x_ix_j$ ได้

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=i}^{k}\beta_j x_j + \sum_{i<j}\sum\beta_{ij}x_ix_j + \sum_{i<j}\sum\beta_{jj}x_j^2 + \varepsilon \qquad (4\text{-}2)$$

โดยที่ β_{ij} แทนผลขั้นสอง (Second-Order Effect) หรือผลแบบควอดราติก (Quadratic Effect)

การศึกษาว่าบริเวณที่ศึกษาจะมีลักษณะการเป็นผิวโค้งหรือไม่นั้น ทำได้โดยการทดลองซ้ำ (Replicate) ในบริเวณตรงกลางของระนาบ (Plane) ที่จะเกิดจากการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรี่ยล เรียกลักษณะการเติมการทดลองลงไปในบริเวณตรงกลางนี้ว่า การออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (The 2^2 Factorial Design with Center Point)

4.4.1.1 ปัจจัยและคุณลักษณะของปัจจัยป้อนเข้า

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อกลั่นกรองปัจจัยต่างๆ (Screening Factors) พบว่า ปัจจัยที่ต้องควบคุมในกระบวนการชุบเคลือบผิวโครเมี่ยม คือ วิธีการล้างชิ้นงาน ค่าพีเอช และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า โดยยังไม่ทราบค่าปัจจัยที่เหมาะสม ดังนั้นจึงกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยต่างๆ ดังตารางที่ 4-10 เพื่อทำการทดลองหาระดับที่เหมาะสมต่อไป

ตารางที่ 4-10 ปัจจัยและคุณลักษณะของปัจจัยป้อนเข้า

ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
	1	2	
วิธีการล้างชิ้นงาน	แบบเดิม	แบบใหม่	ไม่มี
ค่า ph	4	4.5	หน่วย
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า	4	6	แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร

4.4.1.2 การกำหนดสมมติฐานการทดลอง

สมมติฐานที่ 1 อิทธิพลของวิธีการล้างชิ้นงาน

$HB_0 : \tau_i = 0 \quad i = 1, 2,\ldots,a$

$H_0 : \tau_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับศูนย์

สมมติฐานที่ 2 อิทธิพลของค่าพีเอช

$H_0 : \beta_j = 0 \quad i = 1, 2,\ldots,b$

$H_0 : \beta_j \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับศูนย์

สมมติฐานที่ 3 อิทธิพลของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า

$H_0 : \gamma_k = 0 \quad i = 1, 2,\ldots,c$

$H_0 : \gamma_k \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับศูนย์

สมมติฐานที่ 4 อิทธิพลร่วมของวิธีการล้างชิ้นงาน และค่าพีเอช

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} \neq 0$

สมมติฐานที่ 5 อิทธิพลร่วมของวิธีการล้างชิ้นงาน และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า

$H_0 : (\tau\gamma)_{ik} = 0$

$H_0 : (\tau\gamma)_{ik} \neq 0$

สมมติฐานที่ 6 อิทธิพลร่วมของค่าพีเอช และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า

$H_0 : (\beta\gamma)_{jk} = 0$

$H_0 : (\beta\gamma)_{jk} \neq 0$

สมมติฐานที่ 7 อิทธิพลร่วมของวิธีการล้างชิ้นงาน ค่าพีเอช และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า

$H_0 : (\tau\beta\gamma)_{ijk} = 0$

$H_0 : (\tau\beta\gamma)_{ijk} \neq 0$

4.4.1.3 การคำนวนจำนวนสิ่งตัวอย่าง

การคำนวนจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองนี้จะคำนวนด้วยโปรแกรม Minitab และกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

ก) ระดับนัยสำคัญ (α) มีค่าเท่ากับ 0.05 และความน่าจะเป็นในการยอมรับสมมติฐาน (β) เท่ากับ 0.05 หรือ Power of Test เท่ากับ 0.95

ข) จากข้อมูลในอดีตความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) มีค่าเท่ากับ 0.245

ค) Center point เท่ากับ 3 เนื่องจากตามทฤษฎีการเพิ่มจุดศูนย์กลางควรเพิ่ม 3-5 จุด เพื่อตรวจสอบสมมติฐานความเป็นสันตรง (Linearity) ของผลที่จะเกิดจากปัจจัยต่างๆ

ง) ค่า Corner point เท่ากับ 8 จุด และค่า Effect เท่ากับ 1

Power and Sample Size

```
2-Level Factorial Design

Alpha = 0.05  Assumed standard deviation = 0.245

Factors:    3   Base Design: 3, 8
Blocks:  none

Including a term for center points in model.

Center                Total  Target   Actual
Points  Effect  Reps   Runs   Power    Power
     3       1     2     19    0.85  1.00000
     3       1     2     19    0.90  1.00000
     3       1     2     19    0.95  1.00000
```

ภาพที่ 4-16 ผลลัพธ์การคำนวนจำนวนสิ่งตัวอย่างแบบ 2^{Pk} แฟคทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง

จากภาพที่ 4-16 การคำนวนสามารถสรุปได้ว่าจำนวนสิ่งตัวอย่างหรือเรพิเคชันที่จะใช้ในการทดลองอย่างน้อยต้องมีค่าเท่ากับ 2 ชิ้นงาน

4.4.1.4 การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการทดลองเบื้องต้นนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยเทคนิคการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง เมื่อมีระดับของปัจจัย 2 ระดับ เพื่อที่จะทำการทดลองตัดสินปัจจัยที่มีผลกับค่าความหยาบผิว โดยใช้จำนวนตัวอย่างที่น้อยที่สุดซึ่งผลการทดลองนี้ดังตารางที่ 4-11 และได้กำหนดให้

ก) วิธีการล้างชิ้นงานกำหนดไว้เป็น 2 ระดับ คือ

1. แบบเดิม กำหนดให้เป็นค่า -1
2. แบบใหม่ กำหนดให้เป็นค่า 1

ข) ค่าพีเอช กำหนดไว้เป็น 2 ระดับ คือ

1. ค่าพีเอชในน้ำยาชุบชิ้นงานเท่ากับ 4 กำหนดให้เป็นค่า 4
2. ค่าพีเอชในน้ำยาชุบชิ้นงานเท่ากับ 4.5 กำหนดให้เป็นค่า 4.5

ค) ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า กำหนดไว้เป็น 2 ระดับ คือ

1. ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในการชุบ 4 กำหนดให้เป็นค่า 4
2. ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในการชุบ 6 กำหนดให้เป็นค่า 6

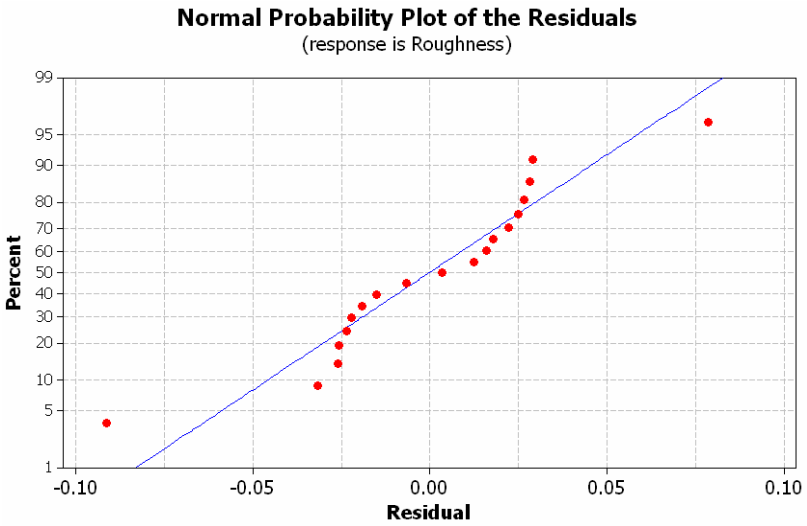
ตารางที่ 4-11 ผลการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง

ปัจจัยนำเข้า			ค่าความหยาบผิว				
วิธีการล้าง	ค่าพีเอช	ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ค่าเฉลี่ย
-1	4.00	4	2.14	2.13	2.22	2.40	2.223
1	4.00	4	1.67	1.67	1.56	1.76	1.665
-1	4.50	4	2.10	1.98	1.95	1.85	1.970
1	4.50	4	1.10	1.10	1.30	1.21	1.178
-1	4.00	6	1.77	1.69	2.30	1.60	1.840
1	4.00	6	1.40	1.42	1.52	1.38	1.430
-1	4.50	6	1.63	1.58	1.45	1.51	1.543
1	4.50	6	1.43	1.43	1.35	1.51	1.430
-1	4.00	4	2.30	2.38	2.19	2.24	2.278
1	4.00	4	1.67	1.58	1.87	1.68	1.700
-1	4.50	4	2.28	2.10	1.91	1.79	2.020
1	4.50	4	0.97	1.03	1.15	1.37	1.130
-1	4.00	6	1.80	1.63	1.67	2.07	1.793
1	4.00	6	1.38	1.42	1.42	1.46	1.420
-1	4.50	6	1.48	1.48	1.53	1.55	1.510
1	4.50	6	1.51	1.49	1.48	1.48	1.490
-1	4.25	5	1.63	1.63	1.51	1.55	1.580
1	4.25	5	1.21	1.10	1.32	1.25	1.220
-1	4.25	5	1.78	1.78	1.67	1.77	1.750

4.4.1.5 การตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ (Model Adequacy Checking)

เป็นการตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูลว่าเป็นไปตามเงื่อนไขที่สำคัญ คือ NID $(0,\sigma^2)$ หรือไม่ โดยลักษณะการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบนั้นประกอบด้วยการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคาดเคลื่อนของการทดลองภายใต้เงื่อนไข 3 ประการด้วยกัน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

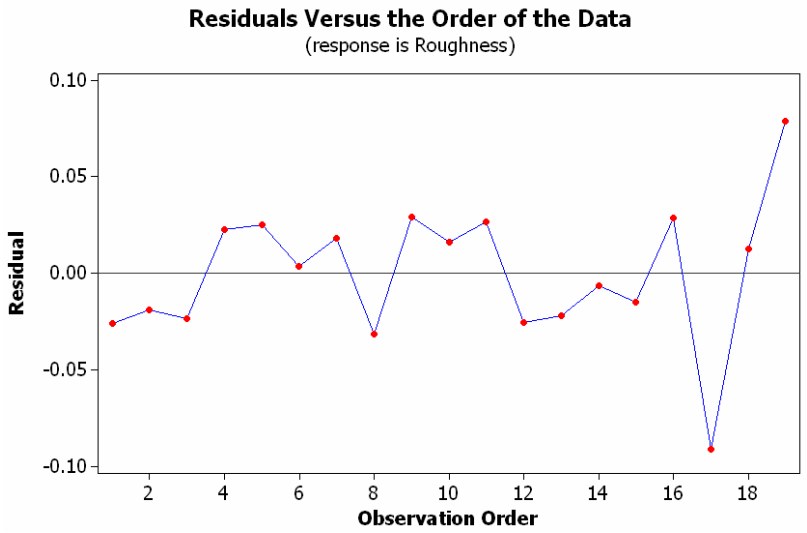
ก) การทดสอบสมมติฐานการกระจายแบบปกติของข้อมูล โดยพิจารณาจากการกระจายของค่า Residual ดังภาพที่ 4-17



ภาพที่ 4-17 ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานการกระจายแบบปกติ

จากภาพที่ 4-17 จากค่าตอบสนองความหยาบผิวชิ้นงาน พบว่า เมื่อพิจารณาค่าของข้อมูล Residual ของข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

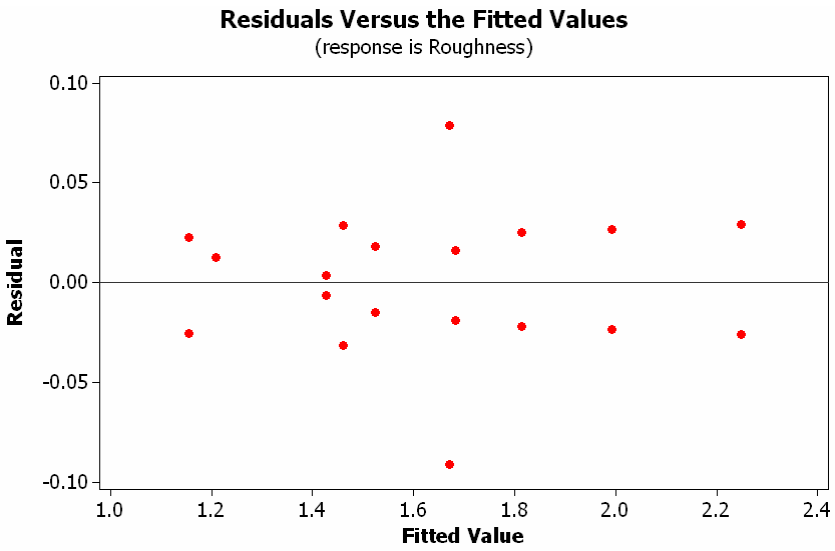
ข) การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของข้อมูล โดยพิจาณาจากแผนภูมิการกระจาย ดังภาพที่ 4-18



ภาพที่ 4-18 ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของข้อมูล

จากภาพที่ 4-18 จากค่าตอบสนองความหยาบผิวชิ้นงาน เมื่อพิจารณาการกระจายของข้อมูลบนแผนภูมิ พบว่า การกระจายตัวของ Residual ไม่สามารถทำนายรูปแบบที่แน่นอนได้ แสดงว่าค่า Residual มีความเป็นอิสระต่อกัน

ค) การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของข้อมูล ดังภาพที่ 4-19



ภาพที่ 4-19 ผลลัพธ์การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของข้อมูล

จากภาพที่ 4-19 จากค่าตอบสนองความหยาบผิวชิ้นงาน มีรูปแบบการกระจายที่ไม่แน่นอน ไม่สามารถทำนายรูปแบบที่แน่นอนได้ แสดงว่าค่า Residual มีเสถียรภาพของความแปรปรวน

4.4.1.6 การวิเคราะห์การทดลองแบบ 2^3 แฟคทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง

Factorial Fit: Roughness versus Method Clean, Ph, Current Density

Estimated Effects and Coefficients for Roughness (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		1.6638	0.01192	139.54	0.000
Method Clean	-0.4636	-0.2318	0.01104	-21.00	0.000
Ph	-0.2597	-0.1299	0.01192	-10.89	0.000
Current Density	-0.2135	-0.1067	0.01192	-8.95	0.000
Method Clean*Ph	0.0130	0.0065	0.01192	0.55	0.598
Method Clean*Current Density	0.2378	0.1189	0.01192	9.97	0.000
Ph*Current Density	0.1323	0.0661	0.01192	5.55	0.000
Method Clean*Ph*Current Density	0.1495	0.0747	0.01192	6.27	0.000
Ct Pt		-0.2244	0.03023	-7.42	0.000

S = 0.0476931 R-Sq = 98.81% R-Sq(adj) = 97.87%

Analysis of Variance for Roughness (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	1.38475	1.45538	0.485126	213.28	0.000
2-Way Interactions	3	0.29674	0.29674	0.098912	43.48	0.000
3-Way Interactions	1	0.08940	0.08940	0.089401	39.30	0.000
Curvature	1	0.12528	0.12528	0.125281	55.08	0.000
Residual Error	10	0.02275	0.02275	0.002275		
Lack of Fit	1	0.00027	0.00027	0.000270	0.11	0.750
Pure Error	9	0.02248	0.02248	0.002497		
Total	18	1.91891				

ภาพที่ 4-20 ผลลัพธ์การทดลองแบบ 2^3 แฟคทอเรียล

4.4.1.7 สรุปผลการทดลองแบบ 2^3 แฟคทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง

ก) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า วิธีการล้าง (Method Clean) กับค่าพีเอช (Ph) และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (Current Density) แต่ละปัจจัยมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยทั้งสามข้างต้นมีผลต่อความหยาบผิวชิ้นงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการชุบโครเมี่ยม

ข) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้างต้น พบว่า ปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างวิธีการล้างกับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (Method Clean*Current Density) และค่าพีเอชกับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (Ph*Current Density) และวิธีการล้าง ค่าพีเอช และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (Method Clean*Ph*Current Density) มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05

จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างกันทั้งสามข้างต้นมีผลต่อความหยาบผิวชิ้นงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการชุบโครเมี่ยม

ค) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้างต้น พบว่า เมื่อพิจารณาค่า P-Value ของ Curvature มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า การทดลองนี้มีลักษณะของส่วนโค้ง

4.4.2 การหาพื้นผิวตอบสนองกำลังสอง (Second-Order Response Surface Model)

เนื่องจากการทดลองนี้มีลักษณะของส่วนโค้ง ดังนั้น จึงต้องนำปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนอง 3 ปัจจัย คือ วิธีการล้างชิ้นงาน ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า และค่าพีเอช มาทำการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองที่มีลักษณะส่วนโค้งใหม่ โดยใช้วิธีการหาพื้นผิวตอบสนองกำลังสอง เพื่อทดลองหาจุดที่ใกล้เคียงกับจุดที่เหมาะสมกับการผลิตที่ดีที่สุด ซึ่งแบบจำลองนี้สามารถแสดงส่วนโค้งได้จะถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าของผลตอบสนองได้ โดยจะทำการทดลองดังตารางที่ 4-12

ตารางที่ 4-12 ผลการทดลองด้วยวิธีการหาพื้นผิวตอบสนองกำลังสอง

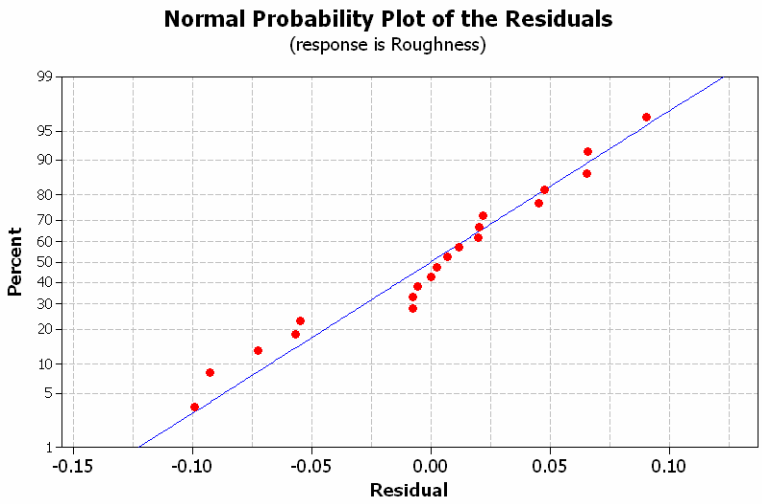
ปัจจัยนำเข้า			ค่าความหยาบผิว				
วิธีการล้าง	ค่าพีเอช	ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ค่าเฉลี่ย
-1	4.00000	4.00000	1.43	1.49	1.56	1.66	1.535
1	4.00000	4.00000	1.35	1.35	1.65	0.94	1.323
-1	4.50000	4.00000	1.48	1.56	1.43	1.58	1.513
1	4.50000	4.00000	1.32	0.98	0.98	1.30	1.145
-1	4.00000	6.00000	2.21	2.34	1.98	1.88	2.103
1	4.00000	6.00000	1.92	1.84	1.84	1.72	1.830
-1	4.50000	6.00000	1.42	1.54	1.45	1.48	1.473
1	4.50000	6.00000	1.44	1.42	1.55	1.43	1.460
-1	4.25000	5.00000	1.51	1.44	1.38	0.17	1.125
1	4.25000	5.00000	0.89	0.85	0.82	0.98	0.885
-1	3.82955	5.00000	1.58	1.53	1.58	5.12	2.453
1	4.67045	5.00000	1.34	1.34	1.38	3.28	1.835
-1	4.25000	3.31821	1.58	1.47	1.62	1.41	1.520
1	4.25000	6.68179	1.93	1.73	1.84	1.78	1.820

ตารางที่ 4-12 (ต่อ)

ปัจจัยนำเข้า			ค่าความหยาบผิว				
วิธีการล้าง	ค่าพีเอช	ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ค่าเฉลี่ย
-1	4.25000	5.00000	1.38	1.38	1.51	0.18	1.113
1	4.25000	5.00000	0.85	1.11	1.14	0.18	0.820
-1	4.25000	5.00000	1.43	1.43	1.55	0.13	1.135
1	4.25000	5.00000	0.93	1.14	1.21	0.26	0.885
-1	4.25000	5.00000	1.132	0.98	1.12	1.3	1.133
1	4.25000	5.00000	0.88	1.11	0.98	0.96	0.983

4.4.2.1 การวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

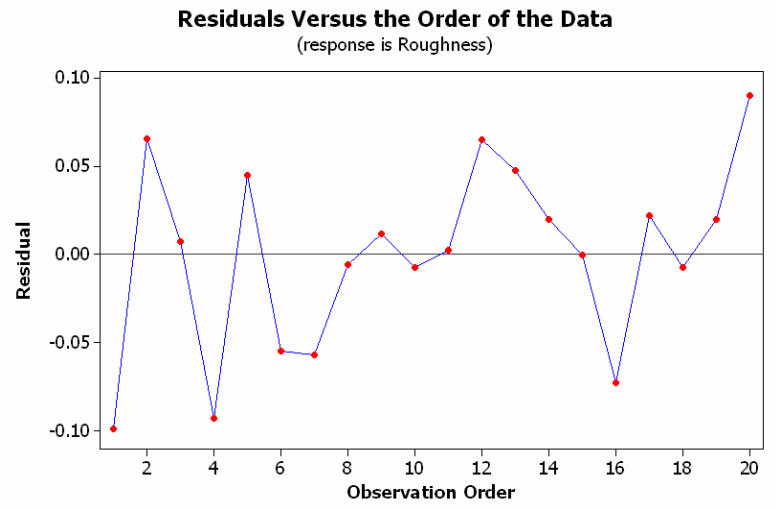
ก) การทดสอบสมมติฐานการกระจายแบบปกติของข้อมูล โดยพิจารณาจากการกระจายของค่า Residual ดังภาพที่ 4-21



ภาพที่ 4-21 ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานการกระจายแบบปกติ

จากภาพที่ 4-21 จากค่าตอบสนองความหยาบผิวชิ้นงาน พบว่า เมื่อพิจารณาค่าของข้อมูล Residual ของข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

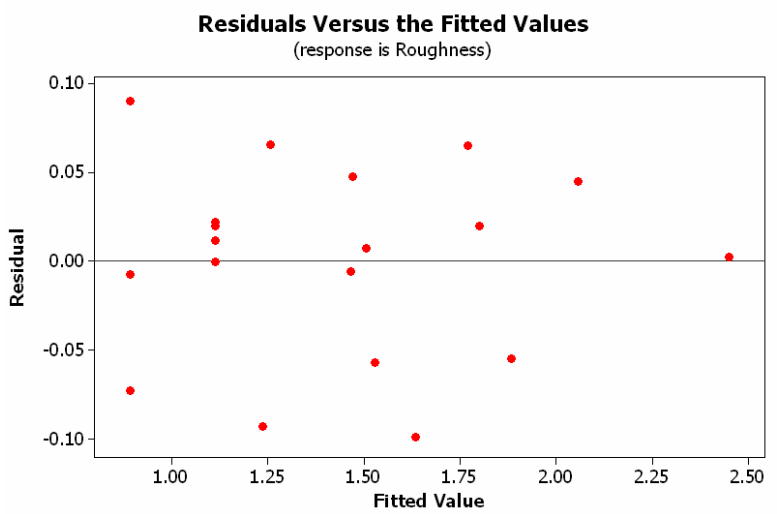
ข) การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของข้อมูล โดยพิจาณาจากแผนภูมิการกระจาย ดังภาพที่ 4-22



ภาพที่ 4-22 ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของข้อมูล

จากภาพที่ 4-22 จากค่าตอบสนองความหยาบผิวชิ้นงาน เมื่อพิจารณาการกระจายของข้อมูลบนแผนภูมิ พบว่า การกระจายตัวของ Residual มีรูปแบบการกระจายที่ไม่แน่นอนไม่สามารถทำนายรูปแบบที่แน่นอนได้ แสดงว่าค่า Residual มีความเป็นอิสระต่อกัน

ค) การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของข้อมูล ดังภาพที่ 4-23



ภาพที่ 4-23 ผลลัพธ์การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของข้อมูล

จากภาพที่ 4-23 จากค่าตอบสนองความหยาบผิวชิ้นงาน มีรูปแบบการกระจายที่ไม่แน่นอน ไม่สามารถทำนายรูปแบบที่แน่นอนได้ แสดงว่าค่า Residual มีเสถียรภาพของความแปรปรวน

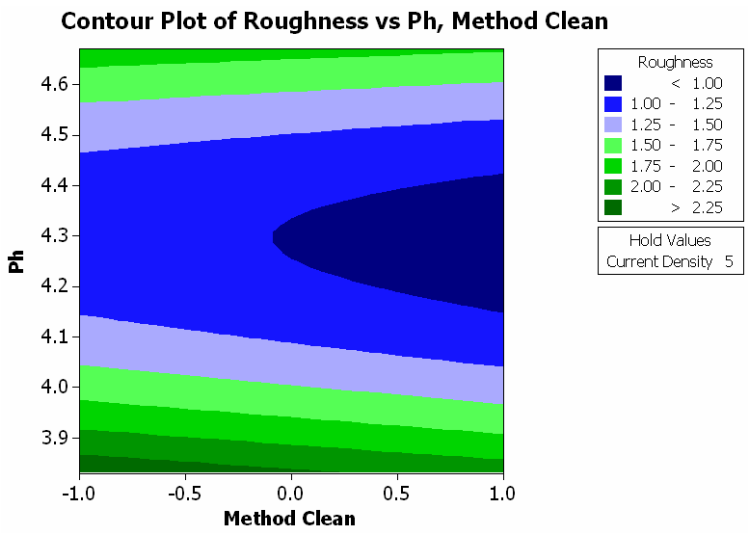
4.4.2.2 การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองกำลังสอง

Response Surface Regression: Roughness versus Method Clean, Ph, Current Density

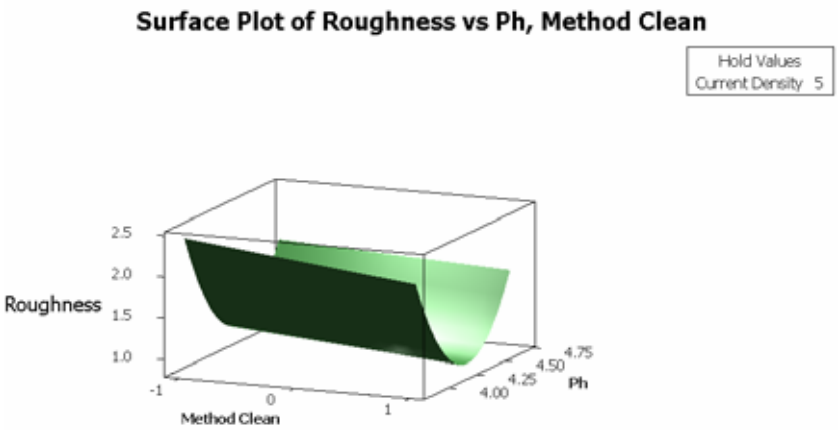
```
The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Roughness

Term                                  Coef  SE Coef       T      P
Constant                           1.00286  0.02409  41.635  0.000
Method Clean                      -0.11024  0.01616  -6.823  0.000
Ph                                -0.13682  0.01914  -7.147  0.000
Current Density                    0.16295  0.01914   8.512  0.000
Ph*Ph                              0.37528  0.02157  17.400  0.000
Current Density*Current Density    0.19357  0.02157   8.975  0.000
Method Clean*Ph                    0.02724  0.02286   1.192  0.259
Method Clean*Current Density       0.05099  0.02286   2.230  0.048
Ph*Current Density                -0.10000  0.02447  -4.087  0.002

S = 0.06920   R-Sq = 98.5%   R-Sq(adj) = 97.5%


Analysis of Variance for Roughness

Source          DF   Seq SS   Adj SS   Adj MS       F      P
Regression       8  3.56600  3.56600  0.44575   93.09  0.000
  Linear         3  0.84197  0.84197  0.28066   58.61  0.000
  Square         2  2.60899  2.00183  1.00092  209.03  0.000
  Interaction    3  0.11504  0.11504  0.03835    8.01  0.004
Residual Error  11  0.05267  0.05267  0.00479
  Lack-of-Fit    5  0.03882  0.03882  0.00776    3.36  0.086
  Pure Error     6  0.01386  0.01386  0.00231
Total           19  3.61867
```

ภาพที่ 4-24 ผลลัพธ์การทดลองหาพื้นผิวตอบสนองกำลังสอง

เมื่อใช้การประมวลผลในลักษณะของวิธีการปีนขึ้นด้วยทางที่ชันที่สุด (Steepest Ascent) จะแสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นโครงร่างและพื้นผิวตอบสนอง ดังรูปที่ 4-25 ถึง 4-31 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

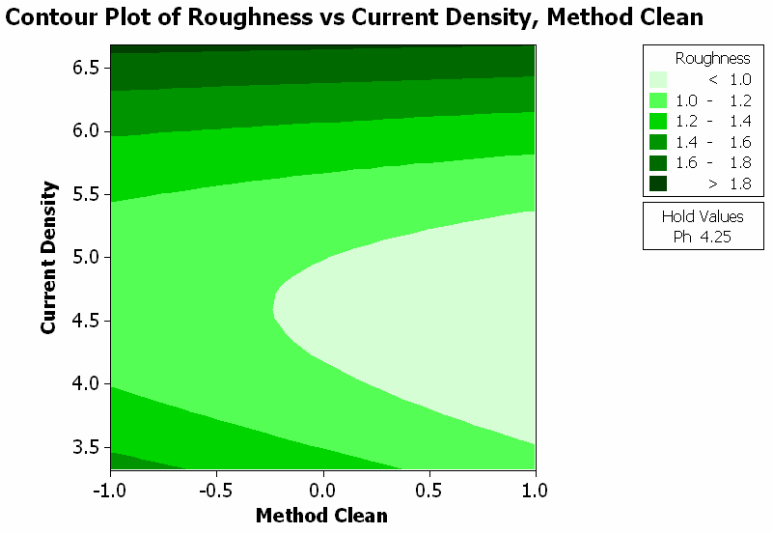


ภาพที่ 4-25 โครงร่างระหว่างปัจจัยวิธีการล้างและค่าพีเอช

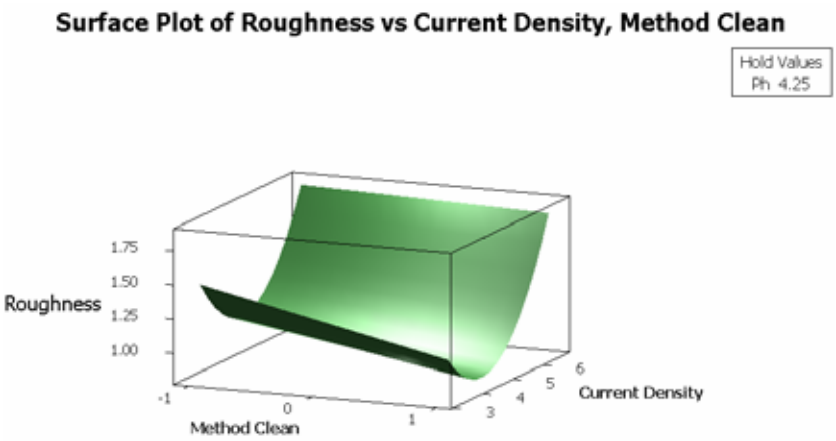


ภาพที่ 4-26 พื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยวิธีการล้างและค่าพีเอช

จากภาพที่ 4-25 และ 4-26 เป็นกราฟแสดงโครงร่าง และพื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยวิธีการล้างและค่าพีเอช โดยคงที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าไว้ที่ระดับกลาง คือ 5 A/dm^2 พบว่า ค่าความหยาบผิวชิ้นงานลดลงเมื่อระดับค่าพีเอชแนวนอนสูงขึ้นอย่างไรก็ดี ถ้าเพิ่มระดับค่าพีเอชแนวนอนสูงขึ้นผ่านจุดต่ำสุด จะทำให้ค่าความหยาบผิวชิ้นงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และค่าความหยาบผิวชิ้นงานจะลดลงเมื่อระดับปัจจัยวิธีการล้างอยู่ที่ระดับ 1 จากกราฟสรุปได้ว่าปัจจัยวิธีการล้างอยู่ที่ระดับ 1 และปัจจัยระดับค่าพีเอชอยู่ที่ระดับประมาณ 4.15-4.40

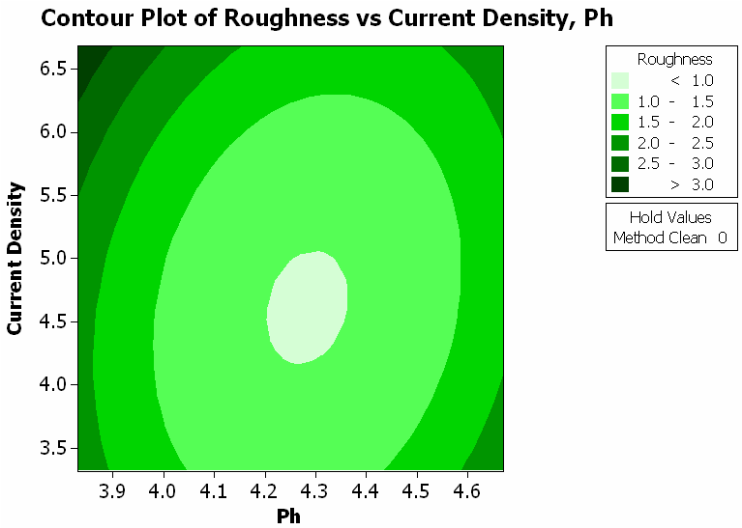


ภาพที่ 4-27 โครงร่างระหว่างปัจจัยวิธีการล้างและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า

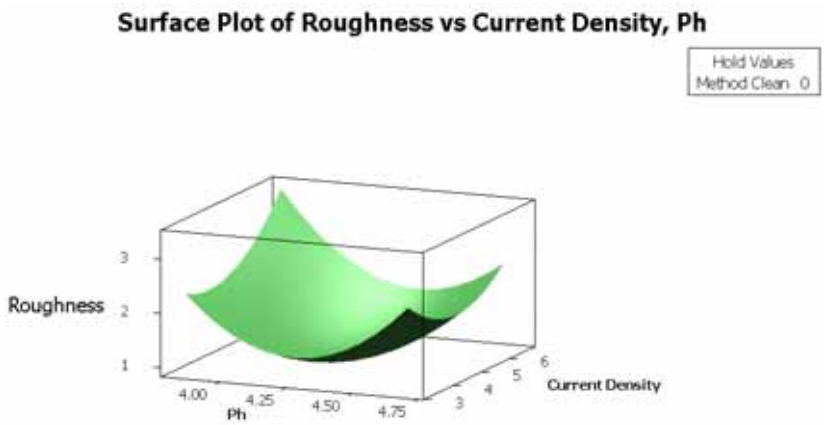


ภาพที่ 4-28 พื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยวิธีการล้างและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า

จากภาพที่ 4-27 และ 4-28 เป็นกราฟแสดงโครงร่าง และพื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยวิธีการล้างและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า โดยคงที่ค่าพีเอชไว้ที่ระดับกลาง คือ 4.25 A/dm^2 พบว่า ค่าความหยาบผิวชิ้นงานลดลงเมื่อระดับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น อย่างไรก็ดี ถ้าเพิ่มระดับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแนวนอนสูงขึ้นผ่านจุดต่ำสุด จะทำให้ค่าความหยาบผิวชิ้นงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และค่าความหยาบผิวชิ้นงานจะลดลงเมื่อระดับปัจจัยวิธีการล้างอยู่ที่ระดับ 1 ดังนั้นสรุปได้ว่าปัจจัยวิธีการล้างอยู่ที่ระดับ 1 และปัจจัยระดับค่าพีเอชอยู่ที่ระดับประมาณ 3.5–5.5



ภาพที่ 4-29 โครงร่างระหว่างปัจจัยความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าและค่าพีเอช



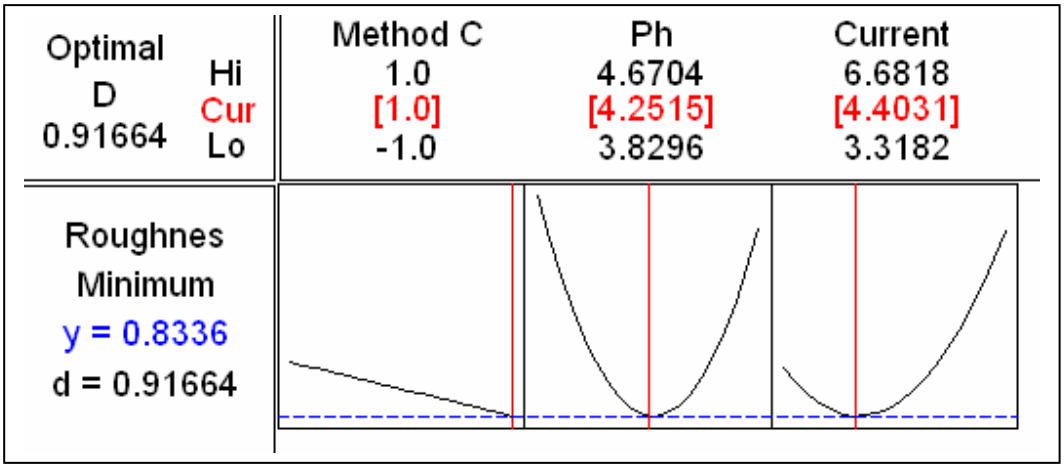
ภาพที่ 4-30 พื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าและค่าพีเอช

จากภาพที่ 4-29 และ 4-30 เป็นกราฟแสดงโครงร่าง และพื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยวิธีการล้างและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า โดยคงที่ค่าวิธีการล้างไว้ที่ระดับกลาง คือ 0 พบว่า ค่าความหยาบผิวชิ้นงานลดลงเมื่อระดับค่าพีเอชแนวนอนสูงขึ้นอย่างไรก็ดี ถ้าเพิ่มระดับค่าพีเอชแนวนอนสูงขึ้นผ่านจุดต่ำสุด จะทำให้ค่าความหยาบผิวชิ้นงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และค่าความหยาบผิวชิ้นงานลดลงเมื่อระดับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น อย่างไรก็ดี ถ้าเพิ่มระดับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแนวนอนสูงขึ้นผ่านจุดต่ำสุด จะทำให้ค่าความหยาบ

ผิวชิ้นงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากกราฟสรุปได้ว่าปัจจัยระดับค่าพีเอชอยู่ที่ระดับประมาณ 3.5–5.5 และปัจจัยระดับค่าพีเอชอยู่ที่ระดับประมาณ 4.15-4.40

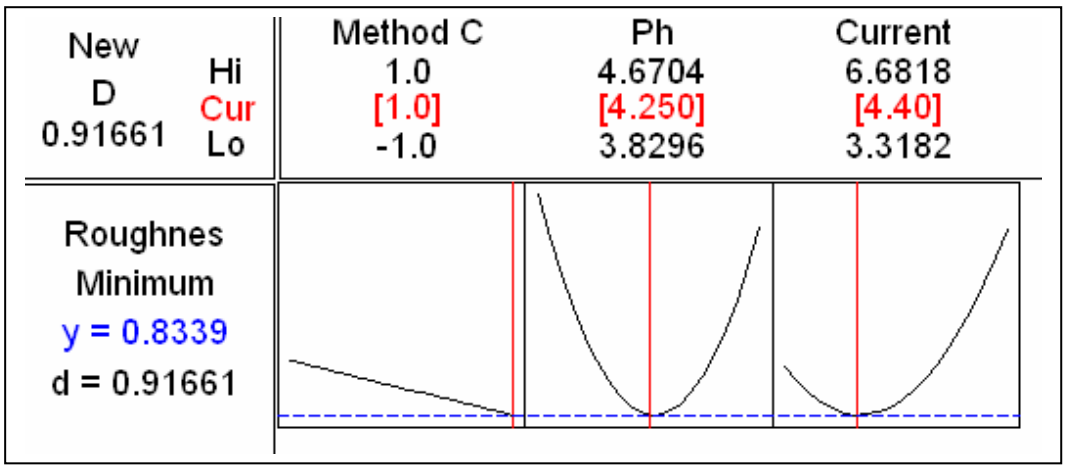
4.4.2.3 การกำหนดค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง

การทดลองหาค่าตอบสนองค่าความหยาบผิวชิ้นงาน โดยกำหนดระดับค่าความหยาบผิวชิ้นงานไม่ควรสูงเกินกว่า 10 μm และค่าเป้าหมายค่าความหยาบผิวชิ้นงานมีค่าน้อยที่สุด หรือเท่ากับ 0 ดังภาพที่ 4-31



ภาพที่ 4-31 ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสม

จากภาพที่ 4-31 พบว่า เพื่อให้ได้ค่าความหยาบผิวที่น้อยที่สุด คือ 0.8336 μm จะต้องกำหนดควบคุมปัจจัยในการผลิต คือ วิธีการล้างควรอยู่ที่ระดับ 1 คือ การล้างแบบใหม่ และค่าพีเอชนั้นควรควบคุมอยู่ที่ระดับ 4.2515 และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าควรควบคุมอยู่ที่ระดับ 4.4031 A/dm^2 อย่างไรก็ตาม ในการปฏิบัติงานจริงไม่สามารถที่จะปรับระดับได้ละเอียดตามผลการศึกษา จึงทดลองกำหนดกำหนดความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเป็น 4.40 A/dm^2 ดังภาพที่ 4–32 ซึ่งทำให้ค่าพีเอช เป็น 4.4 และค่าความหยาบผิวมีค่าเท่ากับ 0.8339 μm



ภาพที่ 4-32 ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสม เมื่อกำหนดความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเป็น 4.4 A/dm^2

4.4.3 สรุปผลการดำเนินงานการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

จากการดำเนินงานในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ พบว่า จากปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานในกระบวนการชุบโครเมี่ยมอันได้แก่ วิธีการล้างชิ้นงาน ค่าพีเอช และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า เพื่อทำการปรับปรุงค่าความหยาบผิวของชิ้นงานให้มีค่าน้อยที่สุด โดยเริ่มต้นจากการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง พบว่า นอกจากสามปัจจัยข้างต้นแล้ว ยังพบว่ามีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างวิธีการล้างกับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ค่าพีเอชกับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า และวิธีการล้าง ค่าพีเอช และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ยังมีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานอีกด้วย อีกทั้งพบว่าการทดลองนี้มีลักษณะของส่วนโค้ง ซึ่งแสดงด้วยค่า P-Value ของ Curvature มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 ดังนั้นการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่ดีที่สุดในการผลิตจำเป็นต้องใช้การวิธีการหาพื้นผิวตอบสนองกำลังสอง ทำให้ทราบสภาวะระดับที่เหมาะสมในการผลิต คือ วิธีการล้างเป็นแบบใหม่ ค่าพีเอชอยู่ที่ 4.2515 และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าควรควบคุมอยู่ที่ระดับ 4.4031 A/dm^2 โดยค่าความหยาบผิวมีค่าเท่ากับ 0.8336 μm แต่เนื่องจากในการปฏิบัติงานจริงไม่สามารถปรับระดับปัจจัยได้ละเอียดตามผลการศึกษา ทำให้ค่าความหยาบผิวมีค่าเท่ากับ 0.8339 μm ซึ่งหลังจากขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการแล้วนั้นก็จะได้นำปัจจัยนำเข้าเหล่านี้ไปใช้ในกระบวนการผลิตและเพื่อที่สามารถป้องกันสาเหตุของปัญหาที่ได้รับการแก้ไขแล้วมิให้เกิดขึ้นอีก ดังนั้นการควบคุมปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีความจำเป็น โดยมีรายละเอียดดังขั้นตอนต่อไป

4.5 การควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control Phase)

4.5.1 แนวทางการควบคุมตัวแปรต่างๆ

จากขั้นตอนของการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการที่ผ่านมา ทำให้ทราบถึงปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญต่อผลลัพธ์ของกระบวนการ และค่าระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม ซึ่งการควบคุมตัวแปรต่างๆ วัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบและควบคุมปัจจัยนำเข้าที่ได้จากขั้นตอนของการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ โดยการควบคุมจะอาศัยคู่มือการปฏิบัติงาน (Work Instruction) และเทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (SPC) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.5.1.1 วิธีการล้างชิ้นงาน

ในการควบคุมขั้นตอนการทำความสะอาดชิ้นงานนั้นจะต้องอาศัยคู่มือการปฏิบัติงาน ดังตารางที่ ค-1 ในภาคผนวก ค

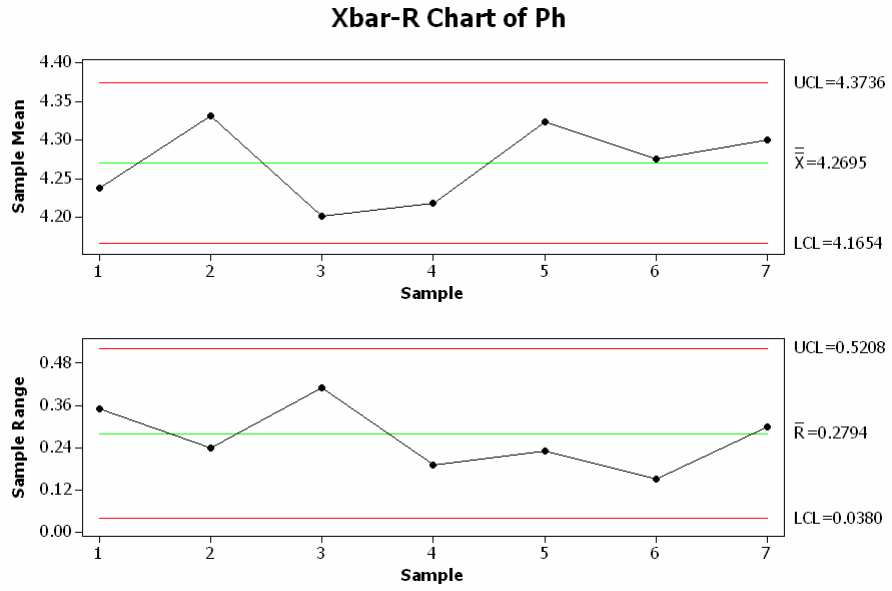
4.5.1.2 ค่าพีเอช

เนื่องจากค่าพิเอชเป็นข้อมูลเชิงแปรผัน (Variable Data) ซึ่งจะใช้แผนภูมิควบคุม X-R โดยพิจารณาความผิดปกติที่เกิดขึ้นของค่าพีเอชที่บ่งบอกถึงสภาวะของกระบวนการที่ออกนอกการควบคุมเบื้องต้น

จากการเก็บข้อมูลจากการอ่านค่าพีเอชทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 7 วัน ดังตารางที่ 4-13 และสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 4-33

ตารางที่ 4-13 ข้อมูลค่าพีเอชทุกๆ ชั่วโมงช่วงวันที่ 22-29 ม.ค. ปี 2550

วันที่	ค่าพีเอช							
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8
1	4.25	4.25	4.32	4.40	4.2	4.15	4.05	4.28
2	4.25	4.31	4.44	4.43	4.2	4.27	4.34	4.41
3	4.10	4.25	4.42	4.34	4.21	4.03	4.01	4.25
4	4.25	4.27	4.24	4.21	4.26	4.09	4.14	4.28
5	4.28	4.25	4.31	4.43	4.44	4.25	4.21	4.42
6	4.26	4.25	4.33	4.36	4.29	4.21	4.25	4.25
7	4.25	4.25	4.38	4.40	4.41	4.35	4.25	4.11



ภาพที่ 4-33 แผนภูมิควบคุม X-R สำหรับค่าพีเอช

จากภาพที่ 4-33 พบว่า ค่าเฉลี่ยพีเอชอยู่ที่ 4.2695 มีค่าใกล้เคียงและเป็นไปตามที่กำหนด

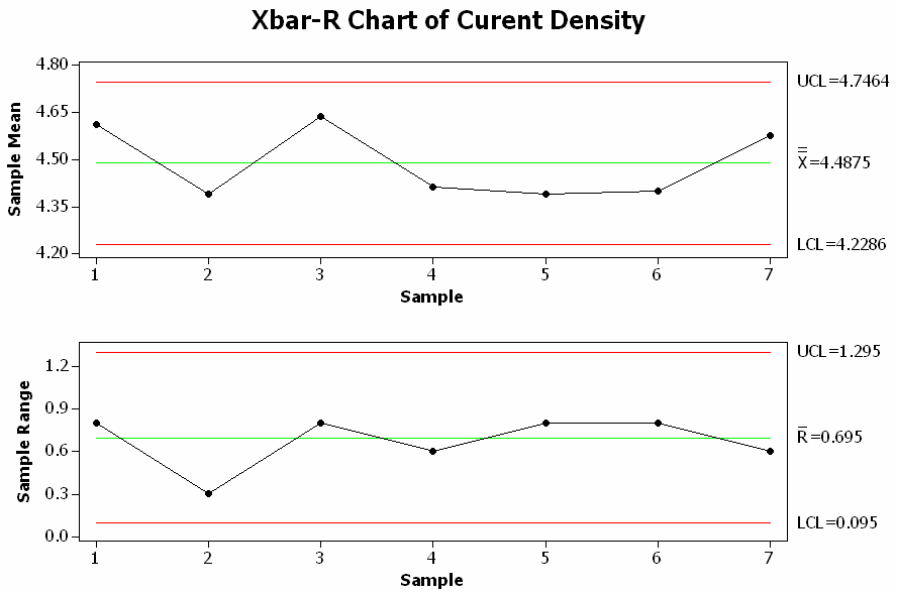
4.5.1.4 ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า

เนื่องจากค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเป็นข้อมูลเชิงแปรผัน (Variable Data) ซึ่งจะใช้แผนภูมิควบคุม X-R โดยพิจารณาความผิดปกติที่เกิดขึ้นของค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่บ่งบอกถึงสภาวะของกระบวนการที่ออกนอกการควบคุมเบื้องต้น

จากการเก็บข้อมูลจากการอ่านค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 7 วัน ดังตารางที่ 4-14 และสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 4-34

ตารางที่ 4-14 ข้อมูลความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าทุกๆ ชั่วโมงช่วงวันที่ 22-29 ม.ค. ปี 2550

วันที่	ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า A/dm^2							
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8
1	4.4	4.2	4.4	5.0	4.5	4.8	4.8	4.8
2	4.2	4.4	4.5	4.4	4.5	4.5	4.4	4.2
3	4.4	4.8	5.0	4.2	5.0	4.5	4.8	4.4
4	4.5	4.4	4.2	4.2	4.4	4.4	4.8	4.4
5	4.4	4.2	4.4	4.4	4.5	4.8	4.4	4.0
6	4.0	4.0	4.4	4.4	4.4	4.4	4.8	4.8
7	4.4	5.8	4.8	4.6	4.4	4.4	4.6	4.4



ภาพที่ 4-34 แผนภูมิควบคุม X-R สำหรับค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า

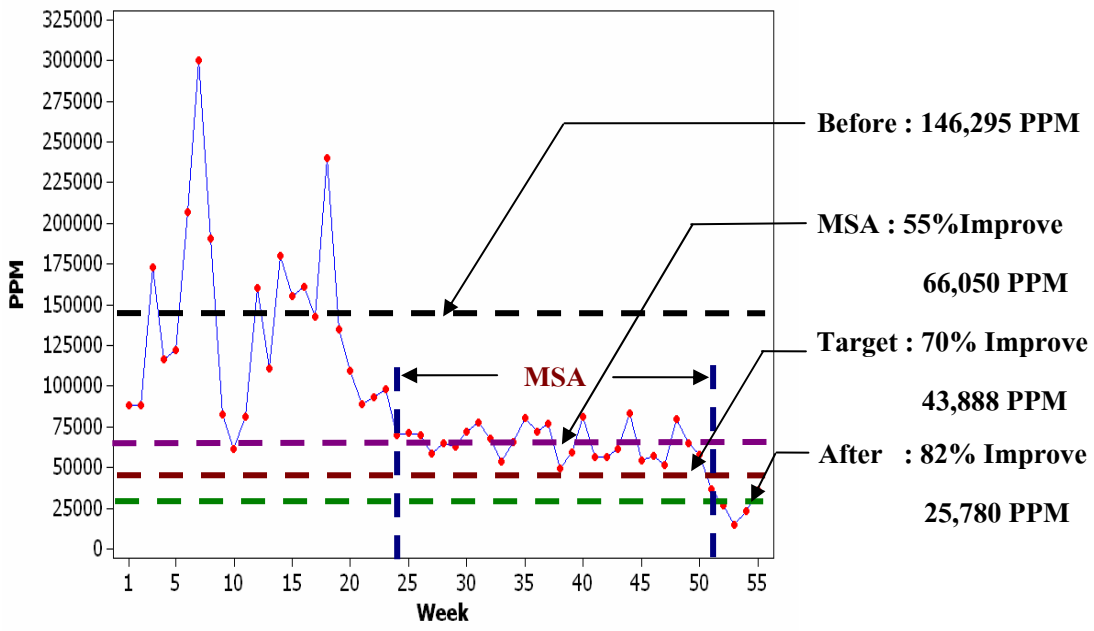
จากภาพที่ 4-34 พบว่า ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 4.4875 A/dm^2 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงและเป็นไปตามที่กำหนด

4.5.2 สรุปผลการดำเนินงานการควบคุมตัวแปรต่างๆ

จากการดำเนินงานในขั้นตอนการควบคุมต่างๆ โดยการควบคุมปัจจัยการล้างชิ้นงานนั้นจะใช้เครื่องมือคู่มือการปฏิบัติงาน เพื่อแสดงถึงวิธีการปฏิบัติงานและขจัดความผิดพลาดอันเนื่องมาจากวิธีการปฏิบัติงาน รวมทั้งปัจจัยค่าพีเอชและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าจำเป็นต้องใช้เทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (SPC) เนื่องจากปัจจัยทั้งสองเป็นข้อมูลเชิงแปรผัน ดังนั้นจึงใช้แผนภูมิควบคุมชนิด X-R เพื่อเฝ้าติดตามกระบวนการว่ามีสิ่งที่ผิดปกติเกิดขึ้นหรือไม่ ซึ่งพบว่า จากการเก็บข้อมูลค่าพีเอช และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ทุก 1 ชั่วโมงเป็นเวลา 7 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกับค่าระดับที่เหมาะสมในการผลิต

4.6 สรุปผลการดำเนินงานตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่า

จากวัตถุประสงค์ในการทำการวิจัยฉบับนี้ คือ เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นและปรับปรุงคุณภาพผิวงานชุบโครเมี่ยม โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งหลังจากการดำเนินงานแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่าแล้วสามารถสรุปผลได้ดังภาพที่ 4-35

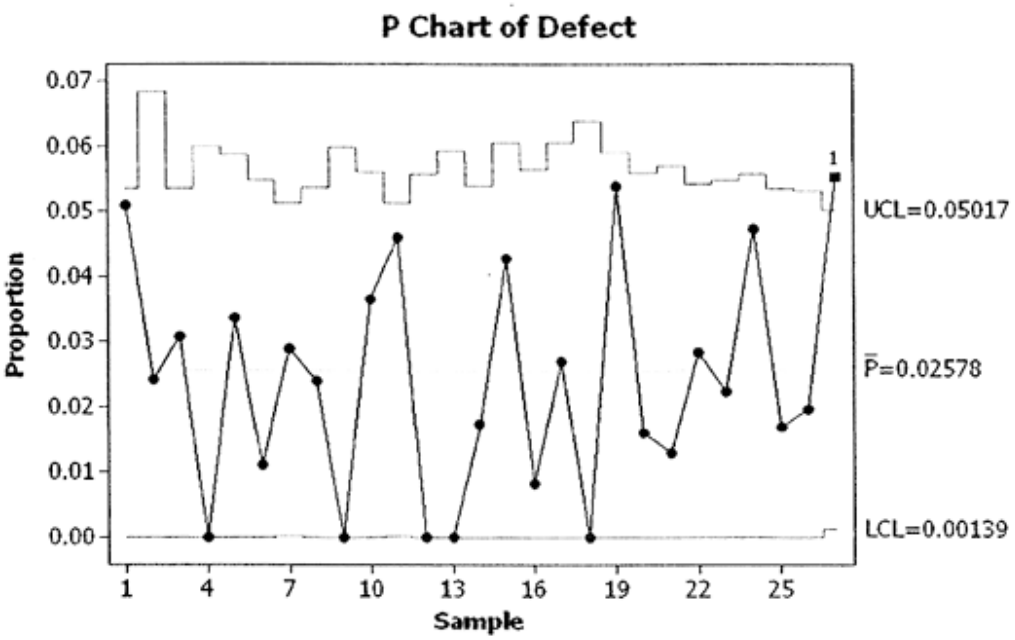


ภาพที่ 4-35 สรุปผลการดำเนินงานแก้ไข

จากภาพที่ 3-35 พบว่า เมื่อทำการเปรียบเทียบข้อมูลสถิติของเสียก่อนการดำเนินงานแก้ไขปัญหาช่วงเดือน ม.ค.-พ.ค. ปี 2549 พบว่า มีค่าเฉลี่ยของเสียต่อเดือน เท่ากับ 146,295 PPM ซึ่งผลการดำเนินงานแก้ไขและปรับปรุงปัญหาสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกจะเป็นการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับ เพื่อลดความผิดพลาดอันเนื่องมาจากพนักงานตรวจสอบชิ้นงานก่อนชุบโครเมี่ยม ในช่วงเดือน มิ.ย. ปี 2549 พบว่า มีค่าเฉลี่ยของเสียต่อเดือนลดลงเหลือเพียง 66,050 PPM และช่วงที่สองจะเป็นผลหลังจากทำการควบคุมปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาในช่วง 23 ม.ค. ถึง 22 ก.พ. ปี 2550 แล้ว พบว่า มีค่าเฉลี่ยของเสียต่อเดือนลดลงเหลือเพียง 25,780 PPM ซึ่งสามารถลดปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นลงได้มากกว่าเป้าหมายในแต่ละเดือนที่ตั้งไว้ที่ 43,888 PPM ซึ่งเป็นผลทำให้เพิ่มความสามารถกระบวนการ และยังสามารถลดมูลค่าความสูญเสียลงได้ โดยมีรายละเอียดต่อไปนี้

4.6.1 ความสามารถกระบวนการหลังปรับปรุงกระบวนการ

จากข้อมูลสถิติของเสียที่เกิดขึ้นเดือน 23 ม.ค. ถึง 22 ก.พ. ปี 2550 สามารถนำมาเขียนเป็นแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p Chart) ดังภาพที่ 4-36



ภาพที่ 4-36 แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียช่วง 22 ม.ค. ถึง 22 ก.พ. ปี 2550

จากภาพที่ 4-36 เนื่องจากแผนภูมิควบคุมดังกล่าว พบว่า ค่า p ออกนอกพิกัดควบคุมจึงจำเป็นต้องตัดออกและคำนวนค่า $\bar{p}$ ใหม่ ซึ่งจะได้เท่ากับ $\bar{p}_{new} = 0.0227$

ในการประเมินความสามารถด้านศักยภาพจะถือว่ากระบวนการมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะจึงสามารถทำการเทียบเคียงด้วยการให้ค่าสัดส่วนของเสียเท่ากันที่แต่ละด้านของการแจกแจง ซึ่งในที่นี้จะเท่ากับ 0.0129 และค่าที่ได้เมื่อทำการเปิดหาค่า Z_{Bench} จากตารางการแจกแจงแบบปกติมาตรฐานจะได้ค่า Z_{Bench} =2.23

จากสูตร ดัชนีความสามารถเชิงศักยภาพของกระบวนการระยะยาว ดังสมการที่ 2-13

$$P_{pBench} = \frac{1}{3} Z_{Bench}$$

แทนค่า

$$P_{p\ Bench} = \frac{1}{3}(2.23)$$

$$= 0.743$$

เมื่อทำการพิจารณาดัชนีศักยภาพของกระบวนการระยะยาว ($P_{p\ Bench}$) พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.743 ซึ่งมากกว่า 1.33 แสดงว่าความสามารถของกระบวนการสายงานการชุบโครเมี่ยมนั้นยังมีความผันแปรและมีความมั่นคงน้อยอยู่ แต่เมื่อเปรียบเทียบดัชนีศักยภาพของกระบวนการระยะยาวก่อนดำเนินงานแก้ไขปัญหาต่างๆ ด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า พบว่า ดัชนีศักยภาพของกระบวนการระยะยาวมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม ดังตารางที่ 4-15 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสามารถของกระบวนการสายงานการชุบโครเมี่ยมนั้นมีความผันแปรของกระบวนการลดลง และความมั่นคงเพิ่มขึ้นจากเดิม

จากสูตร อัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะยาว ดังสมการที่ 2-14

$$P_{R\ Bench} = \frac{1}{P_{p\ Bench}}$$

แทนค่า

$$P_{R\ Bench} = \frac{1}{0.743}$$

$$= 1.346$$

เมื่อทำการพิจารณาอัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะยาว ($P_{R\ Bench}$) พบว่า มีค่าเท่ากับ 1.346 ซึ่งจะมีค่ามากกว่า 0.88 แสดงว่ามีความผันแปรจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ในการดำเนินการระยะยาว (หรือผลจากการออกแบบกระบวนการ) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะยาวก่อนดำเนินงานแก้ไขปัญหาต่างๆ ด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า พบว่า อัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะยาวมีค่าลดลงจากเดิม ดังตารางที่ 4-15 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า หลังทำการปรับปรุงกระบวนการแล้วสามารถลดความผันแปรจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ในการดำเนินการระยะยาวได้

สำหรับการประเมินความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ จะพิจารณาโดยถือว่าผลิตภัณฑ์ทั้งหมดอยู่ที่ด้านใดด้านหนึ่งของการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งเมื่อเปิดจากตารางการแจกแจงแบบปกติ จะได้ค่า $Z_{Bench} = 2.00$

จากสูตร ดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว ดังสมการที่ 2-15

$$P_{pk\ Bench} = \frac{1}{3} Z_{Bench}$$

แทนค่า

$$P_{pk\ Bench} = \frac{1}{3}(2.00)$$

= 0.666

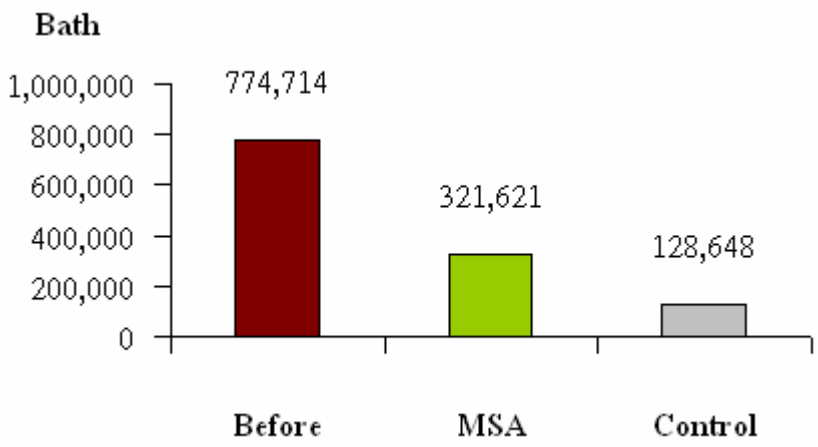
เมื่อทำการพิจารณาดัชนีศักยภาพของกระบวนการระยะยาว ($P_{pk\ Bench}$) พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.666 ซึ่งน้อยกว่า 1.33 แสดงว่ามีการเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่งกระบวนการมีความผันแปรอยู่ เมื่อเปรียบเทียบดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว ก่อนการดำเนินงานแก้ไขปัญหาต่างๆ ด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า พบว่า ดัชนีศักยภาพของกระบวนการระยะยาวมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม ดังตารางที่ 4-15 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหลังทำการปรับปรุงกระบวนการสามารถลดความผันแปรของกระบวนการได้

ตารางที่ 4-15 การเปรียบเทียบดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการก่อน-หลังปรับปรุง

	$P_{p\ Bench}$	$P_{R\ Bench}$	$P_{pk\ Bench}$
ค่ามาตราฐาน	มากกว่า 1.33	น้อยกว่า 0.88	มากกว่า 1.33
ค่าที่คำนวนได้ (หลังปรับปรุง)	0.743	1.346	0.666
ค่าที่คำนวนได้ (ก่อนปรับปรุง)	0.520	1.923	0.396

4.6.2 มูลค่าความสูญเสียที่ลดลง

หลังจากการดำเนินงานแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่าสามารถลดความสูญเสียอันเนื่องมาจากของเสียที่เกิดขึ้นได้ ดังภาพที่ 4-37



ภาพที่ 4-37 มูลค่าความสูญเสียที่ลดลง

จากภาพที่ 4-37 แสดงให้เห็นว่าก่อนการดำเนินงานแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่านั้น เมื่อเปรียบเทียบกับระดับการผลิตในช่วงเดือน ม.ค.-พ.ค. ปี 2549 มีมูลค่าความสูญเสียเฉลี่ยอยู่ที่ 774,714 บาทต่อเดือน ซึ่งหลังจากการนำเอาการวิเคราะห์ระบบการวัดมาประยุกต์ใช้ เพื่อลดความผิดพลาดอันเนื่องมากจากพนักงานตรวจสอบชิ้นงานก่อนชุบโครเมี่ยมในช่วง 1 ส.ค. ปี 2549 ถึง 22 ม.ค. ปี 2550 สามารถลดมูลค่าความสูญเสียลงเหลือ 321,621 บาทต่อเดือน และหลังจากทำการควบคุมปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาในช่วง 23 ม.ค. ถึง 22 ก.พ. ปี 2550 แล้วนั้นสามารถลดมูลค่าความสูญเสียเฉลี่ยเหลือเพียง 128,648 บาทต่อเดือน

4.7 บทสรุป

จากการดำเนินวิจัยในบทที่ 4 เป็นการแสดงให้เห็นถึงผลการดำเนินการวิจัยทั้งหมดในการดำเนินงานแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก คือ การกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase) การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase) และการควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control Phase) ซึ่งผลจากการดำเนินงานแก้ไขปัญหาตามขั้นตอนดังกล่าวสามารถที่จะลดปริมาณการเกิดของเสียจากค่าเฉลี่ยของเสียต่อเดือนเท่ากับ 146,295 PPM เหลือ 25,780 PPM และสามารถลดมูลค่าความสูญเสียเฉลี่ยจาก 774,714 บาทต่อเดือน เหลือ 128,648 บาทต่อเดือน ซึ่งบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ได้

สำหรับรายละเอียดผลการวิจัยที่กล่าวมานี้จะทำการสรุปให้เห็นรายละเอียดอีกครั้งในบทที่ 5 ซึ่งเป็นการสรุปการวิจัยทั้งหมดแยกในแต่ละขั้นตอน และยังกล่าวถึงข้อเสนอแนะในการนำไปปรับปรุงเพื่อใช้ในหน่วยงานอื่นต่อไป

บทที่ 5
บทสรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุปผลงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้ได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัทแสงเจริญเพลทติ้ง (2005) จำกัด ที่ให้ข้อมูลในการทำวิจัยและสถานที่ในการทดลอง เพื่อปรับปรุงคุณภาพผิวของชิ้นงานชุบโครเมี่ยมอันจะส่งผลให้สามารถลดของเสียที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากคุณภาพผิวชิ้นงานที่ทำการผลิตนั้นไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพที่ลูกค้ากำหนดโดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่ามาเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหา ซึ่งสามารถสรุปผลการดำเนินงานได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 การกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase)

ในขั้นตอนนี้จะเริ่มทำการพิจารณาปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อองค์กร โดยพบว่าปัญหาการเกิดของเสียเป็นปัญหาที่สำคัญ ซึ่งส่งผลทำให้สูญเสียต้นทุนเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงทำการศึกษาถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียในกระบวนผลิต จึงเริ่มต้นจากการระบุปัญหาเพื่อจะนำมาทำการแก้ไขโดยใช้แผนภาพพาเรโตมาทำการจำแนกลักษณะอาการของปัญหาที่เกิดขึ้น โดยพบว่าของเสียอันเนื่องมาจากลักษณะอาการของผิวชิ้นงานที่เป็นเม็ดหรือตามดเป็นปัญหาที่พบมากที่สุด ซึ่งเป็นเหตุทำให้ชิ้นงานเหล่านั้นไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพที่ลูกค้ากำหนด ดั้งนั้น จึงทำการเลือกศึกษาหาสาเหตุที่แท้จริงของการเกิดเม็ดบนผิวชิ้นงาน และทำการแก้ไขในขั้นตอนการกำหนดปัญหานี้ยังคำนวนหาความสามารถกระบวนการ เพื่อเป็นดัชนีเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อน-หลังการดำเนินงานด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่าเพื่อแก้ไขด้วย ซึ่งผลจากการหาความสามารถกระบวนการพบว่า ความสามารถของกระบวนการสายงานชุบโครเมี่ยมนั้นมีความแปรปรวนสูงและมีความมั่นคงน้อย ซึ่งส่วนหนึ่งมาจากการออกแบบกระบวนการ

5.1.2 การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

ขั้นตอนจะเริ่มต้นจากการสร้างแผนที่กระบวนการ (Process Map) เพื่อทราบถึงปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ในแต่ละขั้นตอน และสามารถพิจารณาขจัดลักษณะงานไม่ก่อให้เกิดคุณค่า (Non Value Added) ในกระบวนการด้วย ผลจากการศึกษานี้จะสัมพันธ์กับการวิเคราะห์แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ซึ่งจะทำให้เข้าใจปัจจัยที่ส่งกระทบกับปัญหาที่ต้องแก้ไข

โดยการเขียนแผนภาพสาเหตุและผลนี้จะกระทำโดยการระดมสมองผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย เพื่อป้องกันการตกหล่นของสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาได้ จากนั้นก็ทำการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดของกระบวนการ (FMEA Process) โดยนำเอาสาเหตุของปัญหาที่มิได้ตัดทิ้งในแผนภาพเหตุและผลมาคำนวนหาค่าตัวเลขระดับความเสี่ยง (RPN) และจะนำค่าดังกล่าวมาสร้างแผนภาพพาเรโต เพื่อคัดเลือกสาเหตุของปัญหา ซึ่งผลการดำเนินงานพบว่า สาเหตุที่อาจจะส่งผลกระทบต่อโอกาสการเกิดเม็ดหรือตามดในกระบวนการชุบโครเมี่ยม คือ วิธีการล้างชิ้นงานก่อนชุบ ค่าพีเอช อุณหภูมิ และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้จะนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางสถิติในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ท้ายสุดในขั้นตอนนี้ คือ การวิเคราะห์ระบบการวัดผู้ตรวจสอบพนักงานตรวจสอบชิ้นงานก่อนชุบโครเมี่ยม ผลจากการทำการวิเคราะห์ พบว่าพนักงานคนที่ 1 มีค่ารีพีทะบีลิตี้หรือความแม่นยำในการวัดต่ำมากจำเป็นต้องทำการฝึกอบรมใหม่ ส่วนค่าไบอัสหรือความถูกต้องของพนักงานทั้งสองมีค่าต่ำมาก จำเป็นต้องทำการปรับปรุงวิธีการตรวจสอบและอบรมพนักงานทั้งสอง มิฉะนั้นจะต้องกำหนดใช้ชิ้นงานได้รับการตรวจสอบโดยผู้ชำนาญการเฉพาะเท่านั้น ซึ่งหลังจากทำการอบรมและปรับปรุงวิธีการตรวจสอบแล้วก็มีผลทำให้ค่ารีพีทะบีลิตี้และค่าไบอัสของพนักงานทั้งสองมีค่าสูงขึ้น

5.1.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

การดำเนินงานในขั้นตอนนี้ เริ่มต้นจากการนำสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหามาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (One-Way ANOVA) เพื่อกลั่นกรองปัจจัยต่างๆ (Screening Factors) ที่ไม่มีผลต่อการเกิดเม็ดหรือตามดออกไปก่อน โดยจะใช้ค่าความหยาบผิวชิ้นงานที่ทำการวัดด้วยเครื่อง Hommelwerke Hommel Tester T20A เป็นตัวแปรตอบสนองที่จะทำการศึกษา จากการดำเนินงานในขั้นตอนนี้ พบว่า วิธีการล้างชิ้นงานก่อนชุบ ค่าพีเอช และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามีผลต่อค่าความหยาบผิวชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ โดยอุณหภูมิไม่มีผลต่อค่าความหยาบผิวชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ จากปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวชิ้นงานข้างต้นจะนำไปหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในขั้นตอนที่ต่อไป

5.1.4 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

ขั้นตอนนี้จะอาศัยเครื่องมือการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Addition of Center Points to the 2^k Design) และการหาค่าระดับปัจจัยที่ดีที่สุด โดยส่งผลทำให้ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานนั้นน้อยที่สุดเป็นผลทำให้ไม่เกิดเม็ดหรือตามดบนชิ้นงานด้วยวิธีการหาพื้นผิวตอบสนองกำลังสอง (Second-Order Response Surface Model) ผลจากการดำเนินงานพบว่า ระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ที่สุด คือ วิธีการล้างชิ้นงานควรปรับเปลี่ยนมาเป็นแบบใหม่ ค่าพีเอชควรควบคุมอยู่ที่ระดับ 4.25 และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าควรควบคุมอยู่ที่ระดับ 4.40 A/dm^2 ซึ่งทำให้ค่าความหยาบผิวมีค่าเท่ากับ 0.8339 μm ซึ่งปัจจัยที่เหมาะสมดังกล่าวนี้จะนำไปทำการควบคุมในขั้นตอนสุดท้าย

5.1.5 การควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control Phase)

ขั้นตอนการควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control Phase) โดยปัจจัยการล้างชิ้นงานจะใช้เครื่องมือคู่มือการปฏิบัติงาน (Work Instruction) เพื่อใช้เป็นมาตราฐานในการปฏิบัติงาน และลดความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้น ส่วนปัจจัยค่าพีเอช และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าจะใช้เทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (SPC) เป็นเครื่องมือในการควบคุม ผลการดำเนินงานพบว่าค่าเฉลี่ยที่ควบคุมทั้งสองมีค่าเป็นไปในเกณฑ์ที่กำหนด

5.1.6 สรุปผลการดำเนินงานวิธีการซิกซ์ ซิกม่า

ท้ายสุดเป็นการสรุปการดำเนินงานวิธีการซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งหลังจากการดำเนินงานแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่าแล้วเป็นผลให้สามารถลดค่าเฉลี่ยของสัดส่วนของเสียต่อเดือนจาก 146,295 PPM เป็น 25,780 PPM ซึ่งเป้าหมายตั้งไว้ในแต่ละเดือนที่ 43,888 PPM และจากการคำนวนความสามารถของกระบวนการหลังทำการปรับปรุง พบว่ามีค่าสูงขึ้นจากเดิมแต่ยังพบว่ากระบวนยังมีความผันแปรและมีความมั่นคงน้อยอยู่ การลดลงของอัตราการเกิดของเสียนี้มีผลทำให้มูลค่าความสูญเสียลดลงด้วยจากเดิมที่ 774,714 บาทต่อเดือนเหลือเพียง 128,648 บาทต่อเดือน

5.2 ข้อดีและข้อเสียในการดำเนินงานแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า

5.2.1 ข้อดี

5.2.1.1 เนื่องจากการการดำเนินงานตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่านั้นทุกคนในองค์กรจะมีส่วนร่วมในการพัฒนาและแก้ไขปัญหาอย่างเป็นทีม ดังนั้นทุกตำแหน่งในคณะทำงานล้วนมีบทบาทสำคัญอันจะสร้างความสามัคคีในหมู่คณะและทำให้เกิดศักยภาพในการทำงานร่วมกัน

5.2.1.2 การดำเนินงานตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่าจะมีลักษณะเป็นขั้นตอนและแบบแผนที่ชัดเจน ดังนั้นในการประยุกต์ใช้เพื่อแก้ไขปัญหาใดจะสามารถช่วยให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างมีขั้นตอน และมีเหตุมีผลซึ่งกันและกัน

5.2.1.3 วิธีการซิกซ์ ซิกม่าเป็นเทคนิคที่รวมเอาเครื่องมือทางคุณภาพและสถิติไว้ด้วยกันอย่างเป็นขั้นตอน ทำให้ผลลัพธ์แต่ละขั้นตอนจะมีความน่าเชื่อถือได้

5.2.2 ข้อเสีย

เนื่องจากการดำเนินงานตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่าจำเป็นต้องใช้เครื่องมือทางคุณภาพและสถิติ ซึ่งมีรายละเอียดที่ซับซ้อน ดังนั้นในการประยุกต์ใช้จึงเหมาะสำหรับองค์กรที่บุคคลกรมีความรู้ความเข้าเกี่ยวกับหลักการควบคุมคุณภาพและหลักการทางสถิติเบื้องต้น อีกทั้งองค์กรยังควรจะต้องมีมาตราฐานในการควบคุมคุณภาพ เพื่อที่จะสามารถให้การดำเนินงานมีประสิทธิภาพสูงสุด

5.3 ปัญหาและอุปสรรคในงานวิจัย

5.3.1 การเก็บข้อมูลต้องใช้เวลามาก เนื่องจากต้องควบคุมปัจจัยต่างๆ เพื่อให้สามารถได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องมากที่สุด

5.3.2 เนื่องพนักงานปฏิบัติงานในสายกระบวนการผลิตนั้นมีภาระงานที่ค่อนข้างมาก ทำให้การนำเอาวิธีการซิกซ์ ซิกม่าไปประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาที่มาก และส่วนหนึ่งต้องทำการอบรมความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพอีกด้วย

5.4 ข้อแสนอแนะ

5.4.1 การวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษากันชนท้ายโมเดล H61B เท่านั้น เนื่องจากเป็นโมเดลที่มีทำผลิตมากที่สุด ฉะนั้นในการวิจัยครั้งต่อไป จึงควรทำการศึกษาการผลิตในโมเดลอื่นๆ ที่มีการผลิต เพื่อสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้เพิ่มขึ้น

5.4.2 การดำเนินงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นและปรับปรุงคุณภาพผิวงานชุบโครเมี่ยมโดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่านั้นสามารถพิจารณาปรับปรุงและทำการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนอง หรือผลลัพธ์ของกระบวนการอื่นๆ ได้อีก และนอกจากนี้ยังสามารถที่จะพิจารณาตัวแปรตอบสนองที่มากกว่า 1 ตัว ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายที่ใช้สำหรับการออกแบบการทดลอง อีกทั้งประหยัดเวลาที่ใช้ในการทดลองและดำเนินการผลิตอีกด้วย

5.4.3 ในการดำเนินงานตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่านั้นบุคลากรภายในองค์กรทุกคนมีความสำคัญจำเป็นต้องมีการพัฒนาทักษะความรู้ เพื่อที่จะสามารถดำเนินงานปรับปรุงและแก้ไขปัญหาต่างๆ ได้

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2542.

_____. การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546.

จรัสพงศ์ รักการ. การประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่าในการปรับปรุงคุณภาพเคลือบสีสำหรับอุตสาหกรรมรถยนต์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543.

ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย. การควบคุมคุณภาพสำหรับนักบริหารและกรณีศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บริษัทเอ็มแอนด์อี จำกัด, 2538.

ธนากร เกียรติบรรลือ. "FMEA การวิเคราะห์ความล้มเหลวในการผลิต". Industrial Technology Review. 73 (กรกฎาคม 2543) : 1-5

เทวินทร์ สิริโชคชัยกุล. ก้าวสู่สากลด้วย QS-9000. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) 2540.

นพดล เฟื่องเด่นขจร. การปรับปรุงความพร้อมในการตอบสนองในอุตสาหกรรมบริการทันตกรรมโดยใช้แนวคิดลีนซิกซ์ ซิกม่า : กรณีศึกษา คลินิกบริการทันตกรรมพิเศษ คณะทันตแพทยศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

ณัฏฐพันธ์ เขจรนันทน์ และคนอื่นๆ. คู่มือปฏิบัติ Six Sigma เพื่อสร้างความเป็นเลิศในองค์กร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: เอ็กซ เปอร์เน็ท, 2545.

ประภาพร เนาวบุตร. การประยุกต์ใช้ซิกซ์ซิกม่าในงานผลิตอุปกรณ์ใยแก้วนำแสง (กรณีศึกษา : การลดจำนวนวัตถุดิบเสียเนื่องจากค่าความสูญเสียทางแสงสูงเกินค่ากำหนด). วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.

วชิรพงษ์ สาลีสิงห์. ปฏิวัติกระบวนการทำงานด้วยเทคนิค Six Sigma ฉบับ Champion และ Black Belt. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บริษัท ศิริวัฒนา อินเตอร์พริ้น จำกัด (มหาชน), 2548.

วุฒิชัย เจริญยิ่งวัฒนา. การใช้กรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกม่า เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพงานพ่นสี. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.

วันรัตน์ จันทกิจ. 17 เครื่องมือนักคิด Problem Solving Devices. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, 2548.

สาโรช พันธุ์แพ และอภิชาติ ธรรมวิทย์กุล. การชุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : ชวนพิมพ์, 2526.

อรรถกร เก่งพล. วิศวกรรมคอนเคอร์เร็นท์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ศูนย์ผลิตตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2547

อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว. การลดของเสียจากกระบวนการผลิตกระป๋องโดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ซิกม่า. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ฮิโตชิ คุเมะ. วิธีทางสถิติเพื่อการพัฒนาคุณภาพ. แปลโดย วีระพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2542.

ภาษาอังกฤษ

Banuelas Coronado, R., Antony, J., "Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organizations" The TQM Magazine 14 (2002) : 92-99

Does, R, et al., "Comparing Nonmanufacturing with Traditional Application of Six Sigma" Journal of Quality Engineering 15 (2002) : 177-182

LG Electronics. Six Sigma Case Studies for Quality Improvement, prepared for the National Quality Prize of Six Sigma for 2000. Korea : LG Electronics/Digital Appliance Company, 2000

Montgomery, D.C. Design and Analysis of Experiment. 4th ed. USA. : John Wiley and Sons, 1997.

UNIDO Handtools Project : National Programmed for Promoting Energy Efficiency in Hand Tools SSI Sector in India. "Nickel Chrome plating on Hand Tools" Skill Development on Metal Finishing.(2006) : 12-14

Park, S. H. Six Sigma for Quality and Productivity Promotion, 32th ed Japan : The Asian Productivity Organization, 2003.

Samsung SDI, Six Sigma Case Studies for Quality Innovation. Korea : Samsung SDI reports, 2000.

ภาคผนวก ก

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ ก-1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Title	Author	Year & Code	Problems & Conclusion
1. การปรับปรุงความพร้อมในการตอบสนองในอุตสาหกรรมบริการทันตกรรมโดยใช้แนวคิดลีนซิกซ์ ซิกมา : กรณีศึกษา คลินิกบริการทันตกรรมพิเศษ คณะทันตแพทยศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	นพดล เฟื่องเด่นขจร วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2004 NS04	งานวิจัยนี้นำหลักการและแนวคิดลีนซิกซ์ ซิกม่ามาทำการปรับปรุงความพร้อมในการตอบสนองในอุตสาหกรรมบริการทันตกรรม โดยการหาแนวทางเพื่อลดเวลาที่ผู้ป่วยต้องใช้ในการรับบริการ และเพิ่มความพร้อมในการให้บริการข้อมูล ผลจากการศึกษาพบว่า เวลารอคอยเป็นปัญหาสำคัญซึ่งมาจากสาเหตุการจัดสรรจำนวนทันตแพทย์ในแต่ละประเภทไม่สอดคล้องกับความต้องการเข้ารับบริการของผู้ป่วย หลังจากพิจารณาปรับเปลี่ยนการทำงานของเจ้าหน้าที่สามารถลดเวลารอเพื่อชำระเงินค่ารักษาได้จาก 7 นาที เหลือ 2 นาที และในขั้นตอนการนัดหมายล่าช้า พบว่าการสร้างระบบการจัดเรียงและค้นหาแฟ้มใหม่โดยใช้รหัสเอกสารและป้ายดัชนีสามารถลดเวลาค้นหาแฟ้มจาก 2 นาที เหลือ 10 วินาที
2. การใช้กรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกม่าเพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพงานพ่นสี	วุฒิชัย เจริญยิ่งวัฒนา วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	2003 VS03	งานวิจัยนี้นำหลักการและแนวคิดของซิกซ์ ซิกม่าประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาสีเป็นสนิม ซึ่งเป็นปัญหาที่ลูกค้าร้องเรียนมากที่สุดจึงนำปัญหานี้มาทำโครงงานวิจัย โดยตัววัดผลลัพธ์ของการวิจัย คือ ค่ารอยผุพองที่เกิดขึ้นจากการทดสอบด้วยน้ำเกลือกับการทนต่อการกัดกร่อนของสภาพแวดล้อมเมื่อใช้จริง ผลจาการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่ารอยผุพองที่เปลี่ยนไป คือ ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำล้างก่อนพ่นสี ค่าความเข้มข้นของสารเคมี LK และ A1 แต่เนื่องจากในการปรับปรุงค่าการนำไฟฟ้าของน้ำล้างก่อนพ่นสี

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

Title	Author	Year & Code	Problems & Conclusion
			จำเป็นต้นลงทุนเครื่องจักรที่มีราคาสูง จึงนำปัจจัยเฉพาะปัจจัยของค่าความเข้มข้นของสารเคมี LK และ A1 มาทำการปรับปรุงค่ารอยผุพองด้วยการออกแบบการทดลองและการหาพื้นที่ผลตอบสนอง ซึ่งพบว่า สามารถทำการลดค่ารอยผุพองจากค่าปัจจุบัน คือ 7.14 มิลลิเมตร ลดเหลือ 3.60 มิลลิเมตร
3. การประยุกต์ใช้ซิกซ์ซิกม่าในงานผลิตอุปกรณ์ใยแก้วนำแสง (กรณีศึกษา : การลดจำนวนวัตถุดิบเสียเนื่องจากค่าความสูญเสียทางแสงสูงเกินค่ากำหนด)	ประภาพร เนาวบุตร วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	2003 PS03	งานวิจัยนี้นำหลักการและแนวคิดของซิกซ์ ซิกม่าประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาที่กระทบต่อต้นทุนในกระบวนการผลิตอุปกรณ์ใยแก้นำแสง ซึ่งจากการศึกษาพบว่าในกระบวนการผลิตมีอัตราวัตถุดิบเสียเนื่องจากค่าความสูญเสียทางแสงสูงเกินค่ากำหนดเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตต่อชิ้นเฉลี่ยสูงขึ้น 5.01 เหรียญสหรัฐซึ่งส่งผลกระทบต่อรายได้และกำไร จึงมีตั้งเป้าหมายในการดำเนินงาน คือ ลดอัตราวัตถุดิบเสียเนื่องจากค่าความสูญเสียทางแสงสูงเกินค่ากำหนดจาก 26,700 ชิ้นต่อวัตถุดิบหนึ่งล้าน ชิ้นให้เหลือน้อยกว่า 7,810 ชิ้นต่อวัตถุดิบหนึ่งล้านชิ้น ผลจากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิและความชื้นของสภาวะแวดล้อมขณะชิ้นงานเย็นตัวมีผลทำให้ค่าความสูญเสียทางแสงของชิ้นงานสูงเกินค่ากำหนด จึงทำการปรับปรุงโดยเทคนิคการออกแบบการทดลอง ผลจากการปรับปรุงพบว่าอัตราวัตถุดิบเสียลดลงเหลือ 7,550 ชิ้นต่อวัตถุดิบหนึ่งล้านชิ้นซึ่งสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ประมาณปีละ 8,372 เหรียญสหรัฐ ซึ่งทำให้ต้นทุนในการผลิตลดลงในที่สุด

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

Title	Author	Year & Code	Problems & Conclusion
4. การลดของเสียจากกระบวนการผลิตกระป๋องโดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า	อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2002 US02	งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการควบคุมคุณภาพโดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกม่า เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระป๋อง จากการศึกษาพบว่า ในระยะเวลา 4 เดือน สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระป๋องลดลงจาก 4,400 DPM เป็น 2,849 DPM หรือเมื่อเปรียบเทียบในระดับ σ สามารถปรับปรุงจากระดับ 2.85 เป็นที่ระดับ 2.986 ทั้งนี้ในแต่ละวันจะ มีของเสียที่เกิดจากการตรวจสอบเฉลี่ย 1,200 DPM ซึ่งหากลดการตรวจสอบที่ไม่ จำเป็นลงจะส่งผลให้ของเสียลดลงได้อีก 50% โดยการประมาณการจะสามารถลดลงเหลือประมาณ 2000 DPM หรือระดับ σ อยู่ที่ 3.092 ซึ่งหากมีการควบคุมอย่างต่อเนื่องประมาณ 6 เดือน จะทำให้ความผันแปรใน กระบวนการผลิตลดลงอีก 1.5σ เป็นผลทำให้สัดส่วนของเสียลดลงอยู่ที่ระดับ 4.592σ
5. การประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่าในการปรับปรุงคุณภาพเคลือบสีสำหรับอุตสาหกรรมรถยนต์.	จรัสพงศ์ รักการ วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	2000 JS00	งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งจากการศึกษาพบว่าปัญหาสีหยดเป็นปัญหาหนึ่งซึ่งยังไม่เคยได้รับการแก้ไข ยากต่อการหาสาเหตุและมีต้นทุนการซ่อมแซมที่สูงระดับหนึ่ง จึงปรับปรุงและแก้ไขปัญหาดังกล่าว จากการศึกษาพบว่า สาเหตุของปัญหาสีหยด คือ การเสียหายจากการซ่อมบำรุงของอุปกรณ์ Bell Cup ในสถานีพ่นอัตโนมัติที่ 3 การเสียหายจากการใช้งานผิดวิธีของ Air Cap สำหรับปืนพ่นโดยใช้คน และการขาดมาตรฐานในการทำความสะอาดปืนพ่นสีโดยใช้คน จึงจัดหาโดยสั่งซื้อ

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

Title	Author	Year & Code	Problems & Conclusion
			อุปกรณ์ที่จำเป็นดังกล่าวเพื่อปรับปรุงกระบวนการ ผลจากการปรับปรุงกระบวนการสามารถลดระดับสีหยดลงได้ร้อยละ 70 หรือลดลงจาก 0.37 จุดบกพร่องต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ เหลือ 0.1 จุดบกพร่องต่อหน่วยผลิตภัณฑ์
6. Comparing Nonmanufacturing with Traditional Application of Six Sigma	Does, R., Edewin van den Heuvel, Jeroen De Mast, and Soren Bisgaard Journal of Quality Engineering 15 (2002) pp 177-182	2002 CS02	งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการนำแนวความคิดซิกซ์ ซิกม่าไปใช้ในงานการผลิต (Traditional Manufacturing) กับงานที่ไม่ใช่การผลิต (Nonmanfacturing) ผลจากการดำเนินงาน พบว่าในการจัดทำผังกระบวนการในขั้นตอนนิยามปัญหานั้น ในงานที่ไม่ใช่การผลิตจะมีผังกระบวนการที่ไม่ชัดเจน ซึ่งต่างจากในงานการผลิตที่ผังกระบวนการจะมีความชัดเจน และในขั้นตอนการวัดสภาพของปัญหาซึ่งต้องมีการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการ ในงานการผลิตจะมีตัวชี้วัดที่ชัดเจน เช่น ค่าความสามารถของกระบวนการ (Cpk) แต่ในงานที่ไม่ใช่การผลิตไม่มีตัววัดที่ชัดเจน จึงนิยมวัดในรูปแบบค่าเฉลี่ย และความแปรปรวนของข้อมูล และยังพบว่าการกระจายตัวของข้อมูลมีลักษณะกองไปทางด้านเดียว ส่วนในขั้นตอนการปรับปรุง ในงานที่ไม่ใช่การผลิตจะไม่ค่อยมีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เข้ามาเกี่ยวข้อง แต่จะเป็นการกำจัดปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลเสียโดยวิธีการทั่วไป
7. Critical success factors for the successful implementation of six	Ricardo Banuelas Coronado and Jiju Antony	2002 FS02	งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่นำไปสู่ความสำเร็จในการนำ ซิกซ์ซิกม่า ประยุกต์ใช้ขององค์การต่างๆ เพื่อใช้ในการปรับปรุงกลยุทธ์ทาง

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

Title	Author	Year & Code	Problems & Conclusion
sigma projects in organizations	The TQM Magazine Vol. 14(2) pp. 92–99		ธุรกิจโดยการเพิ่มกำไรจากการขจัดความแปรปรวนและลดของเสียในกระบวนรวมถึงการลดค่าใช้จ่ายทางคุณภาพ ทราบถึงความต้องการและความคาดหวังของลูกค้า โดยอาศัยปัจจัยที่นำไปสู่ความสำเร็จ 10 ประการ
8. Six Sigma Case Studies for Quality Improvement, prepared For the National Quality Prize of Six Sigma for 2000	LG Electronics LG Electronics/Digital Appliance Company	2000 LG00	งานวิจัยนี้นำหลักการและแนวคิดของซิกซ์ ซิกม่าประยุกต์ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนเตาไมโครเวฟ จากการศึกษาพบว่า ปัญหาการชำรุดอย่างรวดเร็ว และไฟฟ้ารั่วที่เกิดกับเตาไมโครเวฟมีสาเหตุมาจากผิดพลาดในการออกแบบชิ้นส่วนประกอบเตาไมโครเวฟตำแหน่งของรูน็อตยึดประตูเตาไมโครเวฟ จากนั้นได้ทำการปรับปรุงด้วยการออกแบบการทดลองและการหาพื้นที่ผลตอบสนอง เพื่อให้ระดับปัญหาเกิดน้อยที่สุด ผลจากการปรับปรุงสามารถลดระดับปัญหาที่เกิดจาก 1,100 DPMO เหลือเพียง 750 DPMO
9. Six Sigma Case Studies for Quality Innovation	Samsung SDI Samsung SDI Reports	2000 SS00	งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการสร้างทีมงานวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ตามแนวทางซิกซ์ ซิกม่า หรืออาจเรียกว่า R&D Six Sigma โดยทีมงานได้ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์นาฬิกา ซึ่งกระบวนการวิจัยและพัฒนาจะมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้ การสังเกตและจำกัดความ (Recognize and Define) การระบุปัญหา (Identify) การออกแบบ (Design) การทำให้เหมาะสม (Optimize) และการทำให้มีเหตุมีผล (Validate) ซึ่งการประยุกต์ใช้หลักการข้างต้นสามารถลดต้นทุนสินค้า $0.2 ต่อเรือน และสร้างกำไร $ 0.25 ล้านต่อปี

ตารางที่ ก-2 แสดงความสัมพันธ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการนำไปใช้

Code	Title	Six Sigma Thinking (SST)	Six Sigma Improvement (DMAIC)	Design for Six Sigma (DFSS)	Lean Six Sigma (LSS)
NS04	1. การปรับปรุงความพร้อมในการตอบสนองในอุตสาหกรรมบริการทันตกรรมโดยใช้แนวคิดลีน ซิกซ์ ซิกมา : กรณีศึกษาคลินิกบริการทันตกรรมพิเศษ คณะทันตแพทยศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย				×
VS03	2. การใช้กรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกม่า เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพงานพ่นสี		×		
PS03	3. การประยุกต์ใช้ซิกซ์ซิกม่าในงานผลิตอุปกรณ์ใยแก้วนำแสง (กรณีศึกษา : การลดจำนวนวัตถุดิบเสียเนื่องจากค่าความสูญเสียทางแสงสูงเกินค่ากำหนด)		×		
US02	4. การลดของเสียจากกระบวนการผลิตกระป๋องโดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า		×		
JS00	5. การประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่าในการปรับปรุงคุณภาพเคลือบสี สำหรับอุตสาหกรรมรถยนต์		×		
CS02	6. Comparing Nonmanufacturing with Traditional Application of Six Sigma	×			
FS02	7. Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organizations	×			
LG00	8. Six Sigma Case Studies for Quality Improvement, prepared for the National Quality Prize of Six Sigma for 2000			×	
SS00	9. Six Sigma Case Studies for Quality Innovation	×			

ภาคผนวก ข

ข้อมูลของเสีย

ตารางที่ ข-1 ข้อมูลของเสีย

ตารางข้อมูลของเสีย

	วันที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Jan'49	ยอดผลิต					34	65	94		94	128	124	158	160	127		123	94	123	162	106	148		219	104	144	138	130	124		208	157
	ของเสีย					3	3	11		8	19	11	7	15	10		11	43	50	12	10	5		19	11	16	22	10	22		26	9
Feb'49	ยอดผลิต		232	180	92		242	40	225	187	164	88		98		156	186	159	170		133	88	194	156	86	204		222	106			
	ของเสีย		17	18	36		57	16	40	17	34	32		49		56	61	45	20		25	23	34	29	34	19		44	20			
Mar'	ยอดผลิต	165	164	205	169		137	94	182	190	186	236		206	210	206	210	192	148		271	141		228	206	366	64	228	102	171	328	310
	ของเสีย	5	3	9	4		3	2	10	9	24	15		60	12	10	16	22	22		43	30		33	16	82	13	23	13	36	24	36
Apr'49	ยอดผลิต	212		258	210	264	284	294	290		384	310								250	232	281	268		317	254	295	304	380	303		
	ของเสีย	12		43	95	30	53	43	24		94	14								65	57	26	28		30	23	38	78	31	64		
May'49	ยอดผลิต		294	124	293	192	151		229	222	243	317	338	326		86	208	270	346	291	251		195	246	348	288	254	201		221	205	212
	ของเสีย		49	66	46	54	38		76	13	33	39	17	49		51	21	25	23	13	27		20	13	48	22	19	18		16	23	29
Jun'49	ยอดผลิต	ชุบผลิตภัณฑ์อื่น																														
	ของเสีย																															
July'49	ยอดผลิต	232				264													365	261	328					451	486	332	502	387		429
	ของเสีย	13				26													14	11	42					39	49	15	40	11		17
Ang'49	ยอดผลิต	412	446	756	479	543		800	529	631	630	657	474		517	729	675	795	838	755	350	792	945	762	550	1252	610	400	545	773	706	387
	ของเสีย	38	15	34	30	55		57	34	16	38	41	31		36	39	32	20	78	65	32	55	59	27	32	102	42	15	42	71	54	22
Sep'49	ยอดผลิต	652	645		472	324	582	96	552	735	392	869	896	1028	699	863	769		647	502	182	254	316	431		758	465	456	516	449	765	
	ของเสีย	52	26		31	29	50	12	32	65	25	53	46	105	33	28	83		62	19	2	7	14	21		50	21	14	44	44	52	
Oct'49	ยอดผลิต		344	310	261	636	428	37		6	492	279	242	670	411		517	366	500	592	503	342				384						
	ของเสีย		32	16	3	74	33	4		0	36	4	1	78	32		24	30	51	42	40	31				19						

หมายเหตุ หมายถึง วันหยุด หรือไม่ได้ทำการผลิต

ตารางที่ ข-1 (ต่อ)

ตารางข้อมูลของเสีย

	วันที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Nov'49	ยอดผลิต	509	348	427	219		432	160	484	352	491	369		407	513	531	624	485	511		365	587	425	523	615	505	465	540	470	581	509	
	ของเสีย	49	10	29	1		54	2	68	40	8	14		4	24	36	32	23	55		53	0	50	14	76	0	20	22	47	80	29	
Dec'49	ยอดผลิต	574	518	718			116	447	784	807		479	516	499	647	518	479		294	124	293	192	151	452		229	222	243	317			
	ของเสีย	44	40	70			7	3	81	26		23	21	74	43	16	2		23	6	23	40	7	32		8	7	14	23			
Jan'5	ยอดผลิต			294	124	293	192		229	222	243	317	338	326		86	208	270	346	291	251		392	294	124	293	192	208		270	346	291
	ของเสีย			32	6	21	13		10	13	23	23	22	18		0	12	14	14	23	21		21	15	3	9	0	7		3	10	7
Feb'50	ยอดผลิต	195	246	348		254	201	288	187	241	186		156	204	250	232	281	268		254	295	304	380									
	ของเสีย	0	9	16		0	0	5	8	2	5		0	11	4	3	8	6		12	5	6	21									

หมายเหตุ หมายถึง วันหยุด หรือไม่ได้ทำการผลิต

ภาคผนวก ค

คู่มือการปฏิบัติงาน

ตารางที่ ค-1 คู่มือการปฏิบัติงานวิธีการล้างชิ้นงาน

SCP	วิธีการล้างชิ้นงาน		WI–PL - 02
	แก้ไขปรับปรุงครั้ง : 1 วันที่มีผลบังคับใช้ : 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550		แผ่นที่ 1
ภาพประกอบ	ลำดับที่	วิธีการ	หมายเหตุ
 ภาพที่ ค-1 การนำชิ้นงานชุบบ่อน้ำด่างเย็นและทำการขัดด้วยฟองน้ำ **ภาพที่ ค-2** การฉีดพ่นชิ้นงานด้วยน้ำปะปา **ภาพที่ ค-3** การวางชิ้นงานบนแท่นรองเพื่อติดตะขอ **ภาพที่ ค-4** การนำชิ้นงานติดตั้งกับJig	1	การนำชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบผิวงานขัดมาวางบนโต๊ะ เพื่อทำการล้าง	
	2	ทำการล้างชิ้นงานด้วยน้ำด่างเย็น โดยพนักงานขัดด้วยฟองน้ำ	
	3	ทำการล้างชิ้นงานด้วยน้ำปะปา โดยพนักงานขัดด้วยฟองน้ำ	
	4	ทำการฉีดพ่นชิ้นงานด้วยน้ำปะปา	
	5	ทำการติดตะขอชิ้นงาน	
	6	นำชิ้นงานติดตั้งเข้ากับ Jig	
	7	นำชิ้นงานจุ่มแบบต้มโซนิคโซ้กในบ่อที่ 1 หมุนบิดตั้งเวลา Timer จะปรากฏไฟสีเขียวติดขึ้น รอจนไฟสัญญาณสีแดงติด (ใช้เวลา ≈ 8 นาที)	EC. No. (Soak Clean)
ผู้ควบคุม	คุณเชาวว์ คุ้มชาติ ผู้จัดการฝ่ายผลิต		

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

SCP	วิธีการล้างชิ้นงาน		WI–PL - 02
	แก้ไขปรับปรุงครั้ง : 1 วันที่มีผลบังคับใช้ : 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550		แผ่นที่ 2
ภาพประกอบ	ลำดับที่	วิธีการ	หมายเหตุ
 ภาพที่ ค-5 การขัดล้างคราบที่ตกค้างภายในชิ้นงาน **ภาพที่ ค-6** การหมุนบิดตามเข็มนาฬิกาเพื่อเปิด Timer	8	ยกชิ้นงานขึ้นแล้วมาทำการขัดทำความสะอาดภายนอกอีกครั้ง เพื่อขัดเอาสิ่งสกปรกที่หลงเหลือออกและล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา	
	9	ยกชิ้นงานจุ่มล้างด้วยน้ำประปาในบ่อที่ 2 (ครั้งที่ 1)	
	10	ยกชิ้นงานจุ่มล้างด้วยน้ำประปาในบ่อที่ 3 (ครั้งที่ 2)	
	11	ยกชิ้นงานจุ่มล้างด้วยไฟฟ้า ในบ่อที่ 4 นาน ≈ 4 นาที, ที่อุณหภูมิ ≈ 30 - 40ºC, ด้วยกระแสไฟ ≈ 300 แอมแปร์/ชิ้น	EC. No. 220 (Electro Clean)
	12	ยกชิ้นงานจุ่มล้างด้วยน้ำประปาในบ่อที่ 5 (ครั้งที่ 1)	
	13	ยกชิ้นงานจุ่มล้างด้วยน้ำประปาในบ่อที่ 6 (ครั้งที่ 2)	
	14	ยกชิ้นงานจุ่มล้างด้วยไฟฟ้ากรดในบ่อที่ 7 นาน ≈ 1 นาทีที่อุณหภูมิ ≈ 70ºC, ด้วยกระแสไฟ ≈ 300	EC. No. 345 (Acid Electro Clean)

ผู้ควบคุม	คุณเชาวว์ คุ้มชาติ ผู้จัดการฝ่ายผลิต	

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

SCP	วิธีการล้างชิ้นงาน		WI–PL - 02
	แก้ไขปรับปรุงครั้ง : 1 วันที่มีผลบังคับใช้ : 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550		แผ่นที่ 3
ภาพประกอบ	ลำดับที่	วิธีการ	หมายเหตุ
 ภาพที่ ค-7 การวางปลาย Jig ต้องแนบสนิทกับแท่นรอง **ภาพที่ ค-8** การจุ่มล้างทำความสะอาดชิ้นงาน		แอมแปร์/ชิ้น	
	15	ยกชิ้นงานจุ่มล้างด้วยน้ำประปาในบ่อที่ 8 (ครั้งที่ 1)	
	16	ยกชิ้นงานจุ่มล้างด้วยน้ำประปาในบ่อที่ 9 (ครั้งที่ 2)	
	17	เคลื่อนย้ายชิ้นงานเพื่อทำการชุบเคลือบผิวต่อไป	

ผู้ควบคุม	คุณเชาวว์ คุ้มชาติ ผู้จัดการฝ่ายผลิต	

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นายวสันต์ พุกผาสุข

ชื่อวิทยานิพนธ์ : การลดของเสียจากกระบวนการชุบโครเมี่ยม โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า กรณีศึกษา : บริษัทในอุตสาหกรรมชุบโครเมี่ยม

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ

ประวัติ

ประวัติส่วนตัว เกิดเมื่อวันจันทร์ที่ 5 กรกฎาคม พ.ศ. 2525 ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 52 ตำบลโคกพระเจดีย์ อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนวัดห้วยจระเข้วิทยาคม อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ