สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

การปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยวิธีลีน-ซิกซ์ ซิกม่า
กรณีศึกษา: กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

วิรัตน์ กังวานสมวงศ์

- 2 มิ.ย. 2560
371006 TH006352

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
มิถุนายน 2553
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบปากเปล่าวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ วิรัตน์ กังวานสมวงศ์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บรรหาญ ลิลา)

คณะกรรมการสอบปากเปล่าวิทยานิพนธ์

.....ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิทธิพร พิมพ์สกุล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บรรหาญ ลิลา)

.....กรรมการ

(ดร. ฤภูวัลย์ จันทรสา)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย ศรีวิริยรัตน์)

คณะวิศวกรรมศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ดร. อาณัติ ดีพัฒนา)

วันที่ 23 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2553

ประกาศคุณูประการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บรรหาญ ลิลา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำถึงแนวทางในการศึกษา ช่องทางการค้นคว้าแหล่งความรู้ ตลอดจนวิธีการแก้ปัญหาต่าง ๆ และวิธีการดำเนินงานอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ทำให้การศึกษาในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิทธิพร พิมพ์สกุล ประธาน ดร. ฤภูวัลย์ จันทรสา กรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย ศรีวิริยรัตน์ ผู้แทนบัณฑิต และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บรรหาญ ลิลา อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก สำหรับคำแนะนำในการปรับปรุงอันเป็นประโยชน์ ส่งผลให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทที่ผู้วิจัยทำงานอยู่ และยังได้รับความช่วยเหลือร่วมมืออย่างดีจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณธีระพงศ์ ประจิตตานนท์ ที่ให้โอกาสข้าพเจ้าได้สัมภาษณ์และผ่านการคัดเลือกเข้าร่วมอบรมสายดำในองค์กร ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 ซึ่งความรู้ดังกล่าวได้มีส่วนอย่างมากต่อความสำเร็จในงานวิจัยนี้และคุณกิตติ แต้พานิช ที่แนะนำแนวทางลีนและคุณไมเรล ไดโอเซอร่า เกี่ยวกับการทดลอง การเก็บข้อมูลสำหรับการศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณมารดา ญาติพี่น้อง ที่ให้การสนับสนุนที่ดีและให้กำลังใจตลอดระยะเวลาผ่านมา ตลอดจนการประสานงานและคำแนะนำอย่างดีจากเพื่อน ๆ ทุกท่านที่คอยกระตุ้นให้กำลังใจและคำแนะนำที่ดีตลอดมา งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วง ผู้ทำการศึกษาขอแสดงความขอบคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ ผู้ทำการศึกษาหวังว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งาน หรือเป็นแนวทางในการศึกษาเพิ่มเติม คุณประโยชน์ใด ๆ ที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่ บูพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบันที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษา และประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

นายวิรัตน์ กังวานสมวงศ์

50925457: สาขาวิชา: วิศวกรรมอุตสาหการ; วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ)
คำสำคัญ: ลีน, ซิกซ์ ซิกม่า, ลีน-ซิกซ์ ซิกม่า

นายวิรัตน์ กังวานสมวงศ์: การปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยวิธีลีน-ซิกซ์ ซิกม่า กรณีศึกษา: กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (THE LEAN-SIX SIGMA METHODOLOGY FOR MANUFACTURING PROCESS IMPROVEMENT) ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บรรหาญ ลิลา, 250 หน้า. ปี พ.ศ. 2553.

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอตัวแบบการปรับปรุงกระบวนการแบบลีน-ซิกซ์ซิกม่าสำหรับกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมุ่งเน้นทั้งการลดความสูญเปล่าและความผันแปรของกระบวนการ โดยนำเสนอการใช้เครื่องมือตามแนวทางของระบบการผลิตแบบลีนร่วมกับขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาแบบ DMAIC ของซิกซ์ ซิกม่า และประเมินผลจากดัชนี รอบเวลาการผลิต อัตราส่วนผลผลิต ต้นทุน ผลการประยุกต์ตัวแบบกับกรณีศึกษา พบว่าสามารถนำไปสู่การปรับปรุงที่ส่งผลให้กระบวนการไหลอย่างราบรื่นมากขึ้น ความผันแปรลดลง ประเมินได้จากรอบเวลาการผลิตที่ลดลงจาก 45.09 วินาที เป็น 42.71 วินาที หรือลดลง 5.28% อัตราส่วนผลผลิตเพิ่มขึ้นจาก 2,798 ตัวต่อเครื่องต่อวัน เป็น 3,009 ตัวต่อเครื่องต่อวัน หรือเพิ่มขึ้น 7.01% และลดต้นทุนได้ 2,416,800 บาท ต่อปี

จึงสรุปได้ว่าตัวแบบลีน-ซิกซ์ ซิกม่า เป็นแนวทางการปรับปรุงกระบวนการที่มีสามารถนำไปสู่การปรับปรุงทั้งด้านความสูญเปล่าและความผันแปรของกระบวนการได้อย่างเหมาะสม

50925457: MAJOR: INDUSTRIAL ENGINEERING; M.ENG.
(INDUSTRIAL ENGINEERING)
KEYWORDS: LEAN, SIX SIGMA, LEAN-SIX SIGMA

WIRAT KUNGWANSOMWONG: THE LEAN-SIX SIGMA METHODOLOGY FOR MANUFACTURING PROCESS IMPROVEMENT: A CASE STUDY OF HARD DISK DRIVE MANUFACTURING PROCESS. ADVISOR: ASSISTANT PROFESSOR BANHAN LILA, 250 PAGES. 2010

This thesis proposes a model for process improvement called a Lean-Six Sigma for a hard disk drive production process. The proposed model focuses on reduction of both wastes and variation in a process simultaneously by integrating appropriate tools of the Lean production in the DMAIC methodology of the Six Sigma. The production cycle time, productivity and cost are considered as the three main indicators for an effectiveness evaluation of the model implementation. The proposed model was applied to a case study and led to a reduction of cycle time from 45.09 second to 42.71 second or reduces 5.28%, an increment in productivity from 2,798 units/machine/day to 3,009 units/machine/day or increased 7.01% and a cost saving of 2,416,800 baht/year.

Therefore, it can be concluded that the Lean-Six Sigma model proposed in the thesis can lead to appropriate solution concentrating on both wastes and variation reduction of a process.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ฎ
บทที่
1 บทนำ 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา 5
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน 5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 6
ขอบเขตการวิจัย 6
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7
ฮาร์ดดิสก์ 7
ทฤษฎีลีน 10
ทฤษฎีซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) 38
การเปรียบเทียบมุมมองด้านต่าง ๆ ระหว่าง ลีน กับซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) 79
ผลงานวิจัย บทความ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและสรุปสาระสำคัญ 85
3 วิธีดำเนินการวิจัย 95
ขั้นตอนการดำเนินงาน 95
ขั้นตอนการกำหนดปัญหาสำหรับงานวิจัย 96
ขั้นตอนการศึกษาทฤษฎี ของลีนและซิกซ์ ซิกม่า และทบทวนวรรณกรรม
ที่เกี่ยวข้อง 96
ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองการผสมผสานแนวคิดลีน และซิกซ์ ซิกม่า 98
ขั้นตอนการประยุกต์การผสมผสานแนวคิดลีน-ซิกซ์ ซิกม่า กับกรณีศึกษา 122
ขั้นตอนการประเมินผลและข้อเสนอแนะ 122

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4	ผลการทดลองและการอภิปรายผล	123
	สำรวจงานวิจัย ความรู้และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอน ตามวิธีการ ซิกซ์ ซิกม่า	123
	ขั้นตอนการกำหนดปัญหา (D: Define)	123
	การศึกษาสภาพปัญหา (Problem Statement)	123
	การวิเคราะห์สายธารแห่งคุณค่าปัจจุบัน (Current Value Steam Mapping)	127
	การกำหนดดัชนีชี้วัดกระบวนการ (Define Process Measure)	129
	การกำหนดตัวชี้วัดทางธุรกิจ (Business Metric)	130
	การจัดตั้งทีมงาน (Team Menber)	130
	ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (M: Measure)	130
	การวิเคราะห์กระบวนการไหล (Analyze Process Flow)	131
	การศึกษาแหล่งของความสูญเปล่า (Sources of Waste)	136
	การวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับลีน-ซิกซ์ ซิกม่า (Measurement System Analysis for Lean-Six Sigma)	142
	การประเมินความสามารถของกระบวนการในปัจจุบัน	167
	การวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหา (Base Cause Analysis)	169
	ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (A: Analysis)	178
	การหาแนวทางการแก้ไขปัญหา (Recommended Action(s))	178
	การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test)	180
	การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments)	211
	ขั้นตอนการการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ	218
	การประยุกต์แนวทางการแก้ไขปัญหา (Apply Solution Techniques)	218
	การประเมินผลการปรับปรุง (Evaluate the Result of Improvement)	220
	การกำหนดสายธารแห่งคุณค่าหลังปรับปรุง (Value Stream Mapping After Improvement)	229
	ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ (C: Control)	231
	การทำแผนควบคุมกระบวนการ ((Control Plan)	232
	การติดตามผลการควบคุม (Monitor Performance)	234

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	การส่งมอบโครงการให้กับเจ้าของพื้นที่ (Project Tramsfer)	234
	ขั้นตอนการติดตามผลประโยชน์ทางธุรกิจ (Business Metric Realization)	235
5	สรุปและอภิปรายผล	236
	บทนำ	236
	การสรุปผล	236
	การอภิปรายผล	237
	ข้อแสนอแนะ	240
ภาคผนวก		245
ประวัติย่อของผู้วิจัย		255

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	เครื่องมือของระบบการผลิตแบบลีน	20
2-2	ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญและผลลัพธ์	42
2-3	ตารางระดับความรุนแรง	65
2-4	ระดับความบ่อยในการเกิด	66
2-5	ระดับการตรวจพบ	67
2-6	สถิติที่ใช้สำหรับการทดสอบสมมติฐาน	69
2-7	ชนิดของแผนภูมิควบคุม (Control Chart)	79
2-8	การเปรียบเทียบ ลีน กับซิกซ์ ซิกม่า	80
2-9	การเปรียบเทียบจุดแข็งและจุดอ่อนของลีนและซิกซ์ ซิกม่า	81
3-1	การเปรียบเทียบการแก้ไขจุดด้อยของลีนและซิกซ์ ซิกม่า ด้วยการบูรณาการลีน-ซิกซ์ ซิกม่า กับวิธีการแก้ปัญหาลีนและซิกส์ ซิกม่า แบบดั้งเดิม	99
3-2	เกณฑ์ในการคัดเลือกโครงการ	102
3-3	แนวทางการใช้เครื่องมือวิเคราะห์แหล่งของความผันแปรและความสูญเปล่า	110
3-4	การใช้เครื่องมือ เพื่อวิเคราะห์ ตามเวลาและประเภทของข้อมูล	110
3-5	การใช้เครื่องมือ เพื่อวิเคราะห์ ตามประเภทของข้อมูล	111
3-6	ลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติแต่ละประเภท	116
3-7	การเลือกใช้เครื่องมือคุณภาพและแนวทางการใช้งานในการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลอง	118
3-8	แนวทางการเลือกใช้เครื่องมือคุณภาพในขั้นตอนการควบคุม	120
4-1	กำลังการผลิตที่กระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็กตั้งแต่สัปดาห์ที่ 32 ถึง 42 ปี พ.ศ. 2550	125
4-2	การไหลของกระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก	132
4-3	เปอร์เซ็นต์ปัญหาที่กระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็กตั้งแต่เดือนมิถุนายน ถึง ตุลาคม ปี พ.ศ. 2550	134
4-4	เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของการวัดซ้ำในแต่ละวันของ Track Width	135
4-5	อุปกรณ์การวัดชิ้นงานของการวิเคราะห์ระบบการวัดของแต่ละกลุ่ม	144
4-6	ผลการทดลองคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดของงานกลุ่มที่ 1	145

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-7	ผลการทดลองคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดของงานกลุ่มที่ 3.2.1	149
4-8	ผลการทดลองคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดของงานกลุ่มที่ 3.2.2	153
4-9	ผลการทดลองคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดของงานกลุ่มที่ 3.3.1	157
4-10	ผลการทดลองคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดของงานกลุ่มที่ 3.3.2	162
4-11	ข้อมูลสถิติของจำนวนการวัดซ้ำที่เกิดขึ้นเดือนสิงหาคม-ตุลาคม เป็นเวลา 30 วัน	167
4-12	การเปรียบเทียบดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ	169
4-13	เมตริกซ์สาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)	171
4-14	ค่าตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญของความเสี่ยง	175
4-15	ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องจากลักษณะข้อบกพร่อง	177
4-16	แนวทางการแก้ไขเทียบกับแนวทางในปัจจุบัน	179
4-17	การวางแผนการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Plan)	181
4-18	การประยุกต์แนวทางการแก้ไขปัญหา	219
4-19	ผลการทดลองคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัด	221
4-20	ข้อมูลสถิติของจำนวนการวัดซ้ำที่เกิดขึ้น เป็นเวลา 30 วัน	225
4-21	การเปรียบเทียบดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ	227
4-22	แผนควบคุมของกระบวนการทดสอบสัญญาณเขียน-อ่าน	233

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	ผลลัพธ์ที่ได้จากการบูรณาการลีน-ซิกซ์ ซิกม่า	4
2-1	ลักษณะของฮาร์ดดิสก์	7
2-2	โครงสร้างของฮาร์ดดิสก์	8
2-3	Track, Sector และ Cylinder ฮาร์ดดิสก์	9
2-4	กระบวนการหลักในการผลิตหัวบันทึกและฮาร์ดดิสก์	9
2-5	วิวัฒนาการลีน	10
2-6	ตัวอย่างสายธารแห่งคุณค่า	14
2-7	สัดส่วนเวลาระหว่างเพิ่มคุณค่า 5% กับความสูญเปล่า 95%	18
2-8	ผลการเลื่อนขอบเขตออกไป +/- 1.5σ	39
2-9	ผลการเปรียบเทียบระดับคุณภาพของกระบวนการที่ 99% กับ 99.999966%	41
2-10	การประสานงานระหว่างบทบาทต่าง ๆ กับโครงการ	44
2-11	การใช้สัญลักษณ์มาตรฐานในการทำแผนผังการไหล	51
2-12	ตัวอย่างการใช้สัญลักษณ์มาตรฐานในการทำแผนภูมิการไหล	51
2-13	ตัวอย่างแผนภูมิก้างปลา	52
2-14	ตัวอย่างตารางเมตริกซ์ของมูลเหตุและผลที่เกิดขึ้น (Cause and Effect Matrix)	53
2-15	ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่เรามองเห็นจากเครื่องมือวัด กับค่าเฉลี่ยของเครื่องมือมาสเตอร์ที่วัดชิ้นงานเดียวกัน	55
2-16	ความผันแปรของค่าวัดที่วัดได้จากชิ้นงานมาสเตอร์ชิ้นเดิม แต่วัดที่ช่วงเวลาที่แตกต่างกัน	56
2-17	ค่า BIAS ของเครื่องมือวัดที่มีความแตกต่างกันไปตามช่วงหรือย่านของการวัด (ค่าวัด) ที่แตกต่างกัน	57
2-18	ค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นของตัวแปรอิสระ 2 ตัว	58
2-19	ความสามารถในการทำซ้ำ	59
2-20	ความสามารถในการทำเหมือน	59
2-21	ตัวอย่างแผนภูมิพาเรโต	62
2-22	ตัวอย่างแผนภูมิฮิสโตแกรม	63
2-23	กราฟความแปรปรวนแบบจุด	70

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
2-24	แบบจำลองทั่วไปสำหรับการะบวนการหรือระบบ	72
2-25	การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย	75
2-26	Cube Plot สำหรับการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^3	77
2-27	ขั้นตอนและเครื่องมือในการดำเนินการลีน (Lean) และซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)	84
3-1	ลำดับขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย	96
3-2	การผสมผสานแนวคิดลีน-ซิกซ์ ซิกม่า	100
4-1	กราฟแท่งการผลิตจริงและแผนต่อเครื่องต่อวัน (ตัว) โดยเฉลี่ยในกระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 32 ถึง 42 (ปี พ.ศ. 2550)	125
4-2	หลักการและโครงสร้างการทำงานของเครื่องวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก	126
4-3	ตำแหน่งวางจิ๊กสำหรับวางงานทั้ง 4 ตัว	127
4-4	สายธารแห่งคุณค่าปัจจุบันก่อนการปรับปรุง	128
4-5	กระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็กหรือการไหลของกระบวนการย่อย (Micro Process)	131
4-6	ขั้นตอนการวัดซ้ำของกระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก	133
4-7	เปอร์เซ็นต์การวัดซ้ำของอาการเสียของปัญหา Track Width	135
4-8	แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) การควบคุมดิสก์ที่ใช้งาน (Production Disk Control) และการทำคอรีเลชั่น (Correlation)	137
4-9	แผนผังสาเหตุและผล(Cause and Effect Diagram) สำหรับการควบคุมมาสเตอร์เฮดจีเอ (Master HGA Control)	137
4-10	แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) สำหรับการซ่อมบำรุงเครื่องจักร	138
4-11	แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) สำหรับการตรวจสอบตามระยะเวลาและความแตกต่างระหว่างเครื่องจักร	138
4-12	ชาร์ทการทำงานสองมือของวิธีปัจจุบัน	140
4-13	ขั้นตอนที่ 2 มือข้างซ้ายจะเคลื่อนย้ายฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง A มาที่ สแตนอันโหลด ส่วนมือขวาจะว่าง	141
4-14	สแตนโหลด-อันโหลดชิ้นงาน ก่อนปรับปรุง	141

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-15	วิธีการโหลด-อันโหลดชิ้นงาน ก่อนปรับปรุง	142
4-16	ผลการทวนสอบข้อมูลของระบบการวัดค่า Track Width ของงานกลุ่มที่ 1	146
4-17	ผลลัพธ์ช่วง Session ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด Track Width ของงานกลุ่มที่ 1	147
4-18	ผลการทวนสอบข้อมูลของระบบการวัดค่า Track Width ของงานกลุ่มที่ 3.2.1	150
4-19	ผลลัพธ์ช่วง Session ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด Track Width ของงานกลุ่มที่ 3.2.1	151
4-20	ผลการทวนสอบข้อมูลของระบบการวัดค่า Track Width ของงานกลุ่มที่ 3.2.2	154
4-21	ผลลัพธ์ช่วง Session ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด Track Width ของงานกลุ่มที่ 3.2.2	155
4-22	ผลการทวนสอบข้อมูลของระบบการวัดค่า Track Width ของงานกลุ่มที่ 3.3.1	158
4-23	ผลลัพธ์ช่วง Session ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด Track Width ของงานกลุ่มที่ 3.3.1	159
4-24	ผลการทวนสอบข้อมูลของระบบการวัดค่า Track Width ของงานกลุ่มที่ 3.3.2	162
4-25	ผลลัพธ์ช่วง Session ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด Track Width ของงานกลุ่มที่ 3.3.2	164
4-26	กราฟแสดงค่าตัวชี้วัดการวิเคราะห์ระบบการวัดแยกตามประเภทเครื่องจักร	166
4-27	กราฟ P Chart สัดส่วนการวัดซ้ำที่กระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก	168
4-28	กราฟพาเรโตลำดับความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อ %Track Width	173
4-29	แผนภาพพาเรโตของการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องจากลักษณะข้อบกพร่อง	176
4-30	ภาพของ KPIVs จากตารางที่ 4-15 ในลำดับที่ 2, 4 และ 8	177
4-31	ภาพของ KPIVs จากตารางที่ 4-15 ในลำดับที่ 7	178
4-32	แสตนโหลด-อันโหลดชิ้นงาน หลังปรับปรุง	180
4-33	ผลการคำนวณหาขนาดสิ่งตัวอย่างของการทดสอบแบบ t-Test	183
4-34	ผลการทดสอบความเป็นปกติของ ค่า Track Width ที่อไลเมนท์ 0 nm	185
4-35	ผลการทดสอบความเป็นปกติของ ค่า Track Width ที่อไลเมนท์ 5 nm	185

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-36 ผลการทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนของค่า Track Width ของค่า อไลเมนท์ 186
4-37 ผลการทดสอบแบบ t-Test ของค่าอไลเมนท์ที่มีต่อค่า Track Width 187
4-38 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width ของสายสัญญาณสีเทา 188
4-39 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width ของสายสัญญาณสีฟ้า 189
4-40 ผลการทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนของค่า Track Width 190
4-41 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width ที่ความสูงของทีบาร์ 0.13 mm. 191
4-42 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width ที่ความสูงของทีบาร์ 0.17 mm. 192
4-43 การเกิด Outlier ของ Box-Plot ของความสูงทีบาร์ 193
4-44 ผลการทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนของค่า Track Width 193
4-45 ผลการทดสอบแบบ t-Test ของค่าอไลเมนท์ที่มีต่อค่า Track Width 193
4-46 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width ของ Piezo controller T5600 195
4-47 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width ของ Piezo controller T5700 195
4-48 ผลการทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนของค่า Track Width 196
4-49 ผลการทดสอบความเป็นปกติของ ค่า Track Width ที่แรงดันอากาศ 0.35 บาร์ 197
4-50 ผลการทดสอบความเป็นปกติของ ค่า Track Width ที่แรงดันอากาศ 0.40 บาร์ 198
4-51 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่า Track Width ก่อนและหลังปรับแรงดัน 199
4-52 ผลการคำนวณหาขนาดสิ่งตัวอย่างของการทดสอบแบบ ANOVA 200
4-53 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width ที่ค่าแรงดัน 30 โวลต์ 201
4-54 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width ที่ค่าแรงดัน 35 โวลต์ 201
4-55 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width ที่ค่าแรงดัน 40 โวลต์ 202
4-56 ค่าความแปรปรวนของค่า Track Width ที่แรงดัน 30, 35 และ 40 โวลต์ 203
4-57 ผล Residual Plots ของค่าแรงดันที่มีต่อค่า Track Width 204
4-58 ผลการทดสอบแบบ ANOVA ของค่าแรงดันที่มีต่อค่า Track Width 205
4-59 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width กรณีไม่มี Stabilizer 206

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-60 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width กรณีมี Stabilizer 207

4-61 ผลการทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนของค่า Track Width 208

4-62 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width กรณีใช้ Piezo Holder สีดำ 209

4-63 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width กรณีใช้ Piezo Holder สีขาว 210

4-64 ผลการทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนของค่า Track Width 211

4-65 การคำนวณหาขนาดสิ่งตัวอย่างของการทดลองแบบ 2k แฟคทอเรียล 212

4-66 Residual Plot ของผลการทดลอง 2k แฟคทอเรี่ยล 213

4-67 ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) 215

4-68 กราฟพาเรโตแสดงผลของปัจจัยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ ระดับ 0.05 ก่อนการลดรูป 215

4-69 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบ 2k แฟคทอเรี่ยลหลังลดรูป 216

4-70 ผลของอิทธิพลหลักโดยกราฟ Main Effect Plot 217

4-71 ผลของอิทธิพลร่วมโดยกราฟ Interaction Plot 217

4-72 ผลการหาค่าเหมาะสมผ่านการทดลอง 218

4-73 การรวมกิจกรรมขั้นตอนที่ 2 และ 6 219

4-74 วิธีการโหลด-อันโหลดชิ้นงาน หลังปรับปรุง 220

4-75 ผลการทวนสอบข้อมูลของระบบการวัดค่า Track Width หลังการปรับปรุง กระบวนการ 222

4-76 ผลลัพธ์ช่วง Session ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเสถียรภาพของ ระบบการวัด Track Width 223

4-77 กราฟ P Chart สัดส่วนการวัดซ้ำที่กระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก 225

4-78 ชาร์ทการทำงานสองมือของวิธีที่นำเสนอ 228

4-79 สายธารแห่งคุณค่าหลังการปรับปรุง 229

4-80 กำลังการผลิตเฉลี่ยต่อวันต่อเครื่องในแต่ละสัปดาห์ที่กระบวนการวัดสัญญาณ ความเป็นแม่เหล็ก 234

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และชิ้นส่วนในประเทศไทยเป็นอุตสากรรมการผลิตที่ก่อให้เกิดกิจกรรมทางเศรษฐกิจต่อประเทศไทยอย่างมาก โดยมีสัดส่วนของปริมาณการผลิตรวมเป็นอันดับ 1 ของโลก มีการว่าจ้างแรงงานกว่า 100,000 คน และการส่งออกมากกว่า 4 แสนล้านบาท อย่างไรก็ตาม การดึงดูดการลงทุนของประเทศเพื่อนบ้านและประเทศพัฒนาใหม่ เช่น ประเทศจีน ประเทศมาเลเซีย การพัฒนาของเทคโนโลยี ใหม่เพื่อรองรับการผลิตสำหรับฮาร์ดดิสก์ที่มีขนาดเล็ก หรือมีความสามารถในการจุข้อมูลมากขึ้น ตลอดจนความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐานที่จะรองรับการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ล้วนเป็นปัจจัยที่ส่งผลอย่างมากต่อการคงอยู่

จากการที่บริษัทผู้ผลิตต่างประเทศเข้ามาตั้งโรงงานในประเทศไทย เพื่อใช้เป็นฐานการผลิตเป็นจำนวนมากก่อให้เกิดการแข่งขันกันทั้งในด้านคุณภาพและราคา ส่งผลให้ทุกบริษัทพยายามหาแนวทางและวิธีการต่าง ๆ ในการปรับปรุงคุณภาพ ให้โดดเด่นเหนือคู่แข่ง เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าและทำให้องค์กรสามารถดำรงอยู่ได้ อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงการประหยัด ทรัพยากรธรรมชาติที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบ ซึ่งมีแนวโน้มที่จะหายาก ราคาสูงขึ้น และเพื่อรักษาระดับต้นทุนในระดับที่สามารถแข่งขันได้ โดยเฉพาะการลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการ เช่น การลดรอบเวลาการผลิต ลดความผันแปรกระบวนการที่เป็นสาเหตุการเกิดของเสียและงานแก้ไข เพราะฉะนั้นถ้าบริษัทใดสามารถผลิตสินค้าออกมาให้ได้คุณภาพตรงตามความพึงพอใจของลูกค้า (Customer Satisfication) โดยใช้ต้นทุนที่สมเหตุสมผล ก็จะทำให้มีความสามารถทางการแข่งขันและสามารถดำรงอยู่ได้

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ระบบการผลิตที่อุตสาหกรรมการผลิตทั่วไปนิยมนำมาใช้มีวิวัฒนาการเปลี่ยนแปลงอยู่เรื่อย ๆ จนมีระบบการผลิตอยู่มากมายหลายรูปแบบที่ใช้ในปัจจุบันนี้ ซึ่งแต่ละแบบก็มีลักษณะเด่นและมีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและสถานการณ์ที่แตกต่างกันไปผู้ประกอบการจะต้องพยายามหาระบบการผลิตที่เหมาะสมกับธุรกิจของตนเองเพื่อให้สามารถดำเนินธุรกิจได้เป็นอย่างดีในสภาพที่มีการแข่งขันกันสูง ในปัจจุบันระบบการผลิตแบบหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เพราะเชื่อว่าเป็นระบบการผลิตที่สามารถทำกำไรและเหมาะสมต่อ

สภาพแวดล้อมดังเช่นปัจจุบัน นั่นคือแนวคิดการผลิตแบบลีน (Lean) และแนวคิดแบบซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)

ระบบการผลิตแบบลีน มีวิวัฒนาการมาในอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ โดยในอดีตระบบการผลิตจะมีลักษณะที่เรียกว่า Craft Production คือจะเป็นลักษณะการผลิตแบบที่ต้องอาศัยความชำนาญเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน ต้องอาศัยฝีมือและทักษะซึ่งทำให้ผลิตได้ทีละน้อยชิ้นและแต่ละชิ้นมี ค่าใช้จ่ายสูงมาก ต่อมาเฮนรี ฟอร์ด ทำการผลิตรถยนต์โดยใช้รูปแบบการผลิตแบบจำนวนมาก (Mass Production) โดยใช้วิธีการการศึกษาการทำงาน (Time and Motion) และการใช้ชิ้นส่วนทดแทน (Interchangeable Parts) ในปี ค.ศ. 1926 เขาได้เขียนหนังสือ "Today and Tomorrow" ที่อธิบายเกี่ยวกับลักษณะการผลิตแบบนี้ว่ามีข้อดีข้อเสียอย่างไร ต่อจากนั้น ทาอิชิ โอโนะ วิศวกรของบริษัทโตโยต้าในประเทศญี่ปุ่นที่ทำการผลิตรถยนต์ได้ศึกษาต่อและเปลี่ยนแปลงให้เป็นรูปแบบการผลิตแบบดึง (Pull) โดยการศึกษาและนำเอาระบบซุปเปอร์มาเก็ต (Supermarket System) ที่ไม่สามารถวางแผนการขายเป็นจำนวนแน่นอนตายตัวได้ในแต่ละวัน เนื่องจากลูกค้ามีความต้องการแตกต่างกัน ดังนั้นต้องคอยตรวจเช็คสินค้าที่เปลี่ยนแปลงและคอยเติมสินค้าอยู่เสมอให้เหมาะสมกับความต้องการ พร้อมกับศึกษาการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพระบบอเมริกา และนำมาใช้รวมกับระบบการผลิตทันเวลาพอดี (Just in Time: JIT) โดยเรียกว่า ระบบการผลิตแบบโตโยต้า (Toyota Production System: TPS) และเนื่องจากประเทศญี่ปุ่นมีลักษณะเป็นเกาะและมีทรัพยากรอยู่น้อย จึงต้องมีการพัฒนาปรับปรุงอย่างต่อเนื่องและให้ความสำคัญกับการกำจัดความสูญเปล่าทั้ง 7 ประการ ต่อจากนั้น จอห์น คราฟฟิค ชาวอเมริกันซึ่งเป็นนักวิจัยอยู่บริษัท New United Motor Manufacturing Inc. (NUMMI) เห็นว่าเพื่อประสิทธิภาพแก่กระบวนการผลิตจึงนำมาเขียนเป็นปรัชญาในการผลิตโดยเป็นผู้เสนอคำว่า "ลีน" ลงในวารสาร "Sloan Management Review ปี ค.ศ. 1988 " จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1990 จิม วอแมค สนใจเกี่ยวกับการสั่งซื้ออย่างประหยัดพร้อมกับเห็นว่าญี่ปุ่นประสบความสำเร็จในเรื่องการกำจัดความสูญเปล่า จึงได้ศึกษาอย่างละเอียดและพบว่าการกำจัดความสูญเปล่านี้จะช่วยสร้างคุณค่าเพิ่มขึ้นด้วย โดยเขียนลงในหนังสือ “Machine that Changed the World” ให้เป็นแนวคิดการผลิตแบบลีนและให้หลักการในการนำไปใช้ไว้ 5 ประการ คือ การนิยามคุณค่า (Value Definition), การวิเคราะห์การไหลของคุณค่า (Value Stream Analysis), การไหล (Flow), การดึง/ทันเวลาพอดี (Pull/JIT) และความสมบูรณ์แบบ (Perfection)

ในขณะที่ซิกซ์ ซิกม่า ถูกนำมาใช้ตั้งแต่ช่วงปี 1980 เพื่อปรับปรุงคุณภาพโดยบริษัทโมโตโรล่า มุ่งเน้นการลดของเสียในกระบวนการผลิตให้เกิดขึ้นน้อยที่สุดจนประสบความสำเร็จสามารถลดต้นทุนในการผลิตและขณะเดียวกันระดับความพึงพอใจของลูกค้าก็เพิ่มมากขึ้น นอกจากความสำเร็จที่เกิดขึ้นในบริษัทโมโตโรล่าแล้ว บริษัทเจเนอรัลอิเล็คทริกส์ (General

Electric: GE) ก็เป็นอีกบริษัทหนึ่งที่นำซิกซ์ ซิกม่า ไปใช้ในอุตสาหกรรมการบริการจนประสบความสำเร็จ ทำให้ซิกซ์ ซิกม่า กลายเป็นที่รู้จักในวงการธุรกิจและอุตสาหกรรมทั่วไป บริษัทหลาย ๆ บริษัท เริ่มที่จะนำกลยุทธ์ซิกซ์ ซิกม่า มาใช้กับองค์กรตนเองกันอย่างแพร่หลาย จนปัจจุบันสามารถกล่าวได้ว่าซิกซ์ ซิกม่า เป็นกลยุทธ์ตัวหนึ่งที่องค์กรหรือบริษัทต่าง ๆ ทั่วโลกนำมาใช้เพื่อสร้างความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจ ทั้งนี้เนื่องจากระเบียบวิธีการแก้ปัญหาซิกส์ ซิกม่า เป็นวิธีการแก้ปัญหาที่เป็นระบบ มีเครื่องมือคุณภาพหลากหลาย เครื่องมือทางสถิติและเครื่องมือการแก้ปัญหาที่ถูกจัดลำดับการใช้งานอย่างเหมาะสมกลยุทธ์ซิกซ์ ซิกม่า จึงถือได้ว่าเป็นกลยุทธ์ระดับโลก (World-Class Strategy) ในประเทศไทยมีองค์กรชั้นนำหลายแห่งเช่น บริษัท ซีเกทเทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด และหน่วยธุรกิจการซ่อมบำรุงอากาศยาน บริษัท การบินไทย จำกัด (มหาชน) ได้นำระเบียบวิธีการแก้ปัญหาซิกส์ ซิกม่า ไปใช้อย่างมีประสิทธิผลและได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีปฏิบัติที่เป็นแบบอย่างที่ดีเยี่ยมด้านการจัดการกระบวนการในอุตสาหกรรมการผลิต

องค์กรชั้นนำหลายแห่งที่ได้นำแนวทางของลีน หรือซิกซ์ ซิกม่า ไปดำเนินการพบว่าแนวทางทั้งสองนี้มีข้อจำกัด จึงทำให้นักปฏิบัติการหลายท่านมีแนวคิดผนวกจุดเด่นของทั้งสองแนวทางนี้ ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ด้วยเหตุผลดังนี้

1. แนวทางลีนไม่มุ่งเน้นเครื่องมือทางสถิติในการวิเคราะห์ต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงความสามารถของกระบวนการ

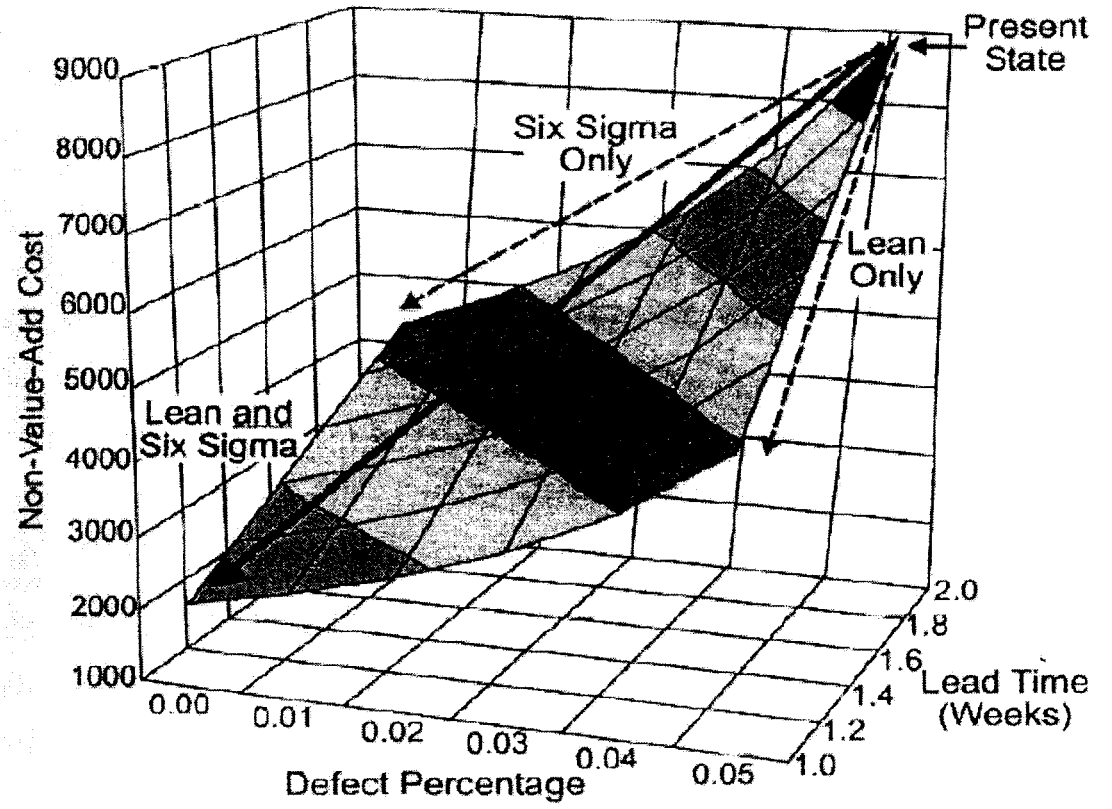
2. แนวทางซิกซ์ ซิกม่าไม่มีการปรับปรุงการไหลในสายการผลิตให้เป็นไปอย่างราบเรียบ

3. แผนภูมิกระบวนการ (Process Map) ซึ่งเป็นเครื่องมือหนึ่งของซิกซ์ ซิกม่า ไม่ได้ระบุรายละเอียดกิจกรรมที่สร้างความสูญเปล่าเหมือนอย่างแผนภาพสายธารแห่งคุณค่า (Value Stream Map) ของลีนที่จำแนกความสูญเปล่า

4. ประสิทธิผลแห่งการบูรณาการลีนและซิกซ์ ซิกม่า สนับสนุนต่อการลดต้นทุนและสร้างผลตอบแทนให้กับธุรกิจสูงสุด

จากหลักการบริหารการผลิตที่มุ่งเน้นทั้งการไหลของงานที่มีประสิทธิภาพปราศจากความสูญเปล่า การควบคุมความผันแปรในกระบวนการและผลิตภัณฑ์ การผสมผสานระหว่างแนวคิดของลีนและซิกซ์ ซิกม่า จึงมีโอกาสที่จะตอบสนองวัตถุประสงค์นี้ได้โดยการนำจุดเด่นของทั้งสองแนวทางผสมผสาน เพื่อชดเชยจุดด้อย งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะพัฒนาระเบียบวิธีการผสมผสาน แนวคิดการบริหารการผลิตเข้าด้วยกัน โดยจะประยุกต์ระเบียบวิธีการที่พัฒนาขึ้นกับกระบวนการผลิต ซึ่งจะใช้เป็นกรณีศึกษา

ผลลัพธ์ที่ได้จากการบูรณาการลีน-ซิกซ์ ซิกม่า ก็คือความเร็วของกระบวนการและคุณภาพโดยให้ต้นทุนต่ำที่สุด ดังภาพที่ 1-1



ภาพที่ 1-1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการบูรณาการลีน-ซิกซ์ ซิกม่า (ศิรศักย เทพจิตร, 2549)

จากภาพที่ 1-1 ลีนสร้างกระบวนการโดยเน้นการไหลของกระบวนการ นั่นคือ ลดระยะเวลานำของกระบวนการได้ คือการสร้างความเร็วให้แก่กระบวนการแต่ลดเปอร์เซ็นตของเสียได้เพียงเล็กน้อย ผลที่ตามมาคือต้นทุนลดลงได้ในระดับหนึ่ง ดังเช่นเส้นที่ Lean Only และซิกซ์ ซิกม่า สามารถลดเปอร์เซ็นต์ของเสียได้ นั่นคือสร้างความเชื่อถือให้แก่กระบวนการ แต่มิได้ลดเวลานำของกระบวนการ เป้าหมายในการลดต้นทุนจึงลดลงได้ในระดับหนึ่งดังแสดงในเส้น Six Sigma Only การบูรณาการลีน-ซิกซ์ ซิกม่า ทำให้ลดระยะเวลานำของกระบวนการบวกกับลดเปอร์เซ็นต์ของเสียลงได้ นั่นคือการสร้างความเร็วและความน่าเชื่อถือให้แก่กระบวนการผลลัพธ์ที่ตามมา คือสามารถทำให้ต้นทุนลดลงต่ำที่สุด จุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข็งขันและสนองความต้องการของลูกค้า

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยมีความประสงค์ต้องการศึกษาดังนี้

1. เพื่อพัฒนาการบูรณาการวิธีการลีน (Lean) - ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) สำหรับการปรับปรุงกระบวนการ

2. เพื่อประยุกต์วิธีการลีน - ซิกซ์ ซิกม่า ในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

1.1 กำหนดปัญหาสำหรับงานวิจัย

1.2 ศึกษาทฤษฎี หลักการลีนและซิกซ์ ซิกม่า ทบทวนวรรณกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

1.3 พัฒนาแบบจำลองการผสมผสาน

1.4 ประยุกต์การผสมผสานแนวคิดลีนและซิกซ์ ซิกม่ากับกรณีศึกษา

1.5 ประเมินผลและข้อเสนอแนะ

2. ขั้นตอนลีน-ซิกซ์ ซิกม่า

เป็นการพัฒนาแบบจำลองการผสมผสานแนวคิดลีนและซิกซ์ ซิกม่า ผู้ทำวิจัยได้ผสมผสานเครื่องมือการผลิตแบบลีนเพิ่มเติมเข้าไปในกระบวนการ DMAIC นอกจากเครื่องมือทางสถิติในการวิเคราะห์ต่าง ๆ ในซิกซ์ ซิกม่า แล้ว จะมีการนำเครื่องมือลีนเข้ามา ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 ขั้นตอนการกำหนดปัญหา เริ่มจากการศึกษาสภาพปัญหา วิเคราะห์สายธารแห่งคุณค่าปัจจุบัน กำหนดดัชนีชี้วัดกระบวนการ กำหนดตัวชี้วัดทางธุรกิจและจัดตั้งทีมงานเพื่อแก้ไขปัญหา

2.2 ขั้นตอนการวัดและตรวจสอบ เริ่มจากการวิเคราะห์กระบวนการไหล ศึกษาแหล่งของความสูญเปล่า วิเคราะห์ระบบการวัดลีน-ซิกซ์ ซิกม่า ประเมินความสามารถของกระบวนการลีน-ซิกซ์ ซิกม่าและวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหา

2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา เริ่มจากแนวทางการแก้ไขปัญหา ทดสอบสมมติฐานและการออกแบบการทดลอง

2.4 ขั้นตอนการการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ เริ่มจากการประยุกต์แนวทางการแก้ไขปัญหา ประเมินผลการปรับปรุงและสร้างสายธารแห่งคุณค่าหลังปรับปรุง

2.5 ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ เริ่มจากการทำแผนควบคุมกระบวนการ ติดตามผลการควบคุมและส่งมอบโครงการให้กับเจ้าของพื้นที่

2.6 ขั้นตอนการติดตามผลประโยชน์ทางธุรกิจ ขั้นตอนนี้เป็นการรับประโยชน์จากผลของโครงการ ทางธุรกิจ หรือต้นทุนที่ลดลงจากการแก้ไขปัญหาเป็นระยะเวลา 12 เดือน หลังจากที่ปิดโครงการ

3. เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย

3.1 โปรแกรม Minitab เพื่อใช้สำหรับรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

3.2 เครื่องคอมพิวเตอร์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Microsoft Excel, Microsoft Word, Microsoft Power Point เพื่อใช้สำหรับการทำรายงานวิจัย

3.3 นาฬิกาจับเวลา เพื่อใช้สำหรับจับเวลาการทำงาน

3.4 กล้องถ่ายรูป เพื่อใช้สำหรับบันทึกภาพอุปกรณ์และวิธีการทำงาน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ทราบถึงองค์ความรู้อย่างเป็นระบบเกี่ยวกับแนวคิดลีนและซิกซ์ ซิกม่าจากการผสมผสาน

2. เพื่อเป็นแนวทางให้กับองค์กรต่าง ๆ นำไปศึกษาการผสมผสานแนวคิดลีนและซิกซ์ ซิกม่า

3. ทราบถึงแนวทางการลดต้นทุน จากการผสมผสานแนวคิดลีน (Lean) และซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)

4. การผสมผสานแนวคิดลีนและซิกซ์ ซิกม่า ช่วยในการประเมินอุปสรรคต่าง ๆ ขององค์กรในระยะยาว เพื่อรักษาประสิทธิภาพของกระบวนการ

5. เป็นเครื่องมือในการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ สำหรับผู้บริหารในการดำเนินนโยบาย

ขอบเขตการวิจัย

ดำเนินการวิจัยตามหลักการและวิธีการระเบียบการผสมผสานแนวคิดลีนและซิกซ์ ซิกม่า ในกรณีศึกษาของกระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก ช่วงเวลาระหว่างเดือนสิงหาคม ถึงเดือนพฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2550 ของสายผลิตภัณฑ์ A ในส่วนการผลิตส่วนอ่าน-เขียน (Read-Write Part) ของกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

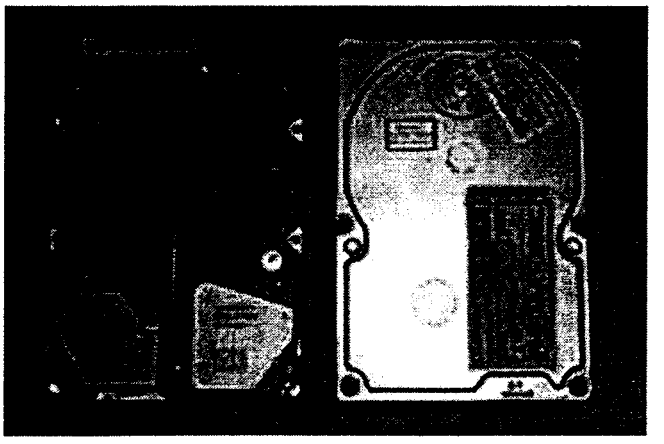
บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะได้ทราบถึงความรู้เบื้องต้นของฮาร์ดดิสก์ ซึ่งเป็นกรณีศึกษาของการผสมผสานลีน-ซิกซ์ ซิกม่า ในอุตสากรรมฮาร์ดดิสก์ ทฤษฎีลีน ทฤษฎีซิกซ์ ซิกม่า การเปรียบเทียบมุมมองด้านต่าง ๆ จุดอ่อนและจุดแข็ง การบูรณาการ ผลงานวิจัย บทความ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและบทสรุปสาระสำคัญ ทั้งหมดประกอบด้วยเนื้อหา 5 ข้อดังนี้

1. ฮาร์ดดิสก์ (Hard Disk)
2. ทฤษฎีลีน (Lean)
3. ทฤษฎีซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)
4. การเปรียบเทียบมุมมองด้านต่าง ๆ ระหว่าง ลีน (Lean) กับซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)
5. ผลงานวิจัย บทความ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและสรุปสาระสำคัญ

ฮาร์ดดิสก์ (Hard Disk)

ฮาร์ดดิสก์ (Hard Disk) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลต่าง ๆ ของเครื่องคอมพิวเตอร์ มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมที่มีเปลือกนอกเป็นโลหะแข็งและมีแผงวงจรสำหรับการควบคุมการทำงานประกบอยู่ที่ด้านล่าง พร้อมกับช่องเสียบสายสัญญาณและสายไฟเลี้ยง ส่วนประกอบภายในจะถูกปิดผนึกไว้อย่างมิดชิด ดังภาพที่ 2-1 โดยจะเป็นแผ่นดิสก์และหัวอ่านที่บอบบางมากและไม่ทนต่อการกระทบกระเทือน ฮาร์ดดิสก์จะบรรจุอยู่ในช่องที่เตรียมไว้เฉพาะภายในเครื่อง โดยจะมีการต่อสายสัญญาณเข้ากับตัวควบคุมฮาร์ดดิสก์และสายไฟเลี้ยงที่มาจากแหล่งจ่ายไฟด้วยเสมอ ซึ่งฮาร์ดดิสก์ได้ชื่อว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนในด้านอุปกรณ์ที่มีการเคลื่อนไหว



ภาพที่ 2-1 ลักษณะของฮาร์ดดิสก์

1. โครงสร้างของฮาร์ดดิสก์ (Hard Disk) (อภิรัฐ ศิริธราธิวัตร, 2549)

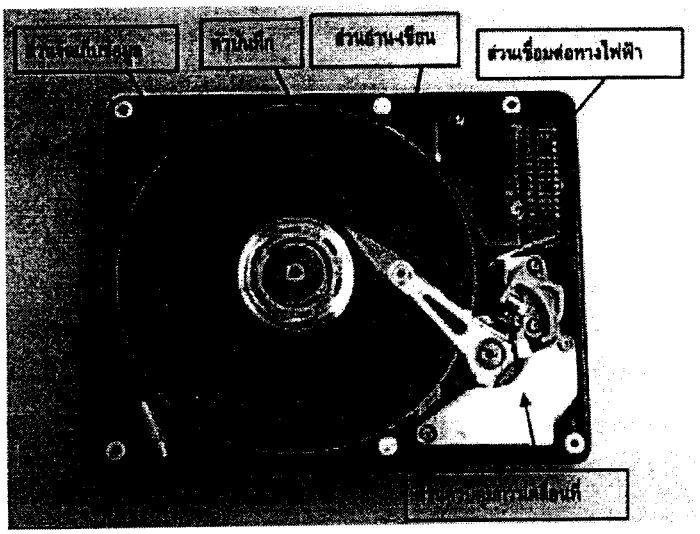
ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ เมื่อแบ่งตามหน้าที่การทำงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วนหลัก ดังภาพที่ 2.2 ได้แก่

1.1 ส่วนอ่าน-เขียน (Read-Write Part)

1.2 ส่วนจัดเก็บข้อมูล (Storage Part)

1.3 ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ (Movement Controlling Part)

1.4 ส่วนเชื่อมต่อทางไฟฟ้า (Electrical Interconnection Part)

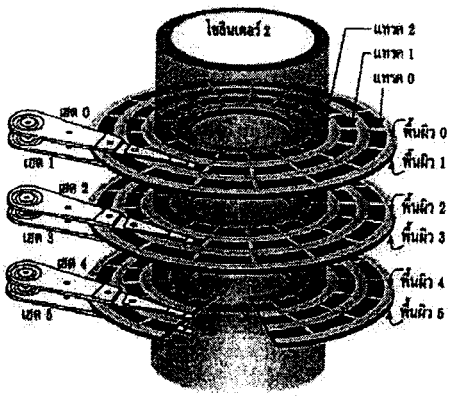


ภาพที่ 2-2 โครงสร้างของฮาร์ดดิสก์

2. หลักการทำงานของฮาร์ดดิสก์ (Hard Disk)

ฮาร์ดดิสก์ จะเก็บข้อมูลไว้ใน Track หรือ เส้นวงกลม โดยจะเริ่มเก็บข้อมูลที่ด้านนอกสุดของฮาร์ดดิสก์ก่อน จากนั้นจึงไล่เข้ามาด้านในสุด โดยฮาร์ดดิสก์ จะเป็นอุปกรณ์ที่สามารถสุ่มเข้าถึงข้อมูลได้ คือการที่หัวอ่านสามารถเคลื่อนที่ไปอ่านข้อมูลบนจุดใดของฮาร์ดดิสก์ก็ได้ หัวอ่านของฮาร์ดดิสก์ นั้นสามารถบินอยู่เหนือพื้นที่จัดเก็บ ข้อมูลทันทีที่ได้รับตำแหน่งมาจากซีพียู ฮาร์ดดิสก์นั้นสามารถ เก็บข้อมูลได้ทั้ง 2 ด้านของ แพล็ตเตอร์ ถ้าหัวอ่านเขียนนั้นอยู่ทั้ง 2 ด้าน ดังนั้น ฮาร์ดดิสก์ที่ มีแพล็ตเตอร์ 2 แผ่นนั้นสามารถมีพื้นที่ในการ เก็บข้อมูลได้ถึง 4 ด้านและมีหัวอ่านเขียน 4 หัว การเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนนี้จะมีการเคลื่อนที่ไปพร้อม ๆ กันโดยจะมีการเคลื่อนที่ที่ตรงกัน Track วงกลมนั้นจะถูกแบ่งออก เป็นหน่วยย่อย ๆ เรียกว่า Sector การเขียนข้อมูลลงบนฮาร์ดดิสก์นั้นจะเริ่มเขียนจากรอบนอกสุด ของฮาร์ดดิสก์ก่อน จากนั้นเมื่อข้อมูลใน Track นอกสุด

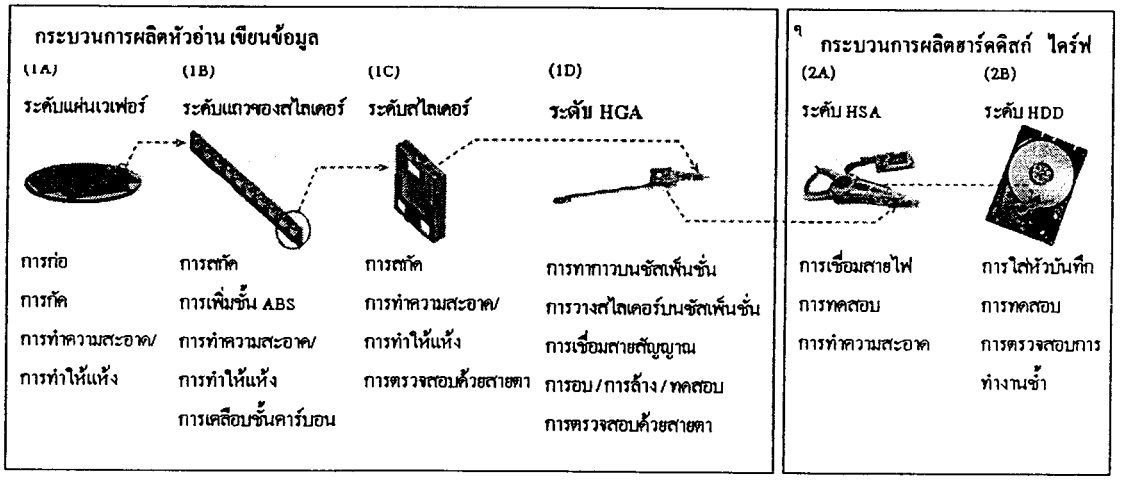
ถูกเขียนจนเต็มหัวอ่านก็จะเคลื่อนมายังแทร็กถัดมา ที่ว่างแล้วทำการเขียข้อมูลต่อไป ดังภาพที่ 2-3 แสดง Track, Sector และ Cylinder ฮาร์ดดิสก์



ภาพที่ 2-3 Track, Sector และ Cylinder ฮาร์ดดิสก์

3. ขั้นตอนการผลิตฮาร์ดดิสก์ (Hard Disk)

กระบวนการหลักในการผลิตฮาร์ดดิสก์ เริ่มตั้งแต่ระดับเวเฟอร์ (Wafer) ระดับแถว/สไลเดอร์ (Bar/Slider) ระดับสไลเดอร์ (Slider) ระดับเฮดจีเอ (HGA: Head Gimbal Assembly) ระดับเฮดเอสเอ (HSA: Head Stack Assembly) และระดับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (HDD: Hard Disk Drive) เป็นกระบวนการสุดท้ายก่อนส่งให้กับลูกค้าต่อไป ดังภาพที่ 2-4



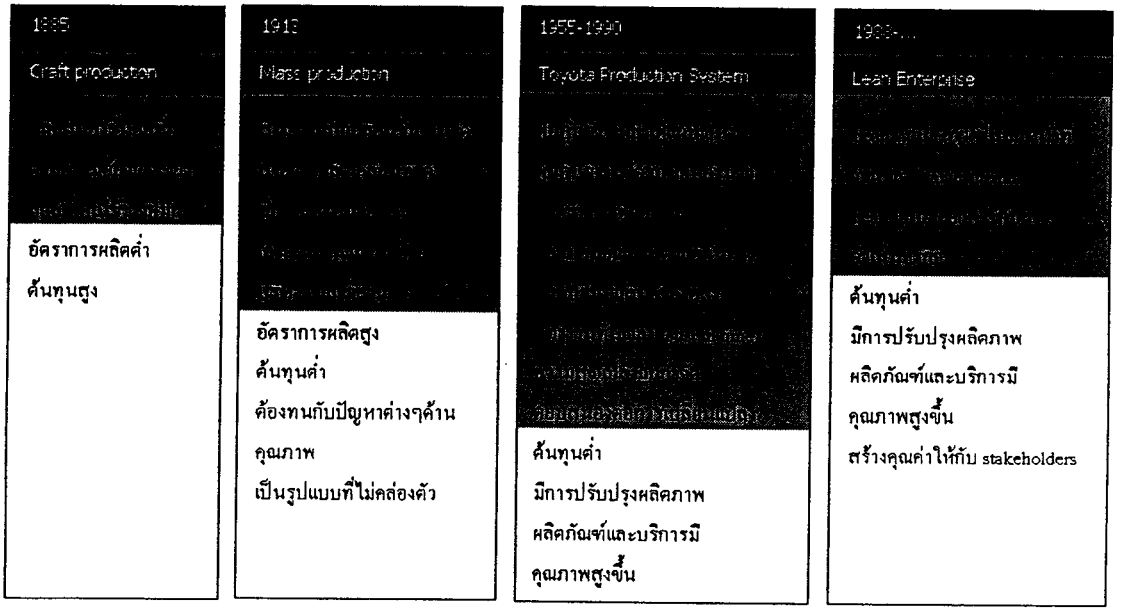
ภาพที่ 2-4 กระบวนการหลักในการผลิตหัวบันทึกและฮาร์ดดิสก์

ทฤษฎีลีน

1. วิวัฒนาการลีน (Lean)

ในกระบวนการผลิตความสูญเปล่าในการปฏิบัติงานมักเกิดขึ้นและแอบแฝงอยู่ในรูปต่าง ๆ ทำให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มสูงขึ้นโดยไม่สามารถหาสาเหตุได้ จึงมีการคิดค้นเทคนิคเพื่อที่จะช่วยลดต้นทุนที่เพิ่มขึ้นในส่วนนี้ได้ ซึ่งระบบการผลิตแบบลีน (Lean) เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถขจัดความสูญเปล่า (Waste) ในระบบการผลิตอย่างต่อเนื่องได้ เทคนิคแบบลีนกำลังเป็นที่นิยมและได้ถูกนำมาใช้เป็นกลยุทธ์ในการดำเนินธุรกิจระดับโลก จากการผลิตแบบดั้งเดิมที่ผลิตเป็นจำนวนมากสู่การผลิตตามความต้องการลูกค้า โดยการทำความเข้าใจในกระบวนการผลิตและการออกแบบตามคุณค่าที่ลูกค้าต้องการและจัดการอย่างถูกต้องให้เหมาะสม เพื่อช่วยในเรื่องการปรับปรุงการเพิ่มผลผลิตให้ดีขึ้นทั้งการผลิตและวิสาหกิจ แนวทางการผลิตแบบลีนนั้นในการปฏิบัตินี้เริ่มจากการปรับโครงสร้างทั้งทางเทคนิคและการจัดการ บ่งชี้ให้เห็นความสูญเปล่าต่าง ๆ ในระบบการปฏิบัติงานภายในโรงงาน มุ่งเน้นความพยายามด้านการจัดการในการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดและขจัดปัจจัยที่ทำให้เกิดความสูญเปล่าใดที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มและพยายามรักษาวิธีการนั้นผ่านมาตรฐานที่จัดทำขึ้น

วิวัฒนาการของระบบการผลิตแบบลีน (Lean) ดังภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 วิวัฒนาการลีน

- ปี ค.ศ. 1855 อุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ เริ่มระบบการผลิตจะมีลักษณะที่เรียกว่า Craft Production คือจะเป็นลักษณะการผลิตแบบที่ต้องอาศัยความชำนาญเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน ต้องอาศัยฝีมือและทักษะซึ่งทำให้ผลิตได้ทีละน้อยชิ้นและแต่ละชิ้นมีค่าใช้จ่ายสูงมาก

- ปี ค.ศ. 1913 เฮนรี ฟอร์ด ทำการผลิตรถยนต์โดยใช้รูปแบบการผลิตแบบจำนวนมาก (Mass Production) โดยใช้วิธีการการศึกษาการทำงาน (Time and Motion) และการใช้ชิ้นส่วนทดแทน (Interchangeable Parts) เขาได้เขียนหนังสือ "Today and Tomorrow" ที่อธิบายเกี่ยวกับลักษณะการผลิตแบบนี้ว่ามีข้อดีข้อเสียอย่างไร

- ปี ค.ศ. 1955-1990 ทาอิชิ โอโนะ วิศวกรของบริษัทโตโยต้าในประเทศญี่ปุ่นที่ทำผลิตรถยนต์ได้ศึกษาต่อและเปลี่ยนแปลงให้เป็นรูปแบบการผลิตแบบดึง (Pull) โอโน่เป็นบุคคลที่สามารถมองเห็นได้ลึกซึ้งและได้นำบางสิ่งจากที่แห่งหนึ่งไปใช้กับอีกแห่งหนึ่ง ดังนี้

1) ที่ Indy 500: เขาได้เรียนรู้ความสมดุลของงาน การเตรียมตัวและการทำงานเป็นทีม

2) ที่ โรงงาน River Rouge (Ford, Dearborn, Michigan): เขาได้เรียนรู้การผลิตจำนวนมาก (Mass production) และสายการผลิตที่เคลื่อนที่

3) ที่ Supermarkets: เขาได้เรียนรู้ความหลากหลายที่ไม่สามารถวางแผนการขายเป็นจำนวนแน่นอนตายตัวได้ในแต่ละวัน เนื่องจากลูกค้ามีความต้องการแตกต่างกัน ดังนั้นต้องคอยตรวจเช็คสินค้าที่เปลี่ยนแปลงและคอยเติมสินค้าอยู่เสมอให้เหมาะสมกับความต้องการและนี่คือความคิดที่อยู่เบื้องหลังของคัมบัง (Kanban)

โอโนะได้ศึกษาการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพระบบอเมริกาและนำมาใช้รวมกับระบบการผลิตทันเวลาพอดี (Just in Time: JIT) ต่อมา จิโดกะ (คือเครื่องจักรจะมีการตรวจสอบด้วยตนเองหากมีการผิดพลาดสายการผลิตก็จะหยุดทันที) โดยเรียกว่า ระบบการผลิตแบบโตโยต้า (Toyota Production System: TPS) และเนื่องจากประเทศญี่ปุ่นมีลักษณะเป็นเกาะและมีทรัพยากรอยู่น้อย จึงต้องมีการพัฒนาปรับปรุงอย่างต่อเนื่องและให้ความสำคัญกับการกำจัดความสูญเปล่าทั้ง 7 ประการ

- ปี ค.ศ. 1988 จอห์น คราฟฟิค ชาวอเมริกันซึ่งเป็นนักวิจัยอยู่บริษัท New United Motor Manufacturing Inc. (NUMMI) เห็นว่าเพื่อประสิทธิภาพแก่กระบวนการผลิตจึงนำมาเขียนเป็นปรัชญาในการผลิตโดยเป็นผู้เสนอคำว่า "ลีน" ลงในวารสาร "Sloan Management Review"

- ปี ค.ศ. 1990 จิม วอแมค สนใจเกี่ยวกับการสั่งซื้ออย่างประหยัดพร้อมกับเห็นว่าญี่ปุ่นประสบความสำเร็จในเรื่องการกำจัดความสูญเปล่า จึงได้ศึกษาอย่างละเอียดและทำอย่างเป็นระบบจนประสบความสำเร็จที่ว่าการกำจัดความสูญเปล่านี้จะช่วยสร้างคุณค่าเพิ่มขึ้นด้วย

โดยเขียนลงในหนังสือ "Machine that Changed the World" ให้เป็นแนวคิดการผลิตแบบลีนและให้หลักการในการนำไปใช้ไว้ 5 ประการ คือ การนิยามคุณค่า (Value Definition) การวิเคราะห์การไหลของคุณค่า (Value Stream Analysis) การไหล (Flow) การดึง/ทันเวลาพอดี (Pull/JIT) และความสมบูรณ์แบบ (Perfection)

2. คำจำกัดความของการผลิตแบบลีน (Lean)

คำจำกัดความของการผลิตแบบลีน (Lean) ที่ Nation Institute of Standards and Technology Manufacturing Extension Partnership: NIST/MEP (1999) ให้ไว้คือ ระบบที่มุ่งเน้นการจำแนกและการกำจัดความสูญเปล่าคือกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่า ตลอดจนการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยทำให้การไหลของผลิตภัณฑ์เกิดมาจากการดึงดูดของลูกค้า หรือก็คือหลักการผลิตที่ใช้หลักการการกำจัดความสูญเปล่า (Waste) เพื่อสร้างคุณค่าเพิ่ม (Value Added) โดยเน้นถึงความต้องการของลูกค้าเป็นสำคัญหรือเรียกว่าตลาดเป็นของผู้บริโภค ด้านการบริหารและการดำเนินธุรกิจ ลีน คือ การออกแบบและการจัดการกระบวนการ ระบบ ทรัพยากรและมาตรการต่าง ๆ อย่างเหมาะสม ทำให้สามารถส่งมอบผลิตภัณฑ์ได้อย่างถูกต้องเหมาะสมในครั้งแรกที่ดำเนินการ โดยพยายามให้เกิดความสูญเสียน้อยที่สุด (Minimum Waste) หรือมีส่วนเกินที่ไม่จำเป็นน้อยที่สุดโดยความสูญเสียดังกล่าวนั้น ไม่ได้ประเมินจากผลลัพธ์ขั้นสุดท้าย (Final Products) เพียงอย่างเดียว แต่จะประเมินจากกิจกรรมหรือกระบวนการทั้งหมดที่ใช้ทรัพยากร โดยไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม (Non-Balue Added) ในการผลิต เช่น ความผิดพลาดในการอ่านแบบ การขาดการสื่อสาร การทำงานนอกเหนือขั้นตอนกระบวนการที่กำหนด กิจกรรมที่มีความซ้ำซ้อน โดยไม่จำเป็น การป้อนทรัพยากรเข้ากระบวนการผลิตช้าหรือเร็วเกินความจำเป็น การสั่งซื้อวัสดุที่ไม่ได้คุณลักษณะเข้ามาใช้งาน การทำงานเสร็จก่อนกำหนดมากเกินไปและผลิตภัณฑ์หรือบริการที่ไม่ตรงกับความต้องการของลูกค้าเป็นต้น

3. ขั้นตอนของแนวคิดแบบลีน

ในปี ค.ศ 1990 Jim Womack ได้นำเสนอแนวคิดของระบบนี้ในหนังสือ “Machine that Changed the World” และให้หลักการในการนำไปใช้ไว้ 5 ประการ ดังนี้

3.1 การกำหนดคุณค่า (Value Definition)

เป็นการกำหนดคุณค่าโดยใช้มุมมองของลูกค้า คือเมื่อสมมติว่าตัวเองเป็นลูกค้าที่จะมาซื้อสินค้านั้นแล้วมองดูว่ากระบวนการใดบ้างในการผลิตที่ถือว่าสร้างคุณค่าให้เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าเต็มใจที่จะจ่ายเงินให้กับกระบวนการนั้นและกระบวนการใดที่ไม่ถือว่าเป็นการสร้างขึ้นคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์นั้นและควรกำจัดออกไป ดังนั้นกระบวนการที่สร้างคุณค่าจึงเป็นสิ่งสำคัญโดยที่ลูกค้าจะเป็นคนสุดท้ายที่กำหนดคุณค่านั้น ด้วยเหตุนี้ความสูญเสียประการหนึ่งของ

ความสูญเปล่าคือกระบวนการที่ลูกค้าไม่ต้องการ บริษัทที่มีระบบการผลิตแบบลีนจะทำงานโดยทำความเข้าใจและบอกได้ว่าลูกค้าต้องการซื้ออะไรและในองค์กรจะมีการปรับปรุงพื้นฐานสินค้า การบริหารองค์กรและพนักงานจนไปถึงการผลิต หลักการนี้จะมุ่งเน้นการกำหนดคุณค่าบนรากฐานความต้องการลูกค้าในเรื่องฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์คุณภาพและการขนส่งอย่างมีความสัมพันธ์กันทำให้เกิดต้นทุนและราคาขาย

หลักการนี้จะมุ่งเน้นการกำหนดคุณค่าของผลิตภัณฑ์บนรากฐานความต้องการของลูกค้าในเรื่องฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ คุณภาพและการขนส่ง ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กันที่ทำให้เกิดต้นทุนและการกำหนดราคาขาย ดังนั้นการค้นหาและวิจัยความต้องการของลูกค้าเป็นสิ่งที่สำคัญควรจะต้องใช้เครื่องมือที่เรียกว่า "Quality Function Deployment (QFD)" ที่เป็นวิธีการให้ความสำคัญต่อความต้องการของลูกค้าและถ่ายทอดคุณสมบัติไปสู่การออกแบบ

คุณค่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดประโยชน์จากคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์หารด้วยต้นทุนของคุณสมบัตินั้นจะแสดงให้เห็นในเรื่องคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ส่วนการวัดและวิเคราะห์ผลโดยใช้เทคนิคของ Value Engineering ผู้บริหารต้องให้ความสำคัญในเรื่องเป้าหมายต้นทุนและกำหนดราคาของผลิตภัณฑ์สู่ท้องตลาด โดยจะต้องตระหนักในตัวผลิตภัณฑ์ กำไรและผลตอบแทนในการวางแผนธุรกิจ ข้อกำหนดหรือกลยุทธ์ที่นำไปสู่ความสำเร็จตรงกับเป้าหมายด้านต้นทุนที่ตั้งไว้ ซึ่งจะต้องปรับ แต่งกระบวนการผลิตและการสั่งซื้อได้ตรงตามต้องการ

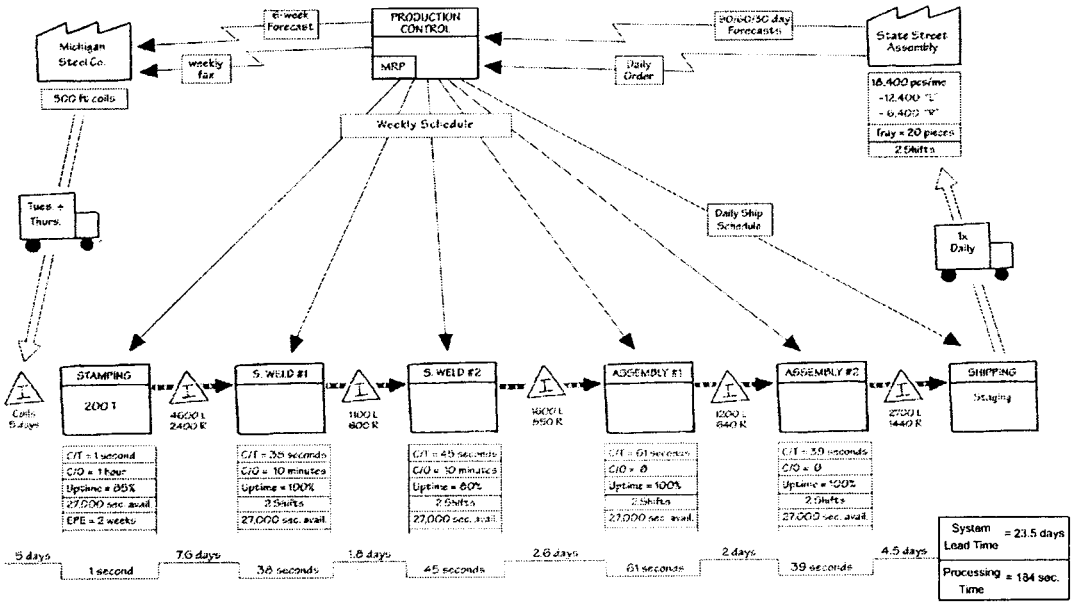
3.2 การวิเคราะห์การไหลของคุณค่า (Value Stream Analysis)

คุณค่าของกระบวนการผลิตจะเป็นพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์สายธารแห่งคุณค่า การวิเคราะห์จะเริ่มต้นด้วยการใช้แผนภูมิกระบวนการ (Process Mapping) ที่เรียกว่า Value Stream Analysis (VSM) หรือแผนภาพสายธารคุณค่ากำหนดแต่ละขั้นตอนตามกระบวนการผลิตภัณฑ์ ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะมีคำถามว่า "ขั้นตอนนั้นมีคุณค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ตามทรรศนะของลูกค้าหรือไม่" ความต้องการของลูกค้านี้จะเป็นขั้นตอนที่มีผลต่อการเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปจะเกี่ยวกับการเปลี่ยนวัตถุดิบให้เป็นผลิตภัณฑ์ Value Stream หมายถึง กิจกรรมหรืองานทั้งหมด (ทั้งที่ก่อให้เกิดคุณค่าเพิ่มและไม่มีคุณค่าเพิ่ม) ที่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ให้กับคุณค่า ดังนั้น VSM ก็คือการเขียนแผนภาพแสดงถึงการไหลของวัตถุดิบและข้อมูลสารสนเทศในการผลิตนั้นของกระบวนการต่าง ๆ ที่มีรายละเอียดต่าง ๆ VSM ดังภาพที่ 2-6 ช่วยในการจำแนกให้เห็นถึงขั้นตอนที่เป็นการเพิ่มคุณค่าและที่ไม่เพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์ เพื่อหาวิธีการกำจัดขั้นตอนที่ไม่เพิ่มคุณค่าหรือที่เรียกว่าความสูญเปล่า (Waste/Muda) หรือ Muda ออก แล้วอธิบายถึงการไหลของคุณค่า แยกเป็น 3 ประเด็น ได้แก่ การแก้ปัญหา การจัดการสารสนเทศ และการแปรสภาพ เมื่อเข้าใจอะไรคือการไหลที่ก่อให้เกิดคุณค่าแก่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแยกแยะกิจกรรมออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

- การสร้างคุณค่าเพิ่มในกระบวนการไหล เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสม ในเรื่องหน้าที่การทำงานของวัตถุดิบสู่กระบวนการที่ได้ผลิตภัณฑ์ออกมา

- การสร้างที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าแต่มีความจำเป็น ตั้งแต่ขั้นตอนในกระบวนการผลิตรวมถึงการตรวจสอบ การรอคอย และการขนส่ง

- การสร้างที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าและควรกำจัดออกทันที ถ้ากิจกรรมนั้นปรากฏชัดว่าไม่เกิดคุณค่าและประโยชน์แก่กระบวนการควรยกเลิกออกไป



Note: C/T = cycle time; C/O = change-over time; EPE = every part every ____
Source: Womack (2003)

ภาพที่ 2-6 ตัวอย่างสายธารแห่งคุณค่า

3.3 การไหล (Flow)

องค์กรต้องการให้การสนับสนุนและมุ่งเน้นเรื่องการไหลของผลิตภัณฑ์ให้เป็นแบบด่วน (Rapid Production Flow) โดยการกำจัดอุปสรรค กำแพงขวางกั้น (Walls) ต่าง ๆ และระยะทางที่อยู่ระหว่างแผนกที่เกี่ยวข้องกับการทำงานทั่วไป ซึ่งจะมีผลทำให้แผนผังการทำงานของพนักงานและเครื่องมือที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิตเปลี่ยนแปลงไปด้วย หลักในการไหลจะต้องคำนึงถึงคือ

3.3.1 การไหลแบบต่อเนื่องคือ ผลิตภัณฑ์ควรไหลผ่านกระบวนการเพิ่มคุณค่าอย่างต่อเนื่องปราศจากการรอคอย

3.3.2 ระดับการผลิต คือผลิตภัณฑ์ในลักษณะ Prodcution Mix ตามปริมาณความต้องการในแต่ละช่วงเวลา

การไหลแบบต่อเนื่องจะทำให้การผลิตมีช่วงเวลานำน้อย ทำให้สามารถวางแผนการผลิตแบบ Make to Order แทนการ Make to Stock และการควบคุมระดับการผลิตทำให้ปริมาณการผลิตกับปริมาณความต้องการของลูกค้าใกล้เคียงกันเป็นการป้องกันความสูญเปล่าจากการผลิตมากเกินไป นอกจากนี้การไหลแบบต่อเนื่องปราศจากการรอคอยซึ่งจะนำไปสู่ Zero in Process Inventory กำจัดความสูญเปล่าจากการคงคลังและระดับการผลิตที่เหมาะสม ทำให้สามารถสลับเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ได้ง่ายเกิดความยืดหยุ่นในกระบวนการ

3.4 การดึง (Pull) / ทันเวลาพอดี (JIT)

แนวคิดแบบลีน สินค้าคงคลังหรือการคงคลังจะถูกพิจารณาเป็นเรื่องของความสูญเปล่า ฉะนั้นการผลิตสินค้าใด ๆ ก็ตามที่ขายไม่ได้จะเป็นความสูญเปล่าเช่นเดียวกัน การที่มีการผลิตแต่ไม่ได้ขายก็เหมือนสินค้านั้นไม่มีค่า ดังนั้นสิ่งสำคัญก็คือทำตามความต้องการของลูกค้าที่แท้จริงโดยให้ความต้องการของลูกค้าเป็นตัวดึงให้เกิดการผลิต หลักการนี้เป็นการผลิตตามปริมาณที่เพียงพอในช่วงเวลาที่ต้องการ วัตถุประสงค์ของการผลิตแบบทันเวลาพอดีคือการสร้างความสมดุลและความสัมพันธ์ของปริมาณการผลิตกับความต้องการ เพื่อกำจัดความสูญเปล่าที่มากเกินไป แต่ในทางปฏิบัติแล้วความต้องการมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา จึงได้มีการนำ Takt Time มาใช้เป็นเครื่องมือในการจัดสมดุลของการไหล

3.5 ความสมบูรณ์แบบ (Perfective)

การทำให้ประสบความสำเร็จได้นั้นควรได้รับผลมาจากการทำงานที่มีประสิทธิภาพใน 4 หลักการที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ควรทำการเน้นให้เกิดโอกาสที่จะมีการปรับปรุงในเรื่องของการลดเวลา พื้นที่ ต้นทุนและการลดความผิดพลาดที่เกี่ยวข้องกับการสร้างผลผลิตและการบริหารโดยทั่วไปองค์กร ประกอบด้วย 3 ประการที่แนวคิดแบบลีนมุ่งเน้นได้แก่

3.5.1 บรรลุถึงการออกแบบผลิตภัณฑ์และกิจกรรมในกระบวนการผลิต ซึ่งมีคุณลักษณะและเป็นกระบวนการเพิ่มในสายตาลูกค้า

3.5.2 เป็นการวางโครงสร้างระบบการไหลอย่างต่อเนื่อง ระบบคงคลังเป็นศูนย์ การผลิตทันเวลาพอดี ของเสียเป็นศูนย์

3.5.3 ความสมบูรณ์แบบคือการเพิ่มคุณค่ามากที่สุดโดยการปรับปรุงต่อเนื่องหรือ Kaizen ซึ่งการประเมินผลต้องปรับปรุงได้ ดังนั้นการบริการและการดำเนินงานขั้นต่อไปควรที่จะคำนึงถึงการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องที่เป็นไปได้ การวัดประสิทธิภาพโดยการ Benchmarking และ Balance Scorecard การทำงานเป็นทีมและค้นหาสภาพความต้องการที่จะเปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อม

4. หลักการพื้นฐานของแนวคิดแบบลีน

แนวทางที่ชาวอเมริกันใช้ในการแก้ไขปัญหาทันทีและครั้งเดียวที่ดีที่สุด คือ การผลิตแบบลีน จะเป็นสิ่งที่แน่นอน ไม่มีความผิดพลาด ดังที่กล่าวว่า "สินค้าคงคลังเป็นศูนย์" "การติดตั้งอย่างรวดเร็ว" "ตรวจสอบงานด้วยสายตา" "การป้องกันความผิดพลาด" และการกำจัดความสูญเปล่า รวมเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการป้องกันปัญหาของการผลิต บริษัทผู้ผลิตส่วนใหญ่ได้นำเทคนิคแบบลีนทั้ง 18 เทคนิคไปใช้ เช่น การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Total Productive Maintenance: TPM) การสร้างความสมดุลในการผลิตและระบบดึง (Pull System) เป็นต้น มาใช้ในการปรับปรุงให้เกิดประโยชน์ ระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ (Cellular Manufacturing) ได้นำเทคนิคการผลิตแบบลีนนี้ไปใช้จนเกิดประสิทธิภาพดี

เทคนิคการผลิตแบบลีนแสดงให้เห็นเด่นชัดในงานอุตสาหกรรม ที่ประสบความสำเร็จในระดับพื้นที่ปฏิบัติงาน (Shop Floor) แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการผลิตแบบลีนเป็นหลักของการผลิต ที่มีแนวความคิดคลอบคลุมกระบวนการผลิตตั้งแต่ การออกแบบ วัตถุดิบจนกระทั่งเป็นสินค้าตามที่ลูกค้าต้องการ การผลิตแบบลีนจึงเป็นวิธีที่เกี่ยวกับการผลิต ส่วนวิสาหกิจแบบลีนพูดถึงแนวคิดในการวิเคราะห์คุณค่าเพิ่มจากความสูญเปล่าทั้ง 7 โดยวิธีการวิเคราะห์สายธารคุณค่า (7 Tools-Value Stream Map)

4.1 ความสูญเปล่าในกระบวนการลีน

ระบบการผลิตแบบลีน จะมุ่งเน้นไปที่การผลิตผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่ลูกค้าต้องการ โดยการทำความเข้าใจในกระบวนการผลิตและบ่งชี้ความสูญเปล่าภายในกระบวนการเหล่านั้น ในภาษาญี่ปุ่นเรียกว่า "มูดะ" (Muda) และกำจัดความสูญเปล่าเหล่านั้นทีละขั้นตอนอย่างต่อเนื่อง นิยามความสูญเปล่าก็คือ ทุกกิจกรรมที่ใช้ทรัพยากร (เพิ่มค่าใช้จ่ายเข้าไปในผลิตภัณฑ์) แต่ไม่ทำให้เกิดคุณค่าเพิ่มขึ้นสำหรับลูกค้า นั่นก็คือกิจกรรมใด ๆ ที่เกิดขึ้นแล้วลูกค้าไม่เต็มใจที่จะจ่ายเงินให้กับกิจกรรมนั้น ซึ่งความสูญเปล่ามีทั้งหมด 7 ประการ ดังนี้

4.1.1 การผลิตมากเกินไป (Overproduction) คือ การผลิตที่เร็วกว่า มากกว่า หรือเสร็จก่อน ที่กระบวนการต่อไปจะต้องการ เกิดจากการพยากรณ์ที่ไม่เหมาะสม ทำให้มีเวลานำที่ยาวนาน ต้องใช้พื้นที่ในการจัดเก็บมากขึ้นและสิ้นเปลืองทรัพยากรในการบริหารจัดการ

4.1.2 การรอคอย (Waiting) คือ การรอคอยต่าง ๆ ในขณะทำการผลิต เช่น การรอการตั้งเครื่อง รอคอยวัสดุ หรือ รอชิ้นงานเป็นต้น แสดงให้เห็นถึงการใช้เวลาอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ทำให้เกิดความล่าช้าในการผลิตและส่งมอบ เกิดต้นทุนสูญเปล่า

4.1.3 การขนย้าย (Transportation) คือ การเคลื่อนย้ายวัสดุต่าง ๆ ทั้งในส่วนของพื้นที่ในการเก็บรักษาคงคลังและระหว่างกระบวนการผลิต อาจเกิดจากการวางผังโรงงานที่ไม่ดี

การจัดชิ้นงานไม่ เป็นระเบียบ ทำให้สูญเสียแรงงานและเวลาในการขนส่งเพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดต้นทุนที่สูงขึ้นและอาจได้รับความเสียหายระหว่างการเคลื่อนย้ายหลายขั้นตอน

4.1.4 กระบวนการที่ไม่เหมาะสม (Inappropriate Processing) คือ การใช้เครื่องมือที่ไม่ถูกต้องมาตรฐานในการทำงานไม่เพียงพอ การจัดลำดับงานไม่เหมาะสม การนำเครื่องจักรใหญ่ ๆ ที่มีกำลังการผลิตสูงมาผลิตสินค้าจำนวนน้อยทำให้เสียค่าใช้จ่าย ต้นทุน เวลาและแรงงานเกินความจำเป็น

4.1.5 การเก็บวัสดุคงคลัง (Unnecessary Inventory) คือ การเก็บคงคลังไว้มากเกินไป ทำให้เกิดเวลานำที่ยาวนาน เสียพื้นที่ในการจัดเก็บ ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บและต้นทุนจมความเสื่อมสภาพและล้าสมัยของวัสดุ

4.1.6 การเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น (Unnecessary Motions) คือ การเคลื่อนที่เคลื่อนไหวของพนักงานผิดหลัก การเคลื่อนไหวมีท่าทางการทำงานที่ไม่เหมาะสม เช่น การโค้งตัว การเอื้อมหยิบเป็นต้น ทำให้เกิดความเมื่อยล้าและส่งผลต่อการทำงาน ทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ง่าย นอกจากนี้การจัดวางผังและการจัดลำดับงานที่ไม่เหมาะสม ทำให้เสียเวลาในการเคลื่อนที่มากขึ้น

4.1.7 ของเสีย (Defects) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพ ความเสียหายขณะผลิตหรือขนย้าย ทำให้เสียเวลาและแรงงานในการตรวจสอบแก้ไข เกิดต้นทุนสูญเปล่า

ในความสูญเปล่าทั้ง 7 ประเภทที่กล่าวมานั้น โตโยต้า ถือว่าความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากการผลิตมากเกินไป (Overproduction) เป็นความสูญเปล่าที่สำคัญที่สุด เพราะเป็นตัวก่อให้เกิดความสูญเปล่าอื่น ๆ ตามมา ซึ่งการผลิตมากเกินไปเกิดมาจากการผลิตที่เร็วกว่า มากกว่าหรือก่อนที่กระบวนการต่อไปจะต้องการเนื่องมาจากการพยากรณ์ที่ไม่เหมาะสม หรือการ ต้องการผลิตคราวละมาก ๆ เพื่อความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ แต่ผลที่ตามมาคือทำให้เกิดเวลานำในการผลิตที่ยาวนาน ความต้องการพื้นที่ในการจัดเก็บมากขึ้นและต้องใช้ทรัพยากรในการบริหารจัดการมาก และความสูญเปล่าอื่น ๆ ที่ตามมาก็คือ การเก็บเป็นสินค้าคงคลัง การเคลื่อนที่ของคนในการเคลื่อนย้ายสินค้าไปเก็บไว้รอการจำหน่ายได้ การรอคอยเนื่องมาจากแบทต์ในการผลิตมีขนาดใหญ่เกินความพอดีและการผลิตคราวละมาก ๆ ยังเป็นตัวซ่อนของเสียหรือข้อบกพร่องในสินค้าที่ต้องกำจัดออกไป นอกจากนี้การที่ต้องเก็บสินค้าที่ต้องผลิตเกินความจำเป็นไว้ยังทำให้เกิดความล้าสมัยในรูปแบบของแฟชั่นหรือในด้านเทคโนโลยีเก่าที่ตลาดไม่ต้องการหรือเกิดการเน่าเสียได้ (ในสินค้าบางประเภท) จนเกิดปัญหาต้นทุนจม

ความสูญเปล่ามีความหมายที่ตรงกันข้ามกับคำว่าคุณค่า (Value) และโดยทั่วไปแล้วในการปฏิบัติงาน การดำเนินงานใด ๆ ก็จะประกอบด้วยทั้งกิจกรรมและการไหลที่สามารถแบ่งได้ 3 ประเภท ดังรายละเอียดหัวข้อถัดไป

4.2 การเพิ่มคุณค่าในกระบวนการลีน

โดยทั่วไปในการผลิตนั้นจะมีลักษณะงานซึ่งประกอบด้วยทั้งกิจกรรมและการไหลที่สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

4.2.1 ขั้นตอนที่ถือว่าเป็นการสร้างคุณค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ (Value Added: VA) คือ กิจกรรมที่มีคุณค่าในการดำเนินงานที่เกี่ยวกับการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตตั้งแต่ขั้นวัตถุดิบ หรือชิ้นส่วนที่ใช้ในการการผลิตว่าจะใช้แรงงาน หรือเครื่องจักรในการผลิต นำไปสู่กระบวนการสุดท้ายที่ได้ผลิตภัณฑ์

4.2.2 ขั้นตอนการสร้างซึ่งไม่ก่อให้เกิดคุณค่าแต่เป็นสิ่งจำเป็น (Necessary but Non Value Added: NNVA) ถือเป็นความสูญเปล่า แต่จำเป็นต้องยอมให้เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ตัวอย่างเช่น การเดินในระยะไกลเพื่อหยิบชิ้นส่วนหรือวัตถุดิบ การเคลื่อนย้ายอุปกรณ์/เครื่องมือระหว่างการผลิต ความสูญเปล่าประเภทนี้อาจจะไม่สามารถกำจัดทิ้งได้ แต่สามารถทำให้ลดลงได้

4.2.3 ขั้นตอนการสร้างซึ่งไม่ก่อให้เกิดคุณค่า (Non Value Added : NVA) คือ ความสูญเปล่าและเป็นกิจกรรมที่ไม่จำเป็นซึ่งควรจะจำกัดออกไป เช่น เวลาในการรอคอย (Waiting Time) การกอง/สุ่มผลิตภัณฑ์ระหว่างการผลิต (WIP) การทำงานหรือกิจกรรมเดียวกันซ้ำ ๆ (Double Handing) เป็นต้น

ซึ่งโดยทั่วไปในระบบการผลิตนั้นจะมีลักษณะดังภาพที่ 2-7 คือในทั้งหมด 100% ในกระบวนการผลิตใด ๆ นั้น จะเป็นขั้นตอนที่ถือว่าเพิ่มคุณค่าจริง ๆ มีเพียง 5% เท่านั้น อีก 95% เป็นความสูญเปล่า ดังนั้นเราควรให้ความสำคัญในการกำจัดความสูญเปล่า เพื่อให้กระบวนการการผลิตดีขึ้น

ภาพที่ 2-7 สัดส่วนเวลาระหว่างเพิ่มคุณค่า 5% กับความสูญเปล่า 95%

4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตแบบลีน

วิธีที่จะช่วยให้การผลิตแบบลีนบรรลุตามเป้าหมายที่ต้องการนั้นมีอยู่หลายวิธี ซึ่งวิธีเหล่านี้เรียกได้ว่าเป็นเครื่องมือของการผลิตแบบลีน (Lean Tool) ซึ่ง George (2002) ได้พัฒนา Toolkit ของการผลิตแบบลีน ที่รวบรวมเครื่องมือไว้มากถึง 27 ตัว และได้จัดแบ่งประเภทของเครื่องมือออกเป็นทั้งหมด 4 ประเภทตามประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้เครื่องมือนั้น ๆ แสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 เครื่องมือของระบบการผลิตแบบลีน

ลำดับ	ประเภท	ประเภทย่อย	เครื่องมือ	ชื่ออื่น
1	การไหล	ของวัตถุ	การผลิตแบบดึง	คัมบังวัตถุดิบ การดึง การเติม
2		แบบต่อเนื่อง	การผลิตแบบชิ้นต่อชิ้น	การไหลแบบต่อเนื่อง
3			อัตราการผลิตสอดคล้องกับอัตราการขายสินค้า	การไหลตามความต้องสินค้าของลูกค้า
4		แบบมาตรฐาน	5 ส	การไหลแบบมาตรฐาน
5			การปฏิบัติงาน	มาตรฐานการปฏิบัติงาน
6			ซีท	วิธีการปฏิบัติงานทางกราฟ มาตรฐานวิธีการปฏิบัติงาน
7			การควบคุมด้วยสายตา	การสื่อสารในโรงงานด้วยสายตา การสื่อสารด้วยป้ายสัญญาณ การควบคุมการผลิตด้วยสายตา การควบคุมวัตถุดิบด้วยสายตา การควบคุมการปฏิบัติงานด้วยสายตา
8		แบบการซ่อมบำรุง	การบำรุงรักษาแบบทวีผล	การบำรุงรักษาด้วยตัวเอง
9			การบำรุงรักษาแบบเชื่อมั่น	-
10			การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน	-
11			การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์	-
12	ความยืดหยุ่น	-	การลดเวลาการเปลี่ยนรุ่นการผลิต	ซิงเกิล มีนิท เอ็คเชน อ็อฟ ไดร์
13			การผลิตแบบผสมรุ่น	ผสมรุ่น
14			การปรับเรียบการผลิต	การปรับเรียบระดับการผลิต การปรับเรียบ

ตารางที่ 2-1 เครื่องมือของระบบการผลิตแบบลีน (ต่อ)

ลำดับ	ประเภท	ประเภทย่อย	เครื่องมือ	ชื่ออื่น
15	ความยืดหยุ่น	-	การฝึกอบรมพนักงานข้ามสายงาน	ความยืดหยุ่นของแรงงาน การสลับแรงงาน แรงงานหลายทักษะ
16	ประสิทธิภาพ	เวลา	สายการผลิตแบบเซลล์	ผังแบบเซลล์ เซลล์การผลิต เซลล์ไหลแบบต่อเนื่อง เซลล์แบบตัวยู
17			เป็นการจัดเตรียมพื้นที่ใช้งาน	การบริหารวัตถุคงคลัง ซุปเปอร์มาเก็ต
18		คุณภาพ	การควบคุมตัวเองโดยอัตโนมัติ	จิโดกะ การตรวจสอบแหล่งต้นตอ
19			การป้องกันความผิดพลาด	โพกะโดเกะ การป้องกันการผิดพลาด
20			การตรวจสอบด้วยตัวเอง	
21			การตรวจสอบชิ้นโดยผู้ไม่ได้อยู่ในการผลิต	
22			การหลุดไลน์	จิโดกะ
23	การปรับปรุง	-	ไคเซน	ไคเซน บลิท การปรับปรุงทีละเล็กทีละน้อย
24			การออกแบบการทดลอง	-
25			การวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหา	5 ไวส์
26			การควบคุมกระบวนการทางสถิติ	-
27			การแก้ไขปัญหาด้วยทีมงาน	วงจรคุณภาพ ทีมงานแก้ปัญหา

เครื่องมือของระบบการผลิตแบบลีน อธิบายตามลำดับดังนี้

4.3.1 เครื่องมือการผลิตแบบดึง (Pull Production Scheduling)

การผลิตแบบดึง เป็นเครื่องมือที่ใช้ปรับปรุงอัตราการไหลของวัตถุดิบ โดยการผลิตเมื่อมีคำสั่งให้ผลิตเท่านั้น โดยเริ่มตั้งแต่คำสั่งซื้อของลูกค้าไปสู่คำสั่งการผลิตในโรงงาน การผลิตในโรงงานจะสั่งวัสดุและชิ้นส่วนที่ต้องการส่งต่อกันไป โดยทุกขั้นตอนจะมีวัสดุคงคลังสำรองอยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในการผลิตแบบดึงนี้จะมีการใช้ คัมบัง (Kanban) เป็นสัญลักษณ์ในการสั่งผลิตหรือสั่งให้ส่งชิ้นส่วนไปให้ ภาชนะที่ใช้บรรจุชิ้นส่วน เป็นคอนเทนเนอร์มาตรฐาน เพื่อสะดวกในการตรวจนับและการขนส่งระหว่างศูนย์การผลิตต่างๆ ในการผลิตแบบดึงนี้ จะถือว่าศูนย์ผลิตหรือเครื่องจักรเป็นเหมือนกับโรงงานย่อยที่จะผลิตก็ต่อเมื่อมีคัมบังส่งมาให้เท่านั้น จึงไม่มีการผลิตไว้เผื่อเป็นจำนวนมาก ซึ่งทำให้วัสดุคงคลังของการผลิตแบบลีนน้อยมาก

คัมบัง คือ บัตรหรือสัญลักษณ์ที่นำมาใช้ในระบบการผลิตแบบลีน ซึ่งบอกข้อมูลสำหรับการควบคุมการผลิตและเบิกวัสดุ โดยทั่วไปแล้วจะเป็นบัตรขนาดเล็ก คัมบังเปรียบเสมือนกับเงินที่จะนำไปซื้อวัสดุจากกระบวนการผลิตอื่น ๆ กล่าวคือ ถ้าไม่มีคัมบังก็จะไม่จ่ายวัสดุให้

กฎ 6 ข้อ ในการใช้งานคัมบังให้มีประสิทธิผล มีดังนี้

1. กระบวนการซึ่งเป็นลูกค้า (Customer Processes) ภายในสั่งชิ้นงานด้วยจำนวนที่แน่นอนด้วยบัตรคัมบัง

2. กระบวนการซึ่งผู้จัดส่งภายใน (Supplier Processes) ผลิตชิ้นงานด้วยปริมาณที่แน่นอนและเป็นไปตามลำดับตามที่ได้รับบัตรคัมบัง

3. ห้ามผลิตหรือเคลื่อนย้ายชิ้นงาน โดยปราศจากคัมบัง

4. ชิ้นงานทั้งหมดและวัตถุดิบต้องมีบัตรคัมบังแนบอยู่ด้วยเสมอ

5. ชิ้นงานที่เป็นของเสียและจำนวนไม่ถูกต้อง จะต้องไม่ถูกส่งไปกระบวนการถัดไป

6. จำนวนบัตรคัมบังจะได้รับการพิจารณาลดจำนวนลง เพื่อลดระดับของสินค้าคงคลังและทำให้เห็นปัญหาที่ซ่อนอยู่ (Reveal Problems)

สภาพแวดล้อมที่จำเป็นสำหรับระบบการผลิตที่ใช้คัมบัง เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากที่สุดควรเป็นดังนี้

1. ความต้องการสินค้าสม่ำเสมอตลอดช่วงเวลาที่วางแผน

2. ระยะเวลาในการติดตั้ง (Setup Times) สั้น

3. กำลังการผลิตเพียงพอและมีความยืดหยุ่น

4. พนักงานมีระเบียบวินัย

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

4.3.2 เครื่องมือการผลิตแบบชิ้นต่อชิ้น (One-Piece Flow, Continuous flow) การผลิตแบบชิ้นต่อชิ้น เป็นเครื่องมือที่ใช้ปรับปรุงอัตราการไหลแบบต่อเนื่อง โดยการผลิตทีละชิ้น ตรวจสอบทีละชิ้นและส่งมอบให้ทีละชิ้น โดยมีหลักการดังนี้

- กำหนดไซเคิลไทม์ (Cycle Time) ให้ตรงกับความต้องการสินค้าของตลาด คือ กำหนดจำนวนการผลิตให้ตรงกับความต้องการสินค้าของลูกค้า

ไซเคิลไทม์ คือ ความถี่ที่ผลิตภัณฑ์ถูกทำเสร็จสมบูรณ์จากกระบวนการหรือเวลาที่ผู้ปฏิบัติงานใช้ในการทำงานทั้งหมดก่อนที่จะเริ่มผลิตชิ้นต่อไป

- ความสามารถของเครื่องจักรต้องเหมาะสมกับการผลิตไซเคิลไทม์ คือ ต้องมีลักษณะดังนี้

ก) ด้านความปลอดภัย – ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ความปลอดภัย

ข) ด้านคุณภาพ- สามารถทำการตรวจสอบชิ้นส่วนทุกชิ้นได้ มีเครื่องป้องกันความผิดพลาด กล่าวคือต้องหยุดเมื่อมีของเสียเกิดขึ้น ไม่มีการหยุดเป็นระยะๆ และมีความเที่ยงตรงตามที่ต้องการ

ค) ด้านต้นทุน- ขนาดของเครื่องต้องกะทัดรัดเหมาะกับการทำเป็นสายการผลิตรูปตัวยู

ง) ด้านระยะเวลาการส่งมอบ- เป็นเครื่องจักรที่ออกแบบโดยคำนึงถึงการเตรียมเครื่องที่เป็นศูนย์ (Zero Set Up) ใช้งานง่าย เสียยากและเสียก็สามารถรู้ได้ทันที

- กรรมวิธีประกอบเป็นหลัก คือ จะให้แผนการผลิตประมาณ 1 อาทิตย์ ซึ่งเป็นข้อมูลการตลาดล่าสุดให้แก่กรรมวิธีประกอบเท่านั้น

- ต้องมีการวางผังโรงงานให้เหมาะกับการผลิตแบบชิ้นต่อชิ้น โดยมีเงื่อนไขในการออกแบบสายการผลิต คือ ต้องสร้างให้เกิดการไหลโดยรวม มีการเว้นช่องทาง ทางเข้า (Input) กับทางออก (Output) ของสินค้าต้องแยกกัน สายการผลิตรูปตัวยูโดยคนเดียว นำเอาการตรวจสอบทุกชิ้นมาใช้และยกเลิกการมีโกดัง

- ต้องรู้จักการกำหนด "ของ" ที่เหมาะสมกับการผลิตแบบชิ้นต่อชิ้น เช่น ของที่เล็กเกินไป ไม่เหมาะกับการผลิตลักษณะนี้ เพราะจะเกิดความสูญเปล่าจากการหยิบ/วางและความสูญเปล่าในการกำหนดตำแหน่ง

4.3.3 เครื่องมือทำให้อัตราการผลิตสอดคล้องกับอัตราการขายสินค้า (Production To Takt Time)

การทำให้อัตราการผลิตสอดคล้องกับอัตราการขายสินค้า เป็นเครื่องมือที่ใช้ปรับปรุงอัตราการไหลแบบต่อเนื่อง

Takt Time เป็นภาษาเยอรมัน ที่ใช้เรียกจังหวะของดนตรี เช่นเดียวกับ Metronome (เครื่องมือที่ช่วยให้จังหวะในการเล่นดนตรี) ที่คอยรักษาจังหวะของดนตรี Takt Time ก็จะคอยรักษาจังหวะตามความต้องการสินค้าของลูกค้า

เทคท์ ไทม์ คืออัตราการผลิตสินค้าของบริษัทที่เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า Production to Takt Time จึงหมายถึง การทำให้อัตราการผลิตสอดคล้องกันกับอัตราการขายสินค้า

การคำนวณ Takt Time สำหรับการผลิตสินค้าแต่ละตัว ทำได้ดังนี้

$$\text{เทคท์ ไทม์} = \frac{\text{เวลาการผลิตที่มีต่อวัน (Available Production Time)}}{\text{จำนวนสินค้าที่ต้องการต่อวัน (Total Daily Quantity)}} \qquad (2\text{-}1)$$

4.3.4 เครื่องมือ 5 ส (Housekeeping)

5 ส เป็นเครื่องมือที่ใช้ปรับปรุงอัตราการไหลแบบมาตรฐาน แต่ละตัวมีความหมายดังนี้

- สะสาง คือ ให้แยกสิ่งของที่ต้องการและสิ่งของที่ไม่ต้องการออกจากกัน และกำจัดเอาสิ่งของที่ไม่ต้องการออกไปจากสถานที่นั้น
- สะดวก คือ จัดสิ่งของที่จำเป็นให้อยู่ในสภาพที่จะนำมาใช้ได้โดยสะดวกในขณะที่จำเป็น ต้องใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่มีความสูญเปล่าเกิดขึ้น
- สะอาด คือ ทำให้สถานที่ประกอบการอยู่ในสภาพที่สะอาด ปราศจากสิ่งสกปรกและขยะ
- สุขลักษณะ คือ ให้รักษาสภาพการณ์ของ สะสาง สะดวก สะอาด ให้ดำรงอยู่ตลอดเวลา
- สร้างนิสัย คือ ปลูกสร้างนิสัยในการที่จะประพฤติอย่างถูกต้องตามกฎและระเบียบวินัยในสถานที่ประกอบการ

การทำ 5 ส มีกระทบในเชิงบวกต่อประสิทธิภาพการทำงาน เมตริกซ์ที่สะท้อนออกมาคือ เวลานำ (Lead Time) รวมลดลง กำจัดอุบัติเหตุ ลดเวลาการปรับเปลี่ยนเครื่องจักร (Changeover Times) ปรับปรุงความใส่ใจ (Attendance) ของพนักงาน กิจกรรมเพิ่มคุณค่าและพนักงานมีแนวคิดในการปรับปรุงมากขึ้น

4.3.5 เครื่องมือมาตรฐานการปฏิบัติงาน (Standard Work)

มาตรฐานการปฏิบัติงานเป็นเครื่องมือที่ใช้ปรับปรุงอัตราการไหลแบบมาตรฐาน วิธีการปฏิบัติงานที่จัดทำเป็นเอกสารเพื่อไว้เป็นมาตรฐาน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ก็ต้องปรับปรุงเอกสารและอบรมพนักงานให้ทำตามมาตรฐานที่ได้แก้ไขนั้น การมีมาตรฐานทำให้สามารถควบคุมการทำงานและผลงานได้ง่าย รวมถึงสามารถใช้สื่อกับพนักงานถึงการปฏิบัติงานได้ง่ายขึ้นด้วย ตัวอย่างเช่น คู่มือการทำงาน (Work Instruction) ต่าง ๆ นั่นเอง

4.3.6 เครื่องมือแบบชีท (Method Sheets)

ชีท เป็นเครื่องมือที่ใช้ปรับปรุงอัตราการไหลแบบมาตรฐาน แสดงให้เห็นภาพของวิธีการปฏิบัติงานของกลุ่มงานที่แต่ละสถานีทำงาน (Work Station)

4.3.7 เครื่องมือการควบคุมด้วยสายตา (Visual Controls)

การควบคุมด้วยสายตาเป็นเครื่องมือที่ใช้ปรับปรุงอัตราการไหลแบบมาตรฐาน การที่โรงงานมี ป้าย สี สัญลักษณ์ หรือสิ่งอื่น ๆ ที่สามารถทำให้ผู้ที่ไม่คุ้นเคยกับการกระบวนการผลิตหรือสถานที่นั้น สามารถเข้าใจในสิ่งที่เกิดขึ้นและข้อควรปฏิบัติภายในระยะเวลาอันสั้น เป็นการสื่อสารผ่านทางสายตานั่นเอง ทำให้เห็นถึงความผิดปกติได้โดยง่าย ซึ่งจะทำให้เกิดการแก้ไขต่อไป โดยทั่วไปในโรงงานก็คือการใช้ป้ายต่าง ๆ นั่นเอง

ลักษณะของการควบคุมด้วยสายตามีดังนี้

- มีไว้เพื่อสื่อสาร สามารถใช้ได้กับทุกเรื่องที่ต้องการสื่อ ไม่ว่าจะเป็นนโยบาย เป้าหมาย ข้อควรระวัง จุดเน้นย้ำ ความปลอดภัย สถานะของงานหรือเครื่องจักร หรือสิ่งใดก็ตามที่ต้องการสื่อ
- ง่ายแก่การมองเห็น
- เห็นแล้วเข้าใจได้ง่าย แม้ว่าเป็นผู้ที่ไม่คุ้นเคย
- เห็นแล้วทราบว่าต้องทำอย่างไร
- เห็นแล้วรู้ว่าเกิดความผิดปกติขึ้นหรือไม่
- เมื่อพบว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นต้องแก้ไข

4.3.8 เครื่องมือบำรุงรักษาทวีผลแบบทุกคนมีส่วนร่วม (Total Productive Maintenance: TPM)

การบำรุงรักษาทวีผลแบบทุกคนมีส่วนร่วมเป็นการไหลแบบการซ่อมบำรุง (Flow: Maintenance) ระบบการบำรุงรักษาที่จะทำให้เครื่องจักรอุปกรณ์เกิดประสิทธิภาพสูงสุด (Overall Efficiency) โดยที่พนักงานทุกคนที่เป็นผู้ใช้เครื่องจักรอุปกรณ์นั้น ๆ มีส่วนร่วมในการดูแลและบำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์ ที่ควบคุมให้อยู่ในสภาพดีอยู่เสมอด้วยตนเอง (Self-Maintenance)

เช่น ตรวจสอบสภาพเครื่องจักรอุปกรณ์ประจำวัน การหล่อลื่นเครื่องจักรอุปกรณ์ เปลี่ยนอะไหล่ที่หมดอายุการใช้งาน การซ่อมแซมง่าย ๆ หมั่นสังเกตค้นหาสิ่งผิดปกติ ตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องจักรและทำความสะอาดเบื้องต้น เป็นต้น

การทำ TPM เป็นกิจกรรมที่ต้องได้รับการสนับสนุนจากผู้บริหารระดับสูง เพราะเป็นกิจ กรรมที่ทุกคนในองค์กรต้องมีส่วนร่วม ต้องเข้าใจและทำอย่างจริงจัง ไม่เว้นแม้แต่ผู้บริหารระดับสูง เพราะการทำทีพีเอ็มต้องปรับเปลี่ยนทัศนคติในการทำงานเสียใหม่ในทุก ๆ คน ถ้าผู้บริหารไม่ให้การสนับสนุน การทำทีพีเอ็มจะมีอุปสรรคอย่างมากจนไม่สามารถดำเนินการได้ ผู้บริหารต้องกำหนด เป้าหมายของการทำทีพีเอ็มให้ชัดเจน การตั้งเป้าหมายของการทำทีพีเอ็มในเบื้องต้นมัก เน้นไปที่ เป้าหมายหลัก คือการลดการสูญเสีย ดังนี้

- ลดการเสียของเครื่องจักรให้เป็นศูนย์ (Zero Breakdown)
- ลดของเสียให้เป็นศูนย์ (Zero Defect)
- ลดอุบัติเหตุให้เป็นศูนย์ (Zero Accident)

องค์ประกอบของทีพีเอ็ม มี 8 ประการดังนี้

1) การปรับปรุงเฉพาะเรื่อง (Individual Improvement)

การปรับปรุงเฉพาะเรื่องเป็นการปรับปรุงเฉพาะเรื่องเพื่อการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต เป็นความรับผิดชอบโดยตรงของฝ่ายการผลิตโดยมีฝ่ายอื่นคอยให้การสนับสนุนควบคู่ไปกับกิจกรรมบำรุงรักษาด้วยตนเองของพนักงานผู้ใช้เครื่อง ทั้งนี้เป็นการปรับปรุงเฉพาะเครื่องจักรต้นแบบก่อน จากนั้นจึงขยายการปรับปรุงเครื่องจักรไปยังเครื่องจักรอื่น ๆ ทั่วทั้งโรงงาน

2) การบำรุงรักษาด้วยตนเอง (Autonomous Maintenance: AM)

การบำรุงรักษาด้วยตนเองเป็นลักษณะเฉพาะอย่างหนึ่งของทีพีอ็มก็คือ การบำรุงรักษาที่ มุ่งเน้นให้ผู้ใช้เครื่องจักรมีส่วนร่วมในกิจกรรมการบำรุงรักษา โดยเฉพาะการดูแลรักษาเครื่องจักรที่ตนเองใช้ ไม่ปล่อยให้เป็นหน้าที่ของฝ่ายซ่อมบำรุงเท่านั้น

การบำรุงรักษาด้วยตนเองเป็นการทำกิจกรรมบำรุงรักษาในลักษณะของกิจกรรมกลุ่มย่อย โดยแต่ละกลุ่มมีหน้าที่ดูแลรักษาเครื่องจักรของตนเอง ภายใต้ความคิดที่ว่า “ไม่มีใครเข้าใจเครื่องจักรได้ดีเท่ากับผู้ใช้เครื่อง” “ไม่มีใครคอยสังเกตสิ่งผิดปกติได้ดีเท่ากับผู้ใช้เครื่อง” “ไม่มีใครคอยดูแลรักษาเครื่องจักรได้ดีเท่ากับผู้ใช้เครื่อง” และที่สำคัญหากเครื่องจักรเกิดความเสียหายขึ้น “ไม่มีใครได้รับผลกระทบมากเท่ากับผู้ใช้เครื่อง”

3) การบำรุงรักษาตามแผน (Planned Maintenance)

การบำรุงรักษาตามแผนเป็นการบำรุงรักษาตามแผน คือ การที่ฝ่ายซ่อมบำรุงดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อให้เครื่องจักรใช้งานได้ดีตลอดเวลา นั่นก็คือกิจกรรมเพื่อให้เครื่องจักรมีอัตราการใช้งานสูง (Availability) และเพื่อเพิ่มพูนทักษะความสามารถในการซ่อมบำรุง (Maintainability) โดยแบ่งย่อยออกเป็นการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ การบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุงการป้องกันการบำรุงรักษาและการบำรุงเมื่อขัดข้อง

การบำรุงรักษาตามแผนจะทำกับเครื่องจักรต้นแบบและชิ้นส่วนต้นแบบเป็นอันดับแรก ก่อนจากนั้นจึงขยายผลจนครบทุกเครื่องจักรในโรงงาน นอกจากนั้นยังต้องมีกิจกรรมอื่นสนับสนุนด้วย เช่น กิจกรรมการช่วยเหลือผู้ใช้เครื่องในการบำรุงรักษาด้วยตนเอง กิจกรรมสำหรับการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุง กิจกรรมเพื่อการป้องกันการบำรุงรักษาและกิจกรรมเพื่อการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

4) การพัฒนาทักษะการปฏิบัติงานและการบำรุงรักษา (Skill Development For Work And Maintenance)

เนื่องจาก TPM เป็นกิจกรรมในเชิงโครงสร้างที่ต้องการความร่วมมือจากทั้งองค์กร เพื่อ ช่วยกันเปลี่ยนแปลงบรรยากาศในการทำงานด้วยเครื่องจักรให้มีบรรยากาศที่ดีและมีการจัดการที่ทันสมัย ดังนั้นเพื่อให้ทุกฝ่ายสามารถปฏิบัติงานได้โดยสนองวัตถุประสงค์ดังกล่าว ทักษะและความชำนาญของพนักงานทุกคนในการปฏิบัติงานและการบำรุงรักษาจึงเป็นสิ่งจำเป็น อย่างไรก็ตามการรณรงค์ส่งเสริมให้เกิดจิตสำนึกเรื่องทีพีเอ็มอย่างประสบความสำเร็จ โดยทำให้ผู้ใช้เครื่องจักรคิดได้ว่า "เครื่องจักรของเรา เราต้องรักษา" นั้น มักประสบปัญหาที่ว่า ผู้ใช้เครื่องไม่มีความรู้ทางด้านเทคนิค ไม่มีความรู้เกี่ยวกับพื้นฐานการออกแบบเครื่องจักรและไม่มีความรู้ทางด้านบริหารจัดการ

หากต้องการพัฒนาทีพีเอ็มให้ได้ผลอย่างต่อเนื่องนั้น การพัฒนาทักษะการปฏิบัติงานและการบำรุงรักษาเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญและหลีกเลี่ยงไม่ได้ แต่บ่อยครั้งการพัฒนาดังกล่าวก็ไม่ประสบความสำเร็จ หากองค์กรไม่สามารถหาแนวทางการพัฒนาที่เหมาะสมกับลักษณะเฉพาะในหน่วยงานของตนเองทั้งในด้านความสามารถ ความสัมพันธ์ของบุคลากรและลักษณะของการปฏิบัติงาน

5) การบำรุงรักษาตั้งแต่ขั้นต้นของการออกแบบ (Initial-Phase Management)

การบำรุงรักษาตั้งแต่ขั้นต้นของการออกแบบ เมื่อมีการออกผลิตภัณฑ์ใหม่ ภารกิจสำคัญคือ ประสิทธิภาพในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และประสิทธิภาพการลงทุนในตัวเครื่องจักร พร้อมกับการพัฒนากระบวนการผลิตให้ผลิตออกมาได้คราวละมาก ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้

ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการพัฒนาต้องเป็นที่ต้องการของลูกค้า หรืออาจเรียกได้ว่า บริษัทต้องการพัฒนาศักยภาพในการแข่งขันด้วยกรรมวิธีการผลิตที่ง่ายภายใต้กระบวนการผลิตที่ปราศจากความสูญเสีย นั่นก็คือ การมีเครื่องจักรที่ใช้ง่าย ซ่อมแซมได้ง่าย เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่มีของเสียหลุดออกมานั่นเอง

การคำนึงถึงการบำรุงรักษาตั้งแต่ขั้นต้นของการออกแบบ ก็คือ การคำนึงถึงรายละเอียดต่าง ๆ ในการออกผลิตภัณฑ์ใหม่ เช่น การออกแบบผลิตภัณฑ์ การออกแบบเครื่องจักร และการบริหารการผลิตที่อยู่บนหลักการของการออกแบบเพื่อป้องกันการบำรุงรักษา (MP Design) และการพิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดวงจรชีวิต (Life-Cycle Cost: LCC)

เพื่อเป็นการส่งเสริมประสิทธิภาพการผลิต ตัวของผลิตภัณฑ์ต้องสามารถทำการผลิตได้ง่ายเป็นอันดับแรก เพราะจะทำให้ปัญหาอื่น ๆ ที่ตามมามีน้อยลง หรือในบางประเด็นอาจจะไม่มีปัญหาเลย

การออกแบบเครื่องจักรเพื่อป้องกันการบำรุงรักษาต้องทำให้เครื่องจักรมีความน่าเชื่อถือ (Reliability) ส่งเสริมการบำรุงรักษา (Maintainability) ส่งเสริมการบำรุงรักษาด้วยตนเองส่งเสริมการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ (Operability) ประหยัดทรัพยากร ส่งเสริมความปลอดภัยและมีความอเนกประสงค์ (Flexibility)

6) การบำรุงรักษาเพื่อคุณภาพ (Quality Maintenance)

การบำรุงรักษาเพื่อคุณภาพเป็นการผลิตชิ้นงานให้ได้คุณภาพและความประณีต (Precision) ตามพิกัดความเผื่อที่ได้ตกลงกับลูกค้าไว้นั้น ความแม่นยำของเครื่องจักรมีส่วนสำคัญเป็นอย่างมาก ดังนั้น จึงต้องมีการควบคุมความแม่นยำของเครื่องจักรและอุปกรณ์ด้วยการบำรุงรักษาเพื่อคุณภาพ

การดำเนินกิจกรรมการบำรุงรักษาเพื่อคุณภาพ คือ การเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมการประกันคุณภาพและกิจกรรมการควบคุมเครื่องจักรเข้าด้วยกัน โดยการติดตามคุณลักษณะทางด้านคุณภาพของชิ้นงานและการใช้งานของเครื่องจักรให้ได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

การจัดทำตารางมาตรฐานการบำรุงรักษาเพื่อคุณภาพจะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของคุณลักษณะทางด้านคุณภาพกับค่ามาตรฐานของการตั้งเครื่องจักร เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความประณีตตามพิกัดความเผื่อที่กำหนด

7) กิจกรรมทีพีเอ็มในสำนักงาน (TPM in Office)

หน่วยงานที่ไม่ได้ทำการผลิตโดยตรง เช่น ฝ่ายบริหาร ฝ่ายวิจัยและพัฒนา ฝ่ายจัดซื้อ ควรจะให้การสนับสนุนงานในส่วนของการผลิตให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยการนำแนวคิดกิจกรรม TPM มาประยุกต์ใช้ในงานเพื่อลดความสูญเสียในงานสำนักงาน

กิจกรรมทีพีเอ็มในสำนักงาน ต้องดำเนินอยู่บนพื้นฐานของ 5 องค์ประกอบหลัก ได้แก่การปรับปรุงเฉพาะเรื่อง การบำรุงรักษาด้วยตนเอง การศึกษาและฝึกอบรม การจัดทำระบบการมอบหมายงาน และการจัดทำระบบประเมินผลงาน

กิจกรรมทีพีเอ็มในสำนักงาน ต้องมีการกำหนดหน่วยวัด ดัชนีวัดความสำเร็จและค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ เพื่อใช้ในการติดตามความคืบหน้าของการปรับปรุงงานในสำนักงาน

8) ระบบชีวอนามัย ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมภายในโรงงาน (Safety, Hygiene and Working Environment)

ระบบชีวอนามัย ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมภายในโรงงานเป็นการทำให้การทำงานมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้นโดยการปรับปรุงอุปกรณ์และเงื่อนไขในการทำงาน ทุกคนควรจะทำงานโดยระลึกอยู่เสมอว่า อุบัติเหตุและมลพิษเป็นศูนย์ เพราะว่าในการทำงานมีโอกาสจะเกิดอุบัติเหตุขึ้นได้ตลอดเวลา ส่วนการใช้เครื่องจักรได้ไม่เต็มประสิทธิภาพนั้น ก็มีส่วนในการทำลายสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ขั้นตอนการบริหารความปลอดภัยในกิจกรรมทีพีเอ็มนั้น ประกอบด้วย ความปลอดภัยในการบำรุงรักษาด้วยตนเอง ความปลอดภัยในการบำรุงรักษาตามแผน และความปลอดภัยในการป้องกันการบำรุงรักษา

การดำเนินการทีพีเอ็มบางครั้งต้องมีกิจกรรมอื่นควบคู่กันไปด้วย เพื่อเป็นส่วนเสริมหรือส่วนเพิ่มศักยภาพ เช่น การดำเนินกิจกรรม 5 ส หรือ 5s Activity การนำระบบการควบคุมด้วยการมองเห็นหรือ Visual Control เข้ามาใช้ การติดตั้งระบบป้องกันความผิดพลาดหรือ Mistake-Proofing แม้กระทั่งการนำเทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหการ หรือ IE Technique มาใช้ก็สามารถทำได้ ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตหรือการบริหารการผลิต ซึ่งเป็นแนวทางไปสู่ระบบการผลิตแบบปราศจากความสูญเสีย หรือ Waste-Free Production ได้อีกทางหนึ่งด้วย

4.3.9 เครื่องมือการบำรุงรักษาแบบเชื่อมั่น (Reliability-Centered Maintenance)

การบำรุงรักษาแบบเชื่อมั่นเป็นการไหลแบบการซ่อมบำรุงและเป็นกลยุทธ์ในการซ่อมบำรุงซึ่งต้องมีการทำ Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) หรือกระบวนการวิเคราะห์ข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นอย่างละเอียดสำหรับเครื่องจักรสำคัญ ๆ

4.3.10 เครื่องมือการบำรุงรักษาเครื่องจักรเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance)

การบำรุงรักษาเครื่องจักรเชิงป้องกันเป็นกลยุทธ์ในการซ่อมบำรุงซึ่ง ต้องมีการบำรุงรักษาและการตรวจสอบเครื่องจักรหรือชิ้นส่วนต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอ ตามคาบเวลาที่กำหนด

4.3.11 เครื่องมือการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance)

การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์เป็นกลยุทธ์ในการซ่อมบำรุงซึ่งต้องมีการตรวจสอบดูว่ามีอะไรบ้างที่กำลังจะเกิดข้อขัดข้อง แล้วคาดการณ์ว่าควรจะดำเนินการแก้ไขเมื่อใด ก่อนที่เครื่องจักรและอุปกรณ์นั้นจะเกิดการชำรุดเสียหาย

4.3.12 เครื่องมือการลดเวลาการเปลี่ยนรุ่นการผลิต (Single Minute Exchange Dies)

การลดเวลาการเปลี่ยนรุ่นการผลิตเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้เกิดความยืดหยุ่น (Flexibility) ในการผลิตหรือการเติมเต็มคำสั่งซื้อ การลดเวลาการตั้งเครื่องหรือเตรียมการผลิตเมื่อต้องการเปลี่ยนการผลิตจากแบบหนึ่งไปเป็นอีกแบบหนึ่ง

เวลาตั้งเครื่อง คือ ระยะเวลานับตั้งแต่สินค้าชิ้นสุดท้ายของชนิดแรกออกจากเครื่องไปจนถึงสินค้าชิ้นแรกของชนิดที่ 2 เริ่มผลิต

เวลาตั้งเครื่องหรือเปลี่ยนการผลิต คือ ผลรวมของเวลาตั้งเครื่องภายในรวมกับเวลาตั้งเครื่องภายนอก

เวลาตั้งเครื่องภายนอก คือ เวลาที่ใช้ไปในการตั้งเครื่องหรือเปลี่ยนการผลิตโดยเครื่องจักรไม่ ต้องหยุดการผลิต

เวลาตั้งเครื่องภายใน คือ เวลาที่ใช้ไปในการตั้งเครื่องหรือเปลี่ยนการผลิตโดยเครื่องจักรต้องหยุดการผลิต

ขั้นตอนการลดเวลาตั้งเครื่องหรือเปลี่ยนการผลิต

1) วิเคราะห์การตั้งเครื่องหรือการเปลี่ยนการผลิตสินค้า โดยแยกแยะว่าอะไรเป็นการตั้งเครื่องภายใน อะไรเป็นการตั้งเครื่องภายนอก ตลอดจนการเคลื่อนไหวที่สูญเปล่า

2) ชี้เฉพาะว่าอะไรคือการสูญเปล่าและพยายามขจัดให้หมดไป เช่น การเสียเวลาค้นหาเครื่องมือ การเดินไปหยิบเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้เวลานาน

3) พยายามเปลี่ยนการตั้งเครื่องภายในให้เป็นแบบภายนอก

4) ปรับปรุงการตั้งเครื่องภายในโดยขจัดการสูญเปล่า เช่น ขจัดการใช้สลักยึดทั้งหมด แต่ถ้าจำเป็นต้องใช้ ต้องทำให้ขันได้แน่นเพียงการหมุนแค่รอบเดียวเท่านั้น ใช้แม่พิมพ์ที่มีขนาดภายนอกเท่ากันแต่ภายในแตกต่างกันได้ เหมือนการเปลี่ยนเทปแคสเซตต์ ขจัดการปรับแต่งและเปลี่ยนการตั้งเครื่องแบบตามลำดับให้มาเป็นแบบคู่ขนาน

5) ปรับปรุงการตั้งเครื่องภายนอก โดยขจัดการสูญเปล่า เช่น ใช้หลักการ 5 ส เน้นที่ สะสาง สะดวก ใช้รถเข็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์โดยเฉพาะสำหรับการตั้งเครื่องและกำหนดคนงานสำหรับงานตั้งเครื่องโดยเฉพาะ

การลดการตั้งเครื่องภายใน มี 4 วิธี ดังนี้

1) กำหนดมาตรฐานวิธีการตั้งเครื่องอุปกรณ์ที่ใช้

2) ปรับปรุงวิธีการจับยึด เพื่อให้สะดวกและรวดเร็วที่สุด

3) ทำการตั้งเครื่องเป็นแบบคู่ขนาน ใช้ทีมงานที่ประสานงานกันดี

4) ขจัดการปรับแต่ง โดยการใช้ Stopper, Blocks Limit Swithes และ Spacers ถ้าการปรับ แต่งยังมีความจำเป็นให้กำหนดมาตรฐานขั้นตอนการปรับแต่งและฝึกอบรมคนงานที่รับผิดชอบ

การเปลี่ยนการตั้งเครื่องภายในให้เป็นแบบภายนอก มี 3 วิธี ดังนี้

1) เตรียมเครื่องมือให้พร้อม การตั้งเครื่องทำได้ทันทีโดยไม่ต้องรอการประกอบเครื่องมือทีละอย่างที่เครื่องจักร การปรับแต่งทั้งหมดทำภายนอก ดังนั้นการตั้งเครื่องจึงเป็นแค่การประกอบชุดสำเร็จเข้ากับเครื่องจักร เช่น การอุ่นแม่พิมพ์ภายนอกก่อนการประกอบเข้าเครื่องฉีดพลาสติก

2) ติดตั้งเครื่องมือต่าง ๆ ที่จำเป็นเข้ากับตัวยึดชิ้นงาน (Jig) เพื่อทำให้การตั้งภายในทำได้ง่าย และขั้นตอนการตั้งเครื่องมือเป็นมาตรฐานเดียวกัน

3) ทำให้การใส่ (Loading) และการถอด (Unloading) เครื่องมือหรือแม่พิมพ์ง่ายและสะดวกที่สุด โดยปรับปรุงอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ ใช้ลูกกลิ้ง (Roller Conveyor) หรือโต๊ะที่มีลูกกลิ้งติดอยู่ด้านบน (Ball-Bounted Surface Table)

ประโยชน์ของการลดเวลาในปรับตั้งเครื่องจักรลงมาได้ มีดังนี้คือ

1) ทำให้สามารถผลิตสินค้าหลากหลายชนิดได้มากขึ้น (Mixed Production)

2) มีความยืดหยุ่น (Flexibility) ในการผลิตมากขึ้น

3) ทำให้สามารถผลิตงานเป็นล็อตเล็ก ๆ ได้

4) ลด Non-Value Added ของการปรับตั้ง ทำให้มีเวลาผลิตได้มากขึ้น

5) ตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงบ่อย ๆ

6) ผลิตภาพดีขึ้น

7) ช่างเทคนิคมีทักษะความชำนาญในการเปลี่ยนมากขึ้น เนื่องจากได้ทำอยู่บ่อย ๆ

8) ทำให้เกิดการปรับปรุง

4.3.13 เครื่องมือการผลิตแบบผสมรุ่น (Mixed-Model Production)

การผลิตแบบผสมรุ่นเป็นเครื่องมือประเภทความยืดหยุ่น โดยการผลิตสินค้าหลาย ๆ ชนิดในสายการผลิตเดียวกัน โดยมีสัดส่วนการผลิตสินค้าเท่ากับสัดส่วนความต้องการของตลาด ลักษณะพิเศษของการผลิตแบบผสมรุ่นมีดังนี้

- สินค้าได้รับการผลิตด้วยขนาดล็อตที่เหมาะสม
- มีการลดเวลาการตั้งเครื่องจักร
- การเปลี่ยนรุ่นการผลิตบ่อยเป็นปกติ
- มีการควบคุมการผลิตที่มากเกินไป

4.3.14 เครื่องมือการปรับเรียบการผลิต (Smoothed Production)

การปรับเรียบการผลิตเป็นเครื่องมือประเภทความยืดหยุ่นโดยการผลิตงานที่มีปริมาณสม่ำเสมอคงที่ตลอดช่วงเวลาในการผลิต โดยผลิตทุกรุ่น ทุกวัน ตามความต้องการของลูกค้าถือว่าเป็นการลดความผันแปร การปรับเรียบการผลิตจะทำให้เกิดการไหลของงานอย่างราบเรียบและสม่ำเสมอ (Steady Flow) ซึ่งจะทำให้การควบคุมการผลิต เป็นไปได้โดยง่าย ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องทำก่อนการติดตั้งระบบคัมบัง เนื่องจากระบบคัมบังจะใช้งานได้ดีเมื่อมีการไหลของชิ้นงานอย่างราบเรียบสม่ำเสมอก่อน

4.3.15 เครื่องมือการฝึกอบรมพนักงานข้ามสายงาน (Cross-Trained Workforce)

การฝึกอบรมพนักงานข้ามสายงานเป็นเครื่องมือประเภทความยืดหยุ่น การฝึกอบรมพนักงานให้สามารถทำงานได้หลาย ๆ อย่าง เพื่อเป็นการเพิ่มความยืดหยุ่นของแรงงานในการที่จะย้ายไปทำงานตรงไลน์ใดก็ได้ตามการแกว่งของความต้องการของลูกค้า

4.3.16 เครื่องมือการผลิตแบบเซลล์ (Flow Cells)

สายการผลิตแบบเซลล์เป็นเครื่องมือที่ช่วยลดเวลาในการทำงาน (Throughput Time) เป็นผังของโรงงานชนิดหนึ่ง ซึ่งนำเครื่องจักรมาวางไว้ใกล้กันตามลำดับของการผลิต (Process Sequence) หรือตามทิศทางเดินของชิ้นงาน (Material Flow) โดยจะมีคน เครื่องจักรและอุปกรณ์ เป็นของตนเอง โดยทั่วไปจะมี 3-12 คน และ 5-15 สถานีทำงาน (Work Station) ถูกจัดไว้รวมกันเป็นหนึ่งเซลล์และจะถูกกำหนดไว้แน่นอนว่าเซลล์นี้จะต้องผลิตสินค้าอะไรหรือรุ่นไหน แต่สามารถเปลี่ยนชนิดของสินค้าในการผลิตได้ หากว่าสามารถใช้เครื่องจักรร่วมกันในเซลล์นั้น ๆ ได้ เซลล์จำเป็นที่จะต้องทำให้สมดุล (Line Balancing) เพื่อรักษาการไหลที่ดีของงานและควรใช้สายการผลิตแบบเซลล์ร่วมกับระบบคัมบัง (Kanban) เพื่อให้เกิดการผลิตแบบดึง

ข้อดีของการจัดสายการผลิตแบบเซลล์ มีดังนี้คือ

- ใช้เวลาในการผลิตน้อย เนื่องจากระยะทางในการขนย้ายวัสดุสั้น

- ควบคุมการผลิตได้ง่าย
- การสื่อสารเป็นไปได้ดี
- ส่งเสริมการทำงานเป็นทีม
- การไหลของงานดีขึ้น

4.3.17 เครื่องมือการจัดเตรียมพื้นที่ใช้งาน (Point-of-Use Material Storage)

การจัดเตรียมพื้นที่ใช้งานเป็นการจัดเตรียมพื้นที่ใช้งานสำหรับรองรับวัตถุดิบ (Supplied Materials) โดยเฉพาะ

4.3.18 เครื่องมือการควบคุมตัวเองโดยอัตโนมัติ (Autonomation)

การควบคุมตัวเองโดยอัตโนมัติเป็นเครื่องมือคุณภาพที่ช่วยปรับปรุงคุณภาพ (Throughput: Quality) โดยการติดตั้งกลไกหรือตัวรับสัญญาณที่เครื่องจักร เพื่อตรวจดูว่าชิ้นงานที่ผลิตมีข้อผิดปกติหรือมีข้อตำหนิอยู่หรือไม่ ถ้าเครื่องจักรตรวจพบ เครื่องจักรจะต้องหยุดเครื่องทันที จุดสำคัญคือการปฏิบัติงานของเครื่องจักรจะต้องมีอิสระไม่ต้องมีคนงานมาคอยคุม จุดประสงค์สำคัญของเครื่องมือนี้คือ การขจัดความสูญเปล่าที่เนื่องมาจากการผลิตของเสียและลดการทำงานของคนงาน

4.3.19 เครื่องมือการป้องกันการผิดพลาด (Mistake-Proofing)

เครื่องมือการป้องกันการผิดพลาดเป็นแนวความคิดที่ถูกนำมาใช้เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่เกิดจากการลืมในการทำงาน เพื่อทำให้ความผิดพลาดน้อยลง เป็นวิธีการตรวจสอบที่เน้นถึงการตรวจสอบร้อยเปอร์เซ็นต์ วิธีนี้จะเน้นรวมถึงการที่เมื่อกระบวนการผลิตมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้น ความผิดปกติจะต้องได้รับการตอบสนองหรือแก้ไขได้อย่างทันท่วงที นั่นคืออาจกล่าวได้ว่า Mistake-Proofing นั้นจะตรวจสอบการผลิตและเตือนก่อนที่จะมีการผลิตของเสีย (Defect) ขึ้น ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีได้หลายรูปแบบ ดังนี้

- ความผิดพลาดเพราะความเผลอเรอ เช่น ลืมปิดสวิตซ์
- ความผิดพลาดเพราะใจร้อนหรือรีบเร่ง เช่น เหยียบเบรกในรถ โดยคิดว่าเป็นคันเร่ง
- ความผิดพลาดเพราะมองอย่างผิวเผิน เช่น มองธนบัตร 500 บาทเป็น ธนบัตร 100 บาท
- ความผิดพลาดเพราะไม่รู้จริง
- ความผิดพลาดความเห็นแก่ตัว เช่น การละเมิดกฎ โดยคิดว่าไม่เป็นไร
- ความผิดพลาดเพราะเหม่อลอย
- ความผิดพลาดเพราะสมองเฉื่อยชา

- ความผิดพลาดเพราะปล่อยอิสระมากเกินไป
- ความผิดพลาดเพราะคาดไม่ถึง
- ความผิดพลาดเพราะตั้งใจ

อย่างไรก็ตามก็ยังมีความเชื่อที่ผิด ๆ อยู่ว่าระบบนี้จะสร้างปัญหา ยุ่งยาก รวมถึงมีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นด้วย แต่แท้ที่จริงแล้วหากมีการศึกษากันอย่างจริงจังแล้วจะพบว่าการใช้ เครื่องมือ (Device) อย่างง่าย ๆ ตามแบบของ Mistake-Proofing นั้นสามารถลดการสูญเสียโดยที่ไม่ต้องลงทุนมากนัก ซึ่งมีหน้าที่ในการทำงานดังต่อไปนี้

1) วิธีการควบคุม (Control Methods) เป็นวิธีการควบคุมป้องกันความผิดปกติ ความผิดพลาด หรือการชะงักงันของกระบวนการผลิตที่อาจจะเกิดขึ้นได้ วิธีดังกล่าวนี้ เมื่อมีชิ้นงานที่ผิดปกติเกิดขึ้นเครื่องจักรจะหยุดการผลิตทันที ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องจักรผลิตชิ้นงานที่ผิดปกติชิ้นต่อไป ซึ่งวิธีนี้นั้นจะเป็นการควบคุมการเกิดของเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าระบบการเตือน (Warning Methods)

2) วิธีการเตือน (Warning Methods) คือการใช้สัญญาณ เพื่อเตือนให้ทราบถึงความผิดปกติในกระบวนการผลิต ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการผลิตชิ้นงานผิดปกติหรือเสียออกมา ซึ่งวิธีนี้เราอาจใช้การเตือนด้วยสัญญาณเสียงหรือไฟเตือนก็ได้ อย่างไรก็ตาม วิธีนี้อาจมีประสิทธิภาพน้อยลงหากสภาพการทำงานไม่เอื้ออำนวยผู้ปฏิบัติงานนั้นอาจไม่ได้ยินหรือไม่เห็นสัญญาณ ที่เตือน 24 รูปแบบการติดตั้งระบบ Mistake-Proofing ในกระบวนการผลิตนั้นเราสามารถแบ่งออกได้เป็นดังนี้

- วิธีการสัมผัส (Contact Methods) เป็นการใช้เครื่องมือตรวจจับชิ้นงานที่ผิดปกติอันเนื่องมา จาก รูปร่าง สัดส่วน ซึ่งชิ้นงานแต่ละชิ้นจะถูกตรวจสอบโดยผ่านมายังเครื่องมือนี้เพื่อเช็คดูว่า ขนาด รูปร่างชิ้นงานได้มาตรฐานปกติหรือไม่
- วิธีการกำหนดค่าที่แน่นอน (Fixed Value Methods) วิธีนี้จะใช้วิธีการตรวจนับชิ้นงานตาม จำนวนที่กำหนดไว้และบอกความผิดพลาดเมื่อชิ้นงานไม่ครบตามจำนวนที่กำหนดไว้ ซึ่งวิธีนี้ส่วนใหญ่จะใช้ในชิ้นงานที่การผลิตต้องใช้สายพานเพื่อส่งต่อชิ้นงาน
- วิธีการตรวจสอบที่ขั้นตอนของการส่งชิ้นงาน (Motion Step Methods) วิธีนี้ชิ้นงานจะถูก ตรวจสอบโดยการส่งชิ้นงานแต่ละชิ้นไปบนสายพาน การตรวจสอบจะทำโดยเทียบกับมาตรฐานที่วางไว้

4.3.20 เครื่องมือการตรวจสอบด้วยตัวเอง (Self - Check Inspection)

การตรวจสอบด้วยตัวเองเป็นเครื่องมือคุณภาพโดยเป็นการตรวจสอบความเรียบร้อยของชิ้นงาน โดยตัวของพนักงานที่ปฏิบัติงานเอง ข้อมูลที่ได้จากการบันทึกผลการตรวจสอบจะถูกนำมาใช้วิเคราะห์ เพื่อควบคุมกระบวนการผลิต ป้องกันไม่ให้เกิดการผลิตของเสีย

ขึ้นอีก อย่างไรก็ตามวิธีนี้จะมีข้อเสียอยู่ที่การที่ผู้ทำงานนั้น ๆ อาจจะยอมผ่านชิ้นงานที่ไม่ได้มาตรฐานออกไปโดยมิได้ตั้งใจได้

4.3.21 เครื่องมือวิธีการตรวจสอบชิ้นงานแต่ละชิ้นโดยผู้ที่ไม่ได้อยู่ในกระบวนการผลิต (Successive Check Inspection)

วิธีการตรวจสอบชิ้นงานแต่ละชิ้นโดยผู้ที่ไม่ได้อยู่ในกระบวนการผลิตเป็นเครื่องมือคุณภาพโดยเป็นการตรวจสอบชิ้นงานก่อนที่จะเริ่มขั้นตอนการผลิตถัดไปและทำการหยุดการผลิตเพื่อทำการแก้ไขหรือปรับปรุงสภาพการผลิตโดยอัตโนมัติ เมื่อได้รับข้อมูลความผิดปกติในขั้นตอนการผลิต การตรวจสอบนี้รวมถึงการที่พนักงานในกระบวนการผลิตถัดไปจะมีหน้าที่เป็นผู้ตรวจสอบความถูกต้องของชิ้นงานก่อนเริ่มขั้นตอนการผลิตถัดไปทุกครั้ง

4.3.22 เครื่องมือช่วยหยุดไลน์ (Line Stop or Jidoka)

เครื่องมือช่วยหยุดไลน์เป็นเครื่องมือคุณภาพโดยการให้พนักงานสามารถหยุดไลน์ประกอบได้เมื่อตรวจพบว่ามีการความผิดพลาดเกิดขึ้นในกระบวนการ

4.3.23 เครื่องมือปรับปรุงอย่างต่อเนื่องไคเซน (Keizen)

เครื่องมือปรับปรุงอย่างต่อเนื่องไคเซนเป็นศัพท์ภาษาญี่ปุ่น แปลว่า "การปรับปรุง" (Improvement) ซึ่งเป็นแนวคิดที่นำมาใช้ในการบริหารการจัดการอย่างมีประสิทธิผล โดยมุ่งเน้นที่การมีส่วนร่วมของพนักงานทุกคน ร่วมกันแสวงหาแนวทางใหม่ ๆ เพื่อปรับปรุงวิธีการทำงานและสภาพแวดล้อมในการทำงานให้ดีขึ้นอยู่เสมอ หัวใจสำคัญอยู่ที่ต้องมีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องไม่มีที่สิ้นสุด (Continuous Improvement)

ความสำคัญในกระบวนการของ Kaizen คือ การใช้ความรู้ความสามารถของพนักงานมาคิดปรับปรุงงาน โดยใช้การลงทุนเพียงเล็กน้อย ซึ่งก่อให้เกิดการปรับปรุงทีละเล็กทีละน้อยที่ค่อย ๆ เพิ่มพูนขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตรงข้ามกับแนวคิดของ Innovation หรือนวัตกรรมซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงขนานใหญ่ ที่ต้องใช้เทคโนโลยีซับซ้อนระดับสูง ด้วยเงินลงทุนจำนวนมหาศาล ดังนั้นไม่ว่าจะอยู่ในสภาวะเศรษฐกิจแบบใด เราก็สามารถใช้วิธีการ Kaizen เพื่อปรับปรุงได้

4.3.24 เครื่องมือการออกแบบการทดลอง (Design Of Experiments)

การออกแบบการทดลองเป็นการใช้เครื่องมือทางสถิติในการวิเคราะห์กระบวนการเพื่อหาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อผลที่ปรากฏ

4.3.25 เครื่องมือการวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหา (Root Cause Analysis)

การวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหา เป็นเทคนิคในการแก้ไขปัญหา โดยพยายามเจาะลึกถึงรากเหง้าของปัญหาเพื่อป้องกันไม่ให้ปัญหานั้นเกิดขึ้นอีก

4.3.26 เครื่องมือการควบคุมกระบวนการด้วยสถิติ (Statistical Process Control)

การควบคุมกระบวนการด้วยสถิติเป็นการใช้แผนภูมิควบคุม (Control Charts) เพื่อศึกษากระบวนการและหาว่าเมื่อไรที่กระบวนการเกิดภาวะออกนอกภาวะการควบคุม (Out of Control)

4.3.27 เครื่องมือการแก้ไขปัญหาด้วยทีมงาน (Team-Based Problem Solving)

การแก้ไขปัญหาด้วยทีมงานเป็นการหาทางแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยมีการประชุมทีมงานเป็นประจำทุกวันหรือทุกสัปดาห์

4.4 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพของการผลิตแบบลีน

4.4.1 %OEE (Overall Equipment Effectiveness)

%OEE เป็นตัวชี้วัดประสิทธิผลของเครื่องจักรโดยรวม ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$OEE = A*P*Q \qquad (2\text{-}2)$$

โดยที่ A = Availability Rate (อัตราส่วนของเวลาที่เครื่องจักรนั้นปฏิบัติงานได้จริงต่อเวลาที่มีในการผลิต คือ % Run นั่นเอง)

P = Performance Rate (อัตราส่วนของจำนวนชิ้นงานที่เครื่องจักรนั้นผลิตได้จริงต่อจำนวนชิ้นงานที่เครื่องจักรนั้นควรผลิตได้ตามกำลังการผลิต)

$$= \frac{(\text{จำนวนชิ้นงานที่เครื่องจักรนั้นผลิตได้ทั้งหมด}) \times (\text{รอบเวลาของเครื่องจักรนั้น})}{(\text{จำนวนเวลาที่เครื่องจักรนั้นใช้ไปในการผลิตจริง})} \qquad (2\text{-}3)$$

Q = Quality Rate (อัตราส่วนของชิ้นงานดีที่เครื่องจักรนั้นผลิตได้ต่อจำนวนชิ้นงานที่เครื่องจักรนั้นผลิตได้ทั้งหมด หรือ Yield นั่นเอง)

4.4.2 % FTT (First Time Through)

% FTT เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของกระบวนการผลิต โดยพิจารณาที่ความสามารถในการผลิตครั้งแรก แล้วได้คุณภาพตามที่ต้องการ โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

$$\%\ FTT = \frac{\text{จำนวนหน่วยที่ผลิตทั้งหมด} - \text{จำนวนที่ไม่ยอมรับ} \times 100\%}{\text{จำนวนหน่วยที่ผลิตทั้งหมด}} \qquad (2\text{-}4)$$

ค่า % FTT จะบอกถึงเปอร์เซ็นต์ของจำนวนชิ้นงานที่ได้คุณภาพตามที่ต้องการในกระบวนการผลิต โดยไม่ต้องมีการซ่อม แก้ไข หรือทิ้ง

4.4.3 DTD (Dock To Dock)

DTD เป็นตัวชี้วัดว่าวัตถุดิบสามารถเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้เร็วเพียงใด ซึ่งก็คือ ค่า Lead Time นั่นเอง โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$DTD = \frac{\text{จำนวนหน่วยทั้งหมดของ Control Part}}{\text{อัตราความต้องการของลูกค้า}} \quad (2\text{-}5)$$

โดยที่ Control Part คือ ชิ้นส่วนสำคัญของผลิตภัณฑ์รายการสุดท้าย (End Item Product)

$$\text{อัตราความต้องการของลูกค้า (EOLR)} = \frac{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ทั้งหมดใน 1 เดือน}}{\text{จำนวนชั่วโมงทำงานทั้งหมดใน 1 เดือน}} \quad (2\text{-}6)$$

ค่า DTD จะบอกถึงจำนวนเวลาที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนสภาพวัตถุดิบให้เป็นสินค้าที่พร้อมจะส่งมอบให้ลูกค้า

4.4.4 ระดับสินค้าคงคลัง (Inventory Level)

ระดับสินค้าคงคลังเป็นตัวชี้วัดให้เห็นถึงเงินลงทุน ซึ่งเกิดขึ้นจากค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง สินค้าคงคลังเป็นสินทรัพย์หมุนเวียนชนิดหนึ่ง ซึ่งจะกระจายอยู่ทั่วทั้งบริษัท และรวมถึงทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัตถุดิบไปถึงงานระหว่างกระบวนการไปถึงสินค้าสำเร็จรูปแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

- วัตถุดิบ (Raw Material) คือสิ่งของหรือชิ้นส่วนที่ซื้อมาเพื่อใช้ในการผลิต
- สินค้าที่อยู่ในระหว่างการผลิต (Work-In-Process) คือชิ้นงานที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตหรือรอคอยที่จะผลิตในขั้นตอนต่อไป โดยยังผ่านกระบวนการผลิตไม่ครบทุกขั้นตอน
- วัสดุซ่อมบำรุง (Maintenance/Repair/Operating Supplies) คือ ชิ้นส่วนหรืออะไหล่เครื่องจักรที่สำรองไว้เผื่อเปลี่ยนเมื่อชิ้นส่วนเดิมเสียหายหรือหมดอายุการใช้งาน
- สินค้าสำเร็จรูป (Finished Goods) คือ ชิ้นงานที่ผ่านทุกกระบวนการผลิตครบถ้วนพร้อมที่จะนำไปขายให้ลูกค้าได้ เมื่อสินค้าคงคลังในระบบการผลิตลดลง เงินทุนที่จมอยู่กับสินค้าก็ลดลง ห้องเก็บของก็ไม่ต้องมีขนาดใหญ่ โรงงานมีพื้นที่ใช้สอยมากขึ้น พนักงานประจำ

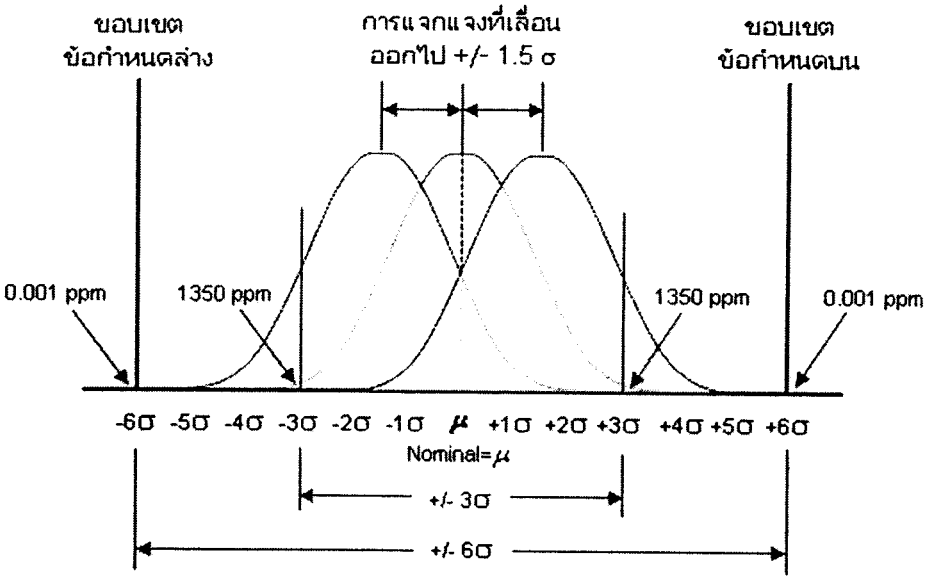
จุดเก็บสินค้าคงคลังลดลง การควบคุมดูแลรักษาสินค้าคงคลังก็ลดลงด้วย ดังนั้น การลดวัสดุคงคลังในระบบการผลิตก็คือการลดค่าใช้จ่ายทางอ้อมนั่นเอง

ทฤษฎีซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)

1. ความเป็นมาและหลักการซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)

1.1 ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) คืออะไร (วิทยา สุหฤทดำรง และ ก้องเดชา บ้านมะหิงษ์, 2545)

ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) เป็นภาษาในวิชาสถิติ ซึ่งสัญลักษณ์ Sigma (σ) เป็นตัวอักษรในภาษากรีก ที่ใช้แทนความหมายของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ซึ่งค่าซิกม่ายิ่งสูง แสดงว่ามีความแปรปรวนของกระบวนการยิ่งสูง ทำให้มีพื้นที่ที่อยู่นอกเหนือพื้นที่ในการยอมรับหรือในสเปคน้อยลง นั่นคือมีของเสียที่อยู่นอกเหนือขอบเขตที่ยอมรับได้น้อยลงโดยที่ในระดับ 6 Sigma นั้นจะยอมรับให้เกิดของเสียได้ที่ปริมาณ 3.4 ชิ้นในการผลิต 1 ล้านชิ้น หรือที่เรียกว่า 3.4 ppm (Parts Per Million) ซึ่งหากเป็นไปตามเส้นโค้งการกระจายตัวตามปกติ (Normal Distribution Curve) จริง ๆ ทางสถิตินั้น ที่ระดับ 6 Sigma จะมีของเสียที่อยู่นอกขอบเขตของการยอมรับเท่ากับ 0.002 ชิ้น ต่อ 1 ล้านชิ้นเท่านั้น แต่เหตุผลที่หลักการ Six Sigma ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีการยอมรับของเสียที่ 3.4 ppm ก็เพราะว่าในขณะที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ความแปรปรวนในบริษัทโมโตโรล่านั้น ได้พบว่าไม่มีระบบการผลิตใดเลยที่จะไม่ถูกรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอก นั่นก็คือเราไม่สามารถควบคุมปัจจัยภายนอกเพื่อไม่ให้ส่งผลถึงความเบี่ยงเบนของข้อมูลได้ ซึ่งระบบที่ไม่มีความแปรปรวนเลยจึงเป็นเพียงระบบในอุดมคติ (Ideal System) ดังนั้นโมโตโรล่าจึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลใหม่ในกระบวนการผลิต เพื่อหาความแปรปรวนที่เกิดจากปัจจัยภายนอกอันส่งผลถึงการคลาดเคลื่อนของค่ากึ่งกลาง ซึ่งได้ข้อสรุปจากการวิเคราะห์คือ ค่าเบี่ยงเบนของข้อมูลอันเนื่องจากปัจจัยภายนอกมีค่าอยู่ในช่วง 1.4-1.6 เท่าของซิกม่า จึงนำค่าเฉลี่ยคือ 1.5 เท่าของซิกม่า เป็นค่าความเบี่ยงเบนของค่ากึ่งกลางข้อมูลที่ยอมรับได้นำมาใช้ในทฤษฎี Six Sigma ซึ่งค่า 3.4 ppm จึงเป็นค่าความผิดพลาดที่ 4.5 เท่าของซิกม่าตามหลักสถิตินั่นเอง แสดงภาพประกอบคำอธิบายดังภาพที่ 2-8



ขอบเขตข้อกำหนด	เปอร์เซ็นต์	จำนวนของเสียใน 1 ล้านชิ้น
+/- 1σ	30.23	697,700
+/- 2σ	69.13	308,700
+/- 3σ	93.32	66,810
+/- 4σ	99.379	6,210
+/- 5σ	99.9767	233
+/- 6σ	99.999966	3.4

ภาพที่ 2-8 ผลการเลื่อนขอบเขตออกไป +/- 1.5σ

จากภาพเห็นว่าในการผลิต 1,000,000 ชิ้น จะมีปริมาณของเสียเพียง 3.4 ชิ้น ซึ่ง โมโตโรล่าได้นำหลักการนี้มาใช้เพื่อตั้งเป็นเป้าหมายในระบบการผลิตของบริษัทและพัฒนาวิธีการต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่เป้าหมายนั้น จนกลายเป็นระบบการจัดการที่มีประสิทธิภาพระบบหนึ่งในปัจจุบันและเป็นที่รู้จักไปทั่วโลก

1.2 ความเป็นมาของซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)

1.2.1 1987: CEO ของ Motorola ประกาศว่าบริษัทจะอยู่ที่ 6σ ในปี 1992 (เป้าหมาย 5 ปี)

1.2.2 1988: กลุ่ม Six Sigma เริ่มแรกได้ก่อตัวขึ้นโดยมี Motorola, Raytheon, ABB, CDI และ Kodak

1.2.3 1989/1990: IBM กับ DEC เริ่มทดลองทำ Six Sigma แต่ล้มเหลว

1.2.4 1993: ลารี่ บอสสิดี้ นายใหญ่บริษัท AlliedSignal นำเอาแนวทางใหม่ของ Six Sigma มาใช้ โดยในระบบจะมีแบล็กเบลต์ที่ทำงาน Six Sigma เต็มเวลาและมีโครงสร้างทาง Six Sigma ให้การสนับสนุนการทำงาน

1.2.5 1995: แจ๊ค เวลซ์ GE เริ่มใช้ Six Sigma

1.2.6 1996/97: จำนวนบริษัทต่าง ๆ เริ่มทำ Six Sigma มากขึ้นอย่างรวดเร็ว ภายหลังจากที่เห็นผลสำเร็จของ GE กับ Allied Signal

1.2.7 Siebe, Bombardier, Whirlpool, Navistar, Gencorp, Lockheed Martin, Poloroid, Sony, Nokia, John Deere

1.2.8 1997/98: จำนวนบริษัทที่ทำ Six Sigma เติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว

1.2.9 Siemens, BBA, Seagate, Compaq, PACCAR, Toshiba, McKesson, AmEx,...

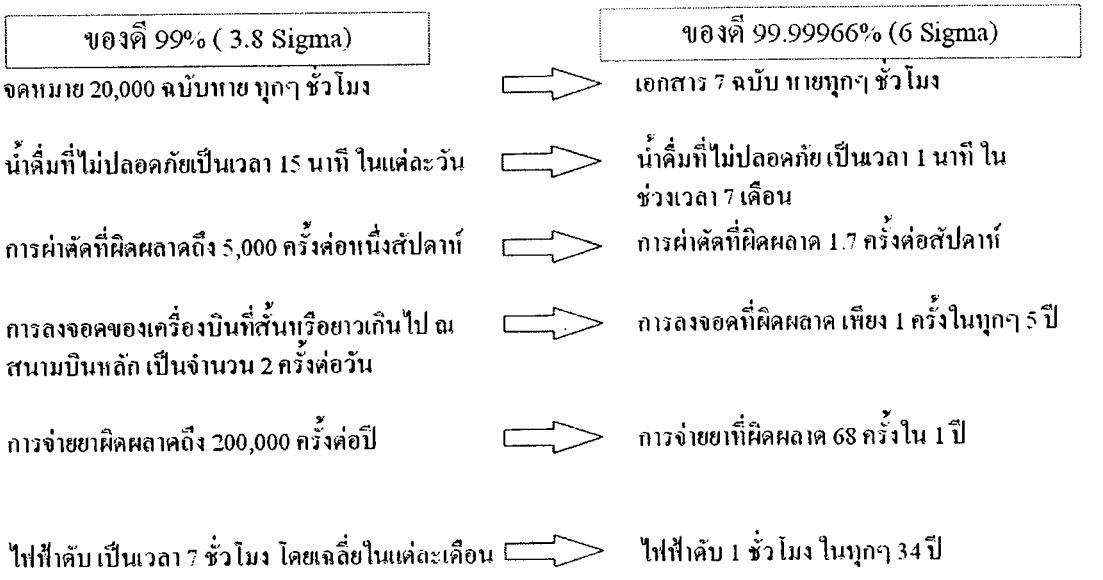
1.2.10 1999: การเติบโตเป็นแบบทวีคูณ ASQ เริ่มให้บริการการฝึกอบรม Six Sigma

1.2.11 Johnson & Johnson, Air Products, Maytag, Dow Chemical, Dupont, Honeywell, Praxair, Ford, BMW, Johnston Controls, Samsung

1.3 ระดับคุณภาพของกระบวนการที่ 99 % (วิทยา สุหฤทดำรง และ ก้องเดชา บ้านมะหิงษ์, 2545)

Six Sigma เป็นโปรแกรมทางด้านคุณภาพที่มุ่งให้กระบวนการผลิตหรือการปฏิบัติใด ๆ มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นที่ 3.4 ครั้ง ต่อการผลิตหรือการปฏิบัติงาน 1 ล้านครั้ง ระดับคุณภาพที่สูงถึง 99% นั้นยังไม่พอเพียงในกระบวนการผลิตหรือการปฏิบัติงาน ต่อไปจะแสดงให้เห็นถึงตัวอย่างของ ข้อผิดพลาดที่เกิดจากระดับคุณภาพที่ 99% บริษัทแห่งหนึ่งเป็นบริษัทที่ดำเนินธุรกิจการบริการโดยในแต่ละเดือนจะมีลูกค้าประมาณ 3,500 ราย ในการปฏิบัติงานที่ระดับคุณภาพ 99% นั้นจะมีลูกค้าที่เกิดความไม่พึงพอใจในบริการเป็นจำนวน 35 รายต่อเดือน ถ้าคิดเป็นปีจะมีถึง 420 คน อาจจะดูเหมือนเป็นตัวเลขที่น้อยเมื่อเทียบกับจำนวนที่ลูกค้าพอใจ แต่ข้อคิดหนึ่งซึ่งควรคำนึงถึงก็คือ ลูกค้าที่ไม่พึงพอใจในบริการนั้นจะบอกกล่าวไปยังคนอื่น ๆ อีกอย่างน้อย 2-3 คน ซึ่งคงจะมองเห็นถึงความเสียโอกาสในการขายของบริษัทนี้ได้อย่างมาก มาย นี่คือตัวอย่างที่แสดงว่าระดับคุณภาพที่ 99% คงไม่เพียงพอในการปฏิบัติงานในสภาวะแวดล้อมที่มีการแข่งขันอย่างสูง ดังปัจจุบันอีกตัวอย่างหนึ่ง โรงพยาบาลแห่งหนึ่งให้บริการโดยมีลูกค้าเฉลี่ยเดือนละประมาณ 10,000 ราย ซึ่งหากให้สมมติฐานว่าลูกค้าที่เข้ามาจะได้รับยาออกไปทุกคน ดังนั้นที่ระดับการปฏิบัติงานที่คุณภาพ 99% ใน 1 ปี จะมีลูกค้าที่ได้รับยาผิดถึง 1,200 ราย คงเป็นเรื่องที่เสี่ยงมาก หากโรงพยาบาลนี้ยังคงปฏิบัติงานด้วยระดับคุณภาพเท่าเดิม อธิบายดังภาพที่ 2-9

99% นั้น ดีเพียงพอแล้วหรือ



ภาพที่ 2-9 ผลการเปรียบเทียบระดับคุณภาพของกระบวนการที่ 99% กับ 99.999966%

1.4 กรอบการทำงานของกระบวนการซิกซ์ ซิกม่า

กรอบการทำงานของกระบวนการซิกซ์ ซิกม่าในเชิงสถิตินั้น คือการพยายามหาจุดบกพร่องหรือสาเหตุและทำการแก้ไขให้ถูกจุด โดยกำหนดสิ่งที่ได้ออกมาจากกระบวนการก็คือ ตัวแปรผลลัพธ์ (Y หรือ Process Output Variable: KPOV) หรือเรียกอีกอย่างว่าตัวแปรตาม (Dependent) ตัวแปรนี้ได้จากการวัดผลงาน วัดผลกระทบ ได้จากอาการที่บ่งบอกและได้จากการติดตามเฝ้าดู

$Y = f(x)$

ผลลัพธ์ = ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

PPIV (Key Process Input Variable) = KPOV (Key Process Output Variable)

ตารางที่ 2-2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญและผลลัพธ์

ตัวแปร Y (KPOV)	ตัวแปร X1, X2,...,Xn (KPOV)
เป็นตัวแปรตาม (Dependent)	เป็นตัวแปรอิสระ (Independent)
เป็นตัววัดผลงาน (Output)	เป็นตัววัดปัจจัยที่ป้อนเข้า (Input)
เป็นตัววัดผลกระทบ (Effect)	เป็นตัวระบุสาเหตุ (Cause)
ระบุอาการ (Symptom)	ระบุปัญหา (Problem)
ได้จากการเฝ้าดู (Monitor)	ต้องควบคุม (Control)

ในการพัฒนาและปรับปรุงผลลัพธ์นั้นสิ่งที่ควรคำนึงถึงคือที่มาของผลลัพธ์ ในที่นี้กำหนดให้เป็นฟังก์ชันของ X ให้ X คือตัวแปรอิสระ (Independent) ตัววัดปัจจัยที่ป้อนเข้า (Input) ตัวระบุสาเหตุ (Cause) ตัวระบุปัญหา (Problem) และตัวที่ต้องควบคุม (Control) เนื่องจากการทำการแก้ไขที่ผลลัพธ์เป็นสิ่งที่ล่าช้าไป ดังนั้นหากเราสามารถควบคุมสิ่งที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการ (Key Process Input Variable: KPIV) ได้ก็จะเกิดประโยชน์อย่างสูง

1.5 ประโยชน์ระบบซิกซ์ ซิกม่า ที่ควรนำเข้าไปใช้องค์กร (วิทยา สุหฤทดำรง และก้องเดชา บ้านมะหิงษ์, 2545)

จากแนวคิด ผลประโยชน์ต่าง ๆ และตัวอย่างขององค์กรระดับโลกที่ประสบผลสำเร็จ ความรู้ เครื่องมือและแนวคิดต่าง ๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบันนั้นก็มีมากมาย แต่ละอย่างก็แสดงให้เห็นถึงผลประโยชน์อันมหาศาลทั้งสิ้นข้อดีที่จะเป็นเหตุผลว่าทำไมจึงควรนำซิกซ์ ซิกม่าเข้าไปใช้องค์กร

1.5.1 ช่วยลดข้อบกพร่อง/ของเสีย ให้เกิดน้อยที่สุดจนมุ่งเข้าสู่ศูนย์ (Zero Defects) ทำให้ข้อผิดพลาดที่ลูกค้าจะได้รับเกิดขึ้นน้อยลง โดยเฉพาะข้อผิดพลาดที่มีผลต่อสุขภาพหรือชีวิต เช่น การจ่ายยาผิด เป็นต้น

1.5.2 ช่วยลดต้นทุน ทำให้เกิดผลกำไรอย่างมหาศาล ในขณะที่ความพึงพอใจของลูกค้าก็เพิ่มมากขึ้น

1.5.3 เป็นสิ่งที่ผู้บริหารจะต้องสนับสนุนและร่วมมือด้วย หากมีการตกลงที่จะทำแล้ว ไม่เช่นนั้นการนำซิกซ์ ซิกม่าไปใช้ก็จะไม่ประสบผลสำเร็จ ซึ่งข้อดีก็คือ ทำให้ทุกคนมีความกระตือรือล้น มีอิสระในการคิด การปฏิบัติ มีการพัฒนาความสามัคคีเนื่องจากการทำงานที่เป็นทีม กระตุ้นให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ที่เป็นผลดีต่อองค์กรและทำให้องค์กรมีการพัฒนาตัวเองอย่างต่อเนื่อง

1.5.4 จุดมุ่งหมายและขอบเขตของเครื่องมือแต่ละตัวนั้นไม่เหมือนกัน ดังนั้นการเลือกเครื่องมือตัวใดเข้าไปใช้จะต้องดูจุดมุ่งหมายขององค์กรด้วย ซึ่งจุดมุ่งหมายที่สำคัญของซิกซ์ ซิกม่า นั้นคือ การปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่องเพื่อสร้างผลกำไร โดยการกำจัดความแปรปรวน ลดความสูญเสียต่าง ๆ และเป็นการเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าที่มีต่อคุณภาพต้นทุน การส่งมอบ ทั้งในด้านของผลิตภัณฑ์และบริการ

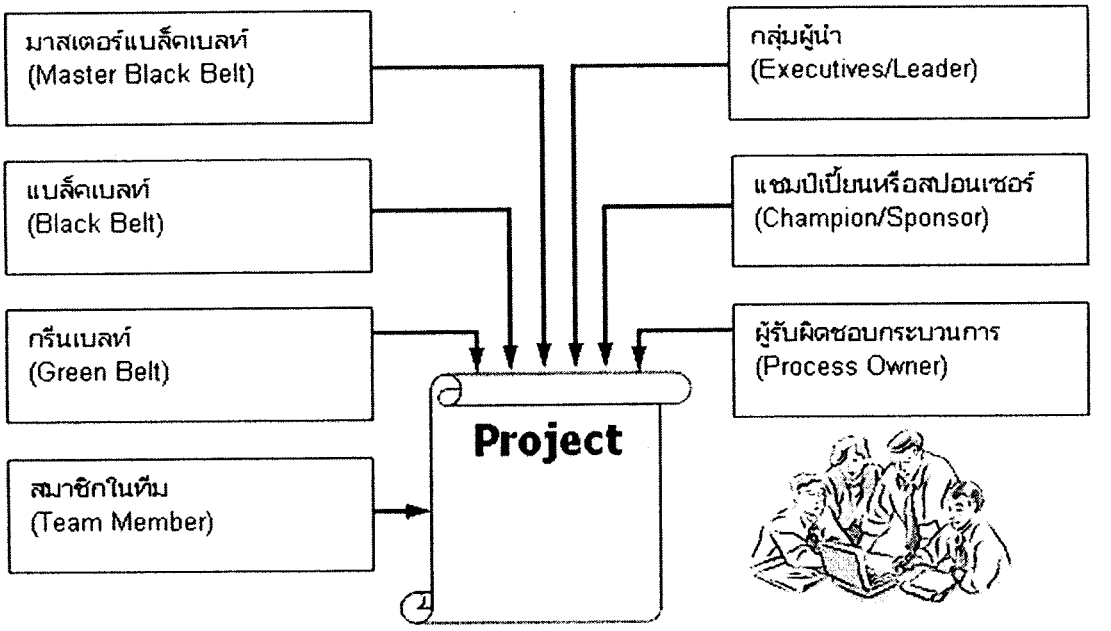
1.5.5 เป็นการทำงานโครงการ ที่สามารถวัดผลสำเร็จได้

1.5.6 มีการทำงานที่มุ่งหวังผลและได้รับการสนับสนุนอย่างจริงจังจากผู้บริหาร

1.5.7 ลดหรือขจัดการทำงานแบบ "ไล่ดับไฟ"

2. บทบาทและหน้าที่สำคัญในซิกซ์ ซิกม่า (วิทยา สุหฤทดำรง และ ก้องเดชา บ้านมะหิงษ์, 2545)

สิ่งสำคัญที่ช่วยสนับสนุนการดำเนินการซิกซ์ ซิกม่า ให้ประสบผลสำเร็จ คือการได้รับความสนับสนุนจากผู้นำในองค์กรและการมีส่วนร่วมของพนักงานทุกระดับ ซึ่งจะเป็นแรงผลักดันให้โครงการซิกซ์ ซิกม่า ดำเนินไปและยังคงอยู่ในองค์กร นี่จึงเป็นเหตุผลที่การหวังผลสำเร็จในระยะยาวของซิกซ์ ซิกม่า ต้องอาศัยการดำเนินงานแบบเต็มเวลาและอาศัยคนที่มีบทบาทต่าง ๆ ซึ่งสามารถกล่าวได้เลยว่าความสำเร็จและการคงอยู่ต่อไปของโครงการซิกซ์ ซิกม่า ขึ้นอยู่กับบุคคลเหล่านี้เลยทีเดียว บทบาทสำคัญในซิกซ์ ซิกม่า บุคคลที่มีบทบาทสำคัญในการดำเนินโครงการซิกซ์ ซิกม่า นั้น นอกจากจะรับผิดชอบงานประจำเดิมอยู่แล้ว ยังต้องมีบทบาทหน้าที่สำคัญที่เพิ่มขึ้นมาในการดำเนินงานด้านซิกซ์ ซิกม่า และมีชื่อเรียกของบทบาทที่เพิ่มขึ้นมาซึ่งชื่อเหล่านั้นถูกแต่งตั้งขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญของโมโตโรล่าที่หลงใหลในคาราเต้ จึงตั้งชื่อบทบาทในซิกซ์ ซิกม่า คล้ายกับศัพท์ที่ใช้ในคาราเต้ ดังภาพที่ 2-10 การประสานงานระหว่างบทบาทต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วยดังนี้



ภาพที่ 2-10 การประสานงานระหว่างบทบาทต่าง ๆ กับโครงการ

2.1 กลุ่มผู้นำ (Executives/Leader)

หน้าที่สำคัญยิ่งอันดับแรกของผู้นำก็คือ การตัดสินใจว่าจะดำเนินโครงการซิกซ์ ซิกม่า หรือไม่ แล้วเป็นผู้กำหนด สนับสนุนและตั้งขอบเขตการดำเนินการ อภิปราย วางแผน แนะนำและเรียนรู้เพื่อให้เกิดการคิดอย่างซิกซ์ ซิกม่า นอกจากนี้หน้าที่ของกลุ่มผู้บริหารระดับสูงยังประกอบไปด้วย

2.1.1 กำหนดบทบาทและโครงสร้างพื้นฐานของการเริ่มต้นการดำเนินการซิกซ์ ซิกม่า

2.1.2 เลือกโครงการและจัดสรรทรัพยากร

2.1.3 ทบทวนตรวจสอบความก้าวหน้าของโครงการตามระยะเวลา ช่วยเสนอความคิดและความช่วยเหลือ

2.1.4 ให้การสนับสนุนโครงการซิกซ์ ซิกม่า

2.1.5 กำหนดผลกระทบของซิกซ์ ซิกม่า ต่อระดับล่างขององค์กร

2.1.6 ประเมินความก้าวหน้า ระบุถึงจุดแข็งและจุดอ่อนของความพยายามในการดำเนินงาน

2.1.7 แบ่งปันข้อปฏิบัติที่ดีที่สุด (Best Practice) ไปทั่วทั้งองค์กรรวมไปถึงผู้จัดส่งวัตถุดิบและลูกค้าอย่างเหมาะสม

2.1.8 ช่วยขจัดสิ่งกีดขวางที่เป็นอุปสรรคต่อการทำงาน

2.1.9 ประยุกต์ใช้การเรียนรู้เข้ากับรูปแบบการบริหารของตนเอง

2.2 แชมป์เปี้ยนหรือสปอนเซอร์ (Champion/Sponsor)

คือผู้จัดการหรือผู้บริหารที่มีความอาวุโส ทำการควบคุม ดูแลโครงการปรับปรุงและให้การสนับสนุนแบล็คเบลท์หรือโครงการของทีม เป็นภาระหน้าที่ที่ต้องการความสมดุลเพราะทีมต้องการความอิสระที่จะทำการตัดสินใจด้วยตนเอง แต่ก็ยังต้องการแนวทางจากผู้นำเพื่อกำหนดทิศทางของงานที่ทำ โดยปกติแล้วแชมป์เปี้ยนหรือสปอนเซอร์มักเป็นสมาชิกของ Leadership Council หรือ Steering Committee ซึ่งภาระหน้าที่ ดังนี้

2.2.1 เป็นผู้เลือกโครงการและตรวจสอบสมรรถนะ

2.2.2 กำหนดและรักษาเป้าหมายของโครงการที่อยู่ภายใต้การดูแลและต้องแน่ใจว่างานที่ทำสอดคล้องกับการจัดความสำคัญในระดับธุรกิจและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์โดยรวม

2.2.3 ให้คำแนะนำ รองรับการเปลี่ยนแปลงในทิศทางและขอบเขตของโครงการ

2.2.4 แจ้งข่าวสารความคืบหน้าของโครงการต่อทีมผู้นำ

2.2.5 จัดหาและเจรจาต่อรองทรัพยากรมาสนับสนุนโครงการ

2.2.6 เป็นตัวแทนของทีมที่จะนำเสนอต่อกลุ่มผู้นำ

2.2.7 ช่วยจัดสรรงานอย่างเหมาะสม จากทั้งในและนอกทีม

2.2.8 ทำงานร่วมกับผู้รับผิดชอบกระบวนการเพื่อความราบรื่นในขั้นตอนสรุปโครงการ

2.2.9 เจรจาความขัดแย้ง การทำงานเหลื่อมซ้อนกันและความเชื่อมโยงกับโครงการซิกซ์ ซิกม่า อื่น ๆ

2.3 มาสเตอร์แบล็คเบลท์ (Master Black Belt)

มาสเตอร์แบล็คเบลท์ คือ ผู้ทำหน้าที่เป็น โค้ชดูแลและเป็นที่ปรึกษาให้กับแบล็คเบลท์ เป็นผู้ช่วยในการเป็นผู้อบรม ตรวจสอบและแนะนำ นอกจากนี้ยังช่วยในการเลือกโครงการ และคนในการทำงาน เมื่อมีการเริ่มโครงการซิกซ์ ซิกม่า ขึ้นมา จะต้องมีการกำหนดส่วนประกอบต่าง ๆ ที่จำเป็นทั้งหมด การกำหนดและฝึกอบรมพนักงานในบทบาทต่าง ๆ ของตัวเอง การเริ่มต้นโครงการและการเก็บรวบรวมข้อมูล โครงการซิกซ์ ซิกม่า มีกลไกในตัวเองที่ช่วยทำให้การริเริ่มดำเนินโครงการนั้นกลายไปสู่การคงอยู่ถาวรได้ ด้วยการที่สมาชิกของทีมจะได้รับประสบการณ์และมีบางคนที่สามารถพัฒนาไปเป็นมาสเตอร์แบล็คเบลท์ได้ ซึ่งมาสเตอร์แบล็คเบลท์จะเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านเครื่องมือต่าง ๆ ของซิกซ์ ซิกม่าและโดยปกติมักจะต้องมีพื้นฐานความรู้ด้านวิศวกรรมหรือวิทยาศาสตร์ รวมถึงเทคนิคต่าง ๆ ของซิกซ์ ซิกม่า ถือเป็นทรัพยากรที่มีคุณค่าในความเชี่ยวชาญ

ด้านเทคนิคและประสบการณ์ เป็นผู้สอน ตรวจสอบและเป็นผู้นำในการเปลี่ยนแปลง จนไปถึงการเป็นผู้ฝึกอบรมซิกซ์ ซิกม่า ทำให้มั่นใจได้ว่าแบล็คเบลท์และทีมงานทำงานไปในทิศทางที่ถูกต้อง

2.4 แบล็คเบลท์ (Black Belt)

แบล็คเบลท์ คือผู้ทำงานแบบเต็มเวลาให้กับโครงการซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งถือได้ว่าเป็นตำแหน่งที่มีบทบาทสำคัญที่สุดหรือถือเป็นกระดูกสันหลังของวัฒนธรรมในซิกซ์ ซิกม่า เลยก็ว่าได้ แบล็คเบลท์มีหน้าที่เป็นผู้นำของทีมและโครงการเป็นผู้ที่ได้รับการเข้าฝึกอบรมจนมีความเชี่ยวชาญในเรื่องเครื่องมือและเทคนิคต่าง ๆ ของซิกซ์ ซิกม่า และอุทิศตนเพื่อคิดถึงการเปลี่ยนแปลง โดยมีเป้าหมายสำคัญคือ การลด/กำจัดข้อบกพร่องของเสียในกระบวนการ แบล็คเบลท์จะเป็นผู้ที่ผลักดันทฤษฎีให้กลายไปสู่ภาคปฏิบัติ โดยปฏิบัติตามขั้นตอน DMAIC แบล็คเบลท์จะทำงานเคียงข้างทีมในการทำโครงการซิกซ์ ซิกม่า มีความรับผิดชอบเบื้องต้นในการทำให้ทีมเริ่มทำงานสร้างความมั่นใจให้สมาชิกในทีม สังเกตการณ์และเข้าฝึกอบรม บริหารการเปลี่ยนแปลงภายในทีม และผลักดันโครงการไปสู่ความสำเร็จ ซึ่งแบล็คเบลท์จะต้องมีทักษะในหลาย ๆ ด้าน มีความสามารถในการแก้ไขปัญหา ความสามารถในการรวบรวมข้อมูล ความเข้าใจอย่างเป็นระบบความเป็นผู้นำ ประสบการณ์ในการเป็นโค้ชและมีความเชี่ยวชาญด้านการบริหารโครงการ ทักษะของแบล็คเบลท์ที่จำเป็น

2.5 กรีนเบลท์ (Green Belt)

กรีนเบลท์ คือผู้ที่ได้รับการฝึกฝนทักษะทาง Six Sigma ซึ่งโดยปกติแล้วจะอยู่ในระดับเดียวกับแบล็คเบลท์ แต่ทำงานแบบไม่เต็มเวลา (Part Time) โดยจะเป็นผู้ช่วยแบล็คเบลท์ ในการประยุกต์ใช้เครื่องมือซิกซ์ ซิกม่า เพื่อตรวจสอบและแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ในโครงการภายในงานที่ดำเนินอยู่ เป็นปกติประจำวัน ช่วยในการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ การทดสอบการทดลอง หรือนำไปสู่งานสำคัญอื่น ๆ ในโครงการ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ช่วยให้เกิดการแลกเปลี่ยนความรู้ระหว่างกันและถูกนำไปใช้

2.6 ผู้รับผิดชอบกระบวนการ (Process Owner)

ผู้รับผิดชอบกระบวนการ คือแชมป์เปี้ยนหรือสปอนเซอร์ที่ต้องรับผิดชอบงานตั้งแต่เริ่มจนจบ แต่จะไม่เข้าไปยุ่งกับทีมที่ทำการปรับปรุง แต่จะคอยดูแลช่วยเหลืออยู่ข้างบน ผู้นำทีม/ผู้นำโครงการ (Project Leader) ความรับผิดชอบหลักคือ การทำงานและประเมินของโครงการ ส่วนมากผู้นำทีมจะมุ่งความสนใจไปที่การปรับปรุงกระบวนการหรือการออกแบบให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า การดำเนินการวัดและการบริหารกระบวนการ จะต้องเป็นผู้ที่ประดับประคองโครงการให้มีทิศทางที่ถูกต้อง มีความก้าวหน้าอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้แล้ว หน้าที่สำคัญอื่น ๆ คือ

2.6.1 ทบทวนและแจ้งเหตุผลของโครงการให้ชัดเจนกับสปอนเซอร์

2.6.2 จัดทำและปรับแผนการปฏิบัติงานให้ทันต่อเหตุการณ์

2.6.3 เลือกที่จะช่วยเหลือลูกทีมที่จำเป็น

2.6.4 ระบุและจัดหาทรัพยากรและสารสนเทศที่ต้องใช้

2.6.5 ติดตามโครงการให้เป็นไปตามกำหนดการที่ควรจะเป็น รักษาทิศทางความก้าวหน้าให้ไปถึงเป้าหมาย

2.6.6 ทำงานร่วมกับผู้จัดการของแต่ละแผนกหรือผู้รับผิดชอบกระบวนการนั้น ๆ

2.6.7 จัดทำเอกสารผลการทำงานและนำเสนอโครงการ

2.7 สมาชิกในทีม (Team Member)

ทีมจะเป็นตัวผลักดันโครงการให้ดำเนินไป สมาชิกของทีมเป็นผู้ที่ใช้ความคิดและลงมือทำอยู่เบื้องหลังการวัด การวิเคราะห์และการปรับปรุงกระบวนการ สมาชิกของทีมยังเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยให้โครงการ Six Sigma มีความแข็งแกร่ง

2.8 หน้าที่/ตำแหน่งสำคัญในซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)

นอกจากจะต้องมีบทบาทที่เพิ่มขึ้นมาใหม่ดังที่กล่าวไปแล้วนั้น การดำเนินโครงการ Six Sigma จะต้องมีการตั้งทีมในการดำเนินโครงการในเรื่องที่เลือกมา จำนวนสมาชิกที่เหมาะสมในการจัดตั้งทีมในการดำเนินงานนั้นคือ 5-6 คน แต่ทั้งนี้ก็แล้วแต่ความเหมาะสมของขนาดองค์กรด้วย ซึ่งการตั้งทีมขึ้นมาดำเนินโครงการ Six Sigma จึงทำให้เกิดตำแหน่งหรือหน้าที่ความรับผิดชอบขึ้นมา ได้แก่

2.8.1 โค้ช Six Sigma (Coach)

2.8.2 ผู้รับผิดชอบกระบวนการ (Process Owner)

2.8.3 ผู้นำทีม/ผู้นำโครงการ (Project Leader)

2.8.4 สมาชิกในทีม (Team Member)

2.9 โค้ชซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma Coach)

เป็นผู้เตรียมคำแนะนำและความช่วยเหลือทีมที่ทำหน้าที่ปรับปรุงงานของโค้ชเริ่มตั้งแต่ด้านสถิติไปจนถึงการบริหาร รวมถึงกลยุทธ์ในการออกแบบกระบวนการ โค้ชจะเป็นผู้เชี่ยวชาญ ด้านเทคนิคและมีประสบการณ์ในระดับธุรกิจ การกำหนดบทบาทและการแก้ปัญหาในระดับที่ซับซ้อน นอกจากความช่วยเหลือทางด้านเทคนิคแล้ว โค้ชยังมีหน้าที่ ดังนี้

2.9.1 การสื่อสารระหว่างสปอนเซอร์ของโครงการและกลุ่มผู้นำ

2.9.2 จัดทำตารางกำหนดการของโครงการ

2.9.3 จัดการกับการต่อต้านและการขาดการประสานงานของคนในองค์กร

2.9.4 ประเมินศักยภาพและพิสูจน์ผลลัพธ์ที่ได้

2.9.5 แก้ปัญหาความขัดแย้งและอคติของสมาชิกในทีม

2.9.6 รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลของกิจกรรมของทีม

3. ขั้นตอนในเทคนิคซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)

ขั้นตอนการทำงานที่กล่าวถึงต่อไปนี้ จัดอยู่ในระดับกระบวนการ (Process Level) เน้นไปที่การแก้ปัญหาในกระบวนการเป็นหลัก ผู้ที่มีบทบาทสำคัญในส่วนนี้ได้แก่ คณะทำงานที่เรียกว่าทีม Six Sigmaหรือทีม DMAICโดยมีแบล็คเบลท์ มีหน้าที่ในการเฝ้าพินิจถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการ แล้วดำเนินการแก้ไข เพื่อมิให้ปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นมาอีก หรือหาทางป้องกันปัญหาที่มีแนวโน้มว่าจะเกิด มีรายละเอียดโดยสังเขปเกี่ยวกับขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนการเลือกปัญหา (Define Phase: D)

ในขั้นตอนของการเลือกปัญหาจะเริ่มจากการกำหนดตัวลูกค้าและศึกษาความต้องการของลูกค้า อาจได้จากการทำการสำรวจความต้องการ หรือความพึงพอใจของลูกค้า หรือจากข้อมูลการร้องเรียนของลูกค้า ศึกษากระบวนการทำงานหลักขององค์กร ผู้ที่รับผิดชอบในระดับบริหาร ของแต่ละกระบวนการนั้น ๆ แบล็คเบลท์ (Black Belt) และผู้ที่รับผิดชอบในระดับบริหารของแต่ละกระบวนการซึ่งจะกลายมาเป็นแชมเปี้ยน (Champion) ของโครงการจะร่วมกันนำความต้องการของลูกค้ามากระจายเป็นปัจจัยคุณภาพที่สำคัญของแต่ละกระบวนการ ปัญหาคุณภาพต่าง ๆ ที่สำคัญ และตรงกับความต้องการของลูกค้า รวมถึงปัญหาที่ไม่สามารถแก้ไขได้ในหน่วยงานปกติก็จะถูกจัดเรียงลำดับความสำคัญและถูกเลือกให้ดำเนินการแก้ไขปรับปรุง เมื่อแบลคเบล (Black Belt) และแชมเปี้ยน (Champion) สามารถกำหนดโครงการที่จะดำเนินการแก้ไขปรับปรุงได้แล้ว ก็จะร่วมกันกำหนดขอบเขตการดำเนินงานและคณะทำงานต่อไป

3.2 ขั้นตอนการวัด (Measure Phase: M)

ในขั้นตอนนี้แบล็คเบลท์ (Black Belt) และคณะทำงานจะร่วมกันกำหนดแนวทางในการวัดประสิทธิภาพของกระบวนการ ทำการศึกษากระบวนการโดยละเอียด กำหนดปัจจัยที่ได้รับจากกระบวนการ หรือตัวแปรตอบสนองของกระบวนการ (Key Process Output Variable : KPOV : Ys) และปัจจัยนำเข้าต่าง ๆ ของกระบวนการ หรือตัวแปรเข้าของกระบวนการ (Key Process Input Variable : KPIV : Xs) ที่ส่งผลต่อ Ys ตามสมการ $Y = f(X1, X2, \ldots, XN)$ กำหนดแนวทางในการวัดปัจจัยต่างๆ ทำการวิเคราะห์ระบบการวัด หากผลการวิเคราะห์ระบบการวัดมีความผันแปรมากเกินกว่าที่กำหนด จะต้องทำการปรับปรุงระบบการวัดให้ดีเสียก่อน เมื่อยอมรับได้แล้วจึงทำการศึกษาประสิทธิภาพการดำเนินงานในปัจจุบัน กำหนดปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ ที่น่าจะส่ง

ผลกระทบต่อระดับคุณภาพของ Output ของกระบวนการ เพื่อจะดำเนินการศึกษาและวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา (Analyze Phase: A)

ขั้นตอนนี้จะนำปัจจัยนำเข้าที่สำคัญของกระบวนการต่าง ๆ มาทำการวิเคราะห์ เพื่อดูว่าปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้มีผลต่อกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงของกระบวนการ หากปัจจัยใดที่ทดสอบแล้วพบว่ามีผลต่อตัวแปรตอบสนองของกระบวนการ (KPOV) ก็จะนำไปดำเนินการในขั้นตอนต่อไป ซึ่งจากการดำเนินงานในขั้นตอนนี้ จะทำให้เข้าใจกระบวนการมากขึ้นและมาตรฐานการทำงานต่าง ๆ จะถูกทบทวนและปรับปรุงใหม่ ตัวแปรต่าง ๆ จะถูกกำหนดและศึกษาและทำให้ทราบว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองของกระบวนการ (KPOV) อย่างมาก ซึ่งจะเป็นปัจจัยที่เหมาะสมที่จะนำไปทำการแก้ไขต่อไป

3.4 ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase: I)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการออกแบบและทำการทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างตัวแปรตอบสนองของกระบวนการ (KPOV) กับปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองของกระบวนการ (KPOV) นั้น ๆ และหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยที่จะทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองของกระบวนการ (KPOV) ที่ดีที่สุด จากนั้นจะดำเนินการวิเคราะห์ระบบการวัดของแต่ละปัจจัย เพื่อทำให้การดำเนินการควบคุมในขั้นตอนถัดไปเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

3.5 ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase: C)

เมื่อกระบวนการผลิตได้รับการปรับปรุงแล้ว ขั้นตอนนี้ก็จะเป็นวิธีการออกแบบวิธีการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ เพื่อให้พนักงานสามารถควบคุมได้ด้วยตนเอง แล้วทำการประเมินความสามารถของกระบวนการผลิตอีกครั้ง เพื่อดูว่าหลังจากปรับปรุงแล้วสามารถทำได้ตามเป้าหมายหรือไม่ หากความสามารถของกระบวนการยังไม่ดี ก็จะต้องย้อนกลับไปทำตามขั้นตอนก่อนหน้านี้อีกครั้ง นอกจากนี้แล้วจะต้องมีการประเมินผลการดำเนินงาน โดยวัดจากระดับคุณภาพที่เปลี่ยนแปลงไป และประเมินความสามารถในการลดต้นทุน หรือความพึงพอใจของลูกค้าที่เปลี่ยนไปหลังการปรับปรุงกระบวนการ

4. เครื่องมือที่สำคัญสำหรับซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma Tools)

ซิกซ์ ซิกม่าจำเป็นจะต้องอาศัยการคิดอย่างเป็นระบบ (Systematic Thinking) ตัดสินใจบนพื้นฐานข้อมูลที่ถูกต้องและ เชื่อถือได้ โดยที่ข้อมูลเหล่านี้จะอยู่ในรูปของ สารสนเทศเพื่อการจัดการ (Management Information) ที่เป็นประโยชน์ในการตัดสินใจทั้งด้วยวิธีทางตรรกะหรือทาง

สถิติสำหรับเครื่องมือที่สำคัญและ จำเป็นมีอยู่จำนวนมาก ทีมงานสามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงานวิจัยนั้น ๆ ในที่นี้จะขอนำเสนอเครื่องมือที่เห็นว่าจำเป็นในการทำวิจัยนี้

4.1 เครื่องมือสำหรับสร้างแนวคิดและจัดเก็บข้อมูล

ได้แก่เครื่องมือที่จะช่วยให้ทีมงานมีแนวความคิดที่จะทำกิจกรรม เห็นปัญหาต่าง ๆ ที่ควรจะแก้ไขปรับปรุง ความรุนแรงของผลกระทบ รวมทั้งวิธีที่จะได้ข้อมูลของปัญหานั้น ๆ

4.1.1 การระดมสมอง (Brainstorming)

จุดเริ่มต้นของการทำกิจกรรมซิกซ์ ซิกม่า มักจะเริ่มจากการระดมสมองหรือ การสร้างให้เกิดแนวความคิด วัตถุประสงค์พื้นฐานของการระดมสมองคือ การทำรายการทางเลือกของงานหรือทางแก้ไขตามปกติ คือจะเป็นการย่อรายการที่ตอนแรกจัดทำไว้ยาวมาก เช่น ทีมอาจระดมสมองว่าลูกค้าแบบใดที่ พวกเขาจะทำการสัมภาษณ์ หรือคำถามใดที่จะใช้ถามต่อมาทีมอาจใช้การระดมสมองอีกครั้งเพื่อเขียนรายการมาตรการที่เป็นไปได้ ผลที่จะตามมาจะได้แนวทางแก้ไขปัญหาอย่างสร้างสรรค์ปัญหาของการทำการระดมสมอง คือ ทุกคนมักจะคิดว่าทุกคนแสดงความคิดเห็นได้เป็นอย่างดี ในความเป็นจริงแล้วการทำการระดมสมองนั้นจำต้องมี การทำงานและมีวินัยเพื่อให้มีความคิดสร้างสรรค์ในการทำอย่างแท้จริง

4.1.2 แผนผังความสัมพันธ์ (Affinity Diagramming)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการระดมความคิดถึงเรื่องหัวข้อปัญหาใด ๆ อันหนึ่งอย่างอิสระ ความคิดต่าง ๆ จะถูกเขียนลงบนแผ่นกระดาษเล็ก ๆ แล้วจับมาเรียงรวบรวมใหม่ให้เป็นหมวดหมู่ เพื่อที่จะแสดงให้เห็นถึงความหมายที่มีอยู่ร่วมกัน หรือการมีความสัมพันธ์กันเป็นหมวดหมู่ หรือเรื่องราวเดียวกัน ดังเช่นความหมายของคำว่า “Affinity” ที่แปลว่า Natural Liking

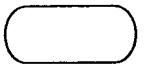
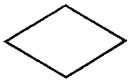
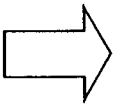
4.1.3 การลงคะแนนเสียงแบบพหุ (Multivoting)

ทีมจะใช้การลงคะแนนเสียง เพื่อทำให้รายการของความคิดหรือ ทางเลือกมีน้อยลง จะทำภายหลังจากการทำการระดมสมองแล้ว ผู้ร่วมทีมแต่ละคนมีสิทธิ์ในการลงคะแนนเสียงตามที่กำหนดไว้ ทางเลือกที่ได้รับการลงคะแนนเสียงสูงสุดจะได้รับการวิเคราะห์และพิจารณาต่อไป

4.1.4 แผนภูมิการไหล (Flow Chart/Process Map)

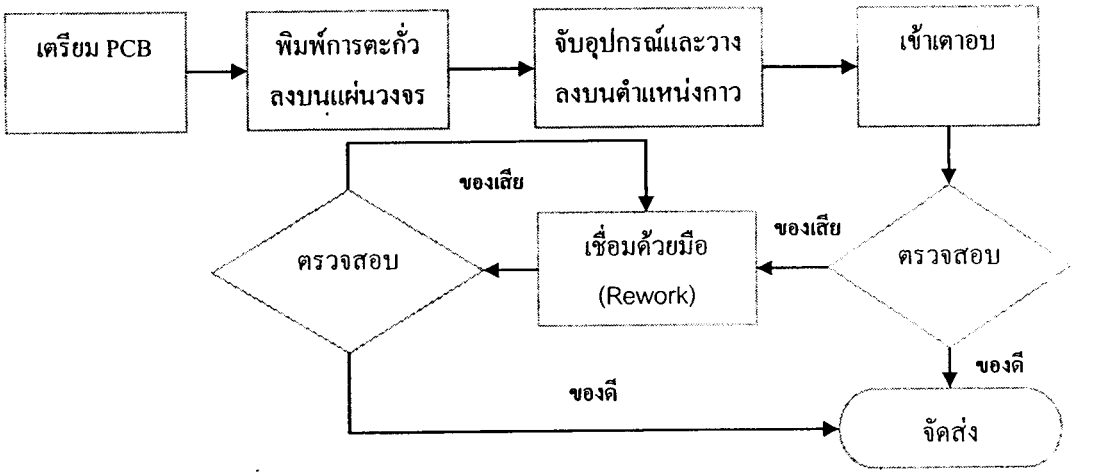
แผนภูมิการไหล ถูกใช้ในการแสดงรายละเอียดของกระบวนการ จะรวมถึงงานและวิธีการปฏิบัติ ทางเลือกอื่น ๆ จุดในการตัดสินใจและวัฏจักรการทำงานใหม่ แผนภูมิการไหลจะถูกนำมาใช้เพื่อทำให้เห็นภาพกระบวนการที่กำลังดำเนินอยู่ (As-is) หรือใช้แสดงให้เห็นถึงกระบวนการ หรือวิธีการที่ควรจะเป็น (Should-be) ระดับของรายละเอียดแผนภูมินั้น จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ ผู้เชี่ยวชาญหลายคนในปัจจุบันใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ช่วยในการวาด

แผนภูมินี้ สัญลักษณ์มาตรฐานในการทำแผนผังการไหล ดังภาพที่ 2-11 ตามที่มีอยู่ใน Microsoft Office™ หรือ Visio™ หรือ iGrafx มีดังนี้

สัญลักษณ์มาตรฐาน	ความหมาย
	เริ่มต้น / สิ้นสุด
	กระบวนการ
	การตัดสินใจ
	การขนส่ง
	ข้อมูล

ภาพที่ 2-11 การใช้สัญลักษณ์มาตรฐานในการทำแผนผังการไหล

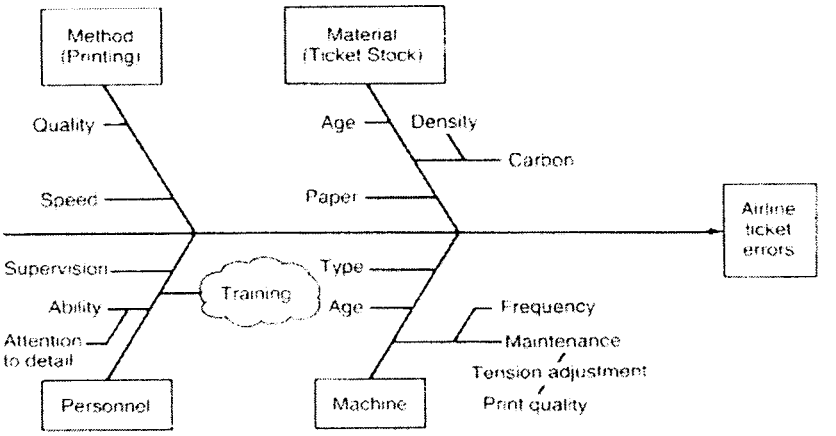
ภาพที่ 2-12 เป็นตัวอย่างการประยุกต์ใช้สัญลักษณ์มาตรฐานในการทำแผนภูมิการไหล



ภาพที่ 2-12 ตัวอย่างการใช้สัญลักษณ์มาตรฐานในการทำแผนภูมิการไหล

4.1.5 แผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagram) หรือภาพแผนผังแสดงมูลเหตุและผลที่เกิดขึ้น (Cause and Effect Diagram)

เป็นวิธีการระดมสมองอย่างเป็นระบบ เพื่อใช้ในการระบุสาเหตุ (Causes) ที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่อาจจะส่งผลต่อปัญหา (Effect) ที่กำลังพิจารณา แผนภูมิก้างปลาถูกนำมาใช้ครั้งแรกโดยนาย อิชิกาวา (Ishikawa) ซึ่งเป็นวิศวกรชาวญี่ปุ่น ในช่วงทศวรรษที่ '40's เขาต้องการเครื่องมือทางกราฟอย่างง่าย ๆ ที่จะช่วยแสดงความสัมพันธ์ ความเชื่อมโยงกันระหว่างอินพุทกับเอ้าท์พุทของกระบวนการได้มีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงแผนภูมิก้างปลาอีกหลายครั้งในช่วงทศวรรษที่'50's โดยมากแล้วจะเป็นการเพิ่มความซับซ้อนเข้าไปที่ตัวแผนภูมิ ดังภาพที่ 2-13



ภาพที่ 2-13 ตัวอย่างแผนภูมิก้างปลา

4.1.6 ตารางเมตริกซ์ของมูลเหตุและผลที่เกิดขึ้น (Cause and Effect Matrix)

เป็นวิธีการระดมสมองอย่างเป็นระบบ เพื่อใช้ในการจัดเรียงรายการของสาเหตุ (Causes) ตามลำดับที่ต้องการจะเน้น ซึ่งส่วนใหญ่แล้วมักจะวัดเรียงไปตามลำดับความสำคัญที่จะมีผลต่อผลผลิตที่จะเกิดขึ้น (KPOVs)

ตารางเมตริกซ์ของมูลเหตุและผล ทำโดยผลลัพธ์ที่ต้องการอยู่แถวบน ตัวเลขที่สูงจะแสดงถึงความสำคัญที่มาก ในแต่ละแถวจะแสดงตัวแปรจากผังกระบวนการ หรือสาเหตุจากแผนภูมิก้างปลา ส่วนจุดตัดของแต่ละแถวกับแต่ละคอลัมน์ จะใช้สำหรับป้อนค่าระดับความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อยู่ในแถว (นอน) และคอลัมน์ ถ้าหากมีความสัมพันธ์กันมาก น้ำหนักที่ให้นี้ก็จะมีค่าสูงขึ้น อาทิเช่น

0 = ไม่มีความสัมพันธ์

1 = มีความสัมพันธ์น้อย

3 = มีความสัมพันธ์ปานกลาง

9 = มีความสัมพันธ์สูง

จำนวนค่าของความสัมพันธ์ที่ป้อน (0, 1, 3 หรือ 9) ในแต่ละช่องตามแถวนอน เมื่อนำมาคูณกับค่าความสำคัญในแถวบน รวมผลคูณที่ได้ไว้ในช่องขวามือสุด ก็จะเป็นการบ่งบอกถึงความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อผลผลิต ค่าที่มีคะแนนในระดับสูงสุด จะเป็นตัวแปรหลักที่จะนำเข้าสู่กระบวนการผลิต (KPIVs) ดังภาพที่ 2-14

ตารางเมตริกซ์ของมูลเหตุและผลที่เกิดขึ้น (Cause and Effect Matrix)

สาเหตุ (causes) KPIVs

ผลกระทบ (Effect) KPOVs

ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อผลผลิต

			1	2	3	4	5	
			Connection Resistance	Components Aligned	Correct Components	Contam.-free PCB	Solder Joint Reliability	
		Customer Priority	6	7	9	5	8	
	Process Step	Process Input						Total
1	Clean and Reg. Mask	Alignment Features	0	3	0	0	0	21
2		Alignment Method	0	9	0	0	0	63
3								
4	Register PCB	Alignment Features	0	3	0	0	0	21
5		Alignment Method	0	9	0	0	0	63
6								
7	Print Solder Paste	Paste Viscosity	3	0	0	3	9	105
8		Room Humidity	1	0	0	0	1	14
9		Squeegee Material	1	0	0	0	1	14
10		Squeegee Speed	3	0	0	0	9	90
11		Screen Cleanliness	3	0	0	2	3	52
12		Screen Registration	0	3	0	0	0	21
13		PCB Registration	0	9	0	0	0	63

ภาพที่ 2-14 ตัวอย่างตารางเมตริกซ์ของมูลเหตุและผลที่เกิดขึ้น (Cause and Effect Matrix)

4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

หลังจากสามารถสร้างความคิดได้แล้ว ก่อนที่จะดำเนินงานต่อไปได้ต้องมีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหานั้น ๆ เพื่อที่จะสามารถทำการวิเคราะห์ต่อไป เครื่องมือที่จำเป็นอีกอย่างหนึ่งคือเครื่องที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังจะได้ยกตัวอย่างที่สำคัญ ๆ ต่อไปนี้

4.2.1 การนิยามวิธีการปฏิบัติการ

การวัดจะไม่มีความหมายถ้าขาดคนนับและ/หรือขาดการแบ่งกลุ่มความคิดต่าง ๆ การนิยาม วิธีการปฏิบัติการ (Operational Definition) คือการกำหนดคำอธิบายที่ชัดเจนอย่างละเอียดและสามารถเข้าใจได้ของวิธีการที่จะตีความข้อมูลหรือเหตุการณ์ในกระบวนการทำให้คุณสามารถรวบรวมข้อมูลอย่างถูกต้องตรงกันและไม่จบการทำงานลงด้วยการเปรียบเทียบ สิ่งที่แตกต่างกัน

ตัวอย่างเช่น ในการวัดเวลาที่ใช้ในการรอในสายการผลิตการนิยามวิธีการปฏิบัติการจะบอกคุณได้อย่างถูกต้องว่าเมื่อใดที่จะเริ่มหรือหยุดนาฬิกา ดังนั้นจึงทำให้คุณได้ข้อมูลที่มีความหมายชัดเจนไม่คลุมเครือ

4.2.2 วิธีการเสียงของลูกค้า

เมื่อมีลูกค้าเป็นจุดรวมของกิจกรรมและวัตถุประสงค์ของ Six Sigma เทคนิคต่าง ๆ ในแง่มุมที่กว้างขวาง ทำให้องค์กรสามารถรวบรวมปัจจัยนำเข้าของลูกค้าภายนอกสามารถประเมินและจัดลำดับความสำคัญของความต้องการ และจัดหาข้อมูลตอบรับกลับมาสู่องค์กรที่ต่อเนื่อง เครื่องมือแบบเสียงของลูกค้าจะรวมถึงกลุ่มตัวอย่างหลาย ๆ กลุ่ม วิธีการทำการวิจัยการตลาดที่ซับซ้อน แนวความคิดในการวิเคราะห์ความต้องการและเทคโนโลยีที่ใหม่กว่า เช่น คลังเก็บข้อมูล (Data Ware-House) และดาต้ามายน์นิ่ง (Data Mining)

4.2.3 ใบตรวจสอบและตารางงาน

ใบตรวจสอบ (Check Sheets) คือ รูปแบบที่ใช้ในการรวบรวมและจัดการกับข้อมูลใน ทางอุดมคติใบตรวจสอบจะต้องถูกออกแบบโดยแบล็คเบลท์และ/หรือทีมงาน โดยมีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ คือ

- เพื่อให้มั่นใจว่าข้อมูลที่เก็บไว้คือข้อมูลที่ถูกต้องโดยได้รวบรวมข้อเท็จจริงต่าง ๆ ที่จำเป็น เช่น เหตุการณ์นั้นเกิดเมื่อใด เป็นจำนวนเท่าใดและลูกค้ารายใด เราเรียกข้อเท็จจริงเหล่านี้ว่า ปัจจัยแบบเป็นลักษณะชั้น (Stratification Factors)

- ทำให้การรวบรวมข้อมูลมีความง่ายที่สุดที่จะเป็นไปได้สำหรับผู้รวบรวม ใบตรวจสอบสามารถใช้ได้หลากหลายรูปแบบแตกต่างกันไปอาจจะเป็นตารางง่าย ๆ ไปจนถึงการสำรวจโดยใช้แผนผังต่าง ๆ สามารถใช้ในการบ่งชี้ความผิดพลาดหรือความเสียหายที่เกิดขึ้น ตารางาน (Spreadsheets) คือ ที่เก็บข้อมูลที่ได้จากใบตรวจสอบ ข้อมูลจะถูกรวบรวมและจัดการไว้ตารางงานที่ได้รับการออกแบบอย่างดีจะทำให้การใช้ข้อมูลง่ายมากขึ้น

4.2.4 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis) (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2542)

ขั้นตอนนี้ถือเป็นขั้นตอนที่ใหญ่ครอบคลุมวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้เพื่อทำให้มั่นใจว่าการวัดนั้นมีความแม่นยำและ น่าเชื่อถือ เราได้ตั้งข้อสังเกตไว้ว่าการวัด โดยตัวของมันเองสามารถเป็นเหตุของประเด็นต่าง ๆ ในกระบวนการ วิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement Systems Analysis: MSA) จะช่วยในการบ่งชี้และขจัดปัญหาในการวัด เช่น วิธีการแบบการวิเคราะห์ระบบการวัด วิธีการหนึ่งเรียกว่าการวัดความสามารถในการทำซ้ำและความสามารถในการผลิตซ้ำ หรือเรียกว่าเกจอาร์แอนด์อาร์ (Gage R&R) วิธีการแบบการวิเคราะห์ระบบการวัดวิธีนี้ ช่วยในการวัด

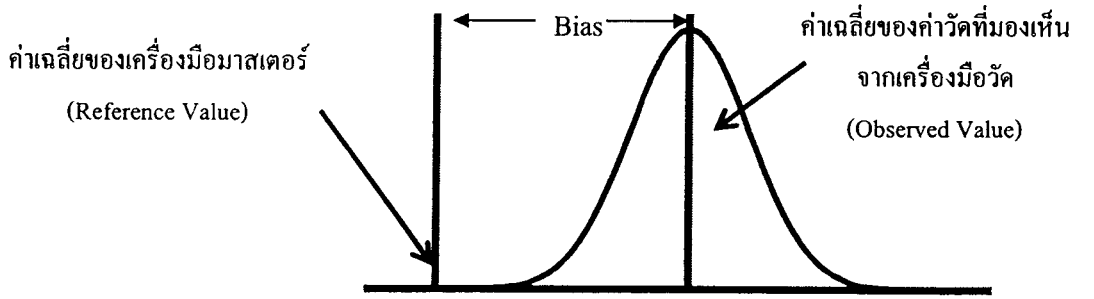
ความมีประสิทธิภาพของเครื่องวัดหรือไม้บรรทัดและเครื่องมือในการวัดแบบอื่น ๆ การตรวจสอบผู้ที่ทำการวัดถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของวิธีการแบบการวิเคราะห์ระบบ ๆ การวัดด้วย

ในการพิจารณาความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากสาเหตุธรรมชาติของความผันแปรจะมีความคลาดเคลื่อนอยู่ 2 ประเภทคือ ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ ซึ่งเกิดจากคุณสมบัติด้านความถูกต้อง(Analysis) ของระบบการวัดและความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม ซึ่งหมายถึงความคลาดเคลื่อนที่ข้อมูลกระจายอย่างสุ่มรอบค่าที่แท้จริงค่าหนึ่ง การวิเคราะห์ระบบการวัดนี้มีจุดประสงค์ที่จะหาแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัดด้วยการจำแนกค่าที่วัดได้ออกเป็นค่าจริง ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ ความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัด ความคลาดเคลื่อนจากพนักงานวัด ความคลาดเคลื่อนอื่น ๆ เนื่องจากความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีทั้งปริมาณที่ควบคุมได้และควบคุมไม่ได้ ดังนั้นจึงต้องทำการควบคุมปริมาณที่ควบคุมก่อน ได้แก่ความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาด ด้วยการดำเนินการจัดมาตรฐานให้แก่ระบบการวัด จากนั้นจึงดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือเพื่อกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ หลังจากนั้นจะทำการลดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มด้วยการประเมินแหล่งของความผันแปร ว่ามาจากเครื่องมือวัด พนักงานวัด หรือสภาพแวดล้อมที่คาดว่าจะมีผลต่อระบบการวัด

การวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบการวัดจะต้องทำการประเมินคุณสมบัติ 4 ประการคือ

- ค่าไบอัส (Bias)

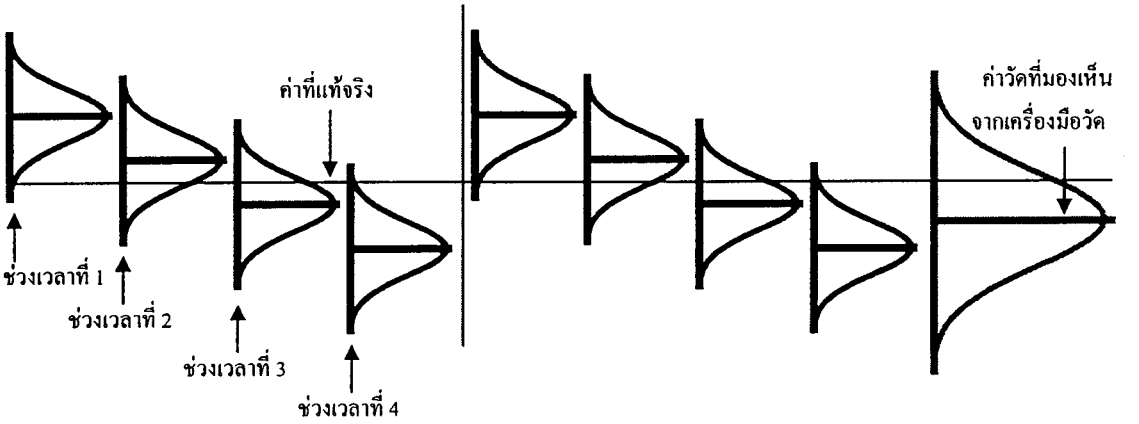
ค่าไบอัส หมายถึงความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากการวัดค่าอ้างอิง หรือค่ามาสเตอร์ โดยค่ามาสเตอร์ หมายถึงค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดซ้ำด้วยเครื่องมือวัดที่มีความแม่นยำสูงกว่าภายใต้สภาวะควบคุมหรือห้องปฏิบัติการสอบเทียบและต้องสามารถสอบกลับได้ ซึ่งเกณฑ์ของค่าไบอัสควรจะมีค่าน้อยกว่า 10% เมื่อเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ ดังภาพที่ 2-15



ภาพที่ 2-15 ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่เรามองเห็นจากเครื่องมือวัดกับค่าเฉลี่ยของเครื่องมือมาสเตอร์ที่วัดชิ้นงานเดียวกัน

- ความเสถียรภาพของระบบการวัด (Stability)

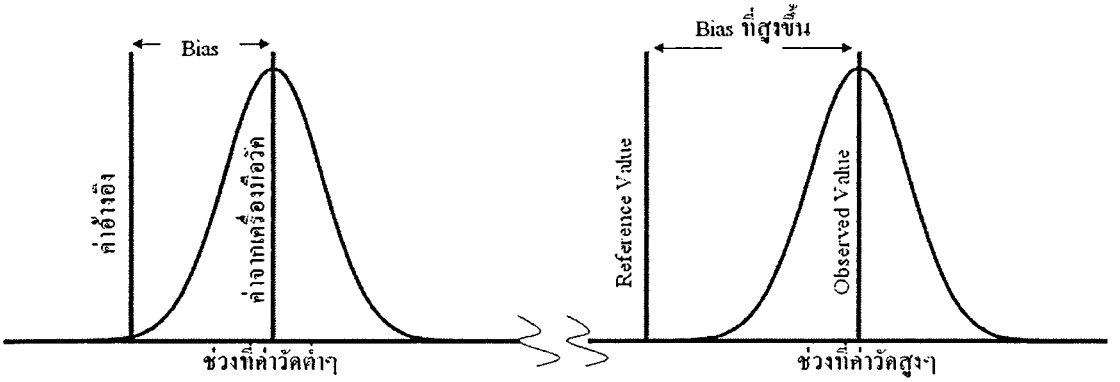
ความเสถียรภาพของระบบการวัด หมายถึงคุณสมบัติด้านอายุการใช้งานของอุปกรณ์วัดโดยพิจารณาจากความผันแปรโดยรวมในระบบการวัดที่ได้จากการวัดงานมาตราฐานหรือมาสเตอร์ชิ้นหนึ่งตลอดช่วงเวลา โดยจะทำการประเมินเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ โดยเกณฑ์ของความมีเสถียรภาพของระบบการวัดควรจะมีค่าไม่เกิน10% ดังภาพที่ 2-16



ภาพที่ 2-16 ความผันแปรของค่าวัดที่วัดได้จากชิ้นงานมาสเตอร์ชิ้นเดิม แต่วัดที่ช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

- คุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด (Linearity)

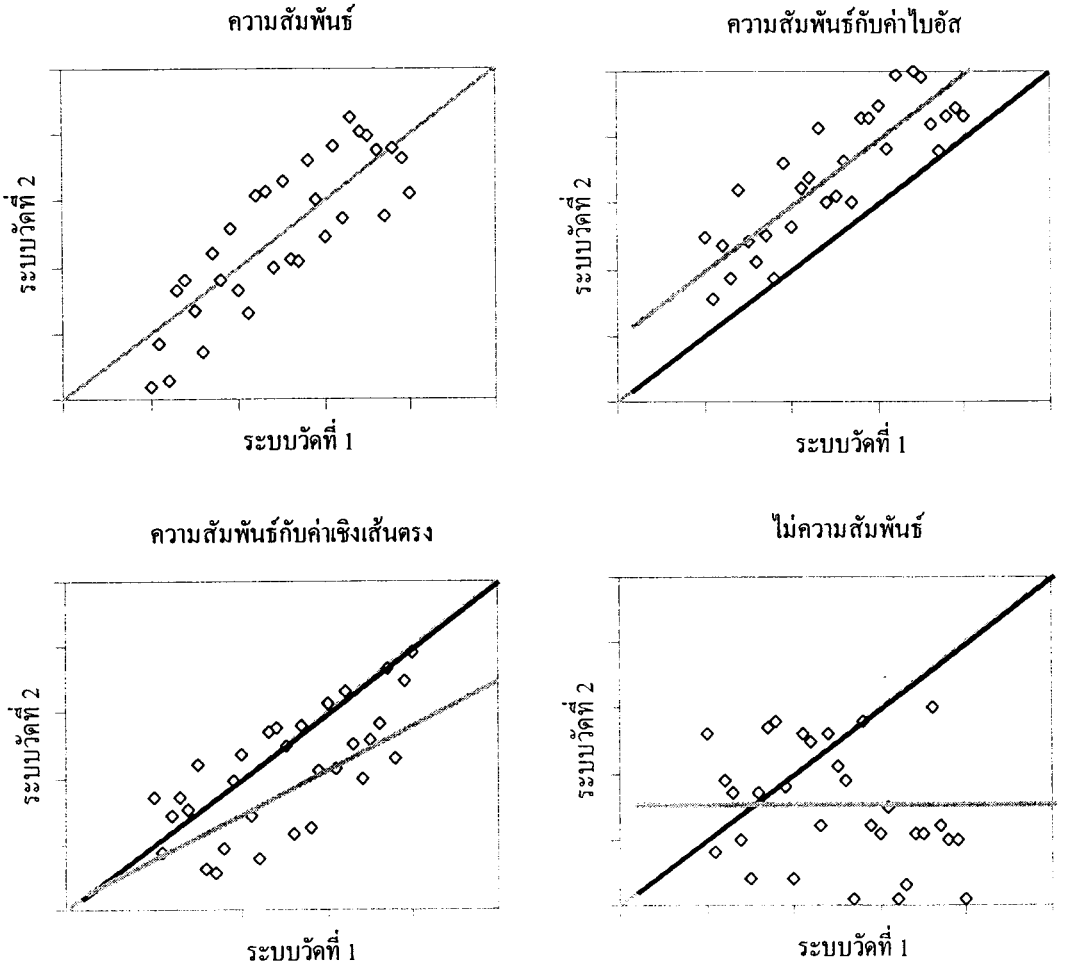
คุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด หมายถึงการที่มีค่าไบอัสของระบบการวัดค่าไม่เปลี่ยนแปลงตลอดย่านการวัด (Working Range) ของระบบการวัด ถ้าหากค่าไบอัสมีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเปลี่ยนย่านการวัด จะทำให้ความแม่นยำของค่าวัดเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยการวิเคราะห์จะทำได้โดยการทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแปรถดถอยเชิงเส้นตรงของค่ามาสเตอร์กับค่าไบอัส แล้วทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้นตรง (Linearity Index) ของระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ โดยเกณฑ์ของคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัดควรจะมีค่าไม่เกิน10% ดังภาพที่ 2-17



ภาพที่ 2-17 ค่า BIAS ของเครื่องมือวัดที่มีความแตกต่างกันไปตามช่วงหรือย่านของการวัด (ค่าวัด) ที่แตกต่างกัน

- คุณสมบัติความสัมพันธ์

คุณสมบัติความสัมพันธ์ หมายถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นของตัวแปรอิสระ 2 ตัว เช่น วิธีการวัดที่ต่างกัน 2 วิธี, หรือระบบวัดของ 2โรงงาน ในหลาย ๆ กระบวนการ การวัดคุณลักษณะใด ๆ อันหนึ่ง มักมีความต้องการใช้เครื่องมือวัดหลาย ๆ เครื่อง ปัญหาก็คือความแตกต่างที่เกิดขึ้นระหว่างเครื่องมือวัดจึงต้องปรับแต่งให้เครื่องมือวัดแต่ละตัวอ่านค่าได้เหมือนกันและเหมือนกันตลอดทุกย่านของการวัด ในบางครั้งเครื่องมือวัดจะมีค่าไบอัสตลอดทุกย่านของการวัดเท่ากัน แต่ก็มีในหลายกรณีที่ค่าค่าไบอัส จะไม่เท่ากันตลอดทุกย่านการวัด ถ้าการผลิตต้องใช้เครื่องมือวัดหลายเครื่อง ต้องทำการศึกษา ความสัมพันธ์ เพื่อดูปริมาณความผันแปรระหว่างเครื่องมือวัดและปรับปรุงแก้ไขให้ถูกต้องตามความจำเป็น โดยเกณฑ์ของคุณสมบัติความสัมพันธ์ของระบบการวัดค่า r ควรจะมีค่าไม่ต่ำกว่า 95% ดังภาพที่ 2-18

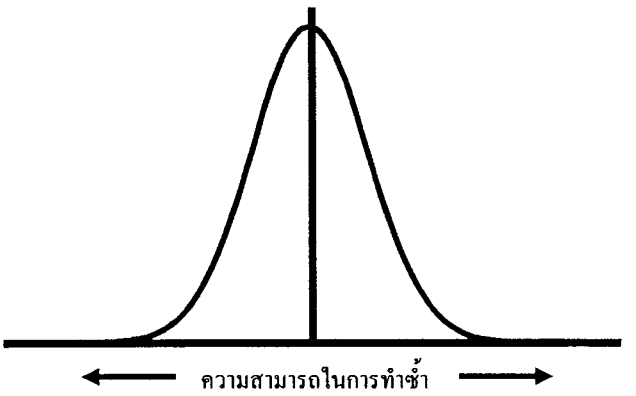


ภาพที่ 2-18 ค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นของตัวแปรอิสระ 2 ตัว

ในส่วนของการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด จะมุ่งไปที่การพิจารณา 2 ประเด็นหลักคือ คุณสมบัติเชิงสถิติของค่าวัดว่ามีความไวต่อเทคนิคการวัดของพนักงานวัดหรืออุปกรณ์วัดหรือไม่และระบบการวัดที่พิจารณาสามารถตรวจจับความผันแปรของผลิตภัณฑ์ที่แสดงถึงความผันแปรของกระบวนการผลิตหรือไม่ โดยคุณสมบัติด้านความแม่นยำของกระบวนการวัดจะสามารถจำแนกได้ 2 ประเภทคือ

- ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability)

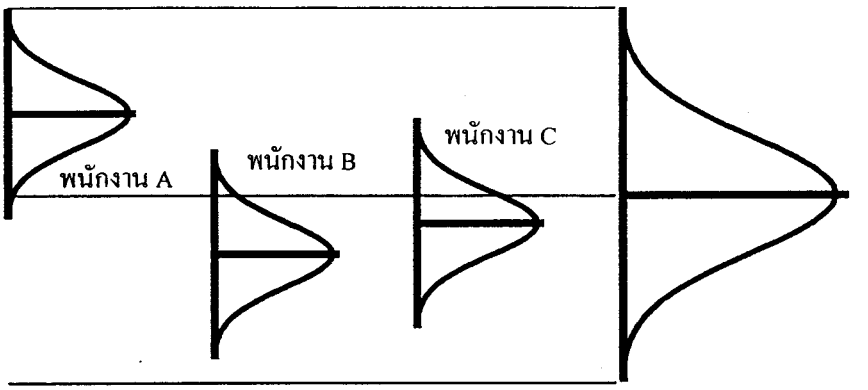
ความสามารถในการทำซ้ำ หมายถึงค่าความแตกต่างในการวัดอย่างต่อเนื่องของชิ้นงานเดียวกัน เครื่องมือเดียวกัน และพนักงานคนเดียวกัน โดยปกติจะใช้ในการประเมินค่าความผันแปรของระบบการวัดในระยะสั้น (Short Term Measurement) ดังภาพที่ 2-19



ภาพที่ 2-19 ความสามารถในการทำซ้ำ

- ความสามารถในการทำเหมือน (Reproducibility)

ความสามารถในการทำเหมือน หมายถึงค่าความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของการวัดงานชิ้นเดียวกัน เครื่องมือเดียวกัน แต่ต่างพนักงานวัด โดยจะใช้ในการประเมินความผันแปรของระบบการวัดในระยะ (Long Term Measurement) ดังภาพที่ 2-20



ภาพที่ 2-20 ความสามารถในการทำเหมือน

ในการพิจารณาความสามารถของระบบการวัดในการตรวจจับความผันแปรของสิ่งตัวอย่างนั้น จะพิจารณาจากความสามารถในการตรวจจับความแตกต่างของชิ้นงาน โดยมีแนวคิดมาจากการควบคุมคุณภาพของกระบวนการที่ไม่สามารถทำการวัดคุณลักษณะที่สนใจของชิ้นงานได้ทุกชิ้นตามการกระจายในกระบวนการผลิตได้ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องรวมคุณลักษณะชิ้นงานที่สนใจที่ไม่มีความแตกต่างกันเข้าด้วยกัน(แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญและจะ

ตีความว่าชิ้นงานที่ได้รับการวัดจะมีข้อมูลอยู่ในประเภทเดียวกัน ดังนั้นถ้าขาดคุณลักษณะในการแยกแยะความแตกต่างแล้วจะไม่สามารถนำผลการวัดมาทำการวิเคราะห์ได้ ในการพิจารณาคุณลักษณะในการแยกประเภทของความแตกต่างของข้อมูลสามารถประมาณได้จากสมการที่ 2-7 ซึ่งจำนวนประเภทของข้อมูลควรจำแนกได้ไม่ต่ำกว่า 5 ประเภท

$$\text{จำนวนประเภทของข้อมูล} = \sqrt{2}\frac{PV}{GR\&R} \qquad (2\text{-}7)$$

4.2.5 การวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการ (Process Capability Analysis) (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2544)

การวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการ หมายถึงความสม่ำเสมอของกระบวนการซึ่งจะทำการวัดได้จากค่าความผันแปรของผลที่ได้ (Output) จากกระบวนการ โดยสามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือความผันแปรโดยธรรมชาติในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ (Short Term: ST) และความผันแปรตลอดช่วงเวลา (Long Term: LT) โดยการวิเคราะห์จะทำการผ่านดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (Potential Capability Indices) และดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Performance Capability Indices)

โดยการประเมินความสามารถด้ายศักยภาพของกระบวนการจะต้องอยู่บนข้อสมมติต่าง ๆ ดังนี้

- ข้อมูลที่ศึกษาต้องเป็นข้อมูลแบบผันแปร
- ข้อมูลต้องรวบรวมจากกระบวนการผลิตในสภาพปกติของการผลิต
- ข้อมูลต้องอยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติ หรือสภาพเสถียรภาพ
- ข้อมูลที่รวบรวมได้จะต้องเป็นข้อมูลสุ่ม
- ข้อมูลที่ศึกษาจะเป็นค่าวัดที่สะท้อนถึงสาเหตุความผันแปรจากกระบวนการ

ดัชนีความหมายด้านศักยภาพของกระบวนการในระยะสั้นและระยะยาว ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ C_p และ P_p ตามลำดับ เป็นการเปรียบเทียบระหว่างความคลาดเคลื่อนอนุโลม หรือข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์กับความผันแปรของกระบวนการ โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$C_P = \frac{USL\text{-}LSL}{6\hat{\sigma}_{ST}} \qquad (2\text{-}8)$$

$$P_P = \frac{USL\text{-}LSL}{6\hat{\sigma}_{LT}} \qquad (2\text{-}9)$$

สำหรับดัชนีความหมายทางด้านสมรรถนะของกระบวนการในระยะสั้นและระยะยาว จะแทนด้วยสัญลักษณ์ Cpk และ Ppk ตามลำดับ โดยจะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกระบวนการกับความคลาดเคลื่อนอนุโลมหรือค่ากำหนดเฉพาะของกระบวนการ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$C_{PK}=\min\left[\frac{USL-\bar{X}}{3\hat{\sigma}_{ST}}-\frac{\bar{X}-LSL}{3\hat{\sigma}_{ST}}\right] \quad (2\text{-}10)$$

$$P_{PK}=\min\left[\frac{USL-\bar{X}}{3\hat{\sigma}_{LT}}-\frac{\bar{X}-LSL}{3\hat{\sigma}_{LT}}\right] \quad (2\text{-}11)$$

ถ้ากระบวนการมีศักยภาพ ดัชนีความสามารถทางด้านศักยภาพและความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการจะมีค่าสูง โดยทั่วไปควรจะมีค่าไม่ต่ำกว่า 1.33 หรือ 4σ ของกระบวนการ

4.3 เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์กระบวนการและข้อมูล

เพื่อสามารถมองเห็นภาพรวมของข้อมูลและ ง่ายต่อการวิเคราะห์ หลังจากสามารถสร้างวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลมาได้เรียบร้อยแล้วคือ เครื่องมือที่ใช้ช่วยวิเคราะห์ข้อมูล ดังจะได้ยกตัวอย่าง ที่สำคัญ ๆ ได้แก่แผนภาพต่าง ๆ คือ

4.3.1 การวิเคราะห์การไหลของกระบวนการ

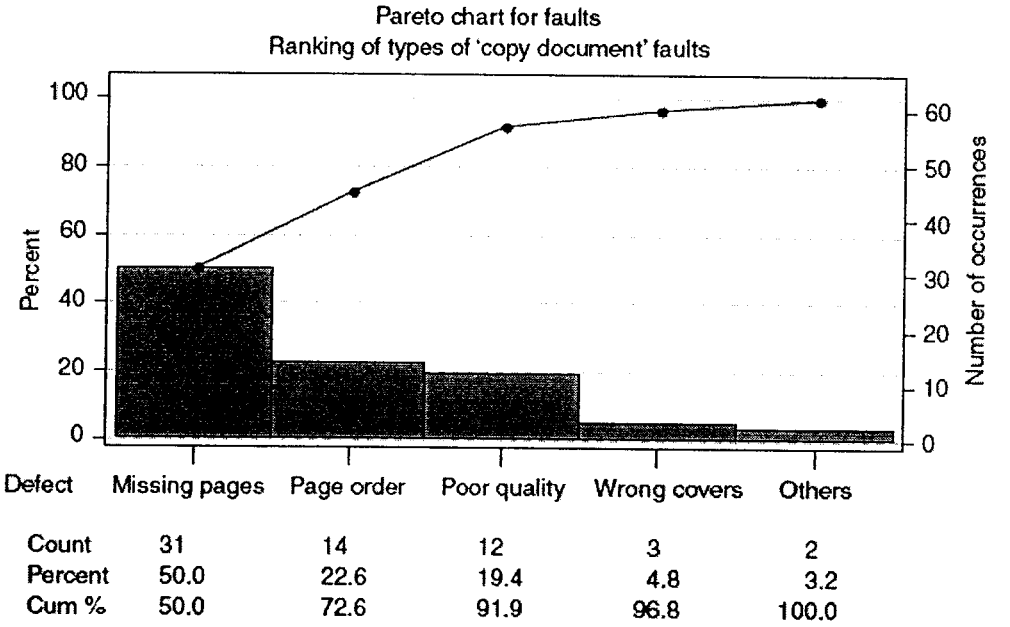
การใช้แผนภาพหรือแผนภูมิการไหลของกระบวนการ กับกระบวนการทำงานที่สำคัญนั้น คุณหรือทีม DMAIC สามารถเริ่มต้นด้วย การพิจารณากระบวนการที่มีมากเกินความจำเป็น การจัดการไม่ชัดเจนจุดในการตัดสินใจที่ไม่จำเป็นและอื่น ๆ และหากคุณเพิ่มข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการ ปัญหาต่าง ๆ

4.3.2 แผนภูมิและกราฟต่าง ๆ

โดยทั่วไปนั้นแนวทางที่ดีและนิยมใช้เป็นอันดับแรกในการวิเคราะห์การวัดต่าง ๆ ในกระบวนการคือ การสร้างให้เห็นภาพของข้อมูล นิยมใช้แผนภูมิและกราฟต่าง ๆ ในการแสดงนี้ กราฟวงกลม (Pie Chart) หรือกราฟเส้น (Line Graph) เป็นสิ่งที่มีความหมายอย่างมากและก่อให้เกิดความง่ายต่อการทำความเข้าใจ มากกว่าการอ่านตารางเป็นตัวเลขต่าง ๆ เราจะค้นพบตัวเลขบางอย่างที่ถูกซ่อนไว้ การทำเช่นนี้จะช่วยให้ทีมงานสามารถที่จะบ่งชี้ปัญหาและ วิเคราะห์สาเหตุต่าง ๆ ได้ดีขึ้น กราฟและแผนภูมิต่าง ๆ นั้นจะมีอยู่มากมายหลายประเภท โดยแต่ละประเภทจะแสดงให้เห็นถึงภาพ ที่ต่าง ๆ กันไปของข้อมูล ในรายละเอียดต่อไปนี้จะเป็นกราฟและแผนภูมิบางประเภทที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป

- แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart)

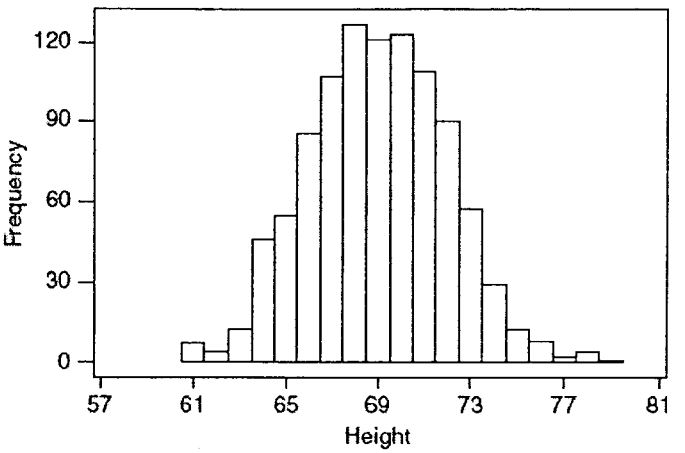
พาเรโตเป็นแผนภูมิแท่งที่มีลักษณะพิเศษสามารถแบ่งกลุ่มโดยแยกตามประเภทและมีการเปรียบเทียบข้อมูลจากส่วนที่มากที่สุดไปยังส่วนที่น้อยที่สุด ส่วนมากจะใช้ในการมองให้เห็นถึงส่วนที่ใหญ่ที่สุดของปัญหาหรือในส่วนของประเภทข้อบกพร่องแผนภูมิพาเรโต ดังภาพที่ 2-8 จะช่วยในการแสดงให้เห็นว่าประเด็นหรือปัญหาเพียงไม่กี่อย่าง อาจจะก่อให้เกิดผลกระทบที่มากที่สุด ทำให้สามารถที่จะมุ่งเน้นโครงการและแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่อยู่ในส่วนเล็กน้อยแต่เป็นประเด็นที่มีผลกระทบที่มากที่สุด แผนภูมิพาเรโตจะใช้หลักการที่เรียกว่ากฎ 80-20 คือ 80% ของปัญหาทั้งหมด จะเกิดขึ้นมาจากสาเหตุเพียงเล็กน้อย คือ 20% จากสาเหตุทั้งหมด ดังภาพที่ 2-21



ภาพที่ 2-21 ตัวอย่างแผนภูมิพาเรโต

- ฮิสโตแกรมหรือกราฟความถี่ (Histogram/Frequency Plot)

ฮิสโตรแกรม เป็นอีกประเภทหนึ่งของกราฟแท่ง แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวหรือความแตกต่างของข้อมูลโดยดูเป็นช่วง ๆ และช่วงเหล่านั้นอาจจะแบ่งตามอายุ ขนาด ราคา ระยะเวลา น้ำหนักหรืออื่น ๆ ดังภาพที่ 2-22



ภาพที่ 2-22 ตัวอย่างแผนภูมิฮิสโตแกรม

- การวิเคราะห์การขัดข้องและผลกระทบจากกระบวนการเบื้องต้น (Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2551)

การวิเคราะห์ภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบในกระบวนการ หรือ FMEA Process เพื่อช่วยเพิ่มความเที่ยงตรง (Reliability) ของกระบวนการเพื่อการผลิตหรือการออกแบบการควบคุมกระบวนการ

1) จุดประสงค์ของ FMEA ซึ่งได้กล่าวไว้ดังนี้

- สามารถที่จะพิจารณาและประเมินโอกาสที่จะเกิดภาวะความผิดพลาดของผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการและผลกระทบต่าง ๆ

- แบ่งแยกกิจกรรมซึ่งสามารถที่จะกำจัดหรือลดโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาด

- กระบวนการเตรียมเอกสารต่าง ๆ เพื่อส่งเสริมกิจกรรมดังที่กล่าวมา

2) ส่วนต่าง ๆ ในตาราง FMEA ประกอบด้วยสองส่วนดังนี้

- ส่วนที่หนึ่ง: เป็นการประเมินเบื้องต้นจะใช้ในการประเมินเงื่อนไขเบื้องต้นของกระบวนการ

- ส่วนที่สอง: เป็นการสร้างแผนการปฏิบัติการแก้ไข เพื่อลดความเสี่ยงลง

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

- S = Severity คือ เกณฑ์การให้ลำดับขั้นผลกระทบของความรุนแรง

- 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 และความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้มีน้อยมากเช่นกันและสามารถตรวจจับปัญหานี้ได้ ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้าอย่างสมบูรณ์ส่วนค่าระดับความเสี่ยงสูงสุดของการเกิดปัญหา คือ ค่า RPN = 1000 ซึ่งมาจาก 10×10×10 หมายความว่าความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีมากและยังไม่มีวิธีการตรวจจับปัญหานี้ได้ก่อนส่งมอบ ให้แก่ลูกค้าเลย ทั้งนี้การให้คะแนนค่า S, O และ D ซึ่งประเมินค่าโดยมีการลำดับความสำคัญ ดังตารางที่ 2-2, ตารางที่ 2-3 และ ตารางที่ 2-4 ตามลำดับ

4) คำสำคัญที่ใช้ลงบันทึกใน FMEA มี ดังนี้

- หน้าที่ของกระบวนการ (Process Function or process step) เป็นชื่อกระบวนการหรือวิธีการทำงานที่ต้องการวิเคราะห์โดยใช้ข้อความที่กระชับที่สุดและใช้คำศัพท์เดิมที่ใช้ในเอกสารอื่น ๆ

- ความเป็นไปได้ของรูปแบบของเสีย (Potential Failure mode) เป็น "รูปแบบ" ของการที่กระบวนการจะมีโอกาสที่จะไม่เป็นไปตามข้อกำหนด

- ความเป็นไปได้ของผลกระทบ (Potential Failure Effect) เป็น "ผล" ของการที่กระบวนการไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (Failure Mode) ที่ไปเกิดขึ้นกับลูกค้าของกระบวนการ

- ความรุนแรง (Severity) เป็นการประเมินถึงความรุนแรงของ Failure Mode ความรุนแรงนี้จะใช้อธิบายถึงผล (Effect) เท่านั้น ดังตารางที่ 2-3 แสดงระดับความรุนแรง

- ความเป็นไปได้ของสาเหตุ (Potential Cause(s)/Mechanism(s) of Failure) เป็นสาเหตุที่ว่า ความเสียหาย (Failure) นั้น เกิดขึ้นมาได้อย่างไร โดยอธิบายในเทอมของสิ่งที่ควรจะเป็น การที่เราสามารถทำอะไรบางอย่างให้มันถูกต้อง หรือให้มันถูกควบคุมได้

- ความบ่อยในการเกิดเหตุการณ์ (Occurrence) เป็นความน่าจะเป็นที่ Failure Mode อันหนึ่ง ๆ จะมีโอกาสเกิดขึ้น (บ่อยมากแค่ไหน) ดังตารางที่ 2-4 แสดง ระดับความบ่อยในการเกิด

- การตรวจพบ (Detection) เป็นประสิทธิภาพของกระบวนการในปัจจุบันในอันที่จะตรวจจับ หรือควบคุม Failure Mode (หรือผลของมัน) ก่อนที่มันจะเกิดขึ้น หรือก่อนที่จะเริ่มการผลิต หรือก่อนที่จะส่งมอบออกไปให้ลูกค้า ดังตารางที่ 2-5 แสดงระดับการตรวจพบ

ตารางที่ 2-3 ระดับความรุนแรง

ผลกระทบจากข้อบกพร่อง		Severity of Effect ระดับความรุนแรง		Rating ระดับคะแนน
		ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อผู้ใช้ผลิตภัณฑ์	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อกระบวนการภายใน	
Extreme	เกิดอันตรายโดย "ไม่" มีการเตือน	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้และ/หรือ ขัดต่อกฎหมายโดย "ไม่" มีการเตือนล่วงหน้า	May endanger machine or operator. Hazardous **without** warning มีผลกระทบต่อการเกิดอันตรายต่อพนักงาน (หรือเครื่องจักร) โดย "ไม่" มีการเตือนล่วงหน้า	**10**
	เกิดอันตรายโดยมีการเตือน	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้และ/หรือ ขัดต่อกฎหมายโดยมีการเตือนล่วงหน้า	May endanger machine or operator. Hazardous **with** warning. มีผลกระทบต่อการเกิดอันตรายต่อพนักงาน (หรือเครื่องจักร) โดยมีการเตือนล่วงหน้า	**9**
High	ผลกระทบสูงมาก	ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากความสูญเสียหน้าที่หลัก	Major disruption to production line. Loss of primary function, 100% scrap ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจต้องถูกทำลายหรือส่งเข้าซ่อมแซมที่แผนกซ่อมที่แผนกซ่อมบำรุงโดยใช้เวลามากกว่า 1 ชั่วโมง	**8**
	ผลกระทบสูง	ผลิตภัณฑ์นำไปใช้งานได้แต่ระดับสมรรถะลดลงจนทำให้ลูกค้าไม่พอใจมาก	Reduced primary function performance. Product requires sorting, some scrapping อาจมีจะมีการตรวจสอบผลิตภัณฑ์แบบคัดเลือก (Sorting) และผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) อาจถูกทำลายหรือส่งเข้าซ่อมบำรุงระหว่างครึ่งถึงหนึ่งชั่วโมง	**7**
Moderate	ผลกระทบปานกลาง	ผลิตภัณฑ์สามารถใช้งานได้ แต่ขาดความสะดวกสบายจนทำให้ลูกค้ามีความไม่พอใจ	Minor disruption of production. Some Scrap. Loss of secondary function performance ผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) อาจถูกทำลาย และไม่ต้องตรวจสอบแบบคัดเลือก (Sorting) หรือส่งเข้าซ่อมบำรุงที่แผนกซ่อมบำรุงใช้เวลาต่ำกว่าครึ่งชั่วโมง	**6**
	ผลกระทบต่ำ	ผลิตภัณฑ์นำไปใช้งานได้ด้วยความสะดวกสบาย แต่ระดับของสมรรถนะจะลดลง	Minor disruption to produciton. 100% Rework. Reduced secondary function performance ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจได้รับรีเวิอร์ก หรือได้รับการซ่อมแซมนอกสายการผลิตที่ฝ่ายผลิต	**5**
	ผลกระทบต่ำมาก	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีนัก อาจมีเสียงดังบ้าง ลูกค้าส่วนใหญ่ (มากกว่า 75%) สามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่องได้	Minor defect noticed by most customers Product requires sorting and some reworked. ผลิตภัณฑ์อาจได้รับการตรวจสอบแบบคัดเลือก (Sorting) โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกทำลาย แต่บางส่วน (ต่ำกว่า 100%) อาจได้รับรีเวิอร์ก	**4**
Low	ผลกระทบต่ำเล็กน้อย	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีนัก อาจมีเสียงดังบ้าง ลูกค้าครึ่งหนึ่ง สามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่องได้	Fit& Finish/Squeak & Rattle item. Minor defect noticed by some customers ผลิตภัณฑ์บางส่วน (ต่ำกว่า 100%) อาจต้องได้รับรีเวิอร์กในสายการผลิต แต่นอกจุดปฏิบัติงานที่ต้องถูกทำลาย	**3**
	เกือบไม่มีผลกระทบ	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีนัก อาจมีเสียงดังบ้าง ลูกค้าส่วนน้อย (ต่ำกว่า 25%) สามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่องได้	Defects may be reworked on-line. Minor defect noticed by observant customers. ผลิตภัณฑ์บางส่วน (ต่ำกว่า 100%) อาจต้องได้รับรีเวิอร์กในสายการผลิตที่จุดปฏิบัติงานโดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกทำลาย	**2**
None	ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบที่สังเกตุเห็นได้	No effect อาจมีความไม่สะดวกสบายเล็กน้อยต่อการปฏิบัติงานหรือต่อพนักงานหรือไม่มีผลกระทบใด ๆ	**1**

ตารางที่ 2-4 ระดับความบ่อยในการเกิด

	คะแนนความบ่อยในการเกิด Likelihood of Occurrence	สัดส่วนของเสีย Failure Rate	ความสามารถของกระบวนการ Capability (Cpk)		ระดับคะแนน Rating
Very High ระดับสูงสุด	Failure is almost inevitable. ไม่สามารถหลีกเลี่ยงข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นได้	1 in 2	< .33	<1.0σ	10
		1 in 3	> .33	1.0σ	9
High ระดับสูง	Process is not in statistical control.Similar processes have experienced problems. กระบวนการไม่มีการควบคุมทางสถิติ เหมือนกับว่ากระบวนการมีปัญหา	1 in 8	> .51	1.5σ	8
		1 in 20	> .67	2.0σ	7
Moderate ระดับปานกลาง	Process is in statistical control but with isolated failures. Previous processes have experienced occasional failures or out-of-control conditions. กระบวนการมีการควบคุมทางสถิติ แต่ยังคงพบข้อบกพร่องบางส่วนออกนอกการควบคุม	1 in 80	> .83	2.5σ	6
		1 in 400	> 1.00	3.0σ	5
		1 in 2000	> 1.17	3.5σ	4
Low ระดับต่ำ	Process is in statistical control. กระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ	1 in 15k	> 1.33	4.0σ	3
	Process is in statistical control. Only isolated failures associated with almost identical processes. กระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ และไม่มีจุดที่แตกต่างภายในกระบวนการ	1 in 150k	> 1.50	4.5σ	2
Remote	Failure is unlikely. No known failures associated with almost identical processes. กระบวนการไม่มีความแปรปรวนเลย	1 in 1.5M	> 1.67	5.0σ	1

ตารางที่ 2-5 ระดับการตรวจพบ

ความเป็นไปได้ของการควบคุมที่ตรวจจับข้อบกพร่อง Likelihood that control will detect failure			สัดส่วนต่อล้าน DPPM	ความน่าจะเป็นที่สามารถตรวจพบ Probability	ระดับคะแนน Rating
Very Low	มีความไม่แน่นอนเกือบจะทั้งหมด	ระบบการควบคุมการออกแบบจะไม่ และ/หรือ ไม่สามารถตรวจจับสาเหตุ/กลไก ตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้เลย (หรืออาจกล่าวได้ว่าไม่มีระบบการควบคุมการออกแบบระบบเลย)	100,000	1 in 10	10
Low	ห่างไกลมาก	มีโอกาสน้อยมาก ๆ ที่ระบบการควบคุมการออกแบบจะตรวจจับสาเหตุ / กลไก ตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	50,000	1 in 20	9
	ห่างไกล	มีโอกาสน้อยมากที่ระบบการควบคุมการออกแบบจะตรวจจับสาเหตุ / กลไก ตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	20,000	1 in 50	8
Moderate	ต่ำมาก ๆ	มีโอกาสต่ำมาก ๆ ที่ระบบการควบคุมการออกแบบจะตรวจจับสาเหตุ / กลไกตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	10,000	1 in 100	7
	ต่ำ	มีโอกาสต่ำที่ระบบการควบคุมการออกแบบจะตรวจจับสาเหตุ / กลไกตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	5,000	1 in 200	6
	ปานกลาง	มีโอกาสปานกลางที่ระบบการควบคุมการออกแบบจะตรวจจับสาเหตุ / กลไกตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	2,000	1 in 500	5
High	ค่อนข้างสูง	มีโอกาสค่อนข้างสูงที่ระบบการควบคุมการออกแบบจะตรวจจับสาเหตุ / กลไกตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	1,000	1 in 1,000	4
	สูง	มีโอกาสสูงที่ระบบการควบคุมการออกแบบจะตรวจจับสาเหตุ / กลไกตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	500	1 in 2,000	3
Very High	สูงมาก	มีโอกาสสูงมากที่ระบบการควบคุมการออกแบบจะตรวจจับสาเหตุ / กลไกตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	200	1 in 5,000	2
	เกือบจะมีความแน่นอน	ระบบการควบคุมสามารถตรวจจับได้ค่อนข้างแน่นอนถึงสาเหตุ/กลไกตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	100	1 in 10,000	1

- การทดสอบสมมติฐาน (Test of Hypothesis) (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2540)

การทดสอบสมมติฐานคือการนำค่าทางสถิติที่คำนวณได้มาประยุกต์ใช้ช่วยในการพิจารณาตัดสินใจเลือกทางเลือก หรือหาข้อสรุปในกรณีที่มีปัญหาที่ต้องทำการตัดสินใจ เพื่อใช้ในการยืนยันความเชื่ออย่างใดอย่างหนึ่งสามารถดำเนินการโดยใช้ตัวแบบการตัดสินใจที่เรียกว่าการทดสอบสมมติฐาน โดยผู้ทำการทดลองจะทำการตั้งสมมติฐาน โดยอาจจะใช้ประสบการณ์ในอดีต จากทฤษฎีตัวแบบของกระบวนการที่ทำการศึกษา หรือพิจารณาจากข้อกำหนดเฉพาะทางวิศวกรรม โดยสมมติฐานที่จะทำการทดสอบอาจจะเป็นแบบสองด้านหรือด้านเดียว

การทดลองสอบสมมติฐาน: เป็นประโยคที่พูดถึงพารามิเตอร์ของประชากร (Population Parameters) ไม่ได้เป็นการพูดถึงกลุ่มตัวอย่าง (Sample)

การกำหนด H_0 สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis): ใช้ตัวย่อว่า H_0 โดยทั่วไป H_0 จะเป็นการระบุถึง การไม่มีผล หรือ ไม่มีความแตกต่าง หรือ เหมือนเดิม จะปฏิเสธ หรือ ไม่สามารถปฏิเสธ H_0 นั้น ขึ้นกับหลักฐานทางสถิติที่ได้มา

การกำหนด H_1 สมมติฐานอื่น (Alternative Hypothesis): ใช้ตัวย่อว่า H_1 เป็นการพูดถึงพารามิเตอร์ของประชากรที่เราสงสัยว่า "น่าจะเป็นจริง" หรือ คิดว่าน่าจะเป็นอย่างนี้ในกรณีที่จะปฏิเสธ H_0 เช่น

- H_0: กระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติ ($\mu = \mu_0$)
- H_1: กระบวนการมิได้อยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติ ($\mu \neq \mu_0$)

หรือ

- H_0: ปัจจัยที่พิจารณามิได้มีผลต่อตัวแปร
- H_1: ปัจจัยที่พิจารณาเป็นสาเหตุต่อการเปลี่ยนแปรงตัวแปร

จากนั้นผู้ทำการทดลองหรือผู้ทดสอบสมมติฐาน จะกำหนดวิธีการตัดสินใจด้วยการพิจารณาตัวสถิติสำหรับการทดสอบและพิจารณาถึงการแจกของสิ่งตัวอย่าง ซึ่งอธิบายถึงความผันแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ระหว่างเงื่อนไขของการทดลอง หรือ รีโปรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility) จากนั้นทดสอบด้วยการพิจารณาค่าความเสี่ยงของความผิดพลาด ซึ่งมี 2 ประเภท คือ

- ความผิดพลาดแบบที่ 1 (Type I Error) คือความน่าจะเป็นที่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ทั้ง ๆ สมมติฐานหลักเป็นจริง โดยความน่าจะเป็นของความผิดพลาดชนิดนี้แทนด้วยสัญลักษณ์ α ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\alpha = \Pr(\text{Type I error}) = \Pr(\text{Reject } H_0 / H_0 \text{ is true})$$

- ความผิดพลาดแบบที่ 2 (Type II Error) คือความน่าจะเป็นที่ยอมรับ (ไม่ปฏิเสธ) สมมติฐานหลัก ทั้ง ๆ สมมติฐานหลักไม่เป็นจริง โดยความน่าจะเป็นของความผิดพลาดชนิดนี้แทนด้วยสัญลักษณ์ β ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\beta = \Pr(\text{Type II error}) = \Pr(\text{Reject } H_0 / H_0 \text{ is false})$$

ขั้นแรกการทดสอบสมมติฐานจะต้องกำหนดค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ I (α) การออกแบบการทดลองควรให้ค่าความเสี่ยง β มีค่าต่ำตามที่กำหนด จากนั้นดำเนินการทดลองและทำการตัดสินใจตามที่ได้กำหนดไว้ คือ หากค่าของตัวสถิติ หรือข้อมูลอยู่ในช่วงการยอมรับสมมติฐาน อันเป็นผลเนื่องมาจากความผันแปรที่เกิดจากสาเหตุด้านรีโปรดิวซิบิลิตี้ของการทดลอง ให้ทำการยอมรับสมมติฐาน แต่ถ้าหากค่าของตัวสถิติอยู่บริเวณแห่งการปฏิเสธ ให้ทำการปฏิเสธสมมติฐานและการยืนยันว่า สมมติฐานที่กำหนดไว้ไม่ถูกต้อง ดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 สถิติที่ใช้สำหรับการทดสอบสมมติฐาน (สิทธิศักดิ์ พฤกษ์ปีติกุล, 2546)

สถิติที่ใช้ทดสอบ	H_0	H_1
t-Test 1. ทดสอบความแปรปรวนของ P 2. ทดสอบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่ม P	 $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ $\mu_1 = \mu_2$	 $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ $\mu_1 \neq \mu_2, \mu_1 > \mu_2, \mu_1 < \mu_2$
Paired t-Test ทดสอบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่ม P	$\mu_1 = \mu_2$	$\mu_1 \neq \mu_2, \mu_1 > \mu_2, \mu_1 < \mu_2$
One-way ANOVA 1. ทดสอบความแปรปรวนของ P 2. ทดสอบความแปรปรวนของ P_1 กับ P_2 3. ทดสอบความแปรปรวนของ P_1 กับ P_3 4. ทดสอบความแปรปรวนของ P_2 กับ P_4	 $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2$ $\mu_1 = \mu_2$, $\mu_1 = \mu_3$ $\mu_2 = \mu_4$,	 $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \neq \sigma_3^2$ $\mu_1 \neq \mu_2, \mu_1 > \mu_2, \mu_1 < \mu_2$, $\mu_1 \neq \mu_3, \mu_1 > \mu_3, \mu_1 < \mu_3$ $\mu_2 \neq \mu_4, \mu_2 > \mu_4, \mu_2 < \mu_4$
Correlation ทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปร	$\mu_1 = \mu_2$,	$\mu_1 \neq \mu_2, \mu_1 > \mu_2, \mu_1 < \mu_2$,
Regression ทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปร	$\mu_1 = \mu_2$,	$\mu_1 \neq \mu_2, \mu_1 > \mu_2, \mu_1 < \mu_2$,

- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2540)

การวิเคราะห์ความแปรปรวน เป็นแนวคิดที่ใช้การหาความแปรปรวนโดยรวม แล้วแยกเป็นความแปรปรวนอันเนื่องจากปัจจัยที่ได้นับการควบคุมหรือ ทรีตเมนต์และ ความแปรปรวนอันเนื่องจากจากสาเหตุที่ไม่ได้รับการควบคุมขณะทำการทดลองหรือรีพีททะบิลิตี้ และพิจารณาว่าเทอมที่เป็นความแปรปรวนอันเนื่องมาจากทรีตเมนต์เทียบกับความแปรปรวน อันเป็นผลจากสาเหตุที่ไม่ได้สามารถควบคุมได้ หรือ รีโปรดิวซิบิลิตี้ ว่ามีค่ามากหรือไม่ โดย สามารถอธิบายด้วยตัวอย่างดังนี้

$$Yij = \mu+\tau i + \varepsilon ij \; ; \; i=1,2,3\ldots a; \; j=1,2,3\ldots n \qquad (2\text{-}12)$$

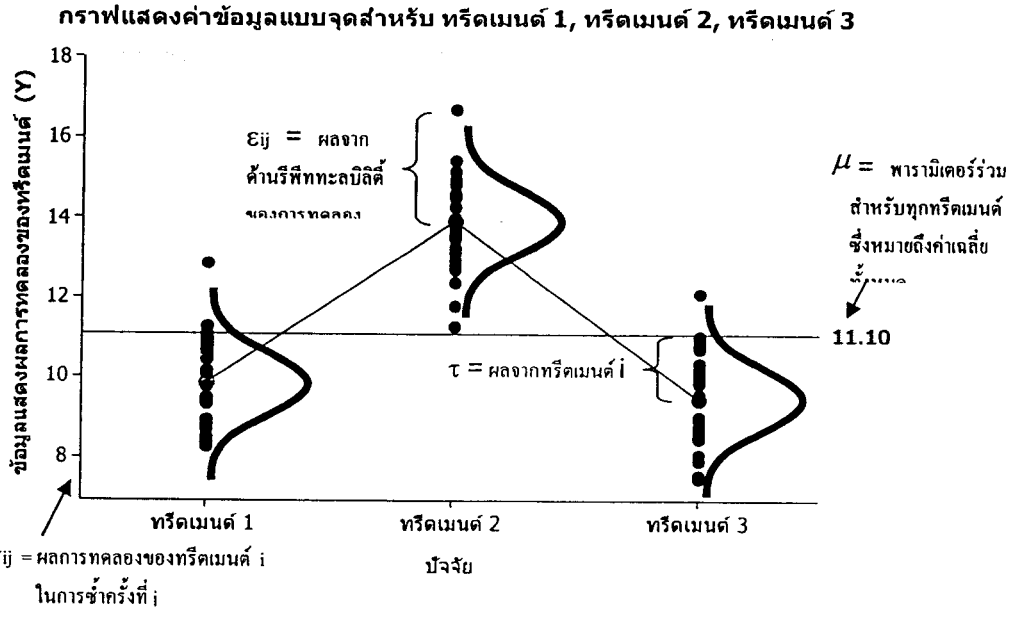
โดยที่ Yij = ผลการทดลองของทรีตเมนต์ i ในการซ้ำครั้งที่ j

μ = พารามิเตอร์ร่วมสำหรับทุกทรีตเมนต์ซึ่งหมายถึงค่าเฉลี่ยทั้งหมด

τ = ผลจากทรีตเมนต์ i

εij = ผลจากด้านรีพีททะลบิลิตี้ของการทดลอง

ซึ่งเรียกสมการที่ 2-11 ว่าตัวแบบการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way Classification ANOVA Model) สามารถอธิบายเทอมต่าง ๆ ที่เป็นความแปรปรวนได้ดัง ภาพที่ 2-23



ภาพที่ 2-23 กราฟความแปรปรวนแบบจุด

โดยจะสามารถกำหนดสมมติฐานได้ว่า

H_0: ปัจจัยที่พิจารณาไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

H_1: ปัจจัยที่พิจารณามีผลต่อตัวแปรตอบสนอง หรือ

H_0: $\mu+\tau_1=\mu+\tau_2=...=\mu+\tau_a$

H_1: $\mu+\tau_i \neq \mu+\tau_j$ อย่างน้อย 1 ค่าของ ij ที่ $i \neq j$

ในกรณีที่เป็นแบบอิทธิพลแบบคงที่ $(\sum_i \tau_i = 0)$ จะได้

H_0: $\tau 1=\tau 2=...=\tau_a= 0$

H_1: $\tau_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่าของ i

ในการทดสอบสมมติฐานจะอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยการหาค่าความผันแปรโดยรวมแล้วแตกออกเป็นความผันแปรปรวนสามารถคำนวณหาได้จาก ตารางที่ 2-7 โดยถ้าหากสมมติฐานเป็นจริงค่า F จะมีค่าเข้าใกล้ 1 แต่ถ้าสมมติฐานไม่ปันจริง ค่าของ F จะมีค่ามากเสมอ ดังนั้นการทดลองนี้จึงเป็นวิธีการตัดสินใจแบบด้านเดียว

4.4 เครื่องมือที่ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการ

สิ่งที่ซิกซ์ ซิกม่า มุ่งเน้นอยู่ตลอดเวลานั้น ก็คือการค้นหาความสัมพันธ์ของกระบวนการ นั่นคือ

$Y = f(X)$

เรามักต้องการ การปรับค่าตัวอินพุทให้ออกไป นอกช่วงการทำงานปกติ เพื่อดูผลกระทบต่อความผันแปรของกระบวนการนั้น ๆ บางครั้ง ข้อมูลที่มีอยู่เดิมก็สามารถนำพาเราให้วิเคราะห์หาสาเหตุปัญหาได้ในทิศทางที่ถูกต้อง แต่บ่อยครั้งที่ข้อมูลอินพุทที่มีอยู่เดิมไม่ได้เปลี่ยนแปลงมากพอที่จะครอบคลุมช่วงที่เราต้องการศึกษาทั้งหมด กระบวนการส่วนใหญ่ เราต้องปรับอินพุทให้ออกไปนอกช่วงการทำงานในปัจจุบันเพื่อทำให้เห็นผลการปรับปรุงที่เราต้องการ เครื่องมือที่จำเป็นอีกอย่างหนึ่งคือเครื่องที่ใช้ในการปรับปรุง ดังจะได้ยกตัวอย่างที่สำคัญ ๆ ต่อไปนี้

- การออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment)

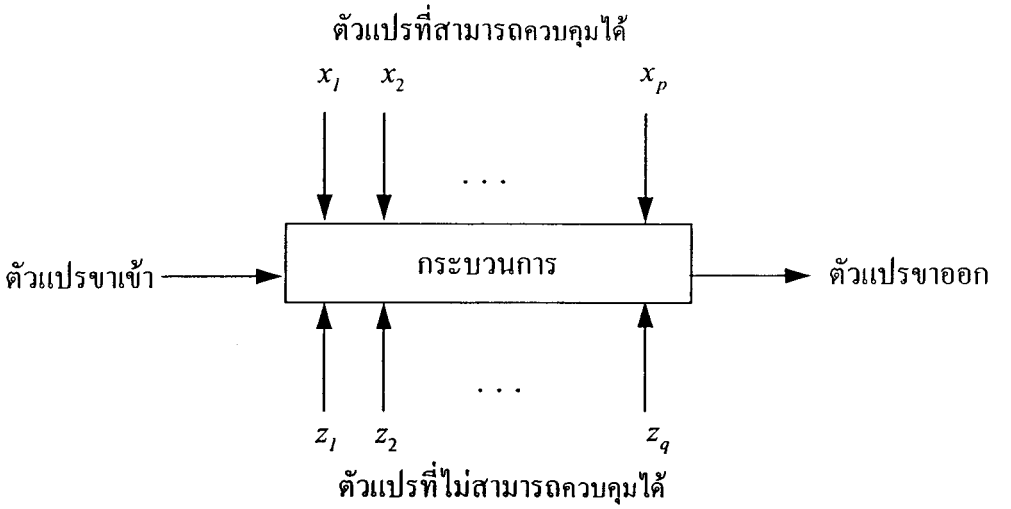
ดัลลาส มอนโกเมอรี่ (1991, หน้า 1) กล่าวว่า "การทดลอง คือการทดสอบ หรือการทดสอบอย่างต่อเนื่อง เพื่อค้นหาตัวแปรอินพุทที่สำคัญที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแล้ว จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองขึ้นที่เอ้าพุท ตามที่เราวางวัตถุประสงค์ไว้"

การออกแบบการทดลองสามารถนำมาประยุกต์ เพื่อลดความแปรผันที่มีผลต่อการผลิต และเมื่อรู้แหล่งของความผันแปร หรือความผิดพลาดแล้ว สามารถหาวิธีแก้ไขได้อย่างรวดเร็ว

และทันเวลา ทำให้ประหยัดทรัพยากรที่ต้องสูญเสียไปอันเนื่องมาจากความแปรผัน ใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างคุ้มค่าไม่สิ้นเปลืองโดยเปล่าประโยชน์ (ทรัพยากรมนุษย์, วัสดุ, อุปกรณ์, ต้นทุน, เวลา, อื่น ๆ)

4.4.1 กลยุทธ์ในการทดลอง (ปารเมศ ชุติมา, 2545)

การทดลองถูกนำมาใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการและระบบเพื่อทดสอบว่าหากมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรขาเข้า (Input Variable) ของกระบวนการหรือระบบแล้วจะสังเกตเห็นผลที่มีต่อตัวแปรขาออก (Output Response) เปลี่ยนไปในทิศทางใด สามารถอธิบายได้ดังภาพที่ 2-24 และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เพื่อใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ พัฒนากระบวนการผลิตและปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีความมั่นคง (Robust Process) ลดผลกระทบจากความผันแปรภายนอก หรือความผันแปรจากตัวแปรที่ไม่ได้รับการควบคุม



ภาพที่ 2-24 แบบจำลองทั่วไปสำหรับการะบวนการหรือระบบ

โดยเราจะมอง กระบวนการ คือ การรวมเอาคนงาน เครื่องจักร วิธีการและทรัพยากรอื่นๆ เข้าด้วยกัน เพื่อใช้ในการเปลี่ยนตัวอินพุต เช่นวัตถุดิบ ไปสู่เอาต์พุตที่มีผลตอบสนองออกมาในรูปแบบหนึ่งหรือมากกว่าซึ่งเราสามารถเห็นได้ ตัวแปรกระบวนการบางชนิด $x_1, x_2, \ldots x_p$ เป็นตัวแปรที่เราสามารถควบคุมได้ (Controllable Factors) ในขณะที่ตัวแปรบางตัว $z_1, z_2, \ldots z_q$ เป็นตัวแปรที่เราไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable Factors) (ถึงแม้ว่าในบางครั้งอาจจะควบคุมตัวแปรพวกนี้ได้ในขณะทำการทดลองได้ก็ตาม)

4.4.2 หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง

การทดลองที่เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เราจะต้องวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้สามารถหาข้อสรุปจากข้อมูลที่ได้รับจากการทดลอง หลักการ 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลอง ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานที่ใช้ในการทำการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลจากการทดลองที่มีประสิทธิภาพคือ

- เรพลิเคชัน (Replication)

เรพลิเคชัน คือการทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขการทดลองเดียวกันมากกว่า 1 ครั้ง เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการทดลองเพิ่มมากขึ้นและการทำซ้ำจำนวนครั้งมากเท่าใด ก็จะได้ข้อมูลในการทดลองมากขึ้น เป็นการยืนยันผลการทดลองและเพิ่มความเที่ยงตรงแม่นยำของข้อมูลมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้การวิเคราะห์และสรุปผลมีความแม่นยำของข้อมูลมากขึ้น แต่มีข้อเสียคือจะสิ้นเปลืองทรัพยากร สำหรับการทดลอง ซึ่งจะมากตามจำนวนครั้งที่ทำการทดลอง เป็นการเพิ่มต้นทุนโดยไม่จำเป็น

ประโยชน์ของการทำซ้ำคือ ช่วยให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาด (Error, Random Noise) ในการทดลองได้ ค่าประมาณความผิดพลาดเป็นหน่วยวัดพื้นฐานใช้สำหรับเปรียบเทียบผลของปัจจัยที่สนใจศึกษา เพื่อวิเคราะห์ว่าปัจจัยที่สนใจศึกษามีผลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ หรือผลกระทบของการทดลองที่เปลี่ยนแปลงเกิดความผิดพลาดในการทดลอง (ความผันแปรที่อยู่ในระบบ)

- แรนดอมไมเซชัน (Randomization)

แรนดอมไมเซชัน คือการจัดลำดับการทดลอง ลำดับการวัด ลำดับการเลือกวัสดุ หรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองให้เป็นแบบสุ่ม วิธีทางเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูล (หรือความผิดพลาด) จะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ การใช้หลักการสุ่ม จะทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริง นอกจากนี้การสุ่มยังช่วยลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจปรากฏในการทดลองได้ โดยการสุ่มจะช่วยกระจายความผิดพลาดในการทดลองที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ไปสู่ทุก ๆ การทดลองด้วยโอกาสเท่า ๆ กัน (สมดุลความผิดพลาด) เพื่อให้ความผิดพลาดในการวิเคราะห์ผลการทดลองเกิดขึ้นน้อยที่สุด

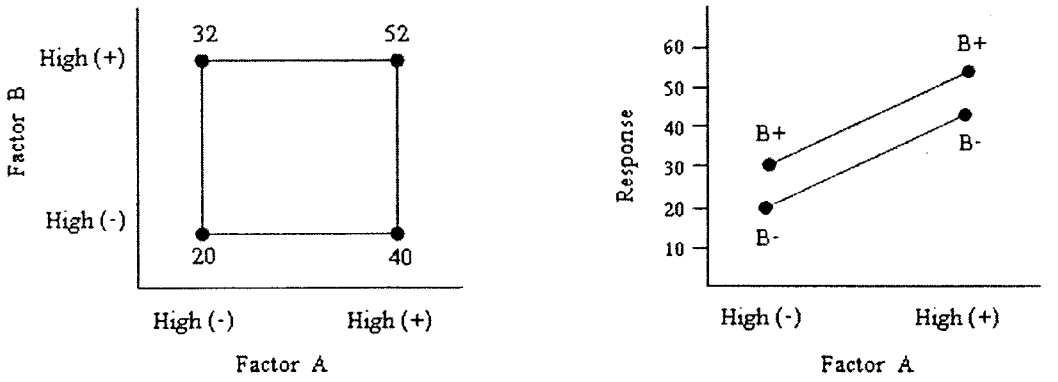
- บล็อกกิง (Blocking)

บล็อกกิง คือเทคนิคสำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) แม่นยำในการทดลอง ป้องกันการรบกวนจากปัจจัยภายนอก (Noise, Nuisance Factors) และลดความผิดพลาดในการทดลอง

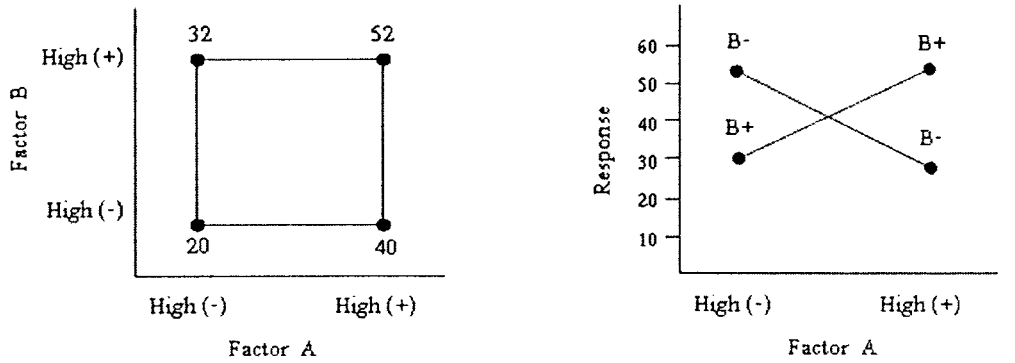
บล็อกเดียวกันหมายถึง การควบคุมสภาพในการทดลองให้มีสภาพใกล้เคียงกันมากที่สุดเช่น วัสดุที่ใช้ในการทดลองควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน โดยเครื่องจักรเดียวกันตลอดการทดลอง ผู้ทดลองเดียวกัน วิธีการทดลองวิธีเดียว ช่วงเวลาใกล้เคียงกัน โดยจะเปลี่ยนแปลงเฉพาะเงื่อนไขที่สนใจศึกษาเท่านั้น ดังนั้นผลการทดลองแต่ละการทดลองที่แตกต่างเกิดจากปัจจัยที่เราสนใจจะศึกษาเท่านั้น (เพราะปัจจัยอื่น ๆ ที่เรารู้ว่าอาจมีผล เราควบคุมระดับให้อยู่ในระดับเดียวกันตลอดทุกการทดลอง)

- การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design)

การทดลองส่วนมากในทางปฏิบัติจะเกี่ยวข้องกับการศึกษาถึงผลของปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ซึ่งการทดลองแบบแฟคทอเรียลจะพิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลอง ผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งต่อผลตอบสนองซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับปัจจัยนั้น ๆ จะเรียกว่า อิทธิพลหลัก (Main Effect) และหากผลตอบสนองที่เกิดขึ้นบนระดับต่าง ๆ ของปัจจัยหนึ่ง จะขึ้นกับปัจจัยอื่น ๆ จะเรียกว่าอิทธิพลหลักจากปัจจัยร่วม (Interaction Effect) ต่อกันระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2-25 ซึ่งการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลจะมีประโยชน์ในกรณีที่ปัจจัยแต่ละตัวมีอิทธิพลระหว่างกัน ซึ่งทำให้สามารถหลีกเลี่ยงการสรุปผลที่ผิดพลาดจากการทดลองแบบที่ละหนึ่งปัจจัย เช่น ในกรณีการทดลองแบบครั้งละหนึ่งปัจจัย ได้ผลการทดลองที่ค่าผลตอบสนองที่ระดับ A(-)B(+) และที่ A(+)B(-) สูงกว่าที่ A(-)B(-) แล้ว ข้อสรุปของค่าผลตอบที่ระดับ A(+)B(+) ควรจะสูงด้วย แต่หากพิจารณากรณีเกิดอิทธิพลร่วมดังภาพที่ 2-25 แล้ว ข้อสรุปเช่นนี้จะนำสู่ความผิดพลาด



การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย (ไม่มีอิทธิพลของปัจจัยร่วม)



การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย (มีอิทธิพลของปัจจัยร่วม)

ภาพที่ 2-25 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย

- การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย

ในกรณีที่มีปัจจัยป้อนเข้า 2 ปัจจัยในการทดลอง ซึ่งหากกำหนด Y คือ ผลตอบสนอง เมื่อปัจจัย A อยู่ที่ระดับ i โดย i=1,2,3.....a และปัจจัย B อยู่ที่ระดับ j โดย j= 1,2,3,.....b สำหรับการทดลองเรพลิเคตที่ K โดย k =1,2,3,.....n ดังนั้นจะสามารถเขียนรูปแบบจำลองสถิติเชิงเส้น ได้ดังนี้

$$Yijk = \mu+\tau i + \beta j + (\tau\beta)ij + \varepsilon ijk \qquad (2\text{-}13)$$

โดยที่ Y = ผลการทดลองของทรีตเมนต์ i ในการซ้ำครั้งที่ j

μ = พารามิเตอร์ร่วมสำหรับทุกทรีตเมนต์ซึ่งหมายถึงค่าเฉลี่ยทั้งหมด

τi = ผลจากทรีตเมนต์ i ของปัจจัย A

βj = ผลจากทรีตเมนต์ j ของปัจจัย B

$(\tau\beta)ij$ = ผลจากอิทธิพลร่วมระหว่าง และ

εijk = ผลจากด้านรีพีททะบิลิตี้ของการทดลอง

ในกรณีที่เป็นแปรอิทธิพลคงที่ จะได้ $\sum \tau_i=0$ และ $\sum \beta_i=0$ ในทำนองเดียวกันถ้าหากค่าอิทธิพลร่วมมีค่าคงที่ จะได้ $\sum \tau\beta_{ij}=0$ สามารถกำหนดสมมติฐานได้ดังนี้

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัย A

H_0: $\tau_1=\tau_2=...=\tau_a=0$

H_1: $\tau_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่าของ i

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัย B

H_0: $\beta_1=\beta_2=...=\beta_b=0$

H_1: $\beta_j \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่าของ j

และจะได้การทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลร่วม ของปัจจัย A และปัจจัย B

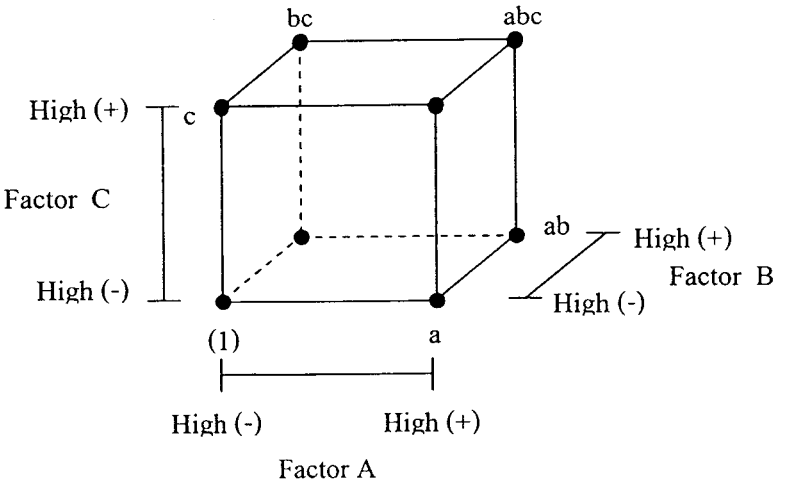
H_0: $(\tau\beta)ij = 0$

H_1: $(\tau\beta)ij \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่าของ ij

- การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^K

เป็นการออกแบบการทดลองที่มี K ปัจจัย แต่ปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ การออกแบบการทดลอง 2^k มีประโยชน์มากต่องานทดลองในช่วงเริ่มแรกเมื่อมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่เราต้องการทดสอบ การออกแบบเช่นนี้จะทำให้เกิดการทดลองจำนวนน้อยที่สุดที่สามารถจะทำให้ เพื่อศึกษาผลของปัจจัยทั้ง K ชนิดได้อย่างสมบูรณ์ ตามปกติจะแทนผล (Effect) ของปัจจัยด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ เช่น A แทนผลของอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของปัจจัย A,B แทนผลของอิทธิพลหลักของปัจจัย B และ AB จะแทนผลของอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ของปัจจัย A และ B โดยจะใช้ตัวพิมพ์เล็กแทนการทดลองร่วม (Treatment Combination) ของปัจจัยที่ระดับสูง (High) เช่น a แทนการทดลองร่วม เมื่อปัจจัย A อยู่ที่ระดับสูง (Higt level) หรือ ab แทนผลการทดลองร่วมเมื่อปัจจัย ab อยู่ที่ระดับ Higt level และ (1) จะแทนการทดลองร่วมเมื่อทุกปัจจัยอยู่ที่ระดับต่ำ (Low Level)

สำหรับการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^3 จะแสดงค่าที่ได้จากการทดลองในรูปของคิวพล็อต (Cube Plot) ได้ดังภาพที่ 2-26



ภาพที่ 2-26 Cube Plot สำหรับการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^3

- การตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ (Model Adequacy Checking)

ในการวิเคราห์ความแปรปรวน ข้อสมมติฐานที่สำคัญข้อหนึ่งคือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม (Random Error) จะต้องมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) หรือ NID (0 , σ^2) และต้องมีการแจกแจงที่เป็นอิสระต่อกัน ซึ่งผลที่มีจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะสามารถเชื่อถือได้ก็ต่อเมื่อสามารถพิสูจน์ได้ว่าเป็นจริงเสียก่อน ซึ่งการตรวจสอบส่วนตกค้าง (Residual) สำหรับค่าสังเกต j ระดับ i โดยส่วนที่ตกค้างจะมีค่าเป็น

$$\varepsilon_{ij} = Y_{ij} + \overline{Y}_{i.} \qquad (2\text{-}14)$$

โดยการตรวจสอบส่วนที่ตกค้างมีขั้นตอนอยู่ 3 ขั้นตอนคือ

1) การตรวจสอบความเป็นปกติ สามารถทำได้โดยการพล็อตอิสโตแกรมของส่วนที่ตกค้าง ถ้าหากการแจกแจงของความผิดพลาดเป็นแบบปกติ รูปที่พล็อตขึ้นมาจะเป็นเส้นตรง

2) การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูลทำได้โดยการพล็อตส่วนที่ตกค้างตามลำดับเวลา โดยหากข้อมูลมีความเป็นอิสระแล้วกราฟของส่วนที่ตกค้างจะไม่มีลักษณะเป็นจุดต่อเนื่อง (Run) แนวโน้ม (Trend) และวัฏจักร (Cycle)

3) การตรวจสอบความเสถียรภาพของความแปรปรวน ทำได้โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนที่ตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต ซึ่งหากความแปรปรวนมีความเสถียรแล้วการกระจายตัวของส่วนที่ตกค้างกับค่าที่ถูกฟิตควรจะมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน

- การตรวจสอบสัมประสิทธิ์เพื่อการตัดสินใจ (R^2)

หลังการวิเคราะห์ความถูกต้องของตัวแบบและแสดงผลแล้วว่าข้อมูลได้รับการเก็บภายใต้ภาวะควบคุมตามแผนการทดลองแล้ว จำเป็นต้องพิจารณาถึงสัมประสิทธิ์การตัดสินใจหรือค่า R^2 ซึ่งแสดงความผันแปรทั้งหมดข้อมูลนั้น เกิดจากความผันแปรจากทรีตเมนต์เท่าใด ซึ่งหากค่า R^2 มีค่าสูงแสดงว่าข้อมูลส่วนใหญ่สามารถอธิบายได้ด้วยปัจจัยที่กำหนดในการทดลองและสามารถนำข้อมูลไปทำการวิเคราะห์ต่อได้ แต่ถ้าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าต่ำ แสดงว่าความผันแปรที่เกิดขึ้นนั้นจากธรรมชาติของกระบวนการ ต้องกลับไปทำการพิจารณาแผนการทดลอง ทบทวนการวิเคราะห์ความรู้ทางวิศวกรรมใหม่ เพื่อกันความผันแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ออกไปการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสามารถคำนวณได้จาก

$$R^2 = \frac{SS_{Model}}{SS_{Total}} \qquad (2\text{-}15)$$

4.5 เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการ เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมมีดังนี้

4.5.1 การตรวจสอบ (Audit) การตรวจสอบประกอบด้วย 3 ประเภท

- การตรวจแบบตัดสินใจ (Judgement Inspection) เป็นความพยายามที่จะแยกของดีและของเสียออกจากกัน ซึ่งเป็นการตรวจสอบหลังจากที่การผลิตจบลงแล้ว

- การตรวจแบบต้องการสารสนเทศ (Informative Inspection) เป็นการตรวจหาสาเหตุของข้อบกพร่อง นำเอาข้อสรุปที่ได้ ป้อนกลับไปที่กระบวนการเพื่อก่อให้เกิดการแก้ไขข้อบกพร่อง

- การตรวจที่แหล่งต้นตอ (Source Inspection) เป็นการตรวจ 100% ที่แหล่งของข้อบกพร่องในจุดการทำงานที่กระบวนการ สามารถแก้ไขความผิดพลาดได้ ก่อนที่มันจะกลายเป็นของเสีย

4.5.2 การป้องกันความผิดพลาด (Mistake-Proofing) หรือโพกาโยเก (Poka-Yoke) อ้างอิง 4.3.19 หน้า 33 เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตแบบลีน

4.5.3 การบำรุงรักษา (Preventive Maintenance) อ้างอิง 4.3.8 หน้า 25 เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตแบบลีน

4.5.4 การควบคุมกระบวนการทางสถิติ (Statistical Process Control) โดยแผนภูมิควบคุม (Control Chart)

การควบคุมกระบวนการทางสถิติ เป็นเครื่องมือพื้นฐานที่ใช้สังเกตความผันแปรและใช้สัญญาณทางสถิติในการเฝ้าพินิจ หรือปรับปรุงสมรรถนะของกระบวนการ แผนภูมิควบคุม

(Control Plan) เป็นแผนภูมิที่เขียนขึ้นล่วงหน้า โดยอาศัยข้อมูลจากข้อมูลเชิงเทคนิค หรือสเปค (Specification) ที่สามารถระบุคุณสมบัติทางคุณภาพข้อใดข้อหนึ่งของชิ้นงาน ทั้งนี้เพื่อที่จะใช้เป็นแนวทางในการติดตามผลงานของกระบวนการผลิต

องค์ประกอบของแผนภูมิควบคุมประกอบด้วย

1. ตัวข้อมูลที่เกิดจากการวัดหรือจากการนับ
2. เส้นค่ากลาง (Central Line, CL)
3. เส้นแสดงขอบเขตควบคุมสูง (Upper Control Limit - UCL)
4. เส้นแสดงขอบเขตควบคุมต่ำ (Lower Control Limit - LCL)

แผนภูมิควบคุมแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ตามคุณสมบัติของตัวแปรที่ใช้เขียนแผนภูมิคือ

1. แผนภูมิชนิดข้อมูลที่มีค่าต่อเนื่อง หรือเป็นข้อมูลที่เกิดจากการวัด
2. แผนภูมิชนิดข้อมูลที่มีค่าไม่ต่อเนื่อง หรือเป็นข้อมูลที่เกิดจากการนับ

ดังแสดงในตารางที่ 2-7 ชนิดของแผนภูมิควบคุม (Control Chart)

ตารางที่ 2-7 ชนิดของแผนภูมิควบคุม (Control Chart) (ลำปาง แสนจันทร์, 2549)

ชนิดของข้อมูล	ชื่อแผนภูมิที่ใช้	
ข้อมูลที่มีค่าต่อเนื่อง	X-R Chart	แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและพิสัย
	X-R Chart	แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ข้อมูลที่มีค่าไม่ต่อเนื่อง	pn Chart	แผนภูมิควบคุมจำนวนที่เป็นของเสีย
	p Chart	แผนภูมิควบคุมจำนวนที่เป็นของเสีย
	c Chart	แผนภูมิควบคุมจำนวนตำหนิ
	u Chart	แผนภูมิควบคุมตำหนิต่อชิ้น

การเปรียบเทียบมุมมองด้านต่าง ๆ ระหว่าง ลีน (Lean) กับซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)

การเปรียบเทียบมุมมองด้านต่าง ๆ ระหว่าง ลีน (Lean) กับซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) ประกอบด้วย

1. จากมุมมองด้านต่าง ๆ ที่มีความสำคัญกับกระบวนการขององค์กร สามารถนำมาแสดงการเปรียบเทียบลีนกับซิกซ์ ซิกม่าได้ดังตารางที่ 2-8

ตารางที่ 2-8 การเปรียบเทียบ ลีน กับซิกซ์ ซิกม่า (วิทยา สุหฤทดำรง, 2547)

มุมมองด้านต่าง ๆ	ลีน (Lean)	ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)
กระบวนการ	สามารถประยุกต์ใช้ได้กับทุกกระบวนการและอุตสาหกรรม	ค่อนข้างเฉพาะอย่างและปรับเปลี่ยนตามความต้องการของอุตสาหกรรม
เป้าหมาย	การสร้างการไหล(Flow) และกำจัดความสูญเปล่า	ปรับปรุงสมรรถนะของกระบวนการและกำจัดความแปรปรวน
การประยุกต์ใช้	กระบวนการผลิตเบื้องต้น	กระบวนการธุรกิจทั้งหมด
การเลือกโครงงาน	เป็นโครงการที่จับต้องได้มาก และเห็นได้ชัดจึงใช้เวลาแต่ละโครงการไม่นาน ประมาณ 1 สัปดาห์-3 เดือน	เป็นโครงการฝึกอบรมตามแนวทางการแก้ปัญหาโดยอยู่บนพื้นฐานทางสถิติ แต่ละโครงการใช้เวลาประมาณ 3-6 เดือน
ระยะเวลา	ถูกผลักดันโดยสายธารคุณค่า (Value Stream)	หลาย ๆ แนวทาง
โครงสร้างพื้นฐาน	ส่วนมากเป็นการแก้ปัญหาเฉพาะหน้า	ต้องสละทรัพยากรและใช้คนอย่างทั่วถึง
การฝึกอบรม	เป็นเชิงปฏิบัติ ซึ่งรวมเอาการอบรมระยะสั้นที่เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้โดยตรง	แบ่งออกเป็นระยะของกระบวนการ DMAIC และประยุกต์ใช้เครื่องมือ ต่าง ๆ

2. จุดแข็งและจุดอ่อนของลีน กับซิกซ์ ซิกม่า

จากการเปรียบเทียบจุดอ่อนและจุดแข็งของเทคนิคการจัดการทั้งสองในมุมมองด้านต่าง ๆ สามารถแสดงรายละเอียด ได้ดังตารางที่ 2-9

ตารางที่ 2-9 การเปรียบเทียบจุดแข็งและจุดอ่อนของลีนและซิกซ์ ซิกม่า (วิทยา สุหฤทดำรง, 2547)

จุดแข็ง	ลีน (Lean)	ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)
1	ให้ความสำคัญกับความสูญเปล่า (Waste)	ให้ความสำคัญกับของเสียหรือข้อบกพร่อง ซึ่งถือเป็นความสูญเปล่าตัวหนึ่ง
2	มุ่งเน้นไปที่สายธารคุณค่าของลูกค้า	มุ่งเน้นวัดความต้องการของลูกค้าและการจัดการแบบข้ามสายงาน
3	เข้าใจในสถานการณ์ปัจจุบัน	การค้นพบหรือสร้างสรรค์ความรู้ใหม่
4	สร้างวิธีการเพื่อการปรับปรุง (Improvement)	วิธีการในการนำนโยบายไปใช้ (Policy Deployment)
5	ทดสอบเพื่อที่จะยืนยันการปรับปรุง	ใช้วิธีการทางสถิติเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง
6	ลดรอบเวลา, ลดของเสียในการผลิต และลดความเสียหายของเครื่องจักร	ใช้เครื่องมือทั้ง 7 ชนิด ในการบริหารคุณภาพและการออกแบบการทดลอง
7	เหมาะกับปัญหา "หาง่ายแต่แก้ไขยาก"	เหมาะกับปัญหา "หายากแต่แก้ไขง่าย"
8	การไหลของงานดีขึ้น	สินค้ามีคุณภาพดีขึ้น
9	ความสูญเปล่าน้อยลง มีงานออกจากกระบวนการผลิตมากขึ้น สินค้าคงคลังลดลง	ความผันแปรลดลง สินค้ามีคุณภาพดีขึ้นและสินค้าคงคลังลดลง
10	ไม่รวมเอาเครื่องมือหรือแนวคิดทางสถิติ เข้ามาช่วย	ไม่กล่าวถึงปัญหาว่าจะทำอย่างไรที่จะให้การไหลของกระบวนการอยู่ในจุดที่เหมาะสมที่สุด
11	มุ่งเน้นไปที่สายธารของผลิตภัณฑ์อย่างเดียวไม่ใส่ใจในวิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการใช้ข้อมูล	ไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงในระบบการดำเนินงานขั้นพื้นฐาน เพื่อที่จะขจัดกิจกรรมที่มีความสูญเปล่า
12	ขาดกระบวนการที่เป็นระบบในการถ่ายทอดเทคโนโลยีแบบลีนและไม่สามารถเข้าได้กับระบบการผลิตเดิม ในที่สุดก็เลือนหายไปเมื่อจบโครงการ	ขาดการเชื่อมโยงกันระหว่างกลยุทธ์ของธุรกิจกับโครงการปรับปรุงที่เลือกทำมักละเลยกระบวนการที่สำคัญและเป็นคอขวดของการปรับปรุงโดยรวม

ตารางที่ 2-9 การเปรียบเทียบจุดแข็งและจุดอ่อนของลีนและซิกซ์ ซิกม่า (วิทยา สุหฤทดำรง, 2547) (ต่อ)

จุดอ่อน	ลีน (Lean)	ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)
13	อาศัยทักษะในการแก้ปัญหาความเร็วของกระบวนการ	การแก้ปัญหาด้านการเพิ่มความเร็วของกระบวนการ
14	ไม่สามารถนำกระบวนการสู่การควบคุมทางสถิติ จึงไม่สามารถวัดผลให้เป็นรูปธรรม	ไม่สามารถปรับปรุงกระบวนการได้ภายในระยะเวลาอันสั้น
15	การชี้แนวทางการแก้ปัญหาอย่างเป็นรูปธรรม	การชี้แนวทางการแก้ปัญหาอย่างเป็นรูปธรรม

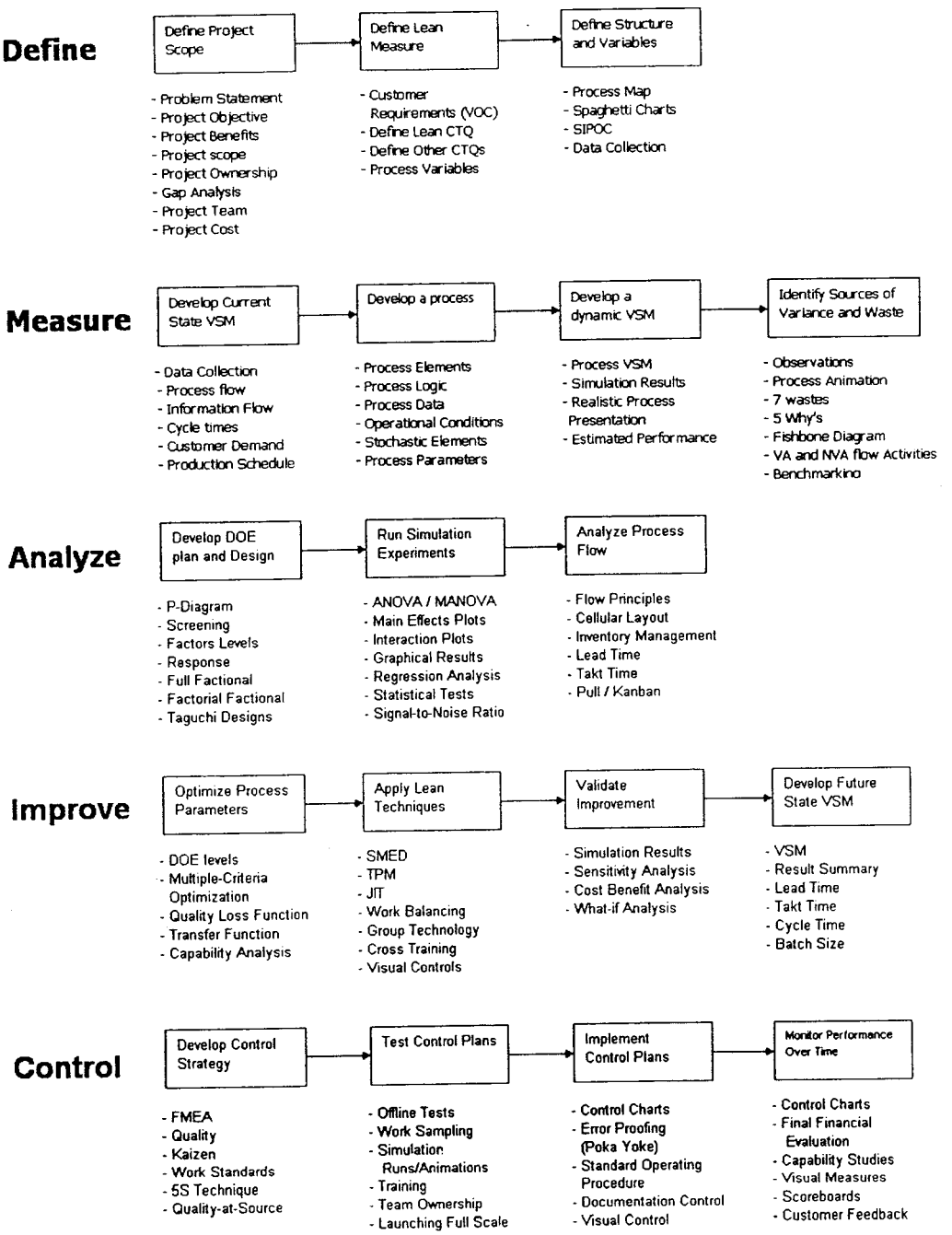
3. การผสมผสานลีน (Lean) กับซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)

สรุปได้ว่าแนวทางลีน (Lean) กับซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) มีจุดด้อย ซึ่งสามารถผนวกจุดเด่นของทั้งสองแนวทาง เพื่อแก้ไขจุดด้อยดังกล่าว เช่น การจำแนกปัญหาด้วยเครื่องมือที่เหมาะสม การแก้ปัญหาสต๊อก หรืองานระหว่างผลิต อาจไม่ใช่เพียงแค่นำหลักการลีนที่มุ่งลดขนาดรุ่นการผลิต (Batch Size) แต่ควรลดความผันแปรที่เกิดจากกระบวนการ (Process Variation) ด้วยเครื่องมือทาง Six Sigma หรือการวิเคราะห์ข้อมูลโดยผสมผสานเครื่องมือการออกแบบการทดลองทั้งหลายเข้าด้วยกัน ทำให้มีขอบเขตในการแก้ปัญหาที่สูงขึ้นและสนับสนุนการแก้ปัญหา เป็นต้น

จุดอ่อนดังกล่าวเป็นแนวทางที่สำคัญให้เกิดการพัฒนาเกิดเป็นระเบียบวิธีการแก้ปัญหาใหม่ในรูปแบบต่าง ๆ หลายระเบียบวิธี เช่น George (2002) พัฒนาระเบียบวิธีการแก้ปัญหาลีน-ซิกส์ ซิกม่า (Lean Six Sigma) โดยการรวมเครื่องมือลีน (lean tools) เข้าไปในชุดเครื่องมือซิกส์ซิกม่า เครื่องมือดังกล่าวเช่น เทคนิคการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว (Quick Changeover) ช่วยในการลดเวลาที่เกิดจากการปรับตั้งเครื่องจักร การไหลแบบชิ้นเดียว (Single Piece Flow) การจัดสมดุลของไลน์การผลิต (Line Balancing) และระบบดึง (Pull System) ช่วยในการลดเวลาในการรอคอยระหว่างกระบวนการผลิตได้เป็นอย่างดี การรวมเครื่องมือลีนในลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดระเบียบวิธีการแก้ปัญหาลีนซิกส์ ซิกม่า ซึ่งมีความสามารถในด้านการวิเคราะห์ และการปรับปรุงด้านเวลาการทำงานอีกทั้งยังช่วยสร้างแนวทางการแก้ปัญหาบางด้านให้เห็นเป็นรูปธรรมอีกด้วย จรัล ทรัพย์เสรี(2552) พัฒนาระเบียบวิธีการแก้ปัญหาซิกส์-ซิกม่า แบบผสมผสาน มีส่วนในการพัฒนาการแก้ปัญหาให้ดีขึ้น โดยที่เครื่องมือคุณภาพดังกล่าวได้แก่

การวิเคราะห์ P-M การทดสอบสมมติฐานกลับทิศ การออกแบบการทดลองแบบผสมผสาน TRIZ และเทคนิคการลดความผันแปรกระบวนการ เป็นการเพิ่มความสามารถในการแก้ปัญหาสูงขึ้นโดยการเพิ่มและพัฒนาเครื่องมือคุณภาพในระเบียบวิธีการแก้ปัญหาและการทำระเบียบวิธีการแก้ปัญหาให้ง่ายทำได้โดยคัดเลือกเครื่องมือคุณภาพให้เหลือแต่เครื่องมือซึ่งถูกใช้บ่อยแต่มีความซับซ้อนไม่มากนัก เป็นต้น แสดงให้เห็นว่า ที่ผ่านมามีการพัฒนาระเบียบวิธีการแก้ปัญหาซิกส์ ซิกส์ม่า อย่างต่อเนื่องและยังชี้ให้เห็นการพัฒนา เพื่อยกระดับลีน (Lean) และซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma Enhancement) ในลักษณะดังกล่าวเป็นแนวทางที่ควรจะทำวิจัยและพัฒนาเพิ่มเติมที่สำคัญเรื่องหนึ่งในอนาคต

การผสมผสานแนวทางลีนร่วมกับกระบวนการซิกซ์ ซิกม่า ประกอบด้วยขั้นตอนและเครื่องในการดำเนินการดังภาพที่ 2-27



ภาพที่ 2-27 ขั้นตอนและเครื่องมือในการดำเนินการลีน (Lean) และซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)

ผู้วิจัยนี้ ได้ศึกษาประยุกต์แนวทางผสมผสานแนวทางลีนและซิกซ์ ซิกม่า ดังกล่าวในขั้นตอน DMAIC และเครื่องมือสนับสนุนที่เหมาะสม เพื่อนำเสนอวิธีดำเนินการวิจัย จากขั้นตอนดังภาพที่ 2-27 ซึ่งแนวคิดที่สำคัญที่ถูกพัฒนาขึ้นและที่มาของการพัฒนาระเบียบวิธีการแก้ปัญหาจะถูกนำไปใช้ในการวิจัยเพื่อหาความสามารถในการแก้ปัญหาด้านคุณภาพที่เกิดขึ้นจริงใน

อุตสาหกรรมการผลิต ผลการศึกษาดังกล่าวทั้งหมดนี้จะถูกนำไปสร้างเป็นกรอบแนวคิดในการทำวิจัยต่อไปซึ่งสรุปไว้ในบทที่ 3

ผลงานวิจัย บทความ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและสรุปสาระสำคัญ

เมื่อระบบการผลิตด้วยเทคนิคลีน (Lean) กับซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) เป็นที่แพร่หลายในทศวรรษที่ผ่านมา จึงมีผู้ให้ความสนใจในการทำวิจัยและค้นคว้าเกี่ยวกับแนวคิดนี้เป็นจำนวนมาก ได้แสดงการแบ่งประเภทของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งพิจารณาจากงานวิจัยทั้งหมด 30 เรื่อง จากการวิเคราะห์พบว่า ขอบเขตที่ผู้ทำวิจัยส่วนใหญ่ให้ความสนใจ สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. การประยุกต์ใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกม่า

Dose, et al. (2002) ได้ทำการศึกษาวิจัยเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการนำแนวคิดซิกซ์ ซิกม่านำไปประยุกต์ใช้ในงานการผลิต (Traditional Manufacturing) กับงานที่ไม่ใช่การผลิต (Nonmanfacturing) ซึ่งมีการจัดทำโครงการซิกซ์ ซิกม่าโดยใช้กลุ่มตัวอย่างที่ดำเนินงานการผลิต 3 โครงการ แล้วทำการเปรียบเทียบแบบขั้นตอนต่อขั้นตอน (Phase By Phase) กับงานที่ไม่ใช่การผลิต 5 โครงการ พบว่าในการจัดทำผังกระบวนการในขั้นตอนนิยามปัญหานั้น ในงานที่ไม่ใช่การผลิตจะมีผังกระบวนการที่ไม่ชัดเจน ซึ่งต่างจากในงานการผลิตที่ผังกระบวนการจะมีความชัดเจน และในขั้นตอนการวัดสภาพของปัญหาซึ่งต้องมีการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการ ในงานการผลิตจะมีตัวชี้วัดที่ชัดเจน เช่น ค่าความสามารถของกระบวนการ (Cpk) แต่ในงานที่ไม่ใช่การผลิตไม่มีตัววัดที่ชัดเจนจึงนิยมวัดในรูปแบบค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของข้อมูล และยังพบว่าการกระจายตัวของข้อมูลมีลักษณะกองไปทางด้านเดียว ส่วนในขั้นตอนการปรับปรุงในงานที่ไม่ใช่การผลิตจะไม่ค่อยนำการออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment) เข้ามาเกี่ยวข้อง แต่จะเป็นการกำจัดปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลเสียโดยวิธีการทั่วไป

จันทรารัตน์ ธีระรัตน์ (2551) ได้ประยุกต์ใช้เครื่องมือบางส่วนของซิกซ์ ซิกม่า แก้ปัญหาและปรับปรุงกระบวนการล้างระบบอุตราโซนิคในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ ให้มีประสิทธิภาพ ด้วยการนำการออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment) แบบ 2-Level Factorial Design ประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาที่โรงงาน Seagate Technology (Thailand) Ltd. โดยตัวชี้วัดประสิทธิภาพคือ LPC (LiquidParticle Count) ความเป็นไปได้ของสาเหตุ กรั่นกรองด้วยเครื่องมือ ขั้นตอนการไหล แผนภูมิก้างปลาและการให้คะแนนเพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหาจากทีมงานที่มีประสบการณ์ในกระบวนการดังกล่าว หลังจากนั้นทำการจัดลำดับความรุนแรงจากส่วนที่มากที่สุด

ไปยังส่วนที่น้อยที่สุด ด้วยแผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) ตามลำดับ ผลการทดลองสามารถลดค่า LPC ลงหรือเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการล้าง 30% จากค่าปัจจุบันที่ 2,360 เหลือ 1,620

ภัทรวุฒิ พลอาสา (2548) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า ในอุตสาหกรรมผลิตฮาร์ดดิสก์ เพื่อลดต้นทุนความบกพร่องที่กระทบจากของเสีย โดยพิจารณาจากต้นทุนสามส่วน ต้นทุนความบกพร่อง ต้นทุนการตรวจสอบและต้นทุนการป้องกัน ขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากการระบุปัญหา พบว่าปริมาณฝาปิดฮาร์ดดิสก์ ไดร์ฟ สูงเป็นลำดับต้น ๆ จึงเลือกปัญหาดังกล่าวมาทำการแก้ไข ขั้นตอนวัดใช้เครื่องมือแผนผังเหตุและผลและจัดลำดับความเสี่ยงของแนวโน้มสาเหตุของปัญหาด้วย FMEA จากนั้นทำการวิเคราะห์สาเหตุต่าง ๆ ถึงผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญในขั้นตอนวิเคราะห์ แล้วทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียในขั้นตอนปรับปรุง ขั้นตอนสุดท้ายควบคุมโดยใช้แผนภูมิสัดส่วนของเสียติดตามผล ผลการศึกษาพบว่าสัดส่วนของเสียลดลงคิดเป็น 84.68% จึงทำให้ต้นทุนคุณภาพทั้ง 3 ส่วนลดลง ผลการดำเนินการพบว่าต้นทุนความบกพร่องลดลงจาก 3.46% เหลือ 0.59% ต้นทุนการตรวจสอบเพิ่มขึ้นจาก 0.24% เหลือ 0.40% และต้นทุนการป้องกันเพิ่มขึ้นจาก 0.06% เหลือ 0.21%

ชีวรัตน์ กะฐินทอง (2551) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า เพื่อปรับปรุงรอยตำหนิจากการกระแทกที่ผิวของชิ้นงาน ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน ในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ โดยมีเป้าหมายลดรอยตำหนิจากการกระแทกที่ผิวของชิ้นงานที่ 3.35% ลดลง 70% เหลือ 2.04% ผู้วิจัยเริ่มด้วยการประเมินค่าความผันแปรของระบบวัดแบบลักษณะคุณภาพ จากนั้นกำหนดสาเหตุของปัญหา โดยการสร้างแผนที่กระบวนการ แล้วทำการวิเคราะห์สาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาโดยสร้างแผนภาพสาเหตุและผล โดยเชื่อมโยงกับค่าระดับความเสี่ยงที่ได้จากการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ ซึ่งมีการวิเคราะห์ถึงสาเหตุและปัจจัยที่เป็นไปได้ทีละปัจจัย ด้วยเครื่องมือใช้แผนภาพสาเหตุและผลทางสถิติ แล้วทำการปรับปรุงด้วยการออกแบบการทดลองแบบ 2^2 แฟคตอเรียล ผลการดำเนินการทำให้จำนวนชิ้นงานที่มีรอยตำหนิบนผิวของผลิตภัณฑ์ ลดลงจากเดิม 47.76%

วุฒิชัย เจริญยิ่งวัฒน (2546) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่าในการแก้ปัญหาสีซึ่งเป็นสนิมที่มีลูกค้าร้องเรียนมากที่สุด โดยตัววัดผลลัพธ์ของการวิจัยคือ ค่ารอยผุพองที่เกิดขึ้นจากการทดสอบด้วยน้ำเกลือที่จำนวน 500 ชั่วโมง ซึ่งเป็นค่าที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของงานพ่นสีในส่วนของการเกิดสนิมโดยตรง จากการศึกษาพบว่าระบบการวัดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และเมื่อทำการวิเคราะห์ถึงสาเหตุปัจจัยที่เป็นไปได้ทีละปัจจัย พบว่าปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อค่ารอยผุพองที่เปลี่ยนไป คือ ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำล้างก่อนพ่นสี, ค่าความเข้มข้นของสารเคมี LK และ A1 ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าของน้ำล้างก่อนพ่นสีเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่ารอยผุพองค่อนข้างมาก แต่เนื่องจาก

ในการปรับปรุงค่าการนำไฟฟ้าของน้ำล้างก่อนพ่นสีจำเป็นต้นลงทุนเครื่องจักรที่มีราคาสูง และในโครงงานวิจัยนี้มิได้ทำการเผื่องบประมาณไว้ จึงนำปัจจัยเฉพาะปัจจัยของค่าความเข้มข้นของสารเคมีLK และ A1 มาทำการปรับปรุงค่ารอยผุพองด้วยการออกแบบการทดลองและการหาพื้นที่ผลตอบสนอง ซึ่งจากการปรับปรุงด้วยการเพิ่มความเข้มข้นของสารเคมี LK และ A1 ในขั้นตอนของการออกแบบการทดลอง สามารถทำการลดค่ารอยผุพองจากค่าปัจจุบันคือ 7.14 มิลลิเมตร ลดเหลือ 4.46 มิลลิเมตร และเมื่อทำการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการใช้วิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง ผลที่ได้จากการดำเนินการการปรับตั้งค่าปัจจัยนำเข้าที่จุดที่เหมาะสมที่สุด ให้ค่ารอยผุพองของการทดสอบด้วยน้ำเกลือที่จำนวน 500 ชั่วโมง ณ เวลาปัจจุบัน คือ เฉลี่ย 3.60 มิลลิเมตร

วสันต์ พุกผาสุก (2548) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า เพื่อการลดการเกิดเม็ดหรือตามดบนผิวชิ้นจากกระบวนการชุบโครเมี่ยม ในอุตสาหกรรมชุบโครเมี่ยม ตัวชี้วัดการปรับปรุงกระบวนการ คือการลดการเกิดเม็ดหรือตามดบนผิวชิ้นงาน โดยมีเป้าหมายลดลง 70 เปอร์เซ็นต์ ผู้วิจัยเริ่มด้วยการประเมินค่าความผันแปรของระบบวัดและได้กำหนดสาเหตุของปัญหา โดยการสร้างแผนที่กระบวนการ จากนั้นจะทำการวิเคราะห์สาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหา โดยสร้างแผนภาพสาเหตุและผล การวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ แผนภาพพาเรโต ซึ่งจะนำมาเชื่อมโยงกับค่าระดับความเสี่ยงที่ได้จากการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ มีการวิเคราะห์ถึงสาเหตุและปัจจัยที่เป็นไปได้ ด้วยเครื่องมือการวิเคราะห์ความแปรปรวนและใช้เครื่องมือการออกแบบการทดลองและการหาพื้นที่ผลตอบสนอง (Response Surface Designs) หลังจากนั้นทำการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ ผลการดำเนินการพบว่าค่าเฉลี่ยของเสียต่อเดือนลดลงจาก 146,295 PPM เหลือเพียง 25,780 PPM และทำให้ลดมูลค่าความสูญเสียจาก 774,714 เหลือ 128,648 บาทต่อเดือน โดยสามารถลดระดับการเกิดของเสียลง 82 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งบรรลุตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

กฤษดา ตันฮะเส็ง (2547) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่าเพื่อหาสาเหตุหลักที่มีผลต่อคุณภาพและลดของเสีย ในโรงงานผลิตอุปกรณ์กึ่งตัวนำ โดยมีเป้าหมายคือลดของเสียเหลือ 569 ชิ้นต่อหนึ่งล้านชิ้นการผลิต จากสัดส่วนของเสียเฉลี่ยที่ 668 ชิ้นต่อหนึ่งล้านชิ้นการผลิต เริ่มด้วยการประเมินค่าความผันแปรของระบบวัดเป็นแบบลักษณะคุณภาพ วิเคราะห์ถึงสาเหตุและปัจจัยที่เป็นไปได้ ด้วยเครื่องมือการทดสอบสมมติฐาน ใช้เครื่องมือการออกแบบการทดลองแบบ 2^3 Factorial ในการปรับปรุง ผลการดำเนินการพบว่าสามารถลดของเสียเหลือ 359 ชิ้นต่อหนึ่งล้านชิ้น และใช้แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย มาควบคุมและพัฒนาคุณภาพของกระบวนการ การผลิตตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

วุฒิชัย เจริญยิ่งวัฒนา (2546) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสนิม ที่ทำให้เกิดค่ารอยผุพอง 7.14 มิลลิเมตร ในอุตาหกรรมรถยนต์ ซึ่งเป็นปัญหาที่ได้รับการร้องเรียนจากลูกค้ามากที่สุด ผู้วิจัยเริ่มด้วยการประเมินค่าความผันแปรของระบบวัดแบบเวเรียเบิล หาสาเหตุด้วยแผนภาพสาเหตุและผล, วิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ, แผนภาพพาเรโต จากนั้นมีการวิเคราะห์ถึงสาเหตุและปัจจัยที่เป็นไปได้ทีละปัจจัย ด้วยการทดสอบสมมติฐานและปรับปรุงด้วยการออกแบบการทดลองและการหาพื้นที่ผลตอบสนอง (Response Surface Designs) ทำการควบคุมกระบวนการด้วยเครื่องมือแผนภูมิควบคุม Xbar-R ผลที่ได้จากการดำเนินการ การปรับตั้งค่าปัจจัยนำเข้าที่จุดที่เหมาะสมที่สุด เหลือเฉลี่ยเท่ากับ 3.60 มิลลิเมตร

อรวรรณ สวัสดิ์วิเชียร(2551) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า เพื่อลดของเสียในกระบวนการเชื่อมมิกซ์อลูมินัมหล่อ ผู้วิจัยเริ่มด้วยการประเมินค่าความผันแปรของระบบวัดแบบลักษณะคุณภาพ ทำการกำหนดสาเหตุของปัญหาด้วยการสร้างแผนที่กระบวนการ วิเคราะห์สาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหา จากแผนภาพสาเหตุและผล แล้วใช้เครื่องมือ FMEA ทำการจัดลำดับความเสี่ยงของแนวโน้มสาเหตุของปัญหา แล้วปรับปรุงด้วยการออกแบบการทดลอง โดยใช้การทดลองเชิงแฟคทอเรียล ทดสอบ 2 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับและใช้เครื่องมือทดสอบผลการปรับปรุงก่อนและหลังด้วย Two-sample T-Test ใช้แผนภูมิควบคุม P-Chart และจัดทำแผนควบคุมคุณภาพ ผลการดำเนินการพบว่าของเสียในกระบวนการเชื่อมมิกซ์อลูมินัมหล่อลดลงเหลือ 24% สามารถลดเวลาในการซ่อมชิ้นงานจากเดิมใช้พนักงาน 2 คน/วัน เหลือเพียง 1 คน/วัน และลดข้อร้องเรียนจากลูกค้าเรื่องแนวเชื่อมที่ไม่สมบูรณ์จากการซ่อมได้

อรอุมา พรหมมัญ (2552) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า เพื่อลดอัตราการสูญเสียสารซัลโฟนิก แอซิดให้เหลืออย่างต่ำ 1.06 Kg/TB เนื่องจากพบปัญหาวัตถุดิบที่มีการสูญเสียสูง ทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นสูงจากการสูญเสียสารซัลโฟนิกแอซิด ผู้วิจัยเริ่มด้วยการประเมินค่าความผันแปรของระบบวัดแบบแวเรียเบิลและวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิต (Process Capability) จากนั้นวิเคราะห์สาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหา โดยสร้างแผนภาพสาเหตุและผลและเครื่องมือ FMEA จากนั้นมีการวิเคราะห์โดยการใช้เครื่องมือทางสถิติ ผู้วิจัยเลือกทำการทดสอบแบบ 2-Sample T Test แล้วมีการปรับปรุง โดยนำปัจจัยสามปัจจัยมาทำการทดลองและวิเคราะห์ผลเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่ทำให้ค่า %AD สูงที่สุด โดยใช้การทดลองแบบ2^k แฟคทอเรียลที่มีจุดเซ็นเตอร์ (The 2^k Factorial Design with Center Point) มีการควบคุมปัจจัยทั้งสามผ่านแผ่นควบคุมกระบวนการ (Control Plan) ผลการดำเนินการสามารถลดอัตราการสูญเสียสารซัลโฟนิกแอซิดของกระบวนการ

ผลิตผงซักฟอกพื้นฐานจากเดิมที่ 2.96 Kg/TB เหลือ 1.26 Kg/TB เป็นการเพิ่มค่าคุณสมบัติการชำระล้างหรือ %AD มากขึ้นจากเดิมที่ 25.196% เพิ่มขึ้นเป็น 25.702%

มัลลิกา จาเลิศ (2548) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า เพื่อลดจำนวนคนที่ไม่ก่อให้เกิดผลผลิตในสายการผลิต ในส่วนการบรรจุ ผู้วิจัยเริ่มจากการจำแนกประเภทขั้นตอนการผลิต แล้วคัดเลือกขั้นตอนที่จะศึกษา โดยเลือกจากขั้นตอนที่มีจำนวนคนไม่ก่อให้เกิดผลผลิตสูงสุด แล้วการสร้างแผนที่กระบวนการสูงและต่ำ จากนั้นทำการคัดเลือกลักษณะจุดวิกฤต แล้วพิจารณาความสัมพันธ์ในขั้นตอนการทำงาน และมีผลกระทบต่อลูกค้าโดยใช้เมทริกซ์จัดลำดับและหลักการพาเรโตเลือกขั้นตอนที่มีคะแนนสูงสุด นำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ FMEA และวางแผนปรับปรุงลดจำนวนคนที่ไม่ก่อให้เกิดผลผลิตลง ด้วยการทดสอบสมมติฐาน หลังจากที่ได้ประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า ส่งผลให้สามารถชั่วโมงการทำงานต่อฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟลงตามเป้าหมายที่ 2.5% และสามารถลดต้นทุนทางด้านแรงงานทางตรงอีกด้านหนึ่งด้วย

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

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

2. การประยุกต์ใช้แนวคิดของระบบการผลิตแบบลีน

Pannirselvam (1998) ได้ศึกษาถึงแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวม (Overall Productivity) ในกระบวนการผลิต โดยการวิเคราะห์การไหลของการผลิต (Production Flow) กระบวนการปฏิบัติงาน (Process Operations) เวลาที่ใช้ในการผลิต (Processing Times) และผังโรงงาน (Plant Layout) เพื่อได้มาซึ่งเวลาในระบบ (Time in System) และได้ใช้การจำลองสถานการณ์คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลและเปรียบเทียบผลทางสถิติในหลายทางเลือก ซึ่งทางเลือกที่ดีที่สุดจะทำให้สามารถลดเวลาในระบบการผลิตลงได้ร้อยละ 13 ของระบบการผลิตปัจจุบัน นอกจากนี้ยังใช้ผลลัพธ์ที่ได้นำไปออกแบบ Facility Layout อีกด้วย

Fawaz (2003) ศึกษาถึงการนำหลักการของลีนไปใช้กับกระบวนการผลิตที่มีลักษณะการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous Process) โดยจะเน้นศึกษาในอุตสาหกรรมเหล็กเป็นหลัก จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้คือการนำเทคนิคลีนไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในอุตสาหกรมที่มีการผลิตแบบต่อเนื่อง ซึ่งตามปกตินิยมใช้เทคนิคลีนกับอุตสาหกรรมที่มีการผลิตแบบเป็นช่วงเวลา (Discrete Process) เท่านั้น และสามารถทราบว่าประโยชน์จากการนำเทคนิคลีนไปใช้งานในงานแต่ละงานเป็นอย่างไร ถึงแม้ว่าอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตเป็นแบบช่วงเวลาจะมีลักษณะบางอย่างที่มีลักษณะร่วมกันที่เหมือน ๆ กัน แต่ก็มีหลายอย่างที่มีความแตกต่างกันอย่างมากเช่นกัน ดังนั้นการปรับแต่งกระบวนการทั้งแบบเป็นช่วงเวลา (Discrete Process) และแบบต่อเนื่อง (Continuous Process) จะมีบางอย่างที่คาบเกี่ยวกัน(Overlap) งานวิจัยนี้จึงพยายามที่จะแสดงให้เห็นว่าเทคนิคลีนสามารถนำมาใช้งานได้สำหรับอุตสาหกรรมที่มีการผลิตทั้งแบบเป็นช่วงเวลาและแบบต่อเนื่องซึ่งนำเทคนิคลีนเข้าไปใช้ในกระบวนการที่มีการผลิตเป็นแบบช่วงเวลา เทคนิคหนึ่งที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือการสร้างแผนที่คุณค่า เริ่มต้นด้วยการสร้างแผนคุณค่า (Value Stream Map) ที่แสดงสถานะปัจจุบันของบริษัทโดยมีการระบุแหล่งที่มาของ ของเสีย (Waste) และนำเทคนิคลีนเข้าไป ช่วยแก้ไขเพื่อเพิ่มมูลค่าในกระบวนการจนพัฒนาเป็นแผนที่คุณค่าในอนาคต (Future State Map) เพื่อให้การใช้เทคนิคลีนเกิดประโยชน์อย่างมากในการสร้างแผนที่คุณค่า จึงได้นำแบบจำลองสถานการณ์ (Simulation Model) มาพัฒนาบริษัทและทำการออกแบบการทดลองเพื่อใช้วิเคราะห์เอาท์พุทของแบบจำลองสถานการณ์สำหรับการใช้ลีนหลาย ๆ ลักษณะ

พฤทธิพงศ์ โพธิวราพรรณ (2548) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคลีน กรณีศึกษาโรงงานผลิตเหล็กรูปพรรณ เพื่อ ช่วยเป็นแนวทางของการประยุกต์ใช้การผลิตแบบลีนในอุตสาหกรรมที่มีทั้งการผลิตแบบต่อเนื่องและแบบช่วง หรือเรียกอีกอย่างว่าอุตสาหกรรมผสม นำแผนภูมิสายธารคุณค่ามาช่วยจำแนกคุณค่าของกระบวนการผลิตและแบบจำลองสถานการณ์จะใช้วิเคราะห์ทางเลือก, ประเมินและพัฒนาแผนภูมิสายธารคุณค่าและใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเต็มแบบ 2^3 โดย

ใช้แบบจำลองสถานการณ์วิเคราะห์ปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ ระบบการผลิต การบำรุงรักษาแบบทุกคนมีส่วนรวมและการลดเวลาปรับเปลี่ยนเครื่องจักร จากผลของการจำลอง สามารถขจัดความสูญเปล่าสามารถลดระยะเวลาการผลิตรวมจาก 16.24 วัน มาเป็น 8.56 วัน หรือคิดเป็นร้อยละ 47.30 และลดสินค้าคงคลังระหว่างกระบวนการจาก 96.35 ตันต่อวัน เหลือ 10.62 ตันต่อวัน หรือคิดเป็นร้อยละ 88.98 และได้สร้างแผนภูมิสายธารคุณค่าสถานะอนาคต

ก้องเดชา บ้านมะหิงษ์ (2548) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคลีนมาใช้ในวิสาหกิจการผลิต โดยการสร้างคุณค่าเพิ่มจากการกำจัดความสูญเปล่า ด้วยการสร้างแบบจำลอง Value Stream Map ตามคุณค่าที่ลูกค้าต้องการ แต่เทคนิคข้อนี้มีข้อจำกัดในการไม่เสนอของข้อจำกัดของกระบวนการและกลไกหรือทรัพยากรในกระบวนการนั้น ผู้วิจัยใช้โปรแกรมการสร้างแบบจำลองวิสาหกิจทดสอบสถานการณ์ของแม่แบบ CIMOSA และเปรียบเทียบแบบเดิม แบบจำลองมีโครงสร้างที่ดีที่ช่วยการประสานงานรวมในด้านการไหลของกิจกรรม การลดเวลาในการประสานงานรวม และทำให้อัตราการเพิ่มคุณค่าโดยรวมของระบบจะเพิ่มขึ้น

ยุพา กลอนกลาง (2548) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคลีนในระดับกลยุทธ์และการจำลองสถานการณ์ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ของ บริษัท บางกอกอีเกิลวิง จำกัด เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของเครื่องมือของลีน (Lean Tool) และประสิทธิภาพของระบบ พร้อมทั้งศึกษาลำดับการประยุกต์ใช้เครื่องมือของลีนและสัดส่วนความสำคัญของเครื่องมือแต่ละตัวที่เหมาะสมที่สุด โดยการคัดเลือกเครื่องมือของลีนมาใช้จะพิจารณาจากเป้าหมายที่ต้องการและผลประโยชน์ที่ได้รับจากการนำเครื่องมือนั้น ๆ มาใช้และลำดับในการประยุกต์ใช้นั้นจะพิจารณาจากเครื่องมือที่มีความคงที่ คือเครื่องมือที่เมื่อมีการจัดทำในครั้งแรกแล้วหลังจากนั้นจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงอะไรมากนักและมีจุดประสงค์เพื่อสร้างมาตรฐานในการทำงานให้แก่พนักงานและระบบ แล้วจึงค่อยนำเครื่องมือที่มีความเป็นพลวัต คือเครื่องมือที่ต้องมีการปรับปรุง เปลี่ยนแปลงและจัดทำใหม่ตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อลดเวลาในกระบวนการผลิตมาประยุกต์ใช้เป็นลำดับต่อ ๆ ไป

Spann et al. (1997) พบว่าการผลิตแบบลีนที่นำมาประยุกต์ใช้กับโรงงานผู้ผลิตที่มีขนาดกลางและเล็ก (Small and Medium Enterprises: SMEs) ส่วนมากจะมุ่งเน้นในเรื่องของคุณภาพ (Quality) รอบเวลา (Cycle Times) และการตอบสนองต่อลูกค้า (Customer Responsiveness) เป็นหลัก โดยได้ระบุถึงเครื่องมือที่นำมาประยุกต์ใช้กับการผลิตแบบลีนว่าประกอบด้วยกิจกรรม 5 ส การควบคุมโรงงานด้วยสายตา (Visual Factory) การสร้างทีมงาน การใช้เครื่องมือทางด้านคุณภาพ (Quality Tools) การบำรุงรักษาเชิงป้องกันโดยรวม (Total Preventive Maintenance: TPM) การลดเวลาในการติดตั้งเครื่องจักร (Single Minute Exchange of Die: SMED) การจัดสมดุล

การผลิต (Work Balancing) การไหลแบบชิ้นเดียว (One-Piece-Flow) และการใช้ระบบคัมบัง (Kanban System)

3. การประยุกต์ใช้แนวคิดของลีน-ซิกซ์ ซิกม่า

อรรถพล เฉลิมพลประภา (2551) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคลีนและซิกส์ ซิกมาในโรงงานอุตสาหกรรม ผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ โดยขั้นตอนการกำหนดปัญหาเป็นการเลือกปัญหาจากขั้นตอนกระบวนการไหลของกระบวนการผลิตว่ากระบวนการใดที่ก่อให้เกิดปัญหาที่ทำให้ไม่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้ทันต่อความต้องการลูกค้าได้ แล้วทำการศึกษาขั้นตอนการไหลของกระบวนการ (Process Mapping) แผนภูมิก้างปลา (Cause and Effect Diagram) และแผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) เพื่อหาสาเหตุและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น จากนั้นวิเคราะห์โดยการใช้การวิเคราะห์หาสาเหตุที่มีความเป็นไปได้สูงของปัญหานั้น ๆ เพื่อตรวจสอบว่าสาเหตุที่คัดเลือกมาเป็นสาเหตุที่มีผลกระทบแท้จริงหรือไม่และหาแนวทางแก้ไข แล้วปรับปรุงแนวทางในการแก้ไขที่ดีที่สุดที่ได้วิเคราะห์ไว้และให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีเหมาะสมที่สุด ไปวางแผนปฏิบัติงาน (Action Plan) และลงมือปฏิบัติงาน เพื่อให้บรรลุตามเป้าหมายที่วางไว้อย่างมีประสิทธิภาพ หลังจากนั้นทำการติดตามตรวจสอบและประเมินผลงานที่ปฏิบัติ โดยการเปรียบเทียบและหลังจากปฏิบัติว่ามีความแตกต่างมากน้อยเพียงใด ผลการดำเนินการสามารถปรับปรุงกระบวนการผลิต ตัดลดขั้นตอนการผลิตที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าออกและปรับปรุงผลผลิตต่อชั่วโมงให้มีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น

พัชรินทร์ อุ่นเอมใจ (2548) ได้ประยุกต์รวมแนวคิดลีน-ซิกซ์ซิกม่า เข้ากับมาตรฐานซีเอ็มเอ็มไอ เพื่อประเมินวัดระดับความสามารถขององค์กรขณะปัจจุบันว่าอยู่ในระดับใดตามมาตรฐานซีเอ็มเอ็มไอ และเป็นแนวทางสำหรับการวัดผลในการดำเนินงานการผลิตขององค์กร งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยระบุเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์การวัดพร้อมทั้งตัววัดสำหรับการผลิตแบบลีนและนำเสนอออกมาในรูปแบบของแบบจำลองพลวัตของระบบการผลิตขององค์กรอุตสาหกรรม ผลจากการวิจัยพบว่าองค์กรกรณีศึกษามีระดับความสามารถขององค์กรตามมาตรฐาน CMMI อยู่ที่ระดับ 3 และเวลาสูญเปล่าที่ควรจะมีการปรับปรุงมากที่สุดคือเวลาสูญเปล่าอันเนื่องมาจากเครื่องจักรซึ่งส่งผลกระทบต่อเวลาสูญเปล่าโดยรวมถึง 30.6% รองลงมาคือเวลาสูญเปล่าอันเนื่องมาจากพนักงานคิดเป็น 29.98% ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยนี้คือสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการปฏิบัติงานและช่วยยกระดับความสามารถในการปฏิบัติการวัดผลการดำเนินงานการผลิต

นพดล เฟื่องเด่นขจร (2548) ได้ประยุกต์รวมแนวคิดลีน-ซิกซ์ ซิกม่า เพื่อปรับปรุงความพร้อมในการตอบสนองในอุตสาหกรรมบริการทันตกรรม โดยหาแนวทางลดเวลาที่ผู้ป่วยต้องใช้เวลาในการรับบริการและเพิ่มความพร้อมในการให้บริการข้อมูล จากการประยุกต์แนวคิดลีน-

ซิกซ์ซิกม่า สามารถจำกัดแถวคอยสะสมของทุกประเภทการรักษาได้ภายใน 3.7 เดือน นอกจากนี้ ใช้เทคนิคการจำลองปัญหา เพื่อตัดสินใจในเรื่องรูปแบบของการตรวจคัดกรองที่ทำให้ระยะเวลาในการรับบริการน้อยกว่ารูปแบบเดิม ในขั้นตอนการควบคุมและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ได้มีการสร้างตัวชี้วัดผลของสถานการณ์ดำเนินงานและตัววัดปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อสถานการณ์ดำเนินงาน พร้อมกำหนดวิธีการวัดและความถี่ในการตรวจสอบด้วย

ศิรศักย เทพจิต (2549) นำแนวคิดลีน-ซิกซ์ ซิกม่า สร้างแบบจำลองพลวัตของระบบในกรณีศึกษาโรงพยาบาล เพื่อศึกษาพฤติกรรมของกระบวนการให้บริการตรวจรักษาของโรงพยาบาล โดยมีระบบนัดหมาย หน่วยตรวจโรคอายุรศาสตร์ แผนกผู้ป่วยนอกโรงพยาบาล ตัวอย่างเป็นต้นแบบและนำเสนอการบูรณาการระบบการผลิตแบบลีนและการจัดการคุณภาพแบบซิกซ์ ซิกม่า นำมาปฏิบัติใช้ในกระบวนการของโรงพยาบาล รวมถึงแนวทางนำเครื่องมือของลีน- ซิกซ์ ซิกม่า มาปฏิบัติใช้ โดยประเมินผลของกระบวนการใน 3 ด้าน ด้านอัตราการไหล ด้านประสิทธิภาพของพนักงานและด้านคุณภาพของกระบวนการ ลีน- ซิกซ์ ซิกม่า สามารถลดระยะรอบการทำงานได้มากที่สุด โดยค่าเฉลี่ยของระยะรอบการทำงานตลอดช่วงเวลาจำลองสถานการณ์ลดลงจากการปฏิบัติงานในสภาพปัจจุบัน 57.4% สัดส่วนอัตราการไหลเพิ่มขึ้น 375.75% การเพิ่มผลผลิตของพนักงานเพิ่มขึ้น 30.4 % คุณภาพของการให้บริการเพิ่มขึ้น 120.7%

4. การใช้วิธีการแบบอื่น เพื่อติดตาม วิเคราะห์ และปรับปรุงคุณภาพของระบบการผลิต

ธงชัย ชูใจ (2551) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (Taguchi DOE) มาปรับปรุงกระบวนการ ในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ โดยผู้วิจัยนำมาปรับปรุงกระบวนการล้าง หลังจากพบว่าระบบการวัด (System Analysis Measurement) ค่า %P/TV (SV) [ดัชนี Precision to Total Variation (ความแม่นยำต่อความผันแปรทั้งหมด)] เพื่อประเมิน Liquid particle counting (LPC) รอบแรกเท่ากับ 81.35% ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดคือต้องน้อยกว่า 30% อ้างอิงสถาบัน AIAG (Automative Industry Action Group) จึงทำการหาสาเหตุที่กระทบต่อระบบการวัดจากแผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagram) ทำให้ได้สาเหตุที่เป็นไปได้ นำปัจจัยดังกล่าวมาทดลองแบบทากูชิมาเพื่อปรับปรุง ผลวิเคราะห์ระบบการวัดรอบที่สอง ค่า %P/TV (SV) เหลือ 15.46% ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

ชีวนัน อมรศรีสัจจะ (2551) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (Taguchi DOE) มาปรับปรุงกระบวนการล้าง ในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ ด้วยการทดลองแบบ 4 ปัจจัย 2 ระดับ โดยตัวชี้วัดประสิทธิภาพคือ LPC (LiquidParticle Count) ขนาด 0.3 และ 0.6 ไมครอน ผลของค่า LPC ลดลงหรือดีที่สุด เมื่อทำการปรับลดอุณหภูมิของน้ำ โดยเพิ่มความถี่ของอุตราโซนิก พาวเวอร์ของอุตราโซนิกและเวลา

5. สรุปสาระสำคัญจากผลงานวิจัย บทความ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากผลงานวิจัยที่กล่าวมาแล้วข้างต้นแสดงให้เห็นถึงความสำเร็จจากการประยุกต์กรรมวิธี ลีนและซิกซ์ ซิกม่า ไม่ได้จำกัดการประยุกต์ใช้เฉพาะกับบริษัทขนาดใหญ่อย่าง Motorola หรือ GE แต่นำไปประยุกต์ใช้กับภาคธุรกิจต่าง ๆ มากมายไม่ว่าจะเป็น SMEs องค์กรขนาดใหญ่ โดยมีลักษณะการประยุกต์ใช้ที่แตกต่างกันบ้างเล็กน้อยตามรูปแบบคือระหว่างรูปแบบ การผลิต (Operational) ที่เน้นที่การแปรรูปวัตถุและรูปแบบการบริการ (Transactional) ที่เน้นที่การให้บริการ ซึ่งองค์กรข้างต้นนำมาใช้ปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตและการบริหารจนประสบความสำเร็จ ทำให้เกิดประโยชน์แก่องค์การอย่างมากมาย แต่อย่างไรก็ตามสำหรับแนวทางซิกซ์ ซิกม่า ส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับของเสียหรือข้อบกพร่อง ซึ่งถือเป็นความสูญเปล่าตัวหนึ่ง แต่ไม่ให้ความสำคัญกับความสูญเปล่า (Waste) และมักละเลยกระบวนการที่สำคัญที่เป็นคอขวดของการปรับปรุงโดยรวม หรือแม้แต่ไม่กล่าวถึงปัญหาว่าจะทำอย่างไรที่จะทำให้การไหลของกระบวนการอยู่ในจุดที่เหมาะสมที่สุด ส่วนลีนมุ่งเน้นไปที่สายธารคุณค่าของลูกค้า แต่ไม่เน้นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการใช้ข้อมูล หรือเครื่องมือทางสถิติ เพื่อสนับสนุนการบรรลุความสามารถของกระบวนการ เป็นต้น

ผู้วิจัยมีความสนใจและให้ความสำคัญกับหัวข้อที่ 3 คือการผสมผสานแนวความคิดของการประยุกต์ใช้แนวคิดของลีน-ซิกซ์ ซิกม่า เนื่องจากผู้ทำวิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญของการผสมผสานเครื่องมือทั้งสองแนวคิด ซึ่งมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการการไหลอย่างต่อเนื่องและลดความผันแปร โดยนำเสนอแบบจำลองออกมาในรูปแบบของขั้นตอนการดำเนินงานในกระบวนการผลิตแบบ DMAIC ซึ่งนำเสนอในบทที่ 3 เพื่อนำไปใช้กับกรณีศึกษา

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

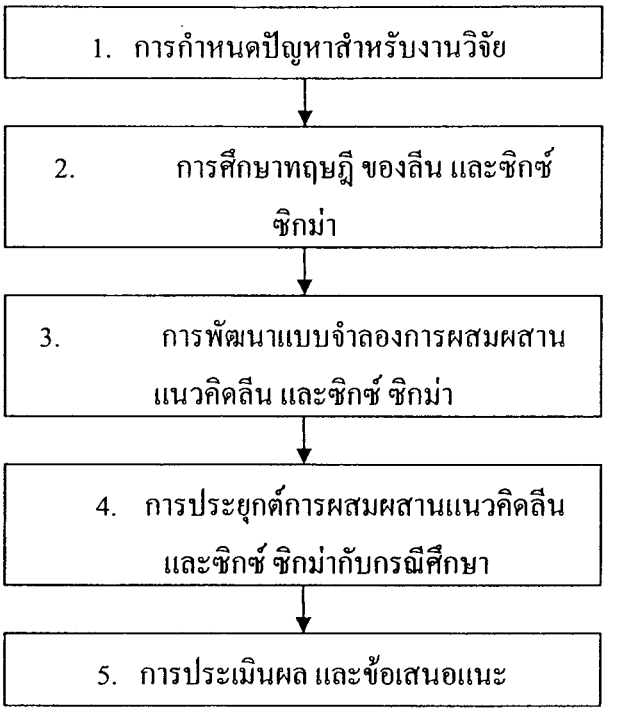
จากการที่องค์กรธุรกิจยุคใหม่ เล็งผลทางด้านต้นทุน คุณภาพของกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ โดยต้องการลดต้นทุน เพิ่มคุณภาพอันจะส่งผลต่อความสามารถในการทำกำไร การประยุกต์แนวทางการบริหารการผลิตต่าง ๆ จึงมีความจำเป็นโดยเฉพาะ ลีน หรือซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งเป็น 2 แนวทางการบริหารที่ได้รับความสนใจอย่างยิ่งจากอุตสาหกรรม, ยุพา กลอนกลาง (2548), พฤทธิพงศ์ โพธิวราพรรณ (2548), จันทรารัตน์ ธีระรัตน์ (2551) และอรอุมา พรหมมัญ (2552) โดยลีนมุ่งเน้นปรับปรุงการไหลของงานในกระบวนการให้เป็นไปอย่างราบเรียบและมีความสูญเปล่าน้อยที่สุด แต่ไม่ได้ให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์เชิงสถิติ เพื่อควบคุมและลดความผันแปรในกระบวนการและผลิตภัณฑ์อย่างเพียงพอ เหมือนกับซิกซ์ ซิกม่า อย่างไรก็ตาม ซิกซ์ ซิกม่า ไม่มุ่งเน้นบ่งชี้ความสูญเปล่าในกระบวนการอย่างครบถ้วน

ดังนั้นแนวทางการบริหารแบบลีนหรือซิกซ์ ซิกม่า แบบใดแบบหนึ่ง จึงไม่สามารถนำไปสู่ผลสัมฤทธิ์ด้านการลดต้นทุน และเพิ่มคุณภาพของกระบวนการและผลิตภัณฑ์ได้อย่างสมบูรณ์แบบ

งานวิจัยจึงนำเสนอตัวแบบ การผสมผสานแนวทางของลีนและซิกซ์ ซิกม่า เพื่อการวิเคราะห์ที่มุ่งเน้นทั้งด้านการลดความสูญเปล่าและความผันแปรของกระบวนการและประยุกต์ใช้กับกระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก ในการผลิตส่วนอ่าน-เขียน (Read-Write) ของกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยมีลำดับขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย ดังภาพที่ 3-1

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน โดยเริ่มจากการกำหนดปัญหา ศึกษาทฤษฎี ของลีนและซิกซ์ ซิกม่า และทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง พัฒนาแบบจำลองการผสมผสาน แนวคิดลีนและซิกซ์ ซิกม่า ประยุกต์การผสมผสานแนวคิดลีนและซิกซ์ ซิกม่า กับกรณีศึกษาและประเมินผลพร้อมข้อเสนอแนะ เป็นขั้นตอนสุดท้าย



ภาพที่ 3-1 ลำดับขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการกำหนดปัญหาสำหรับงานวิจัย

ขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดปัญหาสำหรับงานวิจัยพิจารณาจากจุดแข็ง/จุดอ่อน ของแนวทางการบริหารการผลิตที่อยู่ในความสนใจของอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ โดยหาวิธีปรับปรุงกระบวนการผลิตหรือวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก ให้มีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นได้แก่ ลีน-ซิกซ์ ซิกม่า มาประยุกต์ใช้ โดยนำเสนอตัวแบบ การวิเคราะห์ที่นำจุดแข็งของแต่ละแนวทางมารวมกัน และกำจัด / ชดเชยจุดอ่อน

ขั้นตอนการศึกษาทฤษฎี ของลีนและซิกซ์ ซิกม่า และทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรม ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตด้วยเทคนิคของลีนและเทคนิคของซิกซ์ ซิกม่า ด้านหลักการจุดแข็งและจุดอ่อน การประยุกต์ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการในองค์กร

ผลการศึกษาด้านจุดแข็งและจุดอ่อนของลีนและซิกซ์ ซิกม่า (ดัดแปลง วิทยา สุหฤทดำรง, 2547) อ้างอิงตารางที่ 2-9

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่ามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้ 1) ระบบการผลิตแบบลีน 2) ซิกซ์ ซิกม่า 3) การผสมผสาน แนวคิดของลีน-ซิกซ์ ซิกม่า จำนวนมาก ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะงานวิจัยในส่วนที่ 3 โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมที่ไม่ใช่ฮาร์ดดิสก์ และกลุ่มที่ประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้แนวคิดลีน-ซิกซ์ ซิกม่า ในอุตสาหกรรมที่ไม่ใช่ฮาร์ดดิสก์ ได้แก่ นพดล เฟื่องเด่นขจร (2548) ได้ประยุกต์รวมแนวคิดลีนและซิกซ์ซิกม่า เพื่อปรับปรุงความพร้อมในการตอบสนองในอุตสาหกรรมบริการทันตกรรม โดยหาแนวทางลดเวลาที่ผู้ป่วยต้องใช้เวลาในการรับบริการและเพิ่มความพร้อมในการให้บริการข้อมูล ศิรศักย์ เทพจิต (2549) นำแนวคิดลีน-ซิกซ์ ซิกม่า มาสร้างแบบจำลองพลวัตของระบบในกรณีศึกษาโรงพยาบาล เพื่อศึกษาพฤติกรรมของกระบวนการให้บริการตรวจรักษาของโรงพยาบาล โดยมีระบบนัดหมายหน่วยตรวจโรคอายุรศาสตร์ แผนกผู้ป่วยนอกโรงพยาบาล ตัวอย่างเป็นต้นแบบและนำเสนอการบูรณาการระบบการผลิตแบบลีนและการจัดการคุณภาพแบบซิกซ์ ซิกม่า นำมาปฏิบัติใช้ในกระบวนการของโรงพยาบาล พัชรินทร์ อุ่นเอมใจ (2548) ได้ประยุกต์รวมแนวคิดลีน-ซิกซ์ ซิกม่า เข้ากับมาตรฐานซีเอ็มเอ็มไอ เพื่อประเมินวัดระดับความสามารถขององค์กรขณะปัจจุบันว่าอยู่ในระดับใดตามมาตรฐานซีเอ็มเอ็มไอและเป็นแนวทางสำหรับการวัดผลในการดำเนินงานการผลิตขององค์กร พบว่าวิธีการซิกซ์ ซิกมา มีประโยชน์อย่างมากในระยะของการระบุปัญหา (Define) การวัดและเก็บข้อมูล (Measure) และการวิเคราะห์ข้อมูล (Analyse) ส่วนแนวคิดแบบลีน (Lean Approach) มีประโยชน์อย่างมากในระยะของการระบุปัญหา (Define) การปรับปรุง (Imprpve) และการควบคุม (Control) หรืออาจกล่าวได้ว่า วิธีการซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma Method) เป็นวิธีการที่อาศัยข้อมูลเป็นตัวผลักดัน ในขณะที่แนวคิดแบบลีน (Lean Approach) มีความเป็นรูปธรรมจึงสามารถผลักดันตัวเองเพื่อไปสู่ทางแก้ปัญหาได้รวดเร็วกว่า ดังนั้นการผสมผสานกันของ 2 แนวทางดังกล่าว ทำให้เกิดแนวทางที่มีประสิทธิผลในการแก้ปัญหาในกระบวนการ

กลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้แนวคิดลีน-ซิกซ์ ซิกม่า ในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ อรรถพล เฉลิมพลประภา (2551) ได้ประยุกต์เทคนิคลีน-ซิกส์ ซิกม่า ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ เพื่อการปรับปรุงกระบวนการผลิต พบว่ามีการประยุกต์เทคนิคลีนกับซิกซ์ ซิกม่า โดยดำเนินการตามขั้นตอน DMAIC ในขั้นตอน DMAI ไม่มีการประยุกต์ใช้เทคนิคลีน ซึ่งจะครอบคลุมเฉพาะเพียงแค่ส่วนการควบคุมหรือขั้นตอน C (Control) เท่านั้น แต่ ปัจจุบันบางอุตสาหกรรม เช่น อิเล็กทรอนิกส์มีความซับซ้อนของกระบวนการมากขึ้น แนวคิดข้างต้นที่นำแนวคิดลีนประยุกต์เข้าในส่วนการควบคุม จึงไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลง

ในระบบการดำเนินงานขั้นพื้นฐาน เพื่อที่จะขจัดกิจกรรมที่มีความสูญเปล่า หรือปรับปรุงการไหลของกระบวนการในจุดที่เหมาะสมที่สุด

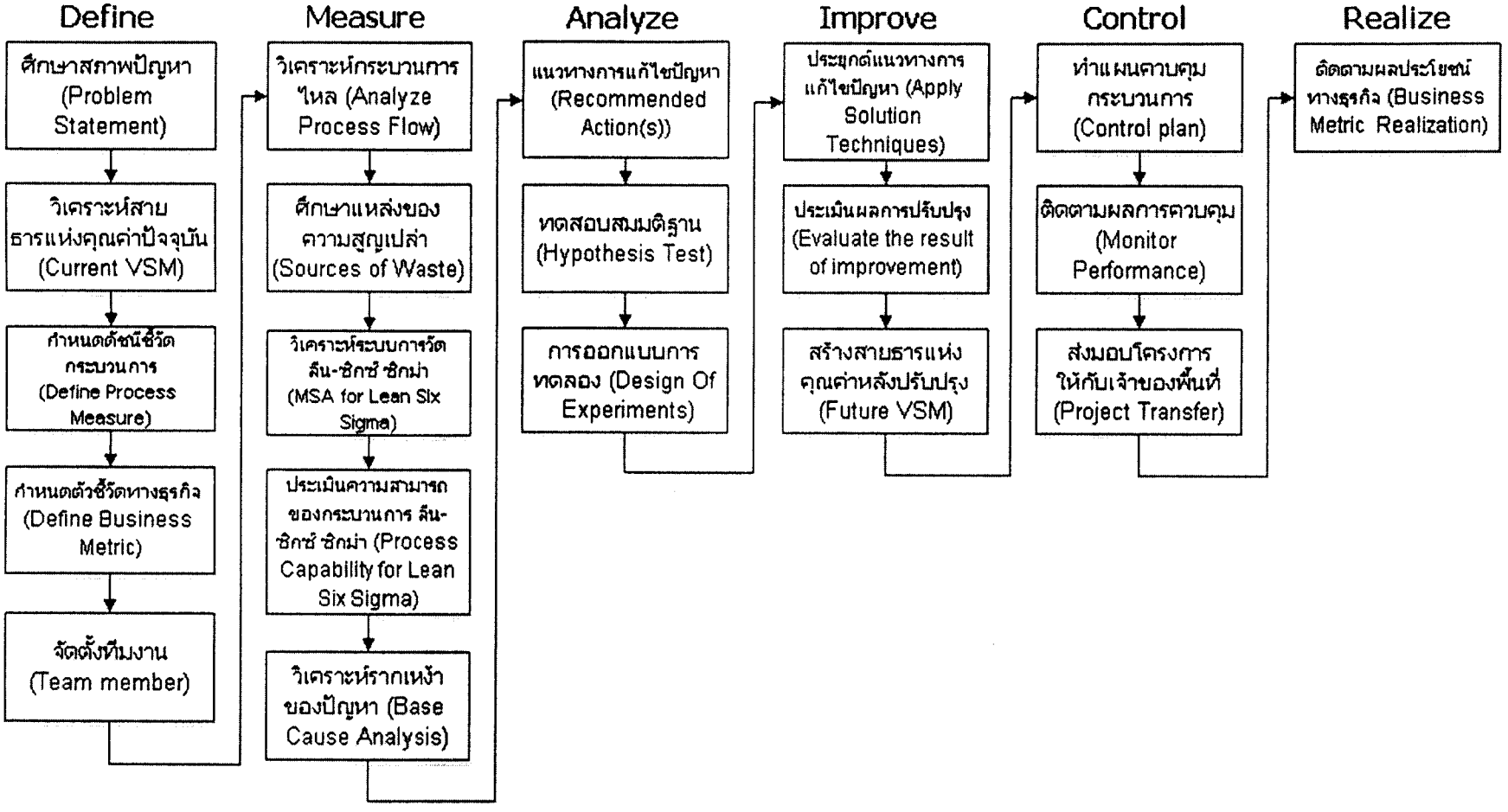
จากงานวิจัยทั้ง 2 กลุ่มจะเห็นได้ว่าจากเหตุดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีการพัฒนาการบูรณาการลีน-ซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งเป็นการรวมเอาจุดแข็งของแนวคิดทั้งสองเข้าด้วยกันในองค์รวม โดยพัฒนาจากแนวคิดของ Basem El-Halk และ Raid Al-Aomar, 2006 เพื่อให้สอดคล้องกับธุรกิจได้มากขึ้น ใช้ได้ทั้งธุรกิจรูปแบบ การผลิตและรูปแบบการบริการและเหมาะสมกับปัญหาคุณภาพที่มีความซับซ้อน

ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองการผสมผสานแนวคิดลีน และซิกซ์ ซิกม่า

ขั้นตอนนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองการผสมผสานแนวคิดลีนและซิกซ์ ซิกม่า ผู้ทำวิจัยได้ผสมผสานเครื่องมือการผลิตแบบลีนเพิ่มเติมเข้าไปในกระบวนการ DMAIC นอกจากเครื่องมือทางสถิติในการวิเคราะห์ต่าง ๆ ในซิกซ์ ซิกม่า แล้ว จะมีการนำเครื่องมือลีนเข้ามา เช่น แผนภาพสายธารแห่งคุณค่า (Value Stream Map) ช่วยระบุรายละเอียดกิจกรรมที่สร้างความสูญเปล่า เทคนิคการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว (Quick Changeover) ช่วยในการลดเวลาที่เกิดจากการปรับตั้งเครื่องจักร การไหลแบบชิ้นเดียว (One Piece Flow) ช่วยในการลดเวลาในการรอคอยระหว่างกระบวนการผลิต เป็นต้น เป็นการช่วยยกระดับความสามารถในการปรับปรุงการไหลในสายการผลิตให้เป็นไปอย่างราบเรียบและผู้วิจัยได้นำเสนอออกมาในรูปแบบของการบูรณาการลีน -ซิกซ์ ซิกม่า ดังตารางที่ 3-1 และภาพที่ 3-2

ตารางที่ 3-1 การเปรียบเทียบการแก้ไขจุดด้อยของลีนและซิกซ์ ซิกม่า ด้วยการบูรณาการลีน-ซิกซ์ ซิกม่า กับวิธีการแก้ปัญหาลีนและซิกส์ ซิกม่า แบบดั้งเดิม

หัวข้อที่	ลีน	ซิกส์ ซิกม่า	ลีน-ซิกซ์ ซิกม่า	การแก้ไขจุดด้อยของวิธีการแก้ปัญหาลีนและซิกซ์ ซิกม่า
1	การกำหนดคุณค่า	การกำหนดปัญหา	การกำหนดปัญหา	- เพิ่มการวิเคราะห์สายธารแห่งคุณค่าปัจจุบัน - ขยายขอบเขตการกำหนดดัชนีชี้วัด เป็นลีน-ซิกซ์ ซิกม่า
2	การวิเคราะห์การไหลของคุณค่า	การวัด	การวัด	- เพิ่มการศึกษาแหล่งของความสูญเปล่า - ขยายขอบเขตการวิเคราะห์ระบบการวัด เป็นลีน-ซิกซ์ ซิกม่า - ขยายขอบเขตการวัดความสามารถของกระบวนการเป็นลีน-ซิกซ์ ซิกม่า
3	การไหล	การวิเคราะห์	การวิเคราะห์	- เพิ่มแนวทางการแก้ไขปัญหา - เพิ่มการออกแบบทดลอง
4	การผลิตแบบดึง	การปรับปรุงงาน	การปรับปรุงงาน	- เพิ่มการวิเคราะห์สายธารแห่งคุณค่า หลังปรับปรุง
5	ความสมบูรณ์แบบ	การควบคุม	การควบคุม	- เพิ่มการส่งมอบโครงการให้กับเจ้าของพื้นที่
6	-	-	การติดตาม	- เพิ่มการติดตามผลประโยชน์ทางธุรกิจ



ภาพที่ 3-2 การผสมผสานแนวคิดลีน-ซิกซ์ ซิกม่า

ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองการผสมผสานแนวคิดลีนและซิกซ์ ซิกม่า ผู้วิจัยได้นำเสนอออกมาในรูปแบบของการบูรณาการ ลีน-ซิกซ์ ซิกม่า ดังนี้

1. ขั้นตอนการกำหนดปัญหา (Define Phase)

ขั้นตอนนี้เป็นการค้นหาโอกาสพัฒนาจากกระบวนการในองค์กร เพื่อดูว่ามีปัญหาความสูญเปล่า ข้อบกพร่อง หรือประเด็นใดบ้างที่ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าให้เกิดความพึงพอใจสูงสุด จุดที่แตกต่างกับการกำหนดปัญหาแบบดั้งเดิมคือ เพิ่มการวิเคราะห์สายธารแห่งคุณค่าปัจจุบันและขยายขอบเขตการกำหนดดัชนีชี้วัด เป็นลีน-ซิกซ์ ซิกม่า เพื่อทำให้ทราบภาพรวมของกระบวนการและโอกาสในการปรับปรุงการไหลของทรัพยากร โดยอ้างอิงจากดัชนีชี้วัดลีน-ซิกซ์ ซิกม่า

ขั้นตอนการกำหนดปัญหา เริ่มจากการศึกษาสภาพปัญหา (Problem Statement) วิเคราะห์สายธารแห่งคุณค่าปัจจุบัน (Current Value Steam Mapping) กำหนดดัชนีชี้วัดกระบวนการ (Define Process Measure) กำหนดตัวชี้วัดทางธุรกิจ (Define Business Metric) และจัดตั้งทีมงาน (Team Member) เพื่อแก้ไขปัญหา

1.1 การศึกษาสภาพปัญหา (Problem Statement)

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาปัญหาโดยมีขั้นตอนในการค้นหาและคัดเลือกโครงการดังนี้

1.1.1 ผู้ที่เกี่ยวข้องร่วมกันทบทวนปัญหาหลักต่าง ๆ ในองค์กรและจดรายการที่เป็นไปได้ทั้งหมด ซึ่งการกำหนดขอบเขตของปัญหา (Project Scope) ที่องค์กรกำลังประสบอยู่พิจารณาจากปัญหาหลักดังนี้

- ปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อความความต้องการของลูกค้า (Critical To Quality)
- ปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อการส่งมอบกับลูกค้า (Critical To Delivery)
- ปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อราคา (Critical To Price)

1.1.2 กำหนดเกณฑ์ในการคัดเลือกโครงการ ดังตารางที่ 3-2

1.1.3 ทำการคัดเลือกโครงการตามเกณฑ์ที่กำหนด

1.1.4 มอบหมายให้ผู้ที่เกี่ยวข้องรับโครงการไปดำเนินการ

และเพื่อให้ได้โครงการที่คุ้มค่าและเหมาะสมที่สุด จึงประกอบด้วยมุมมองในด้านต่าง ๆ ดังนี้

- องค์กรจะได้อะไรจากโครงการนี้ ?
- ลูกค้าได้อะไรจากโครงการนี้ ?
- โอกาสสำเร็จของโครงการนี้มีมากน้อยเพียงใด ?
- องค์กรเกิดการเรียนรู้อะไรบ้างจากโครงการนี้ ?

- ปัญหานี้เร่งด่วนขนาดไหน ?

ารางที่ 3-2 เกณฑ์ในการคัดเลือกโครงการ (สิทธิศักดิ์ พฤกษ์ปีติกุล, 2546)

เกณฑ์	คำถาม
ความเรื้อรัง	เป็นปัญหาที่เรื้อรังมานานใช่หรือไม่ ?
ผลลัพธ์ที่ได้	อะไรคือผลลัพธ์ที่คาดหวังของโครงการ ? ผลลัพธ์ที่ได้เกี่ยวข้องกับประเด็นต่อไปนี้หรือไม่ ? - ลดความสูญเปล่า - เพิ่มประสิทธิภาพ ผลิตภาพ - ให้ผลตอบแทนเพิ่มขึ้น - เพิ่มความพึงพอใจลูกค้าภายนอก - เพิ่มความพึงพอใจลูกค้าภายใน
นัยสำคัญของผลลัพธ์	ผลลัพธ์ที่คาดหวังว่าจะได้มีความแตกต่างจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญมากใช่หรือไม่ ?
ขนาดของโครงการ	ขนาดของโครงการมีความเหมาะสม สามารถบริหารจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ ?
ความเร่งด่วน	โครงการนี้มีความเร่งด่วนมากใช่หรือไม่ ?
โอกาสเสี่ยง	โครงการนี้มีความเสี่ยงมากใช่หรือไม่ ?
แรงต้าน	โครงการนี้คาดว่าจะมีแรงต้านมากใช่หรือไม่ ?
งบประมาณ	ใช้งบประมาณมากใช่หรือไม่ ?
การวัดผล	โครงการนี้สามารถวัดผลลัพธ์ได้อย่างชัดเจนใช่หรือไม่ ?
การเรียนรู้	โครงการนี้ก่อให้เกิดองค์ความรู้หรือการเรียนรู้ใหม่ ๆ เพิ่มขึ้นในองค์กรใช่หรือไม่ ?

1.2 การศึกษาสายธารแห่งคุณค่าปัจจุบัน (Current Value Steam Map)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นการศึกษาสายธารแห่งคุณค่าปัจจุบัน (Current Value Steam lapping) ซึ่งเป็นเครื่องมือสนับสนุนการพัฒนาผลิตภาพกระบวนการด้วยการแสดงลำดับขั้นตอน อง กิจกรรมต่าง ๆ ที่มุ่งส่งมอบคุณค่าให้กับลูกค้าและทำให้ทราบภาพรวมของกระบวนการ

รวมทั้งปรับปรุงการไหลของทรัพยากรและสามารถระบุกิจกรรมไคเซ็น เพื่อขจัดความสูญเปล่า ดังนั้น Value Steam Mapping จึงมักใช้จำแนกกิจกรรมที่สร้างคุณค่าเพิ่มและกิจกรรมที่เกิดความสูญเปล่าโดยนำข้อมูลผลลัพธ์จากการวิเคราะห์สถานะปัจจุบัน (Current State) ซึ่งถูกแสดงด้วยเอกสารสำหรับกำหนดสถานะหลังจากการปรับปรุง (Future State) ตั้งแต่กระบวนการเริ่มต้นและส่งมอบคุณค่าให้กับกระบวนการถัดไปจนถึงลูกค้าสุดท้าย (Final Customer) โดยคุณค่าที่เกิดขึ้นได้เชื่อมโยงระหว่างกระบวนการ เรียกว่า สายธารแห่งคุณค่า ซึ่งผลิตภัณฑ์หรือรูปแบบการให้บริการที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้ถูกผนวกในสายธารแห่งคุณค่าเดียวกันหรืออาจกล่าวได้ว่าสายธารแห่งคุณค่าประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์หรือการให้บริการที่มีคุณลักษณะเดียวกัน ด้วยเหตุนี้สายธารแห่งคุณค่าจึงไม่เพียงจำกัดขอบเขตเพียงแค่กระบวนการผลิตเท่านั้น แต่สามารถนำมาใช้แสดงกระบวนการโดยรวมที่สร้างคุณค่าให้กับลูกค้าและช่วยให้เข้าใจ “ภาพรวม” (Big Picture) กระบวนการในปัจจุบัน (Current State) เห็นความเชื่อมโยงของการไหลของวัตถุดิบและการไหลของข้อมูล รวมถึงแหล่งกำเนิดของความสูญเปล่า

โดยสายธารแห่งคุณค่าประกอบด้วยการไหลทั้ง 7 คือ

1. การไหลของบุคลากร
2. การไหลของผลิตภัณฑ์ (มูลค่าเพิ่มในการดำเนินธุรกิจ)
3. การไหลของข้อมูลข่าวสาร
4. การไหลของชิ้นส่วน (ข้อมูลที่จำเป็น)
5. การไหลของอุปกรณ์ (วิธีการในการส่ง)
6. การไหลของวัตถุดิบ (การเบิก-จ่าย)
7. การไหลของส่วนวิศวกรรม (นโยบายและขั้นตอนการปฏิบัติงานต่างๆ)

ส่วนความสูญเปล่า (Waste) คือทุกกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า ซึ่งจะช่วยทำให้เรามองเห็นโอกาสและช่องทางการปรับปรุงกระบวนการ นำไปสู่การขจัดมันทิ้งในที่สุด

ความสูญเปล่าสามารถแยกได้ 7 ประเภทดังนี้

1. ความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากการผลิตมากเกินไป (Overproduction)
2. ความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากการรอคอย (Waiting)
3. ความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากการขนย้าย (Transportation)
4. ความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากการกระบวนการที่ไม่เหมาะสม (Inappropriate Processing)
5. ความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากการวัสดุคงคลัง (Inventory)
6. ความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น (Unnecessary Motions)

7. ความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากของเสีย/บกพร่อง (Defect)

จากสายธารแห่งคุณค่าจะเห็นได้ว่า ไม่มีการพิจารณาถึงคุณภาพและเมื่อเพิ่มข้อมูลของ Yield เข้าไป จะทำให้สามารถเชื่อมโยงไปสู่กลยุทธ์ของซิกซ์ ซิกม่าได้

1.3 การกำหนดดัชนีชี้วัดกระบวนการ (Define Process Measure)

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาดัชนีมาตรวัดโครงการที่เหมาะสมกับองค์กร สามารถทำการวิเคราะห์ได้ 3 รูปแบบ คือ

1.3.1 การกำหนดดัชนีชี้วัดจากสถานะในปัจจุบัน

เพื่อให้ทราบจุดอ่อนจุดแข็งของตนเอง หาสาเหตุของปัญหาหรือจุดด้อยในกระบวนการ เพื่อการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องในอนาคต

1.3.2 การกำหนดดัชนีชี้วัดกับข้อมูลในอดีต

เพื่อให้ทราบเกี่ยวกับการบริหารทรัพยากรของบริษัทในอดีตที่ผ่านมามีประสิทธิภาพและประสิทธิผลเพียงใด มีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้นหรือถดถอยอย่างไร นอกจากนี้แล้วผู้บริหารสามารถนำมาเป็นเครื่องมือตัวหนึ่งในการคาดการณ์แนวโน้มของบริษัทได้อีกด้วย วิธีนี้เป็นวิธีที่สะดวกที่สุด เนื่องจากเป็นข้อมูลที่อยู่ภายในบริษัทเอง การกำหนดดัชนีชี้วัดกับข้อมูลในอดีต สามารถเปรียบเทียบโดยใช้ กราฟเส้น (Line Chart) กราฟพื้นที่ (Area Chart) หรือ กราฟแท่ง (Bar Chart)

1.3.3 การเปรียบเทียบเป้าหมาย (Target) เทียบเคียงกับคู่แข่งขันหรือความต้องการของลูกค้า

เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับคู่แข่งขัน เพื่อให้บริษัทกำหนดกลยุทธ์เพื่อสร้างความ สามารถแข่งขันในอุตสาหกรรมที่ตนเองอยู่ได้ โดยเมื่อผู้บริหารทราบถึงสถานะของตนเองในกลุ่มอุตสาหกรรมว่าเป็นผู้นำหรือ เป็นผู้ตามในด้านใดก็สามารถนำมากำหนดกลยุทธ์และวางแผนเพื่อสร้างศักยภาพการ แข่งขันในอนาคตได้

ดัชนีมาตรวัดโครงการที่เหมาะสม ส่วนใหญ่นำมาใช้มีดังนี้

1. จำนวนชิ้นงานระหว่างกระบวนการ (Work In Process)
2. อัตราคุณค่าเพิ่ม (Value Added Ratio)
3. เวลาที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนเครื่องจักร (Quick Changeover)
4. ค่าประสิทธิผลของเครื่องจักรโดยรวม (Overall Equipment Effectiveness: OEE)
5. เส้นทางของกระบวนการ
6. พื้นที่การใช้งาน
7. รอบการหมุนของสินค้าคงคลัง (Inventory Turns)

8. จำนวนวันที่จัดเก็บสินค้าคงคลัง (Days Of Inventory On Hand)

9. ปริมาณข้อพกพร่องต่อ 1 ล้านชิ้น (Defective Parts Per Million: DPPM) หรือระดับซิกม่า (Sigma Level)

10. รอบเวลาในการผลิตรวม (Total Cycle Time) หรือเวลาที่ใช้ในการเพิ่มคุณค่ารวม (Total Value Adding Time: VAT)

11. เวลานำรวม (Total Lead Time)

12. ช่วงเวลาเครื่องจักรใช้งานได้ (Uptime)

13. การส่งมอบสินค้าตรงเวลา (On Time Delivery)

14. ความสามารถในการผลิตครั้งแรกแล้วได้คุณภาพตามความต้องการ (First Time Through Capability)

15. เปอร์เซ็นต์ความบกพร่อง (Percent Defect) มีการกำหนดเป้าหมายตามขั้นตอนดังนี้

- การคำนวณค่าเฉลี่ยของปัญหา (Baseline) ในระยะยาว (Longterm)
- หาศักยภาพความสามารถที่ดีที่สุดของกระบวนการ ที่สามารถจะคาดหวังได้ โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานการออกแบบเดิม หรือที่เรียกว่าจุดที่ดีที่สุด (Entitlement) คือประมาณการกรณีที่ดีที่สุดที่เกิดได้จริงในระยะสั้น เช่นระดับของข้อบกพร่องในระยะสั้น โดยที่เราสามารถควบคุมให้อินพุทของกระบวนการอยู่ที่ค่ากลางและมีความเสถียร (In Control) ซึ่งจุดที่ดีที่สุดนอกจากคำนวนจากข้อมูลในอดีตแล้วสามารถใช้การเทียบเคียง (Benchmark) จากคู่แข่งได้อีกทางหนึ่ง
- คำนวณหาโอกาสของการปรับปรุง (Opptunity) คือ ความแตกต่างของระดับปัญหาปัจจุบัน (baseline) กับจุดที่ดีที่สุด (Entitlement) คูณด้วย 70%
- คำนวณเป้าหมายโดยค่าเฉลี่ยของปัญหา (Baseline) ลบด้วยโอกาสของการปรับปรุง (Opptunity)

1.4 การกำหนดตัวชี้วัดทางธุรกิจ (Define Business Metric)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการคำนวณพยากรณ์ผลประโยชน์ (Cost Saving Forecast) ที่จะได้รับในระยะเวลา 1 ปีหลังจากปรับปรุงต้นทุนจากสินค้าที่มีคุณภาพต่ำ (Cost Of Poor Quality – COPQ) หรือการส่งมอบล่าช้า รวมถึงความพึงพอใจของลูกค้า นอกจากนี้แล้วการคำนวณพยากรณ์ผลประโยชน์ยังช่วยในการตัดสินใจความเหมาะสมของโปรเจคให้กับทีมที่จะนำไปดำเนินการ

1.5 การจัดตั้งทีมงาน (Team member)

ขั้นตอนนี้เป็นการจัดตั้งทีมงาน เพื่อการจัดประชุม กำหนดขอบเขต เป้าหมาย การแบ่งหน้าที่ความรับผิดชอบ รวมถึงการวางแผนการดำเนินงานและกำหนดระยะเวลาของการดำเนินงาน

ทีมงานเป็นกลุ่มประมาณ 8-10 คน ซึ่งเป็นแหล่งศูนย์รวมความรู้ในกระบวนการ สร้างความเป็นเจ้าของ การมีส่วนร่วมในปัญหาและกระจายงาน ทำให้การสื่อสารง่ายขึ้น ทำให้ผู้มีบทบาทในองค์กรมีส่วนร่วมและถูกโน้มน้าวให้เห็นพ้องกับลีน-ซิกซ์ ซิกม่า ด้วยการทำงานร่วมในกลุ่ม เผยแพร่ลีน-ซิกซ์ ซิกม่า เป็นการนำไปสู่การเปลี่ยนวัฒนธรรมองค์กรและจากการที่มีคนเข้าร่วมการทำงานกลุ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ทักษะของคนทำงานทุกคนก็จะเพิ่มขึ้นและการต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของซิกซ์ ซิกม่า ก็จะค่อย ๆ ลดลง ๆ ไปเรื่อย ๆ

นอกจากทีมงานที่มีความสำคัญ ผู้นำทีมในการทำโครงการก็มีความสำคัญ ซึ่งควรคัดบุคลากรและให้การฝึกอบรมในทักษะที่จำเป็นต่าง ๆ อย่างครบถ้วน ไม่ว่าจะเป็นทักษะในการเป็นผู้นำทีม การประชุม การเป็นพี่เลี้ยง การสื่อสารและแก้ไขปัญหา การนำเสนอผลงานนอกเหนือไปจากทักษะด้านการคิดวิเคราะห์และการใช้กลวิธีทางสถิติอย่างเหมาะสมและถูกต้อง

2. ขั้นตอนการวัดและตรวจสอบ (Measure Phase)

ขั้นตอนนี้จะเป็นการวัดการทำงานของกระบวนการ โดยมีการวิเคราะห์ที่สำคัญคือการหาผลการดำเนินงานของกระบวนการด้วยโดยการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือคุณภาพต่าง ๆ จุดที่แตกต่างกับการวัดแบบเดิมคือ เพิ่มการศึกษาแหล่งของความสูญเปล่า ขยายขอบเขตการวิเคราะห์ระบบการวัด เป็นลีนและซิกซ์ ซิกม่าและขยายขอบเขตการวัดความสามารถของกระบวนการ เป็นลีนและซิกซ์ ซิกม่า เพื่อสืบค้นและวิเคราะห์ร่องรอย หรือแหล่งของความสูญเปล่า แล้วทำการวิเคราะห์ระบบการวัดและวัดความสามารถของกระบวนการ ตามประเภทของข้อมูล

ขั้นตอนการวัดและตรวจสอบ เริ่มจากการวิเคราะห์กระบวนการไหล (Analyze Process Flow) ศึกษาแหล่งของความสูญเปล่า (Sources Of Waste) วิเคราะห์ระบบการวัดลีนและซิกซ์ ซิกม่า (MSA For Lean Six Sigma) ประเมินความสามารถของกระบวนการ ลีนและซิกซ์ ซิกม่า (Process Capability For Lean Six Sigma) และวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหา (Base Cause Analysis)

2.1 การวิเคราะห์กระบวนการไหล (Analyze Process Flow)

ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์ผังการไหลของกระบวนการ เพื่อสืบค้นกระบวนการด้อยประสิทธิภาพ เครื่องมือที่ใช้แสดงกระบวนการไหล คือ

2.1.1 แผนผังมหภาค (Macro Map) เพื่อแสดงขั้นตอนในลักษณะภาพรวม

2.1.2 แผนผังกระบวนการ (Process Flow Chart) เพื่อแสดงลำดับเหตุการณ์หรือกระบวนการตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดภายในกระบวนการ ซึ่งใช้จำแนกความสูญเปล่าที่เกิดในแต่ละผลิตภัณฑ์ (Single Product)

2.2 การศึกษาแหล่งของความสูญเปล่า (Sources of Waste)

ขั้นตอนนี้เป็นการสืบค้นและวิเคราะห์ เพื่อหาร่องรอย หรือแหล่งของความสูญเปล่า (Sources Of Waste) ของปัญหา ทำได้ 2 วิธีหลัก ๆ ดังนี้

2.2.1 วิธีที่1 การสืบค้นและวิเคราะห์จากข้อมูล (Data Analysis)

เริ่มด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เก็บรวบรวมไว้ย้อนหลัง (Passive Data) หรือจากการทดลองปฏิบัติจริง (Active Data) แล้วนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ ของเหตุและผล เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง โดยใช้เครื่องมือดังนี้

- ใบตรวจสอบ / แผ่นตรวจสอบ (Check Sheet)

แผ่นตรวจสอบ คือ ตาราง แบบฟอร์ม หรือแผ่นภาพใด ๆ ที่ออกแบบให้มีลักษณะง่ายต่อการเก็บข้อมูลโดยทำหรือกาเครื่องหมายใด ๆ ลงไปในช่องที่จัดไว้ให้

- แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagrams)

เป็นแผนภูมิ หรือกราฟแท่งที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าหรือขนาด หรือความถี่ของข้อมูลที่เป็นปัญหา (หรือลักษณะจำเพาะควบคุมใด ๆ) ที่มีการจำแนกประเภทออกจากกันและเขียนต่อกันโดยเรียงลำดับตามความสำคัญ

- แผนภูมิก้างปลา (Fish Bone Diagrams)

เป็นผังที่ใช้ลูกศรแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางคุณภาพกับสาเหตุที่มีผลกระทบต่อคุณลักษณะคุณภาพนั้น ๆ ซึ่งปัญหามักจะเกี่ยวข้องกับประเด็นดังต่อไปนี้

1. Man: เรื่องที่เกี่ยวข้องกับบุคลากร ได้แก่
   ก) ความรู้ความสามารถของบุคลากร
   ข) ระบบการฝึกอบรมให้ความรู้
   ค) ทักษะของบุคลากร
   ง) ความเพียงพอของบุคลากร
2. Machine: เรื่องที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์ ได้แก่
   ก) แผนการบำรุงรักษาที่ไม่เหมาะสม
   ข) เครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์ ที่ไม่เหมาะสม
   ค) เครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์ ที่ล้าสมัย
   ง) เครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์ที่ไม่เพียงพอ

จ) เทคโนโลยีที่ไม่เหมาะสม

3. Method: เรื่องที่เกี่ยวข้องกับวิธีการหรือกระบวนการ ได้แก่

ก) วิธีการหรือกระบวนการที่ไม่เหมาะสม

ข) วิธีการหรือกระบวนการที่ยังมีความเสี่ยง

ค) วิธีการหรือกระบวนการที่ไร้ประสิทธิภาพ

ง) วิธีการหรือกระบวนการที่ไร้คุณภาพหรือไม่น่าประทับใจ

จ) การไหลของกระบวนการยังไม่เหมาะสม

4. Material: เรื่องที่เกี่ยวข้องกับวัสดุ เวชภัณฑ์ หรือวัตถุดิบ ได้แก่

ก) วัสดุ เวชภัณฑ์ หรือวัตถุดิบที่ไม่เหมาะสม

ข) วัสดุ เวชภัณฑ์ หรือวัตถุดิบที่ไม่มีคุณภาพ

ค) วัสดุ เวชภัณฑ์ หรือวัตถุดิบที่ไม่เพียงพอ

ง) ระบบการบริหารการคลังที่ไม่มีประสิทธิภาพ

จ) ระบบการเก็บรักษาวัสดุ เวชภัณฑ์ หรือวัตถุดิบที่ไม่มีประสิทธิภาพ

5. Measure: เรื่องที่เกี่ยวกับมาตรการกำกับ ติดตาม ดูแลและประเมินผล ได้แก่

ก) ขาดระบบในการวัดผล

ข) ขาดระบบในการกำกับและติดตามผล

ค) ขาดระบบในการรายงานผลและประเมินผล

6. Mother Nature: เรื่องที่เกี่ยวข้องกับการสนับสนุน ได้แก่

ก) ขาดระบบในการสนับสนุน

ข) ขาดระบบในการกำกับและติดตามผล

ค) ขาดระบบในการรายงานผลและประเมินผล

7. Environment or Place: เรื่องที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมหรือสถานที่ ได้แก่

ก) Layout ในการทำงานไม่เหมาะสม

ข) สภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม เช่น แสงสว่างไม่เพียงพอ

8. Procedure and Policy: เรื่องที่เกี่ยวข้องกับระเบียบปฏิบัติและนโยบาย ได้แก่

ก) ขาดการกำหนดนโยบายที่ชัดเจน

ข) นโยบายที่มีอยู่ไม่เหมาะสม

ค) ไม่มีระเบียบปฏิบัติเป็นรายลักษณ์อักษรเพื่อความเข้าใจที่ตรงกัน

ง) ขาดแนวทางปฏิบัติที่ชัดเจน

9. Comunication: เรื่องที่เกี่ยวกับการสื่อสาร ได้แก่

ก) ระบบการสื่อสารที่ไร้ประสิทธิภาพ

ข) เทคโนโลยีที่ใช้ในการสื่อสารไร้ประสิทธิภาพ

- กราฟ (Graphs)

เป็นการนำข้อมูล (ตัวเลข) ที่ผ่านการวิเคราะห์ทางสถิติ แล้วนำเสนอในรูปของภาพต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความเข้าใจได้โดยง่าย

- แผนภูมิการกระจาย (Scatter Diagrams)

เป็นแผนภูมิสำหรับดูความสัมพันธ์ของข้อมูล 2 ชุด ว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไร

- ฮีสโตแกรม (Histograms)

เป็นกราฟแท่งที่แสดงคุณสมบัติการรวมกลุ่มของข้อมูล จะทำให้เราทราบว่าข้อมูลมีการกระจายมากน้อยเพียงไรและมีการแจกแจงอยู่ในสภาพเช่นไร

- แผนภูมิควบคุม (Control Charts)

เป็นกราฟเส้นที่ประกอบด้วยเส้นกึ่งกลาง 1 เส้นและมีเส้นพิกัดควบคุม 1 คู่ อยู่ด้านบนและด้านล่างของเส้นกึ่งกลาง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการติดตามผลการผลิตจากกระบวนการผลิตขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง

ปัจจุบันมีการศึกษาแหล่งของความสูญเปล่าจากเครื่องมือข้างต้นโดยโปรแกรมมินิแทป (Minitab) ซึ่งเป็นกลวิธีใช้ประกอบร่วมกัน สามารถช่วยอำนวยประโยชน์หรือช่วยลดเวลาในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของเหตุและผล อย่างไรก็ตามการใช้เครื่องมือคุณภาพมีแนวทางการใช้แตกต่างกันไปตามลักษณะข้อมูลและเวลา ดังตารางที่ 3-3 การใช้เครื่องมือในมินิแทป เพื่อวิเคราะห์ ตามเวลาและประเภทของข้อมูลดังตารางที่ 3-4 และการใช้เครื่องมือในมินิแทป เพื่อวิเคราะห์ ตามประเภทของข้อมูล ดังตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-3 แนวทางการใช้เครื่องมือวิเคราะห์แหล่งของความผันแปรและความสูญเปล่า

เครื่องมือคุณภาพ	แนวทางการใช้งาน
- สถิติเบื้องต้น (Basic Statistics)	แสดงข้อมูลเชิงพรรณา
- แผนภูมิฮิสโตแกรม (Histograms) - แผนภูมิกล่อง (Boxplot) - แผนภูมิจุด (Dotplot)	แสดงการกระจายตัวของข้อมูล
- แผนภูมิตามลำดับเวลา (Run Chart)	แสดงข้อมูลตามลำดับเวลา
- แผนภูมิควบคุม (Control Chart)	แสดงเสถียรภาพของข้อมูลตามลำดับเวลา
- แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart)	แสดงลำดับความสำคัญของปัญหา
- แผนภูมิก้างปลา (Fish Bone Diagram)	ระบุหาสาเหตุของปัญหาที่เป็นไปได้
- การเทียบเคียง (Benchmarking)	แสดงการเปรียบเทียบ
- ตารางข้อมูล (Tables)	แสดงข้อมูลเชิงพรรณา
- กราฟความสัมพันธ์ (Scatter Plots) - กราฟเมทริก (Matrix Plots)	แสดงความสัมพันธ์
- การวิเคราะห์ทำไม-ทำไม (5 why's)	แสดงความสัมพันธ์

ตารางที่ 3-4 การใช้เครื่องมือ เพื่อวิเคราะห์ ตามเวลาและประเภทของข้อมูล

ประเภทของข้อมูล	ข้อมูลเป็นจุดในช่วงเวลา (A point in time)	ข้อมูลเป็นช่วงเวลา (Over time)
ข้อมูลต่อเนื่อง (Data Continuous)	แผนภูมิฮิสโตแกรม (Histogram) แผนภูมิจุด (Dotplot) แผนภูมิกล่อง (Box Pplot)	- แผนภูมิตามลำดับเวลา (Time Series Plots) - แผนภูมิอนุกรมเวลา (Run Plots) - แผนภูมิควบคุม (Control Plots)
ข้อมูลไม่ต่อเนื่อง (Data Discretes)	ตารางข้อมูล (Tables) แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart)	- แผนภูมิตามลำดับเวลา (Time Series Plots) - แผนภูมิอนุกรมเวลา (Run Plots) - แผนภูมิควบคุม (Control Plots)

ตารางที่ 3-5 การใช้เครื่องมือ เพื่อวิเคราะห์ ตามประเภทของข้อมูล

ประเภทของข้อมูล		ปัจจัย (x)	
		ข้อมูลต่อเนื่อง (Data Continuous)	ข้อมูลไม่ต่อเนื่อง (Data Discretes)
ปัญหา (Y)	ข้อมูลต่อเนื่อง (Continuous Data)	กราฟความสัมพันธ์ (Scatter Plots) กราฟเมทริก (Matrix Plots)	แผนภูมิฮิสโตแกรม (Histogram) แผนภูมิจุด (Dot Plot) แผนภูมิกล่อง (Box Plot)
	ข้อมูลไม่ต่อเนื่อง (Discretes Data)	แผนภูมิฮิสโตแกรม (Histogram) แผนภูมิจุด (Dot Plot) แผนภูมิกล่อง (Box Plot)	ตารางข้อมูล (Tables) แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart)

2.2.2 วิธีที่2 การสืบค้นและวิเคราะห์จากกระบวนการ (Process Analysis)

เป็นขั้นตอนการศึกษากระบวนการจริง เหตุการณ์จริง การปฏิบัติจริง เพื่อสืบค้นว่าเกิดเหตุการณ์อะไรขึ้นบ้าง แล้วนำมาวิเคราะห์หาร่องรอย เพื่อนำไปสู่การพิสูจน์สาเหตุรากเหง้าของปัญหาต่อไป

การวิเคราะห์กระบวนการทำได้หลายแบบ ดังนี้

- การวิเคราะห์วินาทีที่สัมผัส (Moment Of Truth Analysis) สามารถทำได้โดยวิธีดังต่อไปนี้

1) การสังเกตโดยตรง (Direct Observe)

2) การถ่ายภาพนิ่ง

3) การถ่ายวีดีทัศน์

- การวิเคราะห์ผังการไหล (Flow Chart) ของกระบวนการ เป็นการวิเคราะห์ผังการไหลของกระบวนการอย่างละอียดจากลำดับขั้นตอนของกิจกรรมต่าง ๆ ตลอดจนจุดตัดสินใจ เพื่อสืบค้นดูว่ากระบวนด้อยประสิทธิภาพอยู่ในขั้นตอนใดบ้าง

- การวิเคราะห์คุณค่า (Value Added Analysis) ในกระบวนการ โดยทั่วไปในการผลิตนั้นจะมีลักษณะงานซึ่งประกอบด้วยทั้งกิจกรรมและการไหลที่สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

1) ขั้นตอนที่ถือว่าเป็นการสร้างคุณค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ (Value Added: VA)

2) ขั้นตอนการสร้างซึ่งไม่ก่อให้เกิดคุณค่าแต่เป็นสิ่งจำเป็น (Necessary But Non Value Added: NNVA)

3) ขั้นตอนการสร้างซึ่งไม่ก่อให้เกิดคุณค่า (Non Value Added: NVA)

การวิเคราะห์เวลาและการเคลื่อนไหว (Time And Motion Analysis) ในกระบวนการ

2.3 การวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับลีน-ซิกซ์ ซิกม่า (Measurement System Analysis for Lean Six Sigma)

ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement Systems Analysis: MSA) เพื่อทำให้มั่นใจว่าการวัดนั้นมีความแม่นยำและความน่าเชื่อถือ โดยกระบวนการจะช่วยในการบ่งชี้และขจัดปัญหาในการวัด ซึ่งจะศึกษาก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อการตัดสินใจว่า แหล่งความผันแปรของข้อมูลมาจากกระบวนการเท่านั้น ไม่ได้มาจากระบบการวัด หรือเกิดน้อยมากจนสามารถตัดทิ้งได้ การวิเคราะห์แยกตามประเภทของข้อมูลดังนี้

2.3.1 การวิเคราะห์ระบบการวัดแบบแอตทริบิวต์ (Attribute Gage R&R) เมื่อข้อมูลเป็นประเภทเชิงลักษณะคุณภาพ

2.3.2 การวิเคราะห์ระบบการวัดแบบแวเรียเบิล (Variable Gage R&R) เมื่อข้อมูลเป็นประเภทเชิงปริมาณ

2.4 การประเมินความสามารถของกระบวนการสำหรับลีน-ซิกซ์ ซิกม่า (Process Capability for Lean-Six Sigma)

ขั้นตอนนี้เป็นการประเมินดัชนีชี้วัดความสามารถเทียบกับผลสำเร็จของกระบวนการเพื่อที่จะทำให้ทราบว่ากระบวนการนั้นมีความตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้ดีเพียงไร และยังช่วยให้เห็นข้อบกพร่องที่ทำให้การผลิต มีความสูญเปล่าและขจัดมันออกได้ หรือทำให้ทราบธรรมชาติของปัญหาในกระบวนการนั้น ว่าเป็นปัญหาที่ศูนย์กลาง (Mean) หรือการกระจาย (Sigma) การประเมินเสถียรภาพของกระบวนการ สะท้อนด้วยค่าดังต่อไปนี้

2.4.1 ความสามารถของกระบวนการระยะสั้น Process Capability Index (Cp/Cpk)

2.4.2 ความสามารถของกระบวนการระยะยาว Process Performance Capability (Pp/Ppk)

2.4.3 ค่ามาตรฐาน Z-Scores หรือระดับซิกม่า

2.4.4 ค่า Takt Time เป็นการวัดความสามารถของเวลาการผลิตสินค้าต่อปริมาณความต้องการของลูกค้า เพื่อสร้างสมดุลให้สายการผลิต

การประเมินความสามารถด้ายศักยภาพของกระบวนการจะต้องอยู่บนข้อสมมติต่าง ๆ ดังนี้

- ข้อมูลที่ศึกษาต้องเป็นข้อมูลแบบผันแปร
- ข้อมูลต้องรวบรวมจากกระบวนการผลิตใจสภาพปกติของการผลิต
- ข้อมูลต้องอยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติ หรือสภาพเสถียรภาพ
- ข้อมูลที่รวบรวมได้จะต้องเป็นข้อมูลสุ่ม
- ข้อมูลที่ศึกษาจะเป็นค่าวัดที่สะท้อนถึงสาเหตุความผันแปรจากกระบวนการ

2.5 การวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหา (Base Cause Analysis)

ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหา โดยเครื่องมือดังนี้

2.5.1 สาเหตุและผลจากตาราง (C-E Matrixs)

เป็นขั้นตอนการศึกษานำตัวแปรขาเข้าจากแผนผังสาเหตุและผล มาจัดอันดับเอ้าท์พุทตามลำดับความสำคัญที่ส่งผลต่อลูกค้า โดยใช้คะแนน 0-10 ค่ามากให้หมายถึงความสำคัญมาก และกรั่นกรองด้วยแผนภูมิพาเร โต (Pareto Diagram) เพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ส่งผลกระทบต่อปัญหา 80%

2.5.2 ระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ โดยใช้วิธีการ FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)

เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วย FMEA เป็นการคิดอย่างเป็นระบบและมีการคำนึงถึงปัจจัย ต่าง ๆ เป็นการนำสาเหตุที่มิได้ทำการตัดออกในขั้นตอนของการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล เพื่อค้นหาสาเหตุที่น่าจะมีผลกระทบต่อปัญหาที่ทำการศึกษามากที่สุดจากตัวเลข RPN ซึ่งเป็นผลคูณของ Severity, Occurrence และ Detection โดยหลักเกณฑ์ในการให้คะแนนอยู่ในตาราง 2.3, 2.4, 2.5 แล้วกรั่นกรองด้วยแผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) เพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ส่งผลกระทบต่อปัญหา 80% แล้วนำไปทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test) ต่อไป

2.5.3 วิเคราะห์รากเหง้าของปัญหาของระบบการผลิตแบบลีน อ้างอิงตารางที่ 2-1 เครื่องมือของระบบการผลิตแบบลีน (Greene, 2002)

3. ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (A: Analyze)

ขั้นตอนนี้เป็นการบ่งชี้ และบอกสาเหตุที่วิกฤตต่อปัญหา จากการทดลอง รวมถึงแนวทางในการแก้ไขปัญหา จุดที่แตกต่างกับการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาแบบเดิมคือเพิ่มแนวทางการแก้ไขปัญหาและเพิ่มการออกแบบทดลอง

ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา เริ่มจากแนวทางการแก้ไขปัญหา (Recommended Action(s)) ทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test) และการออกแบบการทดลอง (Design Of Experiments)

3.1 แนวทางการแก้ไขปัญหา (Recommended Action(s))

ขั้นตอนนี้เป็นการแนะนำแนวทางการแก้ไข เพื่อความเสถียรและความมั่นใจในการผลิต โดยเครื่องมือดังต่อไปนี้

3.1.1 การปรับเปลี่ยนรุ่นการผลิตอย่างรวดเร็ว (SMED: Single Machine Exchange Die)

3.1.2 การบำรุงรักษาโดยรวม (TPM: Total Preventive Maintenance)

3.1.3 การผลิตแบบการทันเวลาพอดี (JIT: Just In Time)

3.1.4 การจัดสายสมดุลการผลิต (Work Balancing)

3.1.5 การควบคุมด้วยสายตา (Visual Control)

3.1.6 การผลิตแบบดึง (Pull Production Scheduling)

3.1.7 การไหลแบบต่อเนื่อง ผลิตแบบหนึ่งต่อหนึ่ง (One Piece Flow)

3.1.8 อัตราการผลิตสินค้า (Production to Takt time)

3.1.9 5 ส (5s: Housekeeping)

3.1.10 การแสดงให้เห็นภาพของวิธีการปฏิบัติงาน (Method Sheets)

3.1.11 การควบคุมด้วยสายตา (Vistual Control)

3.1.12 การบำรุงรักษาทวีผลแบบทุกคนมีส่วนร่วม (Total Productive Maintenance) 8 ประการ

- การปรับปรุงเฉพาะเรื่อง (Individual Improvement)
- การบำรุงรักษาด้วยตัวเอง (Autonomous Maintenance)
- การบำรุงรักษาตามแผน (Planned Maintenance)
- การพัฒนาทักษะการปฏิบัติงานและการบำรุงรักษา
- การคำนึงถึงการบำรุงรักษาตั้งแต่ขั้นต้น (Initial Phase Management)
- การบำรุงรักษาเพื่อคุณภาพ (Quality Maintenance)

- กิจกรรม TPM ในสำนักงาน (TPM In Office)
- ระบบชีวอนามัย ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมภายในโรงงาน (Safety, Hygiene and Working Environment)

3.1.13 การซ่อมบำรุง (Reliability Centered Maintenance)

3.1.14 การบำรุงรักษาเครื่องจักรเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance)

3.2 ดำเนินการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test)

เป็นขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Plan) โดยนำตัวแปรนำเข้าที่สำคัญ (Key Process Variable Input: KPIVs) มาจากการวิเคราะห์ข้อบกพร่อง ผลกระทบและแผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) เพื่อกรั่นกรองหาสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ส่งผลกระทบต่อปัญหา 80% แล้วดำเนินการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis) ขั้นตอนนี้จะเป็นช่วงของการวิเคราะห์หาสาเหตุที่มีความเป็นไปได้สูงของปัญหานั้น ๆ ตรวจสอบว่าสาเหตุที่คัดเลือกมาเป็นสาเหตุที่มีผลกระทบแท้จริงหรือไม่และหาแนวทางในการแก้ไข ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อคัดเลือกปัจจัยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลองดังนี้

3.2.1 การตั้งสมมติฐานสำหรับการทดลอง

3.2.2 การออกแบบจำนวนสิ่งตัวอย่าง

3.2.3 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลโดยมีสมมติฐานในการทดสอบ

3.2.4 การทดสอบตัวสถิติที่จะใช้ทดสอบ (หรือ p-value)

3.2.5 สรุปผลจากข้อมูลทางสถิติมาแปลงให้เป็นแนวทางแก้ไขเชิงปฏิบัติ

การเลือกเครื่องมือแต่ละประเภท เพื่อการวิเคราะห์ทางสถิติขึ้นอยู่กับประเภทของข้อมูล ดังตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-6 ลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติแต่ละประเภท

วิธีทางสถิติ	ปัจจัย (x)	ปัจจัย (y)	การตัดสินใจ
การทดสอบสัดส่วน (Proportion Test)	ข้อมูลไม่ต่อเนื่อง	ข้อมูลไม่ต่อเนื่อง	1. ศึกษาปัจจัยเดียว (x=1, y=1) 2. ศึกษาประชากร - 1 กลุ่ม - 2 กลุ่ม - ≥ 3 กลุ่ม
การทดสอบค่าเฉลี่ย (Mean Test)	ข้อมูลไม่ต่อเนื่อง	ข้อมูลต่อเนื่อง	1. ศึกษาปัจจัยเดียว (x=1, y=1) 2. ศึกษาประชากร - 1 กลุ่ม - 2 กลุ่ม 3. ประชากรไม่มีความสัมพันธ์ 4. ต้องทดสอบความแปรปรวนของ P
การทดสอบความแปรปรวน (Variance Test)	ข้อมูลไม่ต่อเนื่อง	ข้อมูลต่อเนื่อง	1. ศึกษาปัจจัยเดียว (x=1, y=1) 2. ศึกษาประชากร - 1 กลุ่ม - 2 กลุ่ม 3. ประชากรไม่มีความสัมพันธ์ 4. ต้องทดสอบความแปรปรวนของ P
One way ANOVA	ข้อมูลไม่ต่อเนื่อง	ข้อมูลต่อเนื่อง	1. ศึกษา 2 ปัจจัย (x=2, y=1) 2. ศึกษาประชากร ≥ 3 กลุ่ม 3. ต้องทดสอบความแปรปรวนของ P
Chi-Square	ข้อมูลไม่ต่อเนื่อง	ข้อมูลต่อเนื่อง	หาความสัมพันธ์ของตัวแปร
Correlation Simple Regression/	ข้อมูลต่อเนื่อง	ข้อมูลต่อเนื่อง	หาความสัมพันธ์ของตัวแปร
Multiple Regression	ข้อมูลต่อเนื่อง	ข้อมูลต่อเนื่อง	พยากรณ์หรือคาดคะเนข้อมูลในอนาคต

วิธีทางสถิติของการวิเคราะห์ข้อมูลของแต่ละกลุ่มประชากรมีดังนี้

1. การทดสอบสัดส่วน (Proportion Test)
   - การทดสอบสัดส่วนหนึ่งกลุ่มประชากร (1- Proportion Test)
   - การทดสอบสัดส่วนระหว่างประชากร 2 กลุ่ม (2- Proportion Test)
   - การทดสอบสัดส่วนที่มากกว่า 2 ประชากรด้วย ANOM (Analysis Of Mean)
2. เทคนิคการทดสอบค่าเฉลี่ย (Mean Test)
   - การทดสอบค่าเฉลี่ยหนึ่งกลุ่มประชากร เมื่อทราบค่าความแปรปรวน (One Sample Z-Test)
   - การทดสอบค่าเฉลี่ยหนึ่งกลุ่มประชากร เมื่อไม่ทราบค่าความแปรปรวน (One Sample t-Test)
   - การทดสอบค่าเฉลี่ยระหว่าง 2 กลุ่มประชากร (Two sample t-Test)
   - การทดสอบค่าเฉลี่ยก่อนและหลังของกลุ่มประชากรเดียวกัน (Paired t-Test)
   - การทดสอบสมมติฐานที่มีค่าเฉลี่ยมากกว่า 2 กลุ่ม (Analysis Of Variance)
3. เทคนิคการทดสอบค่าความแปรปรวน (Variance Test)
   - การทดสอบความแตกต่างของความแปรปรวนหนึ่งกลุ่มประชากร (Single Variance test – Chi-Square Test)
   - การทดสอบความแตกต่างของความแปรปรวน 2 กลุ่ม (Double Variance Test (F-Test))
   - การทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน (Multi Variance Test)
   - เทคนิคการวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัว (Multivariate Statistical Methods)
   - เทคนิคการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย (Correlation & Regression)

3.3 การดำเนินการทดลอง (Design Of Experiment)

ขั้นตอนนี้เป็นการวางแผนการออกแบบการทดลอง เพื่อค้นหาตัวแปรอินพุทที่เหมาะสมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแล้ว จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองขึ้นที่เอ้าพุทตามที่เราวางวัตถุประสงค์ไว้ โดยนำตัวแปรวิกฤต (Critical) ที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์นำมาดำเนินการทดลอง การออกแบบการทดลอง มีได้หลายแบบดังนี้

3.3.1 การวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD)

3.3.2 การวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์

- Randomized Complete Block Design (RCB)

- Latin Square Design (LS)

3.3.3 การทดลองแบบแฟคทอเรียล

- Factorial Design ชนิด 2 ปัจจัย
- Factorial Design ชนิด 3 ปัจจัย
- Split Plot
- Split Split Plot

3.3.4 การหาพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM)

การเลือกใช้การทดลองแบบใดก็ขึ้นอยู่กับจำนวนปัจจัยที่เราต้องการศึกษาและความแปรปรวนของสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อข้อมูลที่เราต้องการศึกษา การเลือกใช้เครื่องมือคุณภาพและแนวทางการใช้งานในการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลอง ดังตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7 การเลือกใช้เครื่องมือคุณภาพและแนวทางการใช้งานในการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลอง (ดัดแปลง จรัล ทรัพย์เสรี, 2552)

เครื่องมือคุณภาพ	แนวทางการใช้งาน
การทดสอบสมมติฐานและการวิเคราะห์ความแปรปรวน	- เปรียบเทียบข้อมูลทีละตัวแปร - ทดสอบหานัยสำคัญเพื่อหาสาเหตุของปัญหา - ประมาณผล Xs ที่มีต่อ Ys
การวิเคราะห์ความถดถอย	- กรองหาสาเหตุของปัญหาโดยการทดสอบนัยสำคัญของตัวแปร - หาความสัมพันธ์เชิงปริมาณระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามโดยการสร้างแบบจำลองทางสถิติ
การออกแบบฟูลแฟคตอเรียล	- สร้างแบบจำลองที่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอย่างครบถ้วน
การออกแบบการทดลองแฟร็กชั่นนอลแฟคตอเรียล	- กรองตัวแปรที่มีนัยสำคัญ - สร้างแบบจำลองในกรณีที่พอคาดหมายปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้
การออกแบบการทดลอง	- กรอบตัวแปรที่มีนัยสำคัญ

4. ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (I: Improve)

ขั้นตอนนี้เป็นการประยุกต์แนวทางการแก้ปัญหาโดยอาศัยแนวทางที่ได้จากการเคราะห์ข้อมูลและเมื่อดำเนินการปรับปรุงแล้วจะมีการตรวจสอบผลการปรับปรุงงานว่าได้ผลหรือไม่ จุดที่แตกต่างกับการปรับปรุงแบบดั้งเดิมคือ เพิ่มการวิเคราะห์สายธารแห่งคุณค่า หลังปรับปรุง เพื่อตรวจสอบสถานะหลังการปรับปรุง จากที่มุ่งให้เกิดการไหลของทรัพยากรและข้อมูลอย่างต่อเนื่อง

ขั้นตอนการการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ เริ่มจากการประยุกต์แนวทางการแก้ไขปัญหา (Apply Solution Techniques) ประเมินผลการปรับปรุง (Evaluate The Result Of Improvement) และสร้างสายธารแห่งคุณค่าหลังปรับปรุง (Future VSM)

4.1 ประยุกต์แนวทางการแก้ไขปัญหา (Apply Solution Techniques) เป็นขั้นตอนการประยุกต์แนวทางการแก้ไขปัญหา โดยนำไปปฏิบัติงานจริง

4.2 ประเมินผลการปรับปรุง (Evaluate The Result Of Improvement) เป็นขั้นตอนการประเมินผลการปรับปรุงกระบวนการ โดยเครื่องมือดังต่อไปนี้

4.2.1 การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA: Measurement System Analysis For Lean Six Sigma)

4.2.2 การวัดความสามารถของกระบวนการ (Process Capability)

4.2.3 วัดประสิทธิผลก่อนและหลัง จากดัชนีชี้วัด

4.3 สร้างสายธารแห่งคุณค่าหลังปรับปรุง (Future Value Stream Map)

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษา "ภาพรวม" (Big Picture) กระบวนการ หลังจากที่ได้ดำเนินการจัดทำแผนภูมิแสดงสถานะปัจจุบันในช่วงก่อนและทำการปรับปรุงกระบวนการ วงเวลานำสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของเวลานำที่ถูกใช้ในกระบวนการที่เพิ่มคุณค่า (Value Added Processes) ระดับสินค้าคงคลังที่จัดเก็บและตำแหน่งที่เกิดปัญหาคอขวดในกระบวนการ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ได้ถูกใช้วิเคราะห์เพื่อขจัดความสูญเปล่าที่แฝงในกระบวนการ ซึ่งทำให้เกิดการส่งมอบล่าช้า เช่น การรอคอย การตรวจสอบ การขนส่ง การแก้ไขของเสีย เป็นต้น ดังนั้นการจัดทำแผนภูมิในช่วงนี้จึงแสดงสถานะหลังการปรับปรุงที่มุ่งให้เกิด การไหลของทรัพยากรและข้อมูลอย่างต่อเนื่อง

5. ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ (C: Control)

ขั้นตอนนี้เป็นการควบคุมกระบวนการโดยการนำวิธีการแก้ไขในเชิงป้องกันมากำหนดมาตรฐาน ในแผนควบคุมแล้วจัดทำเป็นเอกสารการปฏิบัติงานและในบางครั้งอาจจำเป็นต้องทำการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติโดยใช้แผนภูมิควบคุมเพื่อดูความผันแปรและใช้การวิเคราะห์ขีด

ความสามารถของกระบวนการ เพื่อเฝ้าติดตามผลการดำเนินการของกระบวนการในระยะยาวอีกด้วย จุดที่แตกต่างกับการควบคุมแบบดั้งเดิมคือ เพิ่มการส่งมอบโครงการให้กับเจ้าของพื้นที่ เพื่อให้เจ้าของพื้นที่รับทราบผลการดำเนินการ รวมถึงงานที่ค้างต่าง ๆ ที่ผู้รับผิดชอบต้องรับไปดำเนินการต่อ

ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ เริ่มจากการทำแผนควบคุมกระบวนการ (Control Plan) ติดตามผลการควบคุม (Monitor Performance) และส่งมอบโครงการให้กับเจ้าของพื้นที่ (Project Transfer)

5.1 ทำแผนควบคุมกระบวนการ (Control Plan)

ขั้นตอนนี้เป็นการวางระบบ เพื่อควบคุมให้แนวทางที่ดีที่สุดนั้นสามารถดำเนินต่อไป กำหนดมาตรฐานจากผลการดำเนินงานใหม่ เพื่อใช้ในแนวทางปฏิบัติในอนาคต หรือทำการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ทั้งที่เกิดความไม่สอดคล้องกับความต้องการปัญหาที่ไม่ได้คาดหวัง ปัญหาเฉพาะหน้าในการดำเนินงานจนได้ผลลัพธ์ที่พอใจและได้รับการยอมรับจากทุกฝ่ายแล้วจึงจัดทำเป็นมาตรฐานการปฏิบัติงาน การเลือกใช้เครื่องมือคุณภาพและแนวทางการใช้งานในการควบคุมกระบวนการ ดังตารางที่ 3-8

ตารางที่ 3-8 แนวทางการเลือกใช้เครื่องมือคุณภาพในขั้นตอนการควบคุม (จรัล ทรัพย์เสรี, 2552)

เครื่องมือคุณภาพ	แนวทางการใช้งาน
แผนควบคุม	- วิเคราะห์และวางแผนการควบคุมกระบวนการ
มาตรฐานการทำงาน	- ให้แนวทางในการปฏิบัติงาน
5 ส.	- ช่วยให้เกิดวินัยในการควบคุมกระบวนการ
การวิเคราะห์ขีดความสามารถของกระบวนการ	- ช่วยในการประเมินขีดความสามารถของกระบวนการภายใต้การควบคุมกระบวนการระยะยาว
การวิเคราะห์ขีดความสามารถของกระบวนการ	- ช่วยในการประเมินขีดความสามารถของกระบวนการภายใต้การควบคุมกระบวนการระยะยาว
แผนภูมิควบคุม	- วิเคราะห์เสถียรภาพของกระบวนการ - เฝ้าติดตามกระบวนการ - วิเคราะห์ความผันแปรของกระบวนการ

5.2 ติดตามผลการควบคุม (Monitor Performance)

ขั้นตอนนี้เป็นการติดตามผลการควบคุม (Monitor Performance) ประเมินผลงานที่ปฏิบัติ โดยการเปรียบเทียบผลการทำงานก่อนการปฏิบัติงานและหลังปฏิบัติงานว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด ถ้าผลลัพธ์ออกมาตามเป้าหมาย ก็จะนำไปจัดเป็นมาตรฐานสำหรับการปฏิบัติงานในครั้งต่อไป แต่ถ้าผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด โดยอาจสูงหรือต่ำกว่าที่ต้องการ ทีมงานคุณภาพก็ต้องทำการศึกษาและวิเคราะห์หาสาเหตุ เพื่อทำการแก้ไขปรับปรุงใหม่ให้มีประสิทธิภาพขึ้น โดยเครื่องมือดังต่อไปนี้

- การตรวจสอบ (Audit)
- การป้องกันการผิดพลาด (Poka Yoke / Mistake Proofing)
- การบำรุงรักษา (Preventive Maintenance)
- การควบคุมทางสถิติ (Statistical Process Control) โดยแผนภูมิควบคุม (Control Chart)
- มาตรฐานการปฏิบัติงาน (มาตรฐานการปฏิบัติงาน)

5.3 ส่งมอบโครงการให้กับเจ้าของพื้นที่ (Project Transfer)

ขั้นตอนนี้เป็นการจัดทำรายงานตั้งแต่ต้นจนจบ รวมถึงงานที่ค้างต่าง ๆ ที่ผู้รับผิดชอบต้องรับไปดำเนินการต่อ เสนอต่อเจ้าของพื้นที่ รวมถึงผู้ที่เกี่ยวข้อง เพื่อขออนุมัติลายเซ็นปิดโครงการจากเจ้าของกระบวนการ (Process Owner) แชมเปี้ยน (Champion) มาสเตอร์แบล็กเบลต์ Master Black Belt)

หัวข้อสำคัญสำหรับรายงานสุดท้ายประกอบด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้

- คำนิยามโครงการ (Project Definition)
- รายละเอียดการบริหารโครงการ (Project Management Details)
- สรุปผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับโครงการ (Summary Of Changes Made To Affect Improvement)
- การทำงานที่ยังค้างอยู่ (Outstanding Actions Required To Obtain Improvement)
- บทสรุปในแต่ละช่วงขั้นตอน (Phase Conclusions)
- ผลการทำงานในแต่ละขั้นตอน (Phase Deliverables)
- วิธีการควบคุมที่นำมาใช้ (Control Methods Applied)
- แผนการควบคุม (Control Plan)
- ส่วนสำคัญ ๆ ของ ซิกซ์ ซิกม่า ที่นำมาใช้ (Key Six Sigma Elements)

- ส่วนแนบท้าย (Appendices)

6. ติดตามผลประโยชน์ทางธุรกิจ (Business Metric Realization)

ขั้นตอนนี้เป็นการรับประโยชน์จากผลของโครงการ (Realized) ทางธุรกิจ (Business Metric) หรือต้นทุนที่ลดลงจากการแก้ไขปัญหาเป็นระยะเวลา 12 เดือน หลังจากที่เราปิดโครงการ โดยเจ้าของกระบวนการ (Process Owner) หรือเจ้าของพื้นที่เป็นคนรับผิดชอบในช่วงของ Realization รวมถึงตัววัดของกระบวนการนั้น ๆ และตัวแทนฝ่ายการเงินคิดผลทางการเงินของโครงการ

ขั้นตอนการประยุกต์ผสมผสานแนวคิดลีน-ซิกซ์ ซิกม่ากับกรณีศึกษา

ขั้นตอนนี้เป็นการประยุกต์การผสมผสานแนวคิดลีน-ซิกซ์ ซิกม่า กับกระบวนการกรณีศึกษา ซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็คทรอนิคสำหรับคอมพิวเตอร์ ปัจจุบันพบว่าผลิตภัณฑ์เฮดจีเอที่กระบวนการวัดสัญญาณ มีความสามารถในกำลังการผลิตจริงได้โดยเฉลี่ยต่อวันต่อเครื่องเท่ากับ 2798 ตัว ซึ่งน้อยกว่าความต้องการของลูกค้าหรือเป้าหมายการผลิตต่อวันต่อเครื่องคือ 3000 ตัว ทำให้บริษัททำการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยการเพิ่มชั่วโมงการทำงาน แนวทางดังกล่าวเป็นการเพิ่มต้นทุนให้กับตัวผลิตภัณฑ์ในด้านค่าแรงหรือเครื่องจักร ผลที่ตามมาต่อลูกค้าไม่มีความพึงพอใจเป็นลำดับ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการบริหารทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยการปรับปรุงกระบวนการผลิตหรือวัดสัญญาณดังกล่าว ให้มีปริมาณของผลผลิตเพิ่มมากขึ้น โดยแนวทางคือการตัดลดขั้นตอนที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าออก

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาโอกาสที่จะประสบผลสำเร็จตามเป้าหมาย จากหลักการบริหารการผลิตที่มุ่งเน้นทั้งการไหลของงานที่มีประสิทธิภาพปราศจากความสูญเปล่า การควบคุมความผันแปรในกระบวนการและผลิตภัณฑ์

ดังนั้นการผสมผสานระหว่างแนวคิดของลีนและซิกซ์ ซิกม่า จึงมีโอกาสที่จะตอบสนองวัตถุประสงค์นี้ได้โดยการนำจุดเด่นของทั้งสองแนวทางผสมผสาน เพื่อชดเชยจุดด้อย งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะพัฒนาระเบียบวิธีการผสมผสาน แนวคิดการบริหารการผลิตเข้าด้วยกัน โดยจะประยุกต์ระเบียบวิธีการที่พัฒนาขึ้นกับกระบวนการผลิต ซึ่งจะใช้เป็นกรณีศึกษา

ขั้นตอนการประเมินผลและข้อเสนอแนะ

ขั้นตอนนี้เป็นการประเมินผลของกระบวนการใน 3 ด้าน ประกอบด้วย

1. อัตราการไหล มีตัววัดผล : รอบเวลาการผลิต (Cycle Time) คือการวัดระยะห่างของเวลาในการผลิตชิ้นงานแต่ละชิ้น ห่างกันทุก ๆ กี่นาที (หรือวินาที)

2. ด้านประสิทธิภาพของผลผลิต มีตัววัดผลคือ การเพิ่มผลผลิต (Productivity) คือการวัดผลผลิตทั้งหมดของกระบวนการ จากอัตราส่วนของผลผลิตทั้งหมดที่ได้ต่อปัจจัยนำเข้าทั้งหมด

3. ด้านต้นทุนการผลิตต่อชิ้น มีตัววัดผล: ต้นทุน (Cost) คืออัตราส่วนระหว่างต้นทุนการผลิตต่อจำนวนชิ้นงานดีทั้งหมดที่ได้จากกระบวนการผลิต

ผลลัพธ์จากการจำลองการผสมผสานระหว่างแนวคิดของลีน-ซิกซ์ ซิกม่า ประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษา เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจและประเมินผล

กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ สำหรับกรณีศึกษา

อ้างอิงภาพที่ 2-4 กระบวนหลักในการผลิตหัวบันทึกและฮาร์ดดิสก์ เริ่มตั้งแต่ระดับเวเฟอร์ (Wafer) ระดับแถว/สไลเดอร์ (Bar/Slider) ระดับสไลเดอร์ (Slider) ระดับเฮดจีเอ (HGA: Head Gimbal Assembly) ระดับเฮดเอสเอ (HSA: Head Stack Assembly) และระดับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (HDD: Hard Disk Drive) เป็นกระบวนการสุดท้ายก่อนส่งให้กับลูกค้าต่อไป

กรณีศึกษาอยู่ในขั้นตอนระดับเฮดจีเอ (HGA: Head Gimbal Assembly) หรือกระบวนการผลิตหัวอ่าน เขียน ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน

- ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการประกอบ (ASM) เป็นกระบวนประกอบซัสเพนชั่น Suspension) เข้ากับสไลเดอร์ (Slider) โดยการยึดติดด้วยกาว

- ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการอบ (Oven) เป็นกระบวนการอบ เพื่อให้กาวแห้ง โดยอบด้วยอุณหภูมิ 120 องศา

- ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการล้าง (Cleaning) เป็นกระบวนการล้างชิ้นงาน เพื่อให้หน้าสไลเดอร์ ซึ่งเป็นบริเวณที่ใช้สำหรับอ่าน เขียนสะอาด โดยเครื่องอุตราโซนิค

- ขั้นตอนที่ 4 กระบวนการวัดสัญญาณ (Test) เป็นกระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก เพื่อคัดแยกหัวอ่าน เขียนออกเป็นกลุ่ม ๆ โดยเครื่องวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก

- ขั้นตอนที่ 5 กระบวนการตรวจสอบ (Inspection) เป็นกระบวนการตรวจชิ้นงาน เพื่อคัดแยกชิ้นงานที่บกพร่องออกจากชิ้นงานดี โดยพนักงานภายใต้กล้องไมโครสโครบ

- ขั้นตอนที่ 6 กระบวนการบรรจุ (Packing) เป็นกระบวนการบรรจุชิ้นงาน เพื่อส่งให้กับลูกค้าภายในต่อไป โดยพนักงาน

จากขั้นตอนการค้นหาปัญหา (Problem Statement) โดยการสำรวจสภาพการดำเนินงานทางการผลิตและเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อคัดเลือกโครงการ ขั้นตอนที่ 4 กระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก (Test) เป็นขั้นตอนที่ถูกคัดเลือกประยุกต์ใช้กับการจำลองการผสมผสานระหว่างแนวคิดของลีน-ซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งแสดงในบทที่ 4

บทที่ 4
ผลการทดลองและการอภิปรายผล

สำรวจงานวิจัย ความรู้และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอน ตามวิธีการ ซิกซ์ ซิกม่า

จากการศึกษาแนวทางจากงานวิจัยที่ใช้ วิธีการลีน ซิกซ์ ซิกม่าในการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งได้สรุปในบทที่ 2 นำมาสรุปเป็นขั้นตอนการดำเนินการในงานวิจัยนี้

ขั้นตอนการกำหนดปัญหา (D: Define)

ขั้นตอนการกำหนดปัญหาเป็นการกำหนดปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อองค์กร เริ่มด้วยศึกษาสภาพ ปัญหา (Problem Statement) ศึกษาสายธารแห่งคุณค่าปัจจุบัน (Current Value Steam Mapping) กำหนดดัชนีชี้วัดกระบวนการ (Define Process Measure) กำหนดตัวชี้วัดทางธุรกิจ (Business Metric) และจัดตั้งทีมงาน (Team Member) เพื่อสนับสนุนในการดำเนินการแก้ไขปัญหา

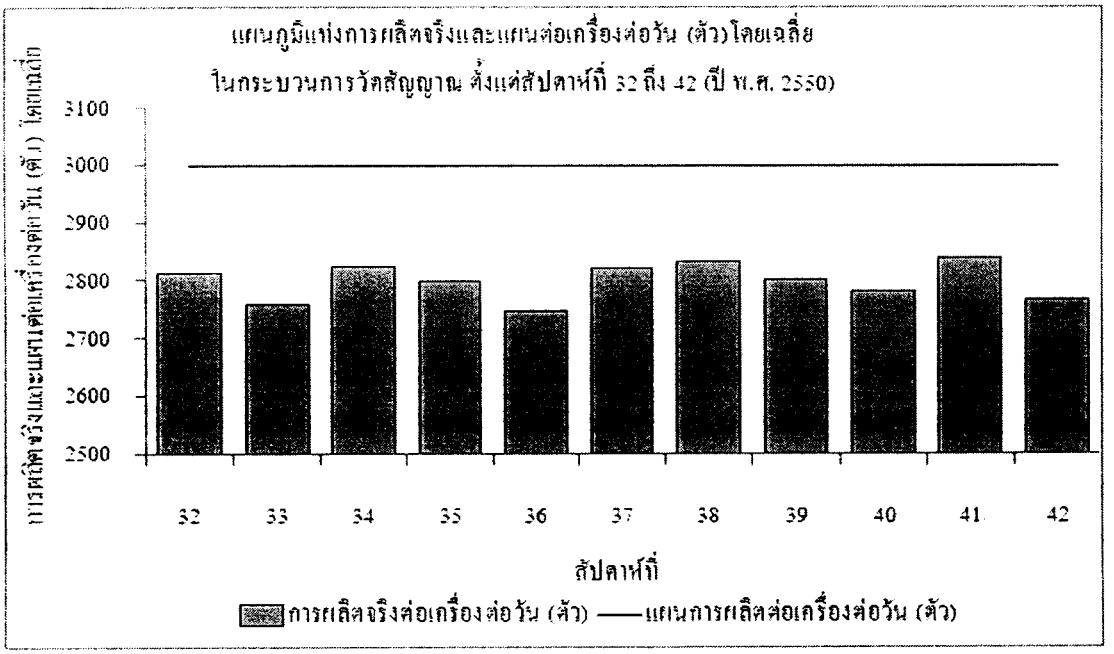
1. การศึกษาสภาพปัญหา (Problem Statement)

ขั้นตอนนี้เป็นการสำรวจสภาพการดำเนินงานทางการผลิตและเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อศึกษาสภาพปัญหา (Problem Statement) ที่เกิดขึ้นในสายการผลิต จากสภาพปัจจุบันของปัญหานั้น ปัญหาที่เลือกมาควรจะเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพ (CTQ: Critical to Quality) ส่งผลกระทบต่อต้นทุน (CTC: Critical to Cost) หรือส่งผลกระทบต่อการส่งมอบให้กับลูกค้า (CTD: Critical to Delivery) ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลของปัญหาในกระบวนการผลิตหัวอ่านเขียน ในส่วนกระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็กจากข้อมูลกำลังการผลิตจริงที่กระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 32 ถึง 42 ปี พ.ศ. 2550 ดังตารางที่ 4-1 และภาพที่ 4-1 พบว่าช่วงสัปดาห์ดังกล่าว ปริมาณการผลิตจริงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2798 ตัว ต่อเครื่องต่อวัน ซึ่งไม่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ เมื่อเปรียบเทียบกับแผนการผลิตคือ 3000 ตัว ต่อเครื่องต่อวัน หรือน้อยกว่าแผน 202 ตัวโดยเฉลี่ย ทำให้บริษัทต้องแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยเพิ่มชั่วโมงการทำงาน ซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนให้กับตัวผลิตภัณฑ์ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการบริหารทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และหาวิธีปรับปรุงกระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก โดยการตัดลดขั้นตอนที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าออก เพื่อตอบสนองและสร้างความพึงพอใจให้เกิดขึ้นกับลูกค้าของบริษัท

ตารางที่ 4-1 กำลังการผลิตที่กระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 32 ถึง 42 ปี พ.ศ. 2550

สัปดาห์ที่ (ปี พ.ศ. 2550)	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
แผนการผลิตต่อเครื่องต่อวัน (ตัว)	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
การผลิตจริงต่อเครื่องต่อวัน (ตัว)	2813	2757	2824	2798	2747	2822	2832	2800	2782	2840	2766

จากข้อมูลกำลังการผลิตที่กระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 32 ถึง 42 ปี พ.ศ. 2550 นำมาแสดงด้วยกราฟ ดังภาพที่ 4-1



ภาพที่ 4-1 กราฟแท่งการผลิตจริงและแผนต่อเครื่องต่อวัน (ตัว) โดยเฉลี่ยในกระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 32 ถึง 42 (ปี พ.ศ. 2550)

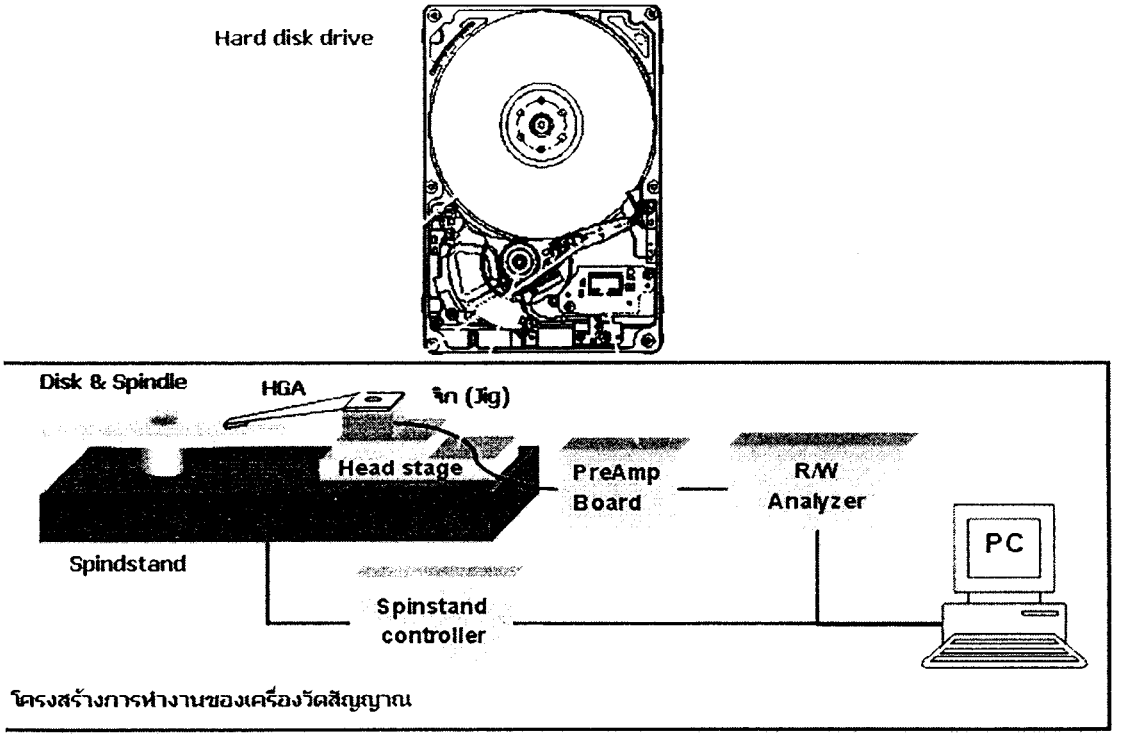
กระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็กและหลักการพื้นฐาน เป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วย มองปัจจัยป้อน เข้าให้ได้มากที่สุด จึงขออธิบายรายละเอียดดังนี้

1.1 ประเภทของเครื่องวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก

เครื่องวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก เป็นเครื่องทดสอบค่าความเป็นแม่เหล็ก Magnetic Tester) เครื่องที่นำมาศึกษามี 2 ประเภทคือ ประเภท A และ B (ความแตกต่างคือชิ้นส่วน ารประกอบ)

1.2 หลักการพื้นฐานของเครื่องวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก

หลักการพื้นฐานเริ่มด้วยหัวอ่าน เขียนที่โหลดอยู่ในจิ๊ก ที่วางอยู่บนสเตจ เคลื่อนที่เข้า จิสก์ หลังจากดิสก์หมุนได้รอบตามที่กำหนดผ่านสปินเดิลมอร์เตอร์จากการควบคุมของสปินสแตน มื่อดิสก์หมุนได้รอบตามที่กำหนดและหัวอ่าน เขียนโหลดเข้าบริเวณที่วัดสัญญาณ บอร์ดปรีแอมป์ ะทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้กับหัวอ่าน เขียนในระหว่างที่วัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก หลังจาก นั้นส่วนวิเคราะห์สัญญาณอ่าน เขียน จะส่งข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการประมวลผลต่อไป ดังภาพที่ 4-2



าพที่ 4-2 หลักการและโครงสร้างการทำงานของเครื่องวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก

1.3 ส่วนประกอบการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก

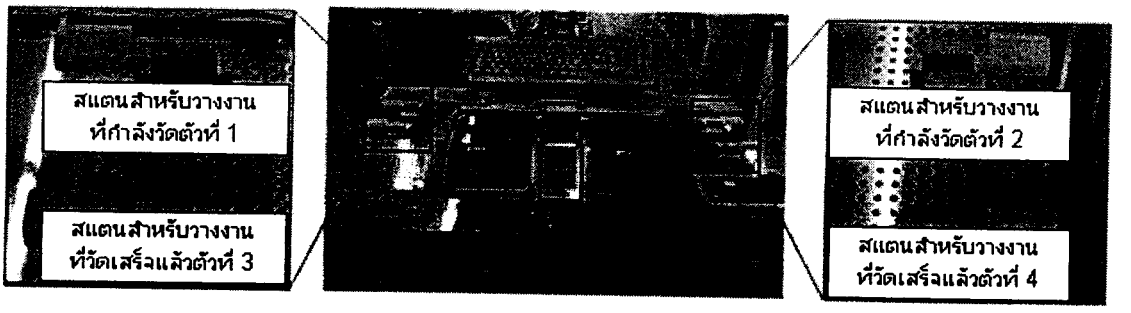
การวัดสัญญาณของเครื่องทดสอบค่าความเป็นแม่เหล็ก ประกอบด้วยอุปกรณ์การวัดชิ้นงานพื้นฐาน ซึ่งจะต้องนำมาพิจารณาในกระบวนการวัดความสามารถของกระบวนการดังนี้

1.3.1 เครื่องวัดสัญญาณมี 2 ประเภท คือ A และ B (ความแตกต่างคือชิ้นส่วนการประกอบ)

1.3.2 หัวอ่าน เขียนในฮาร์ดดิสก์ประกอบด้วยหัวอ่าน เขียนด้านบน (UP) และหัวอ่าน เขียนด้านล่าง (DN) การวัดจะทำการแยกในแต่ละด้าน ดังนั้น จิ๊ก (Jig) จึงประกอบด้วย 2 ชุด ดังนี้

- จิ๊ก (Jig) สำหรับวัดหัวอ่าน-เขียนด้านบน (UP) จำนวน 4 ตัว
- จิ๊ก (Jig) สำหรับวัดหัวอ่าน เขียนด้านล่าง (DN) จำนวน 4 ตัว

1.3.3 เครื่องวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็กประกอบด้วยจิ๊ก (Jig) จำนวน 4 ตัว ในระหว่างการทำงาน ซึ่งเครื่องสามารถวัดสัญญาณของหัวอ่าน เขียน 2 ตัว ได้พร้อมกัน ในเวลาเดียวกันโดยหัวอ่าน เขียนที่เหลืออีก 2 ตัว จะถูกโหลดเข้ากับจิ๊ก (Jig) แล้ววางในสแตน เพื่อรอในขณะที่เครื่องทำงาน ดังภาพที่ 4-3 ตำแหน่งวางงานทั้ง 4 ตัว



ภาพที่ 4-3 ตำแหน่งวางจิ๊กสำหรับวางงานทั้ง 4 ตัว

2. การวิเคราะห์สายธารแห่งคุณค่าปัจจุบัน (Current Value Steam Map)

ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์สายธารแห่งคุณค่าปัจจุบันให้เห็นถึงการไหลของวัสดุและข้อมูลสารสนเทศ เพื่อระบุขั้นตอนที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าหรือเป็นความสูญเปล่า (Non value Added) และกำหนดขอบเขตหรือบริเวณที่จะทำการปรับปรุงต่อไป จึงอธิบายกระบวนการผลิตหัวอ่านเขียน ก่อนนำข้อมูลสารสนเทศและการไหลของวัสดุมาเขียนสายธารแห่งคุณค่า

กระบวนการผลิตหัวอ่าน เขียนประกอบด้วย 6 ขั้นตอน

- ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการประกอบ (ASM) เป็นกระบวนการประกอบซัสเพนชั่น Suspension) เข้ากับสไลเดอร์ (Slider) โดยการยึดติดด้วยกาว เป็นเวลา 36.83 วินาที

- ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการอบ (Oven) เป็นกระบวนการอบ เพื่อให้กาวแห้ง โดยอบด้วยอุณหภูมิ 120 องศา เป็นเวลา 9,600 วินาที

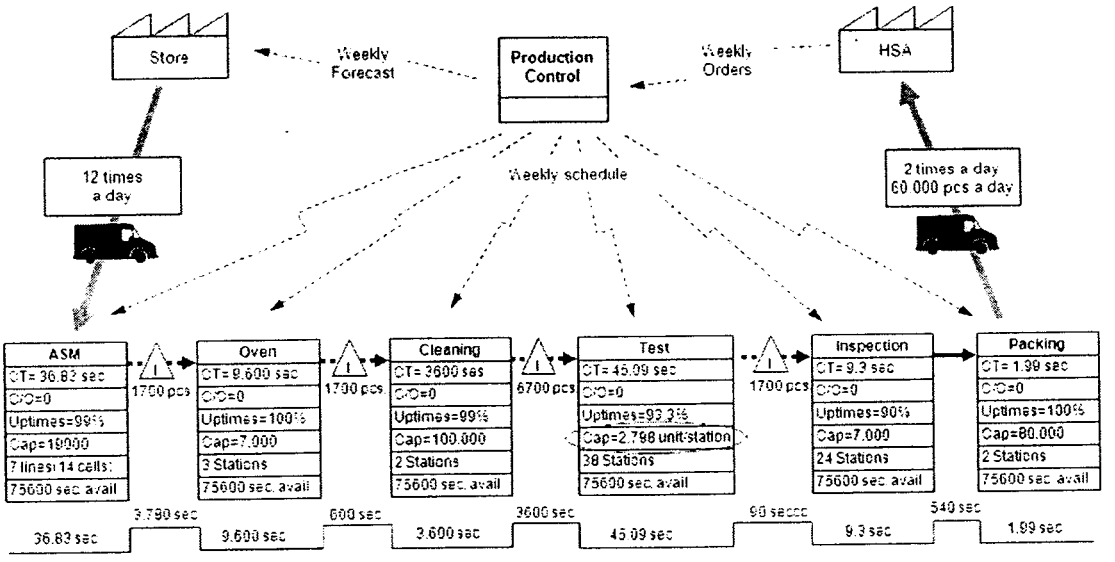
- ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการล้าง (Cleaning) เป็นกระบวนการล้างชิ้นงาน เพื่อให้หน้าสไลเดอร์ ซึ่งเป็นบริเวณที่ใช้สำหรับอ่าน เขียนสะอาด โดยเครื่องอุตราโซนิค เป็นเวลา 3,600 วินาที

- ขั้นตอนที่ 4 กระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก (Test) เป็นกระบวนการวัดค่าความเป็นแม่เหล็ก เพื่อคัดแยกหัวอ่าน เขียนออกเป็นกลุ่ม ๆ โดยเครื่องวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก เป็นเวลา 42.84 วินาที

- ขั้นตอนที่ 5 กระบวนการตรวจสอบ (Inspection) เป็นกระบวนการตรวจชิ้นงาน เพื่อคัดแยกชิ้นงานที่บกพร่องออกจากชิ้นงานดี โดยพนักงานภายใต้กล้องไมโครสโครบ เป็นเวลา 9.3 วินาที

- ขั้นตอนที่ 6 กระบวนการบรรจุ (Packing) เป็นกระบวนการบรรจุชิ้นงาน เพื่อส่งให้กับลูกค้าภายในต่อไป โดยพนักงาน เป็นเวลา 1.99 วินาที

จากขั้นตอนทั้ง 6 จึงนำข้อมูลสารสนเทศและการไหลของวัสดุมาเขียนสายธารแห่งคุณค่า ดังภาพที่ 4-4 ดังนี้



ภาพที่ 4-4 สายธารแห่งคุณค่าปัจจุบันก่อนการปรับปรุง

ภาพรวมจากแผนผังสายธารแห่งคุณค่าก่อนการปรับปรุง

- เวลาในการผลิตที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า (Non Value Added Time)

  = 3,780 + 600 + 3,600 + 90 + 540 = 8,610 วินาที

- เวลาในการผลิตที่ก่อให้เกิดมูลค่า (Value Added Time)

  = 36.83 + 9,600 + 3,600 + 45.09 + 9.3 + 1.99 = 13,293 วินาที

- เวลาในการผลิตรวมทั้งหมด (Total Flow Time)

  = 8,610 + 13,293 = 21,903 วินาที

ทีมงานได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในสถานะปัจจุบันเปรียบเทียบการผลิตจริงกับเผนการผลิตหรือข้อกำหนดจากลูกค้าในแต่ละกระบวนการ พบว่าที่กระบวนการวัดสัญญาณความป็นแม่เหล็กความเป็นแม่เหล็ก (Test) เป็นกระบวนการที่ขาดประสิทธิภาพ ดังนี้

- ปริมาณการผลิต (ตัว)

  1) แผนการผลิต: 3,000 ตัว

  2) ผลิตได้จริง: 2,798 ตัว

  สรุป ปริมาณการผลิตต่ำกว่าแผน 202 ตัว

- รอบเวลาในการผลิต (วินาที)

  1) รอบเวลาในการผลิตที่กำหนด: 42.84 วินาที

  2) รอบเวลาในการผลิตที่ใช้: 45.09 วินาที

  3) สรุป รอบเวลาในการผลิตที่ใช้มากกว่าที่กำหนด 2.25 วินาที

  กระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก จึงถูกนำพิจารณาทำการปรับปรุงป็นอันดันแรก

3. การกำหนดดัชนีชี้วัดกระบวนการ (Define Process Measure)

ขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดดัชนีชี้วัดกระบวนการ หลังจากการวิเคราะห์สายธารแห่งคุณค่าปัจจุบัน ดัชนีวัดกระบวนการมีดังนี้

3.1 อัตราการไหล มีตัววัดผลคือ รอบเวลาการผลิต (Cycle Time) คือการวัดระยะห่างของเวลาในการผลิตชิ้นงานแต่ละชิ้น ห่างกันทุก ๆ กี่นาที (หรือวินาที)

3.2 ด้านประสิทธิภาพของผลผลิต มีตัววัดผลคือ การเพิ่มผลผลิต (Productivity) คือการวัดผลผลิตทั้งหมดของกระบวนการ จากอัตราส่วนของผลผลิตทั้งหมดที่ได้ต่อปัจจัยนำเข้าทั้งหมด

4. การกำหนดตัวชี้วัดทางธุรกิจ (Business Metric)

ขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดตัวชี้วัดทางธุรกิจเพื่อคำนวณผลประโยชน์ (Cost Saving Forecast) ที่จะได้รับในระยะเวลา 1 ปีหลังจากโครงการเสร็จสมบูรณ์ หรือมีการปรับปรุงเกิดขึ้น ผลที่คาดว่าจะได้รับหลังจากที่สามารถทำโครงงานสำเร็จคือ สามารถเพิ่มผลผลิตการผลิตได้ดังนี้

ผลผลิตก่อนปรับปรุงโดยเฉลี่ย ณ ปัจจุบัน	= 2798 ตัว
ผลผลิตหลังปรับปรุงโดยเฉลี่ย	= 3000 ตัว
ผลผลิตเพิ่มขึ้น	= 202 ตัว
ปริมาณหลังปรับปรุง	= 3000 – 2798 = 202 ตัวต่อเครื่องต่อวัน
จำนวนวันทำงานทั้งปี	= 300 วัน
จำนวนเครื่องที่มี	= 38 เครื่อง
จำนวนการวัดต่อครั้ง	= 2 ตัว
ต้นทุนการวัดต่อครั้ง	= 2 บาทต่อตัว
ลดต้นทุนได้ต่อปี	= (202 x 300 x 38 x 2)/2
	= 2,302,800 บาท

5. การจัดตั้งทีมงาน (Team Member)

ขั้นตอนนี้เป็นการจัดตั้งทีมงานเพื่อสนับสนุนในการดำเนินการแก้ไขปัญหา เนื่องจากของเสียเกี่ยวกับ Track Width เป็นของเสียที่ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์และความความรู้ความสามารถสูง ผู้วิจัยจึงได้ระบุผู้ที่เกี่ยวข้องโดยประกอบไปด้วย Yield Management 1 ท่าน Equipment Engineering 3 ท่าน Testing Process 1 ท่าน Head Yield Management 1 ท่าน Maintenance 2 ท่าน IS 1 ท่าน ซึ่งบุคคลเหล่านี้มีประสบการณ์กระบวนการทดสอบดังกล่าวเฉลี่ย 4 ปี

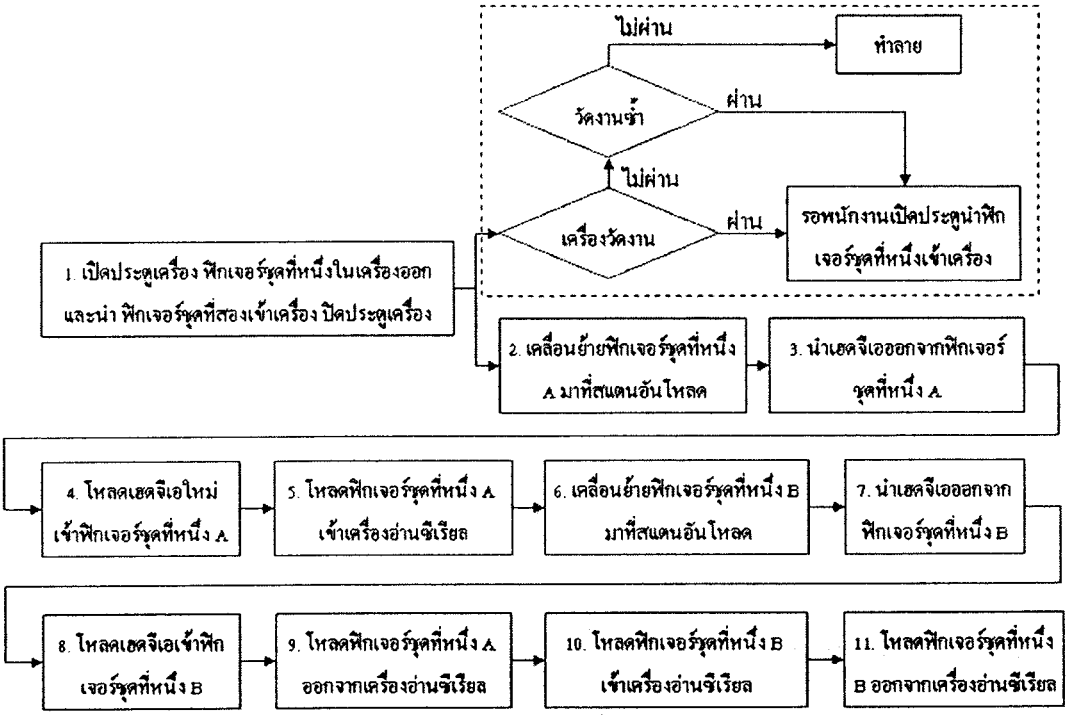
ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (M: Measure)

ในเฟสการวัดนี้จะทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการเกิดปัญหา โดยใช้วิธีการระดมสมอง เพื่อให้สามารถมองปัจจัยป้อนเข้าให้ได้มากที่สุด เริ่มด้วยวิเคราะห์กระบวนการไหล (Analyze Process Flow) วิเคราะห์ระบบการวัดลีน-ซิกซ์ ซิกม่า (MSA for Lean Six Sigma) ประเมินความสามารถของกระบวนการ ลีน-ซิกซ์ ซิกม่า (Process Capability for Lean Six Sigma) ศึกษาแหล่งของความสูญเปล่า (Sources of Waste) วิเคราะห์รากเหง้าของปัญหา (Base Cause Analysis)

1. การวิเคราะห์กระบวนการไหล (Analyze Process Flow)

ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์กระบวนการไหลของกระบวนการผลิตทั้งกระบวนการผลิตหลักและย่อย (Macro and Micro Process) ของกระบวนการผลิต และเครื่องมือพื้นฐานที่จะทำให้เห็นภาพรวมของปัญหาหรือความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

ทีมงานทำการวิเคราะห์กระบวนการไหลของกระบวนการวัดสัญญาณ เพื่อวิเคราะห์หาความ สูญเปล่า 7 ประการ ดังภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4-5 กระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็กหรือการไหลของกระบวนการย่อย (Micro Process)

- ขั้นตอนที่ 1 เป็นขั้นตอนเสร็จสิ้นการทำงานของเครื่องจักรหรือเริ่มการทำงานในรอบต่อไปของเครื่องจักร หลังจากนั้นตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่11 เป็นขั้นตอนที่คนและเครื่องจักรทำงานควบคู่กันไป ซึ่งคนและเครื่องควรเริ่มและเสร็จสิ้นพร้อมกัน ไม่เช่นนั้นแล้ว จะทำให้เกิดความสูญเปล่าในกระบวนการเกิดขึ้น

หลังจากนั้นทำการศึกษาการไหลของกระบวนการย่อย (Micro Process) เป็นลำดับพร้อมกับระบุเวลาที่ใช้ ดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 การไหลของกระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก

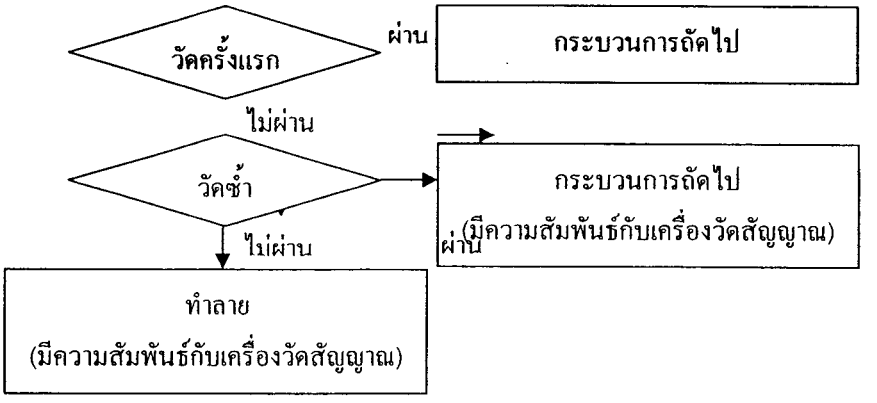
ลำดับ	สัญลักษณ์	กิจกรรม	เวลาที่ใช้
1		เปิดประตูเครื่อง ฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่งในเครื่องออกและนำฟิกเจอร์ชุดที่สองเข้าเครื่อง ปิดประตูเครื่อง	6.00 วินาที
2		เคลื่อนย้ายฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง A มาที่สแตนอันโหลด	2.43 วินาที
3		นำชิ้นงานออกจากฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง A	4.08 วินาที
4		โหลดชิ้นงานใหม่เข้าฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง A	4.60 วินาที
5		โหลดฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง A เข้าเครื่องอ่านซีเรียล	2.69 วินาที
6		เคลื่อนย้ายฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง B มาที่สแตนอันโหลด	2.43 วินาที
7		นำชิ้นงานออกจากฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง B	4.08 วินาที
8		โหลดชิ้นงานเข้าฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง B	4.61 วินาที
9		นำฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง A ออกจากเครื่องอ่านซีเรียล	2.68 วินาที
10		โหลดฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง B เข้าเครื่องอ่านซีเรียล	3.71 วินาที
11		โหลดฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง B ออกจากเครื่องอ่านซีเรียล	2.59 วินาที
		รวมเวลาการวัดขั้นตอนที่ 2 - 11	33.92 วินาที
12		รอเครื่องทำงาน	3.13 วินาที
13		รอพนักงานทำงาน	-
		รวมเวลาการวัดขั้นตอนที่ 2 - 13	33.61 วินาที
		เวลาในการวัดงานจำนวน 50 ครั้ง*35.44 วินาที (35.44 วินาที เป็นเวลาการทำงานของเครื่อง)	1772 วินาที
14		เวลาในการโหลดและอันโหลดชิ้นงาน 50 ครั้ง*6.0 วินาที	300 วินาที
15		เวลาเตรียมชิ้นงานต่อหนึ่งบิ๊ก (100 เฮดจีเอ)	225 วินาที
		รวมเวลาการวัดขั้นตอนที่ 1 - 15	2297 วินาที
		เวลาการวัดต่อสองชิ้นงาน (2278 วินาที / 50 ครั้ง)	45.94 วินาที

ตารางที่ 4-2 การไหลของกระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก (ต่อ)

ลำดับ	สัญลักษณ์	กิจกรรม	เวลาที่ใช้
สูตรการคำนวณ กำลังการผลิต		กำลังการผลิตจริงต่อวันต่อเครื่อง	
		A. เวลาทำงาน (21 ชั่วโมง x 60 นาที x 60 วินาที)	75600 วินาที
		B. จำนวนตัวต่อรอบการวัด	2 ชิ้น
		C. ค่าความเผื่อ (Allowance)	0.85
		D. รอบเวลาการทำงานต่อชิ้น	45.94 วินาที
		กำลังการผลิตจริงต่อวันเท่ากับ (A x B x C) / D	2798 ตัว
		เป้าหมายการผลิตต่อวันต่อเครื่อง	3000 ตัว

ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 – 13 เป็นขั้นตอนที่ถูกพิจารณาเป็นอันดับแรก เนื่องจากคนกับเครื่องเริ่มทำงานพร้อมกันที่ขั้นตอนที่ 2 และเสร็จสิ้นในขั้นตอนที่ 13 ใช้เวลา 35.44 วินาที โดยพนักงานรอเครื่องทำงานเป็นเวลา 3.13 วินาที (ในขั้นตอนที่ 12) การรอเครื่องทำงาน จึงเป็นความสูญเสียเนื่องจากกระบวนการผลิตที่ขาดประสิทธิผล (Non-Effectiveness Process) จึงนำมาศึกษา เพื่อแก้ไขและปรับปรุง

ทีมงานได้ทำการวิเคราะห์การไหลของกระบวนการย่อยในส่วนเส้นปะที่แสดงขั้นตอนหรือข้อกำหนดเพื่อการวัดงานซ้ำ ซึ่งเป็นการคัดแยกงานที่ความสัมพันธ์กับเครื่องวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก โดยอธิบายการคำนวณกระบวนการวัดซ้ำได้ดังภาพที่ 4-6



ภาพที่ 4-6 ขั้นตอนการวัดซ้ำของกระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก

ในการวัดครั้งแรก ถ้าพารามิเตอร์ผ่านตามข้อกำหนดเฉพาะ จะดำเนินการตามขั้นตอนถัดไป แต่ถ้าไม่ผ่านตามข้อกำหนดเฉพาะ จะทำการวัดซ้ำอีกครั้งและถ้ายังคงไม่ผ่านตามข้อกำหนดเฉพาะ ชิ้นงานดังกล่าวจะถูกคัดแยก เพื่อนำไปทำลายต่อไป

อัตราส่วนงานเสียที่มีความสัมพันธ์กับเครื่องวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก ซึ่งเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จของการลดความผันแปร คำนวณได้ดังนี้

อัตราส่วนการวัดซ้ำที่มีความสัมพันธ์กับเครื่องวัดสัญญาณ

$$= \frac{\text{จำนวนงานดีที่ผ่านการวัดซ้ำ}}{\text{จำนวนงานเข้าครั้งแรก}}$$

ทีมงานทำการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับพารามิเตอร์ในกระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็กตั้งแต่เดือนมิถุนายน ถึง ตุลาคม ปี พ.ศ. 2550 ดังตารางที่ 4-3 พบว่าปัญหา H หรือปัญหา Track Width สูงเป็นอันดับหนึ่ง

Track Width เป็นหนึ่งพารามิเตอร์ที่ทดสอบประสิทธิภาพของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งเป็นการทดสอบหัวอ่านโดยการเขียนข้อมูลไปที่ศูนย์กลางของ Track ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง จากนั้นก็จะสั่งให้หัวอ่านเขียนข้อมูลไปที่แทรคด้านซ้ายและขวา ขั้นตอนสุดท้ายจะอ่านข้อมูลที่ศูนย์กลางของแทรคนั้นอีกครั้งหนึ่ง เพื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดที่กำหนดไว้ว่าสัญญาณที่ศูนย์กลางของแทรค อยู่ในข้อกำหนดหรือสัญญาณที่เขียนไว้ครั้งแรกยังคงมีอยู่หรือไม่

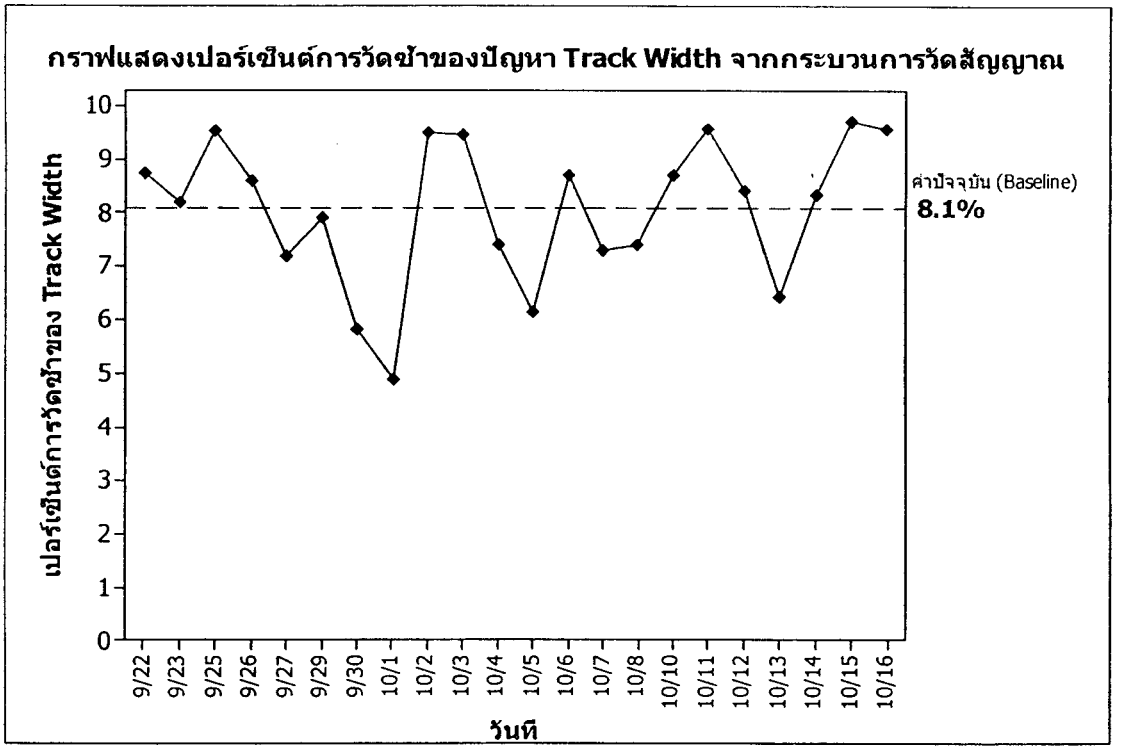
ตารางที่ 4-3 เปอร์เซ็นต์ปัญหาที่กระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็กความเป็นแม่เหล็กตั้งแต่เดือนมิถุนายน ถึง ตุลาคม ปี พ.ศ. 2550

เปอร์เซ็นแต่ละปัญหาที่กระบวนการวัด	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	เฉลี่ย
ปัญหา A	4.60	2.60	1.10	1.20	1.20	2.14
ปัญหา B	0.30	2.00	4.20	4.40	0.80	2.34
ปัญหา C	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
ปัญหา D	1.10	1.50	2.70	3.40	0.70	1.88
ปัญหา E	0.20	0.70	1.30	2.00	0.03	0.85
ปัญหา F	0.60	0.80	0.80	0.80	0.90	0.78
ปัญหา G	8.20	2.90	2.10	2.20	3.00	3.68
ปัญหา H (Track Width)	5.53	5.92	12.00	9.80	7.40	8.13
ปัญหา I	0.70	0.80	0.80	0.70	0.70	0.74
ปัญหา J	0.20	0.01	0.30	0.40	0.30	0.24
ปัญหา K	1.10	1.60	2.70	3.20	0.90	1.90

เมื่อนำข้อมูลเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของการวัดของปัญหา Track Width ในแต่ละวัน ตั้งแต่วันที่ 22 กันยายน ถึง ตุลาคม ปี พ.ศ. 2550 ดังตารางที่ 4-4 มาแสดงเป็นกราฟเส้น เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของการวัดซ้ำในแต่ละวันของ Track Width เท่ากับ 8.1% ดังภาพที่ 4-7

ตารางที่ 4-4 เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของการวัดซ้ำในแต่ละวันของ Track Width

วันที่	22/09	23/09	25/09	26/09	27/09	29/09	30/09	1/10
% Track Width	8.71	8.2	9.5	8.6	7.2	7.91	5.8	4.87
วันที่	2/10	3/10	4/10	5/10	6/10	7/10	8/10	10/10
% Track Width	9.47	9.45	7.4	6.13	8.7	7.3	7.4	8.7
วันที่	11/10	12/10	13/10	14/10	15/10	16/10		
% Track Width	9.57	8.4	6.42	8.34	9.69	9.55		



ภาพที่ 4-7 เปอร์เซ็นต์การวัดซ้ำของอาการเสียของปัญหา Track Width

ผลจากการวิเคราะห์การไหลของกระบวนการ พบว่ามีความสูญเปล่า 2 ประการคือ

- ความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากวัดซ้ำ (Defect) อ้างอิงข้อมูลจากตารางที่ 4-4
- ความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากการรอคอย (Waiting) อ้างอิงข้อมูลจากขั้นตอนที่ 12 จากตารางที่ 4-2

2. การศึกษาแหล่งของความสูญเปล่า (Sources of Waste)

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาแหล่งของความสูญเปล่า โดยการระดมความคิดเพื่อแจกแจงสาเหตุในการวิเคราะห์หาสาเหตุที่มีความสัมพันธ์กับปัญหา Track Width

จากการไหลของกระบวนการ พบความสูญเปล่า 2 ประการ จึงทำการสืบค้นและวิเคราะห์หาสาเหตุของความสูญเปล่า ตามลำดับดังนี้ คือ

2.1 ความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากวัดซ้ำ (Defect) ทำการสืบค้นและวิเคราะห์จากข้อมูล (Data Analysis)

เริ่มด้วยวิธีการระดมสมองของผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง (Team Member) เพื่อช่วยกันวิเคราะห์หาสาเหตุในแต่ละส่วน เป็นการระบุสาเหตุที่คาดว่ามีผลต่อปัญหา Track Width และเนื่องจากปัญหาเป็นความผันแปรจากเครื่องจักร จึงทำการรวบรวมตัวแปรนำเข้าที่สำคัญ (Key Process Variable Input: KPIVs) โดยใช้เครื่องมือแผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ในขั้นตอนของกระบวนการการวัดสัญญาณ ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรนำเข้าที่สำคัญต่าง ๆ ดังนี้

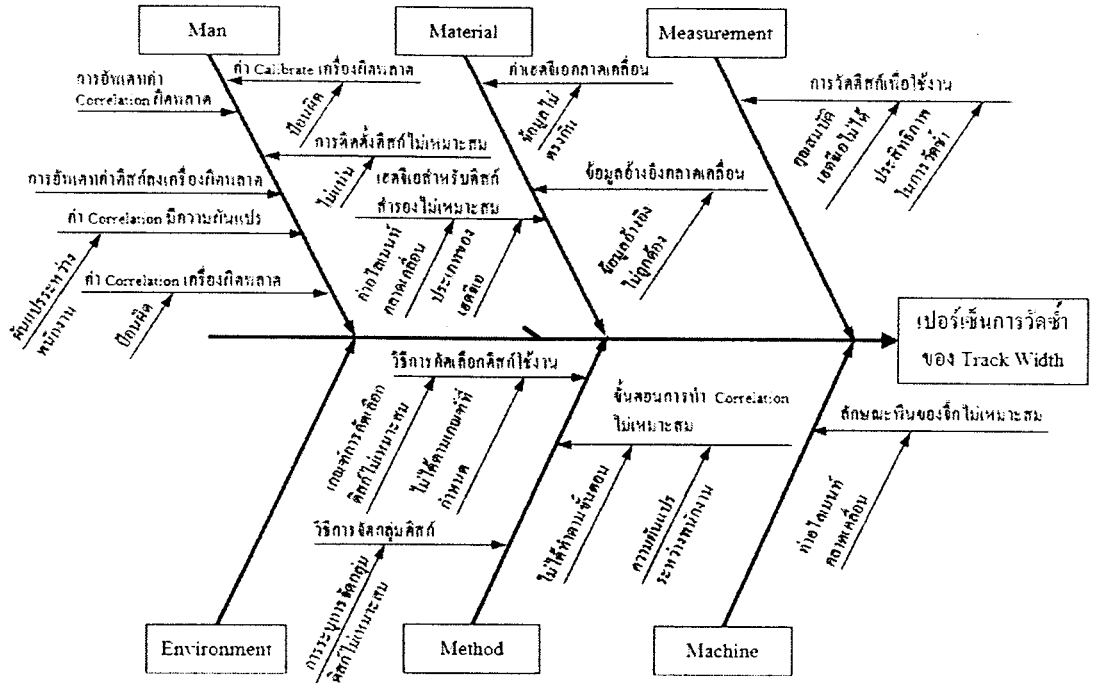
2.1.1 ระบบการควบคุมเครื่องจักรประกอบด้วย

- การควบคุมดิสก์ที่ใช้งาน (Production Disk Control)
- การทำคอรีเลชั่น (Correlation)
- การควบคุมมาสเตอร์เฮดจีเอ (Master HGA Control)
- การควบคุมเครื่องจักร (Machine Control)

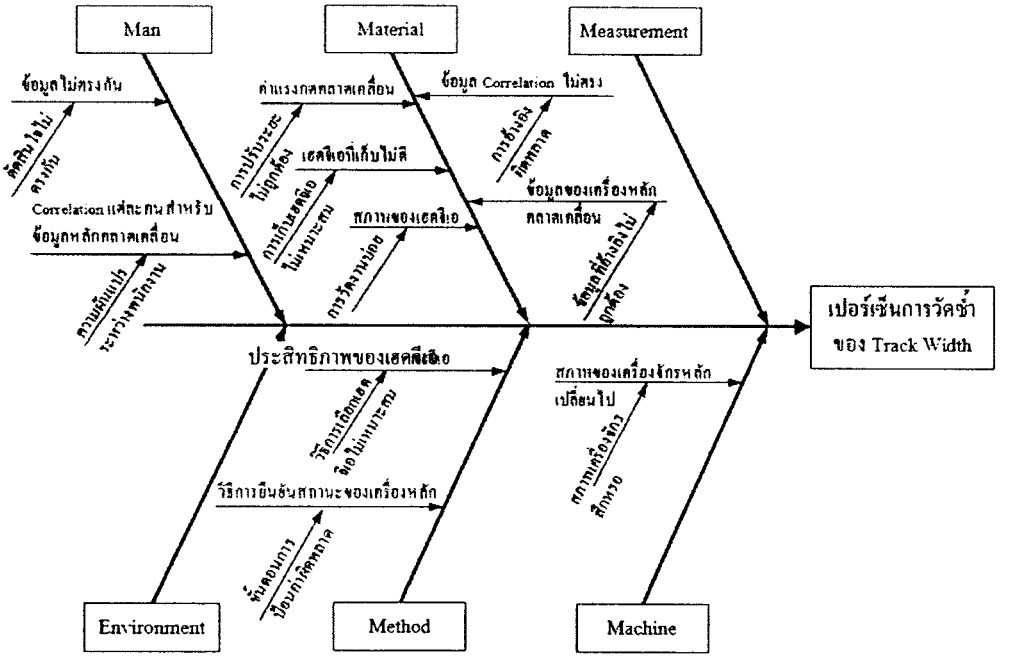
2.1.2 การตรวจสอบตามระยะเวลาที่กำหนด

2.1.3 อุปกรณ์ที่แตกต่างกันระหว่างเครื่องจักรประเภท A และ B

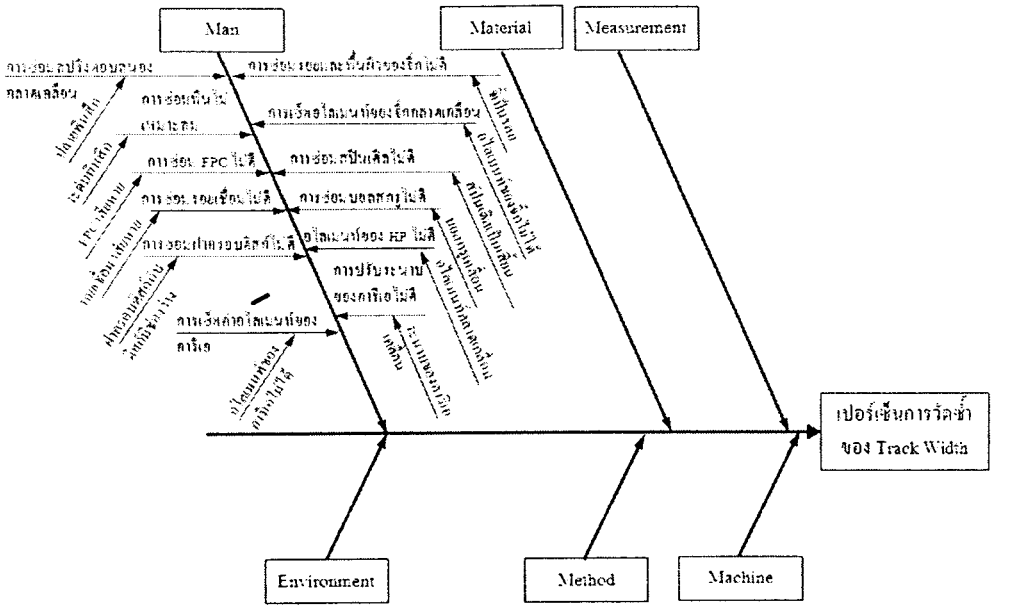
แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram): ตัวแปรนำเข้าที่สำคัญต่าง ๆ



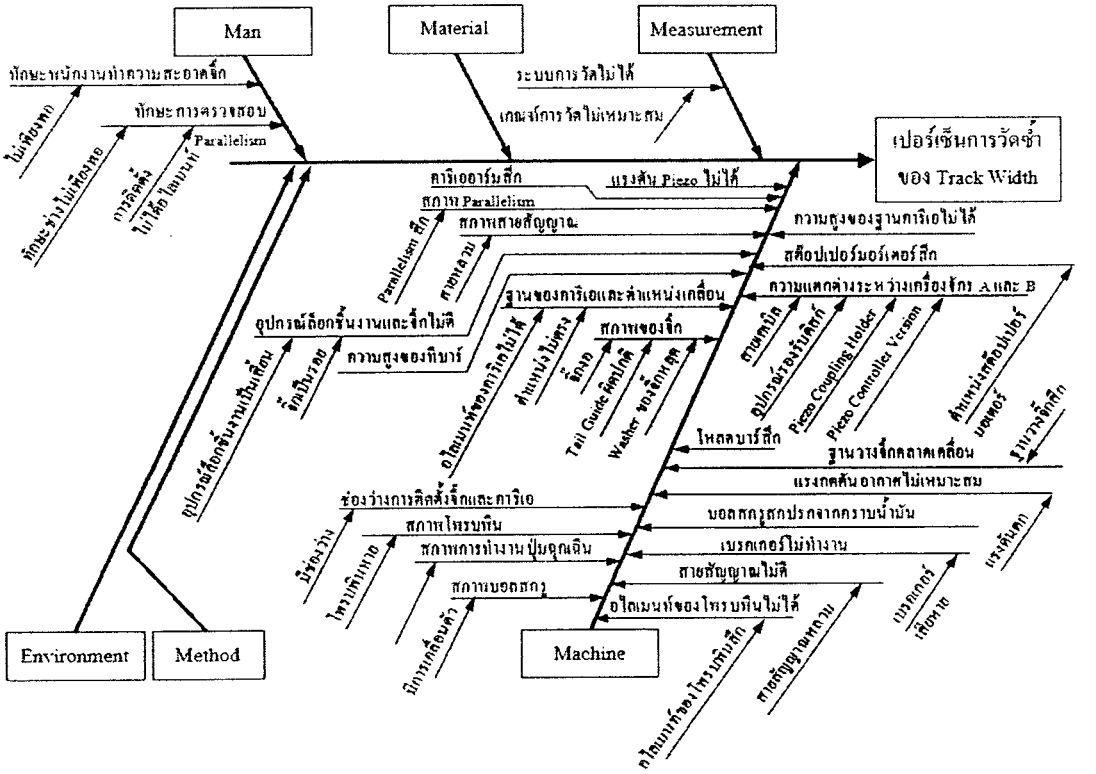
ภาพที่ 4-8 แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) การควบคุมดิสก์ที่ใช้งาน (Production Disk Control) และการทำคอรีเลชั่น (Correlation)



ภาพที่ 4-9 แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) สำหรับการควบคุมมาสเตอร์เฮดจีเอ (Master HGA Control)



ภาพที่ 4-10 แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) สำหรับการซ่อมบำรุงเครื่องจักร



ภาพที่ 4-11 แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) สำหรับการตรวจสอบตาม ระยะเวลาและความแตกต่างระหว่างเครื่องจักร

2.2 ความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากการรอคอย (Waiting) ทำการสืบค้นและวิเคราะห์จากกระบวนการ (Process Analysis)

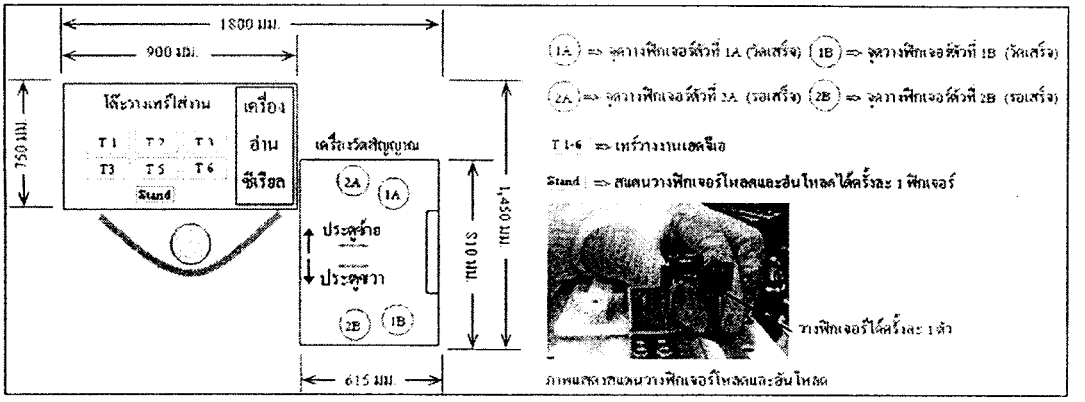
จากการประชุมทีมเพื่อพิจารณาการไหลของกระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็กอีกครั้ง ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2–13 เป็นขั้นตอนคนกับเครื่องเริ่มทำงานพร้อมกันและเสร็จสิ้นโดยเครื่องก่อนที่เวลา 32.21 วินาที ส่วนพนักงานใช้เวลา 33.92 วินาที ทำให้เครื่องทำงานเสร็จก่อนเป็นเวลาเวลา 1.71 วินาที ส่งผลต่อกำลังการผลิตไม่ได้ตามแผนการผลิตที่ลูกค้าต้องการ จึงเป็นความสูญเสียเนื่องจากกระบวนการผลิตที่ขาดประสิทธิผล (Non-Effectiveness Process)

ผู้วิจัยจึงได้ใช้เครื่องมือแผนภูมิสองมือ (Left Hand / Right Hand) ทำการสืบค้นและวิเคราะห์ดังภาพที่ 4-12 เป็นการแสดงให้เห็นภาพของวิธีการปฏิบัติงาน (Method Sheets) ซึ่งแสดงรายละเอียดการทำงานและการว่างอยู่ของมือแต่ละข้างของผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการทำงาน เมื่อเทียบกับเวลาที่ผ่านไป การจัดทำแผนภูมิชนิดนี้จะช่วยให้เราเห็นช่องทางการปรับปรุง จากแผนภูมิดังกล่าวนำมาวิเคราะห์ขั้นตอนการไหลของกระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก (Analyze Process Flow)

ชาร์ทสองมือ (LEFT-HAND / RIGHT-HAND CHART)

สรุป	ปัจจุบัน		นำเสนอ		เปลี่ยน	
	มือซ้าย	มือขวา	มือซ้าย	มือขวา	มือซ้าย	มือขวา
การปฏิบัติงาน ○	1	5				
การเคลื่อนที่ ⇨	3	5				
การตรวจสอบ □	-	-				
การรอ D	2	1				
การถือจับไว้ ▽	5	-				
ระยะทาง (ซม.)	155	300				

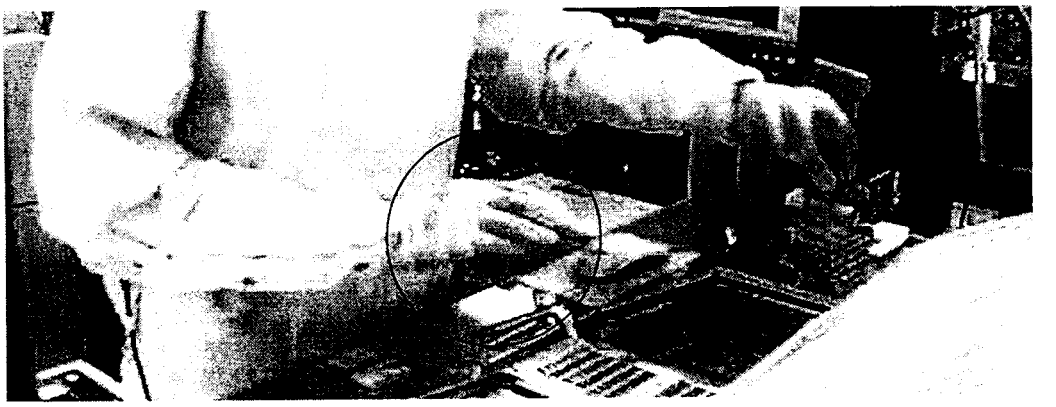
สรุปชาร์ทโดย นายวิรัตน์ กังวานสมวงศ์	หน้าที่ 1 จาก 1
กิจกรรม : การทำงานที่กระบวนการวัดสัญญาณ	รายละเอียดของ ✓ วิธีการปัจจุบัน วิธีการที่นำเสนอ
หน่วยงาน : จันทร์เพ็ญ	
หมายเหตุ : วิธีปัจจุบัน สเตนสามารถวางฟิกเจอร์โหลดและอันโหลดได้ครั้งละ 1 ฟิกเจอร์	



	กิจกรรมมือซ้าย	ระยะทาง (ซม.)	การปฏิบัติงาน	การเคลื่อนที่	การตรวจสอบ	การรอ	การถือจับไว้	การปฏิบัติงาน	การเคลื่อนที่	การตรวจสอบ	การรอ	การถือจับไว้	ระยะทาง (ซม.)	กิจกรรมมือขวา
1	เปิดประตูเครื่องข้างซ้าย นำฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่งในเครื่องออกและนำ ฟิกเจอร์ชุดที่สองเข้าเครื่อง ปิดประตูเครื่องด้วยมือซ้าย	30											30	เปิดประตูเครื่องข้างขวา นำฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่งในเครื่องออกและนำ ฟิกเจอร์ชุดที่สองเข้าเครื่อง ปิดประตูเครื่องด้วยมือขวา
2	เคลื่อนย้ายฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง A มาที่สเตนอันโหลด	80												ว่าง
3	จับฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง A บนสเตน												20	จับแอร์สวิตเซอร์ แล้วโหลดเอดจีเอออกไปวางที่เทร์
4	จับฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง A บนสเตน												15	โหลดเอดจีเอใหม่ จากเทร์เข้าฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง A
5	ผ่านฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง A ไปมือขวา	15											20	กลับฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง A เข้าเครื่องอ่านชิเรียล
6	ว่าง												100	เคลื่อนย้ายฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง B มาที่สเตนอันโหลด
7	จับฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง B บนสเตน												20	จับแอร์สวิตเซอร์ แล้วโหลดเอดจีเอออกมาวางที่เทร์
8	จับฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง B บนสเตน												15	โหลดเอดจีเอใหม่ จากเทร์เข้าฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง B
9	ถือฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง B	15											30	นำฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง A ออกจากเครื่องอ่านชิเรียล ไปวางบนเครื่องวัดสัญญาณ
10	ผ่านฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง B ไปมือขวา	15											20	กลับฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง B เข้าเครื่องอ่านชิเรียล
11	ว่าง												30	หยิบฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง B ออกจากเครื่องอ่านชิเรียล มาที่เครื่องวัด

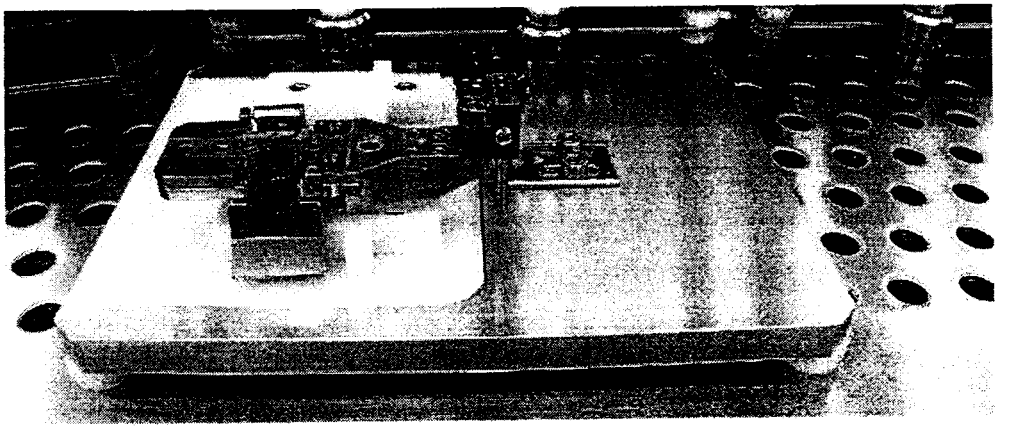
ภาพที่ 4-12 ชาร์ทการทำงานสองมือของวิธีปัจจุบัน

ผู้วิจัยพิจารณาที่กิจกรรม "การว่าง" พบว่ามีความสูญเปล่าของกิจกรรมในขั้นตอนที่ 2 มือข้างซ้ายจะเคลื่อนย้ายฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง A มาที่ สแตนอันโหลด ส่วนมือขวาจะว่าง ดังวงกลมในภาพที่ 4-13 และกิจกรรมในขั้นตอนที่ 6 มือซ้ายจะว่าง ส่วนมือข้างขวาจะเคลื่อนย้ายฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง B มาที่ สแตนอันโหลด



ภาพที่ 4-13 ขั้นตอนที่ 2 มือข้างซ้ายจะเคลื่อนย้ายฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง A มาที่ สแตนอันโหลด ส่วนมือขวาจะว่าง

สำหรับภาพที่ 4-14 แสดงสแตนโหลด-อันโหลดชิ้นงาน ก่อนปรับปรุงและภาพที่ 4-16 แสดงวิธีการโหลด-อันโหลดชิ้นงาน ก่อนปรับปรุง ซึ่งสามารถวางชิ้นงานได้ทีละหนึ่งขณะทำการโหลด-อันโหลดชิ้นงาน



ภาพที่ 4-14 สแตนโหลด-อันโหลดชิ้นงาน ก่อนปรับปรุง

ภาพที่ 4-15 วิธีการโหลด-อันโหลดชิ้นงาน ก่อนปรับปรุง

จากการวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิสองมือ (Left Hand / Right Hand) ทำให้เห็นจุดหรือบริเวณที่สามารถรวมกิจกรรม 2 ขั้นตอน เข้าด้วยกัน คือขั้นตอนที่ 2 และ 6 เป็นการรวมกิจกรรมการทำงานสองมือพร้อมกัน มือซ้ายถือฟิกเจอร์ A ส่วนมือขวาถือฟิกเจอร์ B ทำให้การว่างหรือความสูญเปล่าของทั้งสองขั้นตอนถูกกำจัดออกไป ส่งผลให้เวลาลดลง 2.43 วินาที จากการรวมกิจกรรม แต่อย่างไรก็ตามฟิกเจอร์ A และ B ไม่สามารถวางบนสแตนเดิมพร้อมกันได้ เนื่องจากการออกแบบดั้งเดิมรองรับได้เพียงหนึ่งฟิกเจอร์เท่านั้น จึงพิจารณาปรับปรุงอุปกรณ์พักฟิกเจอร์เพิ่มเติมต่อไป เพื่อลดความสูญเปล่าระหว่างการทำงานดังกล่าว

3. การวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับลีน-ซิกซ์ ซิกม่า (Measurement System Analysis for Lean- Six Sigma)

ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับลีน-ซิกซ์ ซิกม่า ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการตัดสินใจ จำเป็นต้องวิเคราะห์ความผันแปรของระบบการวัดก่อนเพื่อเป็นการยืนยันว่าแหล่งความผันแปรของข้อมูลมาจากกระบวนการเท่านั้น ไม่ได้มาจากระบบการวัดหรือเกิดน้อยมาก จนสามารถตัดทิ้งได้ โดยระบบการวัด (Measurement System) ในการวิเคราะห์ค่า Track Width ซึ่งเป็นตัวแปรตอบสนองในงานวิจัยนี้ คือ การวัดด้วยเครื่อง จึงทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบ Variable Gauge R&R

การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่น จะแยกการวัดความสามารถของเครื่องจักรและคน โดยแยกการวิเคราะห์ระบบวัดเป็น 3 กลุ่ม เนื่องจากเครื่องจักรมี 2 ประเภท จึงเริ่มจากการวิเคราะห์ระบบการวัดที่พนักงาน เพื่อเลือกพนักงานที่ผ่านเกณฑ์ระบบวัด ไปวิเคราะห์ความผันแปรกับเครื่องจักรต่อไป ตามรายละเอียดและตารางที่ 4-5 ดังนี้

- กลุ่มที่ 1 วิเคราะห์ระบบวัดของพนักงาน
- กลุ่มที่ 2 วิเคราะห์ระบบวัดของเครื่องจักรประเภท A
  1) วิเคราะห์ระบบวัดของเครื่องจักรประเภท A กับงานด้านบน (UP)
  2) วิเคราะห์ระบบวัดของเครื่องจักรประเภท A กับงานด้านล่าง (DN)
- กลุ่มที่ 3 วิเคราะห์ระบบวัดของเครื่องจักรประเภท B
  1) วิเคราะห์ระบบวัดของเครื่องจักรประเภท B กับงานด้านบน (UP)
  2) วิเคราะห์ระบบวัดของเครื่องจักรประเภท B กับงานด้านล่าง (DN)

ตารางที่ 4-5 อุปกรณ์การวัดชิ้นงานของการวิเคราะห์ระบบการวัดของแต่ละกลุ่ม

กลุ่มที่ทดสอบ	ประเภทของเครื่องจักร	จำนวนเครื่องที่ทดสอบ	ด้านของจิ๊กที่ใช้ทดสอบ	ตำแหน่งของจิ๊ก	ชื่อของจิ๊ก
กลุ่มที่ 1	ประเภท B	1 เครื่อง	บน (UP)	ฝั่งซ้าย	จิกด้านบน 1
					จิกด้านบน 2
				ฝั่งขวา	จิกด้านบน 3
					จิกด้านบน 4
			ล่าง (DN)	ฝั่งซ้าย	จิกด้านล่าง 1
					จิกด้านล่าง 2
				ฝั่งขวา	จิกด้านล่าง 3
					จิกด้านล่าง 4
กลุ่มที่ 2.1	ประเภท A	3 เครื่อง	บน (UP)	ฝั่งซ้าย	จิกด้านบน 1
					จิกด้านบน 2
				ฝั่งขวา	จิกด้านบน 3
					จิกด้านบน 4
กลุ่มที่ 2.2			ล่าง (DN)	ฝั่งซ้าย	จิกด้านล่าง 1
					จิกด้านล่าง 2
				ฝั่งขวา	จิกด้านล่าง 3
					จิกด้านล่าง 4
กลุ่มที่ 3.1	ประเภท B	3 เครื่อง	บน (UP)	ฝั่งซ้าย	จิกด้านบน 1
					จิกด้านบน 2
				ฝั่งขวา	จิกด้านบน 3
					จิกด้านบน 4
กลุ่มที่ 3.2			ล่าง (DN)	ฝั่งซ้าย	จิกด้านล่าง 1
					จิกด้านล่าง 2
				ฝั่งขวา	จิกด้านล่าง 3
					จิกด้านล่าง 4

3.1 กลุ่มที่ 1 วิเคราะห์ระบบวัดของพนักงาน

ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่น (Repeatability and Reproducibility) ของ Track Width ของกลุ่มที่ 1 มีดังนี้

3.1.1 ทำการเลือกชิ้นงานจากกระบวนผลิตมา 10 ตัวอย่าง โดยงานด้านบนและล่างอย่างละ 5 ตัวอย่าง โดยให้ครอบคลุมตลอดช่วงย่านวัด ของระบบวัด แล้วทำการกำหนดหมายเลข

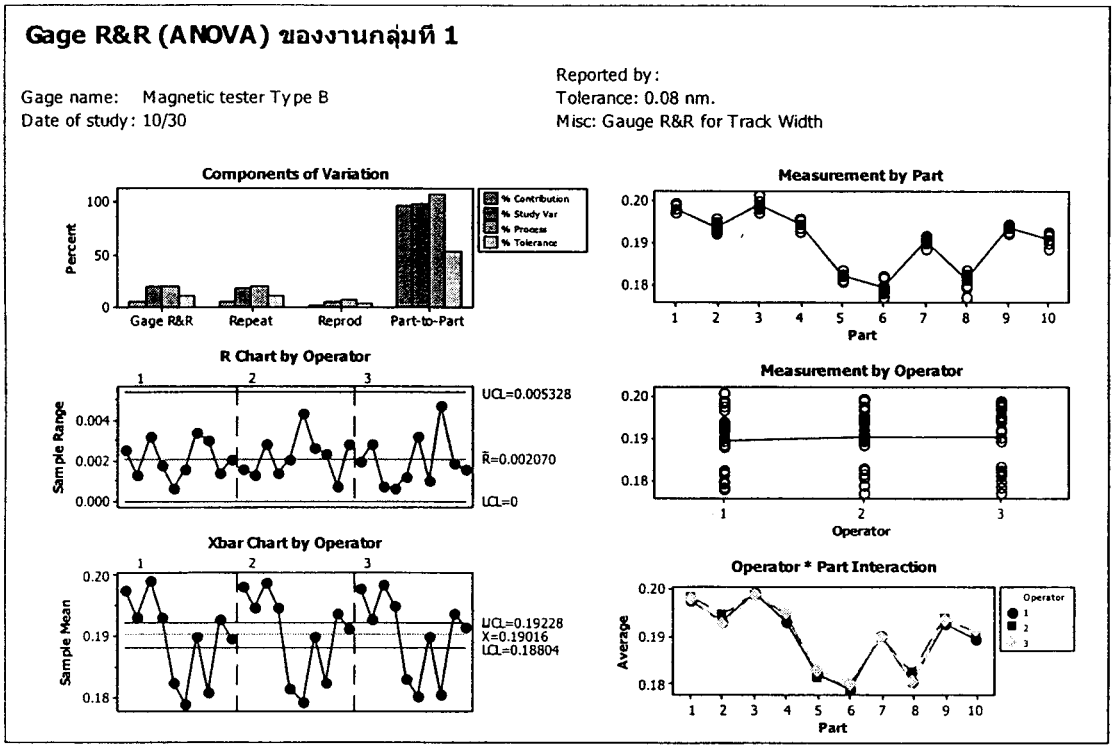
3.1.2 มอบหมายให้พนักงานของตำแหน่งการวัดค่าสัญญาณ (Magnetic test) ที่ได้รับการอบรมแล้ว และทำงานประจำทุกคนจำนวน 3 คน

3.1.3 พนักงานแต่ละคนทำการวัดชิ้นงานทั้ง 10 ตัวอย่าง คนละ 3 รอบ โดยเริ่มจาก พนักงานคนที่ 1 วัดครั้งที่ 1 คนที่ 2 วัดครั้งที่ 1 คนที่ 3 วัดครั้งที่ 1 แล้ววนมาคนที่ 1 วัดครั้งที่ 2 คนที่ 2 วัดครั้งที่ 2 คนที่ 3 วัดครั้งที่ 2 แล้ววนมาคนที่ 1 วัดครั้งที่ 3 คนที่ 2 วัดครั้งที่ 3 คนที่ 3 วัดครั้งที่ 3 จนครบในเครื่องเดียวกันและจิ๊กเดียวกันเท่านั้น เพื่อทำให้สามารถหาค่าประมาณของความผันแปรอันเนื่องมาจากปัจจัยที่ไม่ได้รับการควบคุมในการทดลองได้ อย่างสุ่ม แสดงผลดังตารางที่ 4-6 วิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Minitab Release 15.00

ตารางที่ 4-6 ผลการทดลองคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดของงานกลุ่มที่ 1

Part	พนักงานคนที่ 1			พนักงานคนที่ 2			พนักงานคนที่ 3		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	0.1967	0.1967	0.1992	0.1992	0.1979	0.1976	0.1969	0.1977	0.1989
2	0.1925	0.1930	0.1937	0.1943	0.1953	0.1940	0.1920	0.1946	0.1918
3	0.1977	0.1986	0.2008	0.1997	0.1994	0.1969	0.1982	0.1989	0.1986
4	0.1942	0.1931	0.1924	0.1953	0.1949	0.1940	0.1949	0.1949	0.1955
5	0.1820	0.1820	0.1826	0.1827	0.1810	0.1807	0.1827	0.1837	0.1825
6	0.1783	0.1784	0.1798	0.1773	0.1816	0.1792	0.1798	0.1788	0.182
7	0.1903	0.1916	0.1882	0.1911	0.1885	0.19	0.1906	0.1896	0.1897
8	0.1826	0.1797	0.1796	0.1826	0.1810	0.1833	0.1814	0.1821	0.1774
9	0.1934	0.1925	0.1920	0.1941	0.1934	0.1937	0.1924	0.1943	0.1943
10	0.1884	0.1905	0.1896	0.1895	0.1924	0.1914	0.1904	0.1919	0.192

จากตารางที่ 4-6 นำมาวิเคราะห์โดยโปรแกรม Minitab (Gage R&R Study (Crossed) โดยวิธี ANOVA) ซึ่งได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4-16 และภาพที่ 4-17 โดยวิเคราะห์ผลตามลำดับดังนี้



ภาพที่ 4-16 ผลการทวนสอบข้อมูลของระบบการวัดค่า Track Width ของงานกลุ่มที่ 1

จากภาพที่ 4-16 จะต้องพิจารณาดังนี้

1. แผนภูมิควบคุม R แสดงว่าระบบการวัดของพนักงานทั้งสามคน มีค่าวัดที่มีความสม่ำเสมอดี คือจุดที่พล็อตทุกจุดในกราฟอยู่ภายในพิกัดควบคุม

2. แผนภูมิควบคุม Xbar แสดงว่า ความผันแปรจากระบบการวัดมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความผันแปรจากสาเหตุของระบบผลิต ดังนั้นข้อมูลที่วัดได้สามารถใช้ประมาณความผันแปรของกระบวนการได้ โดยต้องพิจารณาค่า ndc (Number of Distinct Categories) จากส่วน Session ประกอบด้วย

3. Operator*Part Interaction แผนภาพแสดงอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานและชิ้นงาน แสดงว่า พนักงานวัดไม่มีอิทธิพลร่วมกับชิ้นงานเนื่องจากกราฟไม่มีการตัดกันอย่างเด่นชัด

4. Measurement by Operator กราฟที่พลอตระหว่างพนักงานที่ทดลอง แสดงว่าพนักงานทั้ง 3 คนไม่แตกต่างกันเนื่องจากกราฟไม่แสดงการเหลื่อมกันอย่างเด่นชัด แต่ต้องพิจารณาค่า P-Value ใน Session ยืนยัน

5. Measurement by Part กราฟที่พลอตระหว่างชิ้นงาน แสดงว่า ชิ้นงานที่นำมาทดลองเป็นอย่างสุ่ม ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

MSA

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	9	0.0038910	0.0004323	313.702	0.000
Operator	2	0.0000090	0.0000045	3.255	0.062
Part * Operator	18	0.0000248	0.0000014	0.927	0.551
Repeatability	60	0.0000892	0.0000015		
Total	89	0.0040139			

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	9	0.0038910	0.0004323	295.795	0.000
Operator	2	0.0000090	0.0000045	3.069	0.052
Repeatability	78	0.0001140	0.0000015		
Total	89	0.0040139			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000016	3.16
Repeatability	0.0000015	2.96
Reproducibility	0.0000001	0.20
Operator	0.0000001	0.20
Part-To-Part	0.0000479	96.84
Total Variation	0.0000494	100.00

MSE

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)	%Process (SV/Proc)
Total Gage R&R	0.0012500	0.0074997	17.78	9.37	19.23
Repeatability	0.0012090	0.0072538	17.19	9.07	18.60
Reproducibility	0.0003175	0.0019050	4.52	2.38	4.88
Operator	0.0003175	0.0019050	4.52	2.38	4.88
Part-To-Part	0.0069191	0.0415147	98.41	51.89	106.45
Total Variation	0.0070311	0.0421866	100.00	52.73	108.17

Number of Distinct Categories = 7

ภาพที่ 4-17 ผลลัพธ์ช่วง Session ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด Track Width ของงานกลุ่มที่ 1

ประเมินผลระบบการวัด (Measurement System Evaluation: MSE) จากภาพที่ 4-17 จะต้องพิจารณาดังนี้

1. Number of Distinct Categories = 7 หมายความว่า ระบบการวัดสามารถแยกข้อมูลที่วัดได้ออกเป็น 7 ประเภทที่มีความแตกต่างกัน (ผ่านเกณฑ์พิจารณาคือ ndc มากกว่า 5) ซึ่งแสดงว่าข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดใช้ประมาณค่าความผันแปรจากกระบวนการได้

2. %Study Var ประเมินผลเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (Total Variation: TV) หรือ P/TV จะพบว่าถ้าความผันแปรของกระบวนการที่ประเมินได้จากข้อมูลวัดทั้งหมด (TV) เท่ากับ 100 หน่วยแล้ว จะเป็นความผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการหรือชิ้นงาน 98.41 หน่วย และจากสาเหตุจากระบบวัดเครื่อง (จากสาเหตุ Repeatability) 17.78 หน่วย โดยถ้ามีค่ามากกว่า 10% แต่น้อยกว่า 30% ซึ่งสามารถยอมรับได้

3. %Tolerance ประเมินผลเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะ (Tolerance: T) หรือ P/T จะพบว่าถ้าความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะ เท่ากับ 100 หน่วยแล้ว จะเป็นความผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการหรือชิ้นงาน 51.89 หน่วย และจากสาเหตุจากระบบวัดด้วยเครื่อง 9.07 หน่วย โดยเป็นความผันแปรจากสาเหตุ Repeatability

วิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) จากภาพที่ 4-17 พิจารณาดังนี้

1. Variance หมายถึงความผันแปรต่อหน่วยในประชากร โดยถ้าความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมดมีค่า 0.0000494 หน่วย^2 จะมาจากความแปรปรวนของกระบวนการหรือชิ้นงาน 0.0000479 หน่วย^2 และความแปรปรวนของกระบวนการวัดด้วยเครื่อง 0.0000016 หน่วย^2

2. ค่า %Contribution เท่ากับ 3.16 % หมายความว่า ถ้าความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมดมีค่า 100 หน่วย^2 จะมาจากความแปรปรวนของกระบวนการผลิตหรือชิ้นงาน 96.84 หน่วย^2 และความแปรปรวนของกระบวนการวัดด้วยเครื่อง 3.16 หน่วย^2 ซึ่งโดยทั่วไปเกณฑ์ในการยอมรับอยู่ที่น้อยกว่า 5% ดังนั้นแสดงว่าระบบการวัดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

3. P-Value Interaction Effect (Part*Operator) = 0.551 มีค่ามาก แสดงว่า F มีค่าน้อย แสดงว่าอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานและชิ้นงานไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 จึงทำการตัดทิ้งได้

4. P-Value Main Effect (Operator) = 0.062 มีค่ามากแสดงว่า F มีค่าน้อยแสดงว่าพนักงานไม่มีผลต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัดคือไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

5. P-Value Main Effect (Part) = 0.000 มีค่าน้อย แสดงว่า F มีค่ามาก แสดงว่าชิ้นงานมีผลต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด คือมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

สรุประบบการวัดของกลุ่มที่ 1 พนักงานมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์และสามารถให้การยอมรับความผันแปรของกระบวนการวัดได้ กล่าวคือความผันแปรของพนักงานไม่มีผลต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด

3.2 กลุ่มที่ 2 วิเคราะห์ระบบวัดของเครื่องประเภท A

3.2.1 วิเคราะห์ระบบวัดของเครื่องประเภท A ในตัวอย่างด้านบน (UP)

ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่น (Repeatability and Reproducibility) ของ Track Width ของกลุ่มที่ 3.2.1 มีดังนี้

- ทำการเลือกชิ้นงานจากกระบวนผลิตมา 10 ตัวอย่าง โดยให้ครอบคลุมตลอดช่วงย่านวัด ของระบบวัด แล้วทำการกำหนดหมายเลข

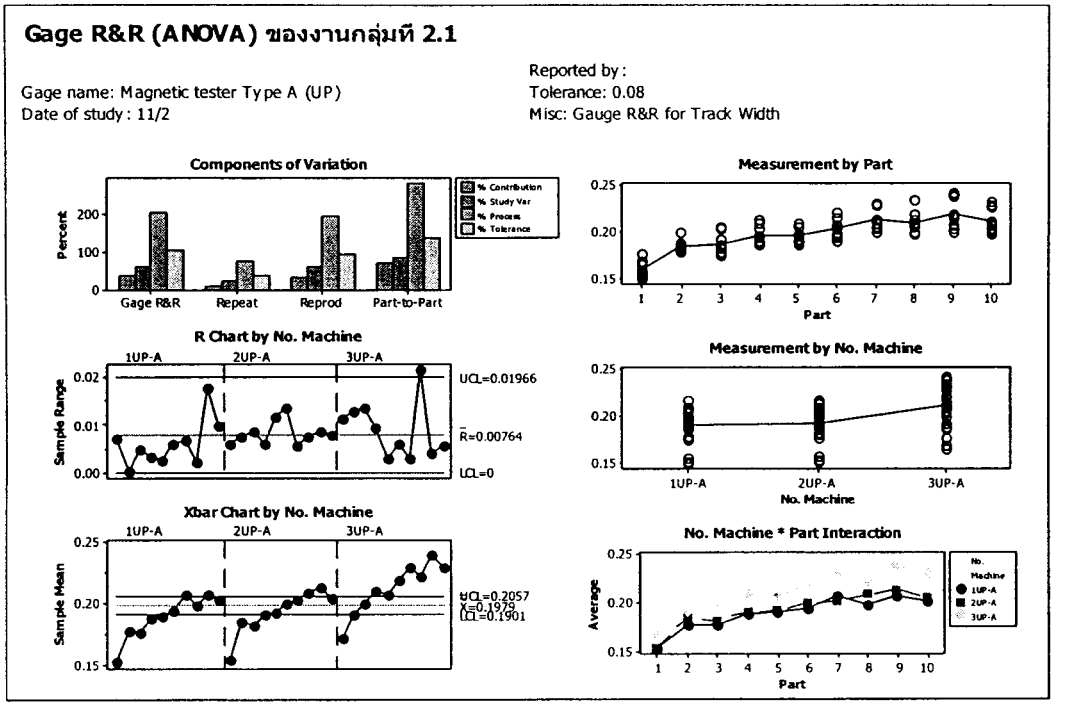
- มอบหมายให้พนักงานของตำแหน่งการวัดค่าสัญญาณ (Magnetic test) ที่ได้รับการอบรมแล้ว และทำงานประจำทุกคนจำนวน 1 คน ซึ่งเป็นพนักงานที่วิเคราะห์ระบบวัดจากกลุ่มที่ 1

- กำหนดเครื่องจักร 3 เครื่อง แล้วให้พนักงาน(ซึ่งผ่านจากกลุ่มที่ 1) ทำการวัดชิ้นงานทั้ง 10 ตัวอย่าง จำนวนเครื่องละ 3 รอบ โดยเริ่มจาก เครื่องที่ 1 วัดครั้งที่ 1 เครื่องที่ 2 วัดครั้งที่ 1 เครื่องที่ 3 วัดครั้งที่ 1 แล้ววนมาเครื่องที่ 1 วัดครั้งที่ 2 เครื่องที่ 2 วัดครั้งที่ 2 เครื่องที่ 3 วัดครั้งที่ 2 แล้ววนมาเครื่องที่ 1 วัดครั้งที่ 3 เครื่องที่ 2 วัดครั้งที่ 3 เครื่องที่ 3 วัดครั้งที่ 3 จนครบ โดยพนักงานเดียวกันและจิ๊กเดียวกัน เพื่อทำให้สามารถหาค่าประมาณของความผันแปรอันเนื่องมาจากปัจจัยที่ไม่ได้รับการควบคุมในการทดลองได้ อย่างสุ่ม ดังตารางที่ 4-7 วิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Minitab Release 15.00

ตารางที่ 4-7 ผลการทดลองคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดของงานกลุ่มที่ 3.2.1

Part	เครื่องที่ 1			เครื่องที่ 2			เครื่องที่ 3		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	0.1492	0.1520	0.1562	0.1536	0.1506	0.1565	0.1691	0.1766	0.1655
2	0.1778	0.1778	0.1779	0.1813	0.1886	0.1825	0.1887	0.1988	0.1862
3	0.1738	0.1785	0.1765	0.1854	0.1823	0.1769	0.2031	0.2053	0.1917
4	0.1862	0.1896	0.1884	0.1885	0.1936	0.1879	0.2044	0.2137	0.2098
5	0.1889	0.1890	0.1913	0.1976	0.1863	0.1904	0.2055	0.2057	0.2084
6	0.1956	0.1940	0.1897	0.1971	0.1934	0.2067	0.2211	0.2215	0.2157
7	0.2057	0.2102	0.2037	0.2028	0.1988	0.2044	0.2293	0.2285	0.2312
8	0.1974	0.1996	0.1983	0.2123	0.2079	0.2051	0.2127	0.2186	0.2338
9	0.2177	0.2028	0.2003	0.2149	0.2165	0.2079	0.2394	0.2415	0.2375
10	0.2073	0.2005	0.1977	0.2091	0.2013	0.2031	0.2318	0.2280	0.2264

จากตารางที่ 4-7 นำมาวิเคราะห์โดยโปรแกรม Minitab (Gage R&R Study (Crossed) โดยวิธี ANOVA) ซึ่งได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4.-8 และ ภาพที่4-19 โดยวิเคราะห์ผลตามลำดับดังนี้



ภาพที่ 4-18 ผลการทวนสอบข้อมูลของระบบการวัดค่า Track Width ของงานกลุ่มที่ 3.2.1

จากภาพที่ 4-18 จะต้องพิจารณาดังนี้

1. แผนภูมิควบคุม R แสดงว่าระบบการวัดของเครื่องจักรทั้งสามเครื่อง มีค่าวัดที่มีความแตกต่างกัน คือจุดพบที่พล็อตของเครื่องที่ 3 ในกราฟออกนอกพิกัดควบคุม

2. แผนภูมิควบคุม Xbar แสดงว่า ความผันแปรจากระบบการวัดมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับความผันแปรจากสาเหตุของระบบผลิต ดังนั้นข้อมูลที่วัดได้ไม่สามารถใช้ประมาณความผันแปรของกระบวนการได้ โดยต้องพิจารณาค่า ndc (Number of Distinct Categories) จากส่วน Session ประกอบด้วย

3. No. Machine * Part Interaction แผนภาพแสดงอิทธิพลร่วมระหว่างเครื่องจักรและชิ้นงาน พบว่า เครื่องจักรมีอิทธิพลร่วมกับชิ้นงาน เนื่องจากกราฟมีการตัดกันของตัวอย่าง

4. Measurement by No. Machine กราฟที่พลอตระหว่างเครื่องจักรที่ทดลอง แสดงว่าเครื่องจักรทั้ง 3 เครื่องมีค่าแตก ต่างกัน เนื่องจากกราฟมีการเหลื่อมกันอย่างเด่นชัด แต่ต้องพิจารณาค่า P-Value ใน Session ยืนยัน

5. Measurement by Part กราฟที่พลอตระหว่างชิ้นงาน แสดงว่า ชิ้นงานที่นำมาทดลองเป็นอย่างสุ่ม ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

MSA

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	9	0.0263048	0.0029228	68.341	0.000
No. Machine	2	0.0087734	0.0043867	102.571	0.000
Part * No. Machine	18	0.0007698	0.0000428	1.983	0.025
Repeatability	60	0.0012939	0.0000216		
Total	89	0.0371419			

Gage R&R

%Contribution

Source	VarComp	(of VarComp)
Total Gage R&R	0.0001734	35.15
Repeatability	0.0000216	4.37
Reproducibility	0.0001519	30.78
No. Machine	0.0001448	29.35
No. Machine*Part	0.0000071	1.43
Part-To-Part	0.0003200	64.85
Total Variation	0.0004934	100.00

MSE

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)	%Process (SV/Proc)
Total Gage R&R	0.0131693	0.079016	59.29	98.77	202.60
Repeatability	0.0046438	0.027863	20.91	34.83	71.44
Reproducibility	0.0123234	0.073940	55.48	92.43	189.59
No. Machine	0.0120332	0.072199	54.17	90.25	185.13
No. Machine*Part	0.0026585	0.015951	11.97	19.94	40.90
Part-To-Part	0.0178885	0.107331	80.53	134.16	275.21
Total Variation	0.0222133	0.133280	100.00	166.60	341.74

Number of Distinct Categories = 1

ภาพที่ 4-19 ผลลัพธ์ช่วง Session ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด Track Width ของงานกลุ่มที่ 3.2.1

ประเมินผลระบบการวัด (Measurement System Evaluation: MSE) จากภาพที่ 4-19 จะต้องพิจารณาดังนี้

1. Number of Distinct Categories = 1หมายความว่า ระบบการวัดสามารถแยกข้อมูลที่วัดได้ออกเป็น 1 ประเภท คือไม่สามารถแยกความแตกต่างกันได้ (ผ่านเกณฑ์พิจารณาคือ ndc มากกว่า 5) ซึ่งแสดงว่าข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดไม่สามารถใช้ประมาณค่าความผันแปรจากกระบวนการได้

2. %Study Var ประเมินผลเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (Total Variation: TV) หรือ P/TV จะเป็นความผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการหรือชิ้นงาน 80.53 หน่วย และจากสาเหตุจากระบบวัดเครื่อง 59.29 หน่วย: ซึ่งมีค่ามากกว่า 10% ต้องวิเคราะห์หาสาเหตุความผันแปรสำหรับ MSA ต่อ

3. %Tolerance ประเมินผลเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะ (Tolerance: T) หรือ P/T จะเป็นความผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการหรือชิ้นงาน 134.16 หน่วย และจากสาเหตุจากระบบวัดด้วยเครื่อง 98.77 หน่วย โดยเป็นความผันแปรจากสาเหตุ Reproducibility 72.6%

วิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) จากภาพที่ 4-19 พิจารณาดังนี้

1. Variance หมายถึงความผันแปรต่อหน่วยในประชากร โดยถ้าความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมดมีค่า 0.0004934 หน่วย^2 จะมาจากความแปรปรวนของกระบวนการหรือชิ้นงาน 0.0003200 หน่วย^2 และความแปรปรวนของกระบวนการวัดด้วยเครื่อง 0.0001734 หน่วย^2

2. ค่า %Contribution เท่ากับ 35.15% หมายความว่า ถ้าความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมดมีค่า 100 หน่วย^2 จะมาจากความแปรปรวนของกระบวนการผลิตหรือชิ้นงาน 64.85 หน่วย^2 และความแปรปรวนของกระบวนการวัดด้วยเครื่อง 35.15 หน่วย^2 ซึ่งโดยทั่วไปเกณฑ์ในการยอมรับอยู่ที่ น้อยกว่า 5% ดังนั้นแสดงว่าระบบการวัดไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

3. P-Value Interaction Effect (Part*No. Machine) = 0.025 มีค่าน้อย แสดงว่า F มีค่ามาก แสดงว่าอิทธิพลร่วมระหว่างเครื่องและชิ้นงาน มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 จึงไม่สามารถทำการตัดทิ้งได้

4. P-Value Main Effect (No. Machine) = 0.000 มีค่าน้อย แสดงว่า F มีค่ามาก แสดงว่าเครื่องจักรมีผลต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัดคือมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

5. P-Value Main Effect (Part) = 0.000 มีค่าน้อย แสดงว่า F มีค่ามาก แสดงว่าชิ้นงานมีผลต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด คือมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

สรุประบบการวัดของกลุ่มที่ 3.2.1 เครื่องจักร A กับงานด้านบน (UP) คุณสมบัติไม่มีผ่านเกณฑ์ จึงไม่สามารถให้การยอมรับความผันแปรของกระบวนการวัดได้ กล่าวคือความผันแปรของเครื่องจักรมีผลต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด

3.2.2 วิเคราะห์ระบบวัดของเครื่องประเภท A ในตัวอย่างด้านล่าง (DN)

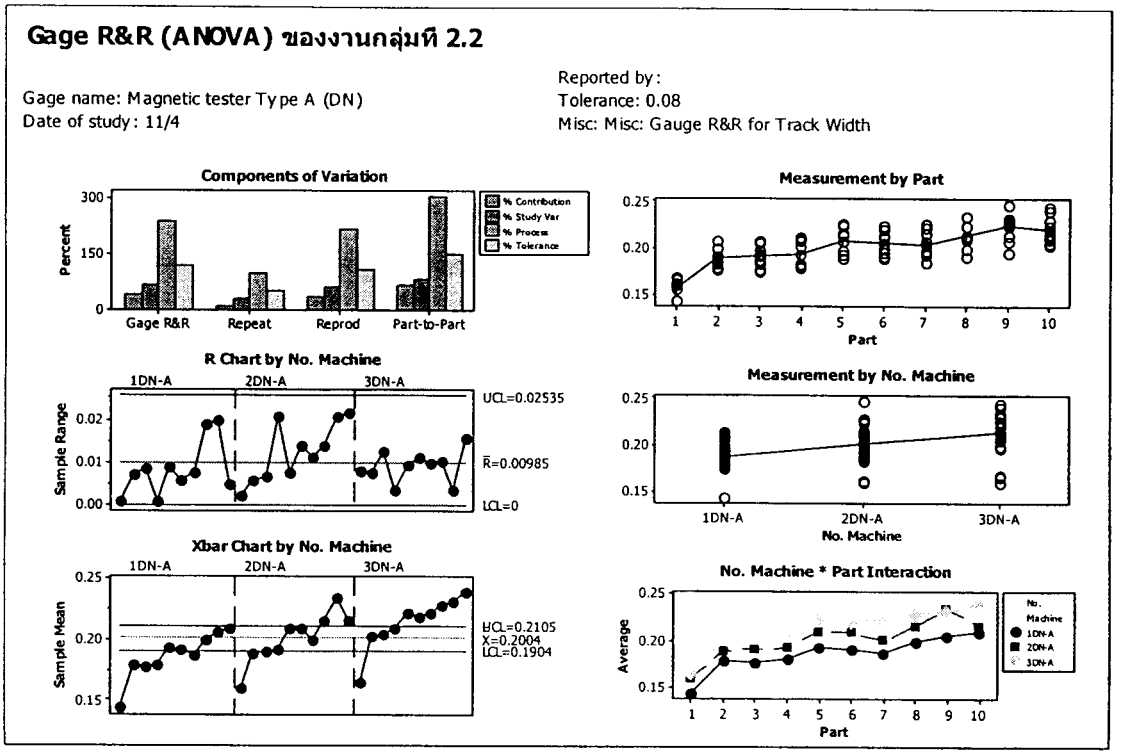
ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่น (Repeatability and Reproducibility) ของ Track Width ของกลุ่มที่ 3.2.2 มีดังนี้

- ทำการเลือกชิ้นงานจากกระบวนผลิตมา 10 ตัวอย่าง โดยให้ครอบคลุมตลอดช่วงย่านวัด ของระบบวัด แล้วทำการกำหนดหมายเลข
- มอบหมายให้พนักงานของตำแหน่งการวัดค่าสัญญาณ (Magnetic Test) ที่ได้รับการอบรมแล้ว และทำงานประจำทุกคนจำนวน 1 คน ซึ่งเป็นพนักงานที่วิเคราะห์ระบบวัดจากกลุ่มที่ 1
- กำหนดเครื่องจักร 3 เครื่อง แล้วให้พนักงาน (ซึ่งผ่านจากกลุ่มที่ 1) ทำการวัดชิ้นงานทั้ง 10 ตัวอย่าง จำนวนเครื่องละ 3 รอบ โดยเริ่มจาก เครื่องที่ 1 วัดครั้งที่ 1 เครื่องที่ 2 วัดครั้งที่ 1 เครื่องที่ 3 วัดครั้งที่ 1 แล้ววนมาเครื่องที่ 1 วัดครั้งที่ 2 เครื่องที่ 2 วัดครั้งที่ 2 เครื่องที่ 3 วัดครั้งที่ 2 แล้ววนมาเครื่องที่ 1 วัดครั้งที่ 3 เครื่องที่ 2 วัดครั้งที่ 3 เครื่องที่ 3 วัดครั้งที่ 3 จนครบ โดยพนักงานเดียวกันและจิ๊กเดียวกัน เพื่อทำให้สามารถหาค่าประมาณของความผันแปรอันเนื่องมาจากปัจจัยที่ไม่ได้รับการควบคุมในการทดลองได้ อย่างสุ่ม ดังตารางที่ 4-8 วิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Minitab Release 15.00

ตารางที่ 4-8 ผลการทดลองคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดของงานกลุ่มที่ 3.2.2

Part	เครื่องที่ 1			เครื่องที่ 2			เครื่องที่ 3		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	0.1433	0.1426	0.1426	0.1588	0.1585	0.1604	0.1655	0.1675	0.1596
2	0.1773	0.1821	0.1752	0.1896	0.1846	0.1902	0.1997	0.1995	0.2072
3	0.1753	0.182	0.1735	0.1926	0.1927	0.1859	0.1960	0.2057	0.2083
4	0.1793	0.1787	0.1796	0.2020	0.1813	0.1919	0.2110	0.2102	0.2075
5	0.1880	0.1967	0.1923	0.2082	0.2140	0.2065	0.2257	0.2245	0.2165
6	0.1903	0.1944	0.1889	0.2137	0.1999	0.2120	0.2201	0.2130	0.2241
7	0.1918	0.1848	0.1843	0.1957	0.1965	0.2070	0.2219	0.2161	0.2258
8	0.1898	0.2086	0.1988	0.2104	0.2241	0.2109	0.2248	0.2348	0.2249
9	0.2140	0.2080	0.1944	0.2263	0.2289	0.2470	0.2329	0.2296	0.2303
10	0.2055	0.2094	0.2105	0.2244	0.2031	0.2163	0.2408	0.2298	0.2453

จากตารางที่ 4-8 นำมาวิเคราะห์โดยโปรแกรม Minitab (Gage R&R Study (Crossed) โดยวิธี ANOVA) ซึ่งได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4-20 และภาพที่ 4-21 โดยวิเคราะห์ผลตามลำดับดังนี้



ภาพที่ 4-20 ผลการทวนสอบข้อมูลของระบบการวัดค่า Track Width ของงานกลุ่มที่ 3.2.2

จากภาพที่ 4-20 จะต้องพิจารณาดังนี้

1. แผนภูมิควบคุม R แสดงว่าระบบการวัดของเครื่องทั้งสามเครื่องคุณสมบัติด้านความสม่ำเสมอไม่มีปัญหา คือจุดที่พล็อตทุกจุดในกราฟอยู่ภายในพิกัดควบคุม แต่พบว่าความสม่ำเสมอของเครื่องแรกค่อนข้างเกือบออกนอกเส้นควบคุม และเมื่อพิจารณาเครื่องที่สองพบว่าความสม่ำเสมอมากขึ้นเมื่อเวลาเปลี่ยนไป สรุปกราฟ R Chart ผ่านเกณฑ์

2. แผนภูมิควบคุม Xbar แสดงว่า ความผันแปรจากระบบการวัดมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับความผันแปรจากสาเหตุของระบบผลิต ดังนั้นข้อมูลที่วัดได้ไม่สามารถใช้ประมาณความผันแปรของกระบวนการได้ โดยต้องพิจารณาค่า ndc (Number of Distinct Categories) จากส่วน Session ประกอบด้วย

3. No. Machine * Part Interaction แผนภาพแสดงอิทธิพลร่วมระหว่างเครื่องจักรและชิ้นงาน พบว่า เครื่องจักรไม่มีอิทธิพลร่วมกับชิ้นงาน เนื่องจากกราฟไม่มีการตัดกันของตัวอย่าง

4. Measurement by No. Machine กราฟที่พลอตระหว่างเครื่องจักรที่ทดลอง แสดงว่าเครื่องจักรทั้ง 3 เครื่องมีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากกราฟมีการเหลื่อมกันอย่างเด่นชัด โดยเฉพาะเครื่องที่ 2 และ 3 แต่ต้องพิจารณาค่า P-Value ใน Session ยืนยัน

5. Measurement by Part กราฟที่พลอตระหว่างชิ้นงาน แสดงว่า ชิ้นงานที่นำมาทดลองเป็นอย่างสุ่ม ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

MSA

MSE

```
Gage R&R Study - ANOVA Method
Two-Way ANOVA Table With Interaction
Source                DF        SS          MS         F      P
Part                   9  0.0316702  0.0035189    63.869  0.000
No. Machine            2  0.0116929  0.0058464   106.115  0.000
Part * No. Machine    18  0.0009917  0.0000551     1.528  0.112
Repeatability         60  0.0021629  0.0000360
Total                 89  0.0465177

Gage R&R                                %Contribution
Source                    VarComp    (of VarComp)
Total Gage R&R         0.0002354           37.96
  Repeatability        0.0000360            5.81
  Reproducibility      0.0001994           32.14
    No. Machine        0.0001930           31.12
    No. Machine*Part   0.0000063            1.02
Part-To-Part           0.0003849           62.04
Total Variation        0.0006203          100.00

                                 Study Var  %Study Var  %Tolerance  %Process
Source                StdDev (SD)  (6 * SD)      (%SV)  (SV/Toler)  (SV/Proc)
Total Gage R&R          0.0153441  0.092065      61.61      115.06     236.06
  Repeatability         0.0060040  0.036024      24.11       45.03      92.37
  Reproducibility       0.0141207  0.084724      56.70      105.91     217.24
    No. Machine         0.0138941  0.083364      55.79      104.21     213.75
    No. Machine*Part    0.0025197  0.015118      10.12       18.90      38.76
Part-To-Part            0.0196181  0.117708      78.77      147.14     301.82
Total Variation         0.0249060  0.149436     100.00      186.80     383.17

Number of Distinct Categories = 1
```

ภาพที่ 4-21 ผลลัพธ์ช่วง Session ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด Track Width ของงานกลุ่มที่ 3.2.2

ประเมินผลระบบการวัด (Measurement System Evaluation: MSE) จากภาพที่ 4-21 จะต้องพิจารณาดังนี้

1. Number of Distinct Categories = 1 หมายความว่า ระบบการวัดสามารถแยกข้อมูลที่วัดได้ออกเป็น 1 ประเภท คือไม่สามารถแยกความแตกต่างกันได้ (ผ่านเกณฑ์พิจารณา คือ ndc มากกว่า 5) ซึ่งแสดงว่าข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดไม่สามารถใช้ประมาณค่าความผันแปรจากกระบวนการได้

2. %Study Var ประเมินผลเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (Total Variation: TV) หรือ P/TV จะเป็นความผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการหรือชิ้นงาน 78.77 หน่วย และจากสาเหตุจากระบบวัดเครื่อง 61.61 หน่วย: ซึ่งมีค่ามากกว่า 10% ต้องวิเคราะห์หาสาเหตุความผันแปรสำหรับ MSA ต่อ

3. %Tolerance ประเมินผลเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะ (Tolerance: T) หรือ P/T จะเป็นความผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการหรือชิ้นงาน 147.14 หน่วย และจากสาเหตุจากระบบวัดด้วยเครื่อง 115.08 หน่วย โดยเป็นความผันแปรจากสาเหตุ Reproducibility 70.2%

วิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) จากภาพที่ 4-21 พิจารณาดังนี้

1. Variance หมายถึงความผันแปรต่อหน่วยในประชากร โดยถ้าความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมดมีค่า 0.0006203 หน่วย^2 จะมาจากความแปรปรวนของกระบวนการหรือชิ้นงาน 0.0003849 หน่วย^2 และความแปรปรวนของกระบวนการวัดด้วยเครื่อง 0.0002354 หน่วย^2

2. ค่า %Contribution เท่ากับ 37.96% หมายความว่า ถ้าความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมดมีค่า 100 หน่วย^2 จะมาจากความแปรปรวนของกระบวนการผลิตหรือชิ้นงาน 62.04 หน่วย^2 และความแปรปรวนของกระบวนการวัดด้วยเครื่อง 37.96 หน่วย^2 ซึ่งโดยทั่วไปเกณฑ์ในการยอมรับอยู่ที่น้อยกว่า 5% ดังนั้นแสดงว่าระบบการวัดไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

3. P-Value Interaction Effect (Part*No. Machine) = 0.112 มีค่ามาก แสดงว่า F มีค่ามาก แสดงว่าอิทธิพลร่วมระหว่างเครื่องจักรและชิ้นงาน มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 จึงไม่สามารถทำการตัดทิ้งได้

4. P-Value Main Effect (No. Machine) = 0.000 มีค่าน้อย แสดงว่า F มีค่ามาก แสดงว่าเครื่องจักรมีผลต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัดคือมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

5. P-Value Main Effect (Part) = 0.000 มีค่าน้อย แสดงว่า F มีค่ามาก แสดงว่าชิ้นงานมีผลต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด คือมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

สรุประบบการวัดของกลุ่มที่ 3.2.2 เครื่องจักร A กับงานด้านบน (DN) คุณสมบัติไม่มีผ่านเกณฑ์ จึงไม่สามารถให้การยอมรับความผันแปรของกระบวนการวัดได้ กล่าวคือ ความผันแปรของเครื่องจักรมีผลต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด

3.3 กลุ่มที่ 3 วิเคราะห์ระบบวัดของเครื่องประเภท B

3.3.1 วิเคราะห์ระบบวัดของเครื่องประเภท B ในตัวอย่างด้านบน (UP)

ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่น (Repeatability and Reproducibility) ของ Track Width ของกลุ่มที่ 3.3.1 มีดังนี้

- ทำการเลือกชิ้นงานจากกระบวนผลิตมา 10 ตัวอย่าง โดยให้ครอบคลุมตลอดช่วงย่านวัด ของระบบวัด แล้วทำการกำหนดหมายเลข

- มอบหมายให้พนักงานของตำแหน่งการวัดค่าสัญญาณ (Magnetic test) ที่ได้รับการอบรมแล้ว และทำงานประจำทุกคนจำนวน 1 คน ซึ่งเป็นพนักงานที่วิเคราะห์ระบบวัดจากกลุ่มที่ 1

- กำหนดเครื่องจักร 3 เครื่อง แล้วให้พนักงาน (ซึ่งผ่านจากกลุ่มที่ 1) ทำการวัดชิ้นงานทั้ง 10 ตัวอย่าง จำนวนเครื่องละ 3 รอบ โดยเริ่มจาก เครื่องที่ 1 วัดครั้งที่ 1 เครื่องที่ 2 วัดครั้งที่ 1 เครื่องที่ 3 วัดครั้งที่ 1 แล้ววนมาเครื่องที่ 1 วัดครั้งที่ 2 เครื่องที่ 2 วัดครั้งที่ 2 เครื่องที่ 3 วัดครั้งที่ 2 แล้ววนมาเครื่องที่ 1 วัดครั้งที่ 3 เครื่องที่ 2 วัดครั้งที่ 3 เครื่องที่ 3 วัดครั้งที่ 3 จนครบ โดยพนักงานเดียวกันและจิ๊กเดียวกัน เพื่อทำให้สามารถหาค่าประมาณของความผันแปรอันเนื่องมาจากปัจจัยที่ไม่ได้รับการควบคุมในการทดลองได้ อย่างสุ่ม แสดงผลดังตารางที่ 4-9 วิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Minitab Release 15.00

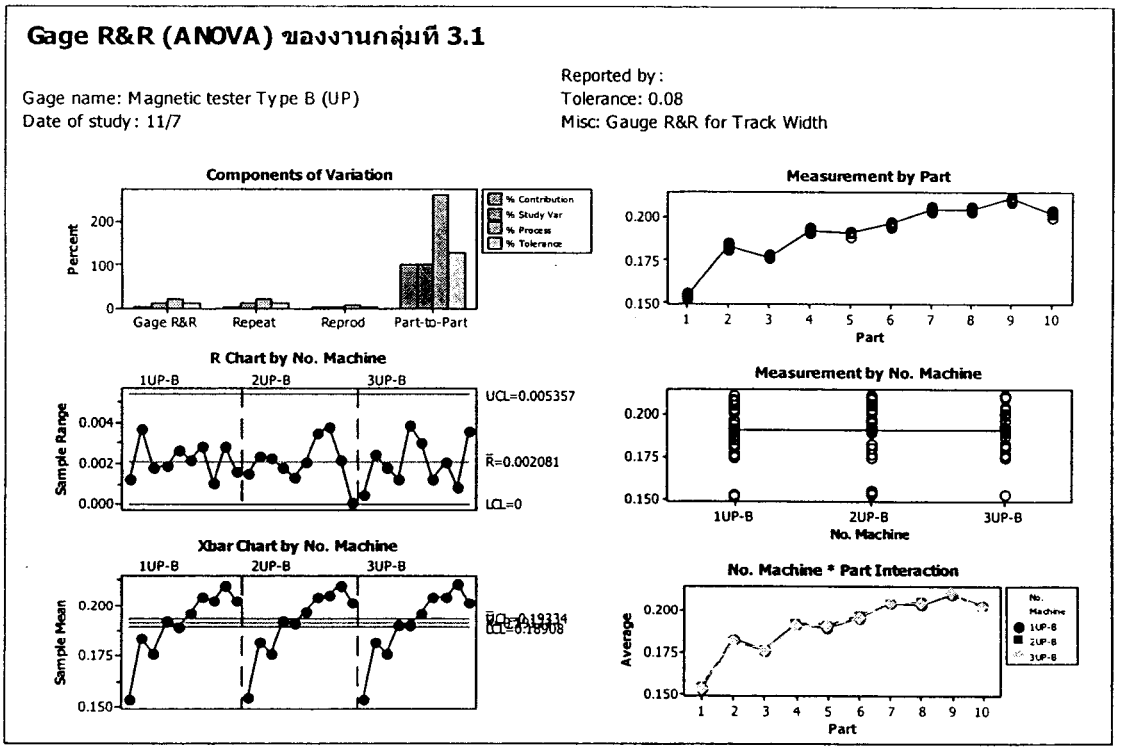
ตารางที่ 4-9 ผลการทดลองคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดของงานกลุ่มที่ 3.3.1

Part	เครื่องที่ 1			เครื่องที่ 2			เครื่องที่ 3		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	0.1526	0.1532	0.1538	0.1547	0.1553	0.1538	0.1536	0.1535	0.1539
2	0.1851	0.1814	0.1835	0.1806	0.1828	0.1830	0.1803	0.1827	0.1824
3	0.1763	0.1755	0.1773	0.1754	0.1755	0.1776	0.1758	0.1755	0.1773
4	0.1929	0.1913	0.1910	0.1935	0.1917	0.1922	0.1900	0.1912	0.1902
5	0.1906	0.1879	0.1901	0.1906	0.1918	0.1909	0.1883	0.1921	0.1915
6	0.1969	0.1949	0.1948	0.1957	0.1970	0.1978	0.1938	0.1968	0.1967
7	0.2042	0.2056	0.2027	0.2039	0.2061	0.2026	0.2044	0.2043	0.2055

ตารางที่ 4-9 ผลการทดลองคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดของงานกลุ่มที่ 3.3.1 (ต่อ)

Part	เครื่องที่ 1			เครื่องที่ 2			เครื่องที่ 3		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
8	0.2027	0.2035	0.2024	0.2068	0.2030	0.2062	0.2034	0.2033	0.2054
9	0.2088	0.2116	0.2099	0.2106	0.2114	0.2093	0.2117	0.2109	0.2110
10	0.2020	0.2035	0.2031	0.2017	0.2017	0.2017	0.2017	0.2035	0.1999

จากตารางที่ 4-9 นำมาวิเคราะห์โดยโปรแกรม Minitab (Gage R&R Study (Crossed) โดยวิธี ANOVA) ซึ่งได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4-22 และ 4-23 โดยวิเคราะห์ผลตามลำดับดังนี้



ภาพที่ 4-22 ผลการทวนสอบข้อมูลของระบบการวัดค่า Track Width ของงานกลุ่มที่ 3.3.1

จากภาพที่ 4-22 จะต้องพิจารณาดังนี้

1. แผนภูมิควบคุม R แสดงว่าระบบการวัดของเครื่องจักรทั้งสามเครื่อง มีค่าวัดที่มีความแตกต่างกัน คือจุดพบที่พล็อตของเครื่องที่ 3 ในกราฟออกนอกพิกัดควบคุม

2. แผนภูมิควบคุม Xbar แสดงว่า ความผันแปรจากระบบการวัดมีค่าต่ำ เมื่อเทียบกับความผันแปรจากสาเหตุของระบบผลิต ดังนั้นข้อมูลที่วัดได้สามารถใช้ประมาณความผันแปรของกระบวนการได้ โดยต้องพิจารณาค่า ndc (Number of Distinct Categories) จากส่วน Session ประกอบด้วย

3. No. Machine * Part Interaction แผนภาพแสดงอิทธิพลร่วมระหว่างเครื่องจักรและชิ้นงาน พบว่าเครื่องจักรไม่มีอิทธิพลร่วมกับชิ้นงาน เนื่องจากกราฟไม่มีการตัดกันของตัวอย่าง

4. Measurement by No. Machine กราฟที่พลอตระหว่างเครื่องจักรที่ทดลอง แสดงว่าเครื่องจักรทั้ง 3 เครื่องไม่มีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากกราฟไม่มีการเหลื่อมกันอย่าง ซึ่งเกือบเป็นเส้นตรง อย่างไรก็ตาม ต้องพิจารณาค่า P-Value ใน Session ยืนยัน

5. Measurement by Part กราฟที่พลอตระหว่างชิ้นงาน แสดงว่า ชิ้นงานที่นำมาทดลองเป็นอย่างสุ่ม ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

MSA

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	9	0.0230007	0.0025556	1607.13	0.000
No. Machine	2	0.0000052	0.0000026	1.64	0.223
Part * No. Machine	18	0.0000286	0.0000016	1.08	0.390
Repeatability	60	0.0000880	0.0000015		
Total	89	0.0231225			

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	9	0.0230007	0.0025556	1708.60	0.000
No. Machine	2	0.0000052	0.0000026	1.74	0.183
Repeatability	78	0.0001167	0.0000015		
Total	89	0.0231225			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000015	0.54
Repeatability	0.0000015	0.52
Reproducibility	0.0000000	0.01
No. Machine	0.0000000	0.01
Part-To-Part	0.0002838	99.46
Total Variation	0.0002853	100.00

MSE

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)	%Process (SV/Proc)
Total Gage R&R	0.0012380	0.007428	7.33	9.28	19.05
Repeatability	0.0012230	0.007338	7.24	9.17	18.82
Reproducibility	0.0001919	0.001151	1.14	1.44	2.95
No. Machine	0.0001919	0.001151	1.14	1.44	2.95
Part-To-Part	0.0168461	0.101077	99.73	126.35	259.17
Total Variation	0.0168916	0.101349	100.00	126.69	259.87

Number of Distinct Categories = 19

ภาพที่ 4-23 ผลลัพธ์ช่วง Session ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด Track Width ของงานกลุ่มที่ 3.3.1

ประเมินผลระบบการวัด (Measurement System Evaluation: MSE) จากภาพที่ 4-23 จะต้องพิจารณาดังนี้

1. Number of Distinct Categories = 19 หมายความว่า ระบบการวัดสามารถแยกข้อมูลที่วัดได้ออกเป็น 19 ประเภท คือมีความสามารถแยกความแตกต่างกันได้ (ผ่านเกณฑ์พิจารณาคือ ndc มากกว่า 5) ซึ่งแสดงว่าข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดสามารถใช้ประมาณค่าความผันแปรจากกระบวนการได้

2. %Study Var ประเมินผลเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (Total Variation: TV) หรือ P/TV จะเป็นความผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการหรือชิ้นงาน 99.73 หน่วย และจากสาเหตุจากระบบวัดเครื่อง 7.33 หน่วย ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10% ระบบวัดจึงผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

3. %Tolerance ประเมินผลเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะ (Tolerance: T) หรือ P/T จะเป็นความผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการหรือชิ้นงาน 126.35 หน่วย และจากสาเหตุจากระบบวัดด้วยเครื่อง 9.28 หน่วย โดยเป็นความผันแปรจากสาเหตุ Repeatability 86.4%

วิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) จากภาพที่ 4-23 พิจารณาดังนี้

1. Variance หมายถึงความผันแปรต่อหน่วยในประชากร โดยถ้าความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมดมีค่า 0.0002854 หน่วย^2 จะมาจากความแปรปรวนของกระบวนการหรือชิ้นงาน 0.0002838 หน่วย^2 และความแปรปรวนของกระบวนการวัดด้วยเครื่อง 0. 0000015 หน่วย^2

2. ค่า %Contribution เท่ากับ 0.54 % หมายความว่า ถ้าความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมดมีค่า 100 หน่วย^2 จะมาจากความแปรปรวนของกระบวนการผลิตหรือชิ้นงาน 99.46 หน่วย^2 และความแปรปรวนของกระบวนการวัดด้วยเครื่อง 0.54 หน่วย^2 ซึ่งโดยทั่วไปเกณฑ์ในการยอมรับอยู่ที่น้อยกว่า 5% ดังนั้นแสดงว่าระบบการวัดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

3. P-Value Interaction Effect (Part*No. Machine) = 0.390 มีค่าน้อย แสดงว่า F มีค่าน้อย แสดงว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างเครื่องจักรและชิ้นงาน ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 จึงสามารถทำการตัดทิ้งได้

4. P-Value Main Effect (No. Machine) = 0.223 มีค่ามาก แสดงว่า F มีค่าน้อย แสดงว่าเครื่องจักรไม่มีผลต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัดคือมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

5. P-Value Main Effect (Part) = 0.000 มีค่าน้อย แสดงว่า F มีค่ามาก แสดงว่าชิ้นงานมีผลต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด คือมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

สรุประบบการวัดของกลุ่มที่ 3.3.1 เครื่องจักร B กับงานด้านบน (UP) คุณสมบัติผ่านเกณฑ์จึงสามารถให้การยอมรับความผันแปรของกระบวนการวัดได้ กล่าวคือความผันแปรของเครื่องจักร ไม่มีผลต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด

3.3.3 วิเคราะห์ระบบวัดของเครื่องประเภท B ในตัวอย่างด้านล่าง (DN)

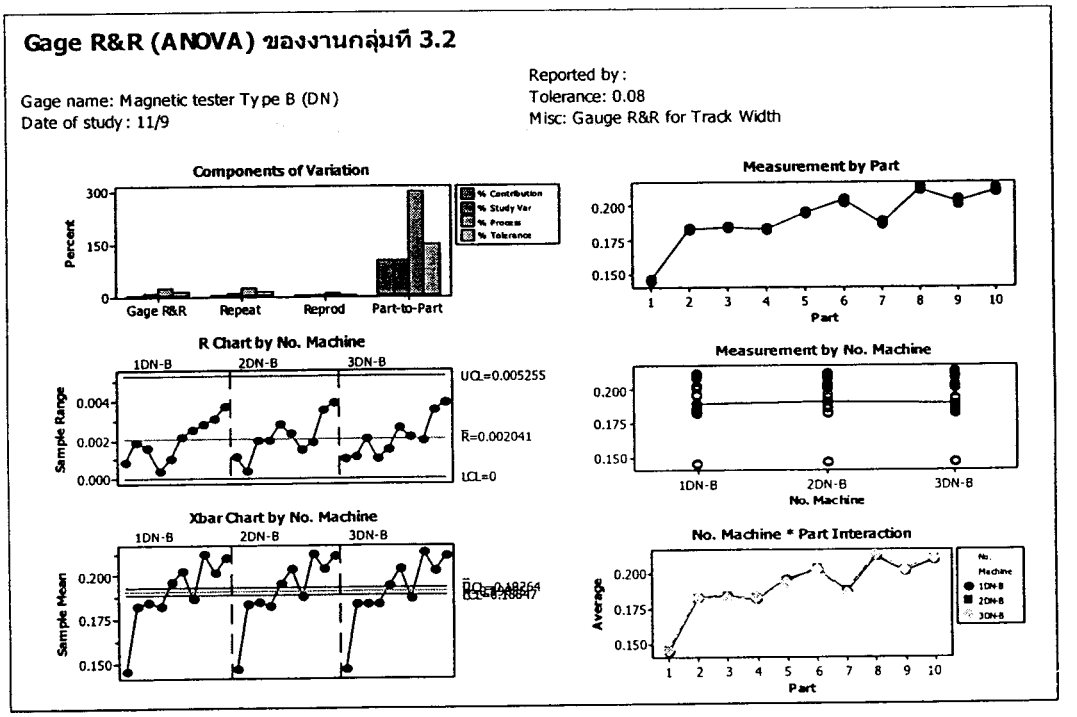
ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่น (Repeatability and Reproducibility) ของ Track Width ของกลุ่มที่ 3.3.2 มีดังนี้

- ทำการเลือกชิ้นงานจากกระบวนผลิตมา 10 ตัวอย่าง โดยให้ครอบคลุมตลอดช่วงย่านวัด ของระบบวัด แล้วทำการกำหนดหมายเลข
- มอบหมายให้พนักงานของตำแหน่งการวัดค่าสัญญาณ (Magnetic Test) ที่ได้รับการอบรมแล้ว และทำงานประจำทุกคนจำนวน 1 คน ซึ่งเป็นพนักงานที่วิเคราะห์ระบบวัดจากกลุ่มที่ 1
- กำหนดเครื่องจักร 3 เครื่อง แล้วให้พนักงาน(ซึ่งผ่านจากกลุ่มที่ 1) ทำการวัดชิ้นงานทั้ง 10 ตัวอย่าง จำนวนเครื่องละ 3 รอบ โดยเริ่มจาก เครื่องที่ 1 วัดครั้งที่ 1 เครื่องที่ 2 วัดครั้งที่ 1 เครื่องที่ 3 วัดครั้งที่ 1 แล้ววนมาเครื่องที่ 1 วัดครั้งที่ 2 เครื่องที่ 2 วัดครั้งที่ 2 เครื่องที่ 3 วัดครั้งที่ 2 แล้ววนมาเครื่องที่ 1 วัดครั้งที่ 3 เครื่องที่ 2 วัดครั้งที่ 3 เครื่องที่ 3 วัดครั้งที่ 3 จนครบ โดยพนักงานเดียวกันและจิ๊กเดียวกัน เพื่อทำให้สามารถหาค่าประมาณของความผันแปรอันเนื่องมาจากปัจจัยที่ไม่ได้รับการควบคุมในการทดลองได้ อย่างสุ่ม แสดงผลดังตารางที่ 4-10 วิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Minitab Release 15.00

ตารางที่ 4-10 ผลการทดลองคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดของงานกลุ่มที่ 3.3.2

Part	เครื่องที่ 1			เครื่องที่ 2			เครื่องที่ 3		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	0.1446	0.1454	0.1446	0.1468	0.1459	0.1470	0.1459	0.1458	0.1468
2	0.1836	0.1818	0.1826	0.1837	0.1834	0.1834	0.1824	0.1825	0.1835
3	0.1849	0.1840	0.1855	0.1838	0.1835	0.1854	0.1823	0.1842	0.1823
4	0.1819	0.1820	0.1822	0.1833	0.1833	0.1814	0.1823	0.1832	0.1831
5	0.1954	0.1961	0.1963	0.1934	0.1938	0.1962	0.1931	0.1936	0.1946
6	0.2012	0.2025	0.2033	0.2023	0.2042	0.2046	0.2016	0.2042	0.2031
7	0.1874	0.1867	0.1849	0.1889	0.1875	0.1875	0.1852	0.1859	0.1873
8	0.2102	0.2112	0.2130	0.2111	0.2116	0.2129	0.2120	0.2139	0.2135
9	0.2002	0.2019	0.2032	0.2037	0.2044	0.2010	0.2029	0.2044	0.2009
10	0.2093	0.2084	0.2121	0.2099	0.2092	0.2131	0.2092	0.2130	0.2099

จากตารางที่ 4-10 นำมาวิเคราะห์โดยโปรแกรม Minitab (Gage R&R Study (Crossed) โดยวิธี ANOVA) ซึ่งได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4-24 และ 4-25 โดยวิเคราะห์ผลตามลำดับดังนี้



ภาพที่ 4-24 ผลการทวนสอบข้อมูลของระบบการวัดค่า Track Width ของงานกลุ่มที่ 3.3.2

จากภาพที่ 4-24 จะต้องพิจารณาดังนี้

1. แผนภูมิควบคุม R แสดงว่าระบบการวัดของเครื่องทั้งสามเครื่องคุณสมบัติด้านความสม่ำเสมอไม่มีปัญหา คือจุดที่พล็อตทุกจุดในกราฟอยู่ภายในพิกัดควบคุม สรุปว่ากราฟ R Chart ผ่านเกณฑ์

2. แผนภูมิควบคุม Xbar แสดงว่า ความผันแปรจากระบบการวัดมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับความผันแปรจากสาเหตุของระบบผลิต ดังนั้นข้อมูลที่วัดได้ สามารถใช้ประมาณความผันแปรของกระบวนการได้ โดยต้องพิจารณาค่า ndc (Number of Distinct Categories) จากส่วน Session ประกอบด้วย

3. No. Machine * Part Interaction แผนภาพแสดงอิทธิพลร่วมระหว่างเครื่องจักรและชิ้นงาน พบว่า เครื่องจักรไม่มีอิทธิพลร่วมกับชิ้นงาน เนื่องจากกราฟไม่มีการตัดกันของตัวอย่าง อย่างไรก็ตามควรพิจารณาจาก ส่วน Session ประกอบด้วย

4. Measurement by No. Machine กราฟที่พลอตระหว่างเครื่องจักรที่ทดลองแสดงว่าเครื่องจักรทั้ง 3 เครื่องมีไม่ค่าแตกต่างกัน เนื่องจากกราฟไม่มีการเหลื่อมกัน แต่ต้องพิจารณาค่า P-Value ใน Session ยืนยัน

5. Measurement by Part กราฟที่พลอตระหว่างชิ้นงาน แสดงว่า ชิ้นงานที่นำมาทดลองเป็นอย่างสุ่ม ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

MSA

MSE

```
Gage R&R Study - ANOVA Method
Two-Way ANOVA Table With Interaction
Source                DF         SS          MS         F      P
Part                   9  0.0301841  0.0033538  1999.24  0.000
No. Machine            2  0.0000068  0.0000034     2.02  0.161
Part * No. Machine    18  0.0000302  0.0000017     1.18  0.307
Repeatability         60  0.0000853  0.0000014
OkdTotal              89  0.0303065

Two-Way ANOVA Table Without Interaction
Source          DF         SS          MS        F      P
Part             9  0.0301841  0.0033538  2264.07  0.000
No. Machine      2  0.0000068  0.0000034     2.29  0.108
Repeatability   78  0.0001155  0.0000015
Total           89  0.0303065

Gage R&R
   %Contribution
Source                VarComp   (of VarComp)
Total Gage R&R      0.0000015           0.41
  Repeatability     0.0000015           0.40
  Reproducibility   0.0000001           0.02
    No. Machine     0.0000001           0.02
Part-To-Part        0.0003725          99.59
Total Variation     0.0003740         100.00

                                 Study Var  %Study Var  %Tolerance   %Process
Source               StdDev (SD)  (6 * SD)      (%SV)  (SV/Toler)  (SV/Proc)
Total Gage R&R         0.0012430  0.007458       6.43        9.23       19.12
  Repeatability        0.0012171  0.007303       6.29        9.13       18.72
  Reproducibility      0.0002523  0.001514       1.30        1.89        3.88
    No. Machine        0.0002523  0.001514       1.30        1.89        3.88
Part-To-Part           0.0192997  0.115798      99.79      144.75      296.92
Total Variation        0.0193397  0.116038     100.00      145.05      297.53

Number of Distinct Categories = 21
```

ภาพที่ 4-25 ผลลัพธ์ช่วง Session ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด Track Width ของงานกลุ่มที่ 3.3.2

ประเมินผลระบบการวัด (Measurement System Evaluation: MSE) จากภาพที่ 4-25 จะต้องพิจารณาดังนี้

1. Number of Distinct Categories = 21 หมายความว่า ระบบการวัดสามารถแยกข้อมูลที่วัดได้ออกเป็น 21 ประเภท คือมีความสามารถแยกความแตกต่างกันได้ (ผ่านเกณฑ์พิจารณาคือ ndc มากกว่า 5) ซึ่งแสดงว่าข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดสามารถใช้ประมาณค่าความผันแปรจากกระบวนการได้

2. %Study Var ประเมินผลเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (Total Variation: TV) หรือ P/TV จะเป็นความผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการหรือชิ้นงาน 99.79 หน่วย และจากสาเหตุจากระบบวัดเครื่อง 6.43 หน่วย ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10% ระบบวัดจึงผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

3. %Tolerance ประเมินผลเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะ (Tolerance: T) หรือ P/T จะเป็นความผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการหรือชิ้นงาน 144.75 หน่วย และจากสาเหตุจากระบบวัดด้วยเครื่อง 9.23 หน่วย โดยเป็นความผันแปรจากสาเหตุ Repeatability 82.8%

วิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) จากภาพที่ 4-25 พิจารณาดังนี้

1. Variance หมายถึงความผันแปรต่อหน่วยในประชากร โดยถ้าความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมดมีค่า 0.0003740 หน่วย^2 จะมาจากความแปรปรวนของกระบวนการหรือชิ้นงาน 0.0003725 หน่วย^2 และความแปรปรวนของกระบวนการวัดด้วยเครื่อง 0. 0000015 หน่วย^2

2. ค่า %Contribution เท่ากับ 0.41% หมายความว่า ถ้าความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมดมีค่า 100 หน่วย^2 จะมาจากความแปรปรวนของกระบวนการผลิตหรือชิ้นงาน 99.59 หน่วย^2 และความแปรปรวนของกระบวนการวัดด้วยเครื่อง 0.41 หน่วย^2 ซึ่งโดยทั่วไปเกณฑ์ในการยอมรับอยู่ที่น้อยกว่า 5% ดังนั้นแสดงว่าระบบการวัดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

3. P-Value Interaction Effect (Part*No. Machine) = 0.307 มีค่าน้อย แสดงว่า F มีค่าน้อย แสดงว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างเครื่องจักรและชิ้นงาน ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 จึงสามารถทำการตัดทิ้งได้

4. P-Value Main Effect (No. Machine) = 0.161 มีค่ามาก แสดงว่า F มีค่าน้อย แสดงว่าเครื่องจักรไม่มีผลต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัดคือมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

5. P-Value Main Effect (Part) = 0.000 มีค่าน้อย แสดงว่า F มีค่ามาก แสดงว่าชิ้นงานมีผลต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด คือมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

สรุประบบการวัดของกลุ่มที่ 3.3.2 เครื่องจักร B กับงานด้านล่าง (DN) มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์ จึงสามารถให้การยอมรับความผันแปรของกระบวนการวัดได้ กล่าวคือความผันแปรของเครื่องจักรไม่มีผลต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด

สรุปผลการวิเคราะห์ระบบวัด

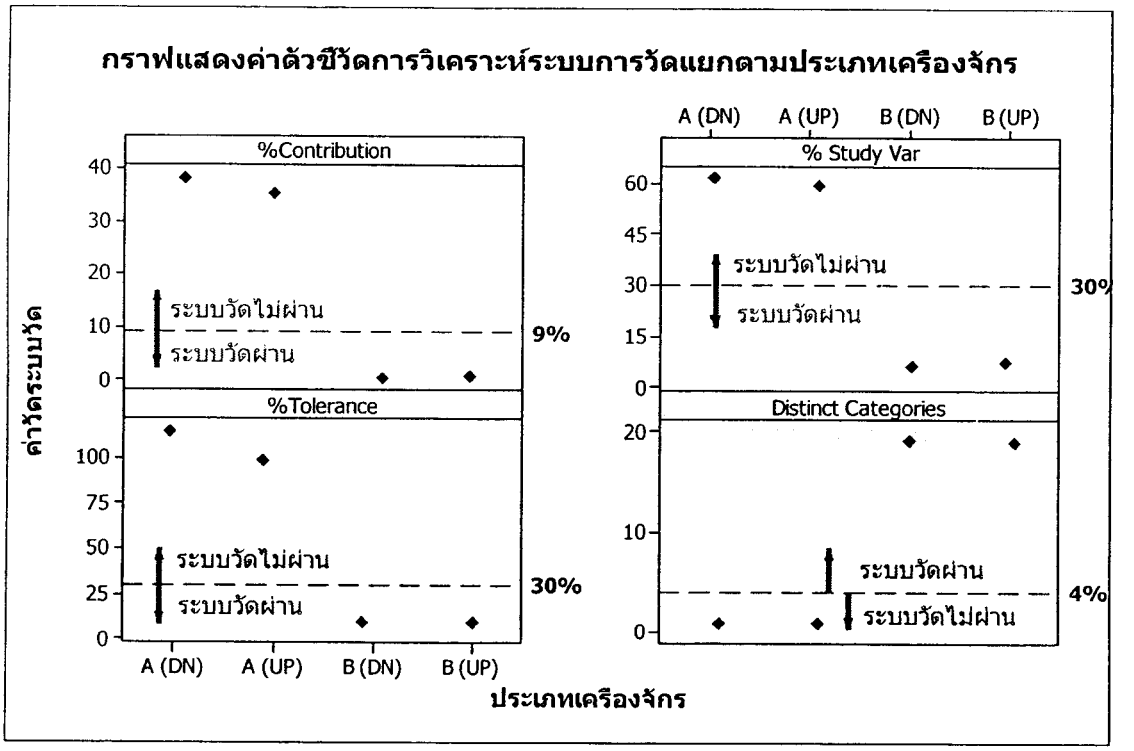
1. พนักงานมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์และสามารถให้การยอมรับความผันแปรของกระบวนการวัดได้ กล่าวคือความผันแปรของพนักงานไม่มีผลต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด

2. สำหรับเครื่องจักรสามารถแยกคุณสมบัติได้สองกลุ่มอย่างชัดเจนดังนี้

- วิเคราะห์ระบบวัดระหว่างเครื่องจักรประเภท A เมื่อกับชิ้นงานด้านบน (UP) และด้านล่าง (DN) พบว่าไม่มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์ ไม่สามารถให้การยอมรับความผันแปรของกระบวนการวัดได้ กล่าวคือความผันแปรของเครื่องจักรประเภท A มีผลต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัดอย่างมาก

- วิเคราะห์ระบบวัดระหว่างเครื่องจักรประเภท B เมื่อกับชิ้นงานด้านบน (UP) และด้านล่าง (DN) พบว่ามีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์ สามารถให้การยอมรับความผันแปรของกระบวนการวัดได้ กล่าวคือความผันแปรของเครื่องจักรประเภท B ไม่มีผลต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด

เมื่อนำตัวชี้วัดการวิเคราะห์ระบบวัดของเครื่องจักรทั้ง A และ B มาเปรียบเทียบ พบว่ามีความแตกต่างอย่างชัดเจน ดังภาพที่ 4-26



ภาพที่ 4-26 กราฟแสดงค่าตัวชี้วัดการวิเคราะห์ระบบการวัดแยกตามประเภทเครื่องจักร

จากภาพที่ 4-26 และผลการวิเคราะห์ระบบวัด พบว่าเครื่องจักรประเภท A เป็นสาเหตุหลักของความผันแปรของระบบการวัด จึงทำการเทียบเคียงกับเครื่องจักรประเภท B

เป็นการระบุความเป็นไปได้ของสาเหตุ นำไปสู่การระดมความคิด เพื่อแจกแจงสาเหตุหรือตัวแปรนำเข้าที่สำคัญ (Key Process Variable Input: KPIVs)

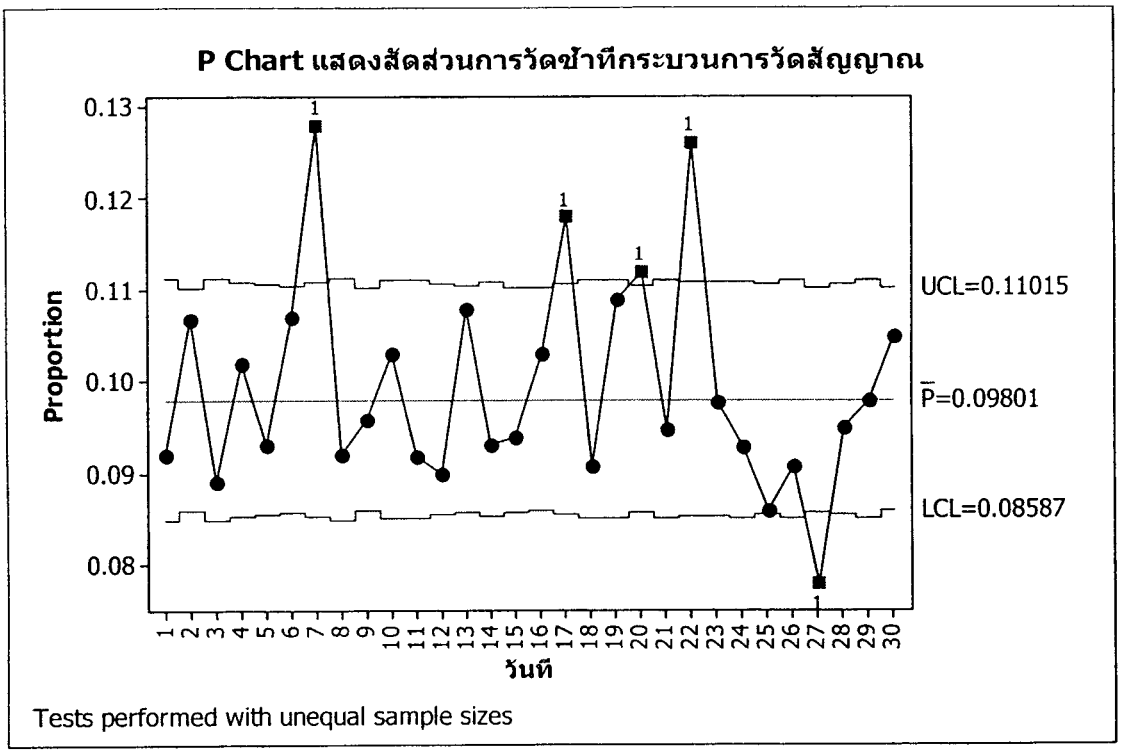
4. การประเมินความสามารถของกระบวนการ ในปัจจุบัน

ขั้นตอนนี้เป็นการประเมินความสามารถของกระบวนการในปัจจุบัน โดยศึกษาด้วยการวัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการสะท้อนด้วยค่า Process Capability (Cpk) และแสดงถึงค่าการเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่งของกระบวนการ

กรณีศึกษานี้จะทำการประเมินความสามารถของกระบวนการของความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากวัดซ้ำ โดยเก็บข้อมูลสถิติของจำนวนการวัดซ้ำที่เกิดขึ้นเดือนสิงหาคม-ตุลาคม เป็นเวลา 30 วัน ดังตารางที่ 4-11 สามารถนำมาเขียนเป็นแผนภูมิควบคุมสัด ส่วนของเสีย (p Chart) ดังภาพที่ 4-27 ซึ่งพบว่ามี 5 วัน ออกนอกพิกัดควบคุมจึงจำเป็นต้องตัดออกและคำนวนค่า $\bar{p}$ ใหม่ ซึ่งได้เท่ากับ $\bar{p}_{new} = 0.09801$

ตารางที่ 4-11 ข้อมูลสถิติของจำนวนการวัดซ้ำที่เกิดขึ้นเดือนสิงหาคม-ตุลาคม เป็นเวลา 30 วัน

วันที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Input	4578	5419	4631	4925	5120	5187	4880	4643	5447	4722	4713	5009	5257	4947	5316
จำนวนวัดซ้ำ	421	579	412	502	476	555	624	427	522	486	433	450	567	460	499
วันที่	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Input	5447	5109	4703	4779	5193	4778	4915	4867	4820	5062	4713	5324	5087	4710	5396
จำนวนวัดซ้ำ	561	602	427	520	581	453	619	476	448	435	428	415	483	461	566



ภาพที่ 4-27 กราฟ P Chart สัดส่วนการวัดซ้ำที่กระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก

ในการประเมินความสามารถด้านศักยภาพจะถือว่ากระบวนการมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะจึงสามารถทำการเทียบเคียงด้วยการให้ค่าสัดส่วนของเสียเท่ากันที่แต่ละด้านของการแจกแจง ในที่นี้จะเท่ากับ 0.0490 ค่าที่ได้เมื่อทำการเปิดหาค่า Z_{Bench} จากตารางการแจกแจงแบบปกติมาตรฐานจะได้ค่า Z_{Bench} =1.655

จากสูตร ดัชนีความสามารถเชิงศักยภาพของกระบวนการระยะยาว

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

แทนค่า

$$P_{pBench} = \frac{1}{3}(1.655)$$

$$= 0.552$$

เมื่อทำการพิจารณาดัชนีศักยภาพของกระบวนการระยะยาว (Pp Bench) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.552 ซึ่งน้อยกว่า 1.33 แสดงว่าความสามารถของกระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็กมีความผันแปรสูงและมีความมั่นคงน้อย

สำหรับการประเมินความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการจะพิจารณาโดยถือว่าผลิตภัณฑ์ทั้งหมดอยู่ที่ด้านใดด้านหนึ่งของการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งเมื่อเปิดจากตารางการแจกแจงแบบปกติ จะได้ค่า Z_{Bench}= 1.293

จากสูตร ดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว

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

แทนค่า

$$P_{PK\,Bench} = \frac{1}{3}(1.293)$$

$$= 0.431$$

เมื่อทำการพิจารณาดัชนีศักยภาพของกระบวนการระยะยาว (Ppk Bench) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.431 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.33 แสดงว่าการเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่งกระบวนการมีความผันแปรมาก

สรุปการศึกษาความสามารถของกระบวนการในกระบวนวัดสัญญาณ พบว่าดัชนีความสามารถเชิงศักยภาพของกระบวนการระยะยาว และดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะยาวไม่อยู่ในระดับมาตรฐาน ดังตารางที่ 4-12

ตารางที่ 4-12 การเปรียบเทียบดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ

	$P_{P\,Bench}$	$P_{PK\,Bench}$
ค่ามาตราฐาน	มากกว่า 1.33	มากกว่า 1.33
ค่าที่คำนวนได้	0.552	0.431

5. การวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหา (Base Cause Analysis)

ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหาจากความสูญเปล่า โดยเริ่มทำการวิเคราะห์จากการวัดซ้ำ (Defect) ด้วยการทำการสืบค้นและวิเคราะห์จากข้อมูล (Data Analysis) ด้วยเครื่องมือแผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) พบว่ามีปัจจัยที่เป็นไปได้ KPIVs (Key Process Input Variation) ที่ส่งกระทบกับความสูญเปล่าต่อการวัดซ้ำจำนวน 73 สาเหตุและทำการวิเคราะห์ความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากการรอคอย (Waiting) ที่ทำการสืบค้นและวิเคราะห์จากกระบวนการ (Process Analysis) ด้วยเครื่องมือแผนภูมิสองมือ (Left Hand / Right Hand) พบว่ามี

ปัจจัยมาจากการทำงานในบางขั้นตอน ซึ่งต้องปรับปรุงอุปกรณ์พักฟิกเจอร์เพิ่มเติม เพื่อกำจัดความสูญเปล่าดังกล่าว

ดังนั้นในส่วนของการวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหา (Base Cause Analysis) จึงเป็นการวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหาในส่วนของความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากวัดซ้ำ (Defect) ด้วยเครื่องมือสาเหตุและผลจากตาราง (C-E Matrixs) และวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ โดยใช้วิธีการ FMEA (Failure Mode & Effect Analysis) ดังนี้

5.1 การวิเคราะห์ความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากวัดซ้ำ (Defect) ด้วยตาราง (C-E Matrixs) เริ่มจากการนำตัวแปรขาเข้าจากแผนผังสาเหตุและผล มาจัดอันดับเอ้าท์พุทตามลำดับความสำคัญที่ส่งผลต่อลูกค้า โดยใช้คะแนน 0-10 ค่ามากให้หมายถึงความสำคัญมาก ดังตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-13 เมตริกซ์สาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

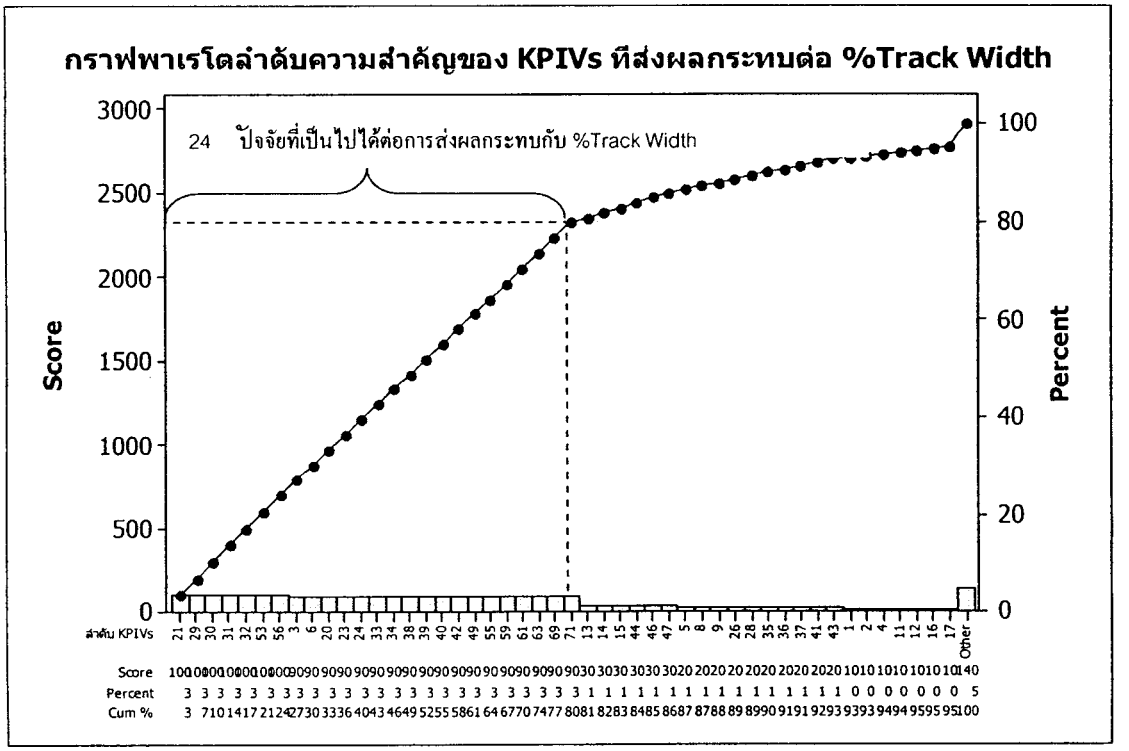
				Track width	
			กระทบต่อลูกค้า	10	
ลำดับ KPIVs	กระบวนการ	ขั้นตอนกระบวนการ	ตัวแปรนำเข้าของกระบวนการ (X)		รวม
1	การควบคุมดิสก์	การวัดดิสก์เพื่อใช้งาน	คุณสมบัติเฮดจีเอไม่ได้	1	10
2			ความสามารถในการวัดซ้ำ	1	10
3		วิธีการคัดเลือกดิสก์ใช้งาน	เกณฑ์การคัดเลือกดิสก์ไม่เหมาะสม	9	90
4			ไม่ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด	1	10
5		การจัดกลุ่มดิสก์	การระบุการจัดกลุ่มดิสก์	2	20
6		เฮดจีเอสำหรับดิสก์สำรอง	ค่ายไลเมนท์ของดิสก์สำรองไม่ตรงกับดิสก์หลัก	9	90
7			ประเภทของเฮดจีเอที่ใช้	0	0
8		การทำ Correlation ดิสก์	ความผันแปรระหว่างพนักงาน	2	20
9		การอัพเดทค่าลงเครื่อง	การป้อนค่าไม่ตรง	2	20
10	การควบคุมงานมาสเตอร์เฮดจีเอ	ระดับค่ากรัมโหลดเฮดจีเอ	ระยะการปรับค่ากรัมโหลด	0	0
11		ประสิทธิภาพของเฮดจีเอ	วิธีการเลือกเฮดจีเอ	1	10
12		การยืนยันสถานะของเครื่องหลัก	ความถูกต้องของข้อมูลที่อ้างอิง	1	10
13			ขั้นตอนการป้อนค่าผิดพลาดง่าย	3	30
14		การทำ Correlation สำหรับข้อมูลหลัก	การอ้างอิงเฮดจีเอสำรองกับข้อมูลผิดพลาด	3	30
15			ความผันแปรระหว่างพนักงาน	3	30
16		สภาพเครื่องจักรหลัก	สภาพเครื่องจักรเปลี่ยนไป	1	10
17		สภาพเฮดจีเอ	การวัดงานเฮดจีเอในแต่ละครั้ง	1	10
18		การเก็บรักษาเฮดจีเอ	ระบบการควบคุมไม่ดีพอ	1	10
19		การเห็นพร้องกันเรื่องข้อมูล	การตัดสินใจ	0	0
20	การทำ Correlation	ค่าเฮดจีเอ	เฮดจีเอและข้อมูลไม่ตรงกัน	9	90
21		การป้อนค่า calibration	การป้อนข้อมูลผิดพลาด	10	100
22		การติดตั้งดิสก์	การติดตั้งดิสก์ไม่แน่น	0	0
23		ลักษณะของพินของจิ๊ก	อไลเมนท์ของจิ๊ก	9	90
24		ข้อมูลอ้างอิงสำหรับการวัด	ข้อมูลอ้างอิงไม่ถูกต้อง	9	90
25		ขั้นตอนการทำ Correlation	ไม่ได้ทำตามขั้นตอน	1	10
26			ความผันแปรระหว่างพนักงาน	2	20
27		การอัพเดทค่า	ป้อนค่าผิด	0	0
28		การป้อนค่าลงเครื่อง	ป้อนค่าผิด	2	20
29	ความแตกต่างระหว่าง	การเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ระหว่างเครื่องจักร	Piezo cable	10	100
30	เครื่องจักรประเภท A และ B	ประเภท A และ B	Piezo controller Version	10	100
31			อุปกรณ์รองรับดิสก์	10	100
32			Piezo coupling holder	10	100
33	การซ่อมบำรุงเครื่องจักร	การซ่อมระดับของพิน	ระดับของพินเปลี่ยนไป	9	90
34		การซ่อมการตอบสนองของสปริง	ปลายพินสึก	9	90
35		การซ่อม FPC	FPC เสียหาย	2	20
36		การซ่อมรอยเชื่อม	รอยเชื่อมมีรอยร้าว	2	20
37		การซ่อมรอยและพื้นผิวของจิ๊ก	จิ๊กเป็นรอย	2	20

ตารางที่ 4-13 เมตริกซ์สาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) (ต่อ)

				Track width	
			กระทบต่อลูกค้า	10	
ลำดับ KPIVs	กระบวนการ	ขั้นตอนกระบวนการ	ตัวแปรนำเข้าของกระบวนการ (X)		รวม
38	การซ่อมบำรุงเครื่องจักร	การเช็คอไลเมนท์ของจิ๊ก	อไลเมนท์ของจิ๊กไม่ได้	9	90
39		การซ่อมสปินเดิล	สปินเดิลเป็นเสี้ยน	9	90
40		การซ่อมฝาครอบคิลท์	ช่องว่างระว่างฝาครอบคิลท์กับคิลท์	9	90
41		การซ่อมเคลื่อนตัวของบอลสกรู	บอลสกรูเคลื่อน	2	20
42		การเช็คอไลเมนท์ของ HP	อไลเมนท์ของ HP ไม่ได้	9	90
43		การเช็คอไลเมนท์ของคาริเอ	อไลเมนท์ของคาริเอไม่ได้	2	20
44		การปรับระนาบของคาริเอ	ระนาบของคาริเอไม่ได้	3	30
45	การตรวจสอบตามระยะเวลา	การทำความสะอาดจิ๊ก	ไม่สะอาดเพียงพอ	1	10
46		การตรวจสอบฐานคาริเอและตำแหน่ง	ตำแหน่งไม่ตรง	3	30
47			อไลเมนท์ของคาริเอไม่ได้	3	30
48		การตรวจสอบสภาพของจิ๊ก	washer ของจิ๊กหลุดหาย	0	0
49			จิ๊กงอ	9	90
50			Tail guide ผิดปกติ	1	10
51		ตรวจสอบการติดตั้งจิ๊ก	ช่องว่างระหว่างจิ๊กและคาริเอ	1	10
52		การตรวจสอบโพรบพิน	โพรบพินหาย	0	0
53			โพรบพินเสียหาย	10	100
54		การวัด	เกณฑ์การวัด	1	10
55		ตรวจสอบสภาพของฐาน	ฐานเสียหาย	9	90
56		ตรวจสอบแรงดันอากาศ	แรงดันไม่ได้	10	100
57		การทำงานของเบรคเกอร์	เบรคเกอร์เสียหาย	0	0
58		ตรวจสอบปุ่มฉุกเฉิน	ปุ่มฉุกเฉินบกบร่อง	0	0
59		การตรวจสอบบอลสกรู	การเคลื่อนตัวของบอลสกรู	9	90
60		การตรวจสอบสต็อปเปอร์มอเตอร์	ตำแหน่งสต็อปเปอร์มอเตอร์	0	0
61		การตรวจสอบ Parallelism	สภาพ Parallelism	9	90
62			ทักษะของช่างซ่อมบำรุง	1	10
63			การติดตั้งไม่ได้อไลเมนท์	9	90
64		การตรวจสอบสภาพของสายสัญญาณ	สายหลวม	1	10
65		การตรวจสอบอไลเมนท์ของโพรบพิน	อไลเมนท์ของโพรบพิน	1	10
66		อุปกรณ์ล็อกชิ้นงานและล็อกจิ๊ก	อุปกรณ์ล็อกชิ้นงานเป็นเสี้ยน	1	10
67			ล็อกจิ๊กเป็นรอย	1	10
68		คาริเอคลิปอาร์ม	การเคลื่อนไหวของคาริเอคลิปอาร์ม	0	0
69		การปรับและตรวจสอบแรงดัน Piezo	แรงดันที่ควบคุม Piezo	9	90
70		การตรวจสอบความสูงของฐานคาร์ทริด	ความสูงของคาร์ทริด	1	10
71		การตรวจสอบความสูงของทีบาร์	ความสูงของทีบาร์	9	90
72		โหลดบาร์	ความสูงของโหลดบาร์	1	10
73		ความสะอาดของบอลสกรูและคราบน้ำมัน	ความถี่การตรวจสอบ	1	10

จากตารางที่ 4-13 เป็นค่าตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญที่ส่งผลกระทบกับลูกค้าหรือ %Track Width ซึ่งจากค่าลำดับความสำคัญนี้เรานำไปพล็อตกราฟพาเรโตดังแสดงตามภาพที่ 4-28

ซึ่งจากหลักการของพาเรโตคือ สิ่งสำคัญมากมีน้อยส่วนสิ่งที่สำคัญ น้อยนั้นมีมาก (Vital Few and Trivial Many) ซึ่งจากกราฟพาเรโตสามารถสรุปได้ว่าจากปัจจัยป้อนเข้าที่เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วย FMEA ของกระบวนการประกอบด้วย 24 ปัจจัย ที่เป็นไปได้



ภาพที่ 4-28 กราฟพาเรโตลำดับความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อ %Track Width

5.2 การวิเคราะห์ความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากวัดซ้ำ (Defect) ด้วยการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ โดยใช้วิธีการ FMEA (Failure Mode & Effect Analysis)

หลังจากระดมสมองเพื่อหาสาเหตุที่เกี่ยวข้องกับปัญหาเปอร์เซ็นต์การวัดซ้ำของ Track Width สูงที่กระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็กด้วยตารางเมตริกซ์แล้ว จึงนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องจากลักษณะข้อบกพร่อง (Failure Modes and Effect Analysis: FMEA) ดังตารางที่ 4-14 เพื่อใช้ในการศึกษาปัญหาที่เป็นไปได้เพื่อป้องกันมิให้ปัญหาที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดปรากฏขึ้นมาและเป็นการจัดลำดับความสำคัญเพื่อนำมาแก้ไขโดยจะวิเคราะห์ผ่านปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการคือ

5.2.1 ความรุนแรงของผลกระทบ (Severity: S) ซึ่งจะวิเคราะห์ถึงความรุนแรงของปัญหาเปอร์เซ็นต์การวัดซ้ำของ Track Width

5.2.2 โอกาสในการเกิด (Occurrence: O) โอกาสการเกิด ซึ่งบ่งชี้โดยอัตราที่แสดงถึงความถี่ของการเกิดปัญหาเปอร์เซ็นต์การวัดซ้ำของ Track Width

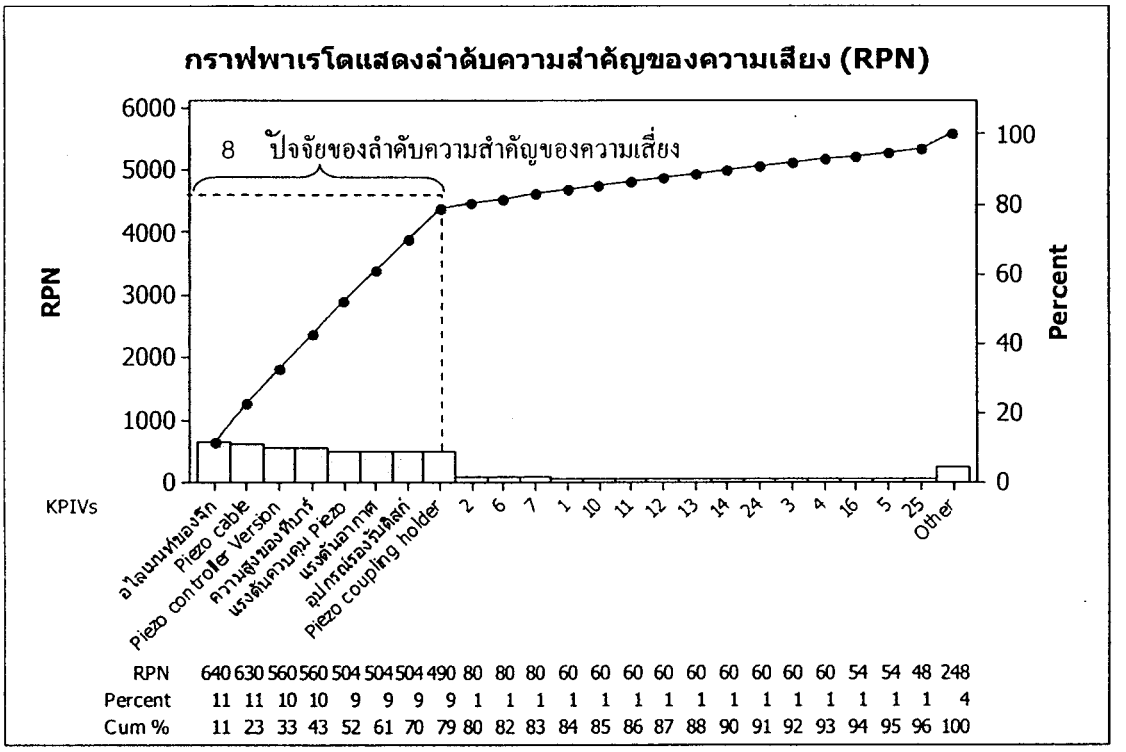
5.2.3 การตรวจจับ (Detection: D) การตรวจจับคือการประเมินถึงกิจกรรมที่กระทำในการควบคุมเพื่อสืบหาและตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องก่อนการส่งมอบให้ลูกค้าทำการหาตัวเลขแสดงลำดับของความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) ดังแสดงตามสมการ

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

ตารางที่ 4-14 ค่าตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญของความเสี่ยง

จำนวน KPIVs	Process Function	KPIVs	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	SEV	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Failure	OCC	Current Process Controls	DET	RPN
1	การควบคุมดิสก์	เกณฑ์การคัดเลือกดิสก์ไม่เหมาะสม	ดิสก์แฟคเตอร์ correction ที่ใช้ภายในกลุ่มไม่เหมาะสม	ความผันแปรระหว่างดิสก์ต่อ Track Width และ Center Track	3	เกณฑ์การเลือกกลุ่มดิสก์	2	ไม่มีการควบคุม	10	60
2		ค่าอไลเมนท์ของดิสก์รองไม่ตรงกับดิสก์นนัก	อไลเมนท์ของดิสก์สำรองกับดิสก์ไม่ได้	แนวโน้มของค่ากึ่งกลาง	5	การทำดิสก์สำรอง	2	มีการตรวจสอบเปรียบเทียบผลในแต่ละกลุ่ม	8	80
3	การควบคุมงานมาสเตอร์เฮดจีเอ	การตัดสินใจระหว่างผู้ดูแลไม่ตรงกัน	ความแตกต่างระหว่างค่า Correction factor	ความผันแปรต่อการวัด	3	วิธีการไม่ชัดเจน	2	ไม่มีการควบคุม	10	60
					2	ไม่ดำเนินการตามคู่มือ	3	ไม่มีการควบคุม	10	60
4	การทำ Correlation	การป้อนค่าแฟคเตอร์ของ correction	การป้อนค่าแฟคเตอร์ของ correction ผิด	ความผันแปรต่อการวัด	3	ความผิดพลาดของพนักงาน	3	มีพนักงานตรวจสอบ	6	54
5		ค่าดิสก์แฟคเตอร์ของ correction	ไม่ได้อัพเดตค่าดิสก์แฟคเตอร์ของ correction	ค่าของเฮดจีเอผิด	4	ความผิดพลาดของพนักงาน	2	ไม่มีการควบคุม	10	80
6		ข้อมูลอ้างอิงสำหรับการวัด	การอ้างอิงค่าของข้อมูลของเฮดจีเอที่ใช้ผิด	ค่าของเฮดจีเอผิด	4	ข้อมูลไม่ตรง	2	ไม่มีการควบคุม	10	80
7	การซ่อมบำรุงเครื่องจักร	อไลเมนท์ของจิ๊ก	อไลเมนท์ของจิ๊กกับจิ๊กไม่ถูกต้อง	ความแตกต่างของค่าที่วัดระหว่างจิ๊ก	8	ตัวจับชิ้นงานผิดปกติ	8	ไม่มีการควบคุม	10	640
8		ระดับปลายโพรบพิน	ระดับปลายโพรบพินไม่ได้ระดับ	ความผันแปรต่อการวัด	6	โพรบพินสึก	2	การตรวจสอบตำแหน่งโพรบพินประจำวัน	2	24
9		สภาพสเปนเดิลชื้น	สเปนเดิลชื้นเป็นเสี้ยน	ความผันแปรต่อการวัด	3	จิ๊กเป็นรอย	2	ไม่มีการควบคุม	10	60
					3	สึกจากการติดตั้ง	2	ไม่มีการควบคุม	10	60
10		ดิสก์กับอุปกรณ์คลอบดิสก์	มีช่องว่างระหว่างดิสก์กับอุปกรณ์คลอบดิสก์	เครื่องจักรสั่นสะเทือนหรือแกว่งระหว่างการวัดงาน	5	มีรอยสึกที่อุปกรณ์คลอบดิสก์	2	ตรวจสอบ 3 ครั้งต่อวัน	6	60
11		อไลเมนท์ของ HP	อไลเมนท์ของ HP เพี้ยน	การวัดสัญญาณไม่ถูกต้อง	3	เครื่องจักรสึกหรอ	4	การตรวจสอบประจำเดือน	5	60
					3	การติดตั้งพารามิเตอร์ผิดพลาด	2	ไม่มีการควบคุม	10	60
12	การตรวจสอบตามระยะเวลา	ลักษณะของพิน	ลักษณะของพินไม่ได้มาตรฐาน	ทำให้ค่าที่วัดระหว่างเครื่องจักรแตกต่างกัน	5	วิธีการนำงานออกจากจิ๊ก	2	การบำรุงรักษาประจำวัน	3	30
					3	วิธีการติดตั้งจิ๊กก่อนการวัด	6	การบำรุงรักษาประจำวัน	3	54
13		แรงดันอากาศ	ตำแหน่งเปลี่ยนไป	การวัด Track width ไม่ถูกต้อง	8	ระดับแรงดันอากาศ	9	เกจวัด ข้อกำหนด 3.5 - 4.0 บาร์	7	504
14		การเคลื่อนตัวของบอลสกรู	บอลสกรูไม่ถูกต้อง	การวัด Track width และ Cross Talk ไม่ถูกต้อง	5	หลอลื่นเลอะเทอะ	3	เครื่องจักรทำงานผิดพลาด	2	30
					5	ไม่มีการหล่อลื่น	3	เครื่องจักรทำงานผิดพลาด	2	30
					5	บอลสกรูไม่ได้อไลเมนท์	3	เครื่องจักรทำงานผิดพลาด	2	30
15		การตรวจสอบ Parallelism	อไลเมนท์ไม่ถูกต้อง	ทำให้ค่าที่วัดระหว่างเครื่องจักรแตกต่างกัน	3	วิธีการติดตั้ง	4	การตรวจสอบประจำเดือน	3	36
16		สภาพของจิ๊ก	จิ๊กงอ	ความผันแปรต่อการวัด	2	การจับก็อมือ	2	การตรวจสอบประจำเดือน	5	20
17		ความสูงของทีบาร์	เอียง	การวัดไม่ถูกต้อง	7	เครื่องจักรสึกหรอ	8	ไม่มีการควบคุม	10	560
18		สภาพของพิน	พินหลวมหรือคลอน	ตำแหน่งการวัดไม่ถูกต้อง	2	การติดตั้งสกรู	3	ไม่มีการควบคุม	10	60
19		สโตนเบสเสียหาย	สโตนเบสไม่ได้ระดับ	เครื่องจักรสั่นสะเทือนหรือแกว่งระหว่างการวัดงาน	4	การขนส่งเครื่องจักร	2	การตรวจสอบด้วยสายตา	6	48
					4	สโตนเบสเสียหาย	2	การตรวจสอบด้วยสายตา	6	48
20		แรงดันควบคุม Piezo	แรงดันไม่อยู่ในข้อกำหนด คือ 35+/-0.5 V	การวัดค่า Track Width ไม่ถูกต้อง	8	เครื่องจักรสึกหรอ	9	การตรวจสอบประจำเดือน	7	504
21	ความแตกต่างระหว่างเครื่องจักรประเภท A และ B	Piezo cable	ใช้วัสดุสึนาา	สัญญาณรบกวน	7	Piezo cable characteristics	9	การติดตามแนวโน้มของเครื่องจักร	10	630
22		Piezo coupling holder	Coupling holder สึดำ	สัญญาณรบกวน	7	Material characteristics	7	ไม่มีการควบคุม	10	490
23		Piezo controller Version	เวอร์ชั่น T5600	สัญญาณรบกวน	7	Piezo controller Version	8	ไม่มีการควบคุม	10	560
24		อุปกรณ์รองรับดิสก์	ดิสก์สั่นสะเทือน	ดิสก์แกว่งระหว่างการวัด	8	ดิสก์ไม่สมดุลย์	9	ไดออลเกจ	7	504

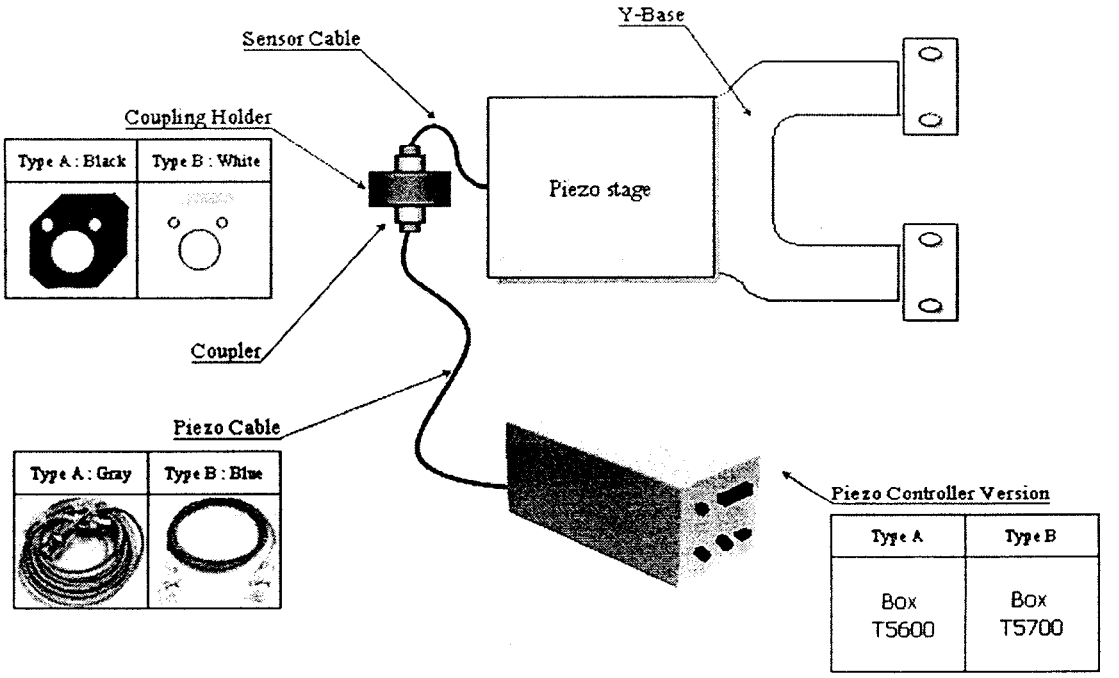
จากตารางที่ 4-14 เป็นค่าตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญของความเสี่ยงซึ่งจากค่า RPN นี้เรานำไปพล็อตกราฟพาเรโตดังแสดงตามภาพที่ 4-29 ซึ่งจากหลักการของพาเรโตคือ สิ่งสำคัญมากมีน้อยหรือ 80% (Vital Few) ส่วนสิ่งที่สำคัญน้อยนั้นมีมากหรือ 20% (Trivial Many) โดยจะใช้หลักการนี้หาปัจจัยที่มีผลต่อปัญหา %Track Width ต่ำในกระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก ซึ่งจากกราฟพาเรโตสามารถสรุปได้ว่าจากปัจจัยป้อนเข้าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย FMEA ของกระบวนการทั้งหมดพบว่าประกอบด้วย 8 ปัจจัยดังตารางที่ 4-15



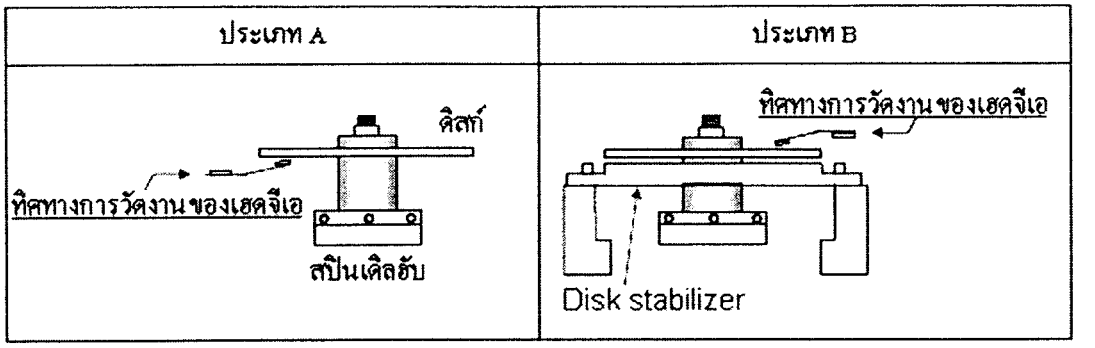
ภาพที่ 4-29 แผนภาพพาเรโตของการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องจากลักษณะข้อบกพร่อง

ตารางที่ 4-15 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องจากลักษณะข้อบกพร่อง

No.	KPIVs	Priority Risk Number	Remark
1	อไลเมนท์ของจิ๊ก	640	-
2	Piezo cable	630	ดังภาพที่ 4.30
3	ความสูงของทีบาร์	560	-
4	Piezo controller Version	560	ดังภาพที่ 4.30
5	แรงดันอากาศ	504	-
6	แรงดันควบคุม Piezo	504	-
7	อุปกรณ์รองรับดิสก์	504	ดังภาพที่ 4.31
8	Piezo coupling holder	490	ดังภาพที่ 4.30



ภาพที่ 4-30 ภาพของ KPIVs จากตารางที่ 4-15 ในลำดับที่ 2, 4 และ 8



ภาพที่ 4-31 ภาพของ KPIVs จากตารางที่ 4-15 ในลำดับที่ 7

ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (A: Analyze)

ในเฟสการวิเคราะห์นี้ เป็นการวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดปัญหา โดยการทดสอบสมมติฐาน เพื่อที่จะกรองปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาอย่างมีนัยสำคัญ และออกแบบการทดลอง เพื่อหาจุดที่ดีที่สุดในการแก้ไขปัญหา เริ่มด้วยแนวทางการแก้ไขปัญหา (Recommended Action(s)), ทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test) และการออกแบบการทดลอง (Design Of Experiments)

1. การหาแนวทางการแก้ไขปัญหา (Recommended Action(s))

ขั้นตอนนี้เป็นการหาแนวทางแก้ไขปัญหาก่อนการทดลอง สำหรับกรณีศึกษานี้ สามารถแยกแนวทางทางแก้ได้สองประการตามความสูญเปล่าดังนี้

1.1 แนวทางทางแก้สำหรับความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากวัดซ้ำ (Defect)

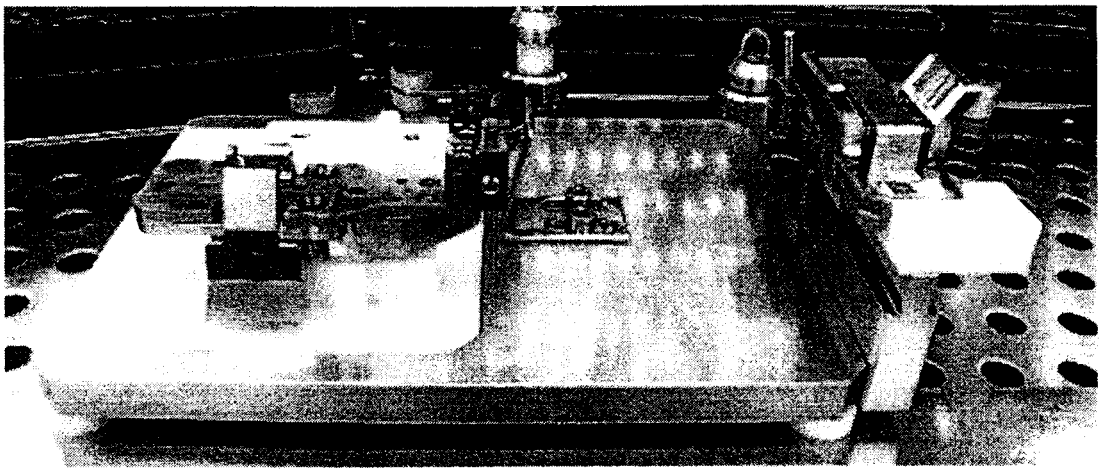
จากผลลัพธ์การวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องจากลักษณะข้อบกพร่อง พบว่ามีปัจจัยที่เป็นไปได้ที่จะส่งผลกระทบต่อการวัดซ้ำจำนวน 8 ปัจจัย ผู้วิจัยได้ทำการแยกแนวทางในปัจจุบันกับแนวทางการแก้ไข เพื่อเปรียบเทียบ ดังตารางที่ 4-16 ซึ่งแนวทางแก้ไขปัญหาเป็นการเทียบเคียงกับเครื่องจักรประเภท B

ตารางที่ 4-16 แนวทางการแก้ไขเทียบกับแนวทางในปัจจุบัน

No.	KPIVs	แนวทางในปัจจุบัน	แนวทางแก้ไขปัญหา
1	อไลเมนท์ของจิ๊ก	0 nm	5 nm
2	Piezo Cable	สายสีฟ้า	สายสีเทา
3	ความสูงของทีบาร์	0.17 nm	0.13 nm
4	Piezo Controller Version	T5700	T5600
5	แรงดันอากาศ	3.5 บาร์	4.0 บาร์
6	แรงดันควบคุม Piezo	30 โวลต์	35, 40 โวลต์
7	อุปกรณ์รองรับดิสก์	โหลดเฮดจีเอด้านบนของดิสก์	โหลดเฮดจีเอด้านล่างของดิสก์
8	Piezo Coupling Holder	สีขาว (ความต้านทานต่ำ)	สีดำ (ความต้านทานสูง)

1.2 แนวทางแก้ไขสำหรับความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากการรอคอย (Waiting)

จากกิจกรรมในขั้นตอนที่ 2 และ 6 ที่ก่อให้เกิดการรอคอย หลังวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือแผนภูมิสองมือ (Left Hand / Right Hand) ผู้วิจัยจึงนำมาศึกษาต่อโดยเทคนิคลีน (Lean) มาตัดลดขั้นตอนที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มออกเป็นลำดับต่อไป เพื่อให้เวลาลดลง 2.43 วินาที โดยการรวมกิจกรรม แต่อย่างไรก็ตามฟิกเจอร์ A และ B ไม่สามารถวางบนสแตนเดิมพร้อมกันได้ เนื่องจากการออกแบบดั้งเดิมรองรับได้เพียงหนึ่งฟิกเจอร์เท่านั้น จึงมีการปรับปรุงอุปกรณ์พักฟิกเจอร์เพิ่มเติมรวมเข้ากับสแตนโหลด-อันโหลด โดยติดตั้งบริเวณข้างสแตนโหลด-อันโหลด ภาพที่ 4-32 แสดงแสตนโหลด-อันโหลดชิ้นงาน หลังปรับปรุง



ภาพที่ 4-32 แสตนโหลด-อันโหลดชิ้นงาน หลังปรับปรุง

ดังนั้นแนวทางการกำจัดความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากการรอคอย ดำเนินการโดยปรับปรุงอุปกรณ์พักฟิกเจอร์เพิ่มเติมเข้ากับสแตนโหลด-อันโหลด แล้วรวมกิจกรรมทั้ง 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนที่ 2 และ 6 เข้าด้วยกัน แนวทางดังกล่าวจะถูกนำไปประยุกต์ในเฟสการปรับปรุง และทำการประเมินผลการปรับปรุงเป็นลำดับต่อไป

2. การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test)

ขั้นตอนนี้เป็นการนำค่าทางสถิติที่คำณวนได้มาประยุกต์ใช้ช่วยในการพิจารณาตัดสินใจเลือกทางเลือก หรือหาข้อสรุปในกรณีที่มีปัญหาที่ต้องทำการตัดสินใจ มีขั้นตอนดังนี้

2.1 การวางแผนการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Plan)

การวางแผนการทดสอบสมมติฐานเป็นการนำตัวแปรนำเข้าที่สำคัญ (Key Process Variable Input: KPIVs) มาวางแผนการทดสอบสมมติฐาน รวมถึงตัวทดสอบทางสถิติ ดังตารางที่ 4-17

ตารางที่ 4-17 การวางแผนการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Plan)

No.	KPIVs	การตั้งสมมติฐาน	ตัวทดสอบทางสถิติ
1	อไลเมนท์ของจิ๊ก	H_0 : อไลเมนท์ของจิ๊กไม่มีผลต่อค่า Track Width ($\mu_2 = \mu_1$) H_1 : อไลเมนท์ของจิ๊กมีผลต่อค่า Track Width ($\mu_2 \neq \mu_1$)	2 sample t-Test
2	Piezo cable	H_0 : Piezo cable ไม่มีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width ($\sigma^2_{\text{ฟ้า}} = \sigma^2_{\text{เทา}}$) H_1 : Piezo cable มีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width ($\sigma^2_{\text{ฟ้า}} \neq \sigma^2_{\text{เทา}}$)	2 VarianceTest
3	ความสูงของทีบาร์	H_0 : ความสูงของทีบาร์ไม่มีผลต่อค่า Track Width ($\mu_{0.17} = \mu_{0.13}$) H_1 : อไลเมนท์ของจิ๊กมีผลต่อค่า Track Width ($\mu_{0.17} \neq \mu_{0.13}$)	2 sample t-Test
4	Piezo controller Version	H_0 : Piezo controller Version ไม่มีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width ($\sigma^2_{T5700} = \sigma^2_{T5600}$) H_1 : Piezo controller Version มีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width ($\sigma^2_{T5700} \neq \sigma^2_{T5600}$)	2 VarianceTest
5	แรงดันอากาศ	H_0 : แรงดันอากาศไม่มีผลต่อค่า Track Width ($\mu_{4.0} = \mu_{3..5}$) H_1 : แรงดันอากาศมีผลต่อค่า Track Width ($\mu_{4.0} \neq \mu_{3.5}$)	Pairede t-Test
6	แรงดันควบคุม Piezo	H_0 : แรงดันควบคุม Piezo ไม่มีผลต่อค่า Track Width ($\mu_{30} = \mu_{35} = \mu_{40}$) H_1 : มีแรงดันอย่างน้อย 1 ค่ามีผลต่อค่า Track Width	ANOVA

ตารางที่ 4-17 การวางแผนการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Plan) (ต่อ)

No.	KPIVs	การตั้งสมมติฐาน	ตัวทดสอบทางสถิติ
7	อุปกรณ์รองรับดิสก์	H_0 : Disk Stabilizer ไม่มีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width ($\sigma^2_B = \sigma^2_A$) H_1 : Disk Stabilizer มีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width ($\sigma^2_B \neq \sigma^2_A$)	2 VarianceTest
8	Piezo coupling holder	H_0 : Piezo Coupling Holder ไม่มีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width ($\sigma^2_{ขาว} = \sigma^2_{ดำ}$) H_1 : Piezo Coupling Holder มีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width ($\sigma^2_{ขาว} \neq \sigma^2_{ดำ}$)	2 VarianceTest

ผู้วิจัยเลือกทำการทดสอบสมมติฐานแบบ ANOVA, 2-Sample T Test, Paireds T Test เพราะการทดสอบดังกล่าวนี้สามารถใช้ได้กับกรณีที่ทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่ละหนึ่งปัจจัย และ มีระดับของปัจจัย (Level of Factor) เท่ากับสองระดับเท่านั้นและยังมีผลกระทบต่อสายการผลิตน้อยที่สุดอีกด้วยเป็นการบ่งชี้และบอกสาเหตุของปัญหา มีการกำหนดเป้าหมายในการปรับปรุงโดยนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาพิจารณา เพื่อยืนยันตัวแปรนำเข้าที่สำคัญ (Key Process Variable Input: KPIVs) ที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์การวัด ที่จะต้องนำไปทำการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิต

2.2 การดำเนินการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test) เป็นการคัดเลือกปัจจัย มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

2.2.1 การตั้งสมมติฐานสำหรับการทดลอง ดังตารางที่ 4-17

2.2.2 การออกแบบจำนวนสิ่งตัวอย่าง (การออกแบบจำนวนสิ่งตัวอย่างของการทดลองแต่ละปัจจัย อ้างอิงในขั้นตอนหน้าถัดไป)

2.2.3 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลโดยมีสมมติฐานในการทดสอบ

2.2.4 การทดสอบตัวสถิติที่จะใช้ทดสอบ (หรือ p-value)

2.2.5 สรุปผลข้อมูลทางสถิติมาแปลงให้เป็นแนวทางแก้ไขเชิงปฏิบัติ

ขั้นตอนการออกแบบจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับแต่ละปัจจัย

ในการออกแบบจำนวนสิ่งตัวอย่างในการทดลองครั้งนี้ได้ทำโดยใช้โปรแกรม Minitab Release 15.00 ซึ่งการคำนวณหาค่าขนาดสิ่งตัวอย่างที่เหมาะสมเป็นดังต่อไปนี้

1. กำหนดความผิดพลาดชนิดที่ 1 (α) ซึ่งในทางปฏิบัติค่านี้เป็นค่าที่กำหนดแน่นอนไม่ได้เพียง แต่ประมาณได้เท่านั้น ซึ่งในการทดลองนี้ผู้วิจัยใช้ค่าอ้างอิงที่ 5% หรือระดับนัยสำคัญ 0.05

2. กำหนดขนาดของการทดลอง (n) ซึ่งสามารถทำการทดลองได้จริง โดยพิจารณาจากผลกระทบกับการผลิตและต้นทุนที่ใช้โดยทดลองใส่ค่าเท่ากับ 10, 15, 20, 25 และ 30 ตามลำดับ

3. กำหนดความแตกต่าง (Difference) มากที่สุดของค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ หมายถึงค่าความแตกต่างมากที่สุดของค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ใด ๆ 2 ทรีตเมนต์จนทำให้เกิดการปฏิเสธสมมติฐานโดยความแตกต่างนี้จะต้องอาศัยประสบการณ์หรือความรู้ทางวิศวกรรม ซึ่งในการทดลองครั้งนี้กำหนดให้ค่า Difference มีค่าเท่ากับ 0.02 จากการกำหนดให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าความผันแปรของกระบวนการซึ่งเท่ากับ 0.019

4. ค่าความผันแปรของกระบวนการ (σ) ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิต พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.02

จากการคำนวณหาขนาดของสิ่งตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม Minitab Release 15.00 ได้ผลดังภาพที่ 4-33

Power and Sample Size
2-Sample t Test

Testing mean 1 = mean 2 (versus not =)
Calculating power for mean 1 = mean 2 + difference
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.019

Difference	Sample Size	Power
0.02	10	0.605324
0.02	15	0.794659
0.02	20	0.900345
0.02	25	0.954122
0.02	30	0.979744

The sample size is for each group.

ภาพที่ 4-33 ผลการคำนวณหาขนาดสิ่งตัวอย่างของการทดสอบแบบ t-Test

พบว่าขนาดสิ่งตัวอย่างที่ 30 ตัวอย่างนั้นให้ค่ากำลังของการทดสอบที่ 0.979744 ซึ่งเป็นค่าที่สูงพอในการยอมรับได้และการทดลองไม่กระทบต่อต้นทุน

การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test) ของปัจจัยที่ 1 ถึง 8

1. การทดสอบสมมติฐานปัจจัยที่ 1: อไลเมนท์ของจิ๊ก

จิ๊กเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับรองรับเฮดจีเอ ซึ่งจะถูกโหลดเข้าเครื่อง เพื่อทดสอบการเขียน-อ่านสัญญาณ ซึ่งต้องตั้งค่าอไลเมนท์ที่ถูกต้อง ในแต่ละวันจะมีการรองรับเฮดจีเอจำนวนมาก อาจทำให้ค่าอไลเมนท์เปลี่ยนไป จึงออกแบบการทดลอง เพื่อพิสูจน์ข้อสงสัยเบื้องต้น โดยใช้ตัวสถิติ 2 Sample T Test ดังนี้

- การตั้งสมมติฐานสำหรับการทดลอง

H_0: อไลเมนท์ของจิ๊กไม่มีผลต่อค่า Track Width ($\mu_2 = \mu_1$)

H_1: อไลเมนท์ของจิ๊กมีผลต่อค่า Track Width ($\mu_2 \neq \mu_1$)

โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

ก) ดำเนินการทดลองโดยกำหนดให้จิ๊กมีค่าอไลเมนท์ของจิ๊กที่ใช้เท่ากับ 0 nm หรือคงที่แล้ววัดงานและทำการทดลองปรับค่าอไลเมนท์ของจิ๊กที่ทดลอง เท่ากับ 5 nm โดยวัดงานที่เครื่องเดียวกันและพนักงานคนเดียวกัน

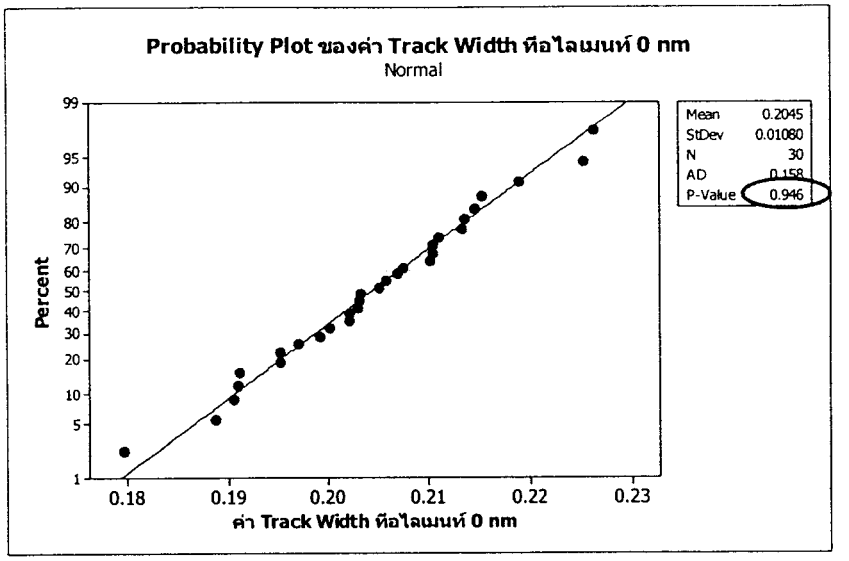
ข) ทำการวัดค่า Track Width โดยใช้พนักงานที่ผ่านคุณสมบัติจากระบบการวัดและเข้าใจในวิธีการวัดเป็นอย่างดีทำการวัดสัญญาณ โดยผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก

- การออกแบบจำนวนสิ่งตัวอย่าง

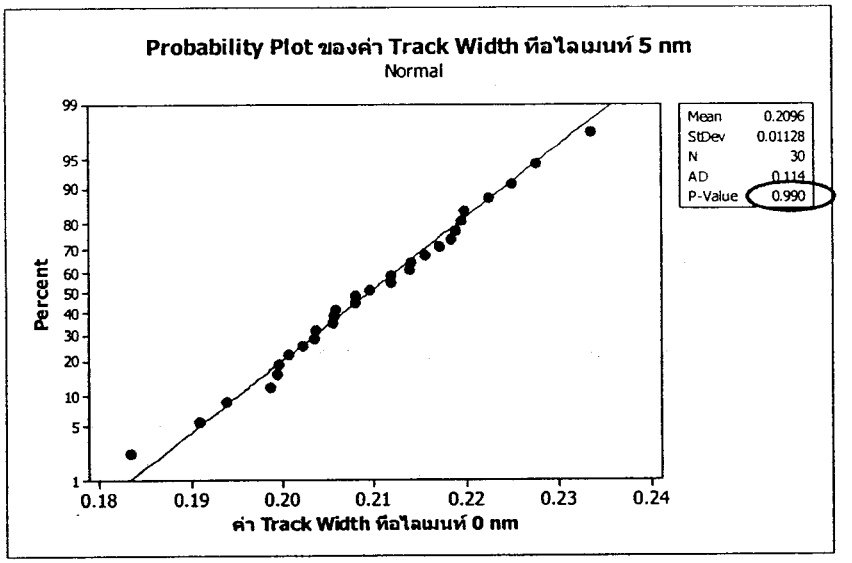
ใช้ขนาดสิ่งตัวอย่างที่ 30 ตัวอย่าง ซึ่งให้ค่ากำลังของการทดสอบที่ 0.979744 ซึ่งเป็นค่าที่สูงพอในการยอมรับได้และการทดลองไม่กระทบต่อต้นทุน จากภาพที่ 4-33 ผลการคำนวณหาขนาดสิ่งตัวอย่างของการทดสอบ

- การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลโดยมีสมมติฐานในการทดสอบ

ทำการทดสอบความปกติของข้อมูล (Normality Test) ดังภาพที่ 4-34 และภาพที่ 4-35 ตามลำดับซึ่งอ่านค่า P-Value ได้เท่ากับ 0.946 และ 0.990 แปลความว่าค่า P มาก แสดงว่าค่า A-Squared น้อย นั่นคือมีระยะระหว่างจุดและเส้นตรงน้อย หมายถึงข้อมูลที่เก็บมาทดลองเพื่อคัดเลือกปัจจัยมีความปกติ



ภาพที่ 4-34 ผลการทดสอบความเป็นปกติของ ค่า Track Width ที่อไลเมนท์ 0 nm



ภาพที่ 4-35 ผลการทดสอบความเป็นปกติของ ค่า Track Width ที่อไลเมนท์ 5 nm

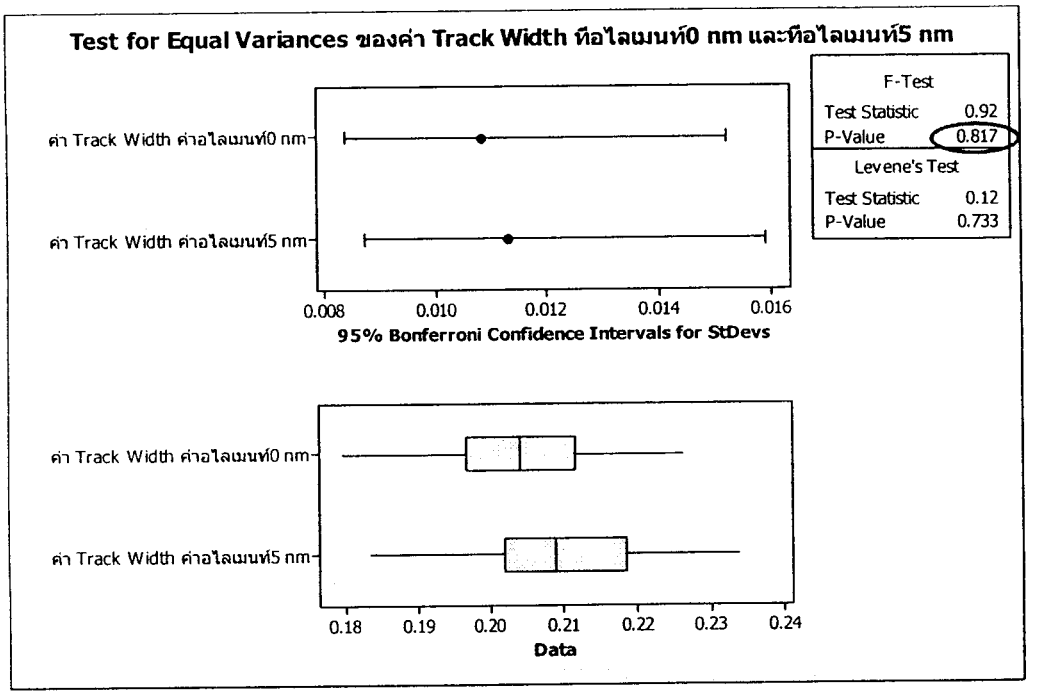
- การทดสอบตัวสถิติที่จะใช้ทดสอบ (หรือ p-value)

ก) ทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนโดยมีสมมติฐานในการทดสอบ

H_0: ความแปรปรวนของข้อมูลมีความเสถียรภาพ

H_1: ความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีความเสถียรภาพ

ผลการทดสอบความเสถียรภาพของความแปรปรวน (Test for Variance Stability) ได้ผลดังรูปที่ 4-36 พิจารณาจาก Box-Plot พบไม่มี Outlier อ่านค่า P-Value ได้เท่ากับ 0.817 ซึ่งมีค่ามาก แสดงว่าตัวสถิติทดสอบ F-Test มีค่าน้อย แปลความว่า ค่าความแปรปรวนของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แสดงว่าข้อมูลที่เก็บมาทดลอง เพื่อคัดเลือกปัจจัยมีค่าความแปรปรวนด้านความมีเสถียรภาพอย่างมีนัยสำคัญ จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเหมาะสมเพียงพอที่จะนำไปใช้ในการทดสอบต่อไปได้



ภาพที่ 4-36 ผลการทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนของค่า Track Width ของค่าอไลเมนท์

ข) ทดสอบค่าอไลเมนท์ มีผลต่อค่า Track Width หรือไม่โดยใช้หลักการของการทดสอบแบบ t-Test แบบความแปรปรวนของข้อมูลทั้งสองกลุ่มเท่ากันในการทดสอบโดยมีสมมติฐานในการทดลองดังนี้

H_0: อไลเมนท์ของจิ๊กไม่มีผลต่อค่า Track Width ($\mu_2 = \mu_1$)

H_1: อไลเมนท์ของจิ๊กมีผลต่อค่า Track Width ($\mu_2 \neq \mu_1$)

จากการพิจารณาภาพที่ 4-37 ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.080 นั่นคือ P-Value มีค่ามาก แสดงว่าตัวสถิติ T มีค่าน้อย แสดงว่าค่าอไลเมนท์ที่ 0 nm และ 5 nm ไม่ส่งผลต่อค่าความแตกต่างของ Track Width อย่างมีนัยสำคัญ

```
Two-Sample T-Test and CI: ค่า Track Width ที่อไลเมนท์0 nm vs ค่า Track Width ที่อไลเมนท์5 nm

Two-sample T for ค่า Track Width ที่อไลเมนท์0 nm vs ค่า Track Width ที่อไลเมนท์5 nm

                          N   Mean     StDev       SE Mean
ค่า Track Width ที่อไลเมนท์ 30  0.2045  0.0108   0.0020
ค่า Track Width ที่อไลเมนท์ 30  0.2096  0.0113   0.0021

Difference = mu (ค่า Track Width ที่อไลเมนท์0 nm) - mu (ค่า Track Width ที่อไลเมนท์5 nm)
Estimate for difference:  -0.00508
95% CI for difference:  (-0.01079, 0.00063)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1.78  P-Value = 0.080  DF = 58
Both use Pooled StDev = 0.0110
```

ภาพที่ 4-37 ผลการทดสอบแบบ t-Test ของค่าอไลเมนท์ที่มีต่อค่า Track Width

- สรุปผลจากข้อมูลทาง สถิติมาแปลงให้เป็นแนวทางแก้ไขเชิงปฏิบัติ

สรุปค่าอไลเมนท์ที่ 0 nm และ 5 nm ไม่ส่งผลต่อค่าความแตกต่างของ Track Width อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

2. การทดสอบสมมติฐานปัจจัยที่ 2: Piezo cable

Piezo cable เป็นสายสัญญาณที่เชื่อมต่อระหว่าง Piezo Controller และ Piezo Stage พบว่าเครื่องจักรประเภท A และ B มีความแตกต่างกัน คือเครื่องจักรประเภท A ใช้สายสีเทา ซึ่งภายในหุ้มด้วยสายป้องกันสัญญาณรบกวน 1 ชั้น (1-Shield Coax Cable) ส่วนเครื่องจักรประเภท B ใช้สายสีฟ้า ซึ่งภายในหุ้มด้วยสายป้องกันสัญญาณรบกวน 2 ชั้น (2-Shields Coax Cable) จึงมีข้อสงสัยว่าสายป้องกันสัญญาณรบกวน 2 ชั้น มีผลต่อค่า Track Width ในเครื่องจักรประเภท A หรือไม่ จึงออกแบบการทดลอง เพื่อพิสูจน์ข้อสงสัยเบื้องต้น โดยใช้ตัวสถิติ 2 Variances Test ดังนี้

- การตั้งสมมติฐานสำหรับการทดลอง

H_0: Piezo cable ไม่มีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width ($\sigma^2_{\text{ฟ้า}} = \sigma^2_{\text{เทา}}$)

H_1: Piezo cable มีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width ($\sigma^2_{\text{ฟ้า}} \neq \sigma^2_{\text{เทา}}$)

โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

ก) ดำเนินการทดลองโดยกำหนดให้เครื่องจักรประเภท A ใช้สายสีเทาแล้ววัดงาน หลังจากนั้นเปลี่ยนเป็นสีฟ้าแล้ววัดงาน โดยวัดงานที่เครื่องเดียวกันและพนักงานคนเดียวกัน

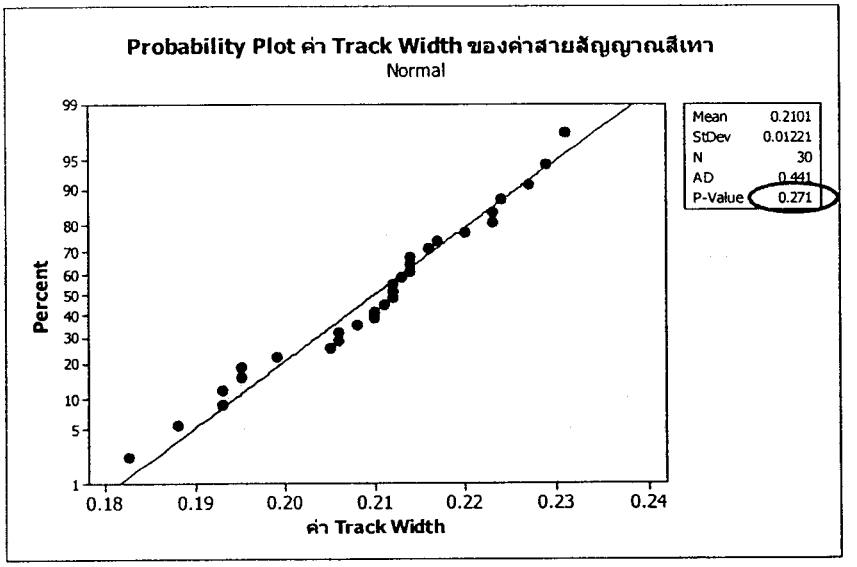
ข) ทำการวัดค่า Track Width โดยใช้พนักงานที่ผ่านคุณสมบัติจากระบบการวัดและเข้าใจในวิธีการวัดเป็นอย่างดีทำการวัดสัญญาณ โดยผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก

- การออกแบบจำนวนสิ่งตัวอย่าง

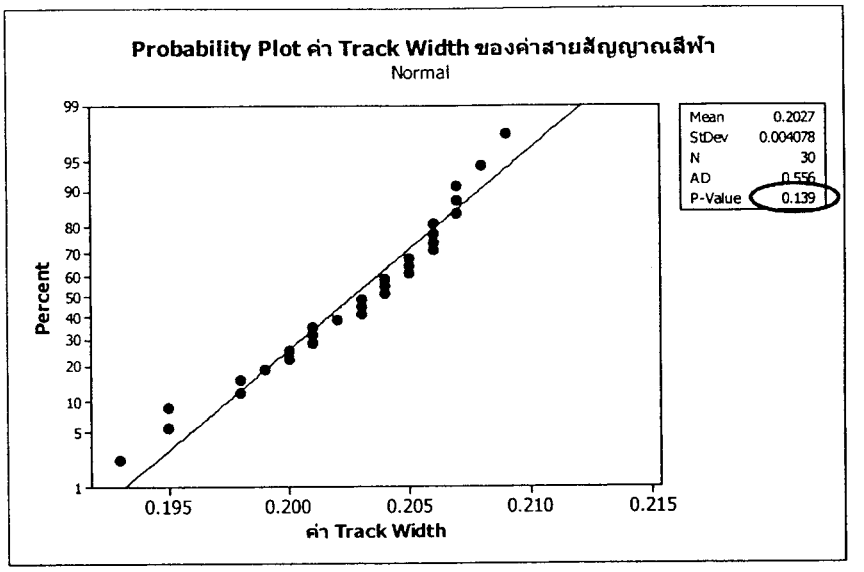
ใช้ขนาดสิ่งตัวอย่างที่ 30 ตัวอย่าง ซึ่งให้ค่ากำลังของการทดสอบที่ 0.979744 ซึ่งเป็นค่าที่สูงพอในการยอมรับได้และการทดลองไม่กระทบต่อต้นทุน จากภาพที่ 4-33 ผลการคำนวณหาขนาดสิ่งตัวอย่างของการทดสอบ

- การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลโดยมีสมมติฐานในการทดสอบ

ทำการทดสอบความปกติของข้อมูล (Normality Test) ดังภาพที่ 4-38 และภาพที่ 4-39 ตามลำดับซึ่งอ่านค่า P-Value ได้เท่ากับ 0.271 และ 0.139 แปลความว่าค่า P มาก แสดงว่าค่า A-Squared น้อย นั่นคือมีระยะระหว่างจุดและเส้นตรงน้อย หมายถึงข้อมูลที่เก็บมาทดลองเพื่อคัดเลือกปัจจัยมีความปกติ



ภาพที่ 4-38 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width ของสายสัญญาณสีเทา



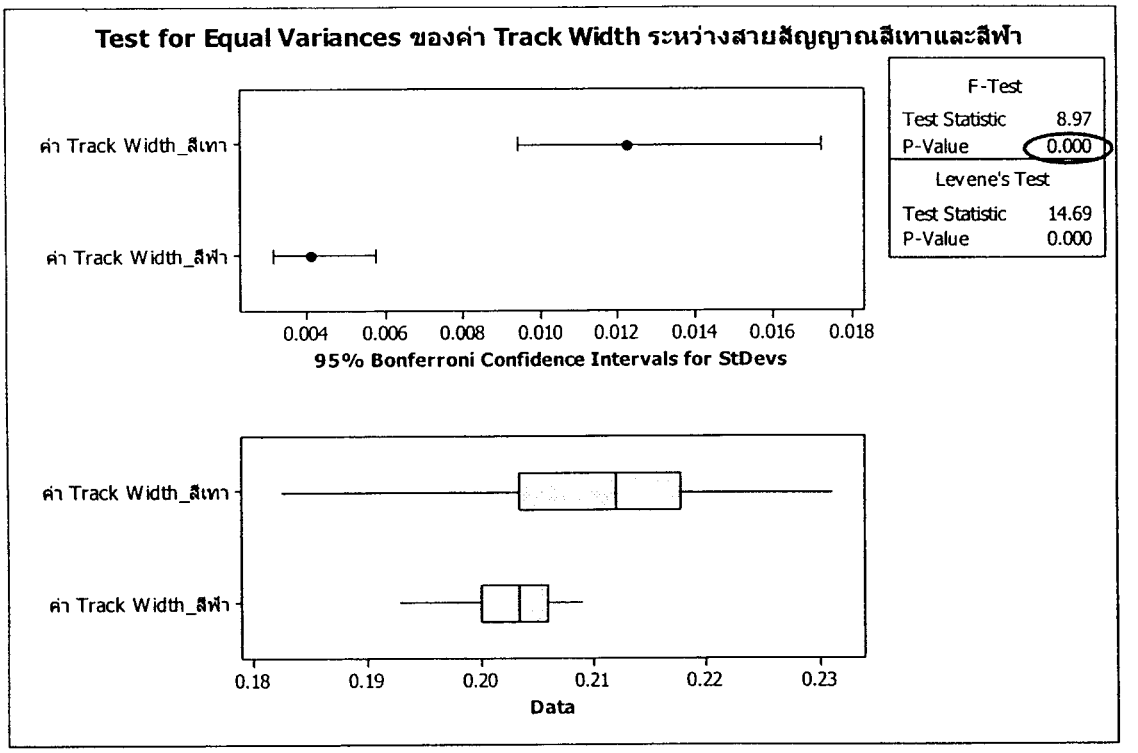
ภาพที่ 4-39 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width ของสายสัญญาณสีฟ้า

- การทดสอบตัวสถิติที่จะใช้ทดสอบ (หรือ p-value) ทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนโดยมีสมมติฐานในการทดสอบ

H_0: Piezo cable ไม่มีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width ($\sigma^2_{ฟ้า} = \sigma^2_{เทา}$)

H_1: Piezo cable มีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width ($\sigma^2_{ฟ้า} \neq \sigma^2_{เทา}$)

ผลการทดสอบความเสถียรภาพของความแปรปรวน (Test for Variance Stability) ได้ผลดังภาพที่ 4-40 พิจารณาจาก Box-Plot พบไม่มี Outlier อ่านค่า P-Value ได้เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อย แสดงว่าตัวสถิติทดสอบ F-Test มีค่ามาก แปลความว่า ค่าความแปรปรวนของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 4-40 ผลการทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนของค่า Track Width

- สรุปผลจากข้อมูลทาง สถิติมาแปลงให้เป็นแนวทางแก้ไขเชิงปฏิบัติ

สรุป Piezo Cable ระหว่างสีเทาและสีฟ้า มีผลต่อความแปรปรวนของค่า Track Width อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

3. การทดสอบสมมติฐานปัจจัยที่ 3: ความสูงของทีบาร์

ทีบาร์ เป็นอุปกรณ์รองรับปลายเฮดจีเอ ก่อนโหลดงานเข้าดิสก์ ซึ่งมีข้อสงสัยว่าระยะความสูงที่แตกต่างกันจะมีผลต่อค่า Track Width หรือไม่ จึงออกแบบการทดลอง เพื่อพิสูจน์ข้อสงสัยเบื้องต้น โดยใช้ตัวสถิติ 2 Sample T Test ดังนี้

- การตั้งสมมติฐานสำหรับการทดลอง

H_0: ความสูงของทีบาร์ไม่มีผลต่อค่า Track Width ($\mu_{0.17} = \mu_{0.13}$)

H_1: อไลเมนท์ของจิ๊กมีผลต่อค่า Track Width ($\mu_{0.17} \neq \mu_{0.13}$)

โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

ก) ดำเนินการทดลองโดยกำหนดให้เครื่องจักรประเภท A ติดตั้งทีบาร์ที่ความสูง 0.13 mm. แล้ววัดงาน หลังจากนั้นเปลี่ยนทีบาร์ที่ความสูง 0.17 mm. แล้ววัดงานโดยวัดงานที่เครื่องเดียวกันและพนักงานคนเดียวกัน

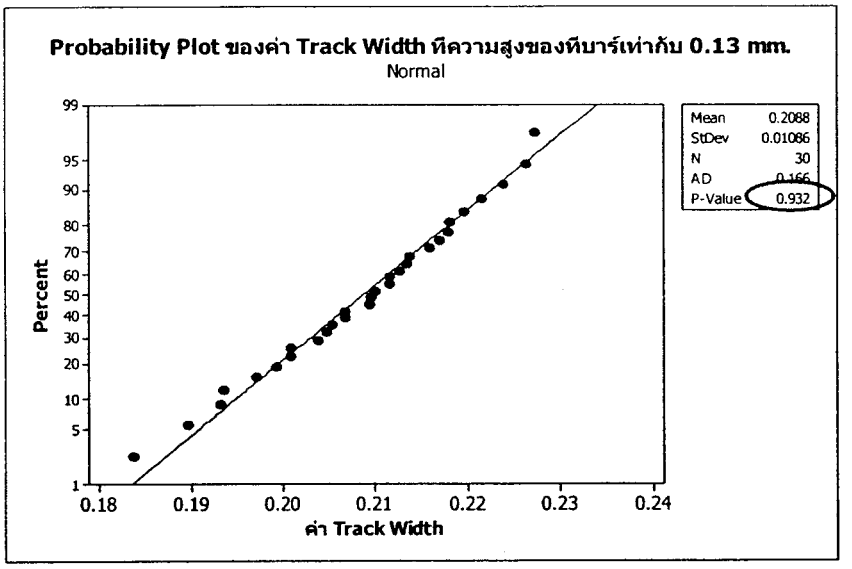
ข) ทำการวัดค่า Track Width โดยใช้พนักงานที่ผ่านคุณสมบัติจากระบบการวัดและเข้าใจในวิธีการวัดเป็นอย่างดีทำการวัดสัญญาณ โดยผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก

- การออกแบบจำนวนสิ่งตัวอย่าง

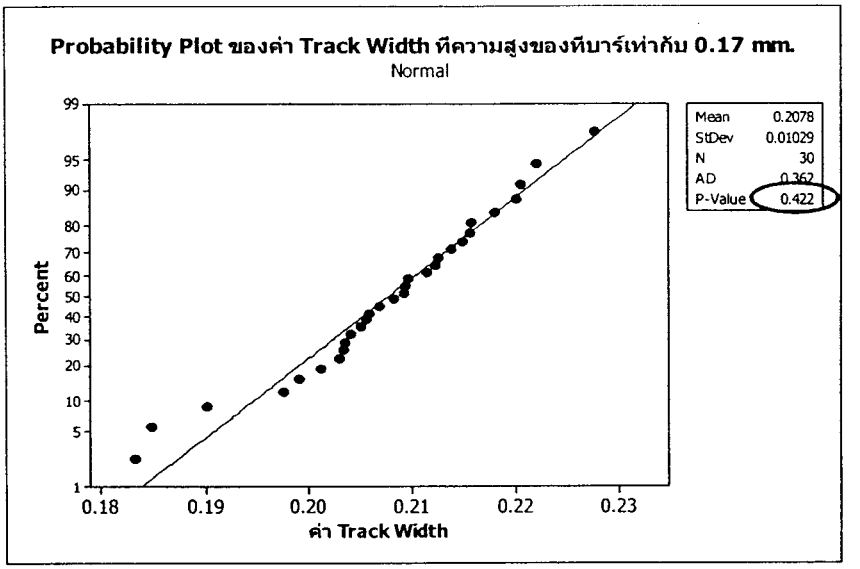
ใช้ขนาดสิ่งตัวอย่างที่ 30 ตัวอย่าง ซึ่งให้ค่ากำลังของการทดสอบที่ 0.979744 ซึ่งเป็นค่าที่สูงพอในการยอมรับได้และการทดลองไม่กระทบต่อต้นทุน จากภาพที่ 4-33 ผลการคำนวณหาขนาดสิ่งตัวอย่างของการทดสอบ

- การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลโดยมีสมมติฐานในการทดสอบ

ทำการทดสอบความปกติของข้อมูล (Normality Test) ดังภาพที่ 4-41 และภาพที่ 4-42 ตามลำดับซึ่งอ่านค่า P-Value ได้เท่ากับ 0.932 และ 0.422 แปลความว่าค่า P มาก แสดงว่าค่า A-Squared น้อย นั่นคือมีระยะระหว่างจุดและเส้นตรงน้อย หมายถึงข้อมูลที่เก็บมาทดลองเพื่อคัดเลือกปัจจัยมีความปกติ



ภาพที่ 4-41 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width ที่ความสูงของทีบาร์ 0.13 mm.



ภาพที่ 4-42 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width ที่ความสูงของทีบาร์ 0.17 mm.

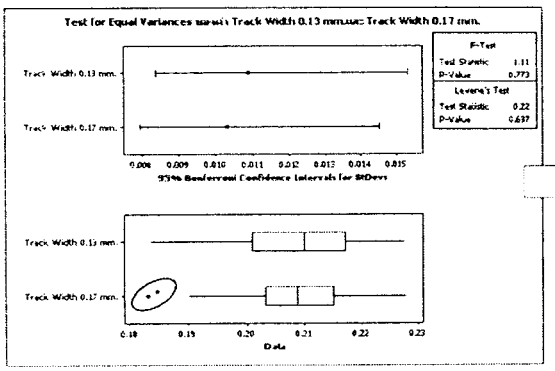
- การทดสอบตัวสถิติที่จะใช้ทดสอบ (หรือ p-value)

ก) ทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนโดยมีสมมติฐานในการทดสอบ

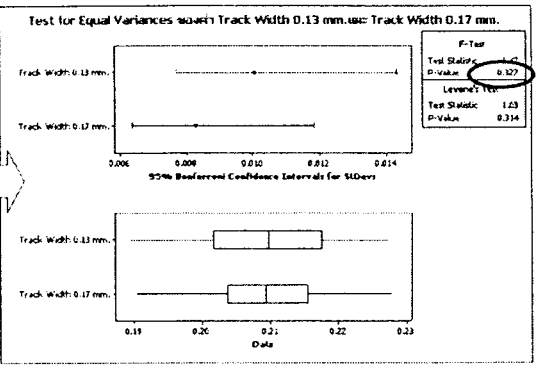
H_0: ความแปรปรวนของข้อมูลมีความเสถียรภาพ

H_1: ความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีความเสถียรภาพ

ผลการทดสอบความเสถียรภาพของความแปรปรวน (Test for Variance Stability) ได้ผลดังภาพที่ 4-43 พิจารณาจาก Box-Plot พบว่ามี Outlier 2 จุด จึงทำการตัดทั้งสองค่านั้นออกและทำการทดสอบใหม่ได้ผลดังภาพที่ 4-44 อ่านค่า P-Value ได้เท่ากับเท่ากับ 0.314 ซึ่งมีค่ามาก แสดงว่าตัวสถิติทดสอบ F-Test มีค่าน้อย แปลความว่า ค่าความแปรปรวนของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แสดง ว่าข้อมูลที่เก็บมาทดลองเพื่อคัดเลือกปัจจัยมีค่าความแปรปรวนที่มีเสถียรภาพอย่างมีนัยสำคัญ จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเหมาะสมเพียงพอที่จะนำไปใช้ในการทดสอบต่อไปได้



ภาพที่ 4-43 การเกิด Outlier ของ Box-Plot ของความสูงทีบาร์



ภาพที่ 4-44 ผลการทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนของค่า Track Width

ข) ทดสอบค่าความสูงของทีบาร์ มีผลต่อค่า Track Width หรือไม่โดยใช้หลักการของการทดสอบแบบ t-Test แบบความแปรปรวนของข้อมูลทั้งสองกลุ่มเท่ากันในการทดสอบโดยมีสมมติ ฐานในการทดลองดังนี้

H_0: ความสูงของทีบาร์ไม่มีผลต่อค่า Track Width ($\mu_{0.17} = \mu_{0.13}$)

H_1: อไลเมนท์ของจิ๊กมีผลต่อค่า Track Width $\mu_{0.17} \neq \mu_{0.13}$)

จากการพิจารณารูปที่ 4-45 ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.966 นั่นคือ P-Value มีค่ามาก แสดงว่าตัวสถิติ T มีค่าน้อย แสดงว่าค่าความสูงของทีบาร์ที่ 0.13 mm. และ 0.17 mm. ไม่ส่งผลต่อค่าความแตกต่างของ Track Width อย่างมีนัยสำคัญ

Two-Sample T-Test and CI: Track Width 0.13 mm., Track Width 0.17 mm.

```
Two-sample T for Track Width 0.13 mm. vs Track Width 0.17 mm.

                        N     Mean    StDev  SE Mean
Track Width 0.13 mm.   28   0.2094   0.0100   0.0019
Track Width 0.17 mm.   28  0.20952  0.00828   0.0016


Difference = mu (Track Width 0.13 mm.) - mu (Track Width 0.17 mm.)
Estimate for difference:  -0.00011
95% CI for difference:  (-0.00504, 0.00482)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.04  P-Value = 0.966  DF = 52
```

ภาพที่ 4-45 ผลการทดสอบแบบ t-Test ของค่าอไลเมนท์ที่มีต่อค่า Track Width

- สรุปผลจากข้อมูลทางสถิติมาแปลงให้เป็นแนวทางแก้ไขเชิงปฏิบัติ

สรุปค่าความสูงของทีบาร์ที่ 0.13 mm. และ 0.17 mm. ไม่ส่งผลต่อค่าความแตกต่างของ Track Width อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

4. การทดสอบสมมติฐานปัจจัยที่ 4: Piezo controller Version

Piezo Controller Version เป็นอุปกรณ์ควบคุมระยะการเคลื่อนตัวของเฮดจีเออย่างละเอียด ขณะโหลดงานเข้าดิสก์ โดยเครื่องจักรประเภท A ใช้ Piezo Controller Version T5600 และเครื่องจักรประเภท B ใช้ Piezo Controller Version T5700 ซึ่งมีข้อสงสัยว่าความแตกต่างระหว่าง Piezo Controller Version จะมีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width หรือไม่ จึงออกแบบการทดลอง เพื่อพิสูจน์ข้อสงสัยเบื้องต้น โดยใช้ตัวสถิติ 2 Variances Test ดังนี้

- การตั้งสมมติฐานสำหรับการทดลอง

H_0: Piezo controller Version ไม่มีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width ($\sigma^2_{T5700} = \sigma^2_{T5600}$)

H_1: Piezo controller Version มีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width ($\sigma^2_{T5700} \neq \sigma^2_{T5600}$)

โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

ก) ดำเนินการทดลองโดยกำหนดให้เครื่องจักรประเภท A ติดตั้ง Piezo Controller Version T5600 แล้ววัดงาน หลังจากนั้นเปลี่ยน Piezo Controller Version T5700 แล้ววัดงานโดยวัดงานที่เครื่องเดียวกันและพนักงานคนเดียวกัน

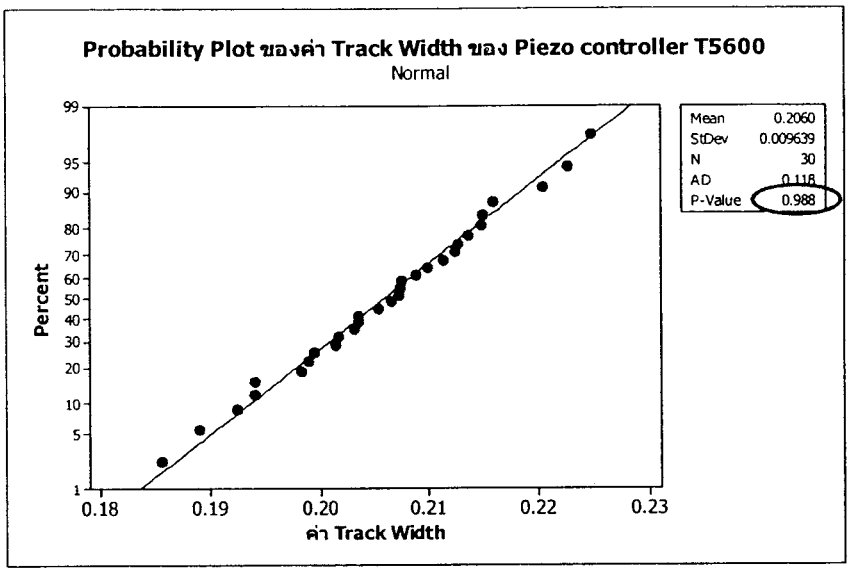
ข) ทำการวัดค่า Track Width โดยใช้พนักงานที่ผ่านคุณสมบัติจากระบบการวัดและเข้าใจในวิธีการวัดเป็นอย่างดีทำการวัดสัญญาณ โดยผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก

- การออกแบบจำนวนสิ่งตัวอย่าง

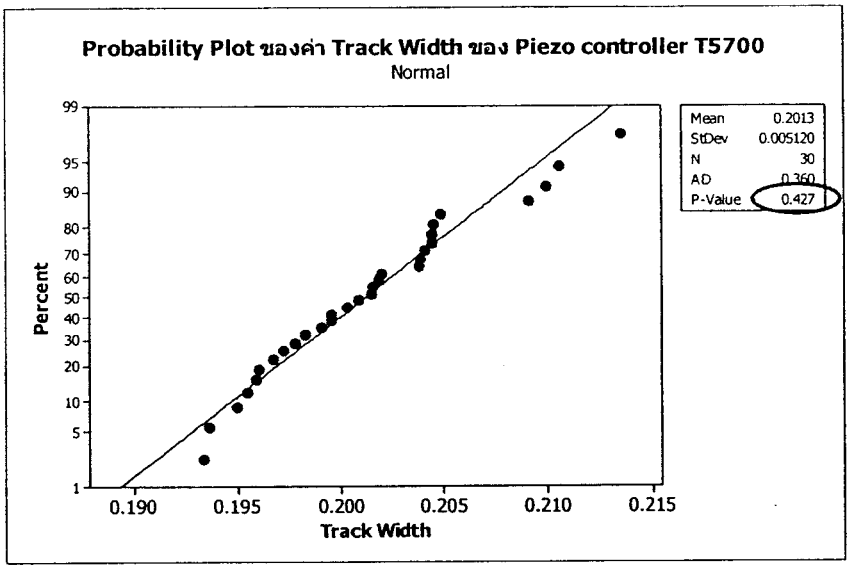
ใช้ขนาดสิ่งตัวอย่างที่ 30 ตัวอย่าง ซึ่งให้ค่ากำลังของการทดสอบที่ 0.979744 ซึ่งเป็นค่าที่สูงพอในการยอมรับได้และการทดลองไม่กระทบต่อต้นทุน จากภาพที่ 4-33 ผลการคำนวณหาขนาดสิ่งตัวอย่างของการทดสอบ

- การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลโดยมีสมมติฐานในการทดสอบ

ทำการทดสอบความปกติของข้อมูล (Normality Test) ดังภาพที่ 4-46 และภาพที่ 4-47 ตามลำดับซึ่งอ่านค่า P-Value ได้เท่ากับ 0.988 และ 0.427 แปลความว่าค่า P มาก แสดงว่าค่า A-Squared น้อย นั่นคือมีระยะระหว่างจุดและเส้นตรงน้อย หมายถึงข้อมูลที่เก็บมาทดลองเพื่อคัดเลือกปัจจัยมีความปกติ



ภาพที่ 4-46 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width ของ Piezo Controller T5600



ภาพที่ 4-47 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width ของ Piezo Controller T5700

- การทดสอบตัวสถิติที่จะใช้ทดสอบ (หรือ p-value)

ทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนโดยมีสมมติฐานในการทดสอบ

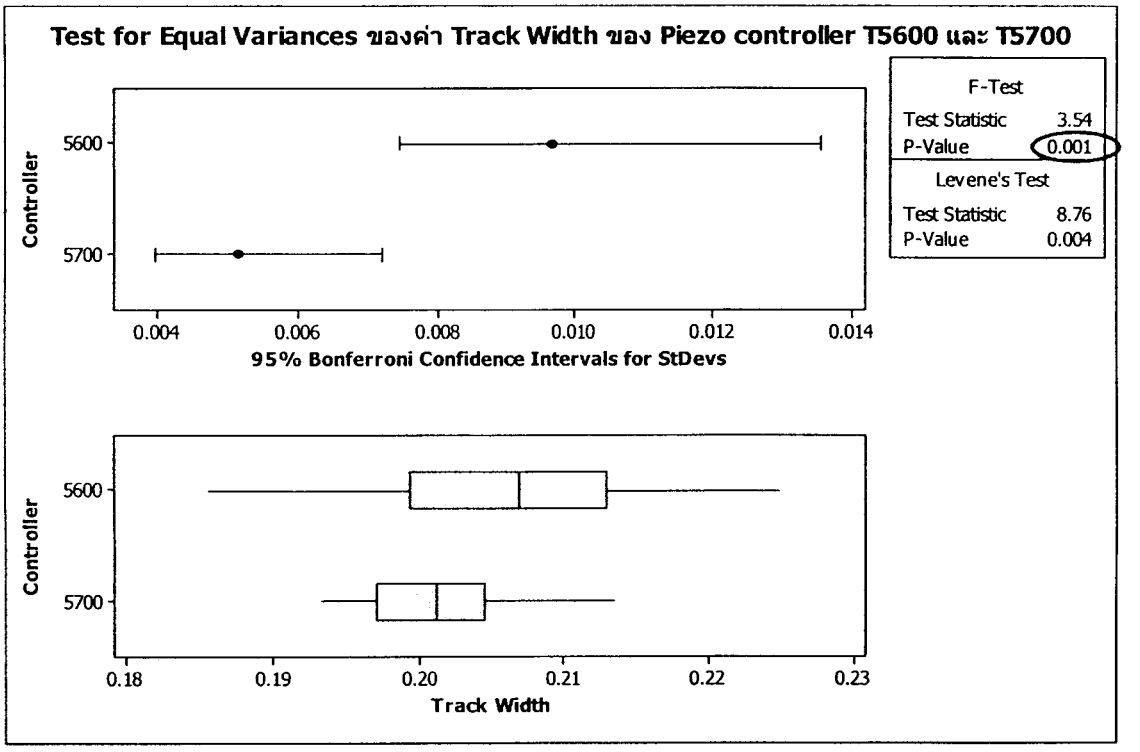
H_0: Piezo Controller Version ไม่มีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width

$(\sigma^2_{T5700} = \sigma^2_{T5600})$

H_1: Piezo Controller Version มีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width

($\sigma^2_{T5700} \neq \sigma^2_{T5600}$)

ผลการทดสอบความเสถียรภาพของความแปรปรวน (Test for Variance Stability) ได้ผลดังภาพที่ 4-48 พิจารณาจาก Box-Plot พบไม่มี Outlier อ่านค่า P-Value ได้เท่ากับ 0.001 ซึ่งมีค่าน้อย แสดงว่าตัวสถิติทดสอบ F-Test มีค่ามาก แปลความว่า ค่าความแปรปรวนของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 4-48 ผลการทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนของค่า Track Width

- สรุปผลจากข้อมูลทาง สถิติมาแปลงให้เป็นแนวทางแก้ไขเชิงปฏิบัติ

สรุป Piezo controller Version T5600 และ T5700 ส่งผลต่อความแปรปรวนของค่า Track Width อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

5. การทดสอบสมมติฐานปัจจัยที่ 5: แรงดันอากาศ

แรงดันอากาศเป็นอุปกรณ์เสริมที่ช่วยขับให้ดิสก์หมุน ปัจจุบันตั้งค่าที่ 3.5 บาร์ ซึ่งมีข้อสงสัยว่าถ้าแรงดันอากาศเพิ่มเป็น 4.0 บาร์ จะช่วยให้การหมุนของดิสก์เสถียรขึ้นหรือไม่ จึงออกแบบการทดลอง เพื่อพิสูจน์ข้อสงสัยเบื้องต้น โดยใช้ตัวสถิติ Paired T Test ดังนี้

- การตั้งสมมติฐานสำหรับการทดลอง

H_0: แรงดันอากาศไม่มีผลต่อค่า Track Width ($\mu_{4.0} = \mu_{3..5}$)

H_1: แรงดันอากาศมีผลต่อค่า Track Width ($\mu_{4.0} \neq \mu_{3.5}$)

โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

ก) ดำเนินการทดลองโดยกำหนดค่าแรงดันของเครื่องที่ใช้เท่ากับ 4.0 บาร์แล้ววัดงานและปรับค่าแรงดันของเครื่องที่ใช้ลดลงเหลือเท่ากับ 3.5 บาร์แล้ววัดงาน โดยวัดงานที่เครื่องเดียวกัน, งานเฮดจีเอกลุ่มเดียวกันและพนักงานเดียวกัน

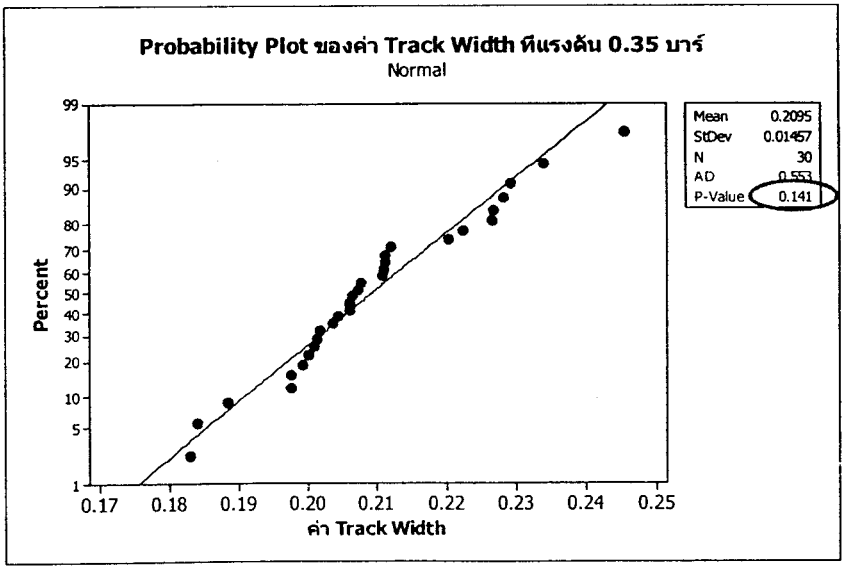
ข) ทำการวัดค่า Track Width โดยใช้พนักงานที่ผ่านคุณสมบัติจากระบบการวัดและเข้าใจในวิธีการวัดเป็นอย่างดีทำการวัดสัญญาณ โดยผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก

- การออกแบบจำนวนสิ่งตัวอย่าง

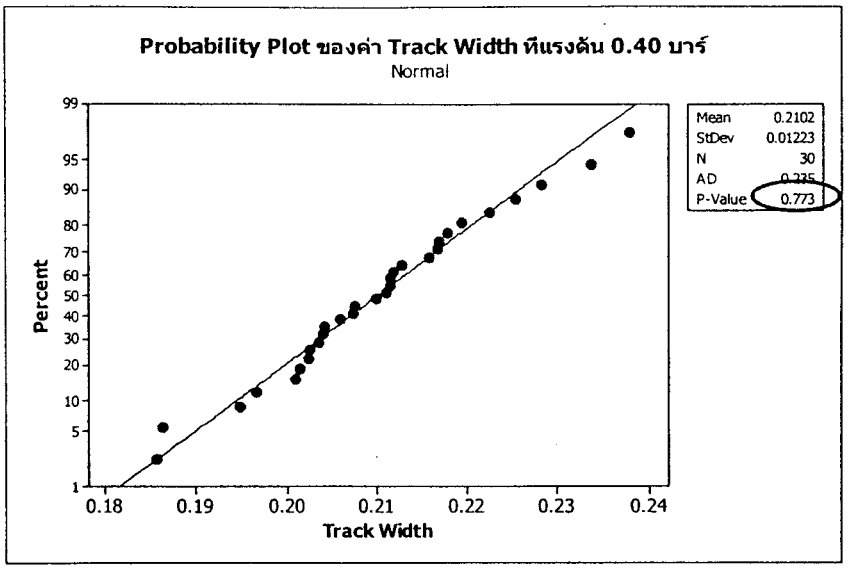
ใช้ขนาดสิ่งตัวอย่างที่ 30 ตัวอย่าง ซึ่งให้ค่ากำลังของการทดสอบที่ 0.979744 ซึ่งเป็นค่าที่สูงพอในการยอมรับได้และการทดลองไม่กระทบต่อต้นทุน จากภาพที่ 4-33 ผลการคำนวณหาขนาดสิ่งตัวอย่างของการทดสอบ

- การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลโดยมีสมมติฐานในการทดสอบ

ทำการทดสอบความปกติของข้อมูล (Normality Test) ดังภาพที่ 4-49 และภาพที่ 4-50 ตามลำดับซึ่งอ่านค่า P-Value ได้เท่ากับ 0.141 และ 0.773 แปลความว่าค่า P มาก แสดงว่าค่า A-Squared น้อย นั่นคือมีระยะระหว่างจุดและเส้นตรงน้อย หมายถึงข้อมูลที่เก็บมาทดลองเพื่อคัดเลือกปัจจัยมีความปกติ



ภาพที่ 4-49 ผลการทดสอบความเป็นปกติของ ค่า Track Width ที่แรงดันอากาศ 0.35 บาร์



ภาพที่ 4-50 ผลการทดสอบความเป็นปกติของ ค่า Track Width ที่แรงดันอากาศ 0.40 บาร์

- การทดสอบตัวสถิติที่จะใช้ทดสอบ (หรือ p-value)

ทดสอบความแตกต่างของค่า Track Width ก่อนและหลังปรับแรงดันโดยมีสมมติฐานในการทดสอบ

H_0: แรงดันอากาศไม่มีผลต่อค่า Track Width ($\mu_{4.0} = \mu_{3.5}$)

H_1: แรงดันอากาศมีผลต่อค่า Track Width ($\mu_{4.0} \neq \mu_{3.5}$)

ผลการทดสอบความแตกต่างของค่า Track Width ก่อนและหลังปรับแรงดัน (Paired T Test) ได้ผลดังภาพที่ 4-51 ค่า P-Value ได้เท่ากับ 0.837 ซึ่งมีค่ามาก แสดงว่าตัวสถิติทดสอบ F-Test มีค่าน้อย แปลความว่า ความแตกต่างของค่า Track Width ก่อนและหลังปรับแรงดัน มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

Paired T-Test and CI: Air 0.35, Air 0.40

```
Paired T for Air 0.35 - Air 0.40

              N      Mean    StDev  SE Mean
Air 0.35     30   0.20950  0.01457  0.00266
Air 0.40     30   0.21020  0.01223  0.00223
Difference   30  -0.00070  0.01851  0.00338

95% CI for mean difference: (-0.00761, 0.00621)
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -0.21  P-Value = 0.837
```

ภาพที่ 4-51 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่า Track Width ก่อนและหลังปรับแรงดัน

- สรุปผลจากข้อมูลทางสถิติมาแปลงให้เป็นแนวทางแก้ไขเชิงปฏิบัติ

สรุปค่าความแตกต่างของค่า Track Width ก่อนและหลังปรับแรงดันมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

6. การทดสอบสมมติฐานปัจจัยที่ 6: แรงดันควบคุม Piezo

Piezo เป็นอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนตัวของเฮดจีเอ จะมีแรงดันควบคุมการเคลื่อนตัวดังกล่าว ซึ่งมีข้อสงสัยว่าค่าแรงดันที่ต่างกันคือ 30, 35, 40 โวลต์ ตามลำดับจะมีผลต่อค่า Track Width หรือไม่ จึงออกแบบการทดลอง เพื่อพิสูจน์ข้อสงสัยเบื้องต้น โดยใช้ตัวสถิติ ANOVA ดังนี้

- การตั้งสมมติฐานสำหรับการทดลอง

H_0: แรงดันควบคุม Piezo ไม่มีผลต่อค่า Track Width ($\mu_{30} = \mu_{35}=\mu_{40}$)

H_1: มีแรงดันอย่างน้อย 1 ค่ามีผลต่อค่า Track Width

โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

ก) ดำเนินการทดลองโดยการปรับค่าแรงดันที่ระดับ 30, 35, 40 โวลต์ แล้ววัดงานโดยวัดงานที่เครื่องเดียวกันและพนักงานคนเดียวกัน

ข) ทำการวัดค่า Track Width โดยใช้พนักงานที่ผ่านคุณสมบัติจากระบบการวัดและเข้าใจในวิธีการวัดเป็นอย่างดีทำการวัดสัญญาณ โดยผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก

- การออกแบบจำนวนสิ่งตัวอย่าง

การออกแบบจำนวนสิ่งตัวอย่างในการทดลองครั้งนี้ได้ทำโดยใช้โปรแกรม Minitab Release 15.00 ซึ่งการคำนวณหาค่าขนาดสิ่งตัวอย่างที่เหมาะสมเป็นดังต่อไปนี้

ก) กำหนดความผิดพลาดชนิดที่ 1 (α) ซึ่งในทางปฏิบัติค่านี้เป็นค่าที่กำหนดแน่นอนไม่ได้เพียง แต่ประมาณได้เท่านั้น ซึ่งในการทดลองนี้ผู้วิจัยใช้ค่าอ้างอิงที่ 5% หรือระดับนัยสำคัญ 0.05

ข) กำหนดขนาดของการทดลอง (n) ซึ่งสามารถทำการทดลองได้จริง โดยพิจารณาจากผลกระทบกับการผลิตและต้นทุนที่ใช้โดยทดลองใส่ค่าเท่ากับ 10, 15, 20, 25 และ 30 ตามลำดับ

ค) กำหนดความแตกต่าง (Difference) มากที่สุดของค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ หมายถึงค่าความแตกต่างมากที่สุดของค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ใด ๆ 3 ทรีตเมนต์จนทำให้เกิดการปฏิเสธสมมติฐานโดยความแตกต่างนี้จะต้องอาศัยประสบการณ์หรือความรู้ทางวิศวกรรม ซึ่งในการทดลองครั้งนี้กำหนดให้ค่า Difference มีค่า เท่ากับ 0.02 จากการกำหนดให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าความผันแปรของกระบวนการซึ่งเท่ากับ 0.019

ง) ค่าความผันแปรของกระบวนการ (σ) ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิต พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.02

จากการคำนวณหาขนาดของสิ่งตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม Minitab Release 15.00 ได้ผลดังภาพที่ 4-52

Power and Sample Size
One-way ANOVA

Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.019 Number of Levels = 3

SS Means	Sample Size	Power	Maximum Difference
0.0002	10	0.499836	0.02
0.0002	15	0.701874	0.02
0.0002	20	0.835177	0.02
0.0002	25	0.914068	0.02
0.0002	30	0.957270	0.02

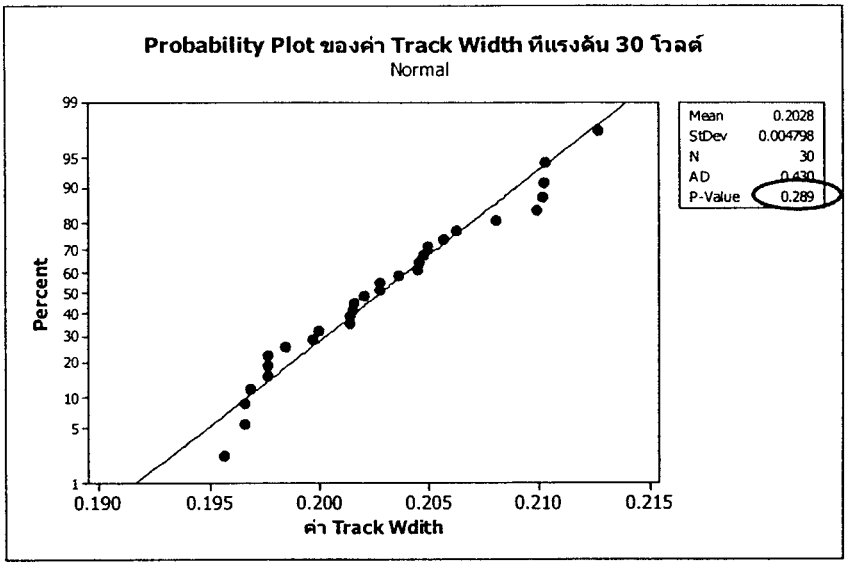
The sample size is for each level.

ภาพที่ 4-52 ผลการคำนวณหาขนาดสิ่งตัวอย่างของการทดสอบแบบ ANOVA

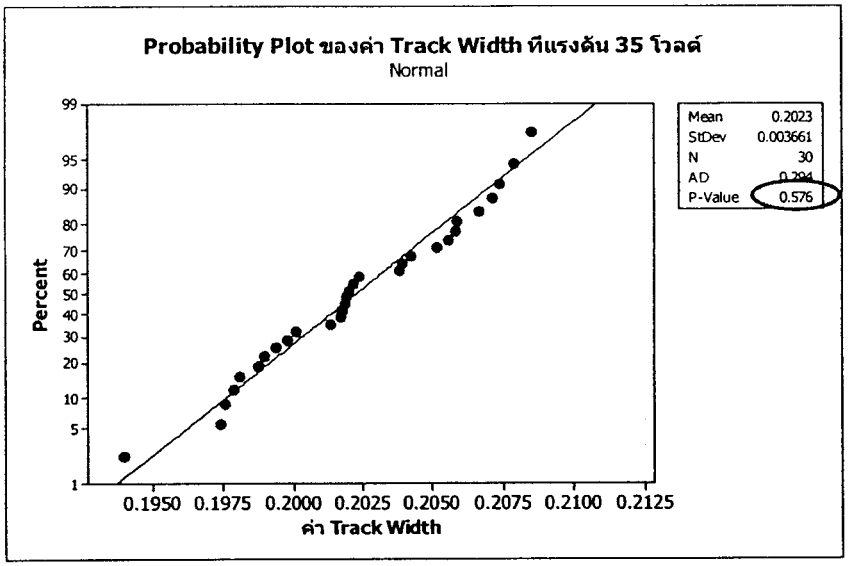
พบว่าขนาดสิ่งตัวอย่างที่ 30 ตัวอย่างนั้นให้ค่ากำลังของการทดสอบที่ 0.957270 ซึ่งเป็นค่าที่สูงพอในการยอมรับได้และการทดลองไม่กระทบต่อต้นทุน

- การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลโดยมีสมมติฐานในการทดสอบ

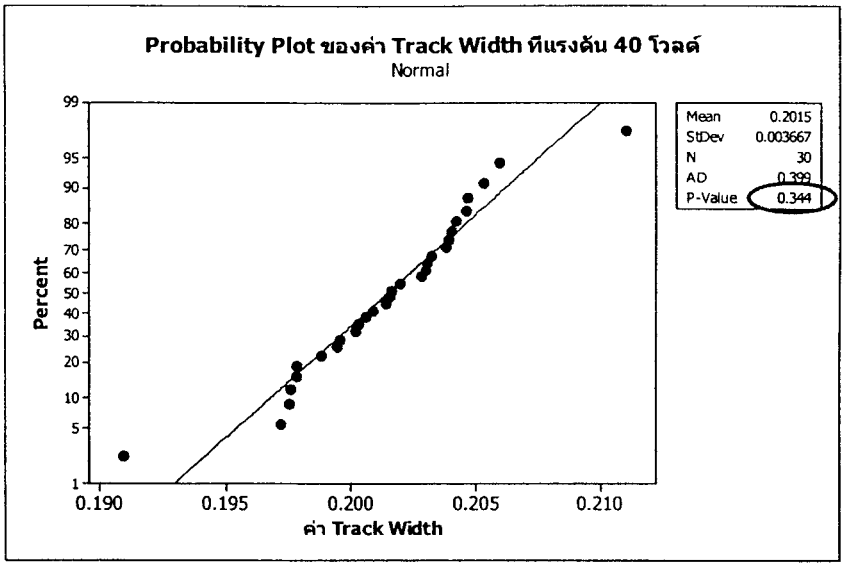
ทำการทดสอบความปกติของข้อมูล (Normality Test) ดังภาพที่ 4-53 ภาพที่ 4-54 และภาพที่ 4-55 ตามลำดับซึ่งอ่านค่า P-Value ได้เท่ากับ 0.289, 0.576 และ 0.344 แปลความว่าค่า P มาก แสดงว่าค่า A-Squared น้อย นั่นคือมีระยะระหว่างจุดและเส้นตรงน้อย หมายถึงข้อมูลที่เก็บมาทดลองเพื่อคัดเลือกปัจจัยมีความปกติ



ภาพที่ 4-53 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width ที่ค่าแรงดัน 30 โวลต์



ภาพที่ 4-54 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width ที่ค่าแรงดัน 35 โวลต์



ภาพที่ 4-55 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width ที่ค่าแรงดัน 40 โวลต์

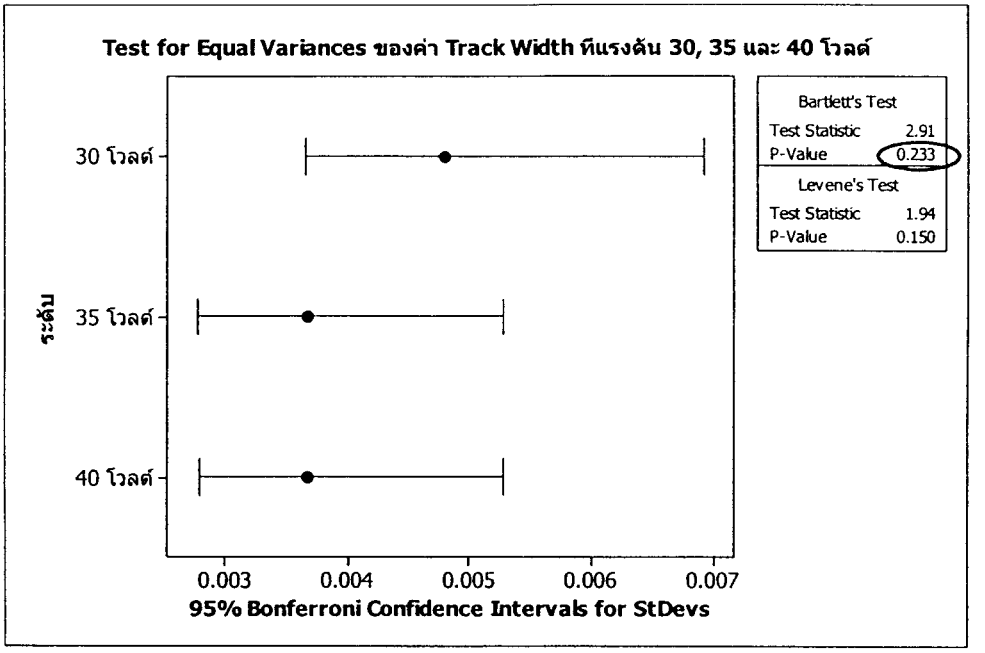
- การทดสอบตัวสถิติที่จะใช้ทดสอบ (หรือ p-value)

ก) ทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนโดยมีสมมติฐานในการทดสอบ

H_0: ความแปรปรวนของข้อมูลมีความเสถียรภาพ

H_1: ความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีความเสถียรภาพ

ผลการทดสอบความเสถียรภาพของความแปรปรวน (Test for Equal Variance) ได้ผลดังภาพที่ 4-56 ค่า P-Value ได้เท่ากับเท่ากับ 0.233 ซึ่งมีค่ามาก แสดงว่าตัวสถิติทดสอบ F-Test มีค่าน้อย แปลความว่า ค่าความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าข้อมูลที่เก็บมาทดลองเพื่อคัดเลือกปัจจัยมีค่าความแปรปรวนที่มีเสถียรภาพอย่างมีนัยสำคัญ จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเหมาะสมเพียงพอที่จะนำไปใช้ในการทดสอบต่อไปได้



ภาพที่ 4-56 ค่าความแปรปรวนของค่า Track Width ที่แรงดัน 30, 35 และ 40 โวลต์

ข) ทดสอบค่าแรงดันควบคุม Piezo มีผลต่อค่า Track Width หรือไม่ โดยใช้หลักการของการทดสอบแบบ t-Test แบบความแปรปรวนของข้อมูลทั้งสองกลุ่มเท่ากันในการทดสอบโดยมีสมมติ ฐานในการทดลองดังนี้

H_0: แรงดันควบคุม Piezo ไม่มีผลต่อค่า Track Width ($\mu_{30} = \mu_{35}=\mu_{40}$)

H_1: มีแรงดันอย่างน้อย 1 ค่ามีผลต่อค่า Track Width

การพิจารณาภาพที่ 4-57

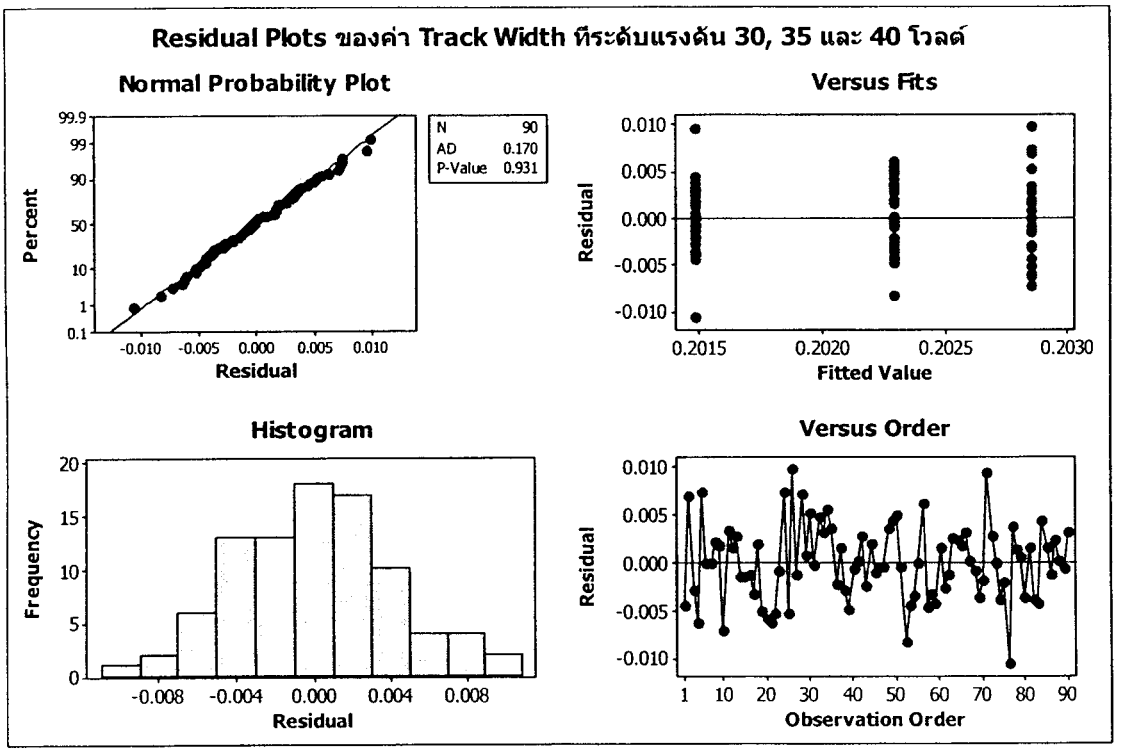
1) เริ่มพิจารณาจาก Versus Order (I Chart) จะพบว่าข้อมูลที่รวบรวมมาจากการทดลองมีลักษณะ สุ่มอยู่ภายใต้พิกัดควบคุม

2) จาก Normal Plot ที่ได้ พบว่ากราฟมีลักษณะค่อนข้างเป็นเส้นตรง จึงแสดงว่า ข้อมูลมีความแตกต่างจากตัวแบบปกติไม่มาก คือ ข้อมูลมีการกระจายตัวอย่างปกติ

3) จาก Histogram ที่ได้ พบว่ารูปทรงมีลักษณะแจกแจงแบบปกติ

4) แผนภาพ Residual vs. Fits เป็นการพิจารณาว่าข้อมูลแต่ละทรีตเมนต์มีความผันแปรสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์หรือไม่ พบว่าข้อมูลจากการทดลอง มีการกระจายรอบค่าศูนย์และไม่มีแนวโน้ม แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีเสถียรภาพ

จึงสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีคุณสมบัติครบทั้ง ความอิสระของข้อมูลความเป็นปกติของข้อมูลและความมีเสถียรภาพของข้อมูล



ภาพที่ 4-57 ผล Residual Plots ของค่าแรงดันที่มีต่อค่า Track Width

จากการพิจารณาภาพที่ 4-58 ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.434 นั่นคือ P-Value มีค่ามาก แสดงว่าตัวสถิติ T มีค่าน้อย แสดงว่าระดับแรงดันที่ 30, 35 และ 40 โวลต์ ไม่ส่งผลต่อค่าความแตกต่างของ Track Width อย่างมีนัยสำคัญ

One-way ANOVA: ค่าแรงดัน versus ระดับ

Source	DF	SS	MS	F	P
ระดับ	2	0.0000280	0.0000140	0.84	0.434
Error	87	0.0014463	0.0000166		
Total	89	0.0014743			

S = 0.004077 R-Sq = 1.90% R-Sq(adj) = 0.00%

Level	N	Mean	StDev
30 โวลต์	30	0.20284	0.00480
35 โวลต์	30	0.20228	0.00366
40 โวลต์	30	0.20148	0.00367

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

```
---+---------+---------+---------+------
          (-----------*-----------)
     (-----------*-----------)
(-----------*-----------)
---+---------+---------+---------+------
 0.2004    0.2016    0.2028    0.2040
```

Pooled StDev = 0.00408

ภาพที่ 4-58 ผลการทดสอบแบบ ANOVA ของค่าแรงดันที่มีต่อค่า Track Width

- สรุปผลจากข้อมูลทาง สถิติมาแปลงให้เป็นแนวทางแก้ไขเชิงปฏิบัติ

สรุประดับแรงดันที่ 30, 35 และ 40 โวลต์ ไม่ส่งผลต่อค่าความแตกต่างของ Track Width อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

7. การทดสอบสมมติฐานปัจจัยที่ 7: อุปกรณ์รองรับดิสก์

อุปกรณ์รองรับดิสก์เป็นอุปกรณ์ขับเคลื่อนดิสก์ให้หมุน โดยเครื่องจักรประเภท A จะโหลดเฮดจีเอด้านล่างของดิสก์และเครื่องจักรประเภท B จะโหลดเฮดจีเอด้านบนของดิสก์ เนื่องจากลักษณะของ Disk stabilizer ที่แตกต่างกัน ซึ่งมีข้อสงสัยว่าความแตกต่างของลักษณะดังกล่าว จะมีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width หรือไม่ จึงออกแบบการทดลอง เพื่อพิสูจน์ข้อสงสัยเบื้องต้น โดยใช้ตัวสถิติ 2 Variances Test ดังนี้

- การตั้งสมมติฐานสำหรับการทดลอง

H_0: Disk stabilizer ไม่มีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width ($\sigma^2_B = \sigma^2_A$)

H_1: Disk stabilizer มีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width ($\sigma^2_B \neq \sigma^2_A$)

โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

ก) ดำเนินการทดลองโดยกำหนดให้เครื่องจักรประเภท A ติดตั้ง Disk Stabilizer แบบ A แล้ววัดงาน หลังจากนั้นเปลี่ยน ติดตั้ง Disk Stabilizer แบบ B แล้ววัดงาน โดยวัดงานที่เครื่องเดียวกันและพนักงานคนเดียวกัน

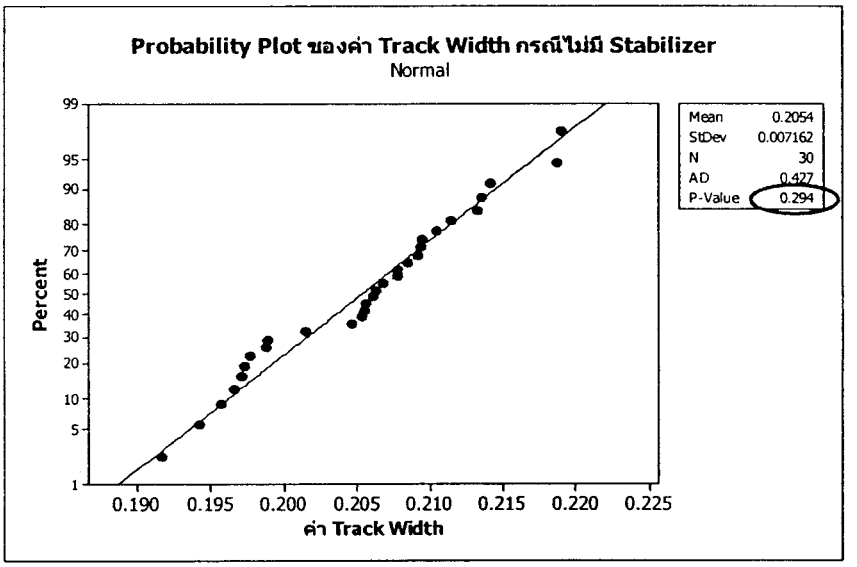
ข) ทำการวัดค่า Track Width โดยใช้พนักงานที่ผ่านคุณสมบัติจากระบบการวัดและเข้าใจในวิธีการวัดเป็นอย่างดีทำการวัดสัญญาณ โดยผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก

- การออกแบบจำนวนสิ่งตัวอย่าง

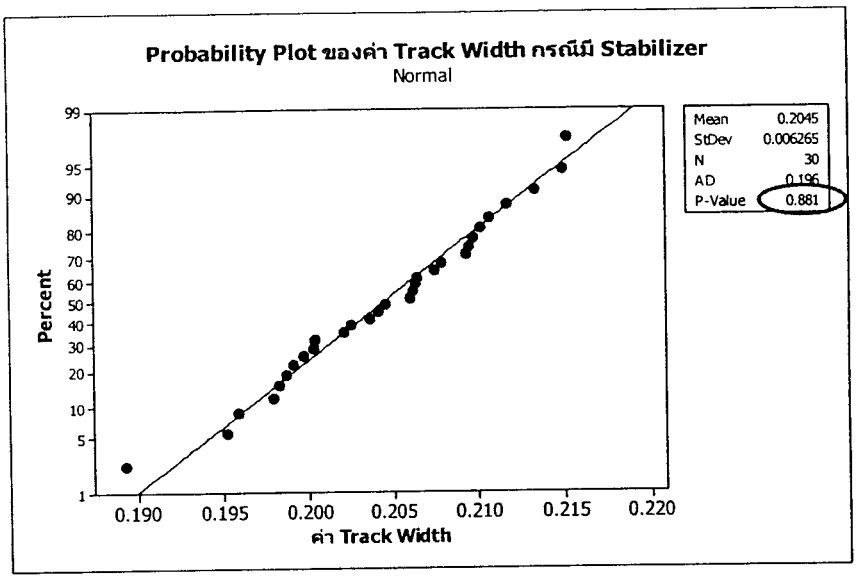
ใช้ขนาดสิ่งตัวอย่างที่ 30 ตัวอย่าง ซึ่งให้ค่ากำลังของการทดสอบที่ 0.979744 ซึ่งเป็นค่าที่สูงพอในการยอมรับได้และการทดลองไม่กระทบต่อต้นทุน จากภาพที่ 4-33 ผลการคำนวณหาขนาดสิ่งตัวอย่างของการทดสอบ

- การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลโดยมีสมมติฐานในการทดสอบ

ทำการทดสอบความปกติของข้อมูล (Normality Test) ดังภาพที่ 4-59 และภาพที่ 4-60 ตามลำดับซึ่งอ่านค่า P-Value ได้เท่ากับ 0.294 และ 0.881 แปลความว่าค่า P มาก แสดงว่าค่า A-Squared น้อย นั่นคือมีระยะระหว่างจุดและเส้นตรงน้อย หมายถึงข้อมูลที่เก็บมาทดลองเพื่อคัดเลือกปัจจัยมีความปกติ



ภาพที่ 4-59 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width กรณีไม่มี Stabilizer



ภาพที่ 4-60 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width กรณีมี Stabilizer

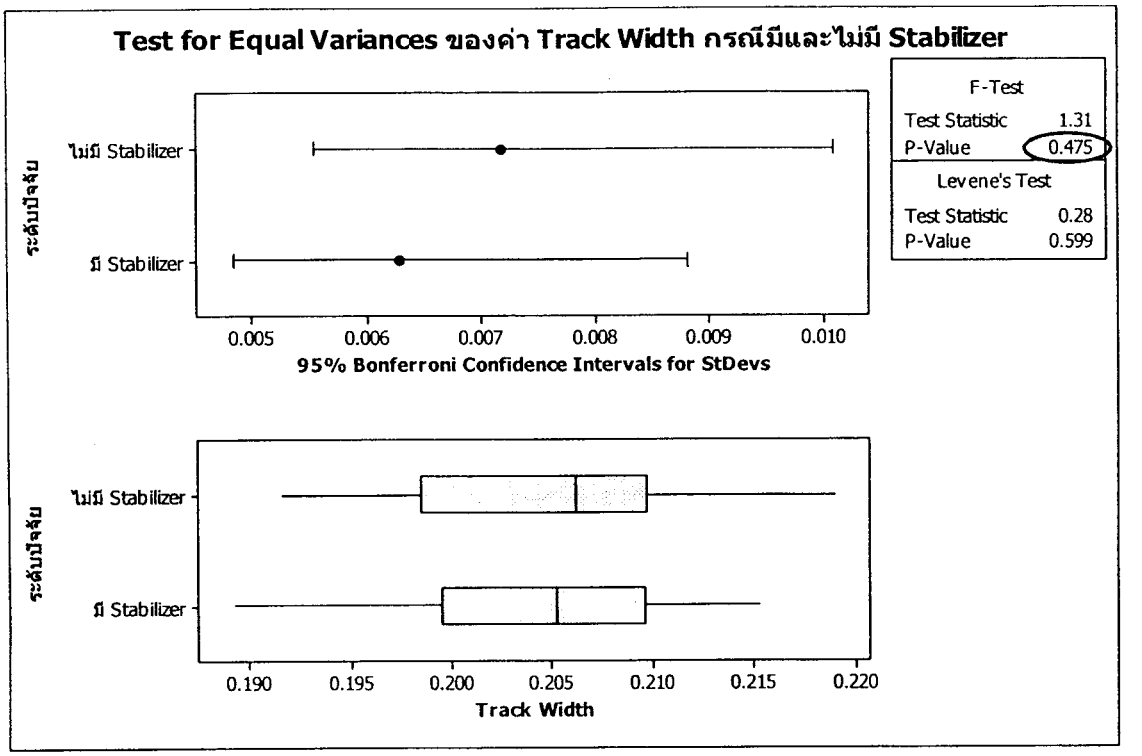
- การทดสอบตัวสถิติที่จะใช้ทดสอบ

ทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนโดยมีสมมติฐานในการทดสอบ

H_0: Disk Stabilizer ไม่มีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width ($\sigma^2_B = \sigma^2_A$)

H_1: Disk Stabilizer มีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width ($\sigma^2_B \neq \sigma^2_A$)

ผลการทดสอบความเสถียรภาพของความแปรปรวน (Test for Variance Stability) ได้ผลดังภาพที่ 4-61 พิจารณาจาก Box-Plot พบไม่มี Outlier อ่านค่า P-Value ได้เท่ากับ 0.475 ซึ่งมีค่ามาก แสดงว่าตัวสถิติทดสอบ F-Test มีค่ามาก แปลความว่า ค่าความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 4-61 ผลการทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนของค่า Track Width

- สรุปผลจากข้อมูลทางสถิติมาแปลงให้เป็นแนวทางแก้ไขเชิงปฏิบัติ

สรุปเครื่องจักรที่ติดตั้ง Disk แบบมี Stabilizer และแบบไม่มี Stabilizer ไม่ส่งผลต่อความแปรปรวนของค่า Track Width อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

8. การทดสอบสมมติฐานปัจจัยที่ 8: Piezo coupling holder

Piezo Coupling Holder เป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อสายสัญญาณระหว่าง Piezo Cable และ Sensor Cable โดยเครื่องจักรประเภท A จะติดตั้งแบบสีดำซึ่งทำจากวัสดุที่มีความต้านทานสูง ส่วนเครื่องจักรประเภท B จะติดตั้งแบบสีขาวซึ่งทำจากวัสดุที่มีความต้านทานต่ำ จากลักษณะของวัสดุที่แตกต่างกัน จึงมีข้อสงสัยว่าความแตกต่างของลักษณะดังกล่าว จะมีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width หรือไม่ จึงออกแบบการทดลอง เพื่อพิสูจน์ข้อสงสัยเบื้องต้น โดยใช้ตัวสถิติ 2 Variances Test ดังนี้

- การตั้งสมมติฐานสำหรับการทดลอง

H_0: Piezo Coupling Holder ไม่มีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width

$(\sigma^2_{\text{ขาว}} = \sigma^2_{\text{ดำ}})$

H_1: Piezo Coupling Holder มีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width

$(\sigma^2_{\text{ขาว}} \neq \sigma^2_{\text{ดำ}})$

โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

ก) ดำเนินการทดลองโดยกำหนดให้เครื่องจักรประเภท A ติดตั้ง Piezo Coupling Holder สีดำแล้ววัดงาน หลังจากนั้นเปลี่ยน ติดตั้ง Piezo Coupling Holder สีขาวแล้ววัดงาน โดยวัดงานที่เครื่องเดียวกัน, งานเฮดจีเอกลุ่มเดียวกันและพนักงานเดียวกัน

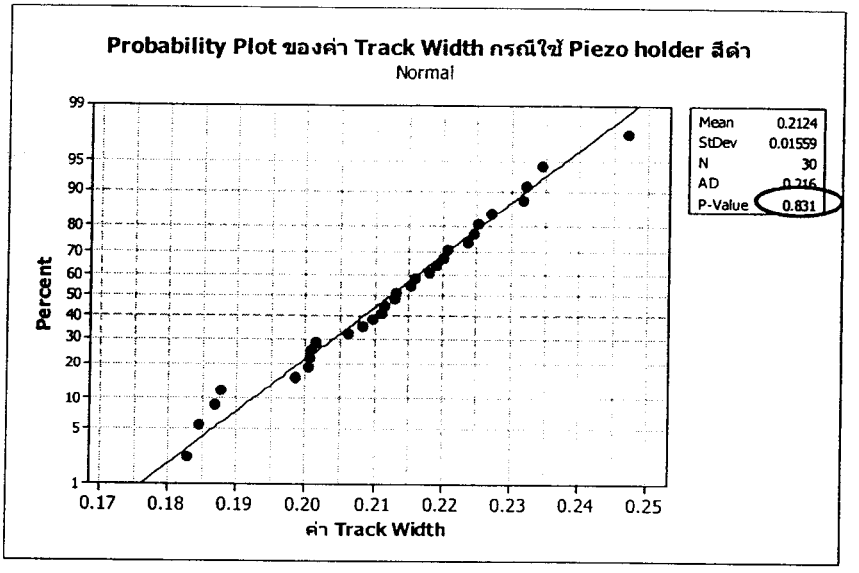
ข) ทำการวัดค่า Track Width โดยใช้พนักงานที่ผ่านคุณสมบัติจากระบบการวัดและเข้าใจในวิธีการวัดเป็นอย่างดีทำการวัดสัญญาณ โดยผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก

- การออกแบบจำนวนสิ่งตัวอย่าง

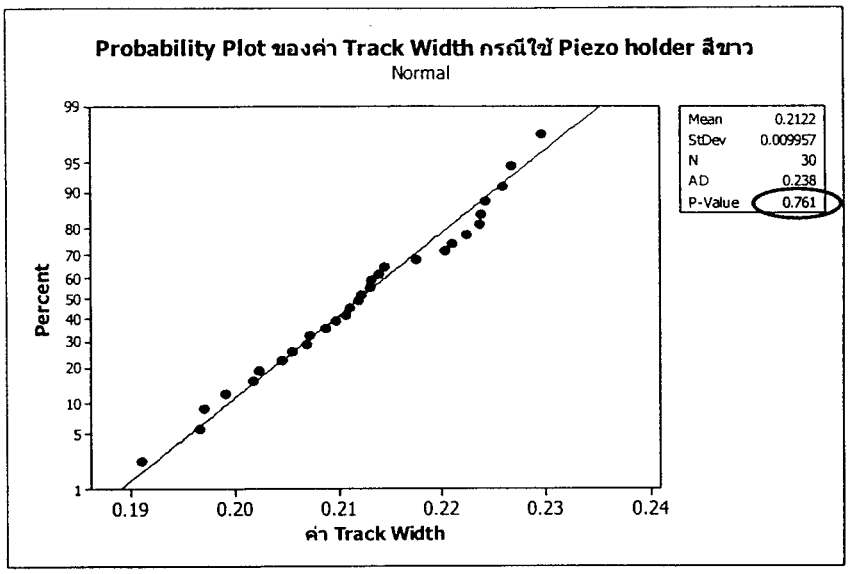
ใช้ขนาดสิ่งตัวอย่างที่ 30 ตัวอย่าง ซึ่งให้ค่ากำลังของการทดสอบที่ 0.979744 ซึ่งเป็นค่าที่สูงพอในการยอมรับได้และการทดลองไม่กระทบต่อต้นทุน จากภาพที่ 4-33 ผลการคำนวณหาขนาดสิ่งตัวอย่างของการทดสอบ

- การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลโดยมีสมมติฐานในการทดสอบ

ทำการทดสอบความปกติของข้อมูล (Normality Test) ดังภาพที่ 4-62 และภาพที่ 4-63 ตามลำดับซึ่งอ่านค่า P-Value ได้เท่ากับ 0.831 และ 0.761 แปลความว่าค่า P มาก แสดงว่าค่า A-Squared น้อย นั่นคือมีระยะระหว่างจุดและเส้นตรงน้อย หมายถึงข้อมูลที่เก็บมาทดลองเพื่อคัดเลือกปัจจัยมีความปกติ



ภาพที่ 4-62 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width กรณีใช้ Piezo Holder สีดำ



ภาพที่ 4-63 ผลการทดสอบความเป็นปกติของค่า Track Width กรณีใช้ Piezo holder สีขาว

- การทดสอบตัวสถิติที่จะใช้ทดสอบ

ทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนโดยมีสมมติฐานในการทดสอบ

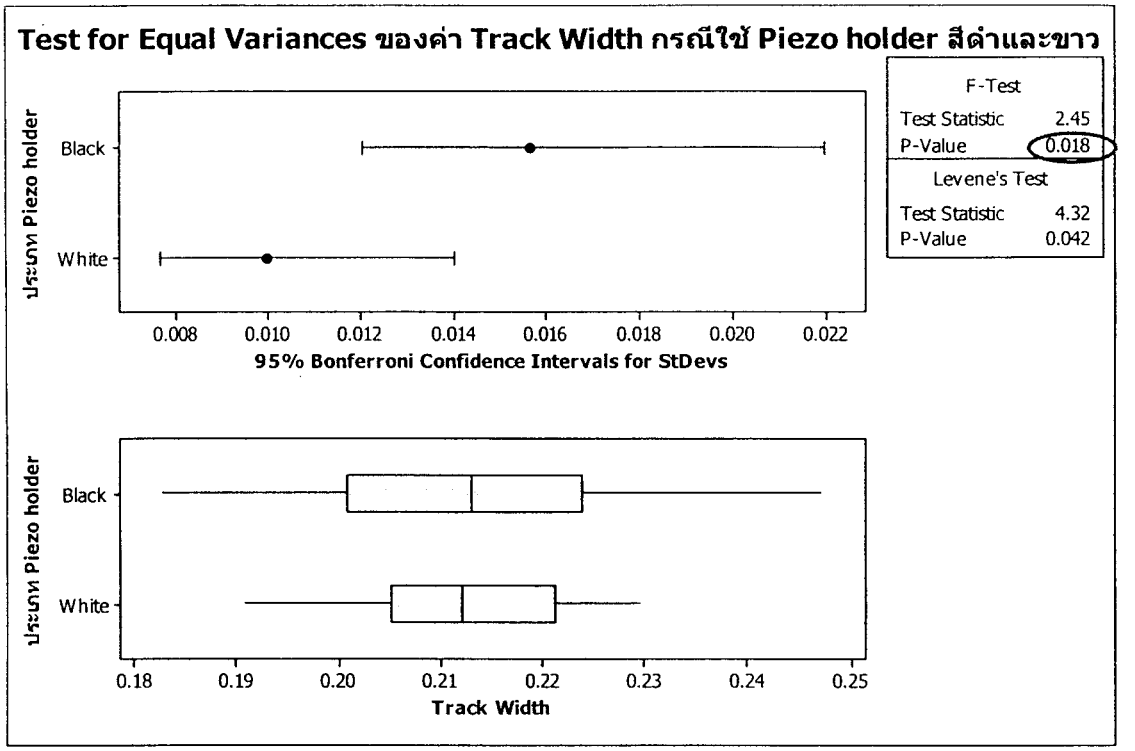
H_0: Piezo Coupling Holder ไม่มีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width

$(\sigma^2_{\text{ขาว}} = \sigma^2_{\text{ดำ}})$

H_1: Piezo coupling holder มีผลต่อความแปรปรวนต่อค่า Track Width

$(\sigma^2_{\text{ขาว}} \neq \sigma^2_{\text{ดำ}})$

ผลการทดสอบความเสถียรภาพของความแปรปรวน (Test for Variance Stability) ได้ผลดังภาพที่ 4-64 พิจารณาจาก Box-Plot พบไม่มี Outlier อ่านค่า P-Value ได้เท่ากับ 0.018 ซึ่งมีค่าน้อย แสดงว่าตัวสถิติทดสอบ F-Test มีค่ามาก แปลความว่า ค่าความแปรปรวนของข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 4-64 ผลการทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนของค่า Track Width

- สรุปผลจากข้อมูลทาง สถิติมาแปลงให้เป็นแนวทางแก้ไขเชิงปฏิบัติ

สรุปเครื่องจักรที่ติดตั้ง Piezo Holder ที่แตกต่างกันส่งผลต่อความแปรปรวนของค่า Track Width อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

สรุปผลการทดสอบสมมติฐาน

ผลการทดสอบสมมติฐานจากปัจจัยที่เป็นไปได้จำนวน 8 ปัจจัย พบว่า Piezo Coupling Holder, Piezo Controller Version และ Piezo Cable เป็นปัจจัยวิกฤต (Critical) ที่มีผลต่อค่า Track Width โดยปัจจัยทั้งหมดเป็นแบบคุณลักษณะเชิงคุณภาพ (Attribute Characteristics)

3. การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments)

ขั้นตอนนี้เป็นการนำปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยมาทำการทดลองและวิเคราะห์ผลเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่ทำให้ค่า Track Width ดีที่สุด โดยใช้การทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล

การออกแบบการทดลองมีขั้นตอนดังนี้

3.1 วางแผนการออกแบบการทดลองและทำการทดลอง

เพื่อค้นหาตัวแปรอินพุทที่เหมาะสมที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแล้ว จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองขึ้นที่เอ้าพุท ตามที่เราวางวัตถุประสงค์ไว้

3.2 ขั้นตอนการออกแบบจำนวนสิ่งตัวอย่าง

ในการออกแบบจำนวนสิ่งตัวอย่างนี้ได้ดำเนินการโดยใช้โปรแกรม Minitab Release 15.00 โดยได้กำหนดค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

3.2.1 กำหนดความผิดพลาดชนิดที่ 1 (α) ซึ่งในทางปฏิบัติค่านี้เป็นค่าที่กำหนดแน่นอนไม่ได้เพียง แต่ประมาณได้เท่านั้น ซึ่งในการทดลองนี้ผู้วิจัยใช้ค่าอ้างอิงที่ 5% หรือระดับนัยสำคัญ 0.05

3.2.2 กำหนดขนาดของการทดลอง (n) ซึ่งสามารถทำการทดลองได้จริง โดยพิจารณาจากผล กระทบกับการผลิตและต้นทุนที่ใช้โดยทดลองใส่ค่าเท่ากับ 3, 4, 5, และ 6 ตามลำดับ

3.2.3 กำหนดความแตกต่างมากที่สุดของค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ (D) หมายถึงค่าความแตกต่างมากที่สุดของค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ใด ๆ 2 ทรีตเมนต์ จนทำให้เกิดการปฏิเสธสมมติฐาน โดยความแตกต่างนี้จะต้องอาศัยประสบการณ์หรือความรู้ทางวิศวกรรม ซึ่งในการทดลองครั้งนี้กำหนดให้ค่า D มีค่าเท่ากับ 0.02 ซึ่งได้มาจากกำหนดให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าโดยประมาณของความผันแปรของกระบวนการซึ่ง เท่ากับ 0.019

3.2.4 ค่าความผันแปรของกระบวนการ (σ) ซึ่งจากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการพบว่ามีค่าประมาณ 0.019 จากผลการคำนวณหาขนาดของสิ่งตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม Minitab Release 15.00 ได้ผลดังภาพที่ 4-65

Power and Sample Size
2-Level Factorial Design

Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.019

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

Center Points	Effect	Reps	Total Runs	Power
0	0.02	3	24	0.677814
0	0.02	4	32	0.814972
0	0.02	5	40	0.897478
0	0.02	6	48	0.944933

ภาพที่ 4-65 การคำนวณหาขนาดสิ่งตัวอย่างของการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล

พบว่าขนาดสิ่งตัวอย่างที่ 6 Replicates นั้นให้ค่ากำลังของการทดสอบที่ 0.944933 ซึ่งเป็นค่าที่สูงพอในการยอมรับได้และส่งผลกระทบต่อการผลิตและต้นทุนน้อยที่สุด

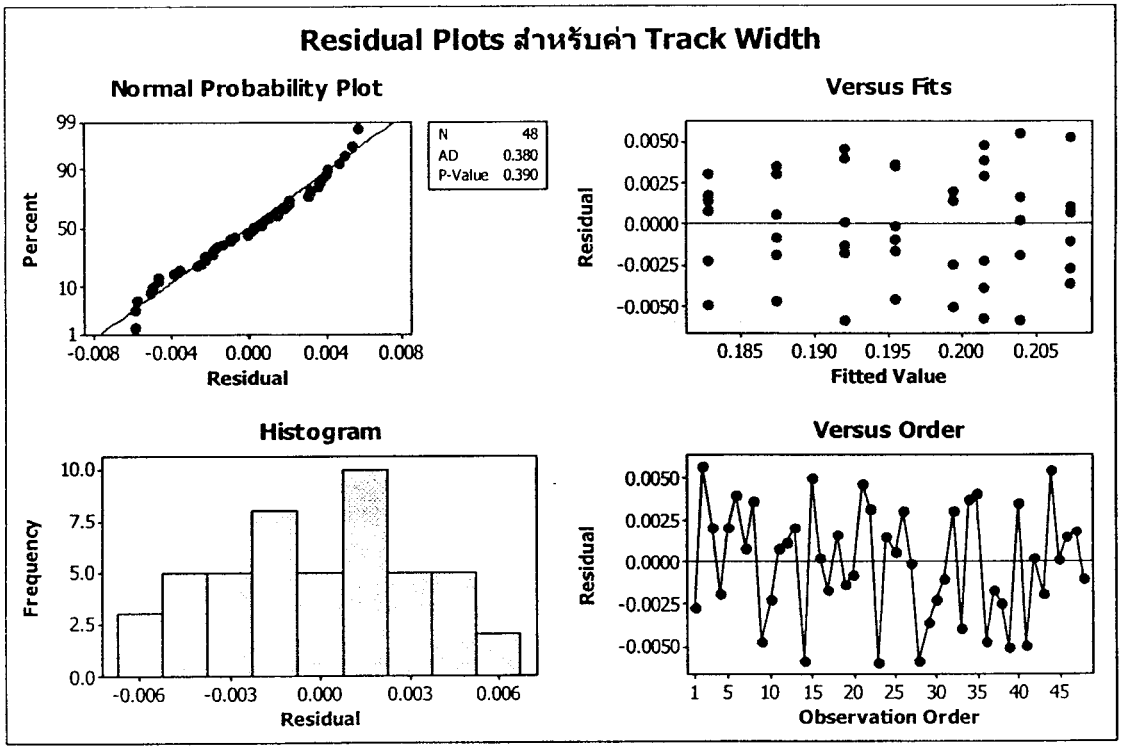
3.3 ดำเนินการทดลอง ซึ่งนำตัวแปรวิกฤต (Critical) ที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์นำมาทำการทดลอง

3.3.1 ทำการทดลองโดยกำหนดค่าปัจจัยต่าง ๆ ในการทดลองดังภาพที่ 4-67 ซึ่งเป็นการทดลองอย่างสุ่มโดยกำหนดให้ใช้ขนาดสิ่งตัวอย่างเป็น 6 Replicates และไม่มี Center Points

3.3.2 ทำการวัดค่า Track Width โดยใช้พนักงานที่ผ่านคุณสมบัติจากระบบการวัดและ เข้าใจในวิธีการวัดเป็นอย่างดีทำการวัดสัญญาณ โดยผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก

3.3.3 วิเคราะห์ผลการทดลองโดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลองตามลำดับดังนี้

- ตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล (Model Adequacy Checking) โดยใช้การวิเคราะห์เศษเหลือ (Residual Analysis) ดังภาพที่ 4-66



ภาพที่ 4-66 Residual Plot ของผลการทดลอง 2^k แฟคทอเรียล

ก) I Chart of Residuals (Residuals Versus the Order of the Data) พิจารณาพบว่าข้อมูลมีลักษณะสุ่ม นั่นคือข้อมูลแต่ละตัวเป็นอิสระต่อกัน ไม่มีความลำเอียง

ข) Normal Probability Plot of the Residual พบว่าข้อมูลมีลักษณะการเรียงตัวเป็นเส้นตรงและจากภาพที่ 4-67 พบว่า P-value มีค่า 0.390 ซึ่งมีค่ามาก เมื่อเทียบกับ ค่าวิกฤติ ดังนั้นแสดงว่าข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์มีความปกติ

ค) Residual vs Fits พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวรอบเส้น 0.00 ด้วยระยะห่างที่ใกล้เคียงกันและจากภาพที่ 4-67 แสดงว่า ค่าความผันแปรของข้อมูลมีเสถียรภาพ

ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล มีคุณสมบัติเพียงพอที่จะนำไปวิเคราะห์ผลการทดลองต่อได้คือมีคุณสมบัติ ความสุ่ม, ความเป็นปกติและความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน

- การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนในภาพที่ 4-68 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ มี ค่าเท่ากับ 85.54% หมายความว่าความแปรปรวนของข้อมูลทั้งหมด 100 หน่วย^2 เป็นผลมาจากความผันแปรของ Piezo Cable, Piezo Coupling Holder และ Piezo Controller Revision เท่ากับ 85.54 หน่วย^2 ส่วนที่เหลือเป็นความผันแปรเนื่องจากปัจจัยอื่น ๆ ที่ควบคุมไม่ได้ ซึ่งถือว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่สูงและพบว่า Adjusted R^2 มีค่าเท่ากับ 79.18% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ R^2 แสดงว่าจำนวนข้อมูลที่ทำการทดลองมีเพียงพอแล้ว

จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนในภาพที่ 4-68 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่า %Track Width คือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 อันได้แก่ตัวแปรหลักทั้งสาม Piezo Cable, Piezo Coupling Holder และ Piezo Controller Revision ซึ่งมีค่า P value เท่ากับ 0.00, 0.02 และ 0.00 ตามลำดับและสามารถตัดปัจจัยที่ไม่มีผลต่อค่า Track Width อย่างไม่มีนัยสำคัญออก อันได้แก่ปัจจัยร่วมสองปัจจัย และ ปัจจัยร่วมสามปัจจัย ซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ 0.395 และ 0.522 ตามลำดับ ในภาพที่ 4-68 ดังนั้นจากผลดังกล่าวจึงวิเคราะห์ต่อโดยการลดรูป

Factorial Fit: Track Width versus Piezo cable, Piezo Coupling holder, Piezo controller revision

Estimated Effects and Coefficients for Track Width (coded units)

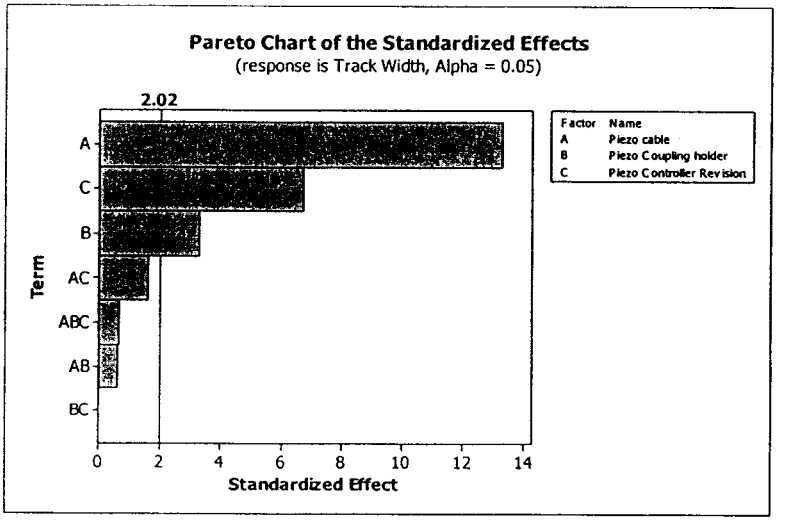
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.196217	0.000510	384.96	0.000
Piezo cable	-0.013575	-0.006788	0.000510	-13.32	0.000
Piezo Coupling holder	-0.003366	-0.001683	0.000510	-3.30	0.002
Piezo Controller Revision	-0.006834	-0.003417	0.000510	-6.70	0.000
Piezo cable*Piezo Coupling holder	-0.000609	-0.000304	0.000510	-0.60	0.554
Piezo cable* Piezo Controller Revision	-0.001675	-0.000837	0.000510	-1.64	0.108
Piezo Coupling holder* Piezo Controller Revision	0.000016	0.000008	0.000510	0.02	0.987
Piezo cable*Piezo Coupling holder* Piezo Controller Revision	-0.000658	-0.000329	0.000510	-0.65	0.522

S = 0.00353136 PRESS = 0.000718300
R-Sq = 85.54% R-Sq(pred) = 79.18% R-Sq(adj) = 83.01%

Analysis of Variance for Track Width (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0.00290792	0.00290792	0.00096931	77.73	0.000
2-Way Interactions	3	0.00003810	0.00003810	0.00001270	1.02	0.395
3-Way Interactions	1	0.00000519	0.00000519	0.00000519	0.42	0.522
Residual Error	40	0.00049882	0.00049882	0.00001247		
Pure Error	40	0.00049882	0.00049882	0.00001247		
Total	47	0.00345003				

ภาพที่ 4-67 ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)



ภาพที่ 4-68 กราฟพาเรโตแสดงผลของปัจจัยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ก่อนการลดรูป

- วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลจากการทดลองแบบ2k แฟคทอเรียล หลังการลดรูป

Factorial Fit: Track Width versus Piezo cable, Piezo Coupling holder, Piezo controller revision

Estimated Effects and Coefficients for Track Width (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.196217	0.000507	387.29	0.000
Piezo cable	-0.013575	-0.006788	0.000507	-13.40	0.000
Piezo Coupling holder	-0.003366	-0.001683	0.000507	-3.32	0.002
Piezo Controller Revision	-0.006834	-0.003417	0.000507	-6.74	0.000

S = 0.00351009 PRESS = 0.000645157
R-Sq = 84.29% R-Sq(pred) = 81.30% R-Sq(adj) = 83.22%

Analysis of Variance for Track Width (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0.00290792	0.00290792	0.00096931	78.67	0.000
Residual Error	44	0.00054211	0.00054211	0.00001232		
Lack of Fit	4	0.00004329	0.00004329	0.00001082	0.87	0.492
Pure Error	40	0.00049882	0.00049882	0.00001247		
Total	47	0.00345003				

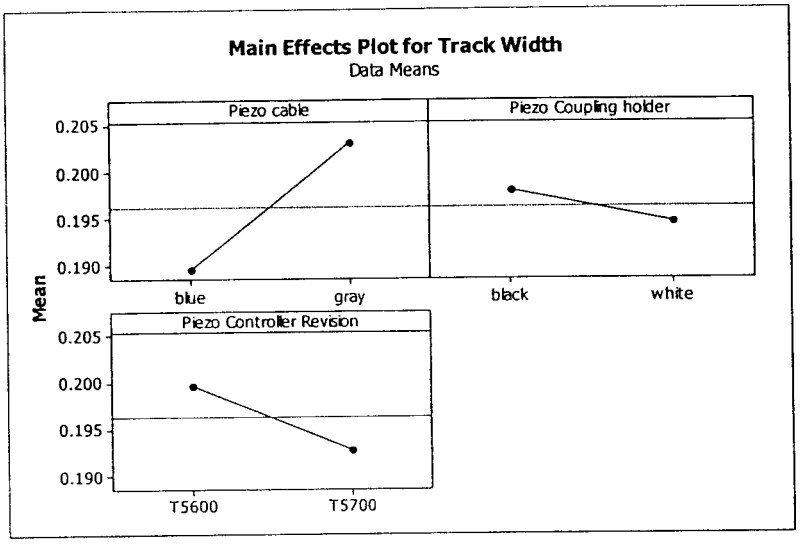
ภาพที่ 4-69 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบ 2k แฟคทอเรียลหลังลดรูป

เมื่อพิจารณาค่า P-Value ของปัจจัยหลักแต่ละตัวพบว่าค่า P-Value ของปัจจัยหลักทุกตัวมีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยหลักทุกตัวมีผลต่อค่า Track Width อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Track Width และปัจจัยทั้งหมดที่มีผลต่อค่า Track Width อย่างมีนัยสำคัญได้ตามสมการที่ 4-1

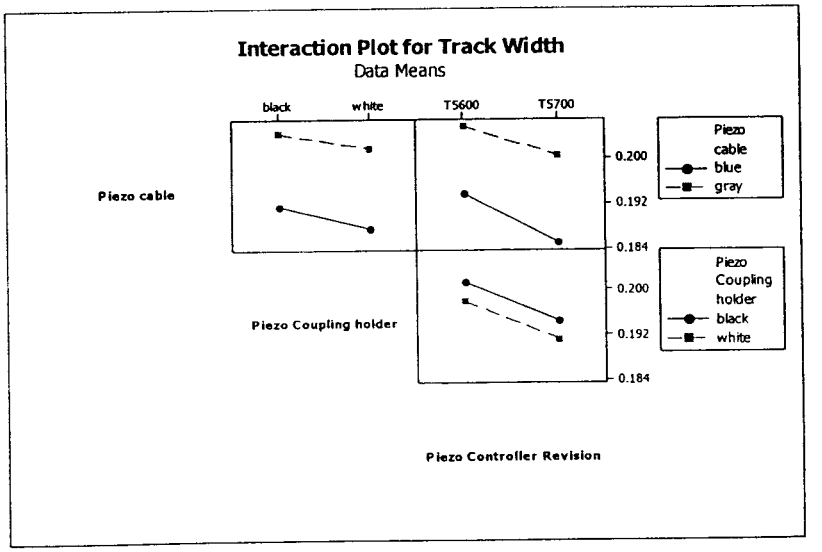
Track Width = 0.196217-0.006788Piezo cable -0.001683Piezo Coupling holder (4-1)
-0.003417Piezo Controller Revision

ซึ่งเป็นสมการของรูปของตัวแปรรหัส (Coded Variables) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Track Width กับ Piezo cable, Piezo Coupling Holder และ Piezo Controller Revision ซึ่งสามารถคำนวณค่า Track Width ณ ค่าที่กำหนดในปัจจุบันของปัจจัยทั้งสาม โดยทำ

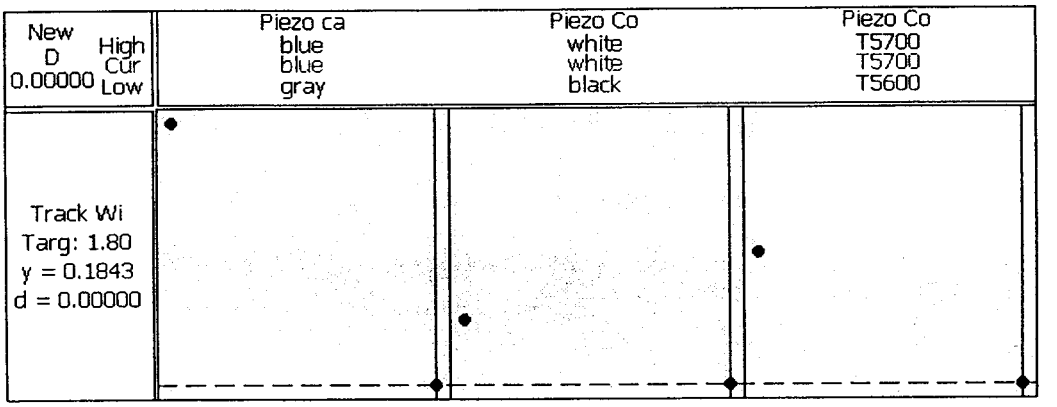
การแปลงตัวแปรรหัส (Coded Variable) ให้เป็นตัวแปรธรรมชาติ (Natural Variables) จากการวิเคราะห์ภาพที่ 4-70 และภาพที่ 4-71 ซึ่งแสดงผลของอิทธิพลหลักของปัจจัยพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และอิทธิพลร่วมของปัจจัยที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับผลการแสดงพื้นผิวโค้งไม่สามารถแสดงได้เนื่องจากปัจจัยเป็นแบบคุณลักษณะเชิงคุณภาพ (Attribute Characteristics) จึงทำการศึกษาบริเวณที่จะทำให้ค่า Track Width ดีที่สุด โดยใช้โปรแกรม Minitab Release 15.00 ภาพที่ 4-72 ในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 4-70 ผลของอิทธิพลหลักโดยกราฟ Main Effect Plot



ภาพที่ 4-71 ผลของอิทธิพลร่วมโดยกราฟ Interaction Plot



ภาพที่ 4-72 ผลการหาค่าเหมาะสมผ่านการทดลอง

ซึ่งจากสมการ 4.1 สามารถนำไปหาค่า Track Width ที่ให้ค่าใกล้เป้าหมายคือ 0.18 และจากภาพที่ 4-73 จะได้ว่า Track Width เท่ากับ 0.1843 ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เป้าหมายที่สุดโดยการติดตั้ง Piezo Cable สีฟ้า (Blue), Piezo Coupling Holder สีขาว (White) และ Piezo Controller Revision รุ่น T5700

ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในเฟสการปรับปรุงนี้ เป็นการประยุกต์วิธีการแก้ไขปัญหาหลังจากค้นหาต้นตอของสาเหตุของปัญหาได้แล้วและพิสูจน์ให้เห็นอย่างชัดเจนว่าสามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างแท้จริง เริ่มด้วยแนวทางการประยุกต์แนวทางการแก้ไขปัญหา (Apply Solution Techniques), ประเมินผลการปรับปรุง (Evaluate the Result of Improvement) และสร้างสายธารแห่งคุณค่าหลังปรับปรุง (Future Value Stream Map)

1. การประยุกต์แนวทางการแก้ไขปัญหา (Apply Solution Techniques)

ขั้นตอนนี้เป็นการประยุกต์แนวทางการแก้ไขปัญหา เพื่อกำจัดความสูญเปล่า 2 ประการ ดังนี้

1.1 การประยุกต์แนวทางการแก้ไขปัญหาความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากวัดซ้ำ (Defect)

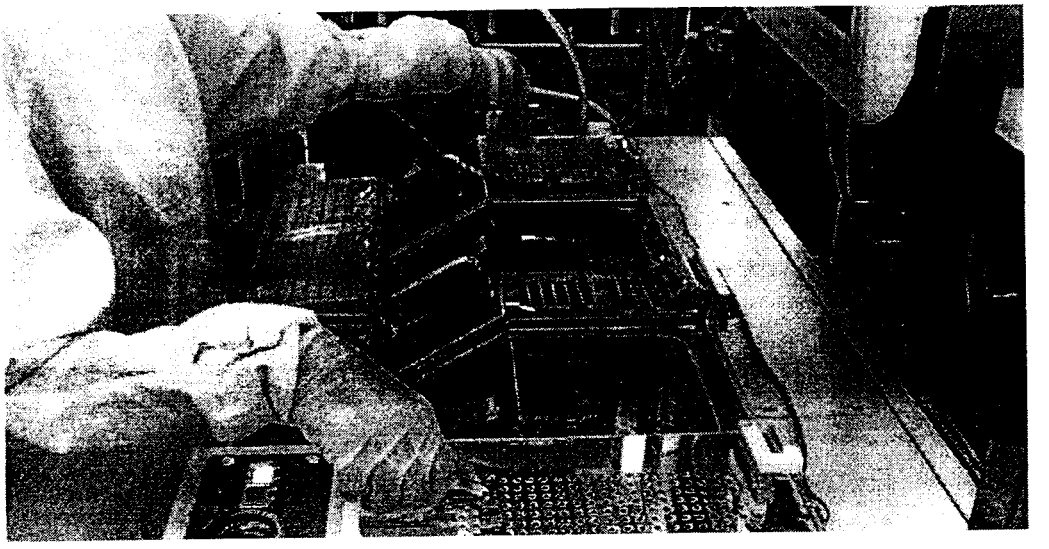
จากผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบปัจจัยวิกฤตหรือต้นตอที่ส่งผลกระทบต่อค่า Track Width จึงมีการประยุกต์แนวทางการแก้ไขปัญหา ดังตารางที่ 4-18

ตารางที่ 4-18 การประยุกต์แนวทางการแก้ไขปัญหา

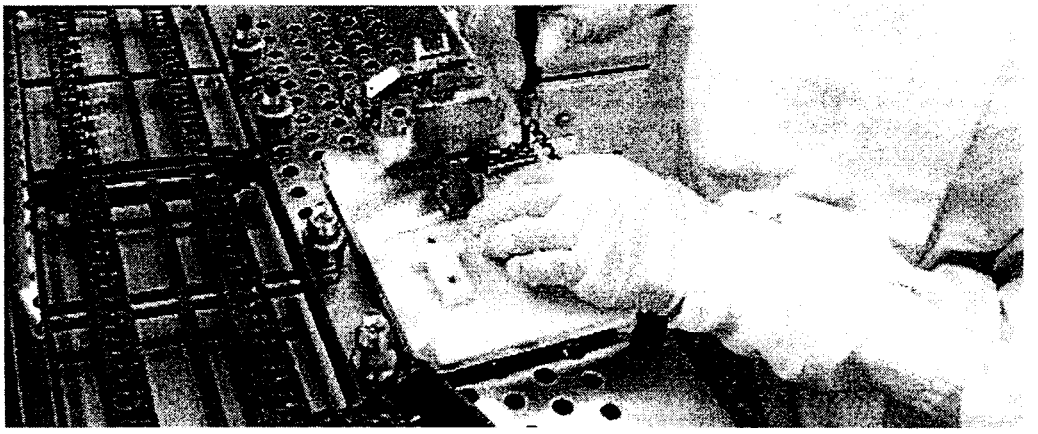
ลำดับของปัจจัย	KPIVs	วิธีการแก้ไขปัญหา
1	Piezo cable	สีฟ้า (blue)
2	Piezo controller Version	รุ่น T5700
3	Piezo coupling holder	สีขาว (White)

1.2 การประยุกต์แนวทางการแก้ไขปัญหาความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากการรอคอย (Waiting)

ดำเนินการโดยปรับปรุงอุปกรณ์พักฟิกเจอร์เพิ่มเติมเข้ากับสแตนโหลด-อันโหลด แล้วรวมกิจกรรมทั้ง 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนที่ 2 และ 6 เข้าด้วยกัน ผลการประยุกต์แนวทางการแก้ไขปัญหาข้างต้น ทำให้กิจกรรมในขั้นตอนที่ 2 และ 6 รวมกันโดยมือขวาถือฟิกเจอร์ A และมือซ้ายถือฟิกเจอร์ B ดังภาพที่ 4-74 และภาพที่ 4-75 เป็นการแสดงวิธีการโหลด-อันโหลดชิ้นงาน หลังปรับปรุง



ภาพที่ 4-73 การรวมกิจกรรมขั้นตอนที่ 2 และ 6



ภาพที่ 4-74 วิธีการโหลด-อันโหลดชิ้นงาน หลังปรับปรุง

2. การประเมินผลการปรับปรุง (Evaluate the Result of Improvement)

ขั้นตอนนี้เป็นการประเมินผลการประยุกต์วิธีการแก้ไขปัญหา แยกเป็นสองส่วนดังนี้

2.1 การประเมินผลการปรับปรุงในส่วนความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากวัดซ้ำ (Defect) ประเมินผลด้วยการวิเคราะห์ระบบการวัดหลังปรับปรุง (Measurement System Analysis After Improvement), วัดความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุง (Process Capability After Improvement) และยืนยันผลการปรับปรุง (Confirm Result of Improvement) ตามลำดับ

2.1.1 การวิเคราะห์ระบบการวัดหลังปรับปรุง

ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่น (Repeatability and Reproducibility) **ของ** Track Width **มีดังนี้**

- **ทำการเลือกชิ้นงานจากกระบวนผลิตมา 10 ตัวอย่าง โดยงานด้านบนและล่าง** อย่างละ 5 ตัว อย่าง โดยให้ครอบคลุมตลอดช่วงย่านวัด ของระบบวัด แล้วทำการกำหนดหมายเลข

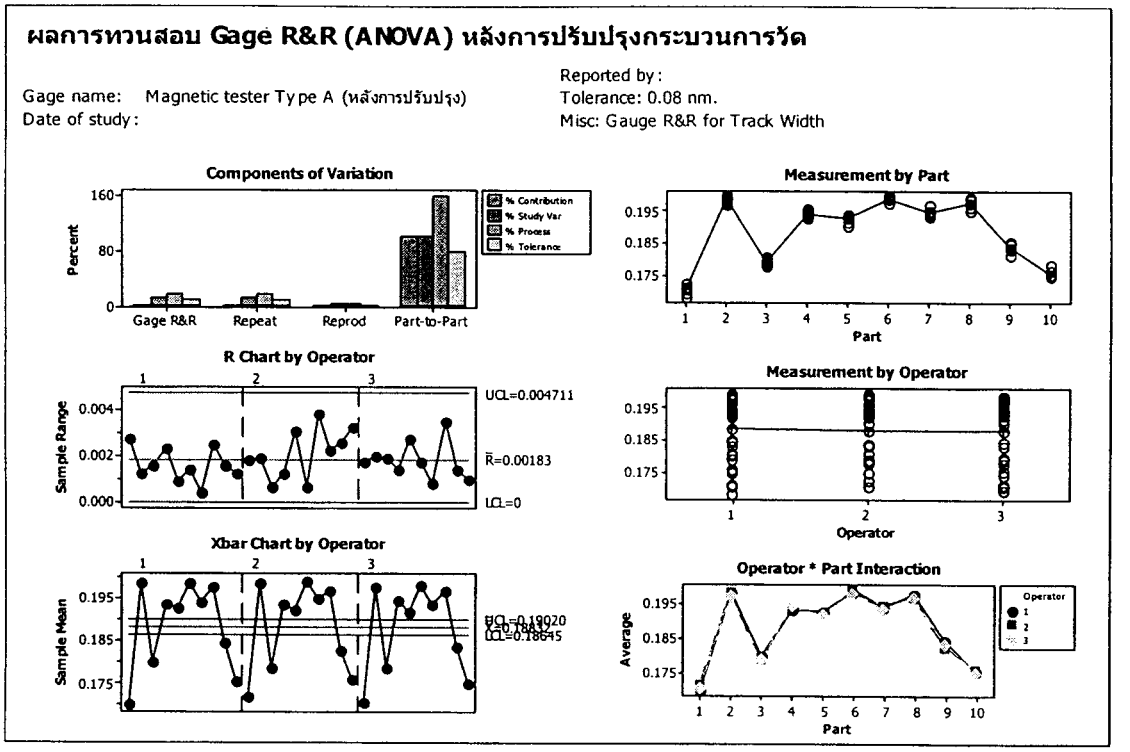
- มอบหมายให้พนักงานของตำแหน่งการวัดค่าสัญญาณ (Magnetic Test) ที่ได้รับการอบรมแล้ว และทำงานประจำทุกคนจำนวน 3 คน (จากงานกลุ่มที่ 1)

- พนักงานแต่ละคนทำการวัดชิ้นงานทั้ง 10 ตัวอย่าง คนละ 3 รอบ โดยเริ่มจากพนักงานคนที่ 1 วัดครั้งที่ 1, คนที่ 2 วัดครั้งที่ 1, คนที่ 3 วัดครั้งที่ 1 แล้ววนมาคนที่ 1 วัดครั้งที่ 2, คนที่ 2 วัดครั้งที่ 2, คนที่ 3 วัดครั้งที่ 2 แล้ววนมาคนที่ 1 วัดครั้งที่ 3, คนที่ 2 วัดครั้งที่ 3, คนที่ 3 วัดครั้งที่ 3 จนครบ ในเครื่องเดียวกันและจิ๊กเดียวกันเท่านั้น เพื่อทำให้สามารถหาค่าประมาณของความผันแปรอันเนื่องมาจากปัจจัยที่ไม่ได้รับการควบคุมในการทดลองได้ อย่างสุ่ม แสดงผลดังตารางที่ 4-19 วิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Minitab Release 15.00

ตารางที่ 4-19 ผลการทดลองคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัด

Part	พนักงานคนที่ 1			พนักงานคนที่ 2			พนักงานคนที่ 3		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	0.1706	0.1710	0.1683	0.1705	0.1722	0.1723	0.1695	0.1712	0.1704
2	0.1993	0.1990	0.1981	0.1987	0.1995	0.1976	0.1986	0.1972	0.1966
3	0.1802	0.1809	0.1793	0.1790	0.1784	0.1785	0.1796	0.1777	0.1788
4	0.1945	0.1941	0.1922	0.1942	0.1938	0.1930	0.1939	0.1946	0.1953
5	0.1925	0.1934	0.1927	0.1925	0.1904	0.1935	0.1904	0.1931	0.1915
6	0.1975	0.1987	0.1989	0.1989	0.1989	0.1995	0.1991	0.1982	0.1974
7	0.1937	0.1937	0.1941	0.1968	0.1946	0.1930	0.1934	0.1938	0.1942
8	0.1988	0.1963	0.1984	0.1963	0.1960	0.1982	0.1949	0.1975	0.1984
9	0.1851	0.1835	0.1845	0.1836	0.1810	0.1830	0.1832	0.1831	0.1845
10	0.1763	0.1754	0.1751	0.1780	0.1751	0.1748	0.1745	0.1752	0.1755

จากตารางที่ 4-19 นำมาวิเคราะห์โดยโปรแกรม Minitab (Gage R&R Study (Crossed) โดยวิธี ANOVA) ซึ่งได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4-75 และ ภาพที่4-76 โดยวิเคราะห์ผลตามลำดับดังนี้



ภาพที่ 4-75 ผลการทวนสอบข้อมูลของระบบการวัดค่า Track Width หลังการปรับปรุงกระบวนการ

จากภาพที่ 4-75 จะต้องพิจารณาดังนี้

1. แผนภูมิควบคุม R แสดงว่าระบบการวัดของพนักงานทั้งสามคน มีค่าวัดที่มีความสม่ำเสมอดี คือจุดที่พล็อตทุกจุดในกราฟอยู่ภายในพิกัดควบคุม

2. แผนภูมิควบคุม Xbar แสดงว่า ความผันแปรจากระบบการวัดมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความผันแปรจากสาเหตุของระบบผลิต ดังนั้นข้อมูลที่วัดได้สามารถใช้ประมาณความผันแปรของกระบวนการได้ โดยต้องพิจารณาค่า ndc (Number of Distinct Categories) จากส่วน Session ประ-กอบด้วย

3. Operator*Part Interaction แผนภาพแสดงอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานและชิ้นงาน แสดงว่า พนักงานวัดไม่มีอิทธิพลร่วมกับชิ้นงานเนื่องจากกราฟไม่มีการตัดกันอย่างเด่นชัด

4. Measurement by Operator กราฟที่พลอตระหว่างพนักงานที่ทดลองแสดงว่าพนักงานทั้ง 3 คนไม่แตก ต่างกันเนื่องจากกราฟไม่แสดงการเหลื่อมกันอย่างเด่นชัด แต่ต้องพิจารณาค่า P-Value ใน Session ยืนยัน

5. Measurement by Part กราฟที่พลอตระหว่างชิ้นงาน แสดงว่า ชิ้นงานที่นำมาทดลองเป็นอย่างสุ่ม ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

MSA

MSE

Gage R&R Study - ANOVA Method
Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	9	0.0085159	0.0009462	717.559	0.000
Operator	2	0.0000039	0.0000019	1.465	0.257
Part * Operator	18	0.0000237	0.0000013	1.180	0.306
Repeatability	60	0.0000670	0.0000011		
Total	89	0.0086105			

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	9	0.0085159	0.0009462	813.102	0.000
Operator	2	0.0000039	0.0000019	1.660	0.197
Repeatability	78	0.0000908	0.0000012		
Total	89	0.0086105			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000012	1.12
Repeatability	0.0000012	1.10
Reproducibility	0.0000000	0.02
Operator	0.0000000	0.02
Part-To-Part	0.0001050	98.88
Total Variation	0.0001062	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)	%Process (SV/Proc)
Total Gage R&R	0.0010906	0.0065434	10.58	8.18	16.78
Repeatability	0.0010788	0.0064725	10.47	8.09	16.60
Reproducibility	0.0001600	0.0009603	1.55	1.20	2.46
Operator	0.0001600	0.0009603	1.55	1.20	2.46
Part-To-Part	0.0102472	0.0614833	99.44	76.85	157.65
Total Variation	0.0103051	0.0618305	100.00	77.29	158.54

Number of Distinct Categories = 13

ภาพที่ 4-76 ผลลัพธ์ช่วง Session ของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด Track Width

ประเมินผลระบบการวัด (Measurement System Evaluation: MSE) จากภาพที่ 4-77 จะต้องพิจารณาดังนี้

1. Number of Distinct Categories = 13 หมายความว่า ระบบการวัดสามารถแยกข้อมูลที่วัดได้ออกเป็น 13 ประเภทที่มีความแตกต่างกัน (ผ่านเกณฑ์พิจารณาคือ ndc มากกว่า 5) ซึ่งแสดงว่าข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดใช้ประมาณค่าความผันแปรจากกระบวนการได้

2. %Study Var ประเมินผลเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (Total Variation: TV) หรือ P/TV จะพบว่าถ้าความผันแปรของกระบวนการที่ประเมินได้จากข้อมูลวัด

ทั้งหมด (TV) เท่ากับ 100 หน่วยแล้ว จะเป็นความผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการหรือชิ้นงาน 99.44 หน่วย และจากสาเหตุจากระบบวัดเครื่อง (จากสาเหตุ Repeatability) 10.58 หน่วย โดยถ้ามีค่ามากกว่า 10% แต่น้อยกว่า 30% ซึ่งสามารถยอมรับได้

3. %Tolerance ประเมินผลเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะ (Tolerance: T) หรือ P/T จะพบว่าถ้าความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะเท่ากับ 100 หน่วยแล้ว จะเป็นความผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการหรือชิ้นงาน 76.85 หน่วย และจากสาเหตุจากระบบวัดด้วยเครื่อง 8.18 หน่วย โดยเป็นความผันแปรจากสาเหตุ Repeatability

วิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) จากภาพที่ 4-76 พิจารณาดังนี้

1. Variance หมายถึงความผันแปรต่อหน่วยในประชากร โดยถ้าความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมดมีค่า 0.0001062 หน่วย^2 จะมาจากความแปรปรวนของกระบวนการหรือชิ้นงาน 0.0001050 หน่วย^2 และความแปรปรวนของกระบวนการวัดด้วยเครื่อง 0.0000012 หน่วย^2

2. ค่า %Contribution เท่ากับ 1.12% หมายความว่า ถ้าความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมดมีค่า 100 หน่วย^2 จะมาจากความแปรปรวนของกระบวนการผลิตหรือชิ้นงาน 98.88 หน่วย^2 และความแปรปรวนของกระบวนการวัดด้วยเครื่อง 1.12 หน่วย^2 ซึ่งโดยทั่วไปเกณฑ์ในการยอมรับอยู่ที่น้อยกว่า 5% ดังนั้นแสดงว่าระบบการวัดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

3. P-Value Interaction Effect (Part*Operator) = 0.306 มีค่ามาก แสดงว่า F มีค่าน้อย แสดงว่าอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานและชิ้นงานไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 จึงทำการตัดทิ้งได้

4. P-Value Main Effect (Operator) = 0.257 มีค่ามาก แสดงว่า F มีค่าน้อย แสดงว่าพนักงานไม่มีผลต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัดคือไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

5. P-Value Main Effect (Part) = 0.000 มีค่าน้อย แสดงว่า F มีค่ามาก แสดงว่าชิ้นงานมีผลต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด คือมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

สรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัดหลังการปรับปรุง พบว่าเครื่องจักรประเภท A มีคุณสมบัติ ผ่านเกณฑ์และสามารถให้การยอมรับความผันแปรของกระบวนการวัดได้ กล่าวคือ ความผันแปรของเครื่องจักรไม่มีผลต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด

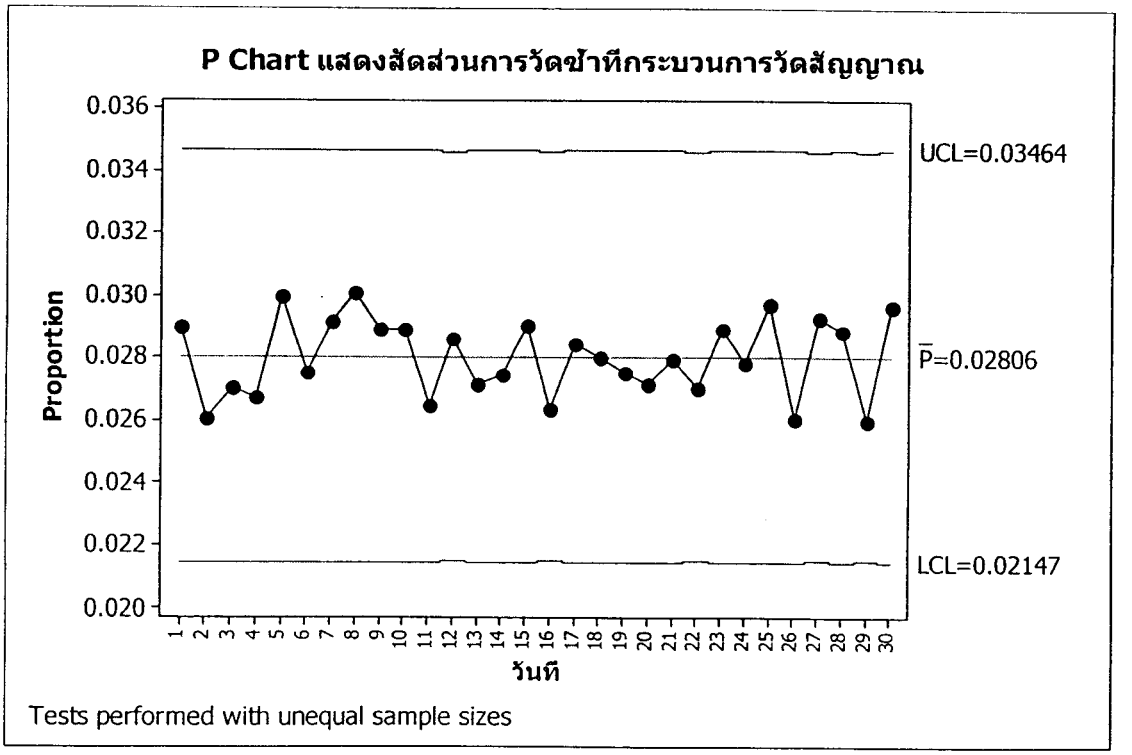
2.1.2 การวัดความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุง

หลังการปรับปรุงกระบวนการได้ทำการศึกษาด้วยการวัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการสะท้อนด้วยค่า Process Capability (Cpk) และแสดงถึงค่าการเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่งของกระบวนการ

จากข้อมูลสถิติของจำนวนการวัดซ้ำที่เกิดขึ้นหลังการปรับปรุงกระบวนการเป็นเวลา 30 วัน ดังตารางที่ 4-20 สามารถนำมาเขียนเป็นแผนภูมิควบคุมสัด ส่วนของเสีย (p Chart) ดังภาพที่ 4-77 ได้เท่ากับ $\bar{p} = 0.0281$

ตารางที่ 4-20 ข้อมูลสถิติของจำนวนการวัดซ้ำที่เกิดขึ้น เป็นเวลา 30 วัน

วันที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Input	5652	5634	5662	5652	5662	5664	5615	5639	5662	5627	5663	5690	5633	5641	5636
จำนวนวัดซ้ำ	164	147	153	151	170	156	164	170	164	163	150	163	153	155	164
วันที่	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Input	5693	5618	5667	5625	5664	5612	5695	5631	5602	5616	5643	5691	5644	5686	5659
จำนวนวัดซ้ำ	150	160	159	155	154	157	154	163	156	167	147	167	163	148	168



ภาพที่ 4-77 กราฟ P Chart สัดส่วนการวัดซ้ำที่กระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก

ในการประเมินความสามารถด้านศักยภาพจะถือว่ากระบวนการมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะจึงสามารถทำการเทียบเคียงด้วยการให้ค่าสัดส่วนของเสียเท่ากันที่แต่ละด้านของการแจกแจง ในที่นี้จะเท่ากับ 0.014 ค่าที่ได้เมื่อทำการเปิดหาค่า Z_{Bench} จากตารางการแจกแจงแบบปกติมาตรฐานจะได้ค่า $Z_{Bench} = 2.196$

จากสูตร ดัชนีความสามารถเชิงศักยภาพของกระบวนการระยะยาว

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

แทนค่า

$$P_{pBench} = \frac{1}{3}(2.196)$$

$$= 0.732$$

เมื่อทำการพิจารณาดัชนีศักยภาพของกระบวนการระยะยาว (Pp Bench) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.732 ซึ่งน้อยกว่า 1.33 แสดงว่าความสามารถของกระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็กมีความผันแปรสูงและมีความมั่นคงน้อย แต่เมื่อเปรียบเทียบดัชนีศักยภาพของกระบวนการระยะยาว ก่อนดำเนินงานแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า พบว่าดัชนีศักยภาพของกระบวนการระยะยาวมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม ดังตารางที่ 4-20 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสามารถของกระบวนการวัดนั้นมีความผันแปรของกระบวนการลดลงและความมั่นคงเพิ่มขึ้นจากเดิม

สำหรับการประเมินความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการจะพิจารณาโดยถือว่าผลิตภัณฑ์ทั้งหมดอยู่ที่ด้านใดด้านหนึ่งของการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งเมื่อเปิดจากตารางการแจกแจงแบบปกติ จะได้ค่า $Z_{Bench} = 1.910$

จากสูตร ดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว

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

แทนค่า

$$P_{PK\,Bench} = \frac{1}{3}(1.910)$$

$$= 0.637$$

เมื่อทำการพิจารณาดัชนีศักยภาพของกระบวนการระยะยาว (Ppk Bench) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.637 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.33 แสดงว่ามีการเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่งกระบวนการมีความผันแปรอยู่ เมื่อเปรียบเทียบดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว ก่อนการดำเนินงานแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า พบว่าดัชนี

ศักยภาพของกระบวนการระยะยาวมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม ดังตารางที่ 4-21 ซึ่งแสดงว่าหลังทำการปรับปรุงกระบวนการสามารถลดความผันแปรของกระบวนการได้

ตารางที่ 4-21 การเปรียบเทียบดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ

	$P_{P\,Bench}$	$P_{PK\,Bench}$
ค่ามาตราฐาน	มากกว่า 1.33	มากกว่า 1.33
ค่าที่คำนวนได้ (หลังปรับปรุง)	0.732	0.637
ค่าที่คำนวนได้ (ก่อนปรับปรุง)	0.552	0.431

1. การประเมินผลการปรับปรุงในส่วนความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากการรอคอย (Waiting)

ประเมินผลด้วยแผนภูมิสองมือ (Left Hand / Right Hand) ดังภาพที่ 4-79 อีกครั้ง ผลการประเมิน พบว่าหลักการประยุกต์อุปกรณ์พักฟิกเจอร์และรวมกิจกรรมขั้นตอนที่ 2 และ 6 ทำให้ เวลาลดลง 2.43 วินาที

คำนวนเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพ หลังกำจัดความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากการรอคอยดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{ไซเคิลไทม์ขั้นตอนที่ 2-11 หลังปรับปรุง - ไซเคิลไทม์ขั้นตอนที่ 2-11 ก่อนปรับปรุง}}{\text{ไซเคิลไทม์ขั้นตอนที่ 2-11 ก่อนปรับปรุง}}$$

$$= (33.92-31.49)/33.92$$

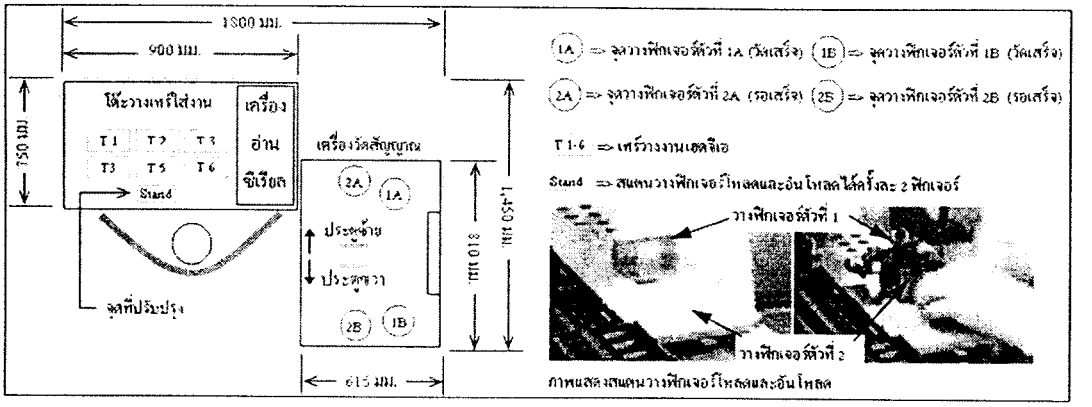
$$= 7.16\%$$

ชาร์ทสองมือ (LEFT-HAND / RIGHT-HAND CHART)

สรุป

	ข้องุ้มือ		นิ้วหลายอ		แขนส่วน	
	มือซ้าย	มือขวา	มือซ้าย	มือขวา	มือซ้าย	มือขวา
การปฏิบัติงาน ○	1	5	1	4	-	-
การเคลื่อนที่ ⇨	3	5	3	4	-	1
การตรวจสอบ □	-	-	-	-	-	-
การรอ D	2	1	1	1	1	-
การถือจับไว้ ▽	5	-	5	-	-	-
ระยะทาง (ซม.)	155	300	155	200	-	100

สรุปชาร์ทโดย นายวิรัตน์ กังวานสมาคม์	หน้าที่ 1 จาก 1
กิจกรรม : การทำงานที่กระบวนการวัดสัญญาณ	รายละเอียดของ
หมายเหตุ : วิธีนำเสนอ สแตนสามารถวางฟิกเจอร์โหลดและอันโหลดได้ครั้งละ 2 ฟิกเจอร์	__วิธีการปัจจุบัน ✓ วิธีการที่นำเสนอ



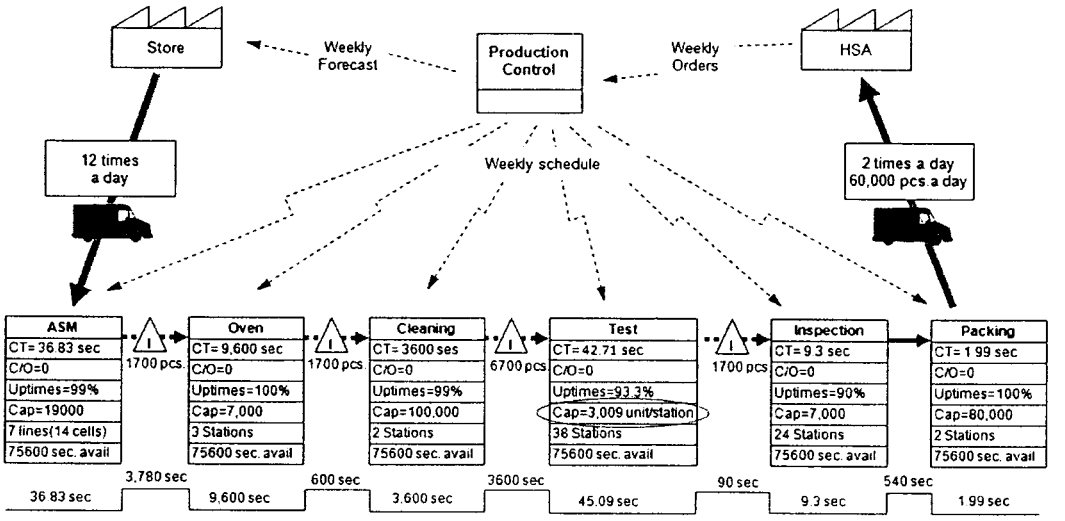
ภาพแสดงสแตนวางฟิกเจอร์โหลดและอันโหลด

	กิจกรรมมือซ้าย	ระยะทาง (ซม.)	การปฏิบัติงาน	การเคลื่อนที่	การตรวจสอบ	การรอ	การถือจับไว้	การปฏิบัติงาน	การเคลื่อนที่	การตรวจสอบ	การรอ	การถือจับไว้	ระยะทาง (ซม.)	กิจกรรมมือขวา
1	เปิดประตูเครื่องข้างซ้าย นำฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่งในเครื่องออกและนำ ฟิกเจอร์ชุดที่สองเข้าเครื่อง ปิดประตูเครื่องด้วยมือซ้าย	30	○	⇨	□	D	▽	○	⇨	□	D	▽	30	เปิดประตูเครื่องข้างขวา นำฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่งในเครื่องออกและนำ ฟิกเจอร์ชุดที่สองเข้าเครื่อง ปิดประตูเครื่องด้วยมือขวา
2	เคลื่อนย้ายฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง A มาที่สแตนอันโหลด	80	○	⇨	□	D	▽	○	⇨	□	D	▽		เคลื่อนย้ายฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง B มาที่สแตนอันโหลด
3	จับฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง A บนสแตน		○	⇨	□	D	▽	○	⇨	□	D	▽	20	จับแอร์สวิตเซอร์ แล้วโหลดเอดจิเอออกไปวางที่เทร์
4	จับฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง A บนสแตน		○	⇨	□	D	▽	○	⇨	□	D	▽	15	โหลดเอดจิเอใหม่ จากเทร์เข้าฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง A
5	ผ่านฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง A ไปมือขวา	15	○	⇨	□	D	▽	○	⇨	□	D	▽	20	กลับฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง A เข้าเครื่องอ่านซิเรียล
-	ว่าง		○	⇨	□	D	▽	○	⇨	□	D	▽		
6	จับฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง B บนสแตน		○	⇨	□	D	▽	○	⇨	□	D	▽	20	จับแอร์สวิตเซอร์ แล้วโหลดเอดจิเอออกมาวางที่เทร์
7	จับฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง B บนสแตน		○	⇨	□	D	▽	○	⇨	□	D	▽	15	โหลดเอดจิเอใหม่ จากเทร์เข้าฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง B
8	ถือฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง B	15	○	⇨	□	D	▽	○	⇨	□	D	▽	30	นำฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง A ออกจากเครื่องอ่านซิเรียล ไปวางบนเครื่องวัดสัญญาณ
9	ผ่านฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง B ไปมือขวา	15	○	⇨	□	D	▽	○	⇨	□	D	▽	20	กลับฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง B เข้าเครื่องอ่านซิเรียล
10	ว่าง		○	⇨	□	D	▽	○	⇨	□	D	▽	30	หยิบฟิกเจอร์ชุดที่หนึ่ง B ออกจากเครื่องอ่านซิเรียล มาที่เครื่องวัด

ภาพที่ 4-78 ชาร์ทการทำงานสองมือของวิธีที่นำเสนอ

3. การกำหนดสายธารแห่งคุณค่าหลังปรับปรุง (Value Stream Map after improvement)

ขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดสายธารแห่งคุณค่าหลังปรับปรุง ดังภาพที่ 4-79 ได้มาจากผลการทดลองในแต่ละกระบวนการจะมีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้มองเห็นกระบวนการมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น สามารถแสดงได้ระหว่างของแต่ละกระบวนการ



ภาพที่ 4-79 สายธารแห่งคุณค่าหลังการปรับปรุง

ภาพรวมจากแผนผังสายธารแห่งคุณค่าก่อนการปรับปรุง

- เวลาในการผลิตที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า (Non Value Added Time)

  = 3,780 + 600 + 3,600 + 90 + 540 = 8,610 วินาที

- เวลาในการผลิตที่ก่อให้เกิดมูลค่า (Value Added Time)

  = 36.83 + 9,600 + 3,600 + 42.71 + 9.3 + 1.99 = 13,290 วินาที

- เวลาในการผลิตรวมทั้งหมด (Total Flow Time)

  = 8,610 + 13,290 = 21,900 วินาที

ทีมงานได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในสถานะปัจจุบันเปรียบเทียบการผลิตจริงกับแผนการผลิตหรือข้อกำหนดจากลูกค้าในแต่ละกระบวนการ พบว่าที่กระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก (Test) มีการปรับปรุงดังนี้

- ปริมาณการผลิต (ตัว)

  1) แผนการผลิต: 3,000 ตัว

2) ผลิตได้จริง: 3,009 ตัว

สรุป ปริมาณการผลิตสูงกว่าแผน 9 ตัว

- รอบเวลาในการผลิต (วินาที)

1) รอบเวลาในการผลิตที่กำหนด: 42.84 วินาที

2) รอบเวลาในการผลิตที่ใช้: 42.71 วินาที

3) สรุปรอบเวลาในการผลิตที่ใช้น้อยกว่าที่กำหนด 0.73 วินาที

สรุปผลการปรับปรุง

จากการปรับปรุงด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า และลีน สามารถคำนวนประสิทธิภาพผลผลิตที่เพิ่มขึ้นได้ดังนี้

หาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่เพิ่มขึ้น หลังปรับปรุงด้วยการลดความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากวัดซ้ำ

$$\text{ประสิทธิภาพผลผลิต} = \frac{\text{จำนวนตัวต่อวันต่อเครื่องที่ผลิตได้หลังปรับปรุง - จำนวนตัวต่อวันต่อเครื่องที่ผลิตได้ก่อนปรับปรุง}}{\text{จำนวนตัวต่อวันต่อเครื่องที่ผลิตได้ก่อนปรับปรุง}}$$

$$= (2893 - 2797) / 2797$$

$$= 3.43\%$$

หาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่เพิ่มขึ้น หลังปรับปรุงด้วยการลดความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากการรอคอย

$$\text{ประสิทธิภาพผลผลิต} = \frac{\text{จำนวนตัวต่อวันต่อเครื่องที่ผลิตได้หลังปรับปรุง - จำนวนตัวต่อวันต่อเครื่องที่ผลิตได้ก่อนปรับปรุง}}{\text{จำนวนตัวต่อวันต่อเครื่องที่ผลิตได้ก่อนปรับปรุง}}$$

$$= (3009 - 2893) / 3009$$

$$= 3.86\%$$

จากการประยุกต์แนวทางการแก้ไขปัญหา (Apply Solution Techniques) ที่เหมาะสมที่ทำให้ค่า Track Width ดีที่สุด คือการติดตั้ง Piezo Cable สีฟ้า (Blue), Piezo Coupling Holder สีขาว (White) และ Piezo Controller Revision รุ่น T5700 ซึ่งหลังจากการยืนยันผลการทดลองในส่วนการวิเคราะห์ระบบการวัดหลังการปรับปรุง พบว่าเครื่องจักรประเภท A มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์และสามารถให้การยอมรับความผันแปรของกระบวนการวัดได้ กล่าวคือ ความผันแปรของเครื่องจักรไม่มีผลต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัดและความสามารถกระบวนการของการวัดสัญญาณซ้ำเพิ่มขึ้น โดย Pp Bench ปรับปรุงขึ้นจาก 0.552 เป็น 0.732 และ Ppk Bench ปรับปรุงขึ้นจาก 0.431 เป็น 0.637 และเวลาในการทำงานลดลงหลังจากจำกัดกิจกรรมที่

ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มในลดขั้นตอนหยิบชั้นงานจากสองขั้นตอนเหลือหนึ่งขั้นตอน โดยการเพิ่มอุปกรณ์พักฟิกเจอร์

ขั้นตอนต่อไปเป็นการควบคุมปัจจัยป้อนเข้าทั้งสามปัจจัย ที่ส่งผลต่อความผันแปรของ Track Width อย่างมีนัยสำคัญทั้งสามปัจจัย ได้แก่ Piezo cable, Piezo Coupling holder และ Piezo Controller Revision และควบคุมปัจจัยป้อนเข้า ที่ส่งผลต่อกิจกรรมการทำงานคืออุปกรณ์พักฟิกเจอร์

ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ (C: Control)

ขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมปัจจัยป้อนเข้าทั้งสี่ปัจจัย ให้ตรงตามการปรับตั้งค่าที่ได้จากการดำเนินงาน และถ้ามีปัจจัยตัวใดตัวหนึ่งมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ปรับตั้งไว้จะต้องรู้ถึงความผิดปกติของปัจจัยนั้นก่อน และทำการแก้ไขในทันที ก่อนที่จะนำปัจจัยป้อนเข้านั้นเข้าสู่กระบวนการผลิต เฟสการควบคุมเริ่มด้วยทำแผนควบคุมกระบวนการ(Control plan), ติดตามผลการควบคุม (Monitor Performance) และส่งมอบโครงการให้กับเจ้าของพื้นที่ (Project Transfer)

การควบคุมแบ่งตามปัจจัยได้ดังนี้

1. Piezo Cable สีฟ้า (Blue) เป็นสายสัญญาณที่เชื่อมต่อระหว่าง Piezo Controller และ Piezo Stage เครื่องจักรประเภท A จะเปลี่ยนจาการใช้สายสีเทา ซึ่งภายหุ้มด้วยสายป้องกันสัญญาณรบกวน 1 ชั้น (1-Shield Coax Cable) เป็นสายสีฟ้า ซึ่งภายในหุ้มด้วยสายป้องกันสัญญาณรบกวน 2 ชั้น (2-Shields Coax Cable) ซึ่งจากการทดสอบสมมติฐานพบว่าสายป้องกันสัญญาณรบกวน 2 ชั้น มีผลต่อค่า Track Width โดยช่วยลดสัญญาณรบกวน จึงมีการควบคุมโดยมีการตรวจสอบทุก ๆ 3 เดือนต่อครั้ง โดยช่างซ่อมบำรุง เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวติดตั้งภายในเครื่องจักร ผลการตรวจสอบจะบันทึกลงในตาราง Periodical Sheet หากพบว่าอุปกรณ์ดังกล่าวผิดปกติให้ทำการเปลี่ยนแล้วทำการ Correlate เทียบกับเครื่องจักรหลัก

2. Piezo Coupling Holder สีขาว (White) เป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อสายสัญญาณระหว่าง Piezo Cable และ Sensor Cable เครื่องจักรประเภท A จะเปลี่ยนจากแบบสีดำซึ่งทำจากวัสดุที่มีความต้านทานสูง เป็นแบบสีขาวที่ทำจากวัสดุที่มีความต้านทานต่ำลง ซึ่งจากการทดสอบสมมติฐานพบว่ามีผลต่อค่า Track Width โดยช่วยทำให้สัญญาณเสถียรขึ้น จึงมีการควบคุม โดยมีการตรวจสอบทุก ๆ 3 เดือนต่อครั้ง โดยช่างซ่อมบำรุง เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวติดตั้งภายในเครื่องจักร ผลการตรวจสอบจะบันทึกลงในตาราง Periodical Sheet หากพบว่าอุปกรณ์ดังกล่าวผิดปกติให้ทำการเปลี่ยนแล้วทำการ Correlate เทียบกับเครื่องจักรหลัก

3. Piezo Controller Revision รุ่น T5700 เป็นอุปกรณ์ควบคุมระยะการเคลื่อนตัวของเฮดจีเออย่างละเอียด ขณะโหลดงานเข้าดิสก์ โดยเครื่องจักรประเภท A จะเปลี่ยนจากการใช้ Piezo Controller Version T5600 เป็นแบบ Piezo Controller Version T5700 ซึ่งจากการทดสอบสมมติฐานพบว่า Version T5700 มีผลต่อค่า Track Width โดยช่วยลดความแปรปรวนของสัญญาณและค่า Track Width จึงมีการควบคุม โดยมีการตรวจสอบทุก ๆ 3 เดือนต่อครั้ง โดยช่างซ่อมบำรุงเนื่องจากอุปกรณ์ดังติดตั้งภายในเครื่องจักร ผลการตรวจสอบจะบันทึกลงในตาราง Periodical Sheet หากพบว่าอุปกรณ์ดังกล่าวผิดปกติในลักษณะค่าสัญญาณเปลี่ยนไป ให้ทำการเปลี่ยนแล้วทำการ Correlate เทียบกับเครื่องจักรหลัก อย่างไรก็ตามเนื่องจากเครื่องดังกล่าวการปรับตั้งค่าต่าง ๆ ต้องอยู่ภายใต้คำแนะนำจากผู้ผลิตเท่านั้น

4. อุปกรณ์พักฟิกเจอร์ เป็นอุปกรณ์สำหรับพักฟิกเจอร์หลังจากพนักงานเคลื่อนย้ายฟิกเจอร์ A และ B มาอันโหลดงานออกที่สแตน ด้วยมือทั้งสองข้างจากเครื่องจักรที่วัดสัญญาณเสร็จสิ้น

1. การทำแผนควบคุมกระบวนการ (Control Plan)

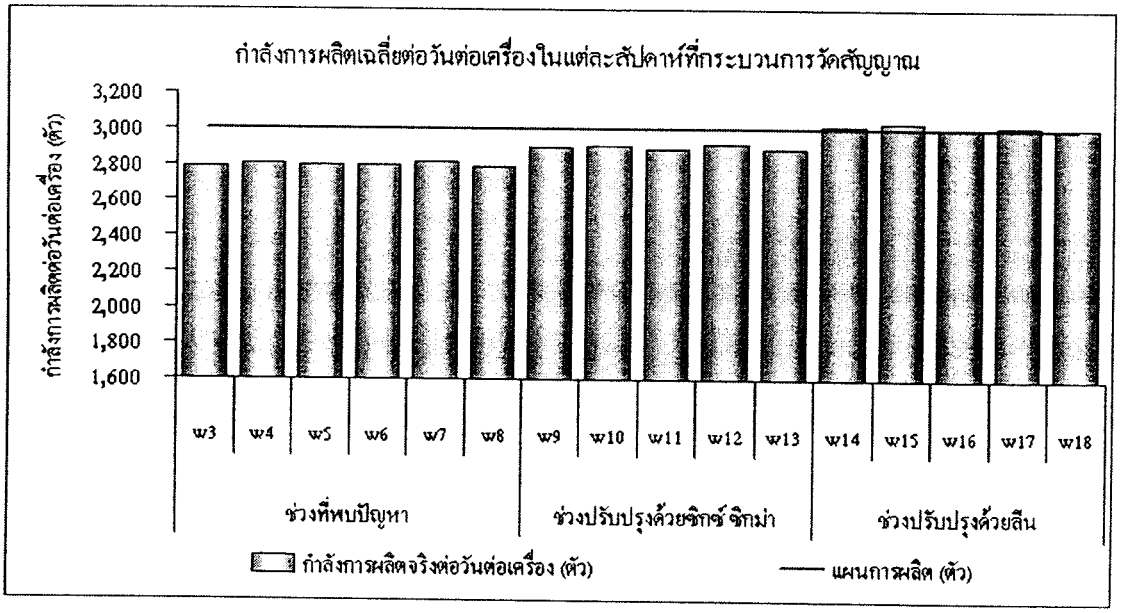
การควบคุมปัจจัยป้อนเข้าทั้งสี่ปัจจัยนั้นสามารถควบคุมผ่านการจัดทำแผนควบคุมกระบวนการ (Control Plan) ดังตารางที่ 4-22

ตารางที่ 4-22 แผนควบคุมของกระบวนการทดสอบสัญญาณเขียน-อ่าน

ขั้นตอน	อุปกรณ์	รายการควบคุม	ข้อกำหนด	วิธีการควบคุม	จำนวนตัวอย่าง	ความถี่	ผู้ตรวจสอบ	แผนการแก้ไข
การตรวจสอบสภาพตามระยะเวลา	Piezo Ccable	สภาพทั่วไป	สีฟ้า (2-Shields Coax Cable)	เช็คชีท	ทุกเครื่อง	ทุก 3 เดือน	ช่าง	Calibrate
การตรวจสอบสภาพตามระยะเวลา	Piezo Coupling Holder	สภาพทั่วไป	สีขาว (ความต้านทานต่ำ)	เช็คชีท	ทุกเครื่อง	ทุก 3 เดือน	ช่าง	Calibrate
การตรวจสอบสภาพตามระยะเวลา	Piezo Controller Revision	สภาพทั่วไป	รุ่น T5700	เช็คชีท	ทุกเครื่อง	ทุก 3 เดือน	ช่าง	Calibrate
การตรวจสอบสภาพตามระยะเวลา	อุปกรณ์พักฟิกเจอร์(เพอมาลัค (Pomalux)	สภาพทั่วไป	ไม่หลุด, หลวมหรือโยก	เช็คชีท	ทุกเครื่อง	ทุกวัน	พนักงาน	เรียกช่าง

2. ติดตามผลการควบคุม (Monitor Performance)

หลังจากทำการปรับตั้งค่าเซ็ตติ้งดังกล่าวทั้งสี่ปัจจัยในกระบวนการเครื่องวัด พบว่าสามารถเพิ่มผลผลิตได้ตามเป้าหมายที่กำหนด ดังภาพที่ 4-80



ภาพที่ 4-80 กำลังการผลิตเฉลี่ยต่อวันต่อเครื่องในแต่ละสัปดาห์ที่กระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็ก

3. การส่งมอบโครงการให้กับเจ้าของพื้นที่ (Project Transfer)

หลังจากดำเนินการทำแผนควบคุมแล้ว โครงการดังกล่าวจะต้องแจ้งให้ผู้ที่รับผิดชอบภายหลังจากที่ปิดแล้ว ไปดำเนินการต่อไป โดยทั่วไปแล้วตัวแทนจากฝ่ายการเงิน และบัญชี จะเป็นผู้ติดตามผลประโยชน์ หรือผลกำไรในรูปตัวเงินของโครงการ และเจ้าของกระบวนการ (Process Owner) จะเป็นผู้รับผิดชอบตัววัดของกระบวนการ ในโครงการนั้น ๆ ส่วนผู้นำการทำโครงการหรือแบล็กเบลต์ จะหมดความรับผิดชอบต่อโครงการที่ถูกปิดแล้ว โดยมีรายละเอียดการส่งมอบโครงการให้กับเจ้าของพื้นที่ที่ต้องดูแลต่อไปดังนี้

3.1 สรุปผลในการทำโครงการ (Final Report)

3.2 ทำแผนการ การทำโครงการให้สำเร็จ

- งานอะไรบ้างที่จะต้องทำเพื่อให้โครงการสำเร็จ (ที่ยังคั่งค้างอยู่)
- ใครที่จะรับผิดชอบต่องานนั้น ๆ และเมื่อไร ที่งานนั้น ๆ จะทำเสร็จ
- ใครเป็นเจ้าของแผนการ
- ใครจะเป็นคนผลักดันและติดตามแผนงานนี้ให้สำเร็จลุล่วง

3.3 ลายเซ็นต์ของผู้ร่วมทำโครงการและเจ้าของกระบวนการ

ขั้นตอนการติดตามผลประโยชน์ทางธุรกิจ (Business Metric Realization)

ติดตามผลประโยชน์ทางธุรกิจ (Business Metric) ที่จะได้รับในระยะเวลา 1 ปีหลังจากโครงการเสร็จสมบูรณ์ หรือมีการปรับปรุงเกิดขึ้น

จากผลผลิตที่เพิ่มขึ้นจากวิธีซิกซ์ ซิกม่าและลีน เป็นผลทำให้การสามารถลดต้นทุนได้ประมาณ 2,416,800 บาทต่อปี ดังนี้

1. ต้นทุนลดลงจากการลดความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากวัดซ้ำ

ผลผลิตก่อนปรับปรุงโดยเฉลี่ย ณ ปัจจุบัน	= 2798 ตัว
ผลผลิตหลังปรับปรุงโดยเฉลี่ย	= 2893 ตัว
ผลผลิตเพิ่มขึ้น	= 96 ตัว
จำนวนงานการวัดซ้ำหลังปรับปรุง	= 2893 – 2798 = 96 ตัวต่อเครื่องต่อวัน
จำนวนวันทำงานทั้งปี	= 300 วัน
จำนวนเครื่องประเภท A	= 16 เครื่อง
ต้นทุนการวัดซ้ำ	= 2 บาท/ครั้ง
จำนวนการวัดต่อครั้ง	= 2 ตัว
ลดต้นทุนได้ต่อปี	= (96 x 300 x 38 x 2)/2
	= 1,094,400 บาท

2. ต้นทุนลดลงจากการลดความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากการรอคอย

ผลผลิตก่อนปรับปรุงโดยเฉลี่ย ณ ปัจจุบัน	= 2893 ตัว
ผลผลิตหลังปรับปรุงโดยเฉลี่ย	= 3009 ตัว
ผลผลิตเพิ่มขึ้น	= 116 ตัว
จำนวนงานหลังปรับปรุงจากการรอคอย	= 3009 – 2893 = 116 ตัวต่อเครื่องต่อวัน
จำนวนวันทำงานทั้งปี	= 300 วัน
จำนวนเครื่องประเภท A	= 38 เครื่อง
ต้นทุนการการทำงาน	= 1 บาท/ตัว
ลดต้นทุนได้ต่อปี	= 116 x 300 x 38 x 1
	= 1,322,400 บาท

ต้นทุนรวมที่สามารถลดลงเท่ากับ 1,094,400 บาท + 1,322,400 บาท = 2,416,800 บาท ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสามารถเพิ่มผลิตผลได้ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

บทที่ 5
สรุปและอภิปรายผล

บทนำ

จากข้อค้นพบในเรื่องการผสมผสานแนวคิดลีน (Lean) - ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) เพื่อพัฒนาการบูรณาการวิธีการลีน-ซิกซ์ ซิกม่า สำหรับการปรับปรุงกระบวนการในบทที่ 3 และนำมาสู่การประยุกต์ใช้วิธีการลีน-ซิกซ์ ซิกม่า ในกรณีศึกษาของกระบวนการวัดสัญญาณความเป็นแม่เหล็กในการผลิตส่วนอ่าน-เขียน (Read-Write Part) ของกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในบทที่ 4 สามารถสรุปและอภิปรายผลในบทที่ 5 ได้ดังนี้

การสรุปผล

วัตถุประสงค์ข้อที่ 1 เพื่อพัฒนาการบูรณาการวิธีการลีน (Lean)-ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) สำหรับการปรับปรุงกระบวนการ

1. ผู้วิจัยได้พัฒนาการบูรณาการวิธีการลีน-ซิกซ์ ซิกม่า โดยนำเสนอตัวแบบการผสมผสานแนวทางของลีน-ซิกซ์ ซิกม่า เพื่อการวิเคราะห์ที่นำจุดแข็งของแต่ละแนวทางมารวมกันและกำจัด / ชดเชยจุดอ่อน ที่มุ่งเน้นทั้งด้านการลดความสูญเปล่าและความผันแปร ซึ่งสามารถช่วยแก้ไขปัญหาในอุตสาหกรรมการผลิต ทำให้ได้ผลผลิตที่สูงขึ้นกว่าวิธีการแก้ปัญหาแบบลีน หรือซิกซ์ ซิกม่า

2. ตัวแบบที่นำเสนอเป็นการเชื่อมต่อ โดยยึดกรอบปฏิบัติตามหลักการซิกซ์ ซิกม่า แต่มีหลักคิดแบบลีน ทำได้โดยการผสมผสานเครื่องมือการผลิตแบบลีนเพิ่มเติมเข้าไปในกระบวนการ DMAIC ได้แก่ เพิ่มการวิเคราะห์สายธารแห่งคุณค่าปัจจุบัน ขยายขอบเขตการกำหนดดัชนีชี้วัด เป็นลีน-ซิกซ์ ซิกม่า ในขั้นตอนการกำหนดปัญหา เพิ่มการศึกษาแหล่งของความสูญเปล่า ขยายขอบเขตการวิเคราะห์ระบบการวัด เป็นลีน-ซิกซ์ ซิกม่า ขยายขอบเขตการวัดความสามารถของกระบวนการ เป็นลีน-ซิกซ์ ซิกม่า ในขั้นตอนการวัด เพิ่มแนวทางการแก้ไขปัญหา เพิ่มการออกแบบทดลอง ในขั้นตอนการวิเคราะห์ เพิ่มการวิเคราะห์สายธารแห่งคุณค่า หลังปรับปรุง ในขั้นตอนการปรับปรุงงาน เพิ่มการส่งมอบโครงการให้กับเจ้าของพื้นที่ ในขั้นตอนการควบคุมและเพิ่มการติดตามผลประโยชน์ทางธุรกิจ ในขั้นตอนการติดตามซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้าย

วัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เพื่อประยุกต์วิธีการลีน-ซิกซ์ ซิกม่า ในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

3. การผสมผสานแนวทางของลีน-ซิกซ์ ซิกม่าสามารถนำมาใช้แก้ปัญหาด้านการลดความสูญเปล่าและความผันแปร ในอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟได้จริง ผลลัพธ์ทางตรงคือผลิตภัณฑ์มีคุณภาพและมีการไหลคล่องตัวขึ้น สำหรับทางอ้อมคือความสูญเปล่าลดน้อยลง

4. การผสมผสานแนวทางของลีน-ซิกซ์ ซิกม่าในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีส่วนช่วยในการหาจุดเหมาะสมในการแก้ปัญหา กล่าวคือ การเพิ่มความเร็วในกระบวนการ ไม่ส่งผลกระทบกับคุณภาพ

การอภิปรายผล

จากผลของข้อค้นพบในบทที่ 3 และ 4 ผู้วิจัยขอนำเสนอประเด็นในการอภิปรายผลได้ 6 ประเด็นคือ (1) ประสิทธิภาพของตัวแบบลีน-ซิกซ์ ซิกม่า ในการแก้ปัญหา เมื่อเปรียบเทียบกับตัวแบบลีน หรือซิกซ์ ซิกม่าและตัวแบบของงานวิจัยอื่น (2) ขีดความสามารถในการค้นหาความสูญเปล่า 7 ประการจากการผสมผสานแนวทางของลีน ในขั้นตอนซิกซ์ ซิกม่า (3) ขีดความสามารถและความเหมาะสมในการแก้ปัญหาของการผสมผสานแนวทางของลีน-ซิกซ์ ซิกม่า (4) ปัจจัยแห่งความสำเร็จในใช้การผสมผสานแนวทางของลีน-ซิกซ์ ซิกม่า (5) การอภิปรายกับตัวแบบของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์และ (6) ข้อจำกัดของงานวิจัย

1. ประสิทธิภาพของตัวแบบลีน-ซิกซ์ ซิกม่า ในการแก้ปัญหา เมื่อเปรียบเทียบกับตัวแบบลีน หรือซิกซ์ ซิกม่าและตัวแบบของงานวิจัยอื่น

จากผลการนำแนวทางของลีน ผสมผสานในขั้นตอนซิกซ์ ซิกม่า มาใช้ในการวิจัยเชิงปฏิบัติการ แสดงให้เห็นว่าตัวแบบลีน-ซิกซ์ ซิกม่า ที่ยึดกรอบปฏิบัติตามหลักการซิกซ์ ซิกม่า แต่มีหลักคิดแบบลีน สามารถปรับปรุงการไหลในสายการผลิตให้เป็นไปอย่างราบเรียบ โดยเครื่องมือทางลีน และสามารถปรับปรุงความสามารถของกระบวนการ โดยเครื่องมือทางสถิติ เป็นการสนับสนุนต่อการลดต้นทุนและสร้างผลตอบแทนให้กับธุรกิจสูงสุด ซึ่งแตกต่างกับตัวแบบลีน หรือซิกซ์ ซิกม่า และตัวแบบของงานวิจัยอื่น ที่มุ่งเน้นเฉพาะการแก้ไขของเสียในกระบวนการ หรือปรับปรุงการไหลในสายการผลิตเท่านั้น ทำให้ไม่สนับสนุนต่อการลดต้นทุนและสร้างผลตอบแทนให้กับธุรกิจสูงสุด

2. ขีดความสามารถในการค้นหาความสูญเปล่า 7 ประการจากการผสมผสานแนวทางของลีนในขั้นตอนซิกซ์ ซิกม่า

การผสมผสานแนวทางของลีน ในขั้นตอนซิกซ์ ซิกม่า แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือคุณภาพของลีน เป็นสิ่งสำคัญในการค้นหาความสูญเปล่า 7 ประการในอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ หรือกล่าวได้ว่า แนวทางของลีนในขั้นตอนซิกซ์ ซิกม่ามีขีดความสามารถในการค้นหาปัญหา

เช่น เครื่องมือการวิเคราะห์กระบวนการไหล (Analyze Process Flow) เป็นเครื่องมือพื้นฐานที่จะทำให้เห็นภาพรวมของปัญหาหรือความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ช่วยให้ค้นพบความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากวัดซ้ำและความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากการรอคอย เป็นต้น

3. ขีดความสามารถและความเหมาะสมในการแก้ปัญหาของการผสมผสานแนวทางของลีน-ซิกซ์ ซิกม่า

การผสมผสานแนวทางของลีน-ซิกซ์ ซิกม่า แสดงให้เห็นว่ามีขีดความสามารถและความเหมาะสมในการแก้ไขปัญหา เช่น ความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากวัดซ้ำ งานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือพื้นฐานได้แก่แผนผังสาเหตุและผล เมตริกซ์สาเหตุและผล การวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องจากลักษณะข้อบกพร่อง การทดสอบสมมติฐานและการออกแบบการทดลองในการปรับปรุงเพื่อหาความเหมาะสม ผลที่ได้คืออัตราการวัดซ้ำลดลง สำหรับความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากการรอคอย งานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือแผนภูมิสองมือ (Left Hand / Right Hand) ในการวิเคราะห์และค้นพบจุดที่จะทำการแก้ไข การจัดทำแผนภูมิชนิดนี้จะช่วยให้เราเห็นช่องทางการปรับปรุงจากรายละเอียดในการทำงานแต่ละขั้นตอน ผลที่ได้คือรอบเวลาการผลิตลดลง เป็นต้น

อย่างไรก็ตามการปรับใช้เครื่องมือคุณภาพต่าง ๆ ในการแก้ไขปัญหาในกระบวนการขึ้นอยู่กับลักษณะปัญหาและประเภทของข้อมูล ซึ่งองค์กรที่จะนำไปใช้สามารถผสมผสานกับเครื่องมือคุณภาพอื่นตามความเหมาะสม

4. การอภิปรายกับตัวแบบของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์

กลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้แนวคิดลีน-ซิกซ์ ซิกม่า ในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ อรรถพล เฉลิมพลประภา (2551) ได้ประยุกต์เทคนิคลีน-ซิกส์ ซิกม่า ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ เพื่อการปรับปรุงกระบวนการผลิต พบว่าการประยุกต์เทคนิคลีนกับซิกซ์ ซิกม่า ไม่มีการแสดงแบบจำลองการผสมผสานแนวคิดลีน-ซิกซ์ ซิกม่า ในงานวิจัย เป็นการดำเนินการตามขั้นตอน DMAIC ทำให้ผู้ที่สนใจหรือองค์กรต่าง ๆ ที่จะนำไปศึกษาไม่สามารถนำไปสู่ผลสัมฤทธิ์ได้อย่างสมบูรณ์แบบ เนื่องจากไม่มีการระบุขั้นตอนการดำเนินการที่ชัดเจน โดยเฉพาะองค์กรในภาคบริการ จากงานวิจัยดังกล่าวขั้นตอน DMAI พบว่าไม่มีการประยุกต์ใช้เทคนิคลีน ซึ่งจะครอบคลุมเฉพาะเพียงแค่ส่วนการควบคุมหรือขั้นตอน C (Control) ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ในขั้นตอนสุดท้ายเท่านั้น แสดงให้เห็นว่าความสูญเปล่าในกระบวนการไม่ได้มีการบ่งชี้ในขั้นตอนเริ่มต้น ผลลัพธ์คือความสูญเปล่ายังไม่ได้ถูกขจัดออกไป เป็นการสูญเสียโอกาสหรือผลสัมฤทธิ์ด้านการลดต้นทุนและเพิ่มคุณภาพของกระบวนการและผลิตภัณฑ์ได้อย่างสมบูรณ์แบบ ทำให้ความสามารถทางการแข่งขันลดลง

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิต เช่น อิเล็กทรอนิกส์ หรือภาคบริการต่าง ๆ กระบวนการมีความซับซ้อนมากขึ้น แนวคิดข้างต้นที่นำแนวคิดลีนประยุกต์เข้าในส่วนการควบคุม จึงไม่เพียงพอที่จะขจัดกิจกรรมที่มีความสูญเปล่า หรือปรับปรุงการไหลของกระบวนการในจุดที่เหมาะสม

5. ปัจจัยแห่งความสำเร็จในใช้การผสมผสานแนวทางของลีน-ซิกซ์ ซิกม่า

จากการที่ผู้วิจัยได้รับการอบรมเป็นผู้เชี่ยวชาญระดับสายดำ (Black Belt) และอยู่ในสายงานการดำเนินงานตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่า เป็นเวลา 3 ปี รวมถึงศึกษาดุษฎีนิพนธ์จากการทบทวนวรรณกรรม (จรัล ทรัพย์เสรี, 2552) พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการนำซิกส์ ซิกม่า มาใช้ทั้งในระดับโครงการซิกส์ ซิกม่า และระดับโปรแกรมซิกส์ ซิกม่า ได้แก่

5.1 โปรแกรมการจัดการอื่นที่สนับสนุน

5.2 ภาวะผู้นำ

5.3 การดำเนินโครงการซิกส์ ซิกม่า

5.4 ทีมงานโครงการซิกส์ ซิกม่า

5.5 คุณสมบัติของผู้เชี่ยวชาญระดับสายดำ

5.6 การฝึกอบรมซิกส์ ซิกม่า

5.7 การใช้เครื่องมือคุณภาพ

5.8 กระบวนการสื่อสาร

5.9 วัฒนธรรมองค์กร

6. ข้อจำกัดของงานวิจัย

6.1 ตัวแปรที่เป็นไปได้จากการระดมสมองมีจำนวนมาก ทำให้ต้องการเก็บข้อมูลต้องใช้เวลามาก รวมถึงต้องควบคุมปัจจัยต่าง ๆ เพื่อให้สามารถได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องมากที่สุด

6.2 เนื่องจากกรณีศึกษาเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบทำให้ต้องใช้เวลาในการดำเนินงานเพิ่มมากขึ้น เพราะต้องติดกับผู้ผลิตและออกแบบเครื่องจักรเพื่อขอคำแนะนำเกี่ยวกับข้อมูลทางเทคนิค รวมถึงการติดต่อพาร์ทที่ใช้สำหรับการทดลอง

6.3 เนื่องจากทีมงานมีงานประจำอยู่ ประกอบกับขณะทำการทดลองอยู่ในช่วงการติดตั้งงานรุ่นใหม่ ทำให้ทีมงานบางท่านไม่สามารถเข้าร่วมประชุมตามวันและเวลาที่กำหนดได้ จึงทำให้เกิดความล่าช้าในบางช่วง

ข้อเสนอแนะ

1. ก่อนการนำตัวแบบที่ผู้วิจัยนำเสนอในงานวิจัยนี้ไปปฏิบัติจริง ควรมีการอบรมแนวทางการบรูณาการแบบผสมผสานลีนและซิกซ์ ซิกม่า ให้กับทีมงาน เพื่อให้เข้าใจถึงแนวความคิด เครื่องมือที่ใช้ วิสัยทัศน์และปรัชญา ก่อนดำเนินการปรับปรุงกระบวนการจริง

2. การที่จะคงไว้ซึ่งระบบการผลิตแบบลีนและซิกซ์ ซิกม่า นี้ ผู้บริหารจำเป็นต้องเน้นที่บุคลากรเป็นหลัก ให้อำนาจรับผิดชอบ ให้ความอิสระในแนวคิดเพื่อการปรับปรุงพัฒนาให้การฝึกอบรมแก่พนักงานที่เกี่ยวข้อง เน้นระบบเสนอแนะข้อคิดเห็นและจัดตั้งทีมงานเพื่อปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่องสิ่งที่ขาดไม่ได้ คือการสนับสนุนและความมุ่งมั่นของผู้บริหารสูงสุดและกำลังใจที่ให้แก่พนักงานทุกคนในแง่การฝึกอบรม

3. เนื่องจากบริษัทที่ศึกษาวิจัย ได้นำหลักการวิธีการลีนและซิกซ์ ซิกม่า มาใช้กับองค์กรเป็นระยะเวลา 3 ปีแล้ว แต่ไม่ได้บูรณาการแบบผสมผสาน อย่างไรก็ตามบริษัทดังกล่าวก็มีมาตรฐานที่สูงในด้านคุณภาพ องค์กรจึงควรใช้โอกาสนี้ในการบูรณาการลีน และซิกซ์ ซิกม่า เพื่อประสิทธิภาพสูงสุด

บรรณานุกรม

กฤษดา ตันฮะเส็ง. (2547). *การประยุกต์ใช้เทคนิค ซิกซ์ ซิกม่า เพื่อค้นหาสาเหตุหลักที่มีผลต่อตัวแปรคุณภาพและลดของเสียในโรงงานผลิตอุปกรณ์กึ่งตัวนำ.* ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2544). *การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ Process Capability Analysis (PCA).* (หน้า 58-71). พิมพ์ ครั้งที่ 4, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2542). *การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) (ประมวลผลด้วย MINITAB).* (หน้า 163-167). พิมพ์ ครั้งที่ 4, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2551). *การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ Failure Mode and Effect Analysis.* (หน้า 99-109). พิมพ์ ครั้งที่ 1, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2540). *สถิติสำหรับงานวิศกรรม เล่ม 1 (ประมวลผลด้วย MINITAB).* (หน้า 51-53, 69-72). พิมพ์ ครั้งที่ 1, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2540). *สถิติสำหรับงานวิศกรรม เล่ม 2 (ประมวลผลด้วย MINITAB).* (หน้า 157-296). พิมพ์ ครั้งที่ 5, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

ก้องเดชา บ้านมะหิงษ์. (2548). *การพัฒนาแบบจำลองวิสาหกิจแบบลีนโดยใช้ CIMOSA.* ภาควิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

จันทรารัตน์ ธีระรัตน์. (2551). *The Optimization of the Efficiency of the Cleaning System in Hard Disk Drive Industry.* (DST-CON 2008)

จรัล ทรัพย์เสรี. (2552). *ซิกส์ซิกม่าแบบผสมผสานเพื่อการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการในอุตสาหกรรมการผลิต.* ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต, สาขาวิชาการบริหารการพัฒนา, แขนงวิชาการจัดการคุณภาพ, มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

ชีวนัน อมรศรีสัจจะ. (2551). *Optimization of Parameters in Ultrasonic Cleaning Process for Hard Disk Drive Arm Using Taguchi Experiment Design Technique.* (หน้า 489-494). วารสารวิจัย มข.13(4): พฤษภาคม 2551.

ชีวรัตน์ กะฐินทอง. (2551). *การลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องในการผลิตแกนหมุนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ โดยใช้วิธีการของซิกซ์ ซิกม่า.* (หน้า 42-69). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

บรรณานุกรม (ต่อ)

ธงชัย ชูใจ. (2551). *Capability Measurement Analysis for Destructive Testing by Nested Design and Improve process using Taguchi DOE.* (หน้า 477-483). วารสารวิจัย มข.13(4): พฤษภาคม 2551.

นพดล เฟื่องเด่นขจร. (2548). *การปรับปรุงความพร้อมในการตอบสนองในอุตสาหกรรมทันตกรรม โดยใช้แนวคิดลีน ซิกซ์ ซิกม่า: กรณีศึกษา คลีนิกบริการทันตกรรมพิเศษ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปารเมศ ชุติมา. (2545). *การออกแบบการทดลองทางวิศกรรม.* (หน้า 2-83, 217-293). พิมพ์ ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์.

พัชรินทร์ อุ่นเอมใจ. (2548). *การบูรณาการลีนซิกซ์ซิกมาและซีเอ็มเอ็มไอเข้าสู่วิสาหกิจโดยใช้แบบจำลองพลวัต.* (หน้า 1-210). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

พฤทธิพงศ์ โพธิวราพรรณ. (2548). *การประยุกต์ใช้การผลิตแบบลีนในอุตสาหกรรมแบบผสม (แบบต่อเนื่อง-แบบช่วง): กรณีศึกษาโรงงานผลิตเหล็กรูปพรรณ.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ภัทรวุฒิ พลอาสา. (2548). *ต้นทุนคุณภาพในการลดของเสียในกระบวนผลิตฝาปิดอาร์ด ดิสก์ไดร์ฟ โดยใช้วิธีการของซิกซ์ ซิกม่า.* (หน้า 1-101). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

มัลลิกา จาเลิศ. (2548). *การลดจำนวนคนในสายการผลิตโดยใช้วิธีการทางซิกซิกม่า.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ยุพา กลอนกลาง. (2548). *การผลิตแบบลีนในระดับกลยุทธ์และการจำลองสถานการณ์.* (หน้า 3-84). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ลำปาง แสนจันทร์. (2549). *การควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ (Statisticsl Quality Control).* (หน้า 164-187). พิมพ์ ครั้งที่ 1, สถานบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวทยาลัยเชียงใหม่.

บรรณานุกรม (ต่อ)

วสันต์ พุกผาสุก. (2549). *การลดของเสียจากกระบวนการชุบโครเมี่ยมโดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ซิกม่า*. (หน้า 68-71). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ,คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วิทยา สุหฤทดำรง และ ก้องเดชา บ้านมะหิงษ์. (2545). *"Six Sigma กลยุทธ์การสร้างผลกำไรขององค์กรระดับโลก"*, บริษัทสำนักพิมพ์ท้อป จำกัด.

วิทยา สุหฤทดำรง. (2547). *"Lean Six Sigma."* วารสาร Industrial Technology Review. ฉบับที่ 120 (ก.พ. 47) : 159-162.

วุฒิชัย เจริญยิ่งวัฒนา. (2546). *การใช้กรรมวิธีทางซิกซ์ ซิกม่า เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพงานพ่นสี*. (หน้า 38-99). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สิทธิศักดิ์ พฤกษ์ปีติกุล. (2546). *การพัฒนาคุณภาพ แบบก้าวกระโดดด้วยวิธี Six Sigma*. (หน้า 15-41). พิมพ์ ครั้งที่ 2, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

ศิรศักย เทพจิตร. (2549). *การประเมินการนำ Lean Six Sigma ไปใช้งานด้วยการสร้างแบบจำลองพลวัตของระบบ* กรณีศึกษา: โรงพยาบาล (หน้า 19-31, 47). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อภิรัฐ ศิริธราธิวัตร. (2549). *ผลการคายประจุไฟฟ้าสถิติในหัวบันทึก Electrostatic Discharge Effects in Recording Heads.* (หน้า 7-11). พิมพ์ ครั้งที่ 1, ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ.

อรรถพล ลิมพลประภา. (2548). *การปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยใช้เทคนิคลีน ซิกซ์ ซิกม่า ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์*. (หน้า 28-89). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อรวรรณ สวัสดิ์วิเชียร. (2551). *การลดของเสียในกระบวนการเชื่อมมิกซ์อลูมินัมหล่อ โดยประยุกต์ใช้วิธีการของซิซ์ ซิกม่า*. (หน้า 54-81). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

บรรณานุกรม (ต่อ)

อรอุมา พรหมมัญ. (2548). *การใช้กรรมวิธีทาง ซิกซ์ ซิกม่า เพื่อลดปริมาณการสูญเสียของสาร ซัลโฟนิก แอซิด (Sulphonic Acid) ในกระบวนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดา.* (หน้า 26-87). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

BASEM EL-HAIK, RAID AL-AOMAR. (2006). *Simulation-Based Lean Six-Sigma and Design for Six Sigma.* (Page 165-174, 194-203). Printed 1, John Wiley & Sons Ltd..

Does, R. (2002). *Comparing Nonmanufacturing with Traditional Application of Six Sigma.* (Page 177-182).

Fawaz Abdullah. (2003). *Lean Manufacturing Tools and Techniques in The Process Industry with a Focus on Steel.*

Forrest W. Breyfogle, fame M. Cupello, Becki Meadows. (2001). *Managing Six Sigma.* John Wiley & Sons Inc..

George, Michael L. (2002). *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean speed,* Mcgrawhill.

G Robin Henderson. (2006). Six Sigma Quality Improvement with MINITAB. (Page 165-174, 269-309). Printed 1, John Wiley & Sons Ltd.

LG Electronics. (2000). *Six Sigma Case Studies for Quality Improvement.* Prepared For the National Quality Prize of Six Sigma for 2000.

Pannirselvam D. (1994). *Applying Lean Production Principle to A Process Facility.* Proceedings of Production and Inventory Management Journal, Third Quarter.

Samsung SDI. (2002). *Six Sigma Case Studies for Quality Innovation.*

Spann , M. Adams, M. and Rahman, M. (1997). *Transferring Lean Manufacturing to Small Manufacturers*: The Role of NIST-MEP. University of Alabama in Huntsville, (Page 1-4).

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ตารางแสดงผลการวิจัย

ตารางที่ภาคผนวก ก-1 แสดงผลการวัดค่า Track Width ระหว่างการเซ็ตค่าอไลเมนท์ 0 nm. และ 5 nm.

Sample No.	ค่า Track Width	
	ที่ค่าอไลเมนท์เท่ากับ 0 nm.	ที่ค่าอไลเมนท์เท่ากับ 5 nm.
1	0.1910	0.2119
2	0.2031	0.2184
3	0.2058	0.1834
4	0.2189	0.1996
5	0.2146	0.2037
6	0.1970	0.2034
7	0.2032	0.1994
8	0.2102	0.2096
9	0.1904	0.2172
10	0.1951	0.2141
11	0.2051	0.1938
12	0.2263	0.2079
13	0.2030	0.2276
14	0.2104	0.2250
15	0.2132	0.2022
16	0.2110	0.2195
17	0.1796	0.2336
18	0.2069	0.2156
19	0.2136	0.2199
20	0.2020	0.2139
21	0.1951	0.2058
22	0.2022	0.2054
23	0.2153	0.1986
24	0.2104	0.2224
25	0.1910	0.2080
26	0.1991	0.1908
27	0.2075	0.2119
28	0.2253	0.2188
29	0.2001	0.2056
30	0.1887	0.2006

ตารางภาคผนวก ก-2 แสดงผลการวัดค่า Track Width ระหว่างการติดตั้งอุปกรณ์ Piezo Cable สีเทา และสีฟ้า

Sample No.	ค่า Track Width	
	ติดตั้งอุปกรณ์ Piezo Cable สีเทา	ติดตั้งอุปกรณ์ Piezo Cable สีฟ้า
1	0.1950	0.2000
2	0.2290	0.2050
3	0.2310	0.1930
4	0.2270	0.2060
5	0.2200	0.2040
6	0.2130	0.2060
7	0.1930	0.2070
8	0.2230	0.2030
9	0.2060	0.2060
10	0.1880	0.2040
11	0.2050	0.2060
12	0.2230	0.2070
13	0.2110	0.2010
14	0.2060	0.2010
15	0.2120	0.2080
16	0.2140	0.2050
17	0.2120	0.2040
18	0.1950	0.1950
19	0.1826	0.1950
20	0.2100	0.2030
21	0.1930	0.2050
22	0.2160	0.2000
23	0.2170	0.2070
24	0.2080	0.1990
25	0.2140	0.2020
26	0.2120	0.2090
27	0.2240	0.2010
28	0.1990	0.1980
29	0.2140	0.2030
30	0.2100	0.1980

ตารางภาคผนวก ก-3 แสดงผลการวัดค่า Track Width ระหว่างการปรับค่าความสูงของทีบาร์ 0.13 mm. และ 0.17 mm.

Sample No.	ค่า Track Width	
	ที่ระดับทีบาร์ 0.13 mm.	ที่ระดับทีบาร์ 0.17 mm.
1	0.2095	0.2180
2	0.2273	0.2201
3	0.1992	0.2056
4	0.2215	0.2124
5	0.2263	0.2277
6	0.2048	0.2011
7	0.2068	0.2138
8	0.2116	0.2069
9	0.2007	0.1974
10	0.2180	0.1901
11	0.2100	0.2035
12	0.2053	0.2097
13	0.2093	0.2059
14	0.1934	0.2041
15	0.2008	0.2115
16	0.2196	0.2149
17	0.2134	0.2126
18	0.2127	0.2030
19	0.2179	0.2033
20	0.2137	0.2092
21	0.1970	0.2093
22	0.2038	0.2082
23	0.2238	0.2156
24	0.2067	0.2158
25	0.2160	0.2206
26	0.1896	0.1990
27	0.1932	0.2051
28	0.2116	0.2221
29	0.2140	0.2030
30	0.2100	0.1980

ตารางภาคผนวก ก-4 แสดงผลการวัดค่า Track Width ระหว่างการติดตั้งอุปกรณ์ Piezo Controller T5600 และ T5700

Sample No.	ค่า Track Width	
	ติดตั้งอุปกรณ์ Piezo Controller T5600	ติดตั้งอุปกรณ์ Piezo Controller T5700
1	0.2099	0.2049
2	0.2072	0.1995
3	0.2053	0.1978
4	0.2089	0.1983
5	0.2075	0.1959
6	0.2124	0.2018
7	0.2136	0.2039
8	0.1904	0.1991
9	0.2114	0.2135
10	0.2159	0.2041
11	0.2148	0.2044
12	0.2127	0.2015
13	0.2014	0.1972
14	0.2148	0.1995
15	0.2226	0.1933
16	0.2075	0.1955
17	0.2031	0.1967
18	0.2065	0.2045
19	0.2017	0.2091
20	0.1995	0.1950
21	0.1855	0.1960
22	0.2036	0.2016
23	0.2035	0.1936
24	0.2150	0.2020
25	0.1982	0.2038
26	0.1989	0.2008
27	0.1940	0.2044
28	0.1890	0.2003
29	0.1923	0.2099
30	0.1939	0.1980

ตารางภาคผนวก ก-5 แสดงผลการวัดค่า Track Width ของการปรับค่าแรงดันควบคุม Piezo ที่ 30, 35 และ 40 โวลต์

Sample No.	ค่า Track Width		
	ปรับค่าแรงดันที่ 30 โวลต์	ปรับค่าแรงดันที่ 35 โวลต์	ปรับค่าแรงดันที่ 40 โวลต์
1	0.1984	0.2020	0.1988
2	0.2099	0.2071	0.2003
3	0.2000	0.2055	0.2040
4	0.1966	0.2079	0.2039
5	0.2102	0.2058	0.2032
6	0.2028	0.2001	0.2047
7	0.2028	0.2038	0.2016
8	0.2049	0.1994	0.2005
9	0.2046	0.1974	0.1978
10	0.1956	0.2017	0.1995
11	0.2062	0.2024	0.2110
12	0.2045	0.2052	0.2042
13	0.2056	0.1998	0.2014
14	0.2014	0.2042	0.1975
15	0.2014	0.2013	0.1994
16	0.2015	0.2017	0.1909
17	0.1996	0.2018	0.2053
18	0.2047	0.2059	0.2028
19	0.1976	0.2067	0.2020
20	0.1968	0.2074	0.1978
21	0.1965	0.2019	0.2030
22	0.1976	0.1940	0.1975
23	0.2020	0.1978	0.1971
24	0.2103	0.1987	0.2060
25	0.1976	0.2022	0.2031
26	0.2127	0.2085	0.2002
27	0.2016	0.1975	0.2038
28	0.2101	0.1989	0.2016
29	0.2036	0.1981	0.2009
30	0.2081	0.2039	0.2046

ตารางภาคผนวก ก-6 แสดงผลการวัดค่า Track Width ที่ระดับแรงดันอากาศ 0.35 และ 0.40 บาร์

Sample No.	ค่า Track Width		Sample No.	ค่า Track Width	
	แรงดันอากาศ ที่ 0.35 บาร์	แรงดันอากาศ ที่ 0.40 บาร์		แรงดันอากาศ ที่ 0.35 บาร์	แรงดันอากาศ ที่ 0.40 บาร์
1	0.2111	0.2283	31	0.2234	0.2064
2	0.2121	0.2039	32	0.2146	0.2206
3	0.2017	0.2013	33	0.1972	0.2075
4	0.2060	0.2337	34	0.2044	0.2134
5	0.2269	0.2117	35	0.2228	0.2033
6	0.2113	0.2378	36	0.2269	0.2150
7	0.2044	0.2075	37	0.1993	0.2141
8	0.2111	0.2110	38	0.2049	0.2164
9	0.2225	0.2115	39	0.2281	0.1975
10	0.2108	0.2073	40	0.2255	0.2131
11	0.2203	0.2225	41	0.2088	0.2298
12	0.1976	0.2010	42	0.2218	0.2108
13	0.1883	0.2025	43	0.2319	0.2000
14	0.2294	0.2034	44	0.2149	0.2112
15	0.2009	0.2195	45	0.2273	0.2024
16	0.1999	0.1966	46	0.2347	0.2043
17	0.1829	0.2179	47	0.2275	0.2119
18	0.2035	0.2128	48	0.2078	0.2098
19	0.2266	0.2169	49	0.2386	0.2037
20	0.1840	0.1948	50	0.2246	0.2061
21	0.2072	0.2042	51	0.2190	0.1992
22	0.1975	0.1857	52	0.2231	0.2162
23	0.2078	0.2099	53	0.1995	0.2123
24	0.2061	0.2115	54	0.2221	0.1899
25	0.2455	0.2023	55	0.1696	0.2123
26	0.2065	0.2059	56	0.2255	0.2108
27	0.2283	0.1864	57	0.1999	0.2310
28	0.2342	0.2168	58	0.2109	0.2087
29	0.2012	0.2254	59	0.2315	0.2198
30	0.1992	0.2158	60	0.1923	0.2151

ตารางภาคผนวก ก-7 แสดงผลการวัดค่า Track Width ระหว่างไม่ได้ติดตั้งและติดตั้งอุปกรณ์ Disk Stabilizer

Sample No.	ค่า Track Width	
	ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ Disk Stabilizer	ติดตั้งอุปกรณ์ Disk Stabilizer
1	0.2078	0.1979
2	0.2056	0.1997
3	0.1916	0.2133
4	0.2046	0.2025
5	0.2094	0.2045
6	0.1987	0.2117
7	0.2092	0.2149
8	0.2014	0.1991
9	0.2135	0.2064
10	0.2078	0.2042
11	0.2190	0.2101
12	0.2141	0.2020
13	0.2085	0.2062
14	0.1989	0.1952
15	0.2095	0.2107
16	0.2061	0.2064
17	0.1957	0.2075
18	0.2053	0.2095
19	0.2063	0.2079
20	0.2055	0.2036
21	0.1942	0.2093
22	0.2068	0.2098
23	0.2187	0.2060
24	0.2105	0.1982
25	0.2133	0.2003
26	0.2115	0.1893
27	0.1976	0.1959
28	0.1973	0.1986
29	0.1965	0.2152
30	0.1971	0.2003

ตารางภาคผนวก ก-8 แสดงผลการวัดค่า Track Width ระหว่างการติดตั้งอุปกรณ์ Piezo Coupling Holder สีดำและสีขาว

Sample No.	ค่า Track Width ติดตั้ง Piezo Coupling Holder สีดำ	ค่า Track Width ติดตั้ง Piezo Coupling Holder สีขาว
1	0.2009	0.2236
2	0.2180	0.2223
3	0.2006	0.2296
4	0.2004	0.2258
5	0.2062	0.2138
6	0.2272	0.2242
7	0.1844	0.1910
8	0.2236	0.2071
9	0.2098	0.2097
10	0.2253	0.1990
11	0.2152	0.1970
12	0.1868	0.2144
13	0.2317	0.2022
14	0.2158	0.2130
15	0.2345	0.2069
16	0.2470	0.2054
17	0.2201	0.2203
18	0.1876	0.2111
19	0.2015	0.2118
20	0.2113	0.2122
21	0.1828	0.2017
22	0.2130	0.2210
23	0.2083	0.2087
24	0.2110	0.2045
25	0.2322	0.2237
26	0.2245	0.2267
27	0.1985	0.2107
28	0.2132	0.1966
29	0.2208	0.2174
30	0.2190	0.2132