

การปรับปรุงกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เพื่อลดข้อบกพร่องประเภท
การอ่าน/เขียนสัญญาณบกพร่องของหัวอ่าน/เขียน

นายธีรณพ สุขอารมณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

IMPROVEMENT OF HARD DISK DRIVE TESTING PROCESS TO REDUCE POOR
ON-TRACK READ/ WRITE SIGNAL DEFECT OF READ/WRITE HEAD

Mr. Theeranop Sukarom

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เพื่อ
ลดข้อบกพร่องประเภทการอ่าน/เขียนสัญญาณ
บกพร่องของหัวอ่าน/เขียน

โดย

นายธีรเทพ สุขอารมณ์

สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ธีรจิรวนิช)

ธีรณพ สุขอารมณ์ : การปรับปรุงกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการอ่าน/เขียนสัญญาณบกพร่องของหัวอ่าน/เขียน (IMPROVEMENT OF HARD DISK DRIVE TESTING PROCESS TO REDUCE POOR ON-TRACK READ/WRITE SIGNAL DEFECT OF READ/WRITE HEAD)
 อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.ปารเมศ ชูติมา, 124 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการอ่าน/เขียนสัญญาณบกพร่องของหัวอ่าน/เขียน ในระหว่างการตรวจสอบคุณภาพก่อนส่งผลิตภัณฑ์ให้ลูกค้า โดยนำวิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อจำนวนการกระตุกของสัญญาณภายหลังการอ่านสัญญาณกลับ และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวในกระบวนการผลิตที่จะทำให้ผลกระทบทางด้านการกระตุกของสัญญาณภายหลังการอ่านสัญญาณกลับลดลง โดยมีเป้าหมายในการปรับปรุงให้ลดลงต่ำกว่า 300 DPPM

ผลของงานวิจัยที่ทำการศึกษาพบว่า ในส่วนของปัจจัยนำเข้าแบบแปรผัน เมื่อกำหนดระดับความต่างของสัญญาณในระหว่างการทดสอบที่ 43 DAC ความถี่ในการเขียนสัญญาณที่ 4T (125 เมกะเฮิร์ตซ์) และอุณหภูมิในระหว่างการทดสอบที่ 32 องศาเซลเซียส พร้อมกับทางด้านปัจจัยแบบคุณลักษณะที่กำหนดคให้มีภาระบุตำแหน่งของร่องรอยความบกพร่องบนแผ่นเก็บข้อมูลก่อนการทดสอบอ่าน/เขียน จึงทำให้จำนวนการกระตุกของสัญญาณภายหลังการอ่านสัญญาณกลับ มีค่าลดลงตามเป้าหมาย และเมื่อนำผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ภายหลังการปรับปรุงกระบวนการดังกล่าวเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบคุณภาพภายหลังการผลิต พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่า DPPM ก่อนการปรับปรุงจาก 633 DPPM ลดลงเหลือ 287 DPPM คิดเป็น 54.67% ที่ลดลง และคาดการณ์ว่ามูลค่าต้นทุนความสูญเสียรวมจะลดลงประมาณ 11,805,505 บาทต่อปี

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

5371462621 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : HARD DISK DRIVE / SIX SIGMA / SIGNAL DEFECT

THEERANOP SUKAROM : IMPROVEMENT OF HARD DISK DRIVE TESTING PROCESS TO REDUCE POOR ON-TRACK READ/WRITE SIGNAL DEFECT OF READ/WRITE HEAD. ADVISOR : ASSOC.PROF.PARAMES CHUTIMA, Ph.D., 124 pp.

The objective of this research is to reduce the Poor On-Track Read/Write Signal Defect on Hard Disk Drive at Quality Inspection by applying Six Sigma Approach to study factors that influence the number of Popping signal on Read-back Signal execution and identify optimum condition in order to reduce defective signals. The expectation of the target is to reduce DPPM to the value less than 300 DPPM.

It was found that in terms of Quantitative (variable) Input Setting once the Threshold during the test was set at 43 DAC, Frequency at 4T (125 MHz) and defined the Temperature during the test at 32 degree Celsius. For those together with Qualitative Input Setting by having Defect Management on media applied prior the Read/Write Signal Testing, that will cause the defect signal (Popping) reduce significantly during Read-back Signal execution. After that the goods are brought to Final Quality Audit test (FQA). The improvement results in 54.67% defect reduction (from 633 DPPM to 287 DPPM) which can be converted into net saving of 11,805,505 baht per annum

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

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

Academic Year :2012.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยความช่วยเหลือและเสียสละเวลาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง จากรองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้คำแนะนำ แนวทางและข้อคิดเห็นต่างๆ ระหว่างการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดีมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอถือโอกาสนี้กราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสดวงศ์ โจรจนโรวรรณ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์จรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ธิวัชรวิชัย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณโรงงานกรณีศึกษาเป็นอย่างสูงที่ให้โอกาสเข้าไป เก็บข้อมูลเพื่องานวิจัย และดำเนินการทดลองต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ยังให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูล ผลการทดลองเป็นอย่างดี และขอขอบพระคุณคณะทำงานที่ช่วยในการระดมสมองให้ความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และให้คำแนะนำ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ประโยชน์และความดีอันพึงเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแก่ บิดา มารดา พี่น้อง และเพื่อนร่วมงาน นอกจากนั้นขอขอบพระคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวในที่นี้ ที่กรุณาให้ความร่วมมือ ช่วยเหลือ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษา	1
1.2 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา.....	2
1.2.1 ฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟประเภท 3.5 นิ้ว	2
1.2.2 ฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟประเภท 2.5 นิ้ว	2
1.2.3 ฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟประเภทเฉพาะเจาะจงกับความต้องการของลูกค้าเป็น พิเศษ.....	3
1.2.4 ฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟประเภทความเร็วสูง	3
1.2.5 ฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟประเภทต่อพ่วง (External HDD)	4
1.3 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	4
1.4 วัตถุประสงค์.....	7
1.5 ขอบเขตการดำเนินงาน	7
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน	7
1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	10
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	10
1.9 แผนการดำเนินงานวิจัย	11
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
2.1 การปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา.....	12
2.1.1 ขั้นตอนนิยามปัญหา (Define Phase)	13
2.1.2 ขั้นตอนการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase).....	13
2.1.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)	18

2.1.4	ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)	18
2.1.5	ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ (Control Phase).....	18
2.2	การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Design of Experiment: DOE)	18
2.2.1	ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง.....	19
2.2.2	การเลือกแบบการทดลอง	20
2.3	การวัด ความผิดพลาดในการวัด และระบบเครื่องมือวัด	26
2.4	โครงสร้างและการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	28
2.4.1	โครงสร้างการเก็บข้อมูลในระดับต่ำ	29
2.4.2	แทรค กับ ไชลินเดอร์	30
2.4.3	กลไกการอ่าน/เขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	31
2.5	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	32
2.5.1	งานอุตสาหกรรมที่ประยุกต์ใช้หลักการซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) เพื่อปรับปรุงคุณภาพและลดของเสีย	32
2.5.2	การหาพื้นผิวตอบสนอง (Respond Surface) หลังการออกแบบการทดลอง.....	34
2.5.3	การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการจัดการด้านคุณภาพ	35
บทที่ 3	ระบะนิยามปัญหา (Define Phase)	38
3.1	บทนำ	38
3.2	ศึกษาผังกระบวนการผลิต (Process Mapping)	38
3.2.1	กระบวนการผลิตภายในห้องควบคุมความสะอาด (Clean Room Process) ..	38
3.2.2	การผลิตและทดสอบนอกห้องควบคุมความสะอาด (BackEnd Process).....	42
3.3	สภาพปัญหาในปัจจุบัน	45
3.4	การกำหนดวัตถุประสงค์และเป้าหมาย.....	48
3.5	การจัดตั้งทีมงานเพื่อดำเนินการแก้ไขปัญหา.....	49
3.6	สรุประบะนิยามปัญหา.....	49
บทที่ 4	ระบะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)	53
4.1	บทนำ	53
4.2	การวิเคราะห์ความเที่ยงของระบบการวัด	53
4.2.1	ขั้นตอนการวิเคราะห์ความเที่ยงของระบบการวัด	54
4.2.2	เกณฑ์การยอมรับของระบบการวัด.....	58

4.3	การระดมสมอง (Brainstorming) เพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (Key Process Input Variable: KPIV).....	59
4.3.1	การวิเคราะห์แผนผังความบกพร่อง (Fault Tree Analysis)	59
4.4	การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis).....	63
4.5	สรุประยะการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา	72
บทที่ 5	ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase).....	74
5.1	บทนำ	74
5.2	รูปแบบในการทดลอง	74
5.3	การกำหนดระดับปัจจัยนำเข้าสำหรับการออกแบบการทดลอง.....	75
5.4	การออกแบบการทดลอง	77
5.5	ขนาดตัวอย่าง	79
5.6	ตัวแปรตอบสนอง (Response) และการแปลงค่า (Transformation)	81
5.7	การทำาทดลอง.....	81
5.8	ผลการทดลอง.....	82
5.9	การวิเคราะห์และการสรุปผลการทดลอง.....	83
5.9.1	การทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูล	84
5.9.2	การวิเคราะห์ผลของการทดลอง	84
5.10	สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา.....	88
บทที่ 6	ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase).....	89
6.1	บทนำ	89
6.2	การออกแบบการทดลองเพิ่มเติม.....	89
6.3	ผลการทดลอง.....	92
6.4	การวิเคราะห์และการสรุปผลการทดลองเพิ่มเติม	94
6.4.1	การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ.....	94
6.4.2	การทดสอบความเป็นอิสระ	95
6.4.3	การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน	96
6.4.4	การวิเคราะห์ผลการทดลองเพิ่มเติม.....	96
6.5	การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (Response Optimization).....	98

6.6	สรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ	100
บทที่ 7	การทดสอบการยืนยันผล และการติดตามควบคุม (Control Phase)	102
7.1	บทนำ	102
7.2	การทดสอบยืนยันผล	102
7.2.1	ขั้นตอนในการทดลอง	103
7.2.2	การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	103
7.2.3	การสรุปค่าใช้จ่ายที่ลดลงหลังจากปรับปรุงกระบวนการ	105
7.3	การติดตามควบคุม	106
7.3.1	แผนการควบคุม	106
7.3.2	การประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม	107
7.3.3	แผนปฏิบัติการแก้ไขเมื่อพบข้อบกพร่องออกนอกค่าควบคุม (Out of Control Action Plan: OCAP).....	108
7.4	สรุประยะการทดสอบยืนยันผล และการติดตามควบคุม	109
บทที่ 8	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	111
8.1	สรุประชนิยามปัญหา.....	111
8.2	สรุประยะการวัดและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัญหา.....	111
8.3	ระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา.....	112
8.4	สรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ	113
8.5	สรุประยะการทดสอบยืนยันผลและการติดตามควบคุม	113
8.6	ข้อจำกัดในงานวิจัย	114
8.7	ข้อเสนอแนะ.....	114
	รายการอ้างอิง	116
	ภาคผนวก	119
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	124

สารบัญญัตินี้

หน้า

ตารางที่ 1.1 การเปรียบเทียบ DPPM แต่ละรุ่นของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์.....	5
ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียในรูปแบบ DPPM ของแต่ละผลิตภัณฑ์ในรุ่นต่างๆ.....	46
ตารางที่ 3.2 Project Charter ของระชนิยามปัญหา.....	50
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบระบบการวัดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของระบบการวัดผ่าน โปรแกรม Minitab.....	55
ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของระบบการวัด	56
ตารางที่ 4.3 เกณฑ์การยอมรับของระบบการวัดสำหรับโรงงานกรณีศึกษา.....	58
ตารางที่ 4.4 เกณฑ์ในการประเมินความรุนแรง (Severity: S).....	64
ตารางที่ 4.5 เกณฑ์ในการประเมินโอกาสการเกิดของสาเหตุข้อบกพร่อง (Occurrence: O)	66
ตารางที่ 4.6 เกณฑ์ในการประเมินความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่อง (Detection: D)	66
ตารางที่ 4.7 รายละเอียดการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis).....	68
ตารางที่ 4.8 สาเหตุของปัญหา และค่า RPN ที่ได้รับการวิเคราะห์จาก FMEA	70
ตารางที่ 4.9 ปัจจัยนำเข้าที่มีผล (KPIV) ที่คิดเป็น 79.54% จากการวิเคราะห์ FMEA.....	72
ตารางที่ 5.1 ปัจจัยและระดับปัจจัยในการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญ.....	75
ตารางที่ 5.2 รายละเอียดการออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม Minitab	78
ตารางที่ 5.3 การออกแบบ Design Matrix เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง....	78
ตารางที่ 5.4 สมการการแปลงข้อมูลด้วยวิธีมาตรฐานและวิธีของ Freeman & Turkey เมื่อตัวแปรตอบสนองเป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนข้อบกพร่อง.....	81
ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองและการแปลงข้อมูลด้วยวิธีมาตรฐานและวิธีของ Freeman & Turkey.....	83
ตารางที่ 5.6 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัยนำเข้าด้วยโปรแกรม Minitab	85
ตารางที่ 6.1 ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยเชิงคุณลักษณะ.....	90
ตารางที่ 6.2 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลองเพิ่มเติมแบบ Box-Behnken.....	91
ตารางที่ 6.3 ผลลัพธ์จากการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken โดยโปรแกรม Minitab.....	91

ตารางที่ 6.4 ตารางการออกแบบการทดลอง (Design matrix) ในรูปแบบ Box-Behnken โดย โปรแกรม Minitab	92
ตารางที่ 6.5 ผลการทดลองและการแปลงค่าผลการทดลองด้วยวิธีของ Freeman & Turkey	93
ตารางที่ 6.6 ผลลัพธ์การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (Analyze Response Surface Design)	98
ตารางที่ 6.7 ผลลัพธ์ปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดผ่านฟังก์ชัน Response Optimization โปรแกรม Minitab	99
ตารางที่ 7.1 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่จะทำการปรับปรุง	102
ตารางที่ 7.2 จำนวนกระตุกของสัญญาณเฉลี่ยในการทดลองหลังกำหนดระดับที่เหมาะสมของ แต่ละปัจจัย.....	104

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประเภท 3.5 นิ้ว	2
ภาพที่ 1.2 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประเภท 2.5 นิ้ว	2
ภาพที่ 1.3 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประเภทออกแบบพิเศษ	3
ภาพที่ 1.4 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประเภทความเร็วสูง.....	3
ภาพที่ 1.5 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประเภทต่อพ่วง.....	4
ภาพที่ 1.6 ปริมาณของผลิตภัณฑ์ต่างๆที่เข้าสู่กระบวนการ FQA	5
ภาพที่ 1.7 จำนวน DPPM ของแต่ละผลิตภัณฑ์	5
ภาพที่ 1.8 วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	6
ภาพที่ 1.9 ค่าใช้จ่ายที่สูญเสียทั้งหมดเนื่องจากปัญหาข้อบกพร่อง.....	6
ภาพที่ 2.1 กลยุทธ์ 5 ขั้นตอน (DMAIC) ตามแนวทางของซิกซ์ ซิกมา.....	13
ภาพที่ 2.2 หลักการของพาเรโต	15
ภาพที่ 2.3 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลโดยไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย (A) และการ ออกแบบเชิงแฟคทอเรียลโดยมีอันตรกิตยาระหว่างปัจจัย (B)	21
ภาพที่ 2.4 การออกแบบส่วนผสมกลาง (CCD) สำหรับ $k = 2$ และ $k = 3$	24
ภาพที่ 2.5 การออกแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน สำหรับตัวแปร 3 ตัวแปร	24
ภาพที่ 2.6 ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัด.....	27
ภาพที่ 2.7 ส่วนประกอบต่างๆ ของ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	29
ภาพที่ 2.8 ลักษณะแทรกคบนแผ่นเก็บข้อมูล.....	30
ภาพที่ 2.9 แทรค กับ ไชลินเดอร์	31
ภาพที่ 2.10 กลไกการอ่าน/เขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	32
ภาพที่ 3.1 Flow Chart การผลิตในห้องควบคุมความสะอาด	39
ภาพที่ 3.2 การประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในห้องควบคุมความสะอาด.....	40
ภาพที่ 3.3 การประกอบแผ่นเก็บข้อมูลและตัวยึด Clamp	41
ภาพที่ 3.4 ชิ้นส่วนต่างๆภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และตำแหน่งของชิ้นส่วนนั้นๆ	42
ภาพที่ 3.5 Flow Chart การผลิตและทดสอบนอกห้องควบคุมความสะอาด	43
ภาพที่ 3.6 กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นอกห้องควบคุมความสะอาด	43
ภาพที่ 3.7 กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยรวม	45

	หน้า
ภาพที่ 3.8 อัตราส่วนของเสียต่อหนึ่งล้านชิ้นบนผลิตภัณฑ์แต่ละรุ่น	46
ภาพที่ 3.9 สัดส่วนข้อบกพร่องแต่ละประเภทบนผลิตภัณฑ์ Firebird	46
ภาพที่ 3.10 มูลค่าความสูญเสียโดยรวมเปรียบเทียบกับข้อบกพร่องแต่ละประเภท	47
ภาพที่ 3.11 ระบบการตรวจสอบคุณภาพของโรงงานกรณีศึกษา.....	48
ภาพที่ 4.1 เครื่อง Neptune ที่ใช้ในการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์	54
ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยวิธี ANOVA ผ่าน โปรแกรม Minitab.....	56
ภาพที่ 4.3 แผนผังต้นไม้ (Tree Diagram)	60
ภาพที่ 4.4 การวิเคราะห์แขนงความบกพร่อง (Falut Tree Analysis).....	62
ภาพที่ 4.5 แผนภูมิพาเรโตของกระบวนการวิเคราะห์ FMEA	71
ภาพที่ 5.1 ตำแหน่งของหัวอ่าน/เขียนอยู่กึ่งกลางแผ่นบันทึกข้อมูล	76
ภาพที่ 5.2 สัญญาณความถี่ที่เขียนลงบนแผ่นบันทึกข้อมูลวัดจาก Oscilloscope	76
ภาพที่ 5.3 รอยขีดข่วน (Defect) บนแผ่นบันทึกข้อมูล	77
ภาพที่ 5.4 การกำหนดค่าต่างๆ ผ่านโปรแกรม Minitab เพื่อหาจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสม.....	79
ภาพที่ 5.5 ผลการคำนวณขนาดตัวอย่างจาก โปรแกรม Minitab	80
ภาพที่ 5.6 ผลลัพธ์การออกแบบตัวอย่างที่เหมาะสม	80
ภาพที่ 5.7 การทดสอบการแจกแจงปกติจำนวนการกระตุกของสัญญาณที่แปลง ด้วยวิธี Freeman & Turkey	84
ภาพที่ 5.8 กราฟ Normal Plot ของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง	86
ภาพที่ 5.9 แผนภูมิพาเรโตของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง	86
ภาพที่ 5.10 ผลของปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองคือจำนวนกระตุกของสัญญาณ อ่านกลับ	87
ภาพที่ 5.11 ผลของอันตรกิริยาที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองคือจำนวนกระตุกของสัญญาณ อ่านกลับ	87
ภาพที่ 6.1 การกระจายตัวแบบปกติของส่วนตกค้าง (Residual)	95
ภาพที่ 6.2 การกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) แบบอิสระ	95
ภาพที่ 6.3 การกระจายตัวของส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต	96
ภาพที่ 6.4 กราฟผลหลักของปัจจัยจากการทดลองเพิ่มเติม	97
ภาพที่ 6.5 กราฟผลอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยจากการทดลองเพิ่มเติม	97
ภาพที่ 6.6 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมของพื้นผิวผลตอบ (Optimal Condition)	100

ภาพที่ 7.1 การใช้แผนภูมิควบคุมสำหรับการควบคุมกระบวนการทดสอบอ่าน/เขียน
 สัญญาณ..... 107

ภาพที่ 7.2 แผนปฏิบัติการแก้ไขเมื่อพบข้อบกพร่องนอกค่าควบคุม..... 108

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมประเภทยานยนต์มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว และมีการแข่งขันกันสูงเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ยานยนต์ที่ขยายตัวอย่างรวดเร็ว เนื่องจากคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทกับชีวิตประจำวันมากขึ้นไม่ว่าจะเป็นทางด้านการทำงาน หรือทางด้านการศึกษาให้มีความบันเทิงกับชีวิตประจำวัน ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ซึ่งเป็นชิ้นส่วนหลักในคอมพิวเตอร์และยังเป็นส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการใช้หน่วยความจำปริมาณมาก ส่งผลให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีปริมาณการผลิตเพิ่มมากขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการดังกล่าวไป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำแนวทางของเทคนิคซิกซ์ ซิกมา มาช่วยลดของเสียในกระบวนการผลิต/ทดสอบ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพ ทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถตอบสนองความต้องการและสร้างความพึงพอใจสูงสุดให้กับลูกค้า นอกจากการช่วยลดของเสียระหว่างกระบวนการผลิต ซึ่งทำให้ต้นทุนในการผลิตต่ำลง และยังก่อให้เกิดรายได้ที่มากขึ้นกับองค์กร องค์กรสามารถอยู่รอดและมีศักยภาพสูงขึ้นในการแข่งขันในอนาคตตนเอง

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาและปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งอยู่ในส่วนของการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์หลังจากที่ประกอบชิ้นส่วนต่างๆ จากห้องควบคุมความสะอาดเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ซึ่งเป็นลักษณะของการตั้งค่าเริ่มต้น การปรับแต่งความสัมพันธ์ระหว่างหัวอ่าน/เขียนข้อมูล กับแผ่นบันทึกข้อมูล การจัดเรียงพื้นที่เก็บข้อมูลและตรวจสอบความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่ภายใน เพื่อให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพสูงสุด

1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาได้เริ่มดำเนินการก่อตั้งเมื่อวันที่ 18 สิงหาคม 2546 ณ นิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันส่งเสริมการลงทุนหรือ BOI ในฐานะผู้นำเทคโนโลยีและระบบการผลิตที่ทันสมัย และเป็นฐานการผลิตหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย ด้วยพนักงานกว่า 26,000 คน จากนั้นได้มีการขยายขีดความสามารถในด้านธุรกิจดังกล่าว โดยการผลิตอุปกรณ์เก็บข้อมูล หรือที่เรียกว่าฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยมีโรงงานการผลิตทั้งที่ นิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และอุตสาหกรรมนวนคร จังหวัดปทุมธานี โดยมีเป้าหมายหลักในการส่งมอบผลิตภัณฑ์ที่ดีมีคุณภาพต่อลูกค้า

1.2 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา

1.2.1 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประเภท 3.5 นิ้ว

เป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สำหรับคอมพิวเตอร์ประเภทตั้งโต๊ะ และเครื่องประเภทเซฟเวอร์ที่จะมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก โดยขนาดมาตรฐานอยู่ที่ 4" x 5.75" x 1" หรือ 101.6 mm x 146.05 mm x 25.4 mm มีความทนทานสูง และความเร็วรอบอยู่ที่ 7200 รอบต่อนาที จึงเป็นที่นิยมและเหมาะสำหรับคอมพิวเตอร์ประเภทตั้งโต๊ะทำงาน หรือเครื่องเซฟเวอร์ ที่ไม่ต้องการเคลื่อนย้ายบ่อย แสดงดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประเภท 3.5 นิ้ว

1.2.2 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประเภท 2.5 นิ้ว

จะเป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สำหรับคอมพิวเตอร์โน้ตบุคที่มีขนาดกระทัดรัด และน้ำหนักไม่มาก โดยขนาดมาตรฐานอยู่ที่ 2.75" x 3.945" x 0.374" หรือ 69.85 mm x 100.2 mm x 9.5 mm มีความคล่องตัว และเหมาะสำหรับการเคลื่อนย้าย จึงนิยมนำไปใช้ในคอมพิวเตอร์ประเภทพกพา (Notebook และ Netbook เป็นต้น) ดังแสดงในภาพที่ 1.2



ภาพที่ 1.2 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประเภท 2.5 นิ้ว

1.2.3 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประเภทเฉพาะเจาะจงกับความต้องการของลูกค้าเป็นพิเศษ

เป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ต้องการตอบสนองความต้องการของลูกค้าโดยตรง และโดยส่วนใหญ่จะต้องการขนาดที่เล็กลงหรือบางลง ทำให้ไม่มีขนาดมาตรฐานแน่นอน และคุณลักษณะภายในที่แตกต่าง โดยมีฟังก์ชันการทำงานที่ต่างกันอย่างมาก ซึ่งนำไปใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบมาพิเศษ หรือคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่บางลง ดังแสดงในภาพที่ 1.3



ภาพที่ 1.3 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประเภทออกแบบพิเศษ

1.2.4 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประเภทความเร็วสูง

เป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีประสิทธิภาพสูงและราคาค่อนข้างสูงเช่นเดียวกัน เนื่องจากความเร็วอยู่ที่ 10,000 รอบต่อนาที การผลิตจึงทำได้ยากกว่าฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาดมาตรฐานทั่วไป และผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะใช้งานมากทางด้านเครื่องเซฟเวอร์ เนื่องจากขณะทำงานจะเกิดความร้อนมากกว่าปกติ จึงต้องการระบบหล่อเย็น หรืออุณหภูมิต่ำที่มีอากาศไหลเวียนที่ดี ดังแสดงในภาพที่ 1.4



ภาพที่ 1.4 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประเภทความเร็วสูง

1.2.5 ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟประเภทต่อพ่วง (External HDD)

เป็นที่นิยมมากในยุคปัจจุบัน เนื่องจากราคาเริ่มปรับตัวลงอย่างมากเมื่อเทียบกับในอดีต และความจุของตัวฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟประเภทต่อพ่วงเองก็สูงมากพอ (ตามภาพที่ 1.5) จึงสามารถแข่งขันกับตลาดของอุปกรณ์เก็บข้อมูลประเภทหน่วยความจำแฟรช (Flash Drives) ที่มีขนาดเล็กและเบา แต่ความจุไม่สูงมากนัก ดังนั้นฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟประเภทต่อพ่วงนี้จึงเป็นที่ต้องการและนิยมอีกทั้งมีขนาดพกพาและขนาดความจุตามความต้องการของผู้ใช้งานอีกด้วย



ภาพที่ 1.5 ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟประเภทต่อพ่วง

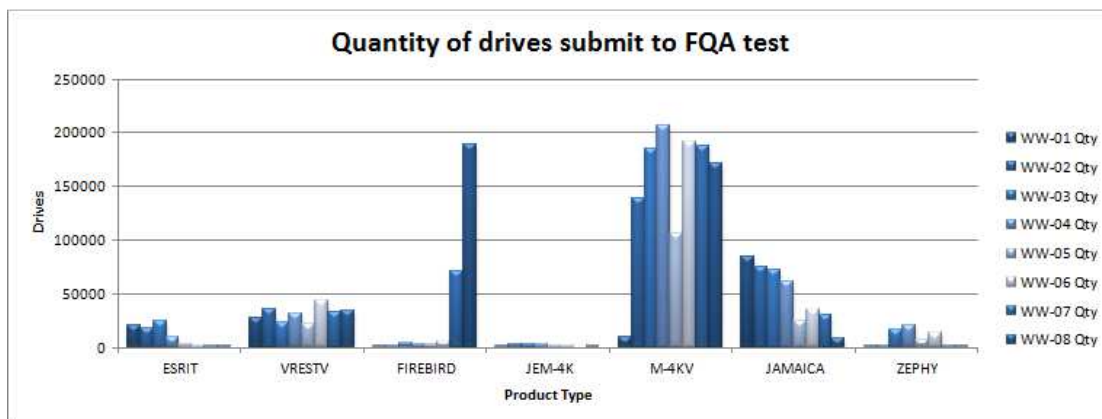
1.3 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจะแบ่งการผลิตออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ (1) การประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ในห้องควบคุมความสะอาด (Clean Room/ HAD Process Control) และ (2) การตั้งค่าการทำงานและปรับแต่งความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ภายใน (Backend Process Control) เพื่อหาความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ที่อยู่ภายใน ให้มีการทำงานที่ดีที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นกระบวนการผลิตในส่วนที่ 2 นั่นคือการผลิตที่อยู่นอกห้องควบคุมความสะอาดซึ่งเป็นการตั้งค่าเริ่มต้น, การหาความสัมพันธ์ที่ดีของหัวอ่าน/ เขียน กับแผ่นบันทึกข้อมูล, การจัดการระบบเก็บข้อมูล และการตั้งค่าการทำงานสุดท้าย ซึ่งเป็นการทำให้ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟสามารถทำการอ่านเขียนข้อมูลได้ดีที่สุด หากขาดกระบวนการนี้ไปตัวฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟก็ไม่ต่างอะไรจากก้อนโลหะธรรมดาที่มีส่วนประกอบมากมายแต่นำไปใช้ประโยชน์ในการเก็บข้อมูลไม่ได้

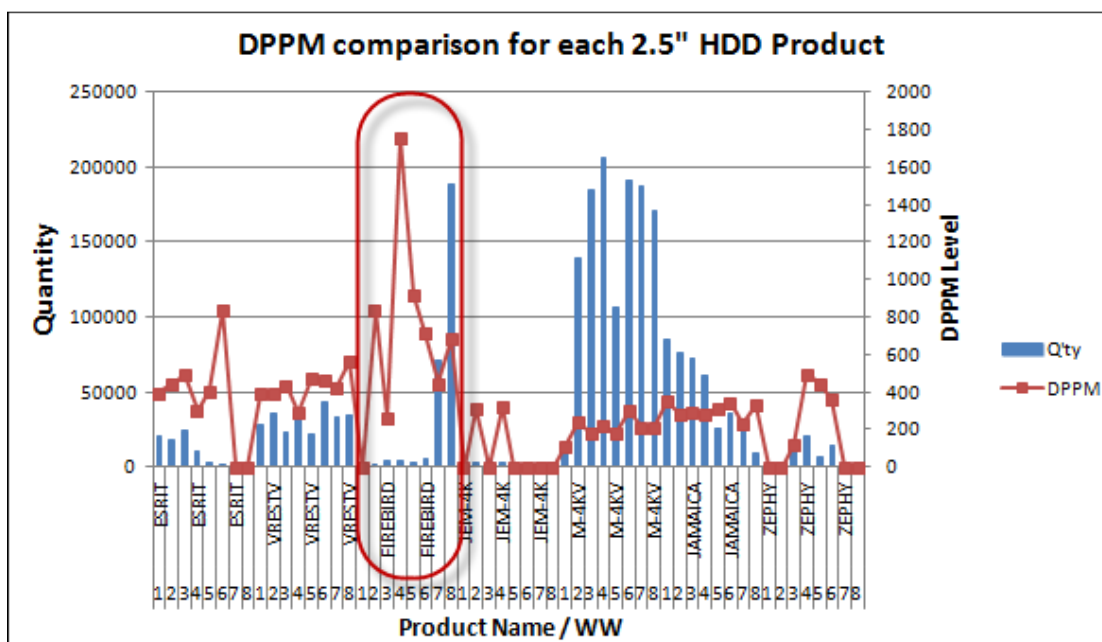
เมื่อพิจารณาข้อมูลปัญหาด้านคุณภาพในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ในช่วงไตรมาสแรกที่ผ่านมาของปี 2555 พบว่า ผลิตภัณฑ์ใหม่ในชื่อ Firebird มีค่า DPPM สูง และเกินกว่าค่ามาตรฐานที่ 300 DPPM และสูงกว่าผลิตภัณฑ์ตัวอื่นๆ ในรุ่นเดียวกันดังตารางที่ 1.1 โดยมีปริมาณการผลิตที่สูงมากในช่วง 2 สัปดาห์หลัง ดังแสดงในภาพที่ 1.6 และภาพที่ 1.7 ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะลดปริมาณของเสียที่เกิดกับผลิตภัณฑ์รุ่น Firebird ซึ่งผลิตภัณฑ์นี้กำลังเป็นที่ต้องการของตลาด เนื่องจากเป็นฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาดมาตรฐาน 2.5 นิ้ว และมีความจุสูงสุดที่ 1 TB หรือ 1 ล้าน ล้าน bytes (1,000,000,000,000 bytes)

ตารางที่ 1.1 การเปรียบเทียบ DPPM แต่ละรุ่นของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

Work Week	WW-01		WW-02		WW-03		WW-04		WW-05		WW-06		WW-07		WW-08		Total	
	Qty	DPPM	Qty	DPPM	Qty	DPPM	Qty	DPPM	Qty	DPPM	Qty	DPPM	Qty	DPPM	Qty	DPPM	Qty	DPPM
ESRIT	20156	397	18173	440	24408	492	9875	304	2465	406	1195	837	492	0	239	0	102996	388
VRESTV	28014	393	35997	389	22924	436	31218	288	21374	468	43294	462	33036	424	33854	561	321728	404
FIREBIRD	50	0	1199	834	3796	263	3419	1755	3259	921	5609	713	71553	447	188952	682	277903	633
JEM-4K	570	0	3199	313	3438	0	3100	323	290	0	893	0	0	0	100	0	31848	251
M-4KV	9551	105	138651	238	185239	178	206043	218	106427	179	191479	303	187400	208	170900	211	1827173	215
JAMAICA	84476	355	75542	278	71894	292	61122	278	25322	316	35049	342	30668	228	8965	335	472458	313
ZEPHY	388	0	64	0	16921	118	20102	497	6856	438	13730	364	273	0	543	0	64258	324



ภาพที่ 1.6 ปริมาณของผลิตภัณฑ์ต่างๆที่เข้าสู่กระบวนการ FQA

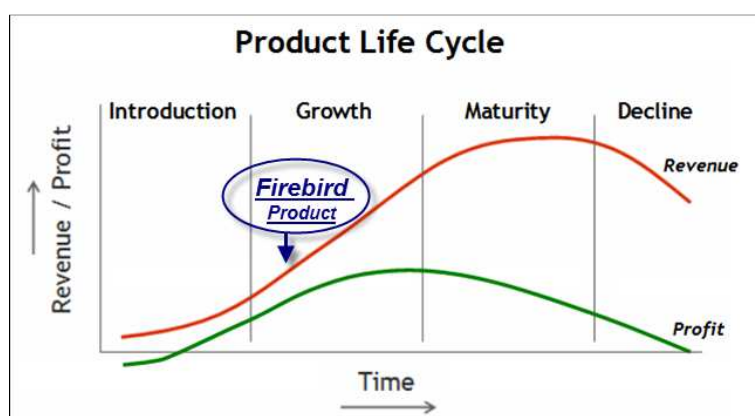


ภาพที่ 1.7 จำนวน DPPM ของแต่ละผลิตภัณฑ์

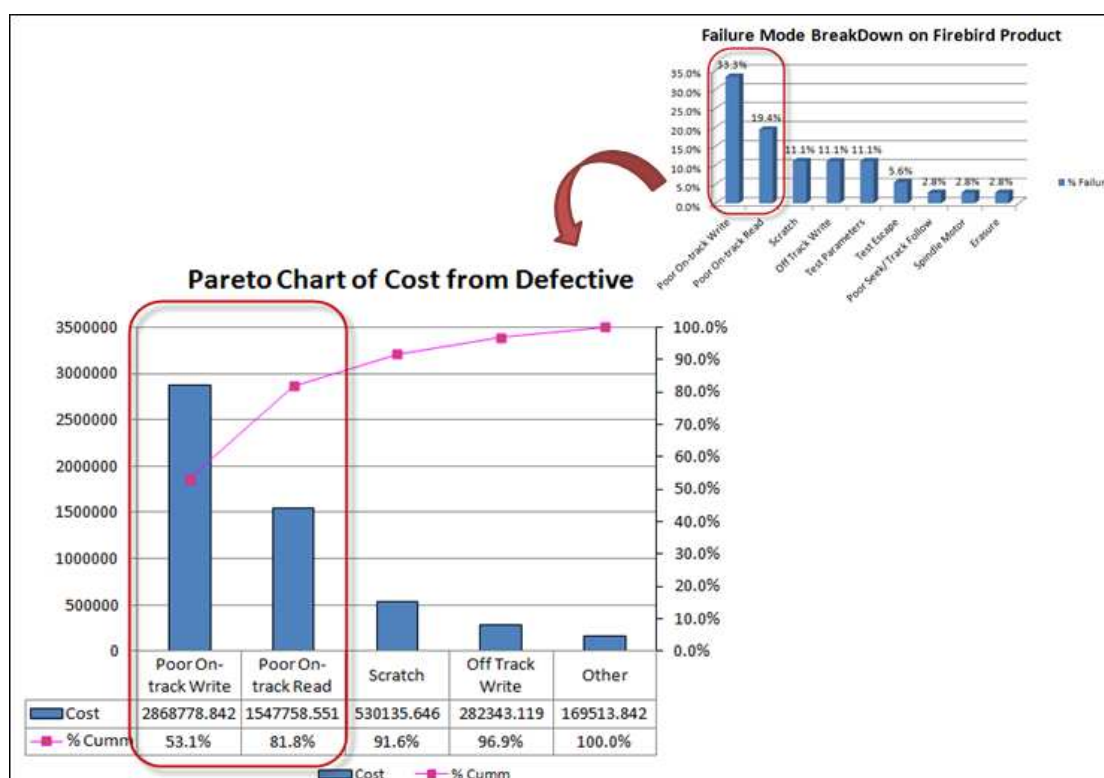
ผลกระทบที่เกิดจาก DPPM สูงเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการคัดแยกงาน การนำไปตรวจสอบ 100% ของผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนั้นๆ ซึ่งบางส่วนจะต้องถูกส่งกลับเข้าสู่

การเริ่มต้นกระบวนการผลิตใหม่เพื่อทำการปรับแต่งค่าใหม่ของการอ่าน/เขียน อีกครั้ง ซึ่งหากผลิตภัณฑ์มีความจุสูงจะใช้เวลาในการกระบวนการนานขึ้นเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มีความจุต่ำ ซึ่งนั่นก็เป็นไปตามวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ใหม่ดังภาพที่ 1.8 นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการสูญเสียเวลา, Utilization ของเครื่องจักร และค่าใช้จ่ายอื่นๆ ของโรงงาน

ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์สภาพปัญหาที่เกิดขึ้นจริงอีกครั้งเทียบกับค่าใช้จ่าย ตามแผนภูมิพาเรโตด้านล่างตามภาพที่ 1.9



ภาพที่ 1.8 วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



ภาพที่ 1.9 ค่าใช้จ่ายที่สูญเสียทั้งหมดเนื่องจากปัญหาข้อบกพร่อง

จากภาพที่ 1.9 พบว่าข้อบกพร่องประเภทการอ่าน/เขียนสัญญาณบกพร่องของหัวอ่าน/เขียน (Poor On-Track Read และ Poor On-Track Write) เป็นสองปัญหาหลักจากการจำแนกข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกิดบนผลิตภัณฑ์ Firebird ที่ทำให้ค่า DPPM ของผลิตภัณฑ์สูง โดยทั้งสองข้อบกพร่องก่อให้เกิดมูลค่าความสูญเสียกว่า 4 ล้านบาทในช่วง 2 เดือนหลังสุดในไตรมาสแรกปี 2555 ของการพิจารณาดังภาพที่ 1.9 หรือกว่า 81.8%ของมูลค่าความสูญเสียทั้งหมด ดังนั้นเมื่อนำหลักการ 80/20 มาพิจารณา ทำให้เราเลือกปัญหาหลักทั้งสองดังกล่าวมาทำการวิจัย

1.4 วัตถุประสงค์

เพื่อลดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการอ่าน/เขียนสัญญาณบกพร่อง ของหัวอ่าน/เขียน ข้อมูล ณ จุดตรวจสอบคุณภาพ โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกม่า

1.5 ขอบเขตการดำเนินงาน

ขอบเขตของการดำเนินงานมีดังนี้

1. งานวิจัยนี้ทำการศึกษาวิจัยเฉพาะผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์รุ่น Firebird เท่านั้น
2. การศึกษาและวิจัยครั้งนี้ไม่ครอบคลุมถึงการเปลี่ยนแปลงการออกแบบส่วนการผลิตในห้องควบคุมความสะอาด
3. การศึกษาและวิจัยครั้งนี้ไม่ครอบคลุมการเปลี่ยนแปลงการออกแบบเชิงกายภาพของหัวอ่าน/เขียนข้อมูล
4. งานวิจัยนี้จะอ้างอิงจากแผนการสุ่มตรวจสอบหาของเสียจากมาตรฐานของโรงงานกรณีศึกษาเท่านั้น และ ซอฟต์แวร์ที่โรงงานเป็นผู้กำหนด เพื่อใช้เป็นตัววัดของเสียก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เลือกใช้แนวทางการดำเนินงานซิกซ์ ซิกม่า มาประยุกต์ใช้เพื่อลดปัญหาหัวอ่าน/เขียน บนผลิตภัณฑ์ Firebird เนื่องจากแนวทางของซิกซ์ ซิกม่า ถือเป็นระบบการดำเนินการที่มีการวางเป้าหมาย มีโครงสร้างและมีการกำหนดรูปแบบที่แน่นอนของขั้นตอนในการปฏิบัติงาน ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนหลัก 5 ขั้นตอน ได้แก่ การนิยามปัญหา (Define Phase), การวัดสภาพของปัญหา (Measure Phase), การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze Phase), การปรับปรุง

แก้ไข (Improve Phase) และการตรวจติดตามและควบคุมเพื่อรักษาสภาพภายหลังการปรับปรุง (Control Phase) โดยมีรายละเอียดการดำเนินการในแต่ละขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โดยทำการรวบรวมความรู้และข้อมูลจากหนังสือ งานวิจัยต่างๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้บนงานวิจัยครั้งนี้

2. ระบะนิยามปัญหา (Define Phase)

ศึกษากระบวนการผลิต กระบวนการทดสอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการหาค่าความสัมพันธ์ที่ดีที่สุดของหัวอ่าน/เขียน และแผ่นเก็บข้อมูล การจัดการรูปแบบการเก็บข้อมูล ที่อยู่ภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยทำการรวบรวมข้อมูลด้านต่างๆ เพื่อศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน และศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าของหัวอ่านเขียน จากทุกกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ Firebird โดยรวบรวมจากข้อมูลต่างๆ จากแผนภูมิควบคุมกระบวนการทำงาน (Process Control Chart) ภายในห้องควบคุมความสะอาด รวมทั้งลักษณะและลำดับการทดสอบเมื่ออยู่นอกห้องควบคุมความสะอาด เป็นต้น

จัดตั้งทีมงานเพื่อเข้าร่วมในโครงการ โดยทำการคัดเลือกจากผู้ที่มีความรู้และความชำนาญจากแต่ละส่วนงานของกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ รุ่น Firebird โดยทีมงานประกอบด้วย

- ผู้จัดการฝ่ายผลิตภัณฑ์ (Product Engineering Manager)
- วิศวกรฝ่ายวิเคราะห์และตรวจสอบ (Analysis Engineer)
- วิศวกรฝ่ายพัฒนากระบวนการ (Process Development Engineer)
- วิศวกรฝ่ายผลิตภัณฑ์ (Product Engineer)
- วิศวกรฝ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์ (Equipment Engineer)
- วิศวกรฝ่ายพัฒนาการออกแบบทดสอบ (Test Development Engineer)
- หัวหน้าพนักงานฝ่ายผลิต (Production Supervisor)
- ผู้ดำเนินงานวิจัย (Researcher)

ทีมงานมีหน้าที่ช่วยกันระดมสมอง คิด วิเคราะห์ เพื่อหาสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าของหัวอ่านเขียนข้อมูลของผลิตภัณฑ์ รุ่น Firebird มีปัญหา ระหว่างการตรวจสอบคุณภาพก่อนส่งสินค้า โดยอาศัยเครื่องมือและเทคนิคต่างๆ ร่วมกัน รวมทั้งให้ความร่วมมือและสนับสนุนการทดลองต่างๆ ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

หน้าที่หลักของผู้ดำเนินการวิจัย มีดังนี้

- ติดต่อประสานงานกับทีมงาน
- รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่างๆ
- วิเคราะห์ความถูกต้อง และความเที่ยงของระบบการทดสอบ
- จัดประชุมร่วมกับทีมงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องเพื่อระดมสมอง (Brain Storming)
- ออกแบบและวางแผนการทดลอง
- วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
- เสนอและทดลองแผนควบคุม เพื่อรักษามาตรฐานหลังการปรับปรุง

3. ระยะเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

1. วิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Measurement System Analysis)
2. เก็บรวบรวมข้อมูลและพิจารณาความสามารถของกระบวนการในปัจจุบัน รวมทั้งศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบให้เกิดของเสียขึ้น เพื่อให้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์หาสาเหตุ
3. ระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า (Key Input Variable: KPIV) หาสาเหตุที่เป็นไปได้โดยใช้แผนภาพต้นไม้ (Fault Tree Analysis: FTA) เพื่อใช้ในการคัดเลือกปัจจัย (Screen Factor) ที่อาจส่งผลกระทบต่อลักษณะทางไฟฟ้าของหัวอ่าน เขียนข้อมูล กำหนดปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผล (KPIV) โดยใช้การวิเคราะห์แขนงความบกพร่อง (Fault Tree Analysis: FTA) จากนั้นเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยด้วยการวิเคราะห์ความล้มเหลวของข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effect Analysis: FMEA) โดยใช้การระดมสมองจาก ร่วมกับทีมงานและพนักงานที่เกี่ยวข้อง พร้อมกับข้อมูลทางสถิติที่มีอยู่

4. ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)

ทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยที่ได้คัดกรองจากการวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบ (FMEA) ด้วย วิธีการทางสถิติ เช่น การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) เป็นต้น

5. ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)

1. ดำเนินการออกแบบการทดลองเพื่อหาเงื่อนไขในการทดสอบที่ดีที่สุด (DOE)
2. กำหนดตัวแปรและข้อจำกัดต่างๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อทดลอง
3. กำหนดขั้นตอนการทดลองและการเก็บข้อมูลหลังการทดลอง

4. ดำเนินการทดลอง จากปัจจัยที่กำหนดไว้เพื่อนำไปปรับปรุงกระบวนการให้จำนวนของเสียลดลงและนำไปปรับใช้ในกระบวนการผลิตจริงต่อไป
5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

6. ระยะเวลาติดตามควบคุม (Control Phase)

1. ทำการทดสอบยืนยันผลที่ได้จากการออกแบบการทดลอง โดยการเก็บข้อมูลหลังการใช้ระดับของปัจจัยที่สรุปได้จากการทดลองเป็นระยะเวลาอย่างน้อยประมาณ 2 สัปดาห์
2. เสนอแผนควบคุม (Control Plan) และดำเนินการโดยพิจารณาถึงลักษณะและข้อจำกัดของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะทำการควบคุมด้วย
3. กำหนดวิธีการทำงาน รายละเอียดต่างๆ ที่ได้จากงานวิจัย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการต่อไป
4. สรุปผลการปรับปรุงที่ได้ โดยพิจารณาเปรียบเทียบผลการปรับปรุงจากสัดส่วนที่สามารถ ลดลงได้

7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

วิธีการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ที่สามารถลดข้อบกพร่องที่เกิดจากการอ่าน/เขียนสัญญาณบกพร่องของหัวอ่าน/เขียน

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยครั้งนี้มีดังนี้

1. เพื่อลดปริมาณชิ้นงานที่ต้องนำมาผ่านกระบวนการผลิตและทดสอบเพื่อปรับปรุงอีกครั้ง (กระบวนการ SPT/ XCAL เพื่อทำการปรับแต่งความสัมพันธ์ และประสิทธิภาพของการอ่าน/เขียน)
2. เพื่อลดต้นทุนความสูญเสียด้านงบประมาณ และเวลาจากการตรวจสอบซ้ำหรือส่งกลับเข้าไปในกระบวนการผลิต
3. เพื่อรักษาประสิทธิภาพของคุณลักษณะการทำงานของผลิตภัณฑ์ Firebird ในด้านอื่นๆ (Functional Characteristics) เช่น อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (Reliability) เป็นต้น

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา

วชิรพงษ์ สาลีสิงห์ (2548) ได้กล่าวไว้ว่า บริษัทโมโตโรล่า นั้นได้คิดเทคนิคที่ใช้ในการบริหารกระบวนการผลิตชนิดหนึ่งซึ่งเรียกว่า “ซิกซ์ ซิกมา” เมื่อประมาณปี ค.ศ. 1990 โดยมีความมุ่งหมายที่จะลดของเสียในกระบวนการผลิต โดยให้จำนวนของเสียที่จะเกิดขึ้นมามีน้อยที่สุดจนกระทั่งสามารถลดต้นทุนการผลิต และสามารถสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าในขณะเดียวกัน ทำให้บริษัทโมโตโรล่าประสบความสำเร็จจากการดำเนินงานภายใต้กระบวนการดังกล่าวซึ่งคิดเป็นเงินจำนวนมหาศาลที่ได้รับ ต่อมาบริษัทเจเนอรัลอิเล็กทริกส์ (General Electric: GE) โดย Jack Welch ได้นำแนวทางซิกซ์ ซิกมา มาทำการปรับปรุงแก้ไขให้เหมาะสมโดยการเน้นทำเป็นเรื่องๆ ในช่วงเวลาที่กำหนด (โดยประมาณ 6 เดือน) หรือเรียกว่า Project Base Approach นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มเติมในส่วนของการบริหาร โครงการ การโน้มน้าวให้ผู้บริหารเล็งเห็นถึงความสำคัญของการดำเนินงานภายใต้แนวทาง ซิกซ์ ซิกมา และเพิ่มเติมในส่วนของการประเมินผลสำเร็จที่ได้รับในรูปแบบของการเงินที่ดีขึ้นอีกด้วย

ทางด้านกรปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา เพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ภายหลังการปรับปรุงกระบวนการนั้น จำเป็นต้องมีการประยุกต์ใช้กลยุทธ์ 5 ขั้นตอน (Five-Phase Improvement Model) หรือเป็นที่รู้จักกันใน DMAIC ซึ่งประกอบด้วย D : Define Phase คือ ขั้นตอนนิยามปัญหา M : Measure Phase ขั้นตอนการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา A : Analyze Phase ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา I : Improvement Phase ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และ C : Control Phase ขั้นตอนการติดตามควบคุม ทั้งหมด 5 ขั้นตอนได้แสดงในภาพที่ 2.1 และมีรายละเอียดจะกล่าวต่อไป



ภาพที่ 2.1 กลยุทธ์ 5 ขั้นตอน (DMAIC) ตามแนวทางของซิกซ์ ซิกมา

2.1.1 ขั้นตอนนิยามปัญหา (Define Phase)

ขั้นตอนนิยามปัญหาเป็นขั้นตอนแรกตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา ที่มีความสำคัญในการวางแผนจุดเริ่มต้นและกำหนดทิศทางของการดำเนินการวิจัย โดยพิจารณาและวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตเปรียบเทียบกับความต้องการของลูกค้าหรือการควบคุมคุณภาพภายใน ทำให้ทราบปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งนำไปสู่การพิจารณาเลือกปัญหาที่จะนำมาทำการแก้ไขและทราบความสามารถในการปรับปรุงกระบวนการ นอกจากนี้ยังเป็นขั้นตอนที่มีการกำหนดวัตถุประสงค์ เป้าหมาย แนวทางการดำเนินการ แผนการดำเนินการ และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

2.1.2 ขั้นตอนการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

ขั้นตอนการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหาเป็นขั้นตอนในการวัดความสามารถของกระบวนการผลิตตัดจากการนิยามปัญหา โดยจะทำการศึกษาและทำความเข้าใจขั้นตอนและรายละเอียดของกระบวนการผลิต จากนั้นทำการวิเคราะห์และพิจารณาถึงที่มาของปัญหารวมทั้งผลกระทบของปัญหาด้านต่างๆ เพื่อเลือกสาเหตุที่คาดว่าจะมีผลกระทบรุนแรงต่อกระบวนการผลิตมาทำการแก้ไข โดยใช้ความรู้และเครื่องมือทางสถิติที่เกี่ยวข้องในการศึกษากระบวนการ ซึ่งในขั้นตอนนี้เครื่องมือทางสถิติที่นำมาใช้ได้แก่ แผนภาพกระบวนการผลิต (Process Flowchart) การระดมความคิด (Brain Storming) แผนภูมิพาร์โต (Pareto Chart) แผนภูมิก้างปลา (Cause and Effect Diagram) การวิเคราะห์แขนงความบกพร่อง (Fault Tree-Analysis: FTA) การวิเคราะห์ข้อบกพร่อง

และผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis and Gage R & R)

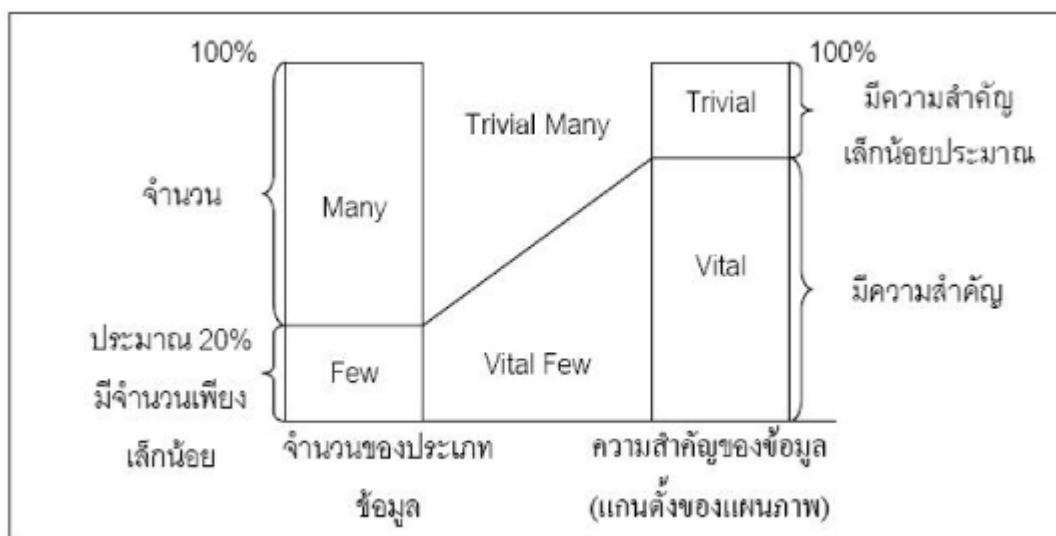
1 แผนภูมิพารेटอ (Pareto Diagram)

แผนภูมิพารेटอถือเป็นเครื่องมือทางสถิติที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของข้อมูลที่มีการจำแนกประเภท กลไกการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ กรณีข้อมูลมีลักษณะความเสถียรภาพในระยะเวลาสั้น จะทำให้สามารถคาดการณ์ได้ว่าข้อมูลประเภทใดน่าจะมีค่ามากที่สุด ซึ่งถ้ามีการเก็บข้อมูลเป็นเวลานานๆ จะเกิดการสะสมของข้อมูล และทำให้ค่าสะสมของข้อมูลแต่ละประเภทนั้นมีความแตกต่างกันค่อนข้างชัดเจน ส่วนกรณีข้อมูลไม่มีลักษณะความเสถียรภาพที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ในแต่ละช่วงเวลานั้น จะไม่สามารถอาจทราบได้ว่าข้อมูลแบบใดจะมีความถี่มากที่สุด ซึ่งเป็นลักษณะของความขาดเสถียรภาพ ทำให้ลักษณะดังกล่าวพบว่าข้อมูลจะมีการสะสม แต่ค่าสะสมนั้นจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน คือแตกต่างกันอย่างไม่ชัดเจน (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2545)

ประโยชน์ของแผนภูมิพารेटอมีดังนี้

- ช่วยบ่งชี้ให้เห็นว่า หัวข้อใดเป็นปัญหามากที่สุด
- ช่วยให้เข้าใจว่าแต่ละหัวข้อมีอัตราส่วนเป็นเท่าใดจากสัดส่วนทั้งหมด
- ใช้กราฟแท่งแสดงถึงขนาดของปัญหา ช่วยทำให้โน้มน้าวจิตใจได้ดี
- ลดการคำนวณที่ยุ่งยาก และใช้ในการเปรียบเทียบผลได้
- ช่วยในการตั้งเป้าหมาย ทั้งแบบปัญหาและแบบตัวเลขได้

หากข้อมูลมีลักษณะอยู่ในสถานะเสถียรภาพ ข้อมูลที่มีความสำคัญนั้นจะมีจำนวนเล็กน้อย (Vital Few) ส่วนข้อมูลที่เหลืออีกจำนวนมากนั้นแทบจะไม่มีมีความสำคัญเลย (Trivial Many) ตัวแบบของความมีเสถียรภาพของข้อมูลจะมีลักษณะข้อมูลที่มีความสำคัญมาก (จะมีค่าประมาณ 80% ของตัววัดความสำคัญทั้งหมด) ซึ่งมาจากประเภทข้อมูลจำนวนเพียงเล็กน้อยของทั้งหมด (ประมาณ 20% ของประเภทของข้อมูลทั้งหมด) เรียกกฎหลักการพารेटอนี้ว่า กฎ 80-20 อธิบายได้ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 หลักการของพาเรโต

ทางด้านการศึกษาความหมายของแผนภูมิพาเรโตนั้น แผนภูมิพาเรโตใช้ในการตีความหมายของการมีเสถียรภาพหรือไม่ของข้อมูลที่ทำการศึกษา ซึ่งข้อกำหนดระหว่างการศึกษาความหมายคือ กรณีตัวแบบของข้อมูลเป็นไปตามหลักการพาเรโต หมายความว่าข้อมูลนั้นอยู่ในสถานะเสถียรภาพและทำให้สามารถใช้คาดการณ์ได้ แต่ถ้าหากกรณีตัวแบบของข้อมูลไม่ได้เป็นไปตามหลักการของพาเรโต หมายความว่าข้อมูลขาดเสถียรภาพ อันเนื่องจากข้อมูลที่ได้รับมาอาจอยู่ในสถานะการปรับตัว (Transient State) จึงแนะนำให้มีการเก็บข้อมูลเพิ่ม หรืออีกกรณีหนึ่งคือ ข้อมูลนั้นมาจากกระบวนการที่ขาดเสถียรภาพ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องแก้ไขกระบวนการดังกล่าวด้วยการทำให้กระบวนการมีมาตรฐานขึ้นเพื่อให้มีเสถียรภาพ

2 การระดมความคิด (Brainstorming)

การระดมความคิด คือ การแสดงออกทางความคิดร่วมกันระหว่างสมาชิกในกลุ่ม เพื่อใช้เป็นแนวทางที่จะนำไปสู่การแก้ปัญหา ซึ่งในหากค้นคว้าพจนานุกรมจะตีความหมายว่าเป็นการคิดแบบไร้แบบแผน (Free-Form Thinking)

การระดมความคิดเป็นขั้นตอนในการที่จะรวบรวมความคิดจากกลุ่มคนที่เกี่ยวข้องในงานดังกล่าวให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ในระยะเวลาที่จำกัด เพื่อเป็นแนวทางสำหรับสิ่งใหม่ๆ ซึ่งอาจจะถูกนำมาใช้ในโอกาสหรือสถานการณ์ต่างๆ เช่น การวางยุทธศาสตร์ การพัฒนางาน การค้นหาต้นตอของปัญหา ตลอดจนการแนวทางการแก้ไขปัญหา (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2545)

หลักของการระดมความคิด แสดงดังนี้

- หัวข้อของการระดมความคิดต้องชัดเจน

- ละเว้นการวิจารณ์ระหว่างการระดมความคิด โดยเป็นการเปิดให้ผู้เข้าร่วมระดมความคิด มีความเป็นอิสระในการแสดงความคิดเห็นต่างๆ
- จำนวนข้อเสนอแนะยิ่งมากยิ่งดี
- ข้อเสนอควรมีทั้งแบบเพิ่มเติมจากแนวคิดของคนอื่น และการเสนอแนวคิดสร้างสรรค์แปลกใหม่
- ควรรับฟังความคิดเห็นของทีมงานหรือผู้อื่น โดยหลีกเลี่ยงการปะทะคารมระหว่างการประชุม
- ควรทำการรวบรวมหลังจากได้ผล และนำไปปรับปรุง

3 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis: FMEA)

การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการผลิต คือการวิเคราะห์ความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นเพื่อการแก้ไขให้บรรลุเป้าหมาย โดยจุดประสงค์ของ FMEA คือ เพื่อกำหนดมุมมองของการออกแบบผลิตภัณฑ์ การปฏิบัติงานหรือการผลิต ซึ่งมีความเสี่ยงสูงต่อความล้มเหลวในรูปแบบต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้น (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2551 และ คำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย, 2553)

การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ ถือเป็นอีกเทคนิคหนึ่งทางวิศวกรรม ซึ่งถูกนำมาใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์ถึงข้อบกพร่องที่น่าจะเกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นแล้ว เพื่อ

1. บอกถึงผลกระทบ กับความรุนแรงจากข้อบกพร่องต่างๆเหล่านั้น จนนำไปสู่การบ่งชี้ถึงสาเหตุของข้อบกพร่องต่างๆ รวมถึงการศึกษาถึงอัตราการเกิดขึ้นของสาเหตุเหล่านั้นด้วย
2. ตรวจสอบถึงการควบคุมในปัจจุบันว่า การควบคุมหรือป้องกันเพื่อไม่ให้สาเหตุที่ถูกระบุนั้น เกิดขึ้นได้อย่างไร มีประสิทธิภาพด้านการควบคุม ตรวจสอบและป้องกันเป็นเช่นไร
3. จัดลำดับความสำคัญ และความเร่งด่วนในการแก้ปัญหาต่างๆ
4. ทำการแก้ไขปัญหา ที่มีสาเหตุขึ้นวิกฤติหรือรุนแรงมาก
5. ทำการรวบรวมแนวทางสำหรับการแก้ปัญหาโดยทำเป็นลักษณะเอกสารเก็บไว้ เพื่อให้สามารถนำมาศึกษาย้อนหลังถึงแนวทางการปฏิบัติที่ผ่านมาได้

จุดประสงค์หลักของการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) คือ การลดข้อบกพร่องต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น หรือเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตหรือการปฏิบัติงาน ซึ่งมีความจำเป็นจะต้องใช้ประสบการณ์ ความสามารถและเชี่ยวชาญจากแผนกต่างๆ เพื่อนำมาประชุมร่วมกันเพื่อระบุถึงส่วนต่างๆ ดังนี้

- ข้อบกพร่องต่างๆ
- ผลกระทบและความรุนแรงของข้อบกพร่อง
- สาเหตุและอัตราการเกิดของข้อบกพร่อง
- วิธีการควบคุมและประสิทธิภาพในการควบคุม
- แนวทางแก้ไขข้อบกพร่อง

FMEA นั้นมีหลายประเภท ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน เช่น

1. Design FMEA คือการวิเคราะห์ลักษณะความล้มเหลวและผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการใช้งานผลิตภัณฑ์ โดยผู้ออกแบบ (Design) จะให้ความสำคัญว่าในการใช้งานจริงนั้น น่าจะเกิดความล้มเหลว (Failure) แบบใดบ้าง และจะส่งผลกระทบต่อชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์อื่นๆ อย่างไรบ้าง
2. Process FMEA คือการวิเคราะห์ลักษณะความล้มเหลวและผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการผลิต

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ FMEA

1. ระบุส่วนของกระบวนการผลิตหรือองค์ประกอบของระบบหรือผลิตภัณฑ์
2. ทำบันทึกรายการ Mode ของความล้มเหลวแต่ละส่วนนั้นๆ
3. ระบุผลที่แต่ละ Mode ของความล้มเหลวเหล่านั้นๆ ที่มีต่อส่วนต่างๆ ในข้อ 1)
4. บันทึกรายการเกี่ยวกับสาเหตุที่เป็นไปได้ของแต่ละ Mode ของความล้มเหลว
5. ประเมิน Mode ของความล้มเหลวเหล่านั้นๆ ให้เป็นตัวเลข มีสเกล 1-10 อาจจะใช้ประสบการณ์เกณฑ์การยอมรับ หรือข้อมูลที่เชื่อถืออื่นใด การอ้างอิงต่างๆ เพื่อกำหนดค่าดังกล่าวให้กับ
 - O : โอกาสของการเกิดความล้มเหลว (1=ต่ำ, 10=สูง)
 - S : ความรุนแรงหรือความวิกฤตจากความล้มเหลวเหล่านั้นๆ (1=ต่ำ, 10=สูง)
 - D : ความยากของการตรวจสอบความเสียหายก่อนที่จะส่งถึงมือลูกค้า (1=ง่าย, 10= ยาก)
6. คำนวณผลคูณของ $O \times S \times D$ ซึ่งเรียกค่านี้ว่า ระดับความสำคัญด้านความเสี่ยง (Risk Priority Number : RPN) ทำให้การคำนวณทุก Mode ของความล้มเหลว ค่า RPN แสดงถึงความเร่งด่วนเมื่อเทียบกับ Mode อื่นๆ
7. ทำการระบุถึงวิธีการดำเนินการแก้ไข

2.1.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)

ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเป็นขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาตัวแปรที่สำคัญที่สุดของกระบวนการ (Key Process Variable) ที่เป็นสาเหตุของปัญหาที่ได้นิยามไว้ ซึ่งตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์และพิจารณาจะประกอบไปด้วย ตัวแปรตอบสนอง (Key Process Output Variable: KPOVs หรือเรียกว่า Response Variable) คือตัวแปรที่ต้องการศึกษา ปรับปรุงและพัฒนาให้ดีขึ้น และตัวแปรนำเข้าที่สำคัญ (Key Process Input Variable: KPIVs) คือตัวแปรที่เน้นการตรวจสอบเพื่อให้ได้ KPIVs ที่มีผลกับ KPOVs มากที่สุด โดยในขั้นตอนที่กล่าวนี้ต้องอาศัยเครื่องมือทางสถิติต่างๆ อาทิเช่น การทดสอบค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของผลการทดลอง (ANOVA) และการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) เป็นต้น

2.1.4 ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการเป็นขั้นตอนที่จะนำตัวแปรนำเข้าต่างๆ (KPIVs) ที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง เช่น ลักษณะคุณภาพตามความต้องการของลูกค้า ที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา มาทำการศึกษาถึงกระบวนการทดสอบ หรือความสามารถของกระบวนการผลิตที่ค่าต่างๆ ของตัวแปรเหล่านี้ โดยประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เพื่อทดสอบหาสภาวะการทำงานของกระบวนการที่สามารถผลิตงานให้ได้คุณภาพตรงตามค่าเป้าหมายโดยให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

2.1.5 ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ (Control Phase)

ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการถือเป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการซิกซ์ ซิกมา ที่มีจุดมุ่งหมายในการตรวจสอบผลหลังการปรับปรุงกระบวนการ และควบคุมปัจจัยนำเข้าต่างที่นัยสำคัญ หรือมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง หรือมีผลกระทบต่อผลจากการวิเคราะห์ที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขที่กล่าวไว้ โดยประยุกต์ใช้การควบคุมกระบวนการทางสถิติ (Statistical Process Control) เพื่อให้มั่นใจว่า กระบวนการหลังการปรับปรุงที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนั้นอยู่ภายใต้การควบคุมที่ดี

2.2 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Design of Experiment: DOE)

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) นั้นเป็นกระบวนการวางแผนสำหรับการทดลองและนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาดำเนินในส่วนของการวิเคราะห์ด้วยหลักการทางสถิติ

และหาข้อสรุปว่าปัจจัยนำเข้า (KPIVs) ใดมีผลต่อตัวแปรตอบสนองหรือสิ่งที่ให้ความสนใจในผลิตภัณฑ์หรือสิ่งที้ออกมาจากกระบวนการ (Output Response) โดยทั่วไปแล้วการทดลองจะถูกใช้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบหรือกระบวนการ ซึ่งส่วนใหญ่ลักษณะของกระบวนการนั้นเริ่มจากการรวมกันของปัจจัยนำเข้า (Input) อันประกอบด้วย เครื่องจักร คน วิธีการ วัสดุคิป และทรัพยากรอื่น ๆ ผ่านเข้าไปสู่กระบวนการและปัจจัยนำเข้าเหล่านั้น จะเปลี่ยนรูปออกมาให้เป็นผลลัพธ์ (Output)

2.2.1 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

ทางด้านขั้นตอนการออกแบบการทดลองนั้นมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การนิยามปัญหา (Recognition and Statement of Problem) เป็นการกำหนดว่าความต้องการในกระบวนการผลิตคืออะไร และต้องการทราบอะไรบ้างในกระบวนการผลิต ซึ่งการนิยามถึงปัญหานี้ จะเชื่อมโยงไปยังวัตถุประสงค์ของการทดลอง
2. การเลือกปัจจัยและกำหนดระดับของปัจจัย (Choice of Factors Levels and Ranges) เป็นการใช้หลักการและแนวทางด้านทฤษฎี รวมทั้งประสบการณ์จากงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดว่าปัจจัยใดบ้างที่อาจจะมีผลต่อการทดลอง และในแต่ละปัจจัยนั้นควรมีช่วงในทดลองเป็นอย่างไร ท้ายสุดคือระบุว่าจะระดับที่ใช้เป็นประเภทกำหนดแบบสุ่ม หรือแบบผสม
 - ประเภทแบบกำหนด (Fixed Effect) หมายถึงระดับของปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าหรือควบคุมได้แน่นอน
 - ประเภทแบบสุ่ม (Random Effect) หมายถึงระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าหรือควบคุมได้แน่นอน
 - ประเภทแบบผสม (Mixed Effect) หมายถึงการผสมผสานระหว่างระดับของปัจจัยที่เป็นทั้งประเภทแบบกำหนดและแบบสุ่ม
3. การระบุตัวแปรตอบสนอง (Selection of Response Variable) ทางด้านการระบุตัวแปรตอบสนองนั้น ต้องทำการเลือกตัวแปรที่ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาและการวัดค่ามันจะต้องมีความเที่ยง ความแม่นยำ และถูกต้องด้วย
4. การเลือกแบบของการทดลอง (Choice of Experimental Design) เมื่อกำหนดทรีทเมนต์และตัวแปรตอบสนองแล้ว ต้องเลือกตัดสินใจเกี่ยวกับขนาดของการทดลองซึ่งนั่นหมายถึง จำนวนทำซ้ำของการทดลอง ความเหมาะสม ข้อจำกัดต่างๆ ในการสุ่มและ

การบล็อกของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะต้องนำมาพิจารณาทางด้านความเสี่ยงและต้นทุนที่ใช้ในการทดลองสำหรับการเลือกปัจจัยด้วย

5. การดำเนินการทดลอง (Performing the Experiment) ในช่วงการดำเนินการทดลองนั้น ต้องทำการศึกษาและดูแลอย่างถี่ถ้วน ดำเนินการตามแผนที่ได้ออกแบบการทดลองไว้
6. การวิเคราะห์ข้อมูล (Statistical Analysis of Data) ส่วนนี้จะใช้ความรู้ทางด้านสถิติเข้ามาวิเคราะห์และพิจารณา จากนั้นสรุปผลรวมทั้งตัดสินความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับ
7. การสรุปผลและข้อมูลเสนอแนะ (Conclusions and Recommendations) หลังจากทำการวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว จะต้องสรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล โดยอาจแสดงในรูปกราฟ ตาราง หรือแผนภูมิ ฯลฯ และนำเสนอข้อเสนอนี้เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต

2.2.2 การเลือกแบบการทดลอง

ในการเลือกแบบการทดลองนั้นสามารถเลือกตามความเหมาะสม ซึ่งแบบการทดลองต่างๆ มีดังนี้

1. **การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design)** เป็นแผนการทดลองแบบง่ายที่สุด โดยมากเหมาะกับการทดลองที่แยกได้ว่าสิ่งที่ทดลองนั้นมีลักษณะแตกต่างกันอย่างไรก่อนการทดลอง การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองแบบนี้ จะแยกสาเหตุความแปรผันของข้อมูลทั้งหมดว่า เนื่องมาจากอิทธิพลของทริทเมนต์แต่เพียงอย่างเดียว ไม่มีเหตุของปัจจัยอื่นอีก ข้อมูลนี้จึงเรียกกันว่าข้อมูลแจกแจงทางเดียว (One – Way Classification)

ซึ่งแผนการทดลองนี้แสดงว่า เมื่อหน่วยการทดลองได้รับทริทเมนต์ที่ต้องการทดสอบแล้วความแตกต่างของข้อมูลที่เก็บได้จากแต่ละหน่วย จะเกิดจากอิทธิพลทริทเมนต์ที่ต่างกันเท่านั้น ในกรณีนี้เพื่อให้แบบการทดลองนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด หน่วยทดลองที่นำมาใช้จึงควรมีลักษณะที่สม่ำเสมอกันมากที่สุด (Homogenous) หรือมีความผันแปรระหว่างทดลองให้แก่ทริทเมนต์ จะต้องเป็นอย่างสุ่มและไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับการสุ่ม

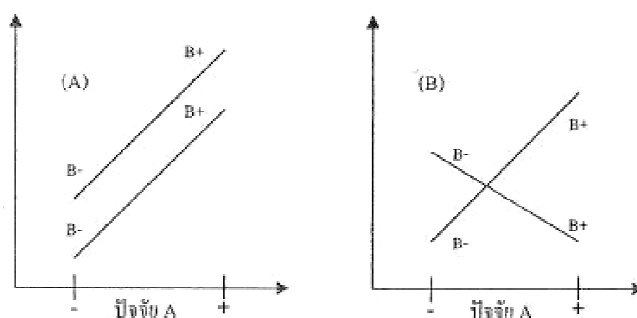
2. **การทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design)** ในบางการทดลองก็อาจเกิดปัญหาเกี่ยวกับหน่วยการทดลองที่ใช้ นั้นไม่มีความสม่ำเสมอส่งผลให้การใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอดไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องด้วยความผันแปรที่เกิดจากหน่วยทดลองรวม จะไม่เป็นผลของทริทเมนต์เพียงอย่างเดียวแต่อาจมีความผันแปรที่เกิดจากหน่วยทดลองรวมอยู่ด้วย ซึ่งหากความแปรผันส่วนหลังนี้จะไป

รวมอยู่กับความคลาดเคลื่อนของการทดลอง ทำให้ยอดรวมของผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อนมีค่าสูงขึ้น ส่งผลต่อการทดสอบทำให้เกิดผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องพยายามแยกผลอันเกิดจากอิทธิพลอื่นที่ไม่ใช่ทรีทเมนต์ออกจากความแปรปรวนทั้งหมด เพื่อให้แน่ใจว่าผลที่นำมาวิเคราะห์นั้นเป็นอิทธิพลของทรีทเมนต์ (Treatment Effect) แต่เพียงอย่างเดียว

แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มนั้นเป็นวิธีหนึ่งในหลายวิธีของการจำแนกแบบ 2 ทาง (Two-Way Classification) จะใช้เมื่อหน่วยทดลองมีความแตกต่างกัน 2 ลักษณะ คือทางด้านแนวนอน (Row) และด้านแนวตั้ง (Column) มีหลักการคือพยายามจัดหน่วยทดลองที่มีความคล้ายคลึงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งถูกเรียกว่าบล็อก ดังนั้นความแปรปรวนระหว่างหน่วยทดลองในบล็อกเดียวกันจึงมีค่าต่ำและมีค่าความแตกต่างระหว่างบล็อกสูง โดยในแต่ละบล็อกจะมีครบทุกทรีทเมนต์ กรณีนี้จะให้เราแยกความแตกต่างระหว่างบล็อกออกมาจากยอดรวมของผลบวกกำลังสองได้

3. **การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design)** เป็นลักษณะการวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นบนตัวแปรตอบสนองในทุกๆ ระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (Treatment Combination) ที่มีจำนวน 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยทุก ๆ Treatment Combination ของปัจจัยนำเข้าทุกตัว จะถูกศึกษาไปพร้อมๆ กัน

ผลกระทบด้านปัจจัยนำเข้าจะถูกนิยามด้วย การตรวจสอบค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองที่ศึกษาที่เกิดขึ้น โดยการเปลี่ยนระดับของปัจจัยนำเข้านี้ เรียกว่า “อิทธิพลหลัก (Main Effect)” ส่วนอิทธิพลร่วม (Interaction) คือค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองบนระดับของปัจจัยนำเข้าตัวหนึ่งมีค่าไม่เท่ากันในระดับต่างๆ ของปัจจัยนำเข้าตัวอื่นๆ ซึ่งแสดงได้โดยพิจารณาจากภาพความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลโดยไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย (A)

และการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล โดยมีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย (B)

จากภาพที่ 2.3 (A) จะเห็นว่าเส้นของ B- และ B+ จะประมาณได้ว่าขนานกัน ซึ่งลักษณะเช่นนี้บ่งบอกถึงความไม่มีอันตรกิริยาต่อกันของสองปัจจัย ทางด้านภาพที่ 2.3 (B) จะเห็นได้ว่า เส้นของ B- และ B+ เกิดการตัดกัน (ไม่ขนานกัน) กล่าวคือปัจจัยทั้งสองมีอันตรกิริยาต่อกัน กราฟลักษณะเช่นนี้บ่อยครั้งจะถูกนำมาใช้เพื่อแสดงถึงการมีนัยสำคัญ (Significant) ของอันตรกิริยา อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์กราฟนั้นค่อนข้างจะมีหลายความคิดเห็น ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเข้าใจผิดหรือวิเคราะห์ผิดพลาดได้ ดังนั้นรูปแบบของการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลนั้นได้แบ่งย่อยลงไปในกรณีที่แผนการทดลองมีลักษณะเฉพาะตัวอีก ดังแสดงต่อไปนี้

- **การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k (2^k Factorial Design)** คือ การทดลองแบบที่มี k ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยจะมีระดับ 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ (สัญลักษณ์ (-1) หรือ (-)) และระดับสูง (ใช้สัญลักษณ์ (+1) หรือ (+)) การทดลองแบบนี้เหมาะสำหรับการทดลองที่มีปัจจัยมากๆ เป็นการทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลเบื้องต้นเนื่องจากมีสองระดับ ซึ่งจะช่วยให้การทดลองที่ลงลึกต่อไป
 - **การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 3^k (3^k Factorial Design)** คือการทดลองที่มี k ปัจจัย แต่ละปัจจัยจะมี 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูง ซึ่งใช้สัญลักษณ์ (-1), (0) และ (+1) ตามลำดับ โดยการทดลองแบบนี้เหมาะสำหรับผลตอบสนองที่มีลักษณะเป็นส่วนใหญ่
 - **การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล (Fractional Factorial Design)** คือการทดลองที่ใช้เมื่อการทดลองมีหลายปัจจัย โดยวิธีการนั้นจะอาศัยหลักการของการคอนฟาวด์ (Confound) ดังนั้นจะทำให้ความสัมพันธ์ของทรีทเมนต์ (Treatment Combination) บางตัวถูกตัดออกไป ทำให้ไม่ต้องเสียเวลาในการเก็บข้อมูลมาก ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองนั้นลดลง ส่งผลให้ใช้เวลาในการทดลองลดลงด้วย
 - **การออกแบบการทดลองสำหรับพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology: RSM)** คือการนำเอาเทคนิคทางคณิตศาสตร์และทางสถิติที่มีประโยชน์ทางการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหา โดยที่ผลตอบสนองที่สนใจอาจขึ้นกับหลายตัวแปร ซึ่งต้องการที่จะหาค่าผลตอบสนองที่ดีที่สุด
- การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบนั้นจะทำได้ง่ายขึ้นถ้าเราเลือกการออกแบบการทดลองที่เหมาะสมกับการทดลองนั้นๆ โดยลักษณะของการออกแบบที่ควรพิจารณาบางประการได้แก่

- มีการแจกแจงที่เหมาะสมของข้อมูลทั้งช่วงในการพิจารณา
- สามารถตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลอง และ Lack of Fit ของข้อมูลได้
- มีการทดลองสามารถที่เกิดขึ้นได้ในบล็อก (Block)

- มีการออกแบบที่มีอันดับ (Order) สูงขึ้น สามารถสร้างขึ้นได้ตามลำดับ
- ทราบค่าประมาณภายในของความผิดพลาด
- ไม่ต้องทดลองจำนวนมาก
- ไม่ต้องมีหลายระดับของตัวแปรอิสระ
- คำนวณพารามิเตอร์ในแบบจำลองได้ง่าย

การออกแบบสำหรับพีดแบบจำลองอันดับที่หนึ่ง (First Order Model)

สมมติว่าแบบจำลองอันดับหนึ่งที่มี k ตัวแปร

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \varepsilon$$

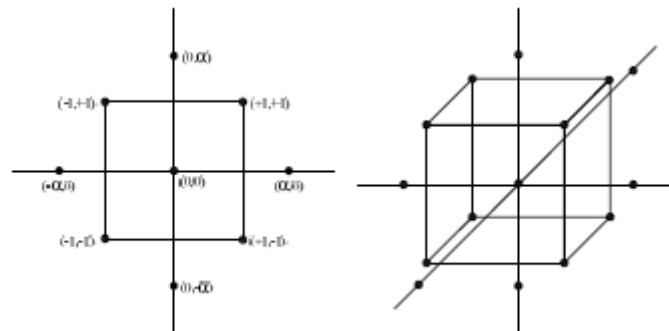
โดยทำให้ความแปรปรวนของสัมประสิทธิ์ของความถดถอยมีค่าต่ำสุด และเป็นประเภทของการออกแบบพิเศษชนิดหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า การออกแบบเชิงตั้งฉากอันดับที่หนึ่ง (Orthogonal First-Order Model) โดยการออกแบบชนิดนี้ประเภทเป็นการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

การออกแบบสำหรับพีดแบบจำลองอันดับที่สอง

การออกแบบจำลองอันดับที่สอง ไม่สามารถทำการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลได้ (เว้นแต่ การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3^k) ดังนั้นในการออกแบบการทดลองประเภทนี้ จึงเติมการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลให้มีจุดเพียงพอที่จะหาแบบจำลองอันดับที่สองได้ ซึ่งลักษณะการออกแบบมีหลายประเภทดังนี้

แบบการออกแบบส่วนผสมกลาง (Central Composite Design: CCD)

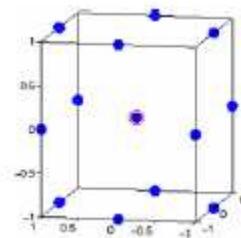
โดยทั่วไปการออกแบบส่วนผสมกลาง (CCD) จะประกอบไปด้วย 2^k แฟคทอเรียลที่มี n_c 2^k รันในแนวแกนหรือในแนวรูปดาว และ n_c รันที่จุดศูนย์กลาง การพัฒนา CCD โดยมากจะเกิดจากการทดลองแบบเป็นอันดับ เช่น การออกแบบ 2^k ถูกนำมาใช้เพื่อพีดแบบจำลองอันดับหนึ่ง และพบว่า แบบจำลองนี้ไม่เหมาะสมกับข้อมูลดังกล่าว ดังนั้น จึงได้มีการทดลองเพิ่มขึ้นในแนวแกน เพื่อให้สามารถใส่พจน์ควอดราติกลงในแบบจำลองได้ ซึ่ง CCD เป็นการออกแบบที่มีประสิทธิภาพมากสำหรับการพีดแบบจำลองอันดับที่สอง มีพารามิเตอร์อยู่สองตัวของการออกแบบที่ควรกำหนด นั่นคือ จำนวนของจุดศูนย์กลาง n_c และ ระยะทาง α ของการรันในแนวแกนของจุดศูนย์กลางในการออกแบบ



ภาพที่ 2.4 การออกแบบส่วนผสมกลาง (CCD) สำหรับ $k = 2$ และ $k = 3$

แบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box - Behnken Design)

การออกแบบแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน คือการออกแบบ 3 ระดับสำหรับพื้นผิวตอบสนอง การออกแบบนี้ถูกสร้างขึ้นจากการรวมกันระหว่างการออกแบบแฟกทอเรียล 2^k กับการออกแบบบล็อกไม่บริบูรณ์ ซึ่งจะให้ผลของการออกแบบที่มีประสิทธิภาพมากในด้านจำนวนของการทดลองที่ต้องการ และการออกแบบนี้ยังมีความสามารถในการหมุนหรือ เกือบหมุนได้อีกด้วย



ภาพที่ 2.5 การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน สำหรับตัวแปร 3 ตัวแปร

จากภาพที่ 2.5 แสดงถึงการออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนที่มีตัวแปร 3 ตัวแปร รูปทรงเรขาคณิตของการออกแบบ จะพบเห็นว่าการออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน เป็นลักษณะการออกแบบรูปทรงกลมที่ทุกจุดวางอยู่บนรูปทรงกลมรัศมี $\sqrt{2}$ ซึ่งการออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน ยังไม่ได้รวมเอาจุดใดๆ ซึ่งเป็นจุดยอดของรูปลูกบาศก์ที่สร้างขึ้นจากขีดจำกัดบนและล่างของแต่ละตัวแปรเอาไว้ การกระทำเช่นนี้เป็นประโยชน์อย่างมากเมื่อจุดที่อยู่บนมุมของลูกบาศก์ คือ การรวมของปัจจัยระดับ (Factor Level Combination) ที่แพงมาก หรือ เป็นไปไม่ได้ที่จะทำการทดลอง เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านกายภาพของกระบวนการ (ปารเมศ ชุตินา, 2545)

ประโยชน์ด้านการทดลองแบบแฟคทอเรียล

- ใช้จำนวนสิ่งตัวอย่างในการทดลองน้อยกว่า การทดลองทีละ 1 ปัจจัย (one-factor-at-a-time) ในการพิจารณาปัจจัยนำเข้าหลายตัว
- ใช้เวลาการทดลองน้อยกว่า เพราะสามารถศึกษาปัจจัยหลายตัวพร้อมๆ กันได้
- ผลสรุปนั้นสามารถอธิบายสรุปได้ครอบคลุมมากกว่าเนื่องด้วยการทดลองสามารถพิจารณาทางด้านอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัยในการทดลองด้วย

หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square) เป็นการวิเคราะห์ความเหมาะสมของแบบการออกแบบที่ได้ออกแบบขึ้นและใช้ในการทดลองนั้นว่าเหมาะสมเพียงใด ซึ่งในการทดลองแต่ละครั้ง จะมีความผันแปรที่ไม่สามารถอธิบายได้ (Unexplained Variable) หรือเกิดความคลาดเคลื่อนเสมอ ดังนั้นในการออกแบบที่ดี ควรจะต้องลดความผันแปรที่ไม่สามารถอธิบายได้ให้น้อยที่สุด

$$\text{สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square)} = \frac{\text{ความผันแปรที่อธิบายได้} \times 100\%}{\text{ความผันแปรทั้งหมด}}$$

หากสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square) มีค่าน้อย แก้ไขได้โดย

- เพิ่มจำนวนทำซ้ำของการทดลอง
- ตรวจสอบปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องจากนั้นออกแบบการทดลองใหม่
- หากเพิ่มปัจจัยอื่นแล้วค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจยังมีค่าน้อยอยู่ ต้องทำการบล็อกเพื่อลดปัจจัยรบกวน (เพราะผลจากปัจจัยรบกวน (Noise Factor) อาจมีมาก)

2. การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

จากสมการ

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ijk}$$

โดย μ คือค่าเฉลี่ย

τ_i คืออิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย

ε_{ijk} คือความคลาดเคลื่อน

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองจะตั้งสมมุติฐานในการวิเคราะห์โดยที่ตัวแปรตามควรมีการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) ด้วยเหตุนี้จะต้องให้ ε_{ijk} มีการกระจายแบบปกติด้วย และต้องเป็นการกระจายที่เป็นอิสระตามสมมุติฐาน $\varepsilon_{ijk} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ การตรวจสอบ ε_{ij} มี 3 ขั้นตอน ดังนี้

- การตรวจสอบว่าการกระจายของข้อมูลเป็นการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ โดยใช้วิธีการตรวจสอบดังนี้คือ การทดสอบแบบไคร์สแควร์ (χ^2 – Goodness of Fit Test) การทดสอบแบบ Kolmogorov – Smirnov และการตรวจสอบโดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงปกติ (NOPP)
- การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) โดยสังเกตจากแผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) ว่าข้อมูลในแผนภูมิมีรูปแบบที่อิสระหรือไม่
- การตรวจสอบความคงที่ของความแปรปรวน (Variance Stability) ซึ่งวิเคราะห์จากแผนภูมิที่แสดงถึงการกระจายค่าคลาดเคลื่อนหรือส่วนตกค้าง (Residual) ในแต่ละระดับของปัจจัย ถ้าผลการพิจารณาปรากฏการกระจายของข้อมูลที่ออกมา ไม่เป็นลักษณะของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแปรปรวน แสดงว่าข้อมูลมีความคงที่ของความแปรปรวน

2.3 การวัด ความผิดพลาดในการวัด และระบบเครื่องมือวัด

1. การวัด (Measurement)

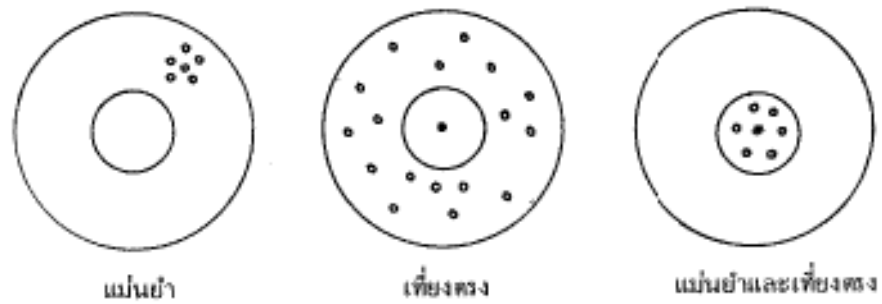
ลักษณะคุณภาพจะถูกตรวจสอบด้วยระบบการวัด ดังนั้นจะประกอบไปด้วย “หน่วยของการวัด” ซึ่งก็มีการกำหนดลงไปเกี่ยวกับลักษณะอย่างไร และหน่วยเรียกอย่างไร เช่น ความลึกเป็นเมตร ถัดมาคือ เครื่องมือที่ใช้วัด ซึ่งจะถูกรับให้อ่านค่าได้ตามหน่วยของมาตรฐานการวัดที่ต้องการ และสุดท้ายคือ การใช้เครื่องมือวัด เพื่อหาจำนวนหรือวัดขนาดของสิ่งนั้นๆ

2. ความผิดพลาดของการวัด

ความแม่นยำ (Precision) คือ ความสามารถในการวัดที่ให้ผลของการวัดค่าใกล้เคียงกันมาก ค่าไม่กระจัดกระจาย

ความเที่ยง (Accuracy) คือ ความสามารถในการวัดที่ให้ผลของการวัดใกล้เคียงความจริงมาก ซึ่งผลต่างของค่าจริงและค่าที่วัดได้โดยเฉลี่ยมีน้อย

การวัดหรือเครื่องมือวัดที่ดีนั้นต้องให้ผลทั้งแม่นยำและเที่ยงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.6 ความแม่นยำ และความเที่ยงของระบบการวัด

3 Gage Repeatability and Reproducibility (GR&R)

Gage Repeatability and Reproducibility หรือ Gage R&R คือเครื่องมือทางสถิติที่ใช้วัดความน่าเชื่อถือของข้อมูลจากเครื่องทดสอบ กล่าวคือเป็นตัวบ่งชี้ความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่เครื่องทดสอบอ่านค่าได้ นอกจากนี้ยังสามารถแยกแยะความแปรปรวนของข้อมูลออกเป็นส่วนๆ ได้ต่อไปนี้

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{process}^2 + \sigma_{measurement.system}^2$$

ซึ่ง
$$\sigma_{measurement.system}^2 = \sigma_{Reproducibility}^2 + \sigma_{Repeatability}^2$$

โดยที่ σ_{total}^2 ความแปรปรวนของข้อมูลที่อ่านได้ทั้งหมด

$\sigma_{process}^2$ ความแปรปรวนอันเกิดจากกระบวนการผลิต

$\sigma_{measurement.system}^2$ ความแปรปรวนอันเกิดจากระบบวัดข้อมูล

$\sigma_{Reproducibility}^2$ เป็นส่วนหนึ่งของความแปรปรวนจากระบบวัดข้อมูล

เนื่องจากความแตกต่างระหว่างคนวัดหรืออันตรกิริยาระหว่างคนวัดและชิ้นงานที่ถูกวัด

$\sigma_{Repeatability}^2$ เป็นส่วนหนึ่งของความแปรปรวนจากระบบวัดข้อมูลเนื่องจากความสามารถของเครื่องมือวัดเองในการวัดชิ้นงานชิ้นเดียวกันซ้ำหลาย ๆ ครั้ง

ดังนั้น จากสมการข้างต้นสามารถแสดงเป็นสมการใหม่ต่อ ได้ดังนี้

$$\sigma_{measurement.system}^2 = \sigma_{operator}^2 + \sigma_{operator*parts}^2 + \sigma_{Instrument}^2$$

ค่าที่ใช้วัดระบบเครื่องมือวัดมีดังนี้

%Contribution of Total Gage R&R เป็นอัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนของเครื่องมือวัดกับความแปรปรวนทั้งหมดของข้อมูล ซึ่งตัวเลขนี้ยิ่งน้อยยิ่งดี เพราะมันแสดงถึงความแปรปรวนอันเกิดจากเครื่องมือวัดมีค่าน้อยลง (ซึ่ง %Contribution ของเครื่องมือวัดไม่ควรเกิน 9 เปอร์เซ็นต์)

Number of Distinct Categories (DR) เป็นตัวเลขที่บ่งบอกว่าผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่นำมาทำสอบ Gage R&R นั้นมีการกระจายของข้อมูลเพียงพอหรือไม่ หรืออีกนัยหนึ่งคือความสามารถในการแบ่งแยกกลุ่มข้อมูล ซึ่งไม่ควรต่ำกว่า 3 ถ้าต่ำกว่า 3 ควรจะทำใหม่ (สัมพันธ์ วุฒิธิรสกล, 2551)

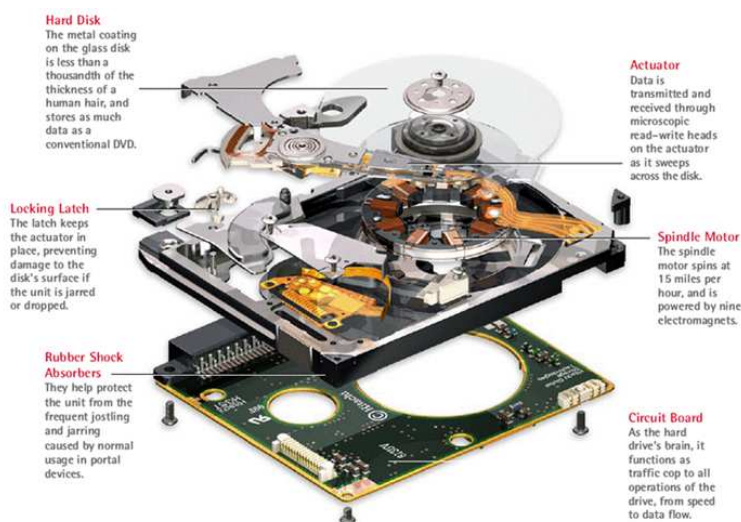
2.4 โครงสร้างและการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์นั้นประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ มอเตอร์ ชุดหัวอ่าน/เขียน และชุดแผ่นเก็บข้อมูลที่มีลักษณะแข็ง และแบนราบ เรียกว่า แพลตเตอร์ (Platter) หรือ มีเดีย (Media) ซึ่งทำมาจากแผ่นแก้วหรือ โลหะประเภทอะลูมิเนียม พื้นผิวทั้งสองด้านของมีเดียแต่ละแผ่นจะถูกเคลือบไว้ด้วยสารเคมีที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก มีเดียเหล่านี้จะมีรูที่กึ่งกลางและยึดติดเข้าด้วยกันกับแกนหมุนกลางที่เรียกว่า สปินเดิล มอเตอร์ (Spindle Motor) ซึ่งเป็นฐานและเป็นตัวขับเคลื่อนให้มีเดียทุกแผ่นหมุนไปพร้อมกันด้วยอัตราความเร็วที่เท่ากัน อัตราความเร็วในการหมุน จะบอกเป็นความเร็วรอบต่อนาที (RPM) ซึ่งอาจแตกต่างกันไปในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แต่ละรุ่น แต่ละยี่ห้อ ที่มีตั้งแต่หลายพันรอบไปจนถึงหมื่นรอบต่อนาทีดังที่ได้อธิบายไว้แล้วทางด้านผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา สำหรับการอ่านเขียนข้อมูลบนพื้นผิวของแผ่นเก็บข้อมูลหรือมีเดีย นั้น จะกระทำโดยหัวอ่าน/เขียน (Read/ Write Head) ที่ติดอยู่ที่ปลายแขนของแอกทิเวเตอร์ (Actuator Arm) โดยในระหว่างการทำงานนั้น หัวอ่าน/เขียน จะลอยอยู่ห่างจากพื้นผิวของมีเดียในระดับที่น้อยมากคือระดับไมครอน ซึ่งแอกทิเวเตอร์เป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน/เขียน ในแนวรัศมีของแผ่นเก็บข้อมูล ทำให้การเข้าถึงข้อมูลทำได้ครอบคลุมเกือบทั้งแผ่นเก็บข้อมูล และโดยมากจำนวนของหัวอ่านเขียนจะมีจำนวนเป็นสองเท่าของแผ่นเก็บข้อมูล เนื่องจากแผ่นเก็บข้อมูลสามารถใช้งานได้ทั้งสองด้าน แต่บางครั้งก็นำมาใช้งานเพียงด้านเดียว โดยขึ้นอยู่กับขนาดความจุของตัวฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค

หัวอ่าน/เขียนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ จะถูกกำหนดให้มีหมายเลขประจำตัวเช่นเดียวกับแทรคและเซกเตอร์ โดยเริ่มจากหมายเลข 0 เรื่อยไปจนถึงหมายเลข $n - 1$ ซึ่งหาก ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์มีพื้นที่ผิวที่ถูกใช้งานจริงจำนวน $n = 4$ พื้นผิว นั่นคือจะมีหัวอ่าน/เขียนข้อมูล หมายเลข 0,1,2,3 โดยเมื่อต้องการเข้าถึงข้อมูลบนแผ่นเก็บข้อมูลด้านใด ส่วนควบคุมหรือคอนโทรลเลอร์ที่อยู่ภายในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จะส่งสัญญาณให้อ่าน/เขียนนั้นทำงานในพื้นที่ดังกล่าว

ส่วนแผงวงจรควบคุมการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์นั้น มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์และสื่อสารกับแผงวงจรหลัก (Mainboard) ของระบบคอมพิวเตอร์ โดยการรับส่งคำสั่ง หรือข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ จะใช้สายนำสัญญาณเป็นตัวเชื่อมต่อ

ระหว่าง ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไปยังเมนบอร์ดของคอมพิวเตอร์ ซึ่งส่วนต่างๆของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แสดง
 ดังภาพที่ 2.7



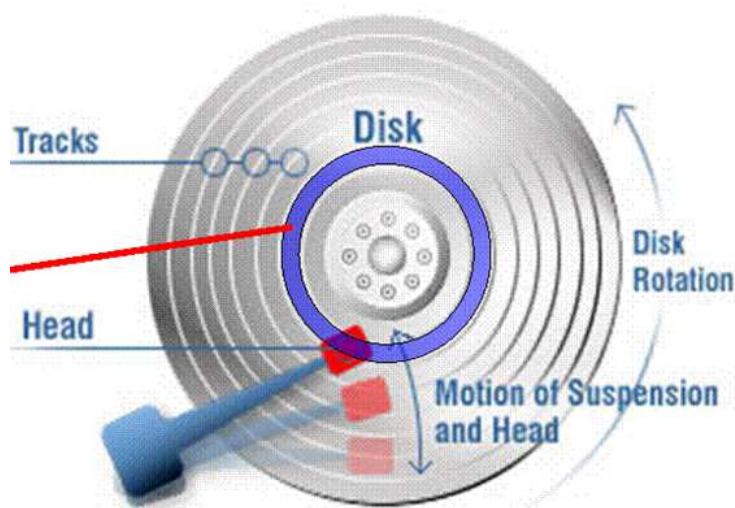
ภาพที่ 2.7 ส่วนประกอบต่างๆ ของ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

2.4.1 โครงสร้างการเก็บข้อมูลในระดับต่ำ

การที่จะจัดเก็บข้อมูลไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกต่อการจัดการนั้น พื้นที่แต่ละด้านของมีเดียหรือแผ่นเก็บข้อมูลจึงถูกแบ่งออกเป็นวงแหวน ซึ่งในแต่ละชั้นเรียกว่า แทรค(Track) โดยวงแหวนนอกสุดได้รับการกำหนดให้เป็นแทรคหมายเลข 0 ถัดไปก็เป็นแทรค 1, แทรค 2 เรื่อยๆ ตามลำดับ ซึ่งจะเป็นส่วนที่ผู้ใช้งานเข้าถึงได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.8 และแต่ละแทรคจะแบ่งย่อยลงไปเป็น เซกเตอร์ ซึ่งถือว่าเป็นหน่วยพื้นฐานที่สุดในการเก็บข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และโดยทั่วไปสามารถเก็บข้อมูลได้ 512 ไบต์ในแต่ละเซกเตอร์ ซึ่งแต่ละเซกเตอร์ของแทรคหนึ่งๆ จะถูกกำหนดหมายเลขตั้งแต่ 1, 2, 3,... โดยอาจเรียงลำดับกันไปหรือไม่ก็ได้ การกำหนดให้เซกเตอร์ที่อยู่ติดกันมีหมายเลขที่ไม่ได้เรียงต่อกันนั้น เป็นเทคนิคหนึ่งของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เทคนิคนี้ถูกเรียกว่า interleaving

การระบุตำแหน่งเพื่อเข้าถึงข้อมูลบนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะมีความแตกต่างไปจากหน่วยความจำ เพราะหน่วยความจำนั้นจะถูกมองว่าข้อมูลทั้งหลายเรียงต่อกันเป็นเชิงเส้น (1มิติ) โดยมีหน่วยพื้นฐานเป็น ไบต์ ทำให้การระบุตำแหน่ง 123 หรือ ตำแหน่ง 2345 ของหน่วยความจำจึงนับว่าเพียงพอและเป็นการเข้าถึงข้อมูลขนาด 1 ไบต์ หรือ 8 บิต ในขณะที่การระบุตำแหน่งเพื่อเข้าถึงข้อมูลบนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้นจะประกอบด้วยข้อมูล 3 ส่วน (3มิติ) อันได้แก่

หมายเลขหัวอ่าน/เขียน หมายเลขแทรค (หรือไซลินเดอร์) และหมายเลขเซกเตอร์ โดยจะเป็นการเข้าถึงข้อมูลที่ละ 1 เซกเตอร์ หรือ 512 ไบটนั่นเอง



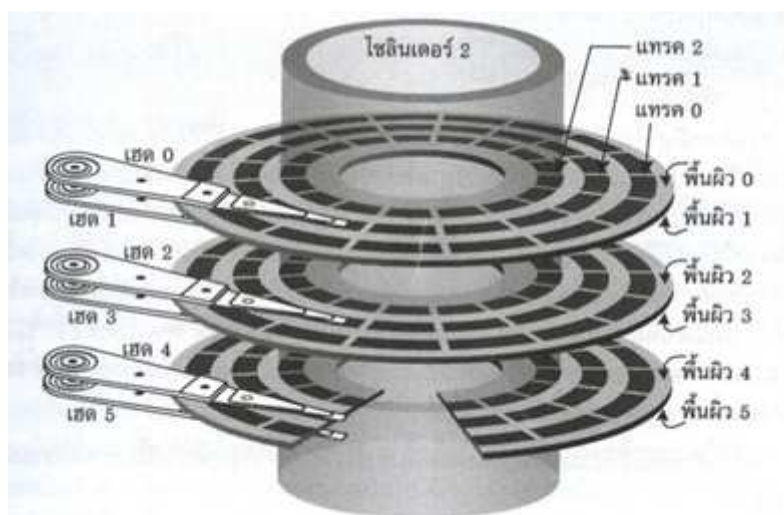
ภาพที่ 2.8 ลักษณะแทรคบนแผ่นเก็บข้อมูล

2.4.2 แทรค กับ ไซลินเดอร์

หัวอ่าน/เขียนติดอยู่ที่ปลายแขน ซึ่งแขนทั้งหมดถูกหล่อขึ้นเป็นชิ้นเดียวกัน โดยมีแอกทิวเอเตอร์เป็นตัวควบคุมตำแหน่งให้เคลื่อนที่ไปตามแนวรัศมี (หรือเกือบรัศมี) ซึ่งบินบนแผ่นมีเดีย ดังนั้นไม่ว่าแอกทิวเอเตอร์จะเคลื่อนไปในทิศทางใดก็ตาม หัวอ่าน/เขียนทุกหัวก็จะอยู่ตรงกันในแนวตั้งเสมอ (เนื่องจากอยู่บนแขนเดียวกัน) นั่นเป็นเหตุผลในการกำหนดให้แทรคที่อยู่ตรงกันในแนวตั้งของพื้นผิวมีเดียแต่ละแผ่นมีหมายเลขเดียวกัน ซึ่งหากสังเกตก็จะพบว่าแทรคหมายเลขเดียวกันของทุกๆพื้นผิวมีเดียเหล่านี้ประกอบกันเป็นรูปคล้ายทรงกระบอก ด้วยเหตุผลนี้จึงมีการเรียกลักษณะดังกล่าวว่า ไซลินเดอร์ (cylinder) เช่น ไซลินเดอร์ 0 ก็จะหมายถึงแทรค 0 ของพื้นผิวมีเดียนั่นเอง ดังแสดงตามภาพที่ 2.9

ในทางปฏิบัติแล้วคำว่า แทรค กับ ไซลินเดอร์ นั้นสามารถใช้แทนกันได้โดยไม่ทำให้ความหมายเปลี่ยนแปลงไปแต่ประการใด ทั้งนี้เพราะการอ้างถึงเซกเตอร์ใดเซกเตอร์หนึ่งของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์นั้นนิยมใช้ตำแหน่งในรูปของหมายเลขไซลินเดอร์ หมายเลขหัวอ่าน/เขียน และหมายเลขเซกเตอร์ ดังนั้นแม้ว่าความหมายของไซลินเดอร์จะกว้างกว่าแทรค แต่การเรียก แทรคหมายเลข 924 ก็ยังไม่สามารถเจาะจงลงไปยังแทรคใดแทรคหนึ่งของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ทำให้จำเป็นต้องระบุหมายเลขหัวอ่าน/เขียนให้ทราบด้วย ดังนั้นเมื่อมีหมายเลขหัวอ่าน/เขียนกำกับไว้

อย่างกรณีของแอดเดรสแบบ CHS (Cylinder – Head - Sector) แล้ว การระบุหัว ไชลินเดอร์ 21, หัวอ่าน/เขียน 3 และเซกเตอร์ 17 จึงเทียบเท่ากับการระบุหัว แทรค 21, หัวอ่าน/เขียน 3, และเซกเตอร์ 17 ทุกประการ แต่แบบแรกนั้นจะเป็นที่นิยมกว่า

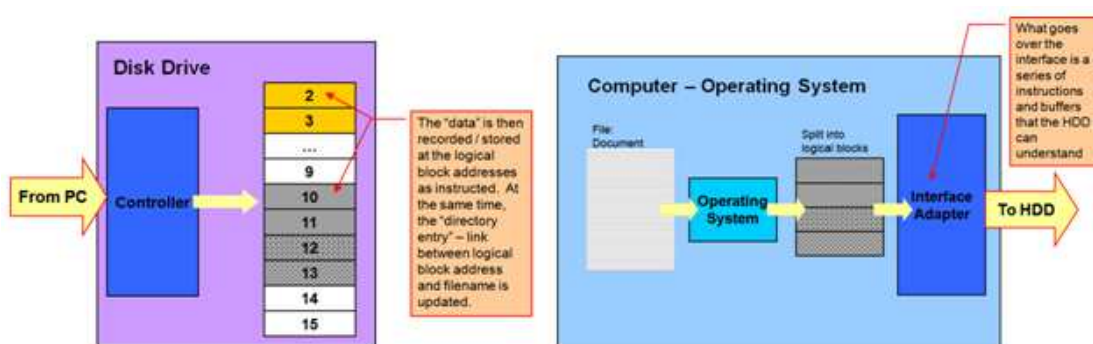


ภาพที่ 2.9 แทรค กับ ไชลินเดอร์

2.4.3 กลไกการอ่าน/เขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

การที่จะเข้าถึงพื้นที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ระบบควบคุมหรือคอนโทรลเลอร์จะต้องค้นหาหมายเลขบล็อกหรือคลัสเตอร์ที่เก็บไฟล์นั้นๆ เพื่ออ่านข้อมูลจากตำแหน่งต่างๆเหล่านั้น ซึ่งก็คือหมายเลขจากรูปแบบหนึ่งไปสู่อีกรูปแบบหนึ่ง แต่สุดท้ายแล้วคอนโทรลเลอร์จะได้รับตำแหน่งในรูปแบบ CHS ของเซกเตอร์ที่ต้องการ โปรแกรมควบคุมที่กำหนดอยู่ในตัวฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จะตรวจสอบว่าเซกเตอร์ที่ถูกระบุให้เข้าไปอ่านนั้น มีข้อมูลอยู่หน่วยความจำสำรอง (Cache) ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แล้วหรือไม่ ถ้ามีจริงจะส่งข้อมูลนั้นให้ระบบได้ทันทีโดยไม่ต้องไปอ่านข้อมูลมาจากแผ่นเก็บข้อมูลหรือมีเดียให้เสียเวลา กรณีที่ไม่พบข้อมูลในหน่วยความจำสำรองของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ หากมีเดียหยุดหมุนเพื่อประหยัดพลังงาน ส่วนควบคุมจะสั่งหมุนมอเตอร์จนกระทั่งอยู่ในระดับความเร็วที่กำหนด จากนั้นจะดำเนินการเกี่ยวกับตำแหน่งของเซกเตอร์ที่ได้รับการร้องขอให้เข้าไปอ่านข้อมูล เพื่อแปลงให้เป็นตำแหน่งแบบ CHS ในทางกายภาพ เมื่อทราบข้อมูลตำแหน่งแบบ CHS ทางกายภาพของเซกเตอร์ที่ต้องการแล้ว ส่วนควบคุมของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ก็จะสั่งให้แอกทิวเอเตอร์ทำการเคลื่อนหัวอ่าน/เขียนไปยังหมายเลขไชลินเดอร์ ซึ่งในทางเทคนิคเราเรียกขั้นตอนนี้ว่า กระบวนการ “seek” ขณะที่ทุกหัวอ่านบินอยู่ที่แทรคหมายเลขที่ต้องการแล้ว ส่วนควบคุมก็จะสั่งให้หัวอ่าน ดำเนินการอ่านข้อมูลจากแทรคดังกล่าวจนกว่าจะพบ

เซกเตอร์หมายเลขที่ต้องการ หรือ จนกว่าเซกเตอร์หมายเลขนั้นจะหมุนมาอยู่ตรงกับหัวอ่าน เรียกว่า latency ส่วนควบคุมจึงนำข้อมูลที่อ่านมาได้ไปพักเก็บในหน่วยความจำสำรองของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Cache) แล้วส่งข้อมูลดังกล่าวผ่านสายนำสัญญาณไปยังคอมพิวเตอร์ ทางด้านการเขียนข้อมูลลงฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้น จะมีการทำงานคล้ายกับการอ่านเพียงแต่ระบบควบคุมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะจัดการเรื่องตำแหน่งบนแผ่นเก็บข้อมูลเพื่อบันทึกเอง การอ่าน/เขียนข้อมูลแสดงดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 กลไกการอ่าน/เขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานอุตสาหกรรมนั้นมีการนำเอาหลักการซิกซ์ ซิกมา มาใช้อย่างกว้างขวาง ซึ่งงานวิจัยที่ลอกศึกษามีดังนี้

- งานอุตสาหกรรมที่ประยุกต์ใช้หลักการซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma) เพื่อปรับปรุงคุณภาพและลดของเสีย
- การหาพื้นผิวตอบสนอง (Respond Surface) หลังการออกแบบการทดลอง
- การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการจัดการด้านคุณภาพ

2.5.1 งานอุตสาหกรรมที่ประยุกต์ใช้หลักการซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma) เพื่อปรับปรุงคุณภาพและลดของเสีย

อาทิพย์ หงสพันธ์ และ นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ (2553) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการลดข้อบกพร่องในกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์โดยแนวทางซิกซ์ ซิกมา ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากงานซ่อมข้อบกพร่องหลักของกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์ ซึ่งตัวแปรตอบสนองคือจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน (ยิ่งน้อยยิ่งดี) โดยตัวแปรตอบสนองนี้เป็น

จำนวนนับ (Attribute Data) ดังนั้นการวิเคราะห์จะเป็นลักษณะ ปัวซอง (Poisson) และผลการทดลองจะมีการแปลงค่าข้อมูลตามวิธีการของ Freeman & Turkey เพื่อให้มีความเสถียรภาพของข้อมูลก่อนการวิเคราะห์ ซึ่งต่อมาในระบะการวัดหาสาเหตุของปัญหาจะใช้ แผนภูมิก้างปลา และการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ จากนั้นระบะการวิเคราะห์หาสาเหตุจะใช้ การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2k 7 ปัจจัย แบบไม่มีจุดศูนย์กลางในการกรองปัจจัย ซึ่งในระบะการปรับปรุงกระบวนการจะใช้การออกแบบการทดลองแบบ บอกซ์เบนเคน ตามด้วยฟังก์ชันการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Response Optimization) ซึ่งแต่ละปัจจัยหลังการปรับปรุงคือ กำหนดอุณหภูมิของการพ่นสีที่ 27.6 องศาเซลเซียส ความชื้นที่ 84.6% ความเร็วลมที่ 0.35 เมตรต่อวินาที และกำหนดการเป่าลมแบบมีทิศทาง ทำให้ผลหลังการปรับปรุงพบว่า ข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คัน ลดลง 57% (จาก 0.37 เหลือ 0.16) และคาดการณ์ว่าจะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องหลัก 5,796,469 บาทต่อปี

เพ็ญประภา กล้ากสิการ และ นภัสดวงศ์ โรจนโรวรรณ (2553) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงการประกอบตัวล้อกชุดหัวอ่านเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทระยะความสูงของบอล ซึ่งตัวล้อกชุดหัวอ่านเป็นอุปกรณ์ที่อยู่ภายในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์หรือเรียกสั้นๆว่า “Latch” ซึ่งวัตถุประสงค์ของการปรับปรุงมาจากต้องการลดข้อร้องเรียนจากลูกค้า (ซึ่งก็คือบริษัทผลิตฮาร์ดดิสก์ไครฟ์) อันเนื่องมาจากการที่ “Latch” มีความสูงของบอลต่ำกว่าหรือสูงกว่าที่ลูกค้าได้กำหนดเอาไว้ และเป้าหมายของการปรับปรุงงานวิจัยนี้คือต้องการลดอัตราของเสียจาก 27,600 DPPM ให้อยู่ภายใต้ 500 DPPM ซึ่งหลังจากดำเนินการตามแนวทางของซิกซ์ ซิกมาแล้ว ซึ่งประกอบไปด้วยหลักการของ DMAIC ทำให้พบว่าปัจจัยที่ผลต่อตัวแปรตอบสนอง (ระยะความสูงของบอลของตัวล้อกชุดหัวอ่านนั้น) คือ การสึกหรอของแท่นวางชิ้นงาน ระยะกคพินของเครื่องประกอบ การประกอบชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดรูบนชิ้นงาน อันตรกิริยามี 2 พจน์คือ ผลอันตรกิริยาระหว่างการสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงานกับระยะกคพินของเครื่องประกอบ และสุดท้ายคืออันตรกิริยาระหว่างการสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงานกับการประกอบชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดรูบนชิ้นงาน ซึ่งการปรับปรุงปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวไปข้างต้นทำให้สามารถลดจำนวนของเสียในช่วงระยะหลังการปรับปรุงจาก 27,600 DPPM เหลือเพียง 80 DPPM (2.76% เหลือ 0.008%) โดยคาดการณ์ว่ามูลค่าความสูญเสียรวมจะลดลงเท่ากับ 1,509,850 บาทต่อปี

สุกานดา พรหมเทพ และ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย (2553) มีการประยุกต์เอาแนวทางซิกซ์ ซิกมา มาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการบวนการผลิตฟิล์มพาสติกบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัว ซึ่งเป็นการปรับปรุงกระบวนการตามการตรวจสอบคุณภาพภายในเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ดังกล่าว และเป็นการป้องกันการร้องเรียนที่อาจเกิดขึ้นจาก

ลูกค้า ส่งผลต่อให้สามารถลดมูลค่าความสูญเสียที่เกิดจากของเสีย ซึ่งของเสียในงานวิจัยนี้คือ ฟิล์มหย่อน ความหนาของฟิล์มผิดปกติ เรื่องคราบบนฟิล์ม ซึ่งการทำงานตามกระบวนการวิจัยทำให้ทราบว่าข้อบกพร่องดังกล่าวนี้มีสาเหตุมาจากกระบวนการผลิต ซึ่งจะจัดทำมาตรฐานการผลิตต่อไปเพื่อลดปัญหาดังกล่าว นอกจากนี้ยังมีปัญหาเรื่อง ฟิล์มสไลด์ ฟิล์มยับ และฟิล์มเป็นร่อง อันเกิดจากกระบวนการตัดฟิล์ม ซึ่งในส่วนนี้จึงเป็นการปรับปรุงในส่วนของการทำงานของเครื่องจักร โดยการนำการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้ ในที่นี้ใช้ Box-Behnken Design เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของการตัดฟิล์ม โดยหลังการปรับปรุงกระบวนการทั้งสองส่วน (การผลิตฟิล์ม และการตัดฟิล์ม) พบว่าลดลง 56.54% (918,000 บาทต่อปี) และ 13.30% (108,000 บาทต่อปี) ตามลำดับ

อรวรรณ พิทักษ์เกียรติกุล และ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย (2551) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาแนวทางเกี่ยวกับ การปรับปรุงกระบวนการทดสอบตัวรับส่งสัญญาณทางแสงในการป้องกันการเกิดฝุ่นและรอยขีดข่วนบนหน้าเลนส์ โดยใช้หลักซิกซ์ ซิกมา (DMAIC) ซึ่งในระหว่างการทำดำเนินงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ความรู้และเครื่องมือทางสถิติอาทิเช่น แผนภูมิแกงปลา การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) เป็นต้น มาช่วยในงานวิจัย ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่เป็นผลต่อการเกิดฝุ่นและรอยขีดข่วนบนหน้าเลนส์ นั่นก็มิสาเหตุมาจากวิธีการทำความสะอาดสายไฟเบอร์ และอีกปัจจัยคือฝุ่นจากที่พัดสายไฟเบอร์ เมื่อพิจารณาถึงผลหลังการปรับปรุงสาเหตุที่กล่าวไปแล้ว จะพบว่าผลิตภาพของกระบวนการผลิตนั้นเพิ่มขึ้นเป็น 92.80% (จากเดิม 84.49%) และสามารถลดของเสียได้ 53.71% หรือประมาณ 312 ดอลลาร์สหรัฐต่อจำนวนงาน 100 ชิ้น

2.5.2 การหาพื้นผิวตอบสนอง (Respond Surface) หลังการออกแบบการทดลอง

นันท์ชญาณ์ จารัตน์ และ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย (2554) ทำการศึกษาเกี่ยวกับ การลดปริมาณอนุภาคเปียร์โซอิเล็กทริกทรานส์ดิวเซอร์ที่ หลุดออกมาจากแขนจับหัวอ่าน/เขียนในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของของเสียที่เกิดจากอนุภาคเปียร์โซอิเล็กทริกทรานส์ดิวเซอร์ (PZT) ที่หลุดออกมาจากแขนจับหัวอ่าน/เขียน (ซึ่งอาจเรียกว่า แอคทีวเอเตอร์ ก็ได้ในส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์) ในผลิตภัณฑ์ที่สูงเกินข้อกำหนดของลูกค้า ซึ่งตัวแปรตอบสนองคือค่าเฉลี่ยของอนุภาค PZT ที่วัดได้ (โดยยิ่งน้อยยิ่งดี) ทว่าตัวแปรตอบสนองนี้เป็นจำนวนต่อเนื่อง (Variable Data) ซึ่งต่อมาในระยะเวลาวิเคราะห์ของปัญหาจะใช้แผนภูมิต้นไม้ (Tree Diagram) และการวิเคราะห์แขนงความบกพร่อง (Fault Tree Analysis: FTA) ในการเลือกปัจจัยมาทำการวิเคราะห์ต่อ ซึ่งเชื่อมโยงไปยังการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ ทำให้ทราบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองคือ ปัจจัยนำเข้าต่างๆในกระบวนการล้าง

แขนจับหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งประกอบไปด้วย กำลังของเครื่องอัลตราโซนิก เวลาการทำงานของเครื่องอัลตราโซนิก และอุณหภูมิของการล้าง จากนั้นระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุจะใช้การทดลองที่ละปัจจัย (OFAT) โดยในระยะการปรับปรุงกระบวนการจะใช้การออกแบบพื้นผิวตอบสนอง ซึ่งคือการทดลองแบบ Box-Behnken ตามด้วยฟังก์ชันการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Response Optimization) สำหรับปัจจัยนำเข้าที่กล่าวไปแล้ว โดยผลหลังการปรับปรุงพบว่า การกำหนดกำลังของเครื่องอัลตราโซนิกที่ 60% เวลาการทำงานของเครื่องอัลตราโซนิกที่ 60 วินาที และอุณหภูมิของการล้างที่ 50 องศาเซลเซียส จะทำให้อุณหภูมิ PZT ที่หลุดออกมาจากแขนจับหัวอ่าน/เขียน มีการลดลง 35.7% เหลือ 108.7 จากเดิม 169.1 อนุภาค/cm² และคาดการณ์ว่าจะสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ 57,798 ต่อเดือน (คิดเป็น 48.99% ที่ลดลง)

ภัทรา อายุวัฒน์ และ ปารเมศ ชูติมา (2546) ได้ทำการวิจัยด้าน การลดของเสียที่เกิดจากการรับน้ำหนักกดของชุดหัวอ่านสำเร็จ ไม่ได้ตามข้อกำหนดในกระบวนการประกอบหัวอ่าน โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา โดยงานวิจัยนี้ทำการเสนอแนวทางการควบคุมคุณภาพเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องต่างๆ โดยประยุกต์ใช้แนวทางการดำเนินงานของซิกซ์ ซิกมาเข้ามาช่วยในการปรับปรุงกระบวนการ โดยดำเนินการตาม 5 ขั้นตอน DMAIC ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการคือ สามารถกำหนดระดับปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งก็คือการรับน้ำหนักกด (Gramload) ของชุดหัวอ่าน โดยเฉพาะในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการที่นำวิธีการออกแบบของพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Method) มาวิเคราะห์เพื่อให้ได้ ค่าการรับน้ำหนักกด (Gramload) ของชุดหัวอ่านเข้าใกล้ค่ากลางของข้อกำหนดมากที่สุดที่ 2.5 กรัม โดยปัจจัยนำเข้าต่างๆ ที่กำหนดมีดังนี้ ค่าความสูงของฐาน 12.170 มิลลิเมตร ความหนาของ 1st Key 2.274 มิลลิเมตร ระยะห่างของ Comb Tower Pin Slot 7.655 มิลลิเมตร และความเร็วรอบคือ 2,600 rpm สำหรับเครื่อง Swaging โดยหลังจากการปรับปรุง ทดสอบยืนยันผล และควบคุมกระบวนการผลิตสำหรับปัจจัยนำเข้าทั้ง 4 ที่ได้กล่าวไปแล้ว พบว่าปริมาณของเสียลดลงเหลือ 720 DPPM (จากเดิม 8,872 DPPM) คิดเป็น 91.88% ของจำนวนของเสียที่ลดลง

2.5.3 การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการจัดการด้านคุณภาพ

ปวีณสุดา ปานอำไพ และ คำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย (2553) ได้ประยุกต์แนวทางการดำเนินงานของซิกซ์ ซิกมา เพื่อการลดของเสียผลิตภัณฑ์คอยล์เย็นในอุตสาหกรรมยานยนต์ ซึ่งการดำเนินการนั้นก็มีการดำเนินการตามแนวทางของซิกซ์ ซิกมา ตั้งแต่การนิยามปัญหา วัตถุประสงค์ของปัญหา วิเคราะห์ปัญหา ปรับปรุงแก้ไขปัญหา และการตรวจสอบติดตามควบคุม โดยปัญหาที่เกิดขึ้นจะมีการเก็บข้อมูลแยกประเภทของเสีย ทั้งประเภทตัวงานคอยล์เย็น และชิ้นส่วน Core plate

ที่มีจำนวนการทิ้งสูง ทำให้มูลค่าความสูญเสียในส่วนนี้สูงตามไปด้วย ซึ่งในส่วนของการปรับปรุงนั้นจะดำเนินการติดตั้งระบบควบคุมเครื่องจักร ติดตั้งเซนเซอร์วัดขนาดชิ้นงาน และจัดฝึกอบรมวิธีการทำงานกับพนักงานเกี่ยวกับการทำงานที่ถูกต้อง นอกจากนี้ทางด้านการควบคุมนั้นจะมีการจัดทำเอกสารควบคุมการผลิตเพิ่มเติม เพื่อการผลิตนั้นจะได้มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งผลหลังการปรับปรุงของงานวิจัยนี้พบว่า อัตราการเกิดของเสียบนตัวงานคอยล์เย็นนั้นลดลง 50.46% และสามารถลดของเสียโดยเฉลี่ยจากชิ้นงาน Core plate ลงเหลือ 648 ชิ้นต่อเดือน (จากเดิม 3,333 ชิ้นต่อเดือน) ทำให้มูลค่าของเสียลดลง 63.16%

Sameer, K. and Micheal, S. (2009) นำเอาหลักการซิกซ์ ซิกมา เข้าไปปรับปรุงคุณภาพและลดต้นทุนจากการลดของเสียในกระบวนการอบด้วยความร้อน (Heat-treat) Amada Punch เนื่องจากปัญหาชิ้นงานโก่งงอจากการอบด้วยวิธีการเดิม ทำให้เป้าหมายของงานวิจัยนี้คือ ทำอย่างไรในการอบเพื่อไม่ให้ชิ้นงานโก่งงอ ซึ่งกระบวนการอบ Amada Punch ด้วยวิธีการแบบเดินนั้นพบว่าขนาดของชิ้นงานจำนวน 100 ชิ้นจะมีค่าเฉลี่ยของการโก่งงอที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับ 0.0043 นิ้ว และมีค่าเบี่ยงเบน 0.0019 นิ้ว ดังนั้นหากดูช่วงของขนาดชิ้นงานจากขนาดเล็กไปขนาดใหญ่ (Range) จะมีขนาดอยู่ในช่วง 0.0005-0.0117 นิ้ว โดยความสามารถของกระบวนการ (Cp) ในปัจจุบันอยู่ที่ 1 และจำนวนของเสีย 1,350 DPPM จากข้อมูลที่เกิดขึ้นไม่ได้ถูกกอบพบว่ามีค่าของชิ้นงานอยู่ในช่วง 0.0000-0.0004 นิ้ว ผลการวิเคราะห์ที่ได้คือ กระบวนการอบด้วยความร้อนมีผลโดยตรงต่อขนาดของชิ้นงานที่ผันแปรไปอย่างมาก หลังจากดำเนินการวิจัยถึงขั้นตอนการแก้ไข จึงทำการทดลองปรับเปลี่ยนวิธีการจัดเก็บชิ้นงานหลังจากผ่านกระบวนการอบด้วยความร้อน โดยทดลองวางแบบแนวตั้งและแนวนอน หลังจากนั้นเก็บข้อมูลด้วยการวัดขนาดของการวางในแต่ละลักษณะ จึงพบว่าการวางแนวตั้งจะมีค่าเฉลี่ยของการโก่งงอ 0.002 นิ้ว และมีค่าเบี่ยงเบน 0.0007 นิ้ว ส่วนแนวนอนมีค่าเฉลี่ยของการโก่งงอ 0.006 นิ้ว และมีค่าเบี่ยงเบน 0.0024 นิ้ว ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการวางชิ้นงานแบบแนวตั้งจะเกิดค่าเบี่ยงเบนของชิ้นงานน้อยกว่าและมีอัตราการเกิดของเสียเพียง 9 DPPM

กล่าวถึงงานวิจัยข้างต้นส่วนมากจะนิยมใช้หลักการของซิกซ์ ซิกมาในการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดของเสียและสามารถวัดผลการดำเนินงานได้ด้วยผลลัพธ์หลังการปรับปรุงที่ดีขึ้น โดยเบื้องหลังผลลัพธ์เหล่านั้นคือการประยุกต์ใช้ความรู้และเครื่องมือทางสถิติตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา เช่น แผนภูมิพาเรโต แผนภูมิเหตุและผล (แผนภูมิกิ่งปลา) แผนภูมิต้นไม้ เป็นต้น มาประยุกต์ใช้บนขั้นตอนของการนิยามปัญหา ส่วนขั้นตอนการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหานั้นโดยมากเริ่มจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด และใช้การวิเคราะห์การขัดข้องและผลกระทบจากกระบวนการ เพื่อหาระดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าต่างที่มีผลกับสิ่งที่เราสนใจ

โดยพิจารณาปัจจัยเหล่านั้นผ่านค่า RPN ทางด้านขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจะเป็น การ ออกแบบการทดลองต่างๆเพื่อถ่วงน้ำหนักปัจจัยนำเข้า ส่วนการปรับปรุงกระบวนการคือการหาวิธีที่ เหมาะสมและมีผลลัพธ์ในกระบวนการดีที่สุด หลังจากนั้นจะต้องทำการควบคุมกระบวนการให้ คงที่หรือลดความผันแปรในกระบวนการ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะทำการวิจัยเพื่อลดจำนวน ของเสียในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มาจาก การทดสอบชิ้นงานในช่วงการ ปรับแต่งและปรับกรอง ค่าการทำงานของการอ่าน/เขียนสัญญาณ และทำการควบคุมปัจจัยที่มี ผลกระทบต่อการอ่านสัญญาณทางไฟฟ้ากลับในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือและ วิธีการทางซิกซ์ ซิกม่า

บทที่ 3

ระยษณียามปัญหา (Define Phase)

3.1 บทนำ

การนิยามปัญหาเป็นการศึกษาพิจารณา ทำความเข้าใจเกี่ยวกับปัญหาในกระบวนการผลิต และวางเป้าหมายในการปรับปรุง เพื่อให้ผลลัพธ์ของการปรับปรุงตรงตามเป้าหมายที่คาดหวังไว้ ซึ่งการนิยามปัญหามีส่วนสำคัญที่จะนำไปสู่การกำหนดปัญหาที่ต้องทำการปรับปรุงอย่างแท้จริง ซึ่งในการศึกษาในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย

1. ศึกษาและวิเคราะห์ผังกระบวนการผลิต (Process Mapping) เป็นขั้นตอนแรกที่จะช่วยให้มองเห็นสภาพของปัญหาหรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นหรือผลกระทบที่เกิดจากข้อบกพร่อง
2. วิเคราะห์สภาพปัญหาในปัจจุบัน ทำการเลือกข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบ่อย มีผลกระทบมากต่อกระบวนการผลิตหรือต่อลูกค้า และมีขีดความสามารถที่จะทำการแก้ไขได้ในระยะเวลาที่เหมาะสม มาทำการปรับปรุงแก้ไข
3. วางขอบเขต วัตถุประสงค์ของการปรับปรุง และกำหนดเป้าหมายหลังการปรับปรุง โดยตัวชี้วัดคืออัตราการเกิดของเสียในการผลิตชิ้นงานในจำนวน 1 ล้านชิ้น (DPPM: Defect Part Per Million) เปรียบเทียบกับอัตราของเสียก่อนการปรับปรุง
4. จัดตั้งทีมงานในการดำเนินงาน ช่วยเหลือสนับสนุน เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ซึ่งประกอบด้วย วิศวกรผลิตภัณฑ์ (Production Engineer) วิศวกรการทดสอบและโปรแกรม (Test Software & Programming Engineer) หัวหน้าฝ่ายผลิต (Production Leader) วิศวกรกระบวนการ (Process Engineer) วิศวกรควบคุมคุณภาพ (Quality Engineer) และ ฝ่ายวางแผนการผลิต (Production Planer)

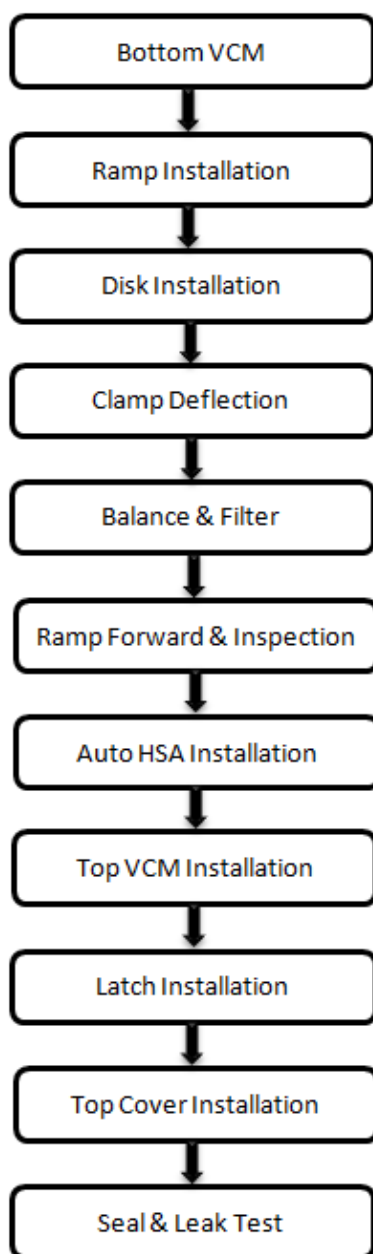
3.2 ศึกษาผังกระบวนการผลิต (Process Mapping)

ผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟรุ่น Firebird มีขั้นตอนการผลิตออกเป็น 2 ส่วนหลักดังนี้

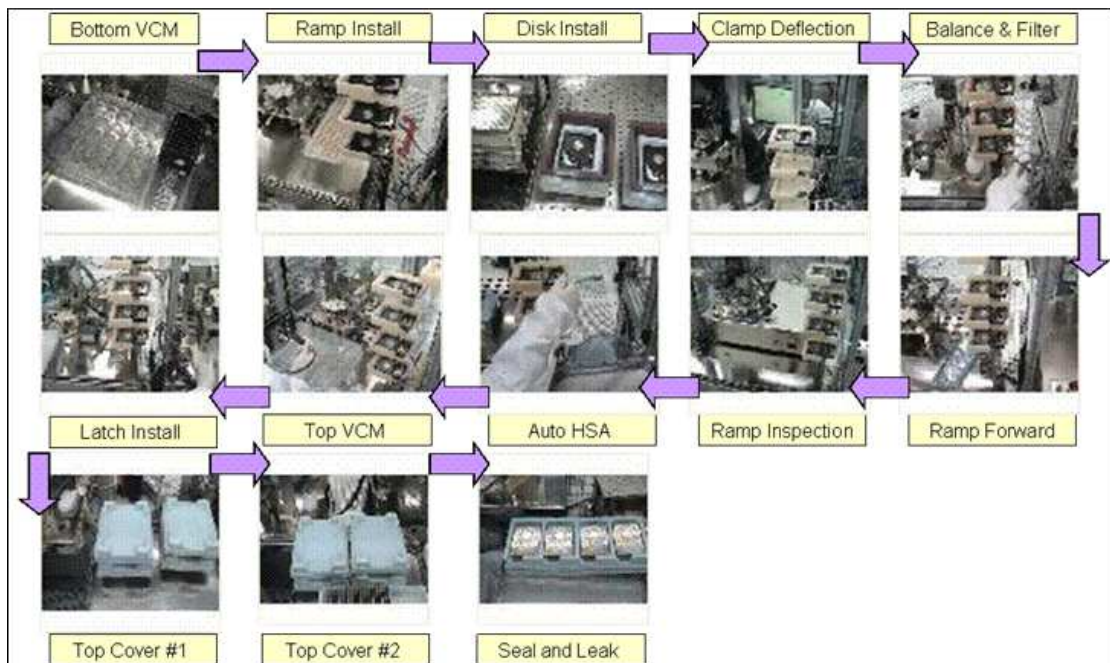
3.2.1 กระบวนการผลิตภายในห้องควบคุมความสะอาด (Clean Room Process)

ซึ่งจะเป็นกระบวนการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน แสดงในภาพที่ 3.1 และ ภาพที่ 3.2 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. *Bottom VCM Installation*: พนักงานหรือเครื่องจักร จะหยิบ Bottom VCM ซึ่งเป็นวัสดุประเภทแม่เหล็กประกอบลงไปยังตำแหน่งบนฐานมอเตอร์ โดยมันจะทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนหัวอ่าน/เขียนข้อมูล (แอกทิเวเตอร์) ให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ และทำหน้าที่ควบคู่กับ Top VCM

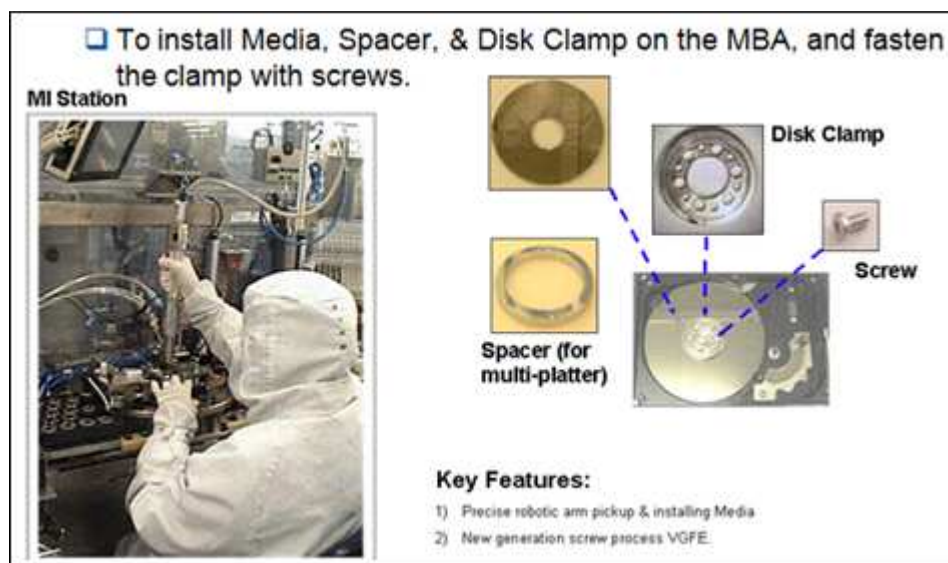


ภาพที่ 3.1 Flow Chart การผลิตในห้องควบคุมความสะอาด



ภาพที่ 3.2 การประกอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ในห้องควบคุมความสะอาด

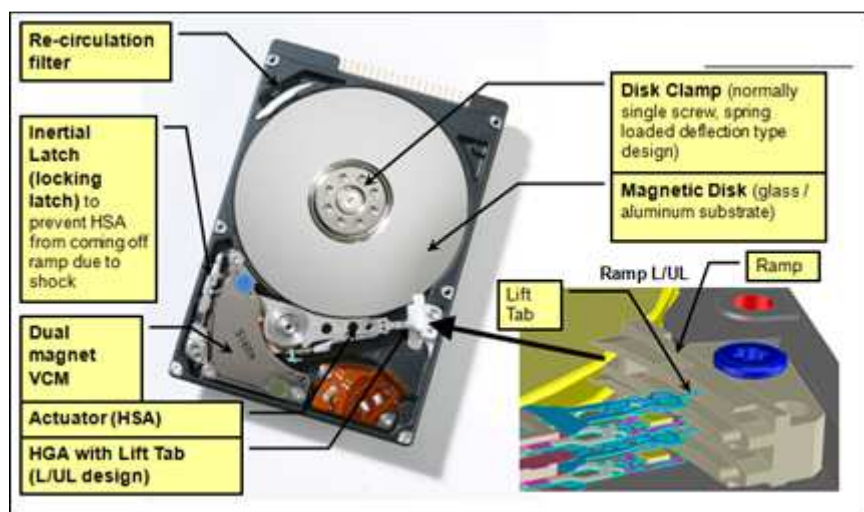
2. *Ramp Installation*: เป็นพลาสติกขึ้นรูปตามการออกแบบ โดยพนักงานหรือเครื่องจักรจะประกอบ Ramp ไปยังตำแหน่งที่ระบุ ซึ่งมันจะทำหน้าที่เป็นจุดจอดพัก ของหัวอ่าน/เขียนข้อมูล เมื่อตัวฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ไม่ได้ทำงาน
3. *Disk Installation*: พนักงานหรือเครื่องจักรทำการติดตั้งแผ่นเก็บข้อมูล โดยลักษณะวัสดุของแผ่นเก็บข้อมูลจะเป็นได้ทั้ง แก้ว หรือ อะลูมิเนียม โดยขึ้นอยู่กับการออกแบบไปยังตำแหน่งที่ระบุในการประกอบ
4. *Clamp Deflection*: พนักงานหรือเครื่องจักรทำการติดตั้งตัวยึดจับแผ่นเก็บข้อมูลให้เข้ากับร่องของมอเตอร์ด้านบน เพื่อไม่ให้แผ่นเก็บข้อมูลเกิดการเคลื่อนที่ขณะฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ทำงาน โดยตัวยึด (Clamp) จะทำจากสแตนเลสสตีล ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแผ่นเก็บข้อมูล (Disk) และ ตัวยึด (Clamp) ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 การประกอบแผ่นเก็บข้อมูลและตัวยึด Clamp

5. *Balance & Filter*: เป็นการปรับแต่งให้ตัวแผ่นเก็บข้อมูลที่ประกอบบนตัวมอเตอร์เสร็จเรียบร้อยแล้วโดยการใช้ Clamp ยึดเข้าด้วยกัน โดยการทดสอบการหมุนของแผ่นและตรวจจับการหมุนในแนวแกนตั้ง (z axis) หากพบว่าสมดุลระหว่างการหมุนไม่ดี พนักงานจะทำการใส่ Plug (เม็ดพลาสติกกลมที่มีน้ำหนักคงที่) บนช่องของ Clamp เพื่อให้มีความสมดุลระหว่างการหมุนของแผ่นเก็บข้อมูลตามมาตรฐานของบริษัท
6. *Ramp Forward & Ramp Inspection*: เป็นการตรวจสอบการประกอบของ Ramp (อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นจุดพักของ หัวอ่าน/ เขียนข้อมูล) ว่าถูกต้องตามประเภทของผลิตภัณฑ์ การตำแหน่งการวางที่ถูกต้องเหมาะสม หากไม่ถูกต้อง ก็สามารถทำความสะอาดให้หัวอ่าน/เขียน ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้ หากพบข้อผิดพลาด จะทำการคัดแยกออก เพื่อแยกชิ้นส่วนและนำไปประกอบใหม่อีกครั้งหากสามารถแก้ไขปรับแต่งได้ หากพบชิ้นส่วนชำรุดมากจะทำลายชิ้นส่วนดังกล่าว
7. *Auto HSAs Installation*: พนักงานหรือเครื่องจักรทำการติดตั้งอุปกรณ์ชุดสำเร็จของ หัวอ่าน/ เขียนข้อมูล ลงบนตัวฐานมอเตอร์ ซึ่งจะต้องมีการวางหัวอ่าน/ เขียนข้อมูลไปยังตำแหน่งของ Ramp
8. *Top VCM Installation*: พนักงานหรือเครื่องจักรทำการประกอบชิ้นส่วนที่เป็นลักษณะแม่เหล็ก โดย Top VCM จะทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนหัวอ่าน/ เขียนข้อมูลให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งทำหน้าที่ควบคู่กับ Bottom VCM โดยแนวการวางนั้นจะตรงกันกับ Bottom VCM แต่ Top VCM นั้นจะอยู่ด้านบน

9. *Latch Installation*: พนักงานหรือเครื่องจักรทำการประกอบชิ้นส่วนที่เป็นพลาสติกขึ้นรูป ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้แขนของหัวอ่าน/เขียนข้อมูล เคลื่อนที่เกินขอบเขตที่กำหนด ไปตามตำแหน่งที่ระบุบนฐานมอเตอร์ Latch ช่วยป้องกันความเสียหายของหัวอ่าน/เขียน ไม่ให้เคลื่อนที่เข้าชนกับขอบของฐานมอเตอร์ เมื่อเกิดความผิดพลาดในระหว่างการปรับตั้งค่าการทำงาน ซึ่งอยู่ในส่วนของการผลิตนอกห้องควบคุมความสะอาด
 10. *Top Cover Installation*: พนักงานหรือเครื่องจักรทำการประกอบชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ปกปิดและห่อหุ้มอุปกรณ์จากทางด้านบน เป็นวัสดุประเภทโลหะสแตนเลส หรือ อลูมิเนียม ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันฝุ่นละอองที่จะเข้าไปภายในตัว ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ รวมทั้งป้องกันการกดทับแบบเบื่องต้นอีกด้วย
 11. *Seal & Leak test*: เป็นแผ่นโลหะพิเศษประเภทบางที่ทำการติดตั้งบนหัวสกรู ที่อยู่บน Top Cover อีกชั้นตอนหนึ่งเพื่อป้องกันอากาศ และสิ่งแปลกปลอมที่อาจเข้าไปภายในของตัวฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้ และหลังจากนั้นจะทำการทดสอบการรั่วซึมของอากาศ
- จากทั้ง 11 ขั้นตอน การประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ภายในห้องควบคุมความสะอาดในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้น สามารถแสดงให้เห็นภาพของชิ้นส่วนต่างๆ และตำแหน่งการวางตั้งภาพที่ 3.4

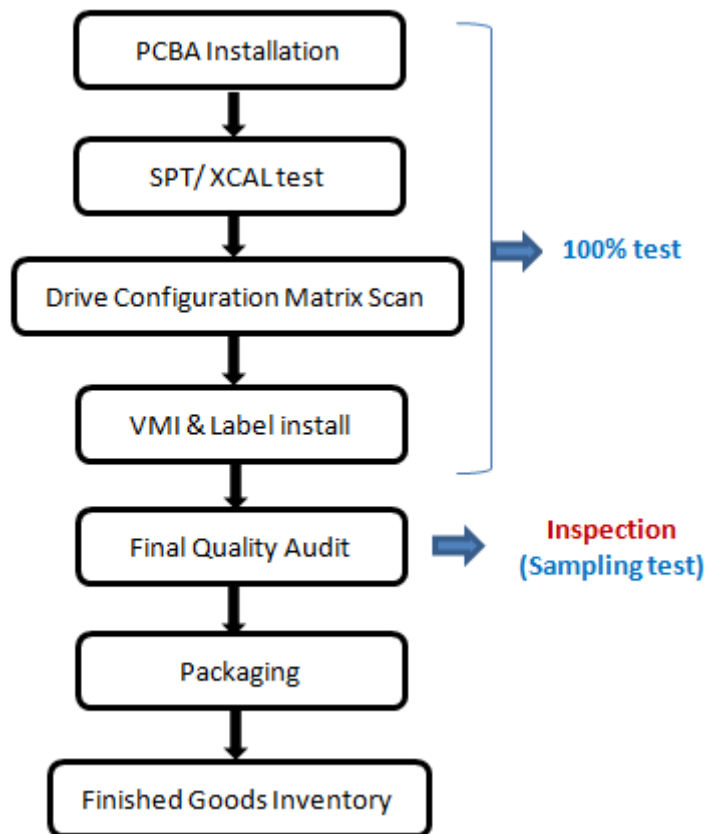


ภาพที่ 3.4 ชิ้นส่วนต่างๆภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และตำแหน่งของชิ้นส่วนนั้นๆ

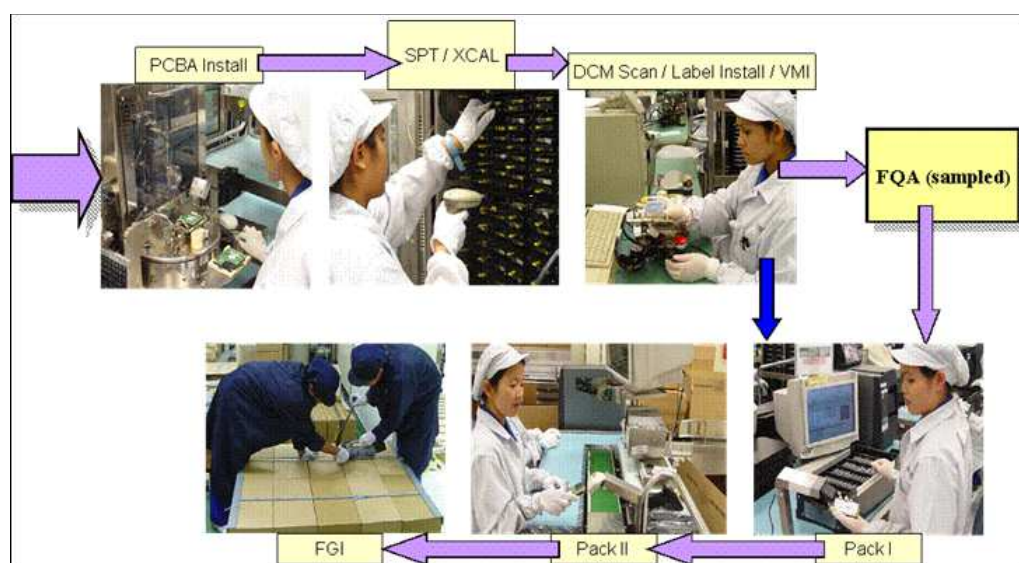
3.2.2 การผลิตและทดสอบนอกห้องควบคุมความสะอาด (BackEnd Process)

เป็นกระบวนการผลิตที่เป็นลักษณะที่กระทำภายนอกห้องควบคุมความสะอาด หรือกล่าวได้ว่าเป็นกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ที่แสดงในภาพที่ 3.5 และ ภาพที่ 3.6 เพื่อให้ตัว

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สามารถทำงานได้เมื่อถูกค่านำไปใช้งาน ซึ่งมีรายละเอียดการผลิต หรือทดสอบดังต่อไปนี้



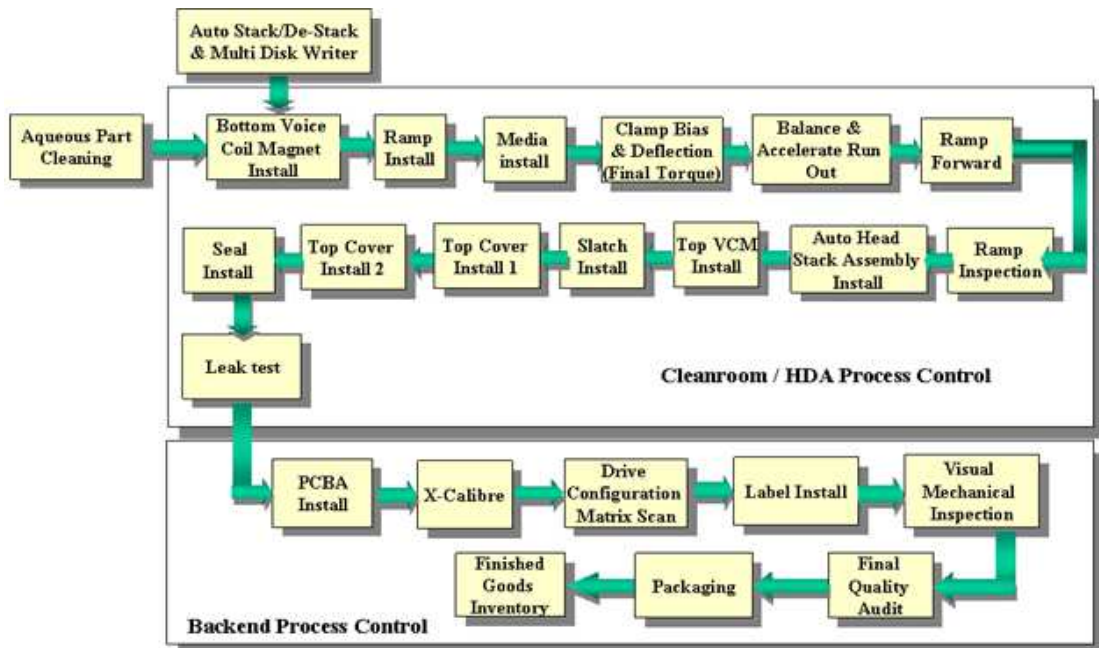
ภาพที่ 3.5 Flow Chart การผลิตและทดสอบนอกห้องควบคุมความสะอาด



ภาพที่ 3.6 กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นอกห้องควบคุมความสะอาด

1. *PCBA Installation*: พนักงานงานการติดตั้งแผงวงจรควบคุมนี้ ที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของตัวฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ลงตามตำแหน่งที่ระบุไว้แล้ว ซึ่งแผงวงจรนี้จะทำหน้าที่เป็นสื่อกลางระหว่างผู้ใช้งานและอุปกรณ์เก็บข้อมูล
2. *SPT/ XCAL Test*: พนักงานทำการส่งฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เข้าสู่เครื่องทดสอบ ซึ่งเป็นกระบวนการปรับตั้งค่าการทำงานต่างๆ ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งส่วนที่สำคัญสำหรับกระบวนการนี้ได้แก่ การหาค่าความสัมพันธ์ที่ดีที่สุดระหว่างหัวอ่าน/เขียนกับแผ่นเก็บข้อมูล, รูปแบบการจัดเก็บข้อมูล, การจัดการกับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล และอีกหลายกระบวนการทดสอบ และสุดท้ายคือการ กำหนดค่าการใช้งานตามที่ลูกค้าระบุ ซึ่งกระบวนการในขั้นตอนนี้จะใช้ระยะเวลายาวนานที่สุด เพราะมีหลายขั้นตอน ของการทดสอบ เพื่อให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพสูงสุดตามที่ลูกค้าต้องการ ผ่านทางซอฟต์แวร์โปรแกรมที่กำหนดไว้
3. *VMI & Label Installation*: เป็นกระบวนการการตรวจสอบรูปลักษณะภายนอกหลังการทดสอบเสร็จสิ้น ว่ามีร่องรอยขีดข่วน หรือบุบสลายในส่วนใดบ้าง หากพบก็จะทำการคัดแยกออกเพื่อเข้าสู่กระบวนการแยกชิ้นส่วนต่อไป ทั้งนี้เพื่อนำชิ้นส่วนที่ไม่เสียหายกลับมาใช้ใหม่ จากนั้นเป็นกระบวนการติดตราบริษัทผู้ผลิต ซึ่งพนักงานจะทำการติดตั้งบนตำแหน่งที่อยู่บน Top Cover และเป็นการยืนยันว่าฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้รับการตั้งค่าการทำงาน และผ่านกระบวนการทดสอบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว พร้อมทั้งจะใช้งาน
4. *FQA Audit*: เป็นลักษณะการสุ่มตรวจสอบคุณภาพหลังการผลิต โดยวิศวกรควบคุมคุณภาพและทีมงานจะแบ่งฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ผลิตเสร็จเรียบร้อยแล้วออกเป็นกลุ่ม ซึ่ง จะทำการสุ่มงานในแต่ละกลุ่ม ที่ผ่านการทดสอบ SPT/XCAL โดยปกติคิดเป็น 50% ในกลุ่มนั้นๆมาทำการทดสอบ หากผ่านเกณฑ์การทดสอบโดยไม่พบการเสียหายใดๆ ก็จะสามารถส่งต่อฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทั้งหมดที่อยู่ในกลุ่มงานชุดนั้นเข้าสู่กระบวนการถัดไป แต่ถ้าหากไม่ผ่านเกณฑ์จึงทำการตรวจสอบทั้งหมด 100% ของกลุ่มงานชุดนั้น
5. *Packing / FGI*: เป็มการจัดการด้านบรรจุภัณฑ์ โดยพนักงานจะนำตัวฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ใส่ในซองพาสติก ESD (Electrostatic Discharge) (เพื่อป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ที่อาจทำความเสียหายระหว่างการขนส่ง หรือฝุ่นละออง) จากนั้นทำการปิดผนึก ก่อนจัดวางลงในกล่องเพื่อการขนส่งให้กับลูกค้า หรือเก็บเข้าสู่คลังเพื่อรอการจำหน่ายต่อไป

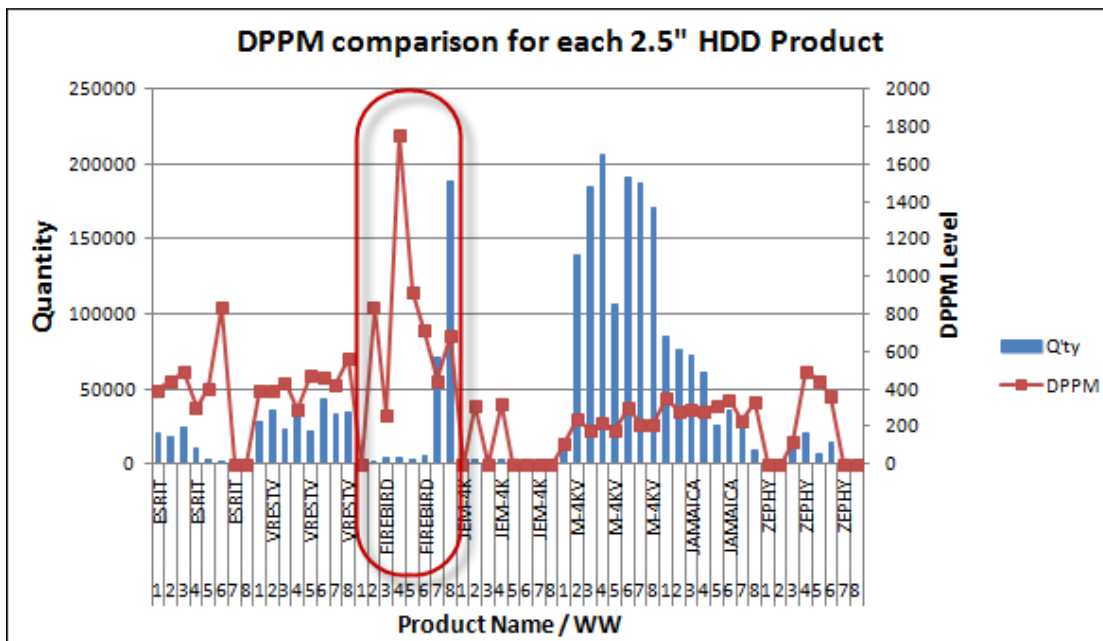
โดยสรุปแล้ว กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ซึ่งทั้ง 2 ส่วนนั้นมีความสำคัญเท่าเทียมกัน ซึ่งสามารถเขียนเป็นแผนผังกระบวนการผลิตโดยรวมได้ ดังแสดงตามภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยรวม

3.3 สภาพปัญหาในปัจจุบัน

เมื่อพิจารณาข้อมูลทางด้านการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก่อนการเตรียมส่งให้กับลูกค้าในช่วงไตรมาสแรกของปี 2555 ภายหลังจากการฟื้นฟูโรงงานอุตสาหกรรมจากเหตุการณ์อุทกภัย โดยในช่วง 2 เดือนหลังสุดในไตรมาสแรกพบว่า ผลิตภัณฑ์ Firebird มีค่าอัตราส่วนของเสียต่อหนึ่งล้านชิ้นสูง (DPPM: Defect Part Per Million) โดยมีค่าเฉลี่ย DPPM อยู่ที่ 633 DPPM ซึ่งมากกว่าผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่อยู่ในรุ่นเดียวกัน และที่ผลิตในช่วงเวลาเดียวกันดังภาพที่ 3.8 และตารางที่ 3.1

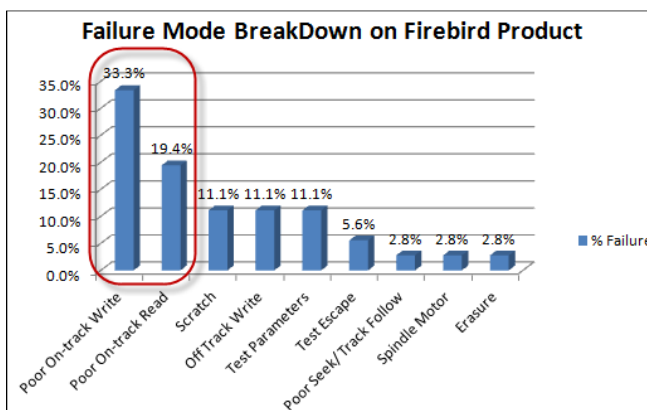


ภาพที่ 3.8 อัตราส่วนของเสียต่อหนึ่งล้านชิ้นบนผลิตภัณฑ์แต่ละรุ่น

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียในรูปแบบ DPPM ของแต่ละผลิตภัณฑ์ในรุ่นต่างๆ

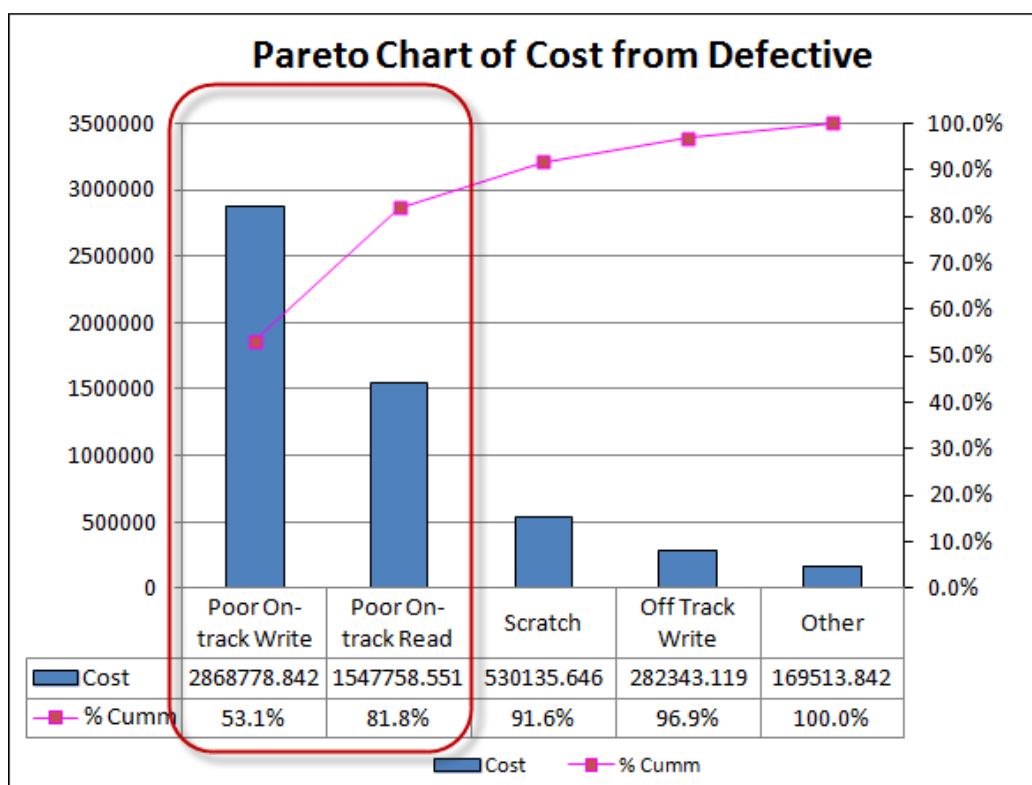
Work Week	WW-01		WW-02		WW-03		WW-04		WW-05		WW-06		WW-07		WW-08		Total	
type	Qty	DPPM	Qty	DPPM	Qty	DPPM	Qty	DPPM	Qty	DPPM	Qty	DPPM	Qty	DPPM	Qty	DPPM	Qty	DPPM
ESRIT	20156	397	18173	440	24408	492	9875	304	2465	406	1195	837	492	0	239	0	102996	388
VRESTV	28014	393	35997	389	22924	436	31218	288	21374	468	43294	462	33036	424	33854	561	321728	404
FIREBIRD	50	0	1199	834	3796	263	3419	1755	3259	921	5609	713	71553	447	188952	682	277903	633
JEM-4K	570	0	3199	313	3438	0	3100	323	290	0	893	0	0	0	100	0	31848	251
M-4KV	9551	105	138651	238	185239	178	206043	218	106427	179	191479	303	187400	208	170900	211	1827173	215
JAMAICA	84476	355	75542	278	71894	292	61122	278	25322	316	35049	342	30668	228	8965	335	472458	313
ZEPHY	388	0	64	0	16921	118	20102	497	6856	438	13730	364	273	0	543	0	64258	324

เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ Firebird แต่ละประเภทของข้อบกพร่องพบว่าข้อบกพร่องประเภทการอ่าน/เขียนสัญญาณบกพร่องของหัวอ่าน/เขียน (Poor On-track Write & Poor On-track Read) มีผลกระทบโดยรวมเป็น 52.7% ดังแสดงตามภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 สัดส่วนข้อบกพร่องแต่ละประเภทบนผลิตภัณฑ์ Firebird

เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบทางด้านมูลค่าความสูญเสียโดยรวม ซึ่งประกอบไปด้วยค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบงานซ้ำ ค่าใช้จ่ายทางการดำเนินการคุ้มครองรอบที่สอง ค่าใช้จ่ายในการส่งผลิตภัณฑ์กลับเข้าสู่กระบวนการผลิตเพื่อแยกชิ้นส่วนเพื่อนำชิ้นส่วนที่ติ๊กกลับมาใช้ใหม่ และผลกระทบต่อการสูญเสียโอกาสทางการค้า คิดเป็นจำนวนเงิน 4,416,538 บาท ต่อระยะเวลา 8 สัปดาห์ (2 เดือน หลังสุดในไตรมาสแรก) ดังแสดงตามภาพที่ 3.10



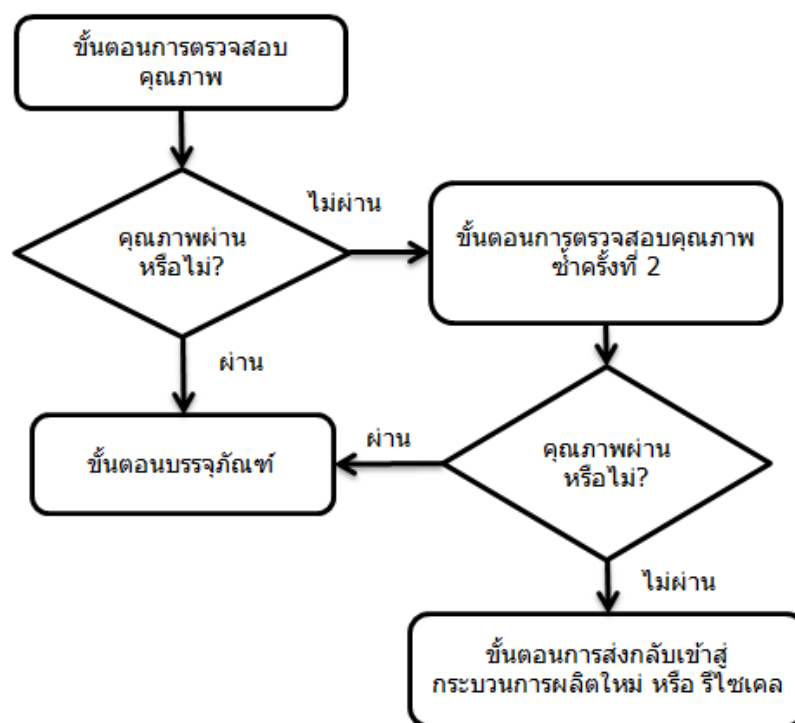
ภาพที่ 3.10 มูลค่าความสูญเสียโดยรวมเปรียบเทียบกับข้อบกพร่องแต่ละประเภท

หากพิจารณาถึงต้นทุนความสูญเสียต่างๆ สามารถอธิบายพอสังเขปได้ดังนี้

1. ต้นทุนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ซ้ำจากกระบวนการตรวจสอบคุณภาพ FQA โดยต้นทุนความสูญเสียนี้อาจเกิดจาก ค่าใช้จ่ายของพนักงานที่ต้องนำงานมาตรวจสอบซ้ำ, เครื่องทดสอบที่จะต้องใช้งานในการตรวจสอบซ้ำ และค่าสิ้นเปลืองต่างๆ เช่น ค่าไฟฟ้า เป็นต้น
2. ต้นทุนการส่งผลิตภัณฑ์กลับสู่กระบวนการผลิตเพื่อปรับปรุงแก้ไข โดยต้องต้องเสียค่าใช้จ่าย 2 ส่วนคือ ค่าเคลื่อนย้ายและบริหารจัดการทรัพยากร และค่าวัสดุทดแทน

3. ต้นทุนทางด้านความสูญเสียโอกาสทางการค้า โดยต้นทุนความสูญเสียนี้อาจคิดจากมูลค่าที่ลดลงของสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถส่งได้ทันตามกำหนดของลูกค้าโดยคิดเป็นค่าปรับตามมุมมองของลูกค้า

ซึ่งต้นทุนความสูญเสียที่ได้กล่าวไปแล้วนั้นสามารถแสดงลักษณะความสัมพันธ์กับระบบตรวจสอบคุณภาพของโรงงานกรณีศึกษาได้ดังภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 ระบบการตรวจสอบคุณภาพของโรงงานกรณีศึกษา

3.4 การกำหนดวัตถุประสงค์และเป้าหมาย

เมื่อพิจารณาปัญหาที่ได้พบ จึงทำการกำหนดปัญหาที่จะทำการปรับปรุงคือ การลดของเสียประเภทการอ่าน/เขียน สัญญาณบกพร่องของหัวอ่าน/เขียน จากกระบวนการผลิตและทดสอบของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟรุ่น Firebird ซึ่งปัจจุบันพบว่าปัญหาหรือข้อบกพร่องดังกล่าวมีค่าสูงเกินกว่าค่าที่มาตรฐานโรงงานกำหนด โดยข้อเสียจากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 633 DPPM โดยมีเป้าหมายจะลดให้เหลือ 300 DPPM หรือต่ำกว่า โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า เพื่อเพิ่มโอกาสในการแข่งขันขององค์กรต่อไป ระยะเวลาในการดำเนินงานตั้งแต่เดือน มกราคม ถึงประมาณเดือนกันยายน 2555

3.5 การจัดตั้งทีมงานเพื่อดำเนินการแก้ไขปัญหา

สมาชิกทีมงานในการแก้ไข หรือช่วยลดข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์รุ่น Firebird มีหน่วยงานดังนี้

1. หัวหน้างานฝ่ายผลิต (Production Supervisor & Production Leader) มีหน้าที่ในการควบคุมตารางการผลิตให้เป็นไปตามข้อกำหนดทางด้านเวลาและปริมาณงาน ซึ่งมีผลต่อข้อมูลในกระบวนการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุง
2. วิศวกรกระบวนการ (Process Engineer) มีหน้าที่ดูแลส่วนงานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร เครื่องทดสอบต่างๆ ที่อยู่ในกระบวนการผลิตและทำการปรับแต่งระบบเครื่องจักร เพื่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุด (โดยเน้นกระบวนการที่อยู่ในห้องควบคุมความสะอาด) และร่วมระดมสมองเพื่อหาแนวทางในการลดของเสีย
3. วิศวกรควบคุมคุณภาพ (Quality Engineer) มีหน้าที่ควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ระหว่างกระบวนการผลิตให้เป็นไปตามเงื่อนไข ด้วยกระบวนการทางสถิติ และตรวจติดตามผลการดำเนินงาน
4. วิศวกรผลิตภัณฑ์ (Product Engineer) มีหน้าที่ดูแลผลิตผลของงาน และของเสียที่เกิดขึ้น ระหว่างกระบวนการผลิต อีกทั้งยังหาสาเหตุของข้อบกพร่องในจุดต่างๆ และทำการติดต่อประสานงานกับฝ่ายต่างๆที่เกี่ยวข้องเพื่อทำการแก้ไข โดยมีส่วนรวมหลักในการระดมสมอง และการวางแผนแก้ไขปัญหา
5. วิศวกรฝ่ายโปรแกรมการทดสอบ (Test Software Engineer) มีหน้าที่ในการปรับปรุงซอฟต์แวร์ในกระบวนการผลิตและทดสอบเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้น อีกทั้งควบคุมการใช้งานซอฟต์แวร์ในผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในแต่ละรุ่น
6. ฝ่ายควบคุมและวางแผนการผลิต (Production Planer) มีหน้าที่ในการวางแผนการผลิต การจัดการตารางการผลิต รวมทั้งติดต่อประสานงานเกี่ยวกับวัตถุดิบ และชิ้นส่วนต่างๆ ในกระบวนการผลิตและประกอบ

3.6 สรุประยะนิยามปัญหา

ในระยะของการนิยามปัญหา หลังจากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตและสภาพปัญหา ปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา ทำให้สามารถกำหนดเป้าหมายในการทำการศึกษา โดยมุ่งเน้นการทำการลดของเสียในส่วนของข้อบกพร่องประเภทการอ่าน/เขียน สัญญาณบกพร่องของหัวอ่าน/เขียน บนผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์รุ่น Firebird โดยกำหนดเป้าหมายในการลดจำนวนของเสียจาก

เดิม 633 DPPM ให้อยู่ภายใต้ 300 DPPM โดยใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า และมีการจัดตั้งทีมงานในการดำเนินการเพื่อแก้ไขปัญหาโดยใช้ระยะเวลา 7 เดือน

สามารถสรุป Project Charter ในส่วนระยะนิยามปัญหาดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 Project Charter ของระยะนิยามปัญหา

Project Name/Title:	
การปรับปรุงกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการอ่าน/เขียนสัญญาณบกพร่องของหัวอ่าน/เขียน	
Business Case:	
ผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์รุ่น Firebird มีสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทการอ่าน/เขียนสัญญาณบกพร่องของหัวอ่าน/เขียน มากเป็นอันดับต้นๆ ของการสุ่มตรวจสอบคุณภาพงานก่อนที่จะส่งสินค้าให้กับลูกค้า ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือของลูกค้าในตัวผลิตภัณฑ์	
Project Problem Statement:	
จากสภาพปัญหาการผลิตและข้อมูลในช่วง 8 สัปดาห์หลังของไตรมาสแรกปี 2555 ของโรงงานกรณีศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์รุ่น Firebird มีสัดส่วนของเสียในเรื่องข้อบกพร่องประเภทการอ่าน/เขียนสัญญาณบกพร่องของหัวอ่าน/เขียน สูงกว่าผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์รุ่นอื่นๆ ที่ผลิตในช่วงเวลาเดียวกัน และเป็นเหตุให้จำนวนของเสีย (DPPM) สูงมากกว่ามาตรฐานที่โรงงานตั้งเป้าหมายไว้เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในประเภทเดียวกัน ซึ่งจำนวนของเสียคิดเป็น 633 DPPM ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการผลิตด้านต่างๆ และมูลค่าสูญเสียโอกาสในการค้า คิดเป็นเงิน 4,416,538 บาท ต่อระยะเวลา 8 สัปดาห์ ซึ่งแนวโน้มของอัตราส่วนของเสียในสัปดาห์ที่ 9 ยังไม่ดีขึ้น	
Project Metric:	
Business:	อัตราของเสียบนผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แต่ละรุ่น
Primary:	สัดส่วนของเสียของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์รุ่น Firebird ประเภทการอ่าน/เขียนสัญญาณบกพร่องของหัวอ่าน/เขียน มีสัดส่วนมากที่สุด (52.7%) ณ จุดสุ่มตรวจสอบคุณภาพสินค้าก่อนส่งงานให้กับลูกค้า
Secondary:	N/A
Consequential:	ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย
Financial:	ค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบซ้ำ, การส่งงานกลับเข้าสายการผลิตอีกครั้ง และค่าสูญเสียโอกาสในการขายสินค้า

ตารางที่ 3.2 Project Charter ของระชนนิยามปัญหา (ต่อ)

Project Objective Statement	
Actual Performance:	สัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทการอ่าน/เขียน สัญญาณบกร่องของหัวอ่าน/เขียน บนผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟรุ่น Firebird ในช่วงไตรมาสแรกปี 2555
Baseline Performance:	ค่ามาตรฐานที่โรงงานกำหนด
Goal Statement:	ลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการอ่าน/เขียน สัญญาณบกร่องของหัวอ่าน/เขียน บนผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟรุ่น Firebird เพื่อให้จำนวนของเสียต่ำกว่า 300 DPPM ในปลายปี 2555
Project Scope, Constraints, Assumptions:	
Project Scope:	<ul style="list-style-type: none"> - งานวิจัยนี้ทำการศึกษาวิจัยเฉพาะผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟรุ่น Firebird เท่านั้น - การศึกษาและวิจัยครั้งนี้ ไม่ครอบคลุมถึงการเปลี่ยนแปลงการออกแบบส่วนการผลิตในห้องควบคุมความสะอาด - การศึกษาและวิจัยครั้งนี้ไม่ครอบคลุมการเปลี่ยนแปลงการออกแบบเชิงกายภาพของหัวอ่าน/เขียนข้อมูล - งานวิจัยนี้จะอ้างอิงจากแผนการสุ่มตรวจสอบหาของเสียจากมาตรฐานของโรงงานกรณีศึกษาเท่านั้น และ ซอฟต์แวร์ที่โรงงานเป็นผู้กำหนด เพื่อใช้เป็นตัววัดของเสียก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง
Constraints:	<ul style="list-style-type: none"> - ประสบการณ์ของทีมงานที่มีต่อผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟรุ่นใหม่ - ระบบลำดับการทำงานล่าช้าเนื่องจากการย้ายสายการผลิตระหว่างโรงงานที่ประเทศไทย กับประเทศมาเลเซีย
Assumptions:	<ul style="list-style-type: none"> - แผนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟตรงตามจำนวนและช่วงระยะเวลา - มีการทดแทนในหน่วยงานนั้นๆ หากเจ้าหน้าที่ที่มีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงไม่สามารถปฏิบัติงานได้
Team Members and Stakeholder	
Team Leader:	Product Engineer
Team Member:	Quality Engineer, Process Engineer, Test Software Engineer, Production Team
Time Line:	

ตารางที่ 3.2 Project Charter ของระยะนิยามปัญหา (ต่อ)

Preliminary	Target Date
วันเริ่มต้นโครงการ	4 มกราคม 2555
ระยะนิยามปัญหา	6 กุมภาพันธ์ 2555
ระยะวิเคราะห์ปัญหา	1 มีนาคม 2555
ระยะปรับปรุงกระบวนการ	14 มิถุนายน 2555
ระยะติดตามควบคุม	20 กรกฎาคม 2555
สรุปผลโครงการ	18 กันยายน 2555

บทที่ 4

ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

4.1 บทนำ

ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหานั้นจะดำเนินการหลังจากขั้นตอนการนิยามปัญหา ซึ่งทำให้ทราบถึงตัวแปรนำเข้าหรือปัจจัยที่มีหรืออาจมีผลกระทบต่อปัญหาที่เราสนใจ โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ความถูกต้องและความเที่ยงของระบบ (Gauge R&R) หลังจากนั้นจึงทำการระดมสมองจากทีมงาน รวบรวมและวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์แขนงความบกพร่อง (FTA: Fault Tree Analysis) เพื่อคัดเลือกปัจจัยเบื้องต้นและมีความเป็นไปได้ที่จะสำเร็จสู่เป้าหมาย และทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA: Failure Mode and Effect Analysis) เพื่อเข้าสู่ปัจจัยนำเข้าหลัก (KPIV: Key Process Input Variable) ที่อาจมีผลต่อปัญหาการอ่าน/เขียนสัญญาณบกพร่องของหัวอ่าน/เขียน

4.2 การวิเคราะห์ความเที่ยงของระบบการวัด

การวัดทำให้ทราบถึงค่าที่เปลี่ยนแปลงไปของสิ่งของหรือวัตถุที่ทำการวัด ดังนั้นการวัดจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพและประกันคุณภาพของผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยระบบการวัดมีองค์ประกอบหลักๆคือ พนักงานวัด เครื่องมือวัด วิธีการวัด สิ่งที่ถูกวัด และสิ่งแวดล้อมในการวัด

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบและตรวจวิเคราะห์สภาพสัญญาณทางไฟฟ้าของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขณะทำการผลิตอยู่ในช่วง BE test คือเครื่อง Neptune ดังแสดงในภาพที่ 4.1 โดยเครื่องจะทำงานตามซอฟต์แวร์ที่กำหนดไว้ ตัวเครื่องนั้นจะแบ่งกระบวนการทดสอบแยกจากกันในแต่ละช่องของการทดสอบ (Slot) ที่รองรับตัวฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ซึ่งทำให้สามารถแยกเวลาการทดสอบ และค่าต่างๆที่ใช้ในการทดสอบ (เช่นอุณหภูมิ, ซอฟต์แวร์ที่ใช้ เป็นต้น) ได้ในแต่ละช่องของการทดสอบ (Slot) และส่งข้อมูลไปเก็บยังฐานข้อมูล

อย่างไรก็ดี แม้เครื่องทดสอบจะรองรับความหลากหลายในการใช้งาน แต่หากมีการกำหนดค่าต่างๆในการทดสอบมากเกินไปก็อาจกระทบกับประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบได้ โดยเฉพาะกับข้อมูลที่ต้องโอนถ่ายเข้าสู่ระบบเก็บข้อมูลส่วนกลาง



ภาพที่ 4.1 เครื่อง Neptune ที่ใช้ในการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

4.2.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความเที่ยงของระบบการวัด

ขั้นตอนต่างๆของการวัดมีดังนี้

1. กำหนดพารามิเตอร์ที่พิจารณาคือ สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากหัวเขียน และอ่าน กลับจากการใช้ความถี่คงที่ในการเขียนสัญญาณ ผ่านซอฟต์แวร์โดยเครื่องทดสอบ Neptune
2. คัดเลือกตัวอย่างที่จะใช้ในการตรวจวิเคราะห์จำนวน 20 ตัวอย่างที่สามารถวิเคราะห์ซ้ำได้ (Repeatability) มาทำการวิเคราะห์
3. ให้พนักงานที่มีความชำนาญหนึ่งคนทำหน้าที่ในการส่งชิ้นงานเข้าสู่เครื่องทดสอบ Neptune 2 เครื่อง จากนั้นเครื่องจะเริ่มทำการทดสอบอัตโนมัติตามซอฟต์แวร์ที่ติดตั้งและระบุไว้
4. กำหนดให้ทำการตรวจวิเคราะห์ซ้ำสำหรับตัวอย่างแต่ละชิ้น ขึ้นละ 3 รอบ
5. ทำการสุ่มการทดสอบผ่านทางโปรแกรม Minitab ทั้ง 20 ชิ้นตัวอย่าง ขึ้นละ 3 รอบ
6. บันทึกผลการวิเคราะห์ใส่ตารางสำหรับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ดังแสดงในตารางที่ 4.1
7. วิเคราะห์ จากนั้นทำการสรุปผลที่ได้จากการตรวจสอบระบบการวัด ที่ความแปรปรวนระดับนัยสำคัญ (α) 0.05

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบระบบการวัดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของระบบการวัดผ่านโปรแกรม Minitab

Product: Firebird
Tester: Neptune (NB002)
Date: 28 July 2012
User: Chalernpol (Tech)

Part number	Measurement		
	Index1	Index2	Index3
1	109	110	110
2	110	110	110
3	110	109	109
4	111	111	111
5	111	111	111
6	112	110	111
7	115	115	114
8	109	108	108
9	111	112	111
10	111	109	109
11	104	103	104
12	113	113	113
13	112	112	112
14	113	114	114
15	114	114	114
16	111	110	110
17	111	111	111
18	114	113	113
19	112	113	112
20	111	112	111

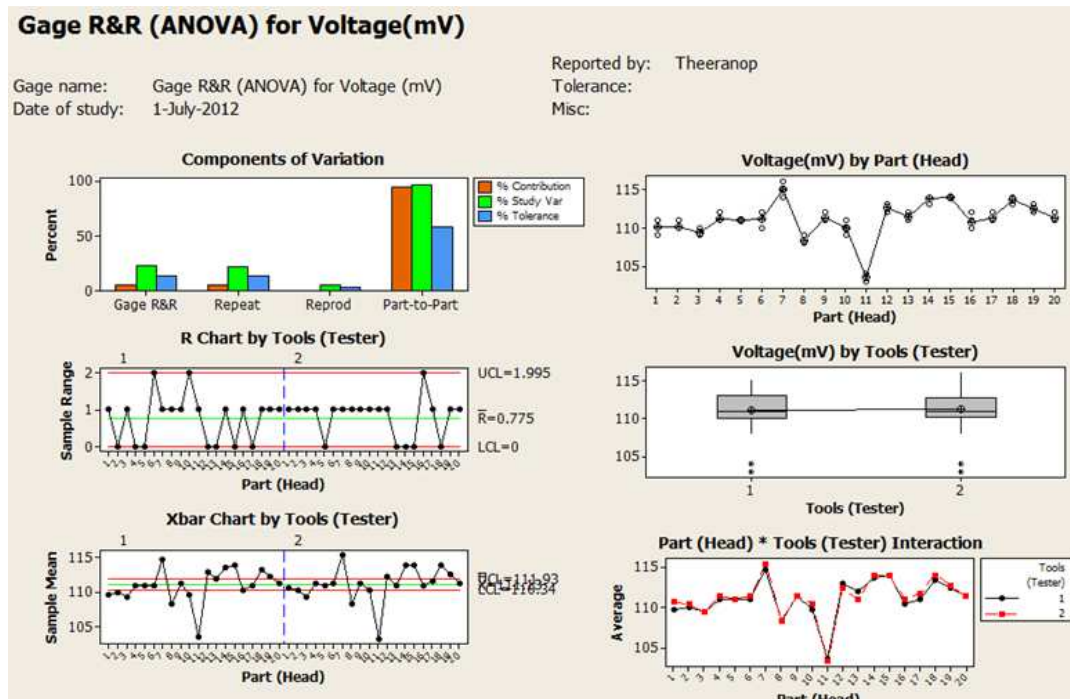
*Note: all values are reported as: mV

Product: Firebird
Tester: Neptune (NB003)
Date: 29 July 2012
User: Chalernpol (Tech)

Part number	Measurement		
	Index1	Index2	Index3
1	111	111	110
2	110	110	111
3	110	109	109
4	111	112	111
5	111	111	111
6	112	111	111
7	116	115	115
8	108	108	109
9	111	111	112
10	110	110	111
11	103	103	104
12	112	113	112
13	111	111	111
14	114	114	114
15	114	114	114
16	110	111	112
17	112	111	112
18	114	114	114
19	113	113	112
20	111	111	112

*Note: all values are reported as: mV

ทำการวิเคราะห์ผลของระบบการวัดด้วยเครื่องมือทางสถิติโดยวิธีการ ANOVA (Gage R&R Crossed) ผ่านทางโปรแกรม Minitab โดยผลการวิเคราะห์ที่แสดงดังภาพที่ 4.2 และ ตารางที่ 4.2 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ในเชิงไม่ทำลาย เนื่องจากผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นสามารถนำกลับเข้าสู่กระบวนการผลิตตามปกติได้ โดยใช้ซอฟต์แวร์ในกระบวนการการผลิตและทดสอบตามปกติที่โรงงานกรณีศึกษาทำการกำหนดไว้



ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยวิธี ANOVA ผ่านโปรแกรม Minitab

ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของระบบการวัด

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Voltage (mV)

Gage name: Gage R&R (ANOVA) for Voltage (mV)
Date of study: 1-July-2012
Reported by: Theeranop
Tolerance:
Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part (Head)	19	684.533	36.0281	100.667	0.000
Tools (Tester)	1	1.200	1.2000	3.353	0.083
Part (Head) * Tools (Tester)	19	6.800	0.3579	1.227	0.258
Repeatability	80	23.333	0.2917		
Total	119	715.867			

Alpha to remove interaction term = 0.05

ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของระบบการวัด (ต่อ)

Two-Way ANOVA Table Without Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
Part (Head)	19	684.533	36.0281	118.367	0.000
Tools (Tester)	1	1.200	1.2000	3.942	0.050
Repeatability	99	30.133	0.3044		
Total	119	715.867			

Gage R&R		
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.31930	5.09
Repeatability	0.30438	4.85
Reproducibility	0.01493	0.24
Tools (Tester)	0.01493	0.24
Part-To-Part	5.95395	94.91
Total Variation	6.27325	100.00

Process tolerance = 25

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.56507	3.3904	22.56	13.56
Repeatability	0.55170	3.3102	22.03	13.24
Reproducibility	0.12218	0.7331	4.88	2.93
Tools (Tester)	0.12218	0.7331	4.88	2.93
Part-To-Part	2.44007	14.6404	97.42	58.56
Total Variation	2.50465	15.0279	100.00	60.11

Number of Distinct Categories = 6

สามารถวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยวิธีการ ANOVA ได้ดังนี้

1. จากแผนภูมิ R Chart by Tools (Tester) พบว่าระบบการวัดมีความสามารถทางด้านการแยกความแตกต่างได้ 3 ค่าและพบว่าค่าพิสัยที่เกิดขึ้นดังกล่าวอยู่ในช่วงของการควบคุมแสดงว่าระบบการวัดมีความสม่ำเสมอในการวัด
2. จากแผนภูมิ Xbar Chart by Tools (Tester) สังเกตเห็นว่ารูปแบบของจุดที่ปรากฏระหว่างเครื่องทดสอบทั้งสองเครื่องมีรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน แสดงถึงค่าความแตกต่างระหว่างการวัดของเครื่องทดสอบทั้งสองมีน้อย และมีค่า P-value เท่ากับ 0.083 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าเครื่องทดสอบทั้งสองให้ค่าที่วัดได้ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

3. จากแผนภูมิ Part(Head)*Tools(Tester) Interaction จากกราฟที่แสดงอิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานที่ถูกวัดและเครื่องทดสอบ ซึ่งแสดงถึงค่าส่วนมากที่ได้รับจากเครื่องทดสอบแต่ละเครื่องไม่ตัดกัน และมีค่า P-value เท่ากับ 0.258 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานที่ถูกวัดและเครื่องทดสอบ
4. ค่า % Contribution แสดงถึงความผันแปรจากสาเหตุต่างๆ ที่ส่งผลต่อความผันแปรโดยรวม ซึ่งโดยมากจะเป็นความผันแปรจากกระบวนการผลิต 94.91% และจากระบบการวัด 5.09% โดยความผันแปรดังกล่าวมาจาก Repeatability 4.85% และ Reproducibility 0.24%
5. % Study Var ของ Total GageR&R มีค่าเท่ากับ 22.56%
6. % Tolerance ของ Total Gage R&R มีค่าเท่ากับ 13.56%
7. Number of Distinct Categories (NDC) = 6 แสดงว่าระบบการวัดสามารถแยกแยะประเภทของข้อมูลการวัดออกได้เป็น 6 ประเภทที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าระบบการวัดสามารถบอกถึงความผันแปรของระบบได้

4.2.2 เกณฑ์การยอมรับของระบบการวัด

เกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินระบบการวัดสำหรับโรงงานกรณีศึกษานั้น ได้ประยุกต์ใช้อ้างอิงเกณฑ์ของสถาบัน BMG ผู้ฝึกอบรมหลักสูตร Six Sigma (สัมพันธ์ วุฒิธิรสกล, 2551) ตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เกณฑ์การยอมรับของระบบการวัดสำหรับโรงงานกรณีศึกษา

ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณา	เกณฑ์การยอมรับ		
	ดี (Good)	ยอมรับได้ (Acceptable)	ยอมรับไม่ได้ (Unacceptable)
Precision-to-Total Variation: P/TV หรือ %Study Variance	< 10%	≥ 10%, < 30%	≥ 30%
Precision-to-Tolerance: P/T	< 10%	≥ 10%, < 30%	≥ 30%

เมื่อนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ระบบการวัดโดยโปรแกรม Minitab ที่ค่าของ % Study var และ % Tolerance ของ Gage R&R พบว่าค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

สรุปผลจากการทำ Gage R&R (Crossed)

% Tolerance (P/T) = 13.56%

% Study Var (P/TV) = 22.56%

Number of Distinct Categories (NDC) = 6

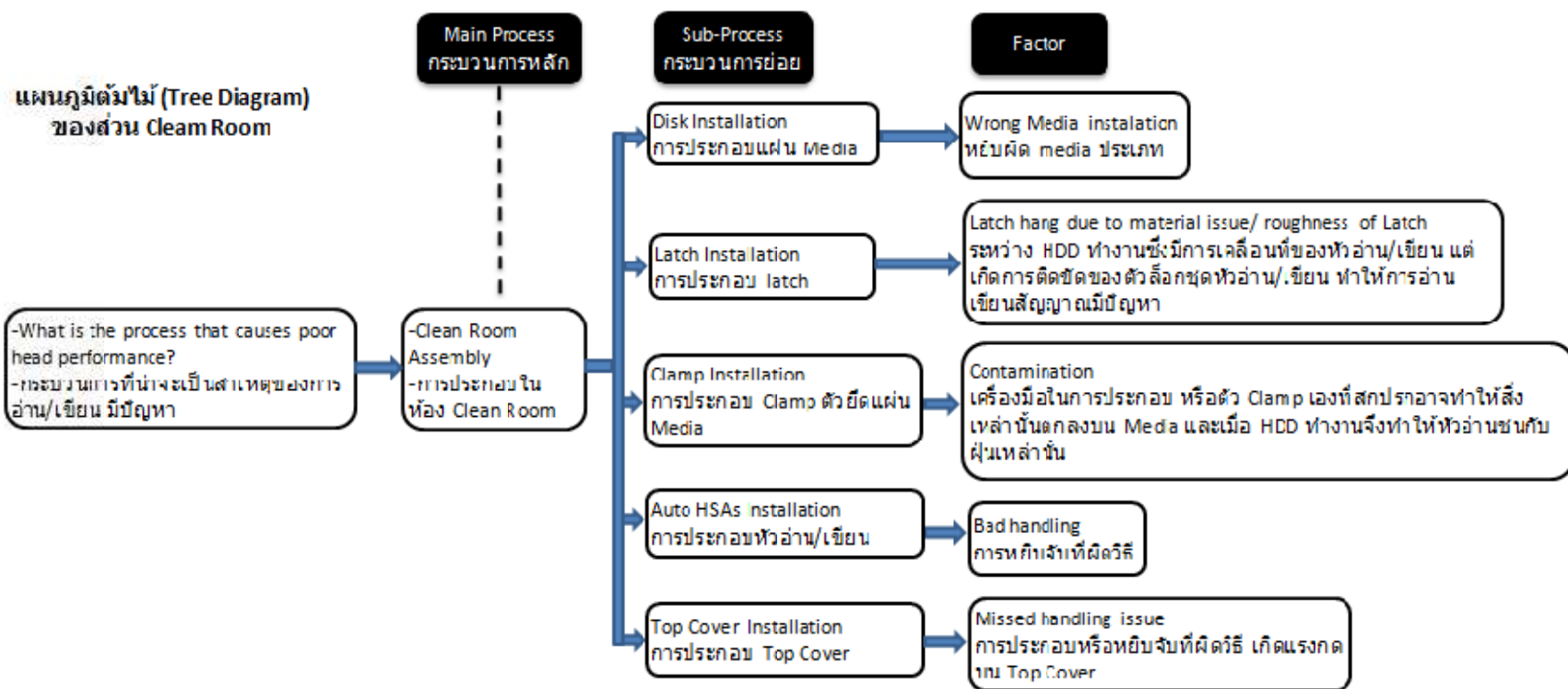
แสดงว่าระบบการวัดสำหรับการตรวจสอบและทดสอบสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ผ่านเครื่อง Neptune มีความสามารถในการตรวจจับอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (เนื่องจากค่าของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าค่อนข้างเบา และอยู่ในระดับ mili-Voltage) จึงสามารถใช้ระบบการวัดนี้เพื่อศึกษาผลการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ต่อไป

4.3 การระดมสมอง (Brainstorming) เพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (Key Process Input Variable: KPIV)

ขั้นตอนนี้เป็นการรวบรวมเอาความคิดของคณะทีมงาน ซึ่งประกอบด้วย ผู้จัดการฝ่ายผลิตภัณฑ์ วิศวกรฝ่ายผลิตภัณฑ์ วิศวกรฝ่ายวิเคราะห์และตรวจสอบ วิศวกรฝ่ายกระบวนการผลิต วิศวกรฝ่ายตรวจสอบคุณภาพ วิศวกรฝ่ายพัฒนาโปรแกรม หัวหน้าพนักงานฝ่ายผลิต พนักงานฝ่ายผลิต และผู้ดำเนินงานวิจัย โดยมีขั้นตอนต่างๆ สำหรับการระดมสมอง รวบรวมความคิด เพื่อกำหนดปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อการอ่าน/เขียนสัญญาณบภร่งของหัวอ่าน/เขียน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

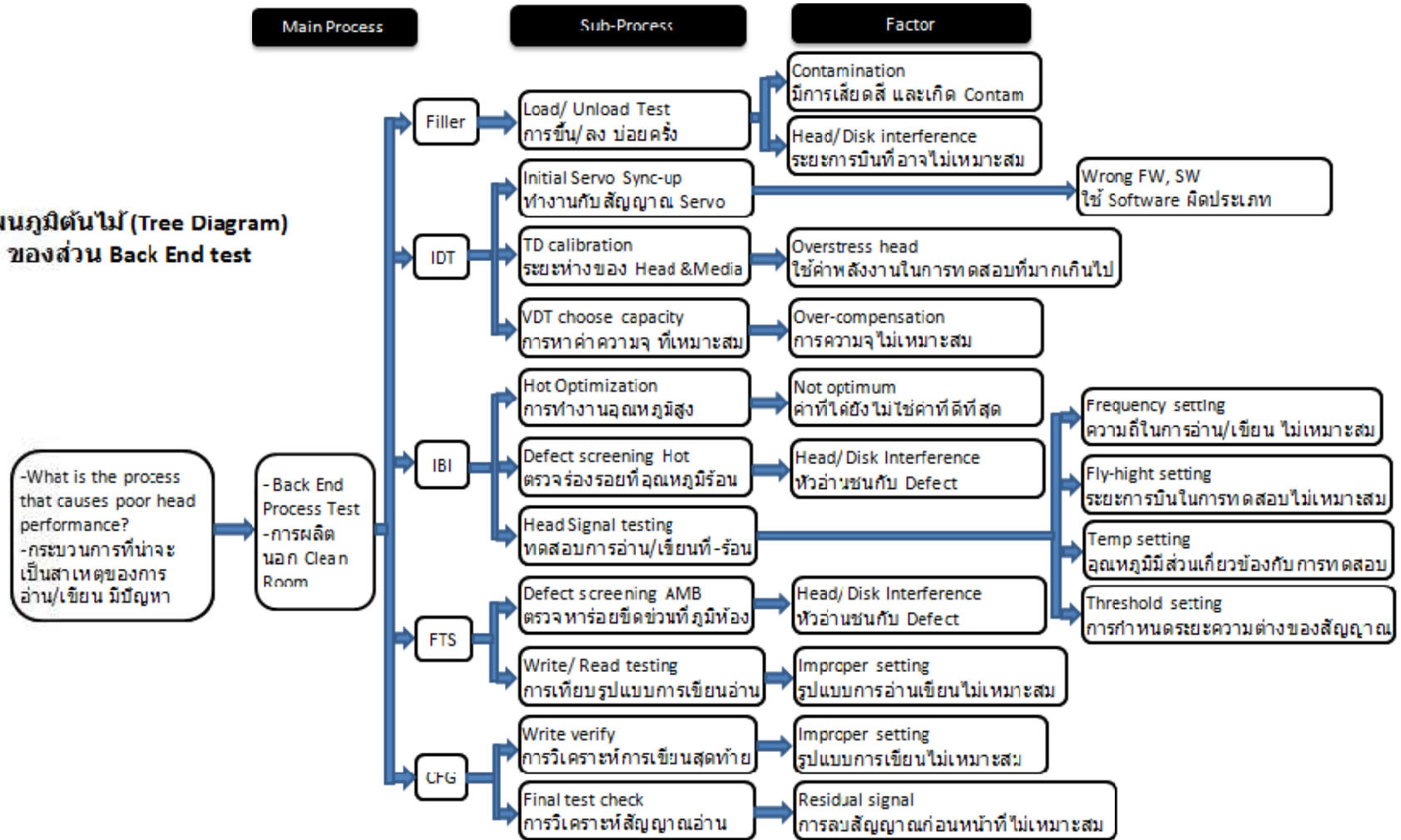
4.3.1 การวิเคราะห์แขนงความบกพร่อง (Fault Tree Analysis)

งานวิจัยนี้ จะทำการคัดเลือกปัจจัยที่จะนำไปพิจารณาวิเคราะห์ และศึกษาต่อ โดยใช้การวิเคราะห์แขนงความบกพร่อง (Fault Tree Analysis: FTA) ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นถึงปัจจัยต่างๆ ที่น่าจะเป็นไปได้ที่จะมีผลเกี่ยวข้องกับตัวแปรตอบสนอง ดังแสดงในภาพที่ 4.4 และสามารถแสดงได้ในอีกรูปแบบหนึ่งคือแผนผังต้นไม้ (Tree Diagram) ในการพิจารณาถึงสาเหตุที่เป็นไปได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.3



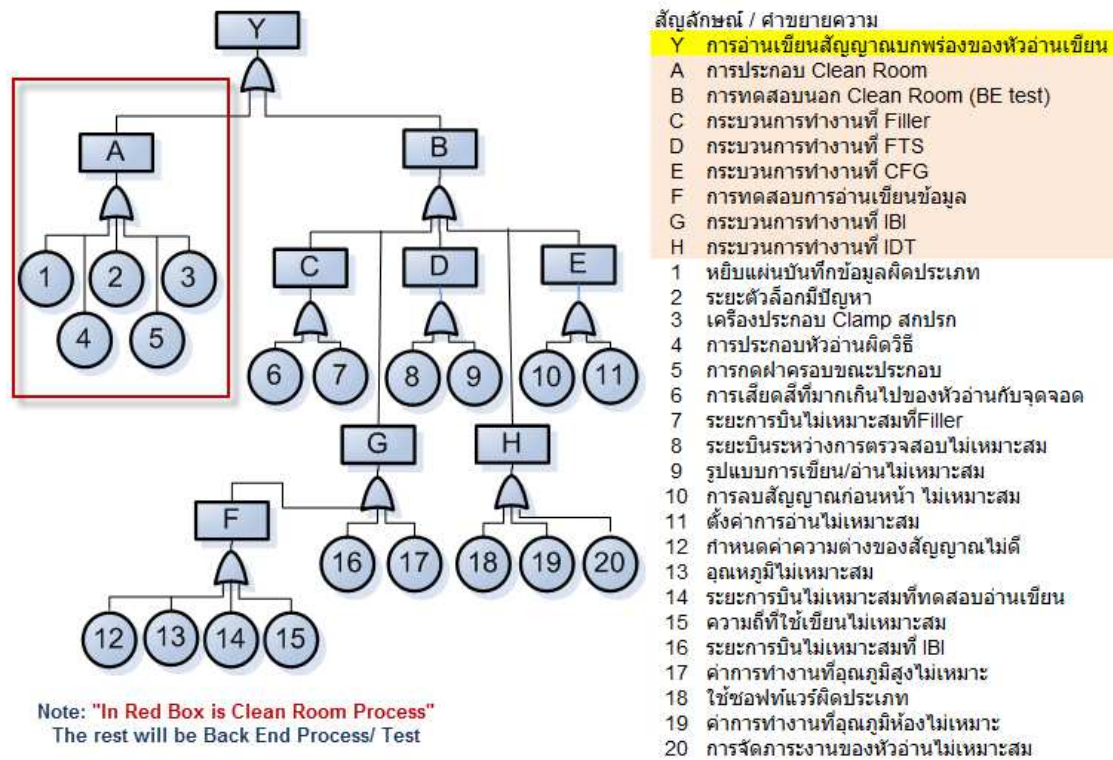
ภาพที่ 4.3 แผนผังต้นไม้ (Tree Diagram)

แผนภูมิต้นไม้ (Tree Diagram)
ของส่วน Back End test



ภาพที่ 4.3 แผนผังต้นไม้มัน (Tree Diagram) (ต่อ)

ภาพด้านล่างเป็นรายละเอียดของปัจจัยและกระบวนการที่เกี่ยวข้อง สำหรับใช้ในการวิเคราะห์แขนงความบกพร่อง (Fault Tree Analysis: FTA)



ภาพที่ 4.4 การวิเคราะห์แขนงความบกพร่อง (Fault Tree Analysis)

ในส่วนวิเคราะห์แขนงความบกพร่องตามภาพที่ 4.4 สามารถจำแนกปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการอ่าน/เขียนสัญญาณบกพร่องของหัวอ่าน/เขียน ตามลักษณะการผลิตเป็น 2 ปัจจัยใหญ่ๆ คือ

- ปัจจัย A) การจับชิ้นงาน การพลิก การวางหรือการขนถ่ายชิ้นงานที่ไม่เหมาะสม (Improper Handling) ซึ่งเกิดขึ้นได้ตั้งแต่กระบวนการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ที่อยู่ในห้องควบคุมความสะอาด อาทิเช่น การใช้แผ่นเก็บข้อมูลผิดประเภท การประกอบหัวอ่านที่ผิดวิธี เป็นต้น
- ปัจจัย B) สภาพการปรับตั้งซอฟต์แวร์ที่ไม่เหมาะสม (Improper Setting Condition) เกิดกับกระบวนการที่มีการตั้งค่าสภาพการทำงาน สภาพการทดสอบ และรูปแบบการทดสอบ ของเครื่องมือ เครื่องจักร หรือแม้แต่ภายในตัวฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเอง ซึ่งพบว่ามี 5 กระบวนการที่เกี่ยวข้อง คือ กระบวนการเขียนสัญญาณ Servo (Filler) การกำหนดและทดสอบค่าเริ่มต้นการทำงาน (IDT) กระบวนการ

จัดการกับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล (IBI) กระบวนการตรวจสอบการอ่าน/เขียน ที่อุณหภูมิปกติ (FTS) และกระบวนการกำหนดค่าการใช้งานของลูกค้า (CFG)

ความไม่เหมาะสมที่เกิดจากปัจจัย A มาจากส่วนขั้นตอนการออกแบบเครื่องมือและเครื่องจักรที่ทำหน้าที่หยิบจับชิ้นงาน รวมถึงการใช้แรงงานคนในการประกอบ ซึ่งขั้นตอนในการออกแบบนี้อยู่นอกขอบเขตการศึกษาของงานวิจัยนี้ เนื่องด้วยปัจจุบันปัจจัยเหล่านี้มีการควบคุม และสามารถป้องกันความผิดพลาดซึ่งอาจเกิดจากตัวผู้ปฏิบัติงาน ด้วยการฝึกอบรม โดยเน้นให้มีการดำเนินการตามเอกสารประกอบการดำเนินการที่ถูกต้อง และเพิ่มการตรวจประเมิน

สำหรับปัจจัย B ซึ่งเกิดจากสถานะการดำเนินการที่ไม่เหมาะสม เป็นปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาเพื่อหาสถานะการทำงานที่เหมาะสมของการผลิต โดยจะถูกนำไปวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้าหลักที่มีผล (Key Input Variable: KPIV) ด้วยการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis: FMEA) ต่อไป

4.4 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis)

ภายหลังการคัดเลือกปัจจัยโดยใช้การวิเคราะห์แขนงความบกพร่อง (FTA) ทำให้ได้ปัจจัยนำเข้า (KPIV) ทั้งหมด 15 ปัจจัย ซึ่งเกี่ยวข้องกับสถานะการการผลิต/ทดสอบนอกห้องควบคุมความสะอาดที่ไม่เหมาะสม (Improper Setting Condition) ของ 5 กระบวนการ คือ กระบวนการเขียนสัญญาณ Servo (Filler) กระบวนการกำหนดและทดสอบค่าเริ่มต้นการทำงาน (IDT) กระบวนการจัดการกับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล (IBI) กระบวนการตรวจสอบการอ่าน/เขียน ที่อุณหภูมิปกติ (FTS) และกระบวนการกำหนดค่าการใช้งานของลูกค้า (CFG) ที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์ต่อตัวแปรตอบสนอง (Response) จึงต้องนำทั้ง 5 กระบวนการไปวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis: FMEA) เพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่สำคัญซึ่งมีโอกาสเกิดขึ้นสูง ส่งผลกระทบรุนแรง และสามารถดักจับได้น้อยเท่านั้นที่จะนำไปทำการทดลองในขั้นตอนถัดไป โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ ดังต่อไปนี้

1. ระบุปัจจัยนำเข้า (Key Process Input) ของกระบวนการ ที่ได้จากการวิเคราะห์แขนงความบกพร่อง (FTA)
2. กำหนดลักษณะของข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มว่าจะเกิด (Potential Failure Mode)
3. กำหนดผลกระทบของข้อบกพร่องที่จะเกิด (Potential Failure Effect) โดยระบุว่าจะส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์อย่างไร

4. ให้คะแนนความรุนแรง (Severity Score: S) ของผลกระทบที่มีผลของแต่ละข้อบกพร่องตามเกณฑ์ในตารางที่ 4.4 โดยคะแนนที่ให้อยู่ในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 10
5. ระบุสาเหตุที่มีแนวโน้มในการเกิดข้อบกพร่อง (Potential Causes)
6. ให้คะแนนโอกาสในการเกิดของสาเหตุข้อบกพร่อง (Occurrence Score: C) ซึ่งเป็นการคาดคะเนความน่าจะเป็นที่สาเหตุของข้อบกพร่องที่ระบุจะเกิดขึ้น คะแนนอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 10 และอ้างอิงตามเกณฑ์ในตารางที่ 4.5
7. ระบุวิธีการควบคุมกระบวนการที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน (Current Process Control) ที่ใช้ป้องกันลักษณะข้อบกพร่องที่มีความเป็นไปได้ว่าจะเกิดขึ้น
8. ให้คะแนนความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่อง (Detection Score: D) หรือการประเมินถึงโอกาสที่จะตรวจพบข้อบกพร่อง ให้คะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 10 ตามเกณฑ์ในตารางที่ 4.6
9. คำนวณค่าความสำคัญของความเสี่ยง (RPN) โดยค่านี้ได้มาจากผลคูณของค่าพารามิเตอร์ ทั้ง 3 ตัวคือ $S \times O \times D$

ทั้งนี้ในการประเมินให้คะแนน ค่า S, O และ D ของการวิเคราะห์ FMEA สำหรับกระบวนการ งานวิจัยนี้ได้อ้างอิงเกณฑ์การประเมินคะแนนของกลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์ (FMEA Manual: Chrysler, Ford General Motors Supplier Quality Requirements Task Force) (AIAG, 2001) และถูกนำไปอ้างอิงในงานวิจัย การลดปริมาณอนุภาคเป็อร์โซอิลเล็กทรืคทรานส์คิเวเซอร์ที่หลุดออกมาจากแขนจับหัวอ่าน/เขียนในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา (นันทชฌญาน์จาริตน์, 2553) ซึ่งเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมประเภทเดียวกันกับงานวิจัยที่ผู้ดำเนินการวิจัยปฏิบัติงานอยู่ ดังแสดงในตารางที่ 4.4, 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.4 เกณฑ์ในการประเมินความรุนแรง (Severity: S)

ผลกระทบ	เกณฑ์ : ความร้ายแรงของผลกระทบ	จัดอยู่ในชั้น
เต็มไปด้วยอันตรายโดยปราศจากการแจ้งเตือน	อาจมีส่วนทำให้เกิดอันตรายต่อเครื่องจักรหรือผู้ปฏิบัติงาน มีระดับความร้ายแรงของปัญหาสูง เมื่อความเป็นไปได้ของความผิดพลาดนั้นมีผลกระทบกับความปลอดภัยของการดำเนินการ และ / หรือไม่ปฏิบัติตามข้อบังคับทางราชการ ความผิดพลาดจะเกิดขึ้น โดยไม่มีการแจ้งเตือน	10

ตารางที่ 4.4 เกณฑ์ในการประเมินความรุนแรง (Severity: S) (ต่อ)

ผลกระทบ	เกณฑ์ : ความร้ายแรงของผลกระทบ	จัดอยู่ในชั้น
เต็มไปด้วยอันตรายโดยมีการแจ้งเตือนไว้แล้ว	อาจมีส่วนทำให้เกิดอันตรายต่อเครื่องจักรหรือผู้ปฏิบัติงาน มีระดับความร้ายแรงของปัญหาสูง เมื่อความเป็นไปได้ของความผิดพลาดนั้นมีผลกระทบกับความปลอดภัยของการดำเนินการ และ / หรือไม่เป็นไปตามข้อบังคับทางราชการ ความผิดพลาดจะเกิดขึ้น โดยมีการแจ้งเตือนไว้แล้ว	9
สูงมาก	ความยุ่งยากส่วนใหญ่ ที่เกิดขึ้นในสายการผลิต โดย 100 % ของผลิตภัณฑ์ที่ต้องคัดแยกออก เครื่องจักรไม่อาจทำงานต่อได้ เนื่องจากความสามารถด้านการใช้งานเบื้องต้นเสียหายไป ลูกค้ายังไม่พอใจมาก	8
สูง	ความยุ่งยากส่วนน้อย ที่เกิดขึ้นในสายการผลิต โดยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมีการคัดแยกและทิ้ง (ต่ำกว่า 100%) เครื่องจักรทำงานได้ แต่ความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรนั้นมีระดับลดลง ลูกค้ายังไม่พอใจ	7
พอสมควร	ความยุ่งยากส่วนน้อย ที่เกิดขึ้นในสายการผลิต โดยบางส่วน(ต่ำกว่า 50%) ของผลิตภัณฑ์อาจถูกทิ้ง (ไม่มีการคัดแยก) เครื่องจักรมีการทำงานแต่บางครั้งไม่สามารถทำงานได้สะดวก เกิดการติดขัด ลูกค้ายังได้รับความไม่สะดวก	6
ต่ำ	ความยุ่งยากส่วนน้อย ที่เกิดขึ้นในสายการผลิต โดย 20% ของผลิตภัณฑ์อาจต้องถูกทำใหม่ เครื่องจักรมีการทำงานแต่บางครั้งความสะดวกในการทำงาน มีระดับลดลง ลูกค้ายังได้รับความไม่สะดวกในบางครั้ง	5
ต่ำมาก	ความยุ่งยากส่วนน้อย ที่เกิดขึ้นในสายการผลิต โดยผลิตภัณฑ์ อาจจะต้องถูกคัดแยกและบางส่วน (น้อยกว่า 20%) ต้องมีการทำใหม่ ชิ้นส่วนที่ผลิตออกมาไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการ มีการร้องเรียนจากลูกค้าส่วนใหญ่	4
น้อย	ความยุ่งยากส่วนน้อย ที่เกิดขึ้นในสายการผลิต โดยผลิตภัณฑ์ (น้อยกว่า 10%) อาจจะต้องมีการทำใหม่ในสายงาน แต่ไม่สามารถควบคุมคุณภาพได้ ชิ้นงานที่ผลิตออกมาไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการ มีการร้องเรียนจากลูกค้าบ้าง	3
น้อยมาก	ความยุ่งยากส่วนน้อย ที่เกิดขึ้นในสายการผลิต โดยส่วน (น้อยกว่า 5%) ของผลิตภัณฑ์อาจจะต้องมีการทำงานใหม่ในสายการผลิต แต่สามารถควบคุมคุณภาพ ชิ้นงานที่ผลิตออกมาไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการ มีการร้องเรียนจากลูกค้าที่ช่างสังเกต	2
ไม่มี	ไม่มีผลกระทบ	1

อ้างอิงจาก FMEA Manual (Chrysler, Ford General Motors Supplier Quality Requirements Task Force)

ตารางที่ 4.5 เกณฑ์ในการประเมินโอกาสการเกิดของสาเหตุข้อบกพร่อง (Occurrence: O)

ความน่าจะเป็นของความผิดพลาด	ระดับความเป็นไปได้ของความผิดพลาด	จัดอยู่ในชั้น
สูงมาก: ความผิดพลาดนี้ ส่วนใหญ่ไม่สามารถจะหลีกเลี่ยงไปได้	1 ใน 2 (มากกว่า 50 %)	10
	1 ใน 3 (33.33 %)	9
สูง: โดยทั่วไปมีส่วนเกี่ยวข้องกับการผลิตที่คล้ายคลึงกันจนถึงกระบวนการก่อนหน้านี้ ซึ่งเกิดขึ้นบ่อย	1 ใน 8 (12.5 %)	8
	1 ใน 20 (5 %)	7
พอสมควร: โดยทั่วไปมีส่วนเกี่ยวข้องเนื่องกับการผลิตที่คล้ายคลึงกันจนถึงกระบวนการก่อนหน้านี้ซึ่งมีการเกิดขึ้นของความผิดพลาด แต่ไม่ใช่สัดส่วนที่มาก	1 ใน 80 (1.5 %)	6
	1 ใน 400 (0.25 %)	5
	1 ใน 2000 (0.05 %)	4
ต่ำ: ความผิดพลาดอย่างเดียวที่มีความเกี่ยวเนื่องกับการผลิตและทดสอบที่คล้ายคลึงกัน	1 ใน 15,000 (0.0067 %)	3
ต่ำมาก: ความผิดพลาดเพียงหนึ่งเดียว ที่มีความเกี่ยวข้องกันกับกระบวนการผลิตที่เหมือนกัน	1 ใน 150,000 (0.00067 %)	2
น้อยนิด: ความผิดพลาดที่ไม่น่าเป็นไปได้	1 ใน 1,500,000 (0.000067 %)	1

อ้างอิงจาก FMEA Manual (Chrysler, Ford General Motors Supplier Quality Requirements Task Force)

ตารางที่ 4.6 เกณฑ์ในการประเมินความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่อง (Detection: D)

การตรวจสอบ	เกณฑ์ : ข้อบกพร่องที่มีอยู่ในตอนนี้จะถูกตรวจสอบโดยกระบวนการควบคุมก่อนจะไปกระบวนการถัดไปหรือก่อนขึ้นงานหรือส่วนประกอบออกจากสถานที่ทำการผลิต หรือประกอบ	จัดอยู่ในชั้น
เกือบจะเป็นไปไม่ได้	ไม่ทราบว่าจะหาการควบคุมใดมาป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้น	10
ไกลมาก	การควบคุมที่ใช้ในเวลานี้ยังอีกไกลมาก ที่จะป้องกันความผิดพลาดที่เกิดขึ้น	9
ไกล	การควบคุมที่ใช้ในเวลานี้ยังอีกไกล ที่จะป้องกันความผิดพลาดที่เกิดขึ้น	8
ต่ำมาก	การควบคุมที่ใช้ในเวลานี้ยังอีกต่ำมาก ที่จะป้องกันความผิดพลาดที่เกิดขึ้น	7
ต่ำ	การควบคุมที่ใช้ในเวลานี้ยังอีกต่ำ ที่จะป้องกันความผิดพลาดที่เกิดขึ้น	6
พอสมควร	การควบคุมในตอนนี้มีพอสมควร ที่จะป้องกันความผิดพลาดที่เกิดขึ้น	5
สูงพอสมควร	การควบคุมในตอนนี้มีสูงพอสมควร ที่จะป้องกันความผิดพลาดที่เกิดขึ้น	4
สูง	การควบคุมในตอนนี้มีสูง ที่จะป้องกันความผิดพลาดที่เกิดขึ้น	3
สูงมาก	การควบคุมในตอนนี้มีสูงมาก ที่จะป้องกันความผิดพลาดที่เกิดขึ้น	2

ตารางที่ 4.6 เกณฑ์ในการประเมินความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่อง (Detection: D) (ต่อ)

การตรวจสอบ	เกณฑ์ : ข้อบกพร่องที่มีอยู่ในตอนนี้จะถูกตรวจสอบโดยกระบวนการควบคุมก่อนจะไปกระบวนการถัดไปหรือก่อนขึ้นงานหรือส่วนประกอบออกจากสถานที่ทำการผลิต หรือประกอบ	จัดอยู่ในชั้น
เกือบแน่นอน	การควบคุมตอนนี้ค่อนข้างแน่นอน ที่ป้องกันความผิดพลาด และความน่าเชื่อถือของการควบคุมและป้องกันเป็นที่รู้จักในกระบวนการที่คล้ายคลึงกัน	1

อ้างอิงจาก FMEA Manual (Chrysler, Ford General Motors Supplier Quality Requirements Task Force)

ผลการวิเคราะห์ FMEA ของกระบวนการเขียนสัญญาณ Servo (Filler) กระบวนการกำหนดและทดสอบค่าเริ่มต้นการทำงาน (IDT) กระบวนการจัดการกับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล (IBI) กระบวนการตรวจสอบการอ่าน/เขียน ที่อุณหภูมิปกติ (FTS) และกระบวนการกำหนดค่าการใช้งานของลูกค้า (CFG) แสดงรายละเอียดไว้ในตารางการวิเคราะห์ FMEA ตารางที่ 4.7 และค่าคะแนน RPN ที่ได้จากการวิเคราะห์ รวมทั้งเปอร์เซ็นต์ของคะแนนสะสมรวม แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 รายละเอียดการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis)

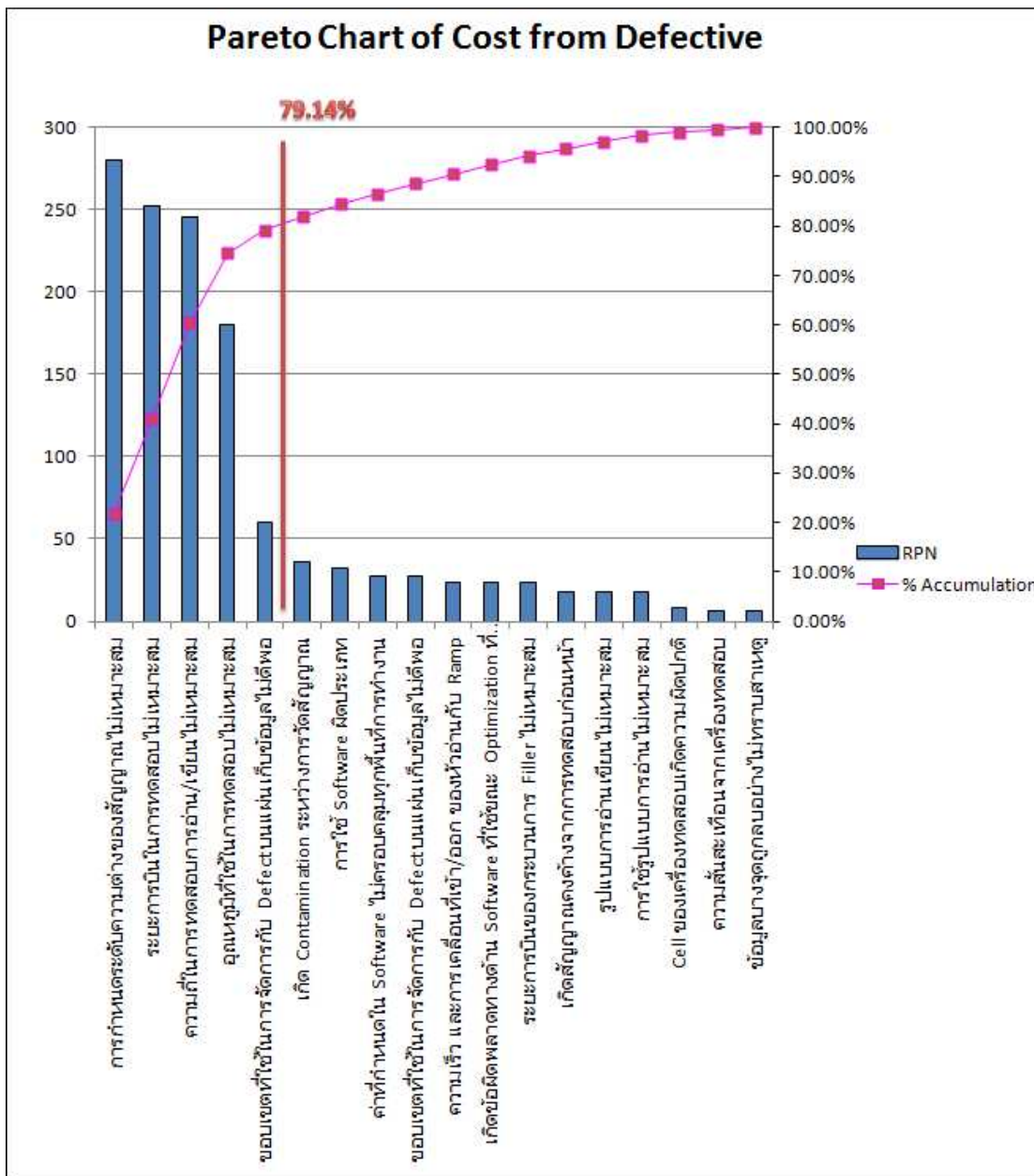
Process No.	Process Function	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	S	Potential Cause of Failure	O	Current Control	D	RPN
1	กระบวนการเขียนสัญญาณ Servo (Filler)	การแล่น/จอดขณะเขียนสัญญาณ SERVO (Filler) เกิดความผิดพลาด	เกิด Contamination และกระทบกับหัวอ่าน/เขียน	4	ความเร็ว และการเคลื่อนที่เข้า/ออกของหัวอ่านกับ Ramp ไม่เหมาะสม	3	มีการตรวจสอบและวิเคราะห์ค่าความเร็วและการเคลื่อนที่ทุกสัปดาห์	2	24
			เกิดกระทบกระแทกกันระหว่างหัวอ่าน/เขียน กับแผ่นเก็บข้อมูล	4	ระยะการบินของกระบวนการ Filler ไม่เหมาะสม	3	กำหนดช่วงการบินให้มีความแตกต่างในแต่ละรุ่นผลิตภัณฑ์	2	24
			เกิดกระทบกระแทกกันระหว่างหัวอ่าน/เขียน กับแผ่นเก็บข้อมูล	3	ความสั่นสะเทือนจากเครื่องทดสอบ ทำให้การขึ้น/ลงของหัวอ่านไม่เหมาะสม	2	มีการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือนและควบคุมทุกสัปดาห์	1	6
2	การกำหนดและทดสอบค่าเริ่มต้นการทำงาน (IDT)	การ Sync-up ระหว่างหัวอ่าน/เขียน กับสัญญาณ Servo เกิดปัญหา	HDD หยุดทำงานทันที	8	การใช้ Software ผิดประเภท	2	จัดให้มีฝ่ายตรวจสอบการใช้ Software ในแต่ละผลิตภัณฑ์	2	32
		พลังงานที่ใช้ในการวัดระยะห่างผิดพลาด	เกิดกระทบกระแทกกันระหว่างหัวอ่าน/เขียน กับแผ่นเก็บข้อมูล	4	เกิด Contamination ระหว่างการวัดสัญญาณ ทำให้การอ่าน/เขียนไม่เหมาะสม	3	ควบคุมความสะอาดในการประกอบ Clean Room	3	36
		ไม่ได้ความจุของ HDD ที่ต้องการ	หัวอ่าน/เขียน บางตัวที่อยู่ใน HDD ทำงานหนักเกินไปจนเกิดความเสียหาย	3	ค่าที่กำหนดใน Software ไม่ครอบคลุมทุกพื้นที่การทำงาน	3	มีการตรวจสอบผลการใช้ Software ทุกสัปดาห์	3	27
3	การจัดการกับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล (IBI)	การทำงานที่อุณหภูมิสูงเกิดข้อผิดพลาด	การอ่าน/เขียนที่อุณหภูมิสูงทำได้ไม่ดี ข้อมูลเสียหาย	3	เกิดข้อผิดพลาดทางด้าน Software ที่ใช้ขณะ Optimization ที่อุณหภูมิสูง	4	มีการวิเคราะห์การทำงานของ HDD ที่อุณหภูมิสูงทุกสัปดาห์	2	24
		การอ่าน/เขียนสัญญาณเกิดข้อผิดพลาด	อ่าน/เขียน สัญญาณไม่ได้ บางตำแหน่งบนแผ่นเก็บข้อมูล	5	ขอบเขตที่ใช้ในการจัดการกับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูลไม่เหมาะสม	4	มีการตรวจสอบ Software ใหม่ ที่ใช้ในการจัดการกับ Defect ใหม่ทุกครั้งก่อนที่จะมีการใช้กับผลิตภัณฑ์นั้นๆ	3	60
		สัญญาณที่ได้รับจากหัวอ่าน/เขียน เกิดข้อผิดพลาด	สัญญาณข้อมูลเกิดความผิดพลาด ข้อมูลผิดเพี้ยน	5	ความถี่ในการทดสอบการอ่าน/เขียน ไม่เหมาะสม	7	ใช้ความถี่คงที่ในการตรวจสอบทุกครั้งบน Software ใหม่	7	245

ตารางที่ 4.7 รายละเอียดการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) (ต่อ)

Process No.	Process Function	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	S	Potential Cause of Failure	O	Current Control	D	RPN
3 (ต่อ)	การจัดการกับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล (IBI)	สัญญาณที่ได้รับจากหัวอ่าน/เขียน เกิดข้อผิดพลาด	ความแรงของสัญญาณ ข้อมูลผิดปกติ ข้อมูลผิดเพี้ยน	6	ระยะการบินในการทดสอบไม่เหมาะสม	7	จัดให้มีการตรวจสอบการใช้ Software ใหม่ทุกครั้งที่ใช้เริ่มใช้งาน	6	252
			สัญญาณข้อมูลเกิดความผิดปกติ ข้อมูลผิดเพี้ยน	5	อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบไม่เหมาะสม	6	มีการตรวจสอบอุณหภูมิทุกครั้งที่มีการใช้ Software ใหม่	6	180
			สัญญาณข้อมูลเกิดความผิดปกติ ข้อมูลผิดเพี้ยน	5	การกำหนดระดับความต่างของสัญญาณไม่เหมาะสม	7	มีการตรวจสอบทุกครั้งที่มีการใช้ Software ใหม่	8	280
4	การตรวจสอบการอ่าน/เขียน ที่อุณหภูมิปกติ (FTS)	ไม่ได้ความจุของ HDD ที่ต้องการ	อ่าน/เขียน สัญญาณไม่ได้ บางตำแหน่งบนแผ่นเก็บข้อมูล	3	ขอบเขตที่ใช้ในการจัดการกับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูลไม่เหมาะสม	3	มีการตรวจสอบ Software ใหม่ ที่ใช้ในการจัดการกับ Defect ใหม่ทุกครั้งก่อนที่จะมีการใช้กับผลิตภัณฑ์นั้นๆ	3	27
		การอ่าน/เขียนสัญญาณเกิดข้อผิดพลาด	สัญญาณข้อมูลเกิดความผิดปกติ ข้อมูลผิดเพี้ยน	3	รูปแบบการอ่านเขียนไม่เหมาะสม	3	มีการตรวจสอบทุกครั้งที่มีการใช้ Software ใหม่	2	18
			การเชื่อมต่อล้มเหลว ระหว่างการทดสอบ	2	Cell ของเครื่องทดสอบเกิดความผิดปกติ	2	มีการตรวจสอบ Cell ของเครื่องทดสอบทุกสัปดาห์	2	8
5	การกำหนดค่าการใช้งานของลูกค้า (CFG)	การเขียนสัญญาณเกิดข้อผิดพลาด	สัญญาณที่เขียนลงแผ่นเก็บข้อมูลไม่ดีเพียงพอ	3	เกิดสัญญาณเคงค้างจากการทดสอบก่อนหน้า	3	จัดให้มีการตรวจสอบทุกครั้งใน Software ที่มีการเขียนสัญญาณความถี่ที่	2	18
		การอ่านสัญญาณผิดพลาด	ข้อมูลไม่สามารถอ่านกลับได้อย่างถูกต้อง	3	การใช้รูปแบบการอ่านไม่เหมาะสม	3	มีการตรวจสอบรูปแบบการอ่านทุกครั้งที่มีการใช้ Software ใหม่บนผลิตภัณฑ์	2	18
			ข้อมูลไม่สามารถอ่านกลับได้อย่างถูกต้อง	3	ข้อมูลบางจุดถูกลบอย่างไม่ทราบสาเหตุ	2	จัดให้มีการทดสอบใหม่อีกครั้งบนผลิตภัณฑ์นั้น	1	6

ตารางที่ 4.8 สาเหตุของปัญหา และค่า RPN ที่ได้รับการวิเคราะห์จาก FMEA

No.	Ranking	RPN	% Accumulation
1	การกำหนดระดับความต่างของสัญญาณไม่เหมาะสม	280	21.79%
2	ระยะการบินในการทดสอบไม่เหมาะสมระหว่างทดสอบอ่าน/เขียนสัญญาณ	252	40.86%
3	ความถี่ในการทดสอบการอ่าน/เขียนไม่เหมาะสม	245	60.47%
4	อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบไม่เหมาะสม	180	74.47%
5	ขอบเขตที่ใช้ในการจัดการกับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูลไม่ดีพอ	60	79.14%
6	เกิด Contamination ระหว่างการวัดสัญญาณ	36	81.95%
7	การใช้ Software ผิดประเภท	32	84.44%
8	ค่าที่กำหนดใน Software ไม่ครอบคลุมทุกพื้นที่การทำงาน	27	86.54%
9	ขอบเขตที่ใช้ในการจัดการกับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูลไม่ดีพอ	27	88.64%
10	ความเร็ว และการเคลื่อนที่เข้า/ออก ของหัวอ่านกับ Ramp	24	90.51%
11	เกิดข้อผิดพลาดทางด้าน Software ที่ใช้ขณะ Optimization ที่อุณหภูมิสูง	24	92.37%
12	ระยะการบินของกระบวนการ Filler ไม่เหมาะสม	24	94.24%
13	เกิดสัญญาณค้างจากการทดสอบก่อนหน้า	18	95.64%
14	รูปแบบการอ่านเขียนไม่เหมาะสม	18	97.04%
15	การใช้รูปแบบการอ่านไม่เหมาะสม	18	98.44%
16	Cell ของเครื่องทดสอบเกิดความผิดปกติ	8	99.07%
17	ความชื้นสะท้อนจากเครื่องทดสอบ	6	99.53%
18	ข้อมูลบางจุดถูกลบอย่างไม่ทราบสาเหตุ	6	100.00%



ภาพที่ 4.5 แผนภูมิพารेटอของกระบวนการวิเคราะห์ FMEA

จากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบร่วมกับแผนภูมิพารेटอในภาพที่ 4.5 (FMEA Pareto Chart) พบ 5 สาเหตุที่เป็นไปได้ที่ส่งผลกระทบ และมีคะแนนรวมเท่ากับ 1,182 คะแนน จากทั้งหมด 1,486 คะแนน ซึ่งคิดเป็น 79.54 เปอร์เซ็นต์ของคะแนนทั้งหมด ดังนั้นตามหลักการ 80:20 ของพารेटอ จึงได้เลือกเป็นปัจจัยนำเข้าที่มีผล (KPIV) เพื่อจะนำไปวิเคราะห์ ในขั้นตอนถัดไป ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ปัจจัยนำเข้าที่มีผล (KPIV) ที่คิดเป็น 79.54% จากการวิเคราะห์ FMEA

ลำดับที่	ปัจจัยนำเข้าที่มีผล (Key Process Input)	RPN
1	การกำหนดระดับความต่างของสัญญาณไม่เหมาะสม	280
2	ความถี่ในการทดสอบการอ่าน/เขียนไม่เหมาะสม	252
3	ระยะเวลาบินในการทดสอบไม่เหมาะสม	245
4	อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบไม่เหมาะสม	180
5	ขอบเขตการจัดการกับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล	60

จากตารางที่ 4.9 เมื่อพิจารณาสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้ง 5 สาเหตุ ที่เกี่ยวเนื่องกับการอ่าน/เขียนสัญญาณบกพร่องของหัวอ่าน/เขียน เพื่อนำไปทดสอบความมีนัยสำคัญในการแก้ไขปัญหาต่อในระยะเวลาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา ปัจจัยดังกล่าว คือ

การกำหนดระดับความต่างของสัญญาณไม่เหมาะสม (Threshold)

ความถี่ในการทดสอบการอ่าน/เขียนไม่เหมาะสม (Frequency)

ระยะเวลาบินในการทดสอบไม่เหมาะสม (Dynamic Fly Hight)

อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบไม่เหมาะสม (Temperature)

ขอบเขตการจัดการกับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล

4.5 สรุประยะเวลาวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

ระยะเวลาวัดและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัญหา เริ่มด้วยการวิเคราะห์ความเที่ยงของระบบการวัดในการตรวจวิเคราะห์สัญญาณทางไฟฟ้า (แรงดันไฟฟ้า) ของหัวอ่าน/เขียน ผ่านการเชื่อมต่อทางเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่เรียกว่า Neptune พบว่า ระบบเครื่องจักรสำหรับการผลิตนี้ มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ คือมีค่า % Study Var (P/TV) & % Tolerance (P/T) of Total Gage R&R อยู่ในช่วงที่ 10% ถึง 30% โดย % Study Var (P/TV) มีค่า 22.56% และ % Tolerance มีค่า 13.56% โดยมีค่า NDC = 6 ซึ่งสามารถใช้ข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดนี้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่ทำการศึกษาต่อไปได้

การระดมความคิดเพื่อระบุปัจจัยที่เป็นไปได้ที่อาจมีผลกระทบต่อการอ่าน/เขียนสัญญาณบกพร่องของหัวอ่าน/เขียน ณ จุดตรวจสอบคุณภาพก่อนส่งให้ลูกค้าบนผลิตภัณฑ์ Firebird เริ่มต้นการคัดเลือกปัจจัยโดยใช้การวิเคราะห์แขนงความบกพร่อง (FTA) ซึ่งพบว่า มีปัจจัยนำเข้า ที่อยู่ในขอบเขตและเหมาะสมกับการทำวิจัย มีทั้งหมด 15 ปัจจัย ที่เกี่ยวข้องกับสถานะการผลิตและทดสอบ

ที่อยู่นอกห้องควบคุมความสะอาด (BE test) จากนั้นจึงนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องของกระบวนการดังกล่าวมาวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ต่อ หลังการให้คะแนน RPN ตามเกณฑ์ที่กำหนดแล้ว พบว่ามี 5 สาเหตุที่เป็นไปได้ที่ทำให้เกิดความล้มเหลวที่มีคะแนนสูงรวมกันคิดเป็น 79.14% ของคะแนน RPN ทั้งหมด ตามหลักการ 80:20 จากแผนภูมิพาเรโตของการวิเคราะห์ FMEA คือ การกำหนดระดับความต่างของสัญญาณไม่เหมาะสม (Threshold) ความถี่ในการทดสอบ การอ่าน/เขียนไม่เหมาะสม (Frequency) ระยะการบินในการทดสอบไม่เหมาะสม (Dynamic Fly Height) อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบไม่เหมาะสม (Temperature) และขอบเขตการจัดการ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล (Defect Management) โดยปัจจัยทั้งหมดที่กล่าวนี้ จะถูกนำไปวิเคราะห์ในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเพื่อหาความมีนัยสำคัญของแต่ละปัจจัยต่อไป

บทที่ 5

ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

5.1 บทนำ

สำหรับขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา จะดำเนินการทำการทดลองต่างๆ เพื่อศึกษาทำความเข้าใจ วิเคราะห์และทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้า และตัวแปรตอบสนองที่เราสนใจ โดยใช้ตัวแปรที่ผ่านการวิเคราะห์ในกระบวนการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหาในบทที่ผ่านมา ซึ่งได้ 5 ปัจจัยที่อาจจะส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองคือสภาวะกระตุกของสัญญาณภายหลังการอ่านสัญญาณกลับ โดยขั้นตอนนี้จะทำการวิเคราะห์ปัจจัยทั้ง 5 นี้เพื่อกำหนดหาแนวทางในการปรับปรุงต่อไป

หลังจากการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) ของขั้นตอนที่ผ่านมา ทำให้ทราบปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะนำไปสู่กระบวนการทดสอบและวิเคราะห์เพื่อแก้ไขปัญหากับคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื่องจากภาวะกระตุกของสัญญาณภายหลังการอ่านสัญญาณกลับ ซึ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 5 ปัจจัยมีดังนี้

1. ค่าระดับความต่างของสัญญาณในระหว่างการทดสอบ
2. ระยะการบินของหัวอ่านเขียนในระหว่างการทดสอบ
3. ประเภทความถี่ของสัญญาณในการเขียนระหว่างการทดสอบ
4. อุณหภูมิระหว่างการทดสอบ
5. ขอบเขตการจัดการกับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล

5.2 รูปแบบในการทดลอง

ผู้วิจัยตัดสินใจทำการทดลองด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) เนื่องจากปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่ทำการศึกษามีทั้งตัวแปรที่เป็นลักษณะเชิงคุณภาพ (Attribute Characteristic) และตัวแปรที่เป็นลักษณะเชิงผันแปร หรือวัดค่าได้ (Variable Characteristic) โดยเลือกการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^{k-1} สำหรับ 5 ปัจจัย แบบไม่มีจุดศูนย์กลาง เนื่องจากการทดลองที่กรองเพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองเท่านั้น จึงไม่ทำการทดลองครบทุกระดับ ซึ่งจะเป็นการประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลอง ซึ่งเหมาะที่จะใช้ในโรงงานกรณีศึกษา โดยแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ทั้งข้อมูลเชิง

คุณภาพและข้อมูลแบบผันแปร ซึ่งการทดลองดังกล่าวข้างต้นสามารถสรุปข้อมูลได้ทั้งความมีนัยสำคัญของปัจจัย และอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยในการทดลอง

5.3 การกำหนดระดับปัจจัยนำเข้าสำหรับการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองนี้มีจำนวนปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งหมด 5 ปัจจัย คือ ค่าระดับความต่างของสัญญาณระหว่างการทดลอง ระยะการบินของหัวอ่านเขียน ประเภทความถี่ในการเขียน อุณหภูมิระหว่างการทดสอบ และขอบเขตการจัดการกับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล โดยปัจจัยดังกล่าวจะถูกนำมาศึกษาและวิเคราะห์ เพื่อหาผลกระทบต่อดัชนีตอบสนอง ซึ่งก็คือจำนวนกระดูกของสัญญาณระหว่างการอ่านสัญญาณกลับที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยการออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลสำหรับ 5 ปัจจัย แบบไม่มีจุดศูนย์กลาง และมีการกำหนดระดับการทดลองของปัจจัยนำเข้า 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) และระดับสูง (+1) ซึ่งระดับของแต่ละปัจจัย ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ปัจจัยและระดับปัจจัยในการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญ

สัญลักษณ์	ปัจจัยนำเข้า	ประเภทของปัจจัย	ระดับต่ำ(-1)	ระดับสูง(+1)
A	ค่าระดับความต่างของสัญญาณ	แปรผัน	35 DAC	45 DAC
B	ระยะการบินของหัวอ่านเขียน	คุณลักษณะ	0%	50%
C	ประเภทความถี่ในการเขียน	แปรผัน	2 T	4 T
D	อุณหภูมิระหว่างการทดสอบ	แปรผัน	22 °C	55 °C
E	ขอบเขตการจัดการกับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล	คุณลักษณะ	ไม่ระบุตำแหน่ง Defect ก่อนการทดสอบ	ระบุตำแหน่ง Defect ก่อนการทดสอบ

**DAC: คือหน่วยการวัดความต่างของระดับสัญญาณที่โรงงานกรณีศึกษาใช้ ซึ่งเป็นค่าที่แปลงจากสัญญาณที่อ่านได้จากแผ่นเก็บข้อมูล จากอนาล็อกเป็นดิจิทัล ซึ่งเป็นค่าที่แนะนำจากแผนกวิจัยและพัฒนาที่สหรัฐอเมริกาเนื่องจากหากกำหนดค่าต่ำเกินไป ค่าที่ได้รับจะมีผลมาจากกับสัญญาณรบกวน (Noise) ด้วย แต่หากค่าที่กำหนดสูงเกินไปก็จะไม่สามารถตรวจจับความผิดปกติของสัญญาณการอ่านได้

**T: ที่ปรากฏอยู่ ณ ประเภทความถี่ในการเขียนจะเป็นคาบเวลา (Time period) ที่ความถี่ 500 MHz (หรือ 2 nS) อ้างอิงจากจุดกึ่งกลางของแผ่นบันทึกข้อมูล โดยตำแหน่งของหัวอ่าน และหัว

เขียนอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันขณะเขียนดังแสดงในภาพที่ 5.1 และภาพที่ 5.2 (จะแสดงสัญญาณที่ความถี่ 2T และ 4T)

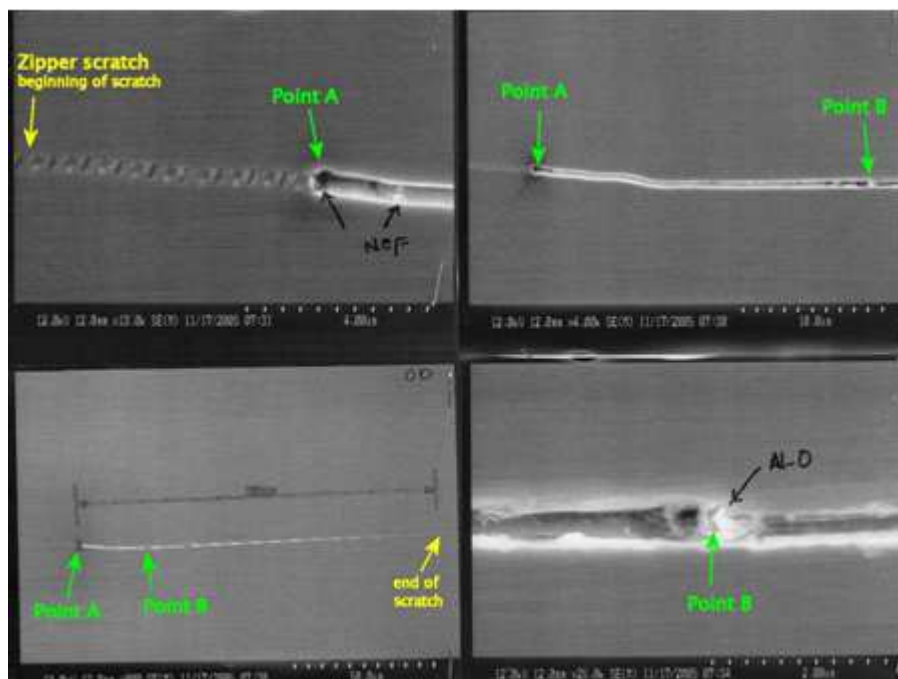


ภาพที่ 5.1 ตำแหน่งของหัวอ่าน/เขียนอยู่ที่กึ่งกลางแผ่นบันทึกข้อมูล



ภาพที่ 5.2 สัญญาณความถี่ที่เขียนลงบนแผ่นบันทึกข้อมูลวัดจาก Oscilloscope

****Defect:** เป็นรอยขีดข่วน หรือจุดบกพร่องต่างๆบนแผ่นเก็บข้อมูล การระบุตำแหน่งของ Defect จะช่วยให้หัวอ่านเขียนไม่เข้าไปดำเนินการใดๆ ในบริเวณดังกล่าว ซึ่งตัวอย่างรอยขีดข่วน (Defect) บนแผ่นบันทึกข้อมูลแสดงในภาพที่ 5.3



ภาพที่ 5.3 รอยขีดข่วน (Defect) บนแผ่นบันทึกข้อมูล

5.4 การออกแบบการทดลอง

ทางด้านกรออกแบบการทดลอง ผู้วิจัยตัดสินใจใช้การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล (Fractional Factorial Design) ซึ่งการออกแบบดังกล่าวนี้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการกรองเพื่อหาปัจจัยที่อาจมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง อีกทั้งยังให้ประสิทธิภาพมากกว่าการออกแบบทีละปัจจัย (One Factor at a Time) เนื่องจากใช้ขนาดตัวอย่างน้อยกว่า และส่งผลให้ใช้ระยะเวลาในการทดลองไม่มากในการศึกษาปัจจัยหลายๆปัจจัยในเวลาเดียวกัน ช่วยให้สามารถประมาณผลของปัจจัยหนึ่ง ที่ระดับต่างๆของปัจจัยอื่น และทราบถึงการมีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย ซึ่งทำให้สามารถหลีกเลี่ยงความผิดพลาดทางด้านข้อสรุปได้

งานวิจัยนี้ออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab เพื่อช่วยในการสร้างตารางการออกแบบ (Design Matrix) โดยกำหนดให้การทดลองเป็นไปแบบการสุ่ม (Randomization) เพื่อให้เกิดความเป็นอิสระต่อกัน (Independent) และกำจัดความผันแปรที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติออกไปจากการทดลอง ส่งผลต่อการวิเคราะห์ให้เกิดความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัจจัยจำนวน 5 ปัจจัยแบ่งเป็น ปัจจัยคุณลักษณะ 2 ปัจจัย และปัจจัยแบบแปรผัน 3 ปัจจัย จากการสร้างเมทริกซ์ของการทดลอง พบว่าทำการทดลอง 1 ครั้งจะได้ผลการทดลองทั้งสิ้น 16 การทดลองดังแสดงในตารางที่ 5.2 และ 5.3

ตารางที่ 5.2 รายละเอียดการออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม Minitab

Fractional Factorial Design				
Factors:	5	Base Design:	5, 16	Resolution: V
Runs:	16	Replicates:	1	Fraction: 1/2
Blocks:	1	Center pts (total):	0	
Design Generators: E = ABCD				
Alias Structure				
I + ABCDE				
A + BCDE				
B + ACDE				
C + ABDE				
D + ABCE				
E + ABCD				
AB + CDE				
AC + BDE				
AD + BCE				
AE + BCD				
BC + ADE				
BD + ACE				
BE + ACD				
CD + ABE				
CE + ABD				
DE + ABC				

ตารางที่ 5.3 การออกแบบ Design Matrix เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E
9	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1
16	2	1	1	1	1	1	1	1
13	3	1	1	-1	-1	1	1	1
5	4	1	1	-1	-1	1	-1	-1
2	5	1	1	1	-1	-1	-1	-1
12	6	1	1	1	1	-1	1	-1
7	7	1	1	-1	1	1	-1	1
15	8	1	1	-1	1	1	1	-1
3	9	1	1	-1	1	-1	-1	-1
6	10	1	1	1	-1	1	-1	1
14	11	1	1	1	-1	1	1	-1
4	12	1	1	1	1	-1	-1	1
8	13	1	1	1	1	1	-1	-1
11	14	1	1	-1	1	-1	1	1
10	15	1	1	1	-1	-1	1	1
1	16	1	1	-1	-1	-1	-1	1

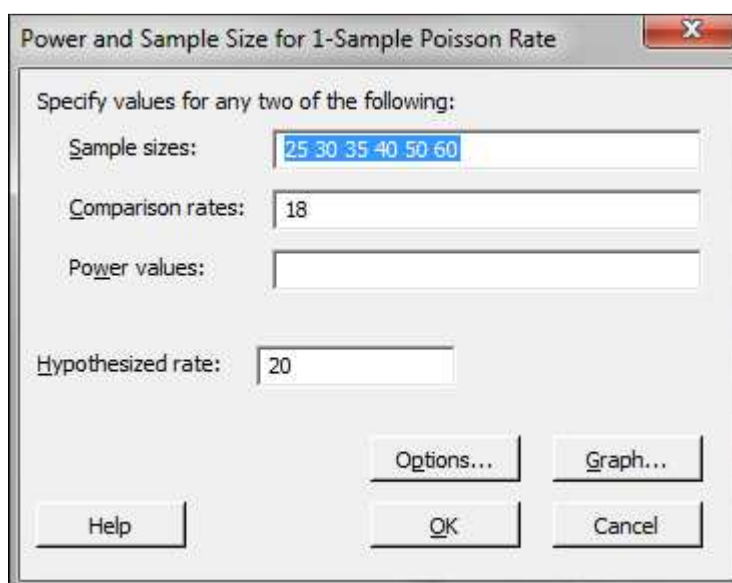
หมายเหตุ สัญลักษณ์ (-1) หมายถึงระดับต่ำของปัจจัย และสัญลักษณ์ (+1) หมายถึงระดับสูงของปัจจัย

5.5 ขนาดตัวอย่าง

ในงานวิจัยนี้ต้องการทำการทดลองเพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ตัวแปรตอบสนองซึ่งก็คือ ภาวะกระตุก หรือการกระตุกของสัญญาณภายหลังการอ่านสัญญาณกลับของหัวอ่านเขียนมีค่าต่ำสุด ฉะนั้นจึงให้ความสำคัญต่อจำนวนตัวอย่างในระหว่างการทดลอง ดังนั้นการกำหนดตัวอย่างเพื่อทำการทดลองแต่ละการทดลอง (Setting) สามารถคำนวณจากโปรแกรม Minitab ซึ่งเป็นลักษณะการคำนวณแบบปัวซอง (Poisson) โดยคณะผู้วิจัยตั้งเป้าหมายที่จะลดภาวะการกระตุกของสัญญาณภายหลังการอ่านกลับให้ใกล้เคียง 20 ครั้ง เนื่องจากปัจจุบันรูปแบบการถอดรหัสเพื่อแก้ไขข้อมูลผิดพลาด (Error Correction Code: ECC) มีความสามารถในการแก้ไขอยู่ที่ 20-25% ของการอ่านข้อมูลแต่ละครั้ง ทำให้การกำหนดค่าบนโปรแกรม Minitab เพื่อให้ได้กำลังของการทดสอบ (Power of Test) อย่างน้อย 0.95 ($\beta = 0.05$) มีการกำหนดดังนี้

1. ใส่ขนาดตัวอย่างการทดลอง 25, 30, 35, 40, 50 และ 60
2. Comparison rates ใส่ 18 เป็นสัดส่วนขั้นต่ำในการเปรียบเทียบ ซึ่งระบบสามารถตรวจจับได้
3. Hypothesized rate ใส่ 20 เป็นค่าเป้าหมาย

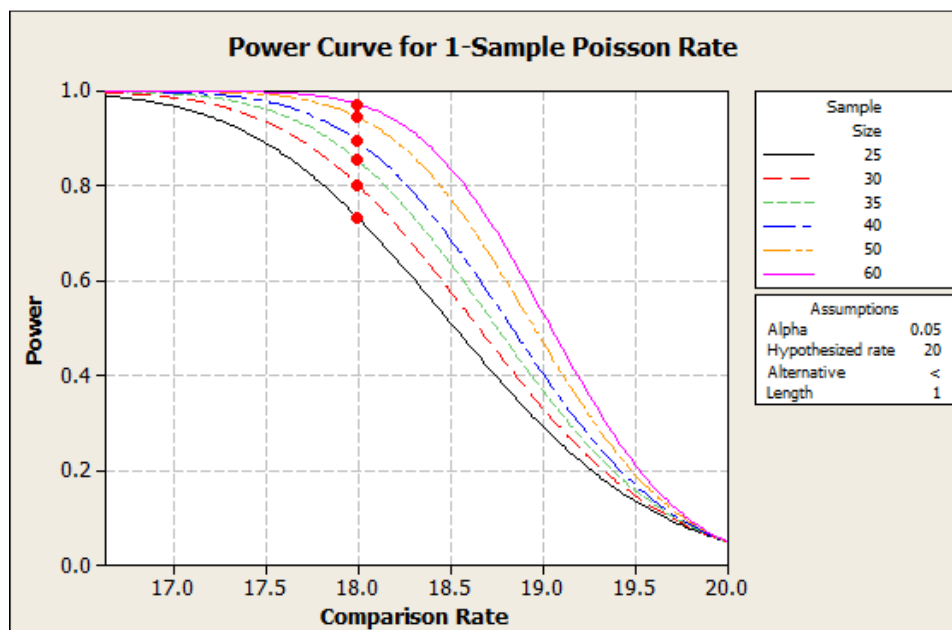
ซึ่งการป้อนค่าต่างๆ แสดงดังภาพที่ 5.4



ภาพที่ 5.4 การกำหนดค่าต่างๆ ผ่านโปรแกรม Minitab เพื่อหาจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสม

Power and Sample Size			
Test for 1-Sample Poisson Rate			
Testing rate = 20 (versus < 20)			
Alpha = 0.05			
"Length" of observation = 1			
Comparison	Rate	Sample Size	Power
	18	25	0.733422
	18	30	0.801826
	18	35	0.854296
	18	40	0.893910
	18	50	0.945146
	18	60	0.972423

ภาพที่ 5.5 ผลการคำนวณขนาดตัวอย่างจากโปรแกรม Minitab



ภาพที่ 5.6 ผลลัพธ์การออกแบบตัวอย่างที่เหมาะสม

จากภาพที่ 5.5 และ 5.6 พบว่าขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ในการเก็บข้อมูลในแต่ละการทดลองควรมีจำนวน 60 ตัว เพื่อให้ได้ค่ากำลังในการทดสอบ (Power of Test) มากกว่า 0.95 ซึ่งในการทดลองจริงคณะผู้ทำวิจัยใช้ขนาดตัวอย่าง 68 ตัวเพื่อเพิ่มระดับความมั่นใจ และสอดคล้องกับเครื่องทดสอบที่เตรียมไว้

5.6 ตัวแปรตอบสนอง (Response) และการแปลงค่า (Transformation)

ในงานวิจัยนี้ให้ความสนใจกับภาวะการกระตุกของสัญญาณภายหลังการอ่านสัญญาณกลับของหัวอ่านเขียนเนื่องจากส่งผลกับการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ก่อนส่งถึงลูกค้า โดยการกระตุกของสัญญาณที่เกิดขึ้นเป็นข้อมูลจำนวนนับ หรือเชิงคุณลักษณะ (Attribute Data) ดังนั้นตัวแปรตอบสนองที่ทำการวิเคราะห์และศึกษาบนงานวิจัยนี้คือ จำนวนการกระตุกของสัญญาณภายหลังการอ่านสัญญาณกลับของหัวอ่านเขียนนั่นเอง

เนื่องจากตัวแปรตอบสนองในงานวิจัยนี้ค่าเฉลี่ยของภาวะการกระตุกของสัญญาณที่เกิดขึ้นบนกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นคำนิยามการกระจายตัวแบบปัวซองซ์ (Poisson) ฉะนั้นก่อนนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาความมีนัยสำคัญของตัวแปรตอบสนอง ควรจะต้องทำการแปลงค่าตัวแปรตอบสนองก่อน ซึ่งหากนำค่าที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์โดยตรง และไม่ผ่านการแปลงค่าจะทำให้ข้อมูลที่ได้ไม่เป็นไปตามสมมุติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) ของตัวแปรตอบสนอง ซึ่งอาจส่งผลให้การวิเคราะห์เกิดความคลาดเคลื่อนได้ (Bisgaard and Fuller, 1994) โดยการแปลงข้อมูลที่ Bisgaard และ Fuller ทำการนำเสนอ นั้นมี 2 วิธีการ คือ การแปลงค่าแบบมาตรฐาน และการแปลงข้อมูลด้วยวิธีการของ Freeman & Turkey ซึ่งการแปลงข้อมูลทั้ง 2 วิธีแสดงสมการดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 สมการการแปลงข้อมูลด้วยวิธีมาตรฐานและวิธีของ Freeman & Turkey เมื่อตัวแปรตอบสนองเป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนข้อบกพร่อง

ประเภทของข้อมูล	ประเภทของการกระจาย	การแปลงข้อมูลแบบมาตรฐาน	การแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Freeman & Turkey
จำนวนนับ (\hat{C})	ปัวซองซ์ (Poisson)	$\sqrt{\hat{C}}$	$\frac{(\sqrt{\hat{C}} + \sqrt{\hat{C} + 1})}{2}$

5.7 การทำการทดลอง

ผู้วิจัยทำการทดลองตามลำดับการทดลองที่ได้จากการสุ่มบนโปรแกรม Minitab ซึ่งได้แสดงไว้แล้วในส่วนของตารางที่ 5.3 โดยก่อนการทดลองมีการเตรียมตัวโดยนำแผนการทดลองมาอธิบายกับผู้จัดการและทีมงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อดำเนินการจัดเตรียมความพร้อมของเครื่องทดสอบและซอฟต์แวร์การทดสอบ ซึ่งในส่วนของกระบวนการทำงานของพนักงานไม่ได้มีการ

เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เพียงแต่กลุ่มตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่ถูกทดสอบด้วยซอฟต์แวร์ของแต่ละ การทดลอง จะต้องถูกคัดแยกไม่ให้ปะปนกับงานที่ผลิตจริง เนื่องจากใช้เครื่องทดสอบใน สายการผลิตเดียวกัน โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการปรับค่าระดับความต่างของสัญญาณตามค่าที่กำหนดไว้ในลำดับการทดลองจาก โปรแกรม Minitab โดยระดับต่ำคือ 35 DAC และระดับสูงคือ 45 DAC
2. ทำการปรับประเภทความถี่ในการเขียน ตามค่าที่กำหนดไว้ตามลำดับการทดลองจาก โปรแกรม Minitab โดยระดับต่ำคือ 2T และระดับสูงคือ 4T
3. ทำการปรับอุณหภูมิของการทดสอบตามค่าที่กำหนดไว้ตามลำดับการทดลองจาก โปรแกรม Minitab โดยระดับต่ำคือ 22 องศาเซลเซียส และระดับสูงที่ 55 องศา เซลเซียส
4. ทำการกำหนดระยะเวลาการบินของหัวอ่านเขียนเป็นแบบปกติที่ 0% (ที่ระดับต่ำ) ลงบน ซอฟต์แวร์การทดสอบสลับกับการกำหนดระยะเวลาการบินของหัวอ่านเขียนแบบลอยตัว สูงขึ้น 50% (ที่ระดับสูง) ตามลำดับการทดลองจาก โปรแกรม Minitab
5. ในซอฟต์แวร์การทดสอบ ทำการกำหนดให้ไม่มีการจัดการจัดการกับ Defect บนแผ่น เก็บข้อมูลก่อนการดำเนินการทดสอบ (ที่ระดับต่ำ) และมีการกำหนดให้มีการจัดการ กับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูลก่อนการทดสอบ (ที่ระดับสูง) ตามลำดับการทดลองจาก โปรแกรม Minitab
6. ดำเนินการทดลองโดยส่งฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้วจาก ห้องควบคุมความสะอาดมีจำนวนเท่ากันหรือมากกว่าขนาดของกลุ่มตัวอย่างการ ทดลองคือ 60 ตัว การปฏิบัติงานจริงใช้ 68 ตัวเข้าทดลองกับซอฟต์แวร์ที่กำหนดค่าการ ทดลองต่างๆไว้ตามลำดับการทดลอง
7. ทำการตรวจสอบค่าตัวแปรตอบสนอง ซึ่งก็คือจำนวนของการกระตุกของสัญญาณ ภายหลังการอ่านค่ากลับจากระบบเก็บข้อมูลส่วนกลาง (Main Server) ภายหลังจาก เสร็จสิ้นการทดสอบแล้วนำค่าดังกล่าวมาวิเคราะห์

5.8 ผลการทดลอง

จากการเก็บข้อมูลบนการทดลองทั้ง 16 การทดลอง ซึ่งงานวิจัยนี้สนใจผลกระทบของการ เกิดการกระตุกของสัญญาณภายหลังการอ่านสัญญาณกลับบนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยผล การทดลองที่ได้จะเป็นจำนวนนับเฉลี่ย ซึ่งสามารถนำมาแปลงข้อมูลด้วยวิธีมาตรฐานและวิธีของ Freeman & Turkey โดยแสดงผลการทดลองและผลการแปลงข้อมูลดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองและการแปลงข้อมูลด้วยวิธีมาตรฐานและวิธีของ Freeman & Turkey

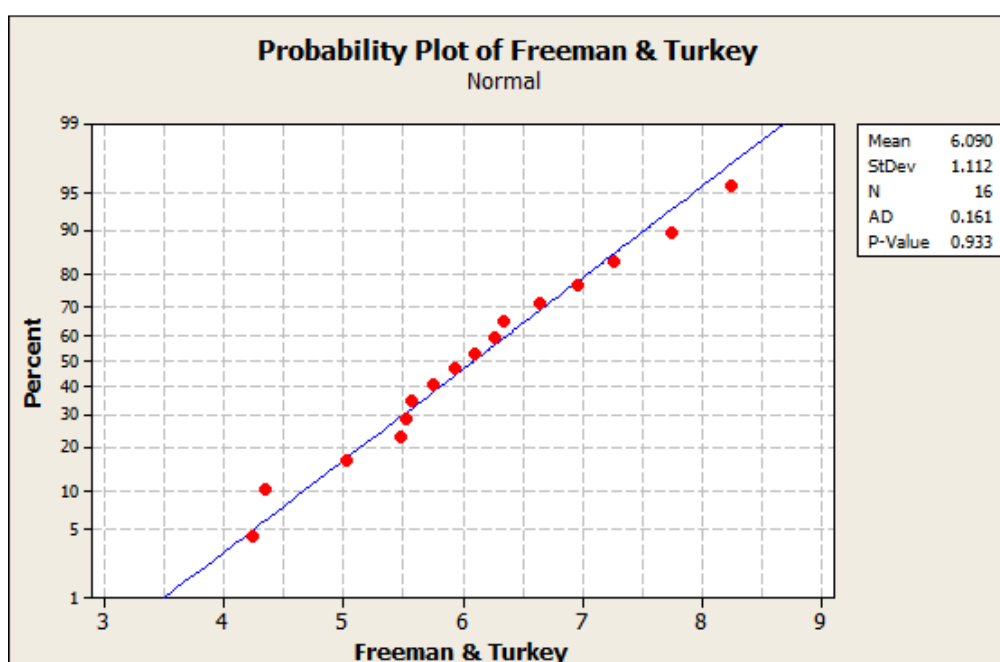
ลำดับการทดลอง (Run Order)	จำนวนการกระตุกของ สัญญาณเฉลี่ยต่อ 1 HDD (\hat{c})	วิธีมาตรฐาน ($\sqrt{\hat{c}}$)	วิธีของ Freeman & Turkey $\left[\frac{(\sqrt{\hat{c}} + \sqrt{\hat{c}+1})}{2}\right]$
1	60.4	7.7717	7.8037
2	18.4	4.2895	4.3470
3	24.8	4.9799	5.0296
4	30.5	5.5226	5.5675
5	39.7	6.3007	6.3402
6	52.3	7.2318	7.2662
7	36.7	6.0580	6.0990
8	43.6	6.6030	6.6406
9	67.4	8.2097	8.2400
10	17.5	4.1833	4.2422
11	30.1	5.4863	5.5315
12	32.6	5.7096	5.7530
13	29.6	5.4405	5.4861
14	47.9	6.9209	6.9569
15	38.7	6.2209	6.2608
16	34.7	5.8906	5.9328

5.9 การวิเคราะห์และการสรุปผลการทดลอง

ก่อนการสรุปผลการทดลอง จะวิเคราะห์และทดสอบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวอย่างเป็นปกติหรือไม่ หลังจากนั้นจึงจะนำข้อมูลผลการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดข้อบกพร่อง เพื่อกำหนดระดับปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมในขั้นต่อไป

5.9.1 การทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูล

ในการทดสอบการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ของข้อมูล ซึ่งข้อมูลนั้นจะต้องถูกแปลงด้วยวิธีของ Freeman & Turkey หลังจากนั้นที่แปลงค่าได้มาพล็อตกราฟ Normal Probability Plot ผ่านโปรแกรม Minitab ว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติหรือไม่ ซึ่งกราฟที่ได้ควรจะมิลักษณะการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง โดยเมื่อทำการทดสอบความปกติ (Normality Test) จะมีค่า P-Value มากกว่า 0.05



ภาพที่ 5.7 การทดสอบการแจกแจงปกติจำนวนการกระตุกของสัญญาณที่แปลงด้วยวิธี Freeman & Turkey

จากภาพที่ 5.7 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรงดี มีการเบี่ยงเบนเล็กน้อย และมีค่า P-Value เท่ากับ 0.933 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ข้อมูลมีการแจกแจงตามปกติ

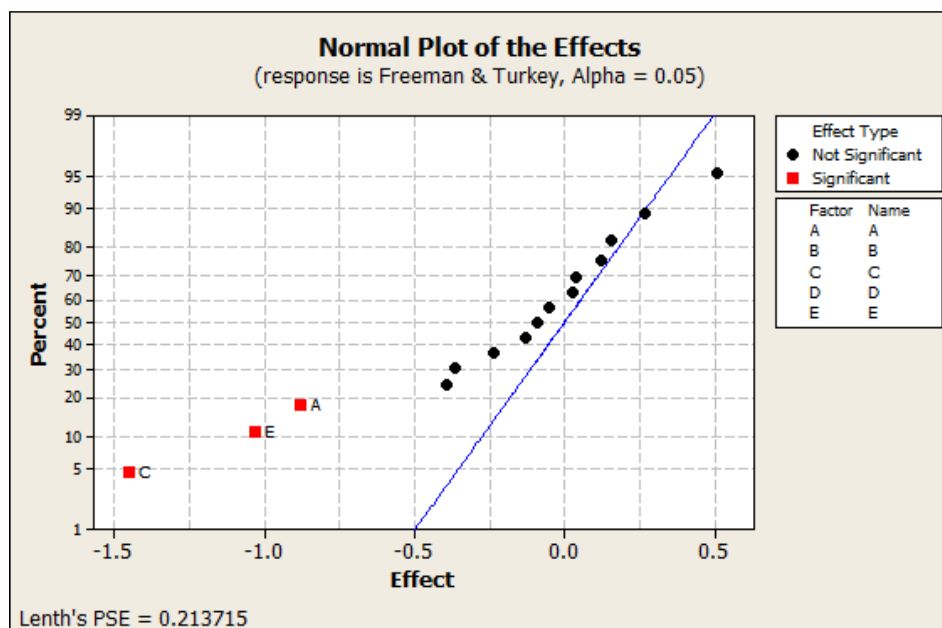
5.9.2 การวิเคราะห์ผลของการทดลอง

สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองจะทดสอบผ่านทางโปรแกรม Minitab เพื่อพิจารณาว่ามีปัจจัยนำเข้า และอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยคู่ใดบ้างที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง โดยพิจารณาทางกราฟ Normal Plot of the Effects กราฟผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Main Effects Plot) และกราฟของอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Interaction Plot)

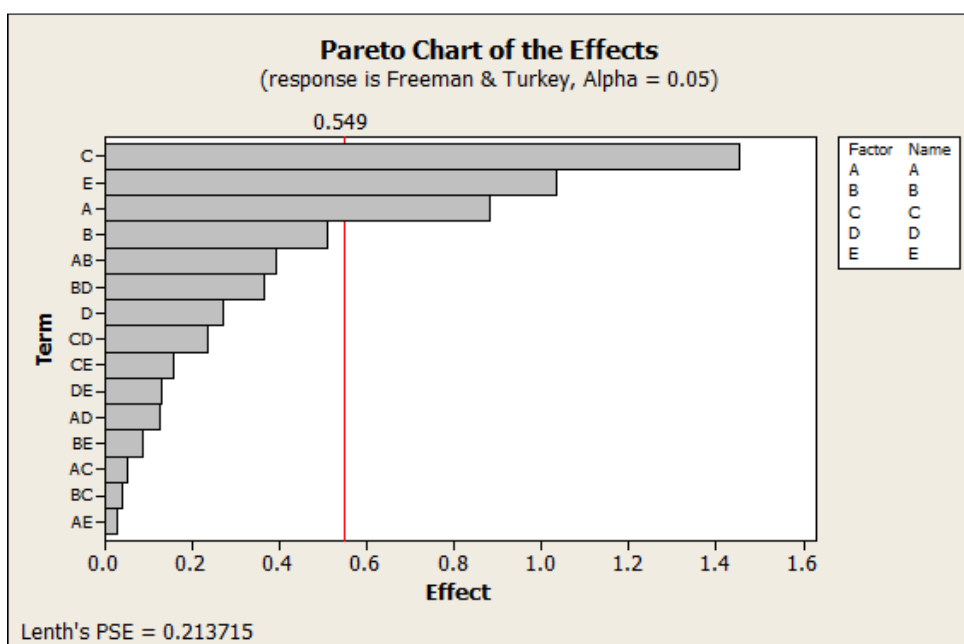
ตารางที่ 5.6 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัยนำเข้าด้วยโปรแกรม

Minitab

Factorial Fit: Freeman & Turkey versus A, B, C, D, E						
Estimated Effects and Coefficients for Freeman & Turkey (coded units)						
Term	Effect	Coef				
Constant		6.0936				
A	-0.8804	-0.4402				
B	0.5101	0.2550				
C	-1.4513	-0.7256				
D	0.2719	0.1360				
E	-1.0318	-0.5159				
A*B	-0.3906	-0.1953				
A*C	-0.0521	-0.0261				
A*D	0.1241	0.0620				
A*E	0.0266	0.0133				
B*C	0.0404	0.0202				
B*D	-0.3638	-0.1819				
B*E	-0.0874	-0.0437				
C*D	-0.2335	-0.1167				
C*E	0.1548	0.0774				
D*E	-0.1301	-0.0651				
S = * PRESS = *						
Analysis of Variance for Freeman & Turkey (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	5	17.1203	17.1203	3.42406	*	*
A	1	3.1004	3.1004	3.10036	*	*
B	1	1.0407	1.0407	1.04070	*	*
C	1	8.4247	8.4247	8.42469	*	*
D	1	0.2958	0.2958	0.29581	*	*
E	1	4.2587	4.2587	4.25873	*	*
2-Way Interactions	10	1.6339	1.6339	0.16339	*	*
A*B	1	0.6104	0.6104	0.61042	*	*
A*C	1	0.0109	0.0109	0.01086	*	*
A*D	1	0.0616	0.0616	0.06157	*	*
A*E	1	0.0028	0.0028	0.00283	*	*
B*C	1	0.0065	0.0065	0.00653	*	*
B*D	1	0.5294	0.5294	0.52943	*	*
B*E	1	0.0306	0.0306	0.03059	*	*
C*D	1	0.2180	0.2180	0.21802	*	*
C*E	1	0.0959	0.0959	0.09590	*	*
D*E	1	0.0677	0.0677	0.06772	*	*
Residual Error	0	*	*	*		
Total	15	18.7542				



ภาพที่ 5.8 กราฟ Normal Plot ของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง



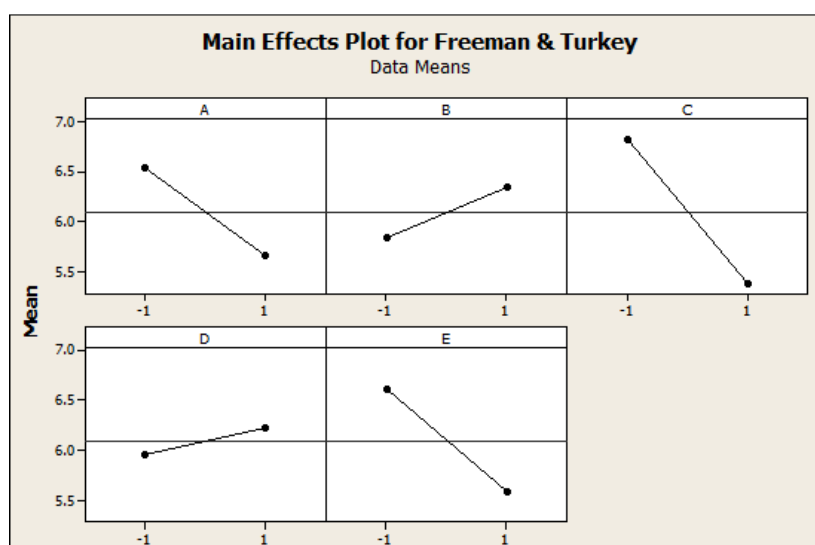
ภาพที่ 5.9 แผนภูมิพารेटอของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

**การอ้างอิงสัญลักษณ์ของปัจจัยโดยอ้างอิงจากตารางที่ 5.1

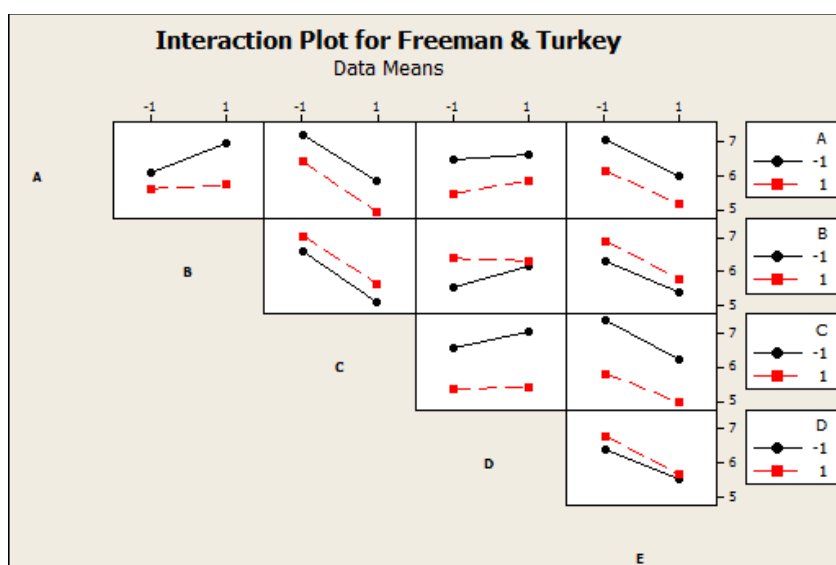
เมื่อนำผลของข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์บน โปรแกรม Minitab จะพบว่า ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อสภาวะการกระตุกของสัญญาณในระหว่างการอ่านสัญญาณกลับของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ ไดรฟ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นั้น คือค่าที่กระจายตัวนอกเส้นตรงของกราฟ Normal Plot of the

Effects คือ ปัจจัย [A] ค่าระดับความต่างของสัญญาณ, ปัจจัย [C] ประเภทความถี่ในการเขียน และ ปัจจัย [E] ขอบเขตการจัดการกับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล ซึ่งทั้งหมดเป็นปัจจัยหลัก และไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยคู่ใดๆ ที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้โปรแกรม Minitab ยังสามารถแสดงผลกราฟของ ปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Main Effects Plot) และ อันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Interaction Plot) ดังแสดงในภาพที่ 5.10 และ 5.11 ซึ่งสามารถนำผลดังกล่าวมาใช้เป็นแนวทางในระยะเวลาการปรับปรุงกระบวนการในขั้นตอนถัดไป



ภาพที่ 5.10 ผลของปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองคือจำนวนกระดูกของสัญญาณอ่านกลับ



ภาพที่ 5.11 ผลของอันตรกิริยาที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองคือจำนวนกระดูกของสัญญาณอ่านกลับ

5.10 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

ในระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหานั้นมีเป้าหมายเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง โดยเริ่มจากการเลือกรูปแบบที่จะใช้ในการทดลอง ซึ่งรูปแบบที่เลือกใช้คือ การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) ลักษณะการออกแบบเป็น การทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล (2_5^{5-1}) สำหรับ 5 ปัจจัยแบบไม่มีจุดศูนย์กลาง เพราะขั้นตอนนี้จะป็นลักษณะการกรองปัจจัยเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งก็คือจำนวนการกระตุกของสัญญาณภายหลังการอ่านสัญญาณกลับของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟ นอกจากนี้การออกแบบการทดลองดังกล่าว ทำให้ทราบถึงปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง รวมทั้งช่วยลดระยะเวลาและทรัพยากรที่ใช้ในการทดลองอีกด้วย

ระหว่างการทดลองกำหนดระดับปัจจัย 2 ระดับคือ ระดับต่ำ (-1) และระดับสูง (+1) ซึ่งใช้การทดลองจำนวนทั้งสิ้น 16 การทดลอง จากนั้นเมื่อการทดลองเสร็จสิ้นจึงนำผลการทดลองมาวิเคราะห์โดยนำข้อมูลผลการทดลองซึ่งเป็นตัวแปรตอบสนองมาทำการแปลงค่านั้นให้เป็นที่ไปตามสมมติฐานเรื่องความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของการออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการของ Freeman & Turkey จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผ่าน โปรแกรม Minitab ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นพบว่า ข้อมูลภายหลังการแปลงแล้วมีการแจกแจงแบบปกติ และสามารถวิเคราะห์ข้อมูลต่อ ซึ่งผลที่ได้พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นั้น ปัจจัย [A] ค่าระดับความต่างของสัญญาณ, ปัจจัย [C] ประเภทความถี่ในการเขียน และ ปัจจัย [E] ขอบเขตการจัดการกับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง และทั้งหมดเป็นปัจจัยหลัก โดยไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยใดๆ ที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

บทที่ 6

ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

6.1 บทนำ

ภายหลังจากทำการทดลองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง ด้วยการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล (Half-Fractional Factorial Design: 2_v^{5-1}) ในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาในขั้นตอนที่ผ่านมา ซึ่งผลการวิเคราะห์ผ่านทางโปรแกรม Minitab แสดงให้เห็นว่าค่าระดับความต่างของสัญญาณ, ประเภทความถี่ในการเขียน และ ขอบเขตการจัดการจัดการกับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองซึ่งก็คือจำนวนการกระตุกของสัญญาณภายหลังการอ่านข้อมูลกลับของหัวอ่านเขียนในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ โดยปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองดังกล่าวเป็นปัจจัยหลักทั้งหมด โดยไม่พบอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยใดๆที่ส่งผลถึงตัวแปรตอบสนอง

ในส่วนขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการนั้นจะเป็นการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการทดสอบการอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เพื่อให้ได้จำนวนน้อยที่สุดของกระตุกของสัญญาณระหว่างการอ่านกลับของหัวอ่านเขียน

6.2 การออกแบบการทดลองเพิ่มเติม

ผลจากการทดลองที่แล้วทำให้ทราบว่าปัจจัยที่ผลต่อตัวแปรตอบสนองทั้งหมด 3 ปัจจัย โดยแบ่งเป็นปัจจัยเชิงคุณลักษณะ 1 ปัจจัยคือ ขอบเขตการจัดการจัดการกับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล นอกจากนั้นเป็นปัจจัยเชิงแปรผัน 2 ปัจจัยคือ ค่าระดับความต่างของสัญญาณ และ ประเภทความถี่ในการเขียน โดยทางปฏิบัติแล้วจะทำการทดลองเพิ่มเติมในส่วนของปัจจัยเชิงผันแปร

ในส่วนของปัจจัยเชิงคุณลักษณะนั้นจะกำหนดตามผลของการทดสอบในขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาโดยเฉพาะ ขอบเขตการจัดการจัดการกับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล ซึ่งมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง จะถูกกำหนดในระดับสูง (+1) โดยจัดให้มีการระบุตำแหน่งของ Defect ก่อนทำการทดสอบการอ่านเขียนสัญญาณ เพื่อป้องกันไม่ให้หัวอ่านเขียนเข้าไปทำงานบนพื้นที่ดังกล่าวของแผ่นเก็บข้อมูลเนื่องจากบริเวณนั้นจะเป็นรอยขีดข่วนหรือจุดบอดบนแผ่นเก็บข้อมูล ซึ่งเป็นลักษณะความเสียหายทางกายภาพของแผ่นเก็บข้อมูล และอีกปัจจัยหนึ่งที่เป็นปัจจัยเชิงคุณลักษณะ แต่ไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ คือระยะการบินของหัวอ่านเขียนขณะทำการทดสอบเขียน/อ่านสัญญาณ จะทำการกำหนดที่ระดับสูง (+1) เช่นเดียวกันคือ ในระหว่างการทดลอง ระบบ

ซอฟต์แวร์จะกำหนดที่ 50% สูงกว่าระยะปกติ (0%) เพื่อไม่ให้หัวอ่านเขียนบินเข้าใกล้แผ่นเก็บข้อมูลมากเกินไปจนเกิดการกระแทกกับแผ่นเก็บข้อมูลจนเป็นความเสียหายทางกายภาพทั้งหัวอ่านเขียน และแผ่นเก็บข้อมูล ซึ่งสามารถสรุประดับของปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับปัจจัยเชิงคุณลักษณะ ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยเชิงคุณลักษณะ

ปัจจัย	ระดับที่เหมาะสม
ขอบเขตการจัดการ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล	กำหนดให้มีการระบุตำแหน่งของ Defect ก่อนการทดสอบ
ระยะเวลาบินของหัวอ่านเขียนระหว่างการทดสอบ	กำหนดระยะเวลาการบินของหัวอ่านเขียนที่ 50% ของระยะปกติ

ในส่วนของปัจจัยแบบผันแปร หรือปัจจัยแบบปรับตั้งค่าได้นั้นผู้วิจัยได้ทำการทดลองออกแบบเพิ่มเติม โดยเลือกการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Design) แบบ Box-Behnken (ปารเมศ ชูติมา, 2545 และ Montgomery, 2005) ซึ่งการออกแบบ Box-Behnken เป็นการออกแบบการทดลองที่มี 3 ระดับ สำหรับการออกแบบพื้นผิวตอบสนอง ซึ่งถูกสร้างขึ้นจากการรวมเอาการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2^k กับการออกแบบบล็อกไม่บริบูรณ์ ผลของการออกแบบมีประสิทธิภาพมากในด้านจำนวนของการทดลอง คือให้จำนวนการทดลองน้อยกว่าแบบ Central Composite ซึ่งสอดคล้องกับข้อจำกัดด้านจำนวนการทดลองของโรงงานกรณีศึกษา โดยรูปทางเรขาคณิตของการออกแบบ Box-Behnken เป็นรูปทรงกลมที่ทุกจุดวางอยู่บนรูปทรงกลมรัศมี $\sqrt{2}$ นอกจากนี้ การออกแบบ Box-Behnken ยังไม่รวมเอาจุดใดๆ ที่เป็นจุดยอดของรูปลูกบาศก์ ที่สร้างขึ้นจากขีดจำกัดบนและล่างของแต่ละปัจจัยเอาไว้ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากเมื่อจุดที่อยู่บนมุมของลูกบาศก์ คือ การรวมของปัจจัยระดับ (Factor Level Combination) ที่แพงมาก หรือเป็นไปได้ที่จะทำการทดลองเนื่องจากข้อจำกัดทางด้านกายภาพของกระบวนการ

จากหลักการและทฤษฎีของการออกแบบ Box-Behnken ที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ผู้วิจัยและทีมงานจึงได้เลือกใช้การออกแบบ Box-Behnken ในการศึกษาพื้นผิวตอบสนองของตัวแปร โดยทำการตั้งสมมุติฐานว่า ความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละระดับกับค่าตัวแปรตอบสนองอาจอยู่ในลักษณะเส้นโค้ง (Curvature) ซึ่งสมมุติฐานนี้จะถูกพิสูจน์จากการวิเคราะห์ระดับปัจจัยที่เหมาะสม (Optimal Condition) ของพื้นผิวตอบสนอง (Response Optimization) ในขั้นตอนการพิจารณาและวิเคราะห์ต่อไป

โดยในการทดสอบเพิ่มในส่วนของปัจจัยแบบผันแปรนั้นจะทำการปรับตั้งค่าตามตารางที่ 6.2 โดยมีปัจจัยที่เพิ่มเข้ามาคืออุณหภูมิระหว่างการทดสอบ เพราะจากประสบการณ์ทางด้านวิศวกรรม และความรู้ความเชี่ยวชาญของคณะผู้วิจัยมีความเห็นตรงกันว่าอุณหภูมิควรมีการทดสอบเพิ่มเติมด้วยเพื่อหาระดับที่เหมาะสม เนื่องจากคุณสมบัติของโลหะจะขนาดตัวเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับชิ้นส่วนที่อยู่ภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ก็จะมีกรขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน

ตารางที่ 6.2 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลองเพิ่มเติมแบบ Box-Behnken

สัญลักษณ์	ปัจจัย	ระดับในการทดสอบของปัจจัยผันแปร		
		ระดับต่ำ	ระดับกลาง	ระดับสูง
A	ค่าระดับความต่างของสัญญาณ	35 DAC	40 DAC	45 DAC
B	ประเภทความถี่ในการเขียน	2 T	3 T	4 T
C	อุณหภูมิระหว่างการทดสอบ	22 °C	40 °C	55 °C

ผลของการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken ผ่านโปรแกรม Minitab ด้วยเงื่อนไขการวิเคราะห์ 3 ปัจจัย โดยปัจจัยละ 3 ระดับ และกำหนดการทำซ้ำ 2 ครั้งจะได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 30 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 6.3 ซึ่งมีความเหมาะสมกับการผลิตจริง และแสดงตารางการออกแบบการทดลอง (Design Matrix) ดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.3 ผลลัพธ์จากการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken โดยโปรแกรม Minitab

Box-Behnken Design			
Factors:	3	Replicates:	2
Base runs:	15	Total runs:	30
Base blocks:	1	Total blocks:	1
Center points: 6			

ตารางที่ 6.4 ตารางการออกแบบการทดลอง (Design matrix) ในรูปแบบ Box-Behnken โดยโปรแกรม Minitab

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Threshold	Freq_Pattern	Temp
				A	B	C
20	1	2	1	-1	0	-1
14	2	0	1	0	0	0
11	3	2	1	0	-1	1
3	4	2	1	-1	1	0
13	5	0	1	0	0	0
5	6	2	1	-1	0	-1
28	7	0	1	0	0	0
17	8	2	1	1	-1	0
25	9	2	1	0	1	-1
19	10	2	1	1	1	0
2	11	2	1	1	-1	0
30	12	0	1	0	0	0
18	13	2	1	-1	1	0
27	14	2	1	0	1	1
29	15	0	1	0	0	0
9	16	2	1	0	-1	-1
24	17	2	1	0	-1	-1
12	18	2	1	0	1	1
4	19	2	1	1	1	0
26	20	2	1	0	-1	1
23	21	2	1	1	0	1
7	22	2	1	-1	0	1
10	23	2	1	0	1	-1
15	24	0	1	0	0	0
21	25	2	1	1	0	-1
8	26	2	1	1	0	1
16	27	2	1	-1	-1	0
6	28	2	1	1	0	-1
1	29	2	1	-1	-1	0
22	30	2	1	-1	0	1

6.3 ผลการทดลอง

ทำการทดลองตามลำดับการทดลองตามตารางการออกแบบการทดลอง (Design Matrix) หลังจากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาทำการแปลงค่าด้วยวิธีของ Freeman & Turkey ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ซึ่งผลการทดลองภายหลังการแปลงค่าแสดงดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 ผลการทดลองและการแปลงค่าผลการทดลองด้วยวิธีของ Freeman & Turkey

ลำดับการทดลอง (Run Order)	จำนวนการกระตุกของ สัญญาณเฉลี่ยต่อ 1 HDD (\hat{C})	วิธีมาตรฐาน ($\sqrt{\hat{C}}$)	วิธีของ Freeman & Turkey $\left[\left(\sqrt{\hat{C}} + \sqrt{\hat{C}+1}\right)/2\right]$
1	34.6	5.8822	5.9244
2	29.6	5.4406	5.4862
3	45.6	6.7528	6.7896
4	33.6	5.7966	5.8394
5	23.7	4.8683	4.9191
6	32.9	5.7359	5.7791
7	25.9	5.0892	5.1379
8	36.7	6.0581	6.0990
9	26.3	5.1284	5.1766
10	18.2	4.2661	4.3240
11	39.7	6.3008	6.3402
12	27.4	5.2345	5.2818
13	30.7	5.5408	5.5855
14	29.2	5.4037	5.4496
15	24.2	4.9193	4.9697
16	44.7	6.6858	6.7230
17	39.8	6.3087	6.3481
18	28.7	5.3572	5.4035
19	19.4	4.4045	4.4606
20	41.6	6.4498	6.4883
21	35.4	5.9498	5.9915
22	39.2	6.2610	6.3007
23	23.5	4.8477	4.8987
24	25.9	5.0892	5.1379
25	28.5	5.3385	5.3850
26	37.7	6.1400	6.1805

ตารางที่ 6.5 ผลการทดลองและการแปลงค่าผลการทดลองด้วยวิธีของ Freeman & Turkey (ต่อ)

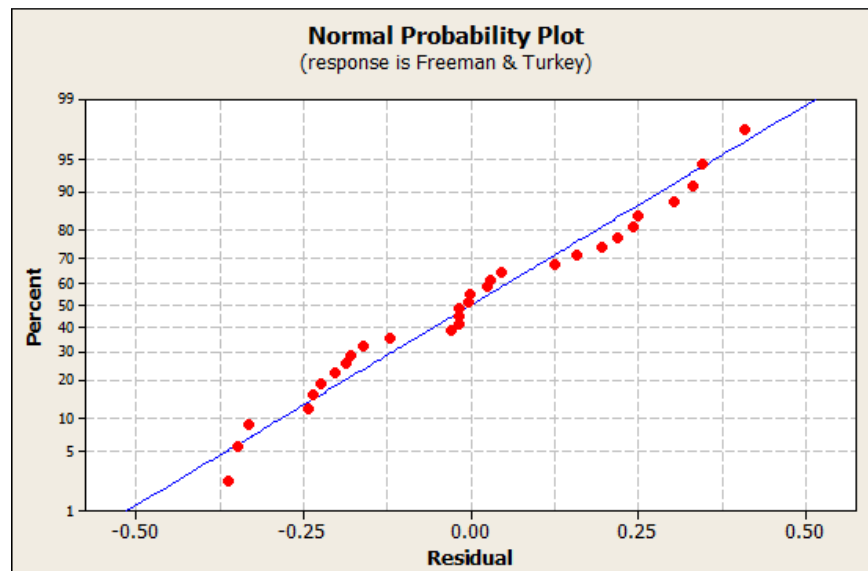
ลำดับการทดลอง (Run Order)	จำนวนการกระตุกของ สัญญาณเฉลี่ยต่อ 1 HDD (\hat{C})	วิธีมาตรฐาน ($\sqrt{\hat{C}}$)	วิธีของ Freeman & Turkey $\left[\left(\sqrt{\hat{C}} + \sqrt{\hat{C}+1}\right)/2\right]$
27	51.4	7.1694	7.2041
28	27.3	5.2249	5.2724
29	52.9	7.2732	7.3075
30	38.7	6.2209	6.2609

6.4 การวิเคราะห์และการสรุปผลการทดลองเพิ่มเติม

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) จะเป็นการวิเคราะห์ที่ศึกษาและตรวจสอบว่าข้อมูลที่ได้รับจากผลการทดลองมีคุณสมบัติครบทั้ง 3 ข้อของเงื่อนไขการออกแบบการทดลองคือ $\varepsilon_{ijk} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ หรือไม่ ด้วยการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองตามสมมุติฐาน หลังจากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์และสรุปผลของการออกแบบการทดลอง

6.4.1 การทดสอบสมมุติฐานของการแจกแจงปกติ

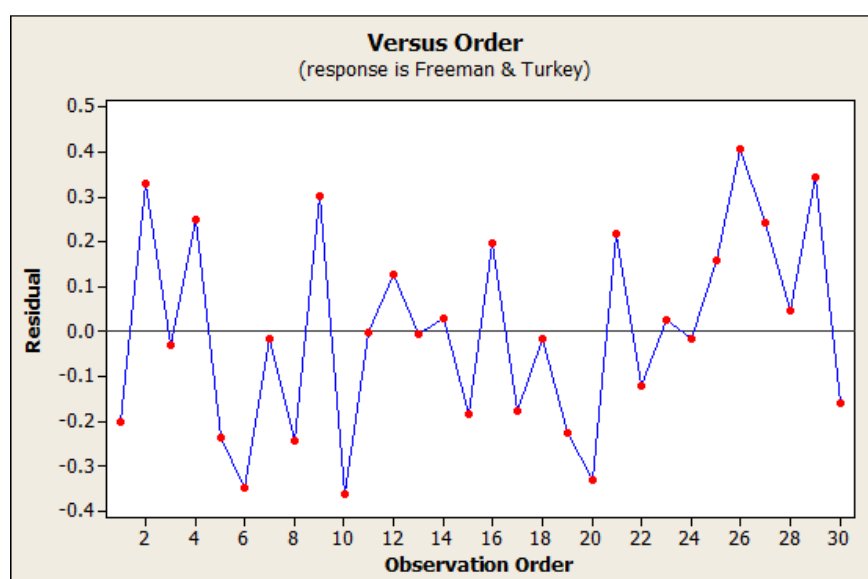
ในส่วนของการทดสอบสมมุติฐานการแจกแจงปกติ (Normal Distribution Assumption) นั้นจะพิจารณาการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) บนตัวแปรตอบสนองว่ามีการแจกแจงเป็นปกติหรือไม่ โดยพิจารณาจากกราฟ Normal Probability Plot ดังแสดงในภาพที่ 6.1 ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างตามแนวเส้นตรง จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ (Normal Distribution)



ภาพที่ 6.1 การกระจายตัวแบบปกติของส่วนตกค้าง (Residual)

6.4.2 การทดสอบความเป็นอิสระ

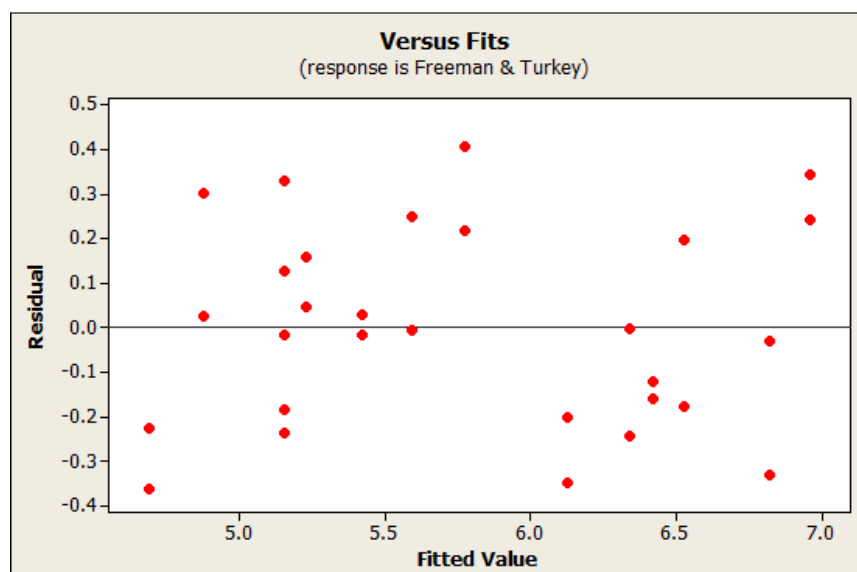
ในส่วนของการทดสอบความเป็นอิสระ (Independent of Residual) จะเป็นการพิจารณา รูปแบบการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) ว่าลักษณะของข้อมูลเป็นอิสระหรือไม่ ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่า การกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) มีการกระจายตัวเป็นอิสระต่อกัน ดังแสดงในภาพที่ 6.2



ภาพที่ 6.2 การกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) แบบอิสระ

6.4.3 การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน

ในส่วนของการทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน (Variance Stability) จะพิจารณาจากกราฟการกระจายที่ความสัมพันธ์ค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งพบว่ากราฟไม่ได้แสดงการกระจายตัวของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือมีลักษณะรูปแบบกรวยปากเปิด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ดังแสดงในภาพที่ 6.3



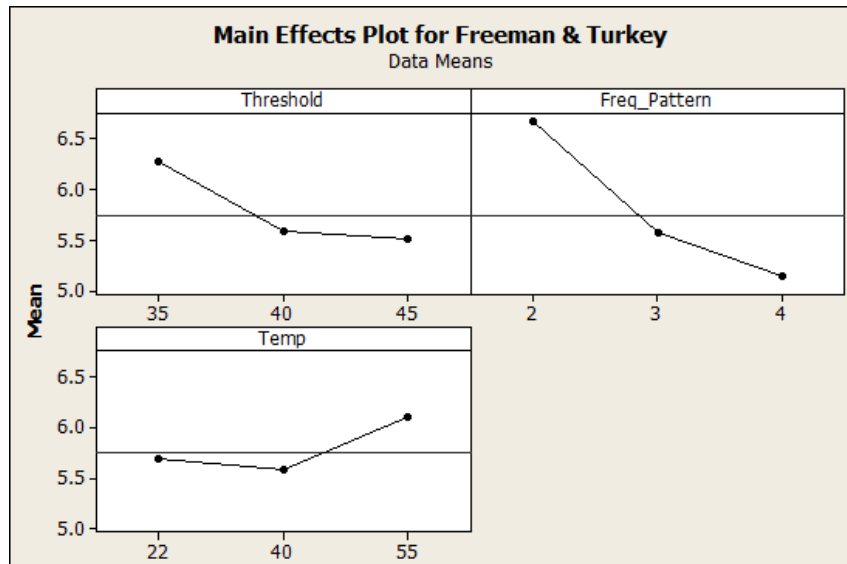
ภาพที่ 6.3 การกระจายตัวของส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต

จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแปรตอบสนอง พบว่าข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ ผลการออกแบบการทดลอง เป็นไปตามเงื่อนไขของสมมุติฐานทั้ง 3 ข้อ คือ มีการกระจายตัวแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน สรุปคือผลการตรวจสอบความถูกต้องเป็นไปตามเงื่อนไข $\varepsilon_{ijk} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ ของการออกแบบการทดลอง ดังนั้นจึงใช้ผลการทดลองนี้ในการวิเคราะห์ถัดไป

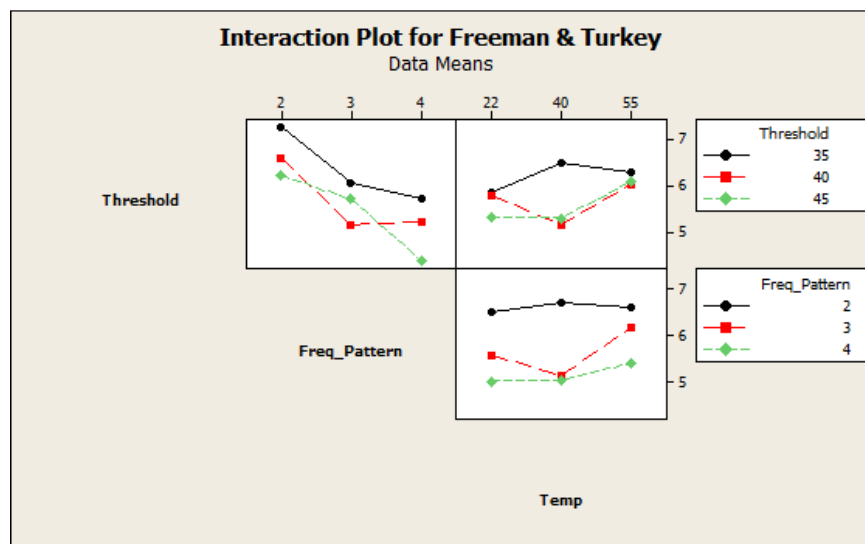
6.4.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพิ่มเติม

ทางด้าน การวิเคราะห์ผลการทดลองเพิ่มเติม นั้น จะทำการวิเคราะห์ผลของปัจจัยหลักและผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งก็คือจำนวนการกระตุ้นของ

สัญญาณภายหลังการอ่านสัญญาณกลับของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยใช้กราฟผลหลัก และกราฟผลอันตรกิริยา ตามภาพที่ 6.4 และ 6.5 ตามลำดับ



ภาพที่ 6.4 กราฟผลหลักของปัจจัยจากการทดลองเพิ่มเติม



ภาพที่ 6.5 กราฟผลอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยจากการทดลองเพิ่มเติม

จากการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่าการกำหนดค่าระดับความต่างของสัญญาณที่ 45 DAC, ประเภทความถี่ในการเขียนสัญญาณที่ 4T และอุณหภูมิในระหว่างการทดสอบที่ 40 องศาเซลเซียส จะให้ผลของจำนวนการกระตุกของสัญญาณภายหลังการอ่านน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามก็ตีผลการวิเคราะห์ในส่วนนี้จะถูกนำไปวิเคราะห์ต่อเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยต่อไป

6.5 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (Response Optimization)

ทางด้านการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยนั้น โดยมากจะใช้หลักการ Optimization ผ่านทางโปรแกรม Minitab ด้วยฟังก์ชัน Response Optimization หลังจากวิเคราะห์ผ่านฟังก์ชันดังกล่าวพบว่าระดับของแต่ละปัจจัยที่เหมาะสมคือ ค่าระดับความต่างของสัญญาณที่ 43 DAC, ประเภทของความถี่ที่ใช้ในการเขียนคือ 4T และอุณหภูมิที่ใช้ระหว่างการทดสอบที่ 32 องศาเซลเซียส ซึ่งจะให้ค่าประมาณของจำนวนการกระตุกของสัญญาณภายหลังการอ่านสัญญาณกลับของหัวอ่านเขียนเฉลี่ยอยู่ที่ 20.134 ครั้งต่อฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟหนึ่งตัว โดยค่าดังกล่าวเป็นค่าที่แปลงค่ากลับแล้วตามวิธีการของ Freeman และ Turkey ซึ่งให้ผลที่ 4.5217 ดังแสดงตามตารางที่ 6.6, 6.7 และภาพที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 ผลลัพธ์การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (Analyze Response Surface Design)

Response Surface Regression: Freeman & Tu versus Threshold, Freq_Pattern, Temp				
The analysis was done using coded units.				
Estimated Regression Coefficients for Freeman & Turkey				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	38.4694	7.06134	5.448	0.000
Threshold	-1.2111	0.32152	-3.767	0.001
Freq_Pattern	-2.6309	0.98203	-2.679	0.014
Temp	-0.1413	0.05607	-2.520	0.020
Threshold*Threshold	0.0143	0.00391	3.663	0.002
Freq_Pattern*Freq_Pattern	0.3813	0.09784	3.897	0.001
Temp*Temp	0.0015	0.00036	4.000	0.001
Threshold*Freq_Pattern	-0.0142	0.01880	-0.755	0.459
Threshold*Temp	0.0008	0.00114	0.674	0.508
Freq_Pattern*Temp	0.0039	0.00569	0.678	0.506
S = 0.265881 PRESS = 3.37830				
R-Sq = 91.42% R-Sq(pred) = 79.49% R-Sq(adj) = 87.56%				

ซึ่งจากการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Minitab ผ่านรูปแบบ Box-Behnken และ Response Optimization นั้นเป็นการยืนยันได้ว่า อุณหภูมิในระหว่างการทดสอบมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งคือจำนวนการกระตุกของสัญญาณภายหลังการอ่าน ตามที่ทีมงานวิจัยได้ตั้งข้อสังเกตไว้ และสาเหตุที่การทดลองในระหว่างการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาไม่สามารถระบุความมีนัยสำคัญของอุณหภูมิระหว่างการทดสอบได้นั้น อาจเป็นเพราะว่าจำนวนการทดลองของเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลถูกลดจำนวนไปครั้งหนึ่ง ประกอบกับ การทดลองในขั้นตอนดังกล่าวนี้ทดสอบแบบ

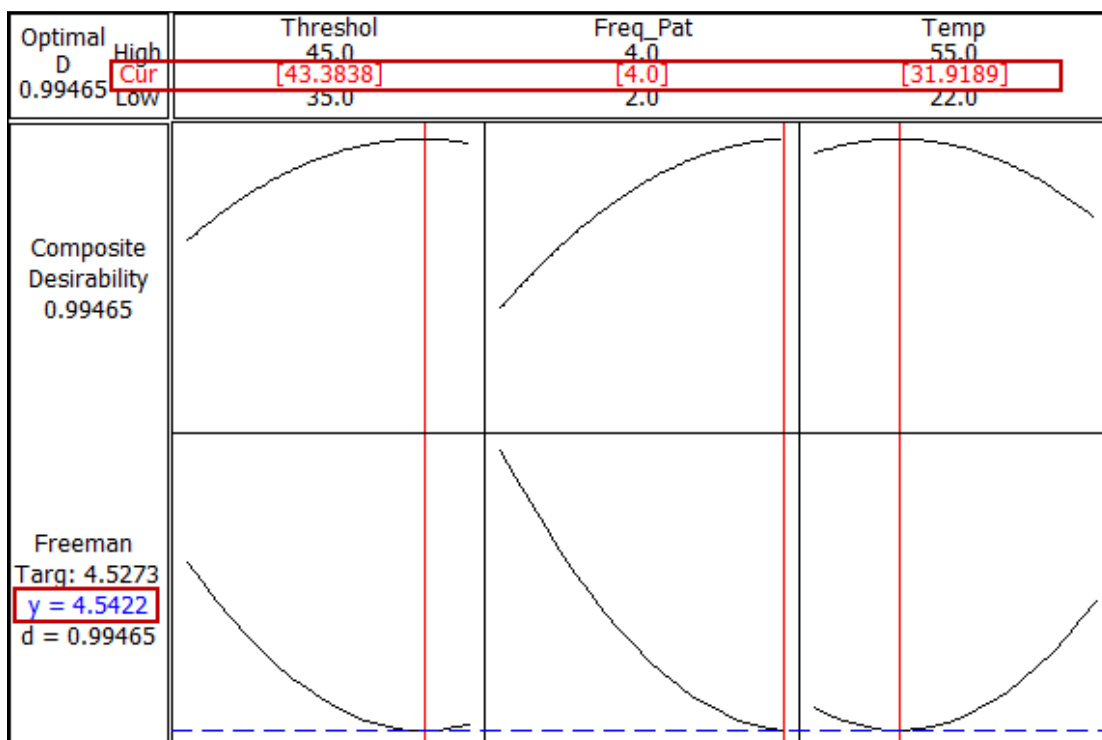
ไม่มีจุดศูนย์กลาง ทำให้ไม่ทราบอิทธิพลความโค้งของปัจจัยนำเข้าที่อาจส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง จากกราฟผลหลักของปัจจัยจากการทดลองเพิ่มเติมแบบ Box-Behnken ดังภาพที่ 6.4 ได้แสดงถึง อุณหภูมิในระหว่างการทดลองที่อยู่ในช่วงกลาง ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

ตารางที่ 6.6 ผลลัพธ์การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (ต่อ) (Analyze Response Surface Design)

Analysis of Variance for Freeman & Turkey						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	15.0597	15.0597	1.67330	23.67	0.000
Linear	3	12.2210	1.5372	0.51241	7.25	0.002
Threshold	1	2.3626	1.0030	1.00299	14.19	0.001
Freq_Pattern	1	9.2446	0.5074	0.50737	7.18	0.014
Temp	1	0.6138	0.4490	0.44904	6.35	0.020
Square	3	2.7338	2.7338	0.91126	12.89	0.000
Threshold*Threshold	1	0.6865	0.9484	0.94837	13.42	0.002
Freq_Pattern*Freq_Pattern	1	0.9163	1.0734	1.07340	15.18	0.001
Temp*Temp	1	1.1310	1.1310	1.13098	16.00	0.001
Interaction	3	0.1049	0.1049	0.03497	0.49	0.690
Threshold*Freq_Pattern	1	0.0403	0.0403	0.04034	0.57	0.459
Threshold*Temp	1	0.0321	0.0321	0.03208	0.45	0.508
Freq_Pattern*Temp	1	0.0325	0.0325	0.03249	0.46	0.506
Residual Error	20	1.4139	1.4139	0.07069		
Lack-of-Fit	3	0.9307	0.9307	0.31022	10.91	0.000
Pure Error	17	0.4832	0.4832	0.02842		
Total	29	16.4735				

ตารางที่ 6.7 ผลลัพธ์ปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดผ่านฟังก์ชัน Response Optimization โปรแกรม Minitab

Response Optimization						
Parameters						
	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Freeman & Tu	Target	4.324	4.5273	7.3075	1	1
Global Solution						
Threshold	=	43.3838				
Freq_Pattern	=	4				
Temp	=	31.9189				
Predicted Responses						
Freeman & Tu	=	4.54217	,	desirability =	0.994653	
Composite Desirability = 0.994653						



ภาพที่ 6.6 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมของพื้นผิวผลตอบ (Optimal Condition)

6.6 สูตรระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในระยะเวลาปรับปรุงกระบวนการจะพิจารณาจากผลการทดลองทางด้านการคัดกรองปัจจัยนำเข้าที่ได้จากระยะการวัดสาเหตุของปัญหา โดยมี 3 ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ แบ่งออกเป็น ปัจจัยเชิงคุณลักษณะ 1 ปัจจัย คือ ขอบเขตการจัดการ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล ซึ่งจะกำหนดให้มีการระบุตำแหน่งของ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูลก่อนทำการทดลอง และทางด้านปัจจัยเชิงผันแปร 2 ปัจจัย คือ ค่าระดับความต่างของสัญญาณ และ ประเภทความถี่ในการเขียน จะทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาระดับที่เหมาะสม ทั้งนี้ได้นำเอาอุณหภูมิในระหว่างการทดสอบอ่าน/เขียน เข้ามาทำการทดลองเพิ่มเติมด้วยโดยอ้างอิงจากประสบการณ์ ความรู้ความเชี่ยวชาญของทีมงานผู้วิจัย ซึ่งในการทดลองเพิ่มเติมนั้นได้เลือกทำการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design) แบบ Box-Behnken สำหรับ 3 ปัจจัย 3 ระดับ หลังจากเมื่อได้ผลการทดลองแล้วมีการตรวจสอบความถูกต้องของการทดลองตามเงื่อนไขการออกแบบการทดลองคือ $\varepsilon_{ijk} \sim \text{NID} (0, \sigma^2)$ พบว่า ผลการตรวจสอบเป็นไปตามทั้ง 3 เงื่อนไข โดยมี มีการกระจายตัวแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน หลังจากนั้นจึงดำเนินการวิเคราะห์เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัย ที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่า

ต่ำสุด โดยใช้โปรแกรม Minitab ผ่านฟังก์ชัน Response Optimization ทำให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ ค่าระดับความต่างของสัญญาณที่ 43 DAC, ประเภทความถี่ในการเขียนสัญญาณที่ 4T และกำหนดอุณหภูมิระหว่างการทดลองที่ 32 องศาเซลเซียส ซึ่งจะให้ค่าประมาณของจำนวนการกระตุกของสัญญาณภายหลังการอ่านกลับของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ 4.542 และหากแปลงค่ากลับด้วยวิธีของ Freeman และ Turkey จะได้จำนวนการกระตุกของสัญญาณเป็น 20.134 ครั้งต่อฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์หนึ่งตัว

บทที่ 7

การทดสอบการยืนยันผล และการติดตามควบคุม (Control Phase)

7.1 บทนำ

ด้านการทดสอบยืนยันผล และตรวจติดตามควบคุมเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma) ประกอบไปด้วยการเก็บข้อมูลที่ได้จากการปรับตั้งค่าของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญตามที่ได้วิเคราะห์และทดสอบในขั้นตอนที่แล้วเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ ซึ่งจะทำได้ข้อมูลทั้งหมด 14 ชุด (1 ชุดข้อมูลต่อวัน) หลังจากได้ข้อมูลแล้วจะนำมาทำการตรวจสอบว่าการกระตุกของสัญญาณภายหลังการอ่านกลับของหัวอ่านเขียนในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์มีจำนวนเฉลี่ยเป็นไปตามผลการทดลองหรือไม่ จากนั้นจึงทำแผนการควบคุมและมาตรฐานการทำงาน เพื่อให้ปัจจัยนำเข้ดังกล่าวเป็นไปตามค่าที่ได้ทำการทดลองไว้ และมีการนำแผนควบคุมเข้ามาใช้เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตให้อยู่ในขอบเขตที่ดี โดยหากค่าออกนอกการควบคุม จะดำเนินการตามแผนการแก้ไข รวมทั้งสร้างมาตรฐานสำหรับซอฟต์แวร์การผลิต

7.2 การทดสอบยืนยันผล

การทดสอบยืนยันผลเพื่อยืนยันผลสรุปของค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่ได้ศึกษา วิเคราะห์และดำเนินการจากระยะการปรับปรุงกระบวนการ ที่มีการสรุปปัจจัยที่ทำการปรับปรุงทั้งหมด 4 ปัจจัย โดยค่าที่เหมาะสมของทั้ง 4 ปัจจัยดังกล่าว แสดงในตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่จะทำการปรับปรุง

สัญลักษณ์ของปัจจัย	ปัจจัย	ระดับที่เหมาะสม
A	ค่าระดับความต่างของสัญญาณ	43 DAC
B	ประเภทความถี่ในการเขียนสัญญาณ	4T
C	อุณหภูมิระหว่างการทดสอบ	32 องศาเซลเซียส
D	ขอบเขตการจัดการ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล	มีการระบุตำแหน่ง Defect ก่อน

7.2.1 ขั้นตอนในการทดลอง

ในส่วนของการเริ่มทำการทดลองทางด้านการทดสอบยืนยันผลนั้นจะใช้ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ใหญ่ขึ้นเป็น 300 ตัวต่อการทดลอง 1 วัน เป็นระยะเวลา 14 วัน (2 สัปดาห์) เพราะจากการทดลองในขั้นตอนที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นแล้วว่าผลิตภัณฑ์ไม่ได้เกิดความเสียหายทางด้านคุณภาพของสินค้า ซึ่งทำการแจ้งฝ่ายการผลิตและฝ่ายที่เกี่ยวข้อง โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ทำการปรับตั้งค่าระดับความต่างของสัญญาณไว้ที่ 43 DAC ในซอฟต์แวร์การผลิต
2. ทำการปรับตั้งประเภทความถี่ในการเขียนสัญญาณไว้ที่ 4T ในซอฟต์แวร์การผลิต
3. ทำการกำหนดคุณสมบัติในการทดสอบนี้ไว้ที่ 32 องศาเซลเซียส ในซอฟต์แวร์การผลิต
4. กำหนดให้มีการระบุตำแหน่งของ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูลก่อนดำเนินการทดลอง โดยสามารถระบุการจัดการกับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูลได้จากซอฟต์แวร์การผลิต
5. แจ้งเจ้าหน้าที่ Programmer ในการขอใช้ซอฟต์แวร์ในการทดลอง และทำการระบุซอฟต์แวร์ดังกล่าวไม่ให้ปะปนกับการผลิตตามปกติ
6. เข้าสู่กระบวนการทดลองโดยใช้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ 300 ตัว ในการทดลอง ซึ่งนับเป็น 1 ชุด การทดลอง
7. ทำการบันทึกค่าจำนวนการเกิดภาวะกระตุกของสัญญาณภายหลังการอ่านสัญญาณกลับของหัวอ่านเขียนในแต่ละวันของการทดลอง โดยสามารถดึงข้อมูลจากระบบเก็บข้อมูลส่วนกลางของการทดสอบได้ แล้วจึงนำมาวิเคราะห์ต่อไป
8. แจ้งเจ้าหน้าที่ฝ่ายผลิตในการดำเนินการส่งกลุ่มฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ผ่านกระบวนการทดลองดังกล่าวเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบคุณภาพ (Final Quality Audit: FQA) เพื่อเก็บข้อมูล DPPM

7.2.2 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

เริ่มโดยการนำข้อมูลผลการทดลองมาคำนวณเป็นจำนวนเฉลี่ยของการกระตุกของสัญญาณ จากนั้นนำไปคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบสินค้า 1 กลุ่มก่อนส่งให้ลูกค้า แล้วจึงนำข้อมูลก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงเปรียบเทียบกัน จากนั้นจึงสรุปจำนวน DPPM และต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ลดลง

ตารางที่ 7.2 จำนวนกระตุกของสัญญาณเฉลี่ยในการทดลองหลังกำหนดระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย

ลำดับกลุ่มตัวอย่าง	ขนาดกลุ่มตัวอย่าง	จำนวนการกระตุกของสัญญาณที่พบ	จำนวนการกระตุกของสัญญาณเฉลี่ยต่อ 1 HDD
1	300	6024	20.080
2	300	6220	20.733
3	300	5945	19.817
4	300	6324	21.080
5	300	5959	19.863
6	300	6410	21.367
7	300	5964	19.880
8	300	6380	21.267
9	300	6132	20.440
10	300	6166	20.553
11	300	6312	21.040
12	300	6175	20.583
13	300	6098	20.327
14	300	6235	20.783

จากตารางพบว่าจำนวนการกระตุกของสัญญาณเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มตัวอย่างพบว่ามีค่าตั้งแต่ 19.817 ถึง 21.367 ซึ่งหากนำมาคำนวณจำนวนการกระตุกของสัญญาณเฉลี่ย จากจำนวนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟทั้งหมด 4200 ตัว จะได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จำนวนเฉลี่ยของการกระตุกสัญญาณ} &= \frac{\text{จำนวนการกระตุกของสัญญาณโดยรวม}}{\text{จำนวนกลุ่มตัวอย่าง}} \\ &= 86344 / 4200 \\ &= 20.558 \text{ ครั้ง} \end{aligned}$$

หากเทียบกับจำนวนเฉลี่ยการกระตุกของสัญญาณก่อนการปรับปรุงซึ่งเป็นการกำหนดปัจจัยของขั้นตอนการทดสอบการอ่าน/เขียนสัญญาณ ตามรูปแบบขั้นตอนการระบุตำแหน่งของ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูลนั้น ซึ่งกำหนดค่าระดับความต่างของสัญญาณที่ 35 DAC, กำหนดประเภทความถี่ของสัญญาณที่ 2T และอุณหภูมิระหว่างการทดสอบที่ 55 องศาเซลเซียส โดยไม่ได้

ค่านึงถึงปัจจัยเชิงคุณลักษณะใดๆ จะให้จำนวนเฉลี่ยการกระตุกของสัญญาณอยู่ที่ 105.454 ครั้ง จากจำนวนฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ 500 ตัวแรกของการนำขึ้นตอนการทดสอบการอ่านเขียนสัญญาณเข้ามาใช้ในกระบวนการกับผลิตภัณฑ์รุ่น Firebird นี้ หลังการปรับปรุงกระบวนการและดำเนินการทดสอบส่งผลให้สามารถลดจำนวนเฉลี่ยการกระตุกของสัญญาณลงเหลือ 20.558 ครั้ง

หลังจากกลุ่มตัวอย่างผ่านการทดสอบโดยซอฟต์แวร์ที่มีการกำหนดระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยแล้ว เจ้าหน้าที่ฝ่ายผลิตจะนำกลุ่มตัวอย่างดังกล่าวเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบคุณภาพเพื่อวัดค่า DPPM โดยหลังจากการตรวจสอบคุณภาพ พบว่าค่า DPPM ลดลงเหลือ 287 DPPM ซึ่งจากเดิมค่า DPPM ของผลิตภัณฑ์นี้ก่อนการปรับปรุงกระบวนการอยู่ที่ 633 DPPM โดยคิดเป็นอัตราส่วนของเสียที่ลดลงได้ 54.67 %

7.2.3 การสรุปค่าใช้จ่ายที่ลดลงหลังจากปรับปรุงกระบวนการ

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายหลังปรับปรุงกระบวนการ ได้อ้างอิงรูปแบบตามมูลค่าความสูญเสียรวมก่อนการปรับปรุง ดังที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

ต้นทุนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ซ้ำจากกระบวนการตรวจสอบคุณภาพ FQA

จากข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการในระยะ 2 สัปดาห์แรกของเดือนสิงหาคม พบว่ามีฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่ต้องผ่านกระบวนการตรวจสอบคุณภาพซ้ำเป็นจำนวน 167 ตัว ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากกระบวนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ซ้ำ หลังการปรับปรุงกระบวนการ คิดเป็น 4,635 บาท

ต้นทุนการส่งผลิตภัณฑ์กลับสู่กระบวนการผลิตเพื่อปรับปรุงแก้ไข

มีฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จำนวน 49 ตัวหลังการปรับปรุงกระบวนการตามระยะเวลาที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น ต้องถูกส่งกลับเข้าสู่กระบวนการผลิตเพื่อปรับปรุงแก้ไข โดยต้องเสียค่าใช้จ่าย 2 ส่วนคือ ค่าเคลื่อนย้ายและบริหารจัดการทรัพยากร และค่าวัสดุทดแทนประมาณ ดังนั้นค่าใช้จ่ายในส่วนนี้คิดเป็นมูลค่า 6,664 บาท

ต้นทุนทางด้านความสูญเสียโอกาสทางการค้า

เมื่อพิจารณาจากข้อมูลหลังการปรับปรุงพบว่ามีฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จำนวน 49 ตัวที่ผลิตแล้วแต่ไม่สามารถส่งถึงลูกค้าได้ทำให้สูญเสียโอกาสทางการค้าซึ่งคิดเป็น 10% ของมูลค่าสินค้า ดังนั้นค่าใช้จ่ายทางด้านนี้คิดเป็น 13,279 บาท

เมื่อทำการรวมค่าใช้จ่ายจากต้นทุนความสูญเสียทั้ง 3 หัวข้อที่กล่าวไปแล้ว พบว่า มูลค่าความสูญเสียโดยรวมหลังการปรับปรุงกระบวนการมีค่าเป็น 24,578 บาทในระยะเวลา 2 สัปดาห์หลังการปรับปรุงกระบวนการ และระดับของกลุ่มตัวอย่างในการทดลองมีอัตราส่วนเป็น

5% ของการผลิตจริง ดังนั้นหากคิดที่อัตราการผลิตเต็มกำลัง 100 % ในระยะเวลา 1 เดือน จะมีมูลค่าของเสียโดยรวมเป็น 1,053,342 บาท โดยลดลงคิดเป็น 54.67% (ลดลงเป็นจำนวนเงิน 1,270,377 บาท) เมื่อเทียบกับมูลค่าความเสียหายรวมก่อนการปรับปรุงที่สูงถึง 2,323,720 บาท ต่อเดือน (อ้างอิงจากบทที่ 3 โดยระยะของการพิจารณาในไตรมาสแรก (2 เดือน) นั้นมีมูลค่าความเสียหายรวมกว่า 4 ล้านบาท)

7.3 การติดตามควบคุม

กระบวนการการติดตามควบคุมเป็นการปรับปรุงเพื่อให้กระบวนการมีการปรับระดับค่าของปัจจัยเป็นไปตามการทดลองที่ได้สรุปผลไว้ โดยจัดให้มีการจัดทำแผนควบคุมมีการตรวจสอบผ่านระบบออนไลน์และระบบแจ้งเตือนทางอีเมล นอกจากนี้จัดให้มีการประยุกต์ใช้แผนควบคุมเพื่อให้มีการตรวจติดตามไม่ให้อาร์คดิสก์ไอร์แลนด์ที่มีจำนวนการกระตุกของสัญญาณภายหลังการอ่านสัญญาณกลับของหัวอ่านเขียน ออกนอกค่าที่กำหนด ซึ่งได้มีการจัดทำแผนการแก้ไขเมื่อกระบวนการออกนอกเส้นควบคุม รวมถึงเสนอการจัดทำมาตรฐานในการสร้างซอฟต์แวร์ การวางขั้นตอนลำดับการทดสอบสำหรับผลิตภัณฑ์ Firebird เพื่อให้กระบวนการเป็นไปตามที่กำหนด

7.3.1 แผนการควบคุม

ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 2 แบบ คือ ปัจจัยเชิงคุณลักษณะ และ ปัจจัยเชิงปรับแปรผัน (ปรับตั้งค่าได้) จะสามารถถูกควบคุมผ่านระบบซอฟต์แวร์ทั้งหมดดังนี้

1. ระดับความต่างของสัญญาณ ได้กำหนดให้เป็นมาตรฐานสำหรับการทดสอบโดยระบุอยู่ในซอฟต์แวร์ของการผลิตและทดสอบฮาร์ดดิสก์ไอร์แลนด์อยู่ที่ค่า 43 DAC
2. ความถี่ของสัญญาณในการทดสอบ ได้กำหนดให้เป็นมาตรฐานสำหรับการทดสอบโดยระบุอยู่ในซอฟต์แวร์ของการผลิตและทดสอบฮาร์ดดิสก์ไอร์แลนด์อยู่ที่ค่า 4T
3. อุณหภูมิระหว่างการทดสอบ ได้กำหนดให้มีการปรับตั้งใหม่โดยระบุและควบคุมจำเพาะอยู่ที่ 32 องศาเซลเซียสในภาวะการทดสอบดังกล่าว จากนั้นทำการตรวจเช็คทุก 2 ชั่วโมงผ่านระบบควบคุมดูแลแบบออนไลน์ หากเกิดข้อผิดพลาดระบบจะแจ้งช่างเทคนิคเข้าไปแก้ไขทันที
4. ขอบเขตการจัดการกับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล โดยกำหนดให้มีการจัดลำดับการจัดการ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูลดังกล่าวก่อนดำเนินการทดสอบสถานะสัญญาณอ่าน/เขียน โดยกำหนดให้เป็นมาตรฐานสำหรับการทดสอบและระบุลงในซอฟต์แวร์การผลิตและทดสอบฮาร์ดดิสก์ไอร์แลนด์

7.3.2 การประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม

โรงงานกรณีศึกษามีรูปแบบการเก็บข้อมูลเป็นจำนวนข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในแต่ละฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบปัวซอง (Poisson) ซึ่งแผนควบคุมที่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้คือแผนควบคุมจำนวนข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ U-Chart (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2547) มีการคำนวณค่าที่อ้างอิงจากการเก็บข้อมูลผลการทดลองกับค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัย จาก 4,200 ตัว ในตารางที่ 7.2 โดยที่จำนวนที่เก็บข้อมูลในแผนภูมิแต่ละกลุ่มมีฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ 300 ตัวได้ค่าดังนี้

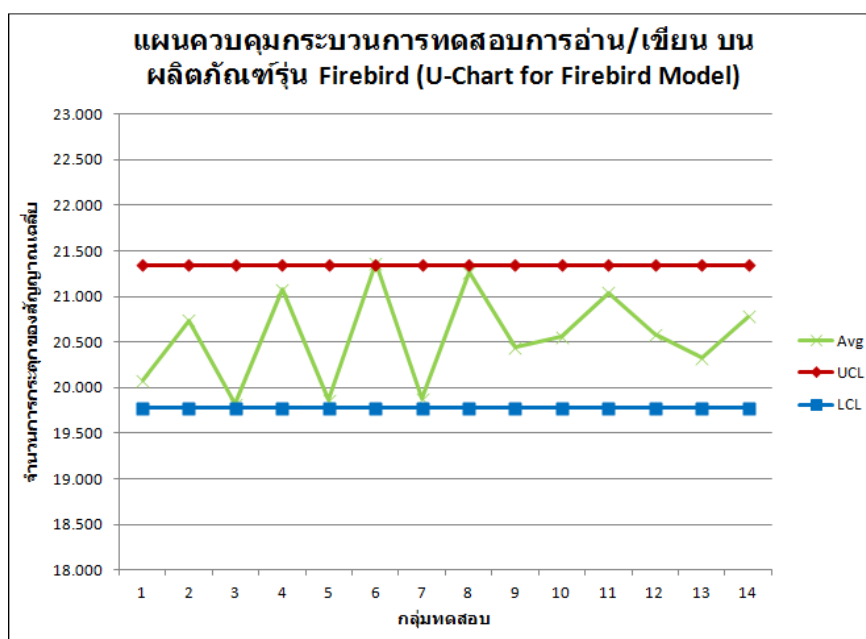
$$UCL_u, LCL_u = \bar{u} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{N}}$$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ค่าของ } \bar{u} \text{ หรือ CL} &= \frac{\text{จำนวนข้อบกพร่องรวมของผลิตภัณฑ์ (C)}}{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ตรวจสอบ (N)}} \\ &= 86344 / 4200 \\ &= 20.558 \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น UCL} = 20.558 + 3\sqrt{\frac{20.558}{300}} = 21.343$$

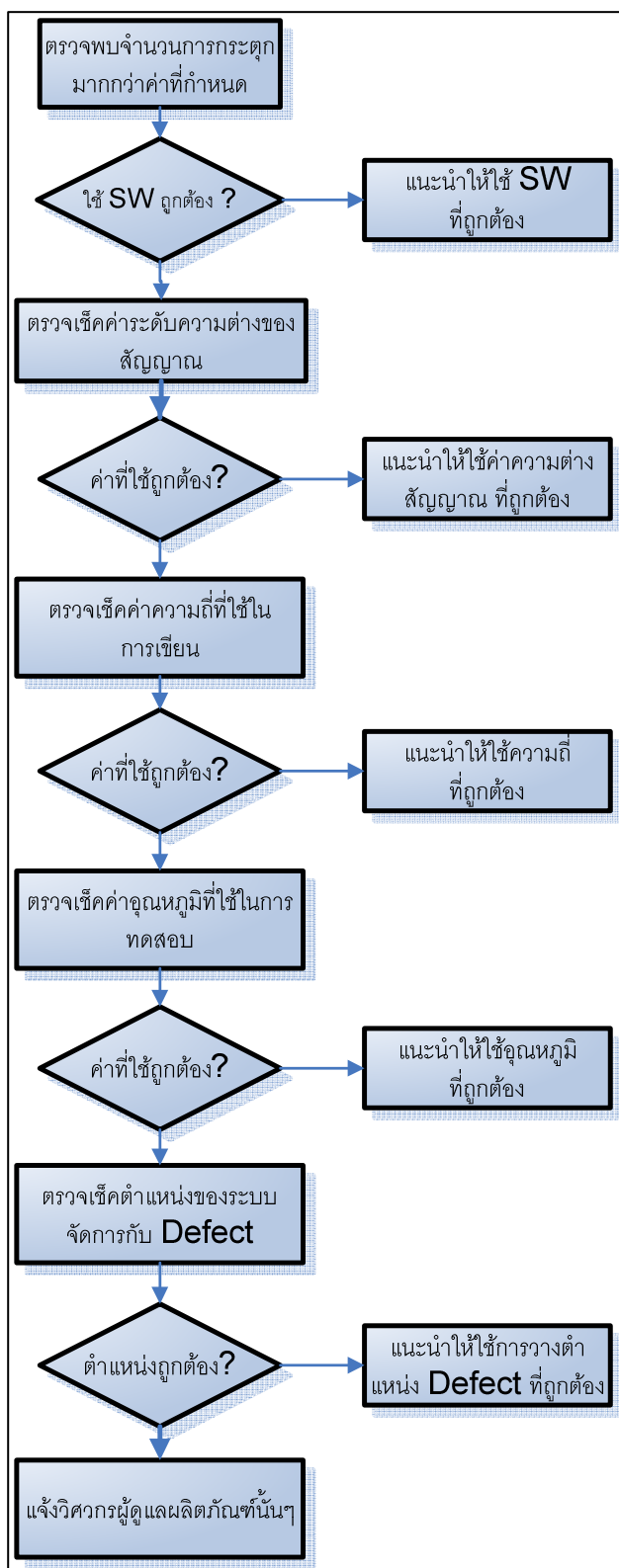
$$\text{LCL} = 20.558 - 3\sqrt{\frac{20.558}{300}} = 19.773$$

ซึ่งในการปฏิบัติงานจริงจะไม่ได้สนใจหากค่าของ U-Chart เกินค่ากำหนดของ LCL เนื่องจากจำนวนข้อบกพร่องยิ่งน้อยยิ่งดี



ภาพที่ 7.1 การใช้แผนภูมิควบคุมสำหรับการควบคุมกระบวนการทดสอบการอ่าน/เขียนสัญญาณ

7.3.3 แผนปฏิบัติการแก้ไขเมื่อพบข้อบกพร่องออกนอกค่าควบคุม (Out of Control Action Plan: OCAP)



ภาพที่ 7.2 แผนปฏิบัติการแก้ไขเมื่อพบข้อบกพร่องออกนอกค่าควบคุม

แผนปฏิบัติการที่วางไว้เพื่อแก้ไขเมื่อพบข้อบกพร่องออกนอกค่าควบคุมแสดงดังภาพที่ 7.2 โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. หากตรวจพบจำนวนการกระตุกของสัญญาณภายหลังการอ่านของหัวอ่าน/เขียน มากกว่าค่าควบคุม ให้ทำการตรวจสอบซอฟต์แวร์ที่ใช้กับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กลุ่มดังกล่าว ว่าถูกต้องหรือไม่ หากไม่ถูกต้อง ให้ทำการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กลุ่มดังกล่าวในใหม่อีกครั้งด้วยซอฟต์แวร์ที่ถูกต้อง
2. ทำการตรวจสอบว่าค่าระดับความต่างของสัญญาณ ถูกกำหนดไว้ถูกต้องหรือไม่ ซึ่งค่าที่ถูกต้องสำหรับผลิตภัณฑ์ Firebird คือ 43 DAC
3. ทำการตรวจสอบว่าความถี่ที่ใช้ในการเขียนมีค่าถูกต้องหรือไม่ ซึ่งค่าที่ถูกต้องคือ 4T
4. ทำการตรวจสอบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ มีค่าถูกต้องหรือไม่ ซึ่งหากไม่ถูกต้อง ควรทำการแก้ไขโดยกำหนดอุณหภูมิไว้ที่ 32 องศาเซลเซียสระหว่างการทดสอบการอ่าน/เขียน
5. ทำการตรวจสอบว่าการระบุตำแหน่งของ Defect ถูกใช้งานก่อนหน้าหรือไม่ ซึ่งการกำหนดที่ถูกต้องคือ กำหนดให้มีการระบุตำแหน่งของ Defect ก่อนกระบวนการทดสอบการอ่าน/เขียนของหัวอ่านเขียน
6. หากพบว่าการกำหนดค่าต่าง ๆ นั้นถูกต้องแล้ว แต่จำนวนการกระตุกของสัญญาณภายหลังการอ่านกลับยังคงสูงกว่าค่าควบคุม จึงควรแจ้งกับวิศวกรหรือเจ้าหน้าที่ ที่ดูแลผลิตภัณฑ์นั้นๆ เพื่อหาสาเหตุของปัญหา

7.4 สรุประยะการทดสอบยืนยันผล และการติดตามควบคุม

ในการทดสอบยืนยันผลเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ (14 วัน) ได้กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 14 กลุ่ม พบว่าจำนวนข้อบกพร่องหรือจำนวนการกระตุกของสัญญาณภายหลังการอ่านสัญญาณกลับของหัวอ่านเขียน เฉลี่ยต่อ 1 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีค่าเท่ากับ 20.558 ครั้ง หลังจากนั้นนำกลุ่มตัวอย่างเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบคุณภาพ (Final Quality Audit: FQA) เพื่อวัดค่า DPPM ภายหลังการตรวจสอบพบว่า มีค่า DPPM เท่ากับ 287 DPPM (จากเดิม 633 DPPM) และการที่มีจำนวน DPPM ลดลงทำให้อัตราของเสียในระหว่างการตรวจสอบคุณภาพลดลงด้วย ทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมลดลง 54.67% ซึ่งเป็นมูลค่า 1,270,377 บาทต่อเดือน หรือประมาณ 11,505,454 บาทต่อปี เมื่อเทียบกับการพยากรณ์การผลิตในปี 2555

จากนั้นได้มีการจัดทำแผนควบคุมทั้งปัจจัยแบบตั้งค่าและ ปัจจัยเชิงคุณลักษณะ โดยทั้งหมดจะถูกกำหนดค่าไว้ในซอฟต์แวร์การผลิต และจัดให้มีการทำเป็นมาตรฐานสำหรับ ค่าระดับ

ความต่างของสัญญาณ, ประเภทความถี่ในการเขียนสัญญาณ, อุณหภูมิในระหว่างการทดสอบ และขอบเขตการจัดการกับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล โดยทั้งหมดสามารถตรวจสอบผ่านระบบออนไลน์ได้

และสุดท้ายได้จัดทำแผนภูมิควบคุมจำนวนข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ U-Chart เพื่อเป็นการตรวจสอบไม่ให้กระบวนการออกนอกเส้นควบคุม โดยหากออกนอกเส้นควบคุมก็จะมีแจ้งเตือนเจ้าหน้าที่การผลิตที่เกี่ยวข้องเข้าดำเนินการแก้ไขต่อไป

บทที่ 8

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เล็งเห็นความสำคัญทางด้านคุณภาพจึงมีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตในการลดข้อบกพร่องประเภทการอ่าน/เขียนสัญญาณบกพร่องของหัวอ่านเขียนเพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้น ณ จุดตรวจสอบคุณภาพสินค้าก่อนส่งให้ลูกค้า โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงาน 5 ขั้นตอน คือ ระยะเวลานิยามปัญหา ระยะเวลาวัดและเก็บข้อมูลสภาพปัญหา ระยะเวลาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ระยะเวลาปรับปรุงแก้ไข และระยะเวลาทดสอบยืนยันผลและติดตามควบคุม โดยบทสรุปของการดำเนินงานในแต่ละระยะของขั้นตอนนี้มีดังนี้

8.1 สรุประยะนิยามปัญหา

ระยะของการนิยามปัญหา หลังจากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตและสภาพปัญหาปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา ในช่วงไตรมาสแรกของปี 2555 พบปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ส่งผลให้เกิด มูลค่าของเสียบนผลิตภัณฑ์ดังกล่าวสูงถึง 2,323,720 บาท ต่อเดือน จึงกำหนดเป้าหมายในการทำการศึกษา โดยมุ่งเน้นการทำการลดของเสียในส่วนของข้อบกพร่องประเภทการอ่าน/เขียน สัญญาณบกพร่องของหัวอ่าน/เขียน ซึ่งเป็นปัญหาหลักบนผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์รุ่น Firebird โดยกำหนดเป้าหมายในการลดจำนวนของเสียจากเดิม 633 DPPM ให้อยู่ในระดับไม่เกิน 300 DPPM ตามมาตรฐานของโรงงานกรณีศึกษา

8.2 สรุประยะเวลาวัดและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัญหา

ระยะเวลาวัดและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัญหา เริ่มจากการวิเคราะห์ความเที่ยงของระบบการวัดในการตรวจวิเคราะห์สัญญาณทางไฟฟ้า (แรงดันไฟฟ้า) ของหัวอ่าน/เขียน ผ่านการเชื่อมต่อทางเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่เรียกว่า Neptune พบว่า ระบบเครื่องจักรสำหรับการผลิตนี้ มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ คือมีค่า % Study Var (P/TV) & % Tolerance (P/T) of Total Gage R&R อยู่ในช่วงที่ 10% ถึง 30% โดย % Study Var (P/TV) มีค่า 22.56% และ % Tolerance มีค่า 13.56% โดยมีค่า NDC = 6 ซึ่งสามารถที่จะใช้ข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดนี้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่ทำการศึกษาต่อไปได้

การระดมความคิดเพื่อระบุปัจจัยที่เป็นไปได้ที่อาจมีผลกระทบต่อ การอ่าน/เขียนสัญญาณบกพร่องของหัวอ่าน/เขียน ณ จุดตรวจสอบคุณภาพก่อนส่งให้ลูกค้าบนผลิตภัณฑ์ Firebird เริ่มต้น

การคัดเลือกปัจจัยโดยใช้การวิเคราะห์แขนงความบกพร่อง (FTA) ซึ่งพบว่ามีปัจจัยนำเข้า ที่อยู่ในขอบเขตและเหมาะสมกับการทำวิจัย มีทั้งหมด 15 ปัจจัย ที่เกี่ยวข้องกับสถานะการผลิตและทดสอบ ที่อยู่นอกห้องควบคุมความสะอาด (BE test) จากนั้นจึงนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องของกระบวนการดังกล่าวมาวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ต่อ หลังการให้คะแนน RPN ตามเกณฑ์ที่กำหนดแล้ว พบว่ามี 5 สาเหตุที่เป็นไปได้ที่ทำให้เกิดความล้มเหลวที่มีคะแนนสูงรวมกันคิดเป็น 79.14% ของคะแนน RPN ทั้งหมด ตามหลักการ 80:20 จากแผนภูมิพาเรโตของการวิเคราะห์ FMEA คือ การกำหนดระดับความต่างของสัญญาณไม่เหมาะสม (Threshold) ความถี่ในการทดสอบ การอ่าน/เขียนไม่เหมาะสม (Frequency) ระยะการบินในการทดสอบไม่เหมาะสม (Dynamic Fly Height) อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบไม่เหมาะสม (Temperature) และขอบเขตการจัดการ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล (Defect Management) โดยปัจจัยทั้งหมดที่กล่าวนี้ จะถูกนำไปวิเคราะห์ในระหว่างการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเพื่อหาความมีนัยสำคัญของแต่ละปัจจัยต่อไป

8.3 ระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

ระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหานั้นมีเป้าหมายเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง โดยเริ่มจากการเลือกรูปแบบที่จะใช้ในการทดลอง ซึ่งรูปแบบที่เลือกใช้คือ การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) ลักษณะการออกแบบเป็น การทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล (2_v^{s-1}) สำหรับ 5 ปัจจัยแบบไม่มีจุดศูนย์กลาง เพราะขั้นตอนนี้เป็นลักษณะการกรองปัจจัยเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งก็คือจำนวนการกระตุกของสัญญาณภายหลังการอ่านสัญญาณกลับของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟ นอกจากนี้การออกแบบการทดลองดังกล่าว ทำให้ทราบถึงปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง รวมทั้งช่วยลดระยะเวลาและทรัพยากรที่ใช้ในการทดลองอีกด้วย

ระหว่างการทดลองกำหนดระดับปัจจัย 2 ระดับคือ ระดับต่ำ (-1) และระดับสูง (+1) ซึ่งใช้การทดลองจำนวนทั้งสิ้น 16 การทดลอง จากนั้นเมื่อการทดลองเสร็จสิ้นจึงนำผลการทดลองมาวิเคราะห์โดยนำข้อมูลผลการทดลองซึ่งเป็นตัวแปรตอบสนองมาทำการแปลงค่าให้เป็นไปตามสมมติฐานเรื่องความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของการออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการของ Freeman และ Turkey จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผ่าน โปรแกรม Minitab ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นพบว่า ข้อมูลภายหลังการแปลงแล้วมีการแจกแจงแบบปกติ และสามารถวิเคราะห์ข้อมูลต่อ ซึ่งผลที่ได้พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นั้น ปัจจัย [A] ค่าระดับความต่างของสัญญาณ, ปัจจัย [C] ประเภทความถี่ในการเขียน และ ปัจจัย [E] ขอบเขตการจัดการกับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล มี

ผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง และทั้งหมดเป็นปัจจัยหลัก โดยไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยใดๆ ที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

8.4 สรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการจะพิจารณาจากผลการทดลองทางด้านการคัดกรองปัจจัยนำเข้าที่ได้จากระยะการวัดสาเหตุของปัญหา โดยมี 3 ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ แบ่งออกเป็น ปัจจัยเชิงคุณลักษณะ 1 ปัจจัย คือ ขอบเขตการจัดการ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล ซึ่งจะกำหนดให้มีการระบุตำแหน่งของ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูลก่อนทำการทดลองทางด้านปัจจัยเชิงผันแปร 2 ปัจจัย คือ ค่าระดับความต่างของสัญญาณ และ ประเภทความถี่ในการเขียน จะทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาระดับที่เหมาะสม ทั้งนี้ได้นำเอาอุณหภูมิในระหว่างการทดสอบอ่าน/เขียน เข้ามาทำการทดลองเพิ่มเติมด้วยโดยอ้างอิงจากประสบการณ์ ความรู้ความเชี่ยวชาญของทีมงานผู้วิจัย ซึ่งในการทดลองเพิ่มเติมนั้นได้เลือกทำการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design) แบบ Box-Behnken สำหรับ 3 ปัจจัย 3 ระดับ หลังจากเมื่อได้ผลการทดลองแล้วมีการตรวจสอบความถูกต้องของการทดลองตามเงื่อนไขการออกแบบการทดลองคือ $\varepsilon_{ijk} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ พบว่า ผลการตรวจสอบเป็นไปตามทั้ง 3 เงื่อนไข โดยมี การกระจายตัวแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน หลังจากนั้นจึงดำเนินการวิเคราะห์เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัย ที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าต่ำสุด โดยใช้โปรแกรม Minitab ผ่านฟังก์ชัน Response Optimization ทำให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ ค่าระดับความต่างของสัญญาณที่ 43 DAC, ประเภทความถี่ในการเขียนสัญญาณที่ 4T และ กำหนดอุณหภูมิระหว่างการทดลองที่ 32 องศาเซลเซียส ซึ่งจะให้ค่าประมาณของจำนวนการกระตุกของสัญญาณภายหลังการอ่านกลับของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ 4.542 และหากแปลงค่ากลับด้วยวิธีของ Freeman & Turkey จะได้จำนวนกระตุกของสัญญาณเป็น 20.134 ครั้งต่อฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์หนึ่งตัว

8.5 สรุประยะการทดสอบยืนยันผลและการติดตามควบคุม

ในการทดสอบยืนยันผลเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ (14 วัน) ได้กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 14 กลุ่ม พบว่าจำนวนข้อบกพร่องหรือจำนวนการกระตุกของสัญญาณภายหลังการอ่านสัญญาณกลับของหัวอ่านเขียน เฉลี่ยต่อ 1 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีค่าเท่ากับ 20.558 ครั้ง หลังจากนั้นนำกลุ่มตัวอย่างเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบคุณภาพ (Final Quality Audit: FQA) เพื่อวัดค่า DPPM ภายหลังการตรวจสอบพบว่า มีค่า DPPM เท่ากับ 287 DPPM (จากเดิม 633 DPPM) และการที่มีจำนวน DPPM

ลดลงทำให้อัตราของเสียในระหว่างการตรวจสอบคุณภาพลดลงด้วย ทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมลดลง 54.67% ซึ่งเป็นมูลค่า 1,270,377 บาทต่อเดือน หรือประมาณ 11,505,454 บาทต่อปี เมื่อเทียบกับการพยากรณ์การผลิตในปี 2555

จากนั้นได้มีการจัดทำแผนควบคุมทั้งปัจจัยแบบตั้งค่าและ ปัจจัยเชิงคุณลักษณะ โดยทั้งหมดจะถูกกำหนดค่าไว้ในซอฟต์แวร์การผลิต และจัดให้มีการทำเป็นมาตรฐานสำหรับ ค่าระดับความต่างของสัญญาณ, ประเภทความถี่ในการเขียนสัญญาณ, อุณหภูมิในระหว่างการทดสอบ และขอบเขตการจัดการกับ Defect บนแผ่นเก็บข้อมูล โดยทั้งหมดสามารถตรวจสอบผ่านระบบออนไลน์ได้

และสุดท้ายได้จัดทำแผนภูมิควบคุมจำนวนข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ U-Chart เพื่อเป็นการตรวจสอบไม่ให้กระบวนการออกนอกเส้นควบคุม โดยหากออกนอกเส้นควบคุมก็จะมีแจ้งเตือนเจ้าหน้าที่การผลิตที่เกี่ยวข้องเข้าดำเนินการแก้ไขต่อไป

8.6 ข้อจำกัดในงานวิจัย

1. การทดลองต้องทำควบคู่ไปกับการผลิตจริง ดังนั้นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการทดลองจะมีปัญหาในเรื่องการขออนุญาตใช้ซอฟต์แวร์ดังกล่าวในสายการผลิต และไม่สามารถทำการทดลองในปริมาณที่มากในแต่ละวัน
2. ใช้เครื่องทดสอบร่วมกันระหว่าง กลุ่มตัวอย่างทดลอง กับงานการผลิตจริงเป็นเหตุให้บางครั้งเกิดการปะปนของกลุ่มงาน
3. การแปลงค่าข้อมูลบางตัวที่ใช้ในการทดลองเป็นความลับของโรงงานกรณีศึกษา และไม่สามารถเปิดเผยได้ทำให้ทราบแต่ค่าสุดท้ายของการนำไปใช้งาน
4. ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถบอกตัวเลขค่าใช้จ่ายทั้งหมดได้ โดยเฉพาะรายละเอียดของวัสดุอุปกรณ์เนื่องจากเป็นความลับของโรงงานกรณีศึกษา

8.7 ข้อเสนอแนะ

1. ผลการปรับปรุงกระบวนการทดสอบการอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในรุ่นดังกล่าวของงานวิจัยนี้ สามารถนำไปประยุกต์ในสายการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประเภทหรือรุ่นอื่นๆ ได้ โดยต้องคำนึงถึงข้อกำหนดเฉพาะบนผลิตภัณฑ์ประเภทหรือรุ่นนั้นๆ ด้วย
2. สามารถทำการปรับปรุงเพิ่มเติมในการลดข้อบกพร่องที่มีความสำคัญรองลงมาจากที่กำหนดไว้ในงานวิจัยนี้โดยใช้แนวทางในการวิเคราะห์แบบเดียวกัน

3. สามารถทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อต่อยอดในการแก้ไขปัญหาที่ระดับวัตถุประสงค์การผลิต เช่น หัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ โดยเฉพาะในส่วนการออกแบบ เพื่อเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยใช้กระบวนการทดสอบข้างต้นที่กล่าวมาเป็นตัวเลือกที่เพิ่มขึ้นมาในการทดสอบ
4. เครื่องมือทางสถิติ และเทคนิคต่างๆ ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในแต่ละขั้นตอน ตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา เป็นเพียงแนวทางหนึ่งเท่านั้น ซึ่งการนำแนวทางซิกซ์ ซิกมา มาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอื่นๆ ควรเลือกประยุกต์ใช้เครื่องมือต่างๆ ตามความเหมาะสม กับลักษณะของกระบวนการผลิตที่ทำการปรับปรุง และข้อจำกัดด้านอื่นๆ ของแต่ละโรงงานด้วย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) ประมวลผลด้วย MINITAB.

กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2549.

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ. พิมพ์ครั้งที่ 1.

กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2551.

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม. เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร :

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545.

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม. เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร :

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545.

ชาญชัย บวรโชคชัย. การลดของเสียแขนจับหัวอ่านด้วยวิธีซิกม่า: กรณีศึกษากระบวนการผลิต

แขนจับหัวอ่าน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะ

วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ชีวิรัตน์ กะจูนทอง. การลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องในการผลิตแกนหมุนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์

โดยใช้เทคนิคซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2551.

เดโช บุญครอง. การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลสำหรับการศึกษาผลกระทบของแขน

จับหัวอ่าน/เขียนในฮาร์ดดิสก์ไคลฟ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม

อุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย. การควบคุมคุณภาพสำหรับนักบริหารและกรณีศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 1.

กรุงเทพมหานคร : เอ็มแอนด์อี, 2538.

ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) เอกสารประกอบการเรียนการ

สอนวิชาการควบคุมคุณภาพขั้นสูง (Advanced Quality Control). กรุงเทพมหานคร :

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

เพ็ญประภา กล้ากลีการ. การปรับปรุงกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ตัวล็อกชุดหัวอ่านเพื่อลด

ข้อบกพร่องประเภทระยะความสูงของบอล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

- ทิวา แสนสม. การลดของเสียที่เป็นเม็ดฝุ่นในกระบวนการพ่นสีกันชนหน้าพลาสติกของรถยนต์ โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- สุกานดา พรหมเทพ. การลดของเสียในกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.
- นวลพรรณ ใจงาม. การลดของเสียที่เกิดจากการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิตย์ในกระบวนการประกอบหัวอ่าน โดยใช้แนวทางของซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- ปารเมศ ชูติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- ปาริชาติ บุญเกลี้ยง. การลดความผันแปรของขนาดหน้ากว้างของเทปโพลีเอทิลีนในกระบวนการตัดโดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- ปวีณสุดา ปานอำไพ. การลดของเสียผลิตภัณฑ์คอยล์เย็นในอุตสาหกรรมยานยนต์โดยการประยุกต์ใช้แนวทางของซิกซ์ ซิกมา (DMAIC). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
- สัมพันธ์ วุฒิศรสถล. เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตร Six Sigma Green Belt Training. กรุงเทพมหานคร : แมกเนคอมพิวเตอร์ ฟริชชั่น เทคโนโลยี, 2551.
- ภัทรา อายุวัฒน์. การลดของเสียที่เกิดจากค่าการรับน้ำหนักกดของชุดหัวอ่านสำเร็จไม่ได้ตามข้อกำหนดในกระบวนการประกอบหัวอ่านโดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- อาทิตย์ หงสพันธ์. การลดข้อบกพร่องในกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์โดยแนวทางซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
- นันท์ชญาณ์ จารัตน์. การลดปริมาณอนุภาคเปียร์ โซอิลด์ที่หลุดออกมาจากแกนจับหัวอ่าน/เขียนในฮาร์ดดิสก์ โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.

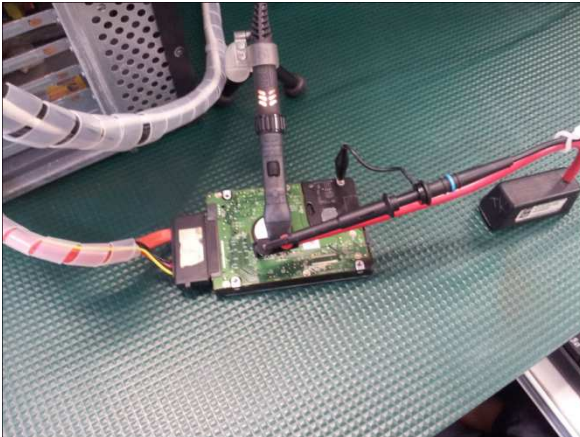
ภาษาอังกฤษ

- Automotive Industry Action Group (AIAG), Potential failure mode and effects analysis – Reference manual. 3rd ed. Michigan : Automotive Industry Action Group (AIAG), 2001.
- Breyfogle, F. W. III. Implementing SIX SIGMA Smarter Solutions Using Statistical Methods. New York : John Wiley & Sons, 2001.
- Montgomery, D. C. Design and Analysis of Experiments. Hoboken, N.J. : John Wiley & Sons, 2001.
- Pande, P. S. Neuman, R. P. and Cavanagh R. R. The SIX SIGMA Way How GE Motorola and Other Top Companies Are Honing Their Performance. New York : McGraw-Hill Book, 2000.
- Hines, W. W. and Montgomery, D. C. Probability and Statistics in Engineering and Management Science. 3rd ed. Wiley, New York, 1990
- Torsten, B.; Wanda, W.; Erling, R.; and Klaus, B. New type of piezoelectric transformer with very high power density. IEEE (2001): 321-324.
- Sameer, K.; and Micheal, S. Reflective practice using DMAIC Six Sigma to systematically improve shop floor production quality and costs. Journal of Productivity and Performance Management 58 (2009): 254-273.
- Bisgaard, S.; and Fuller, H. T. Analysis of factorial experiments with defects or defectives as the response. CQPI Report 119 (June 1994): 1-11.

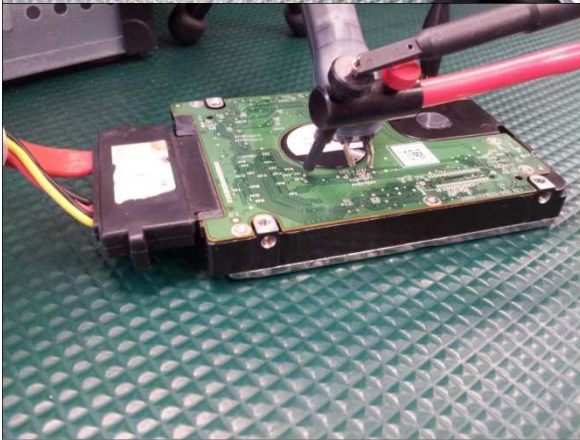
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

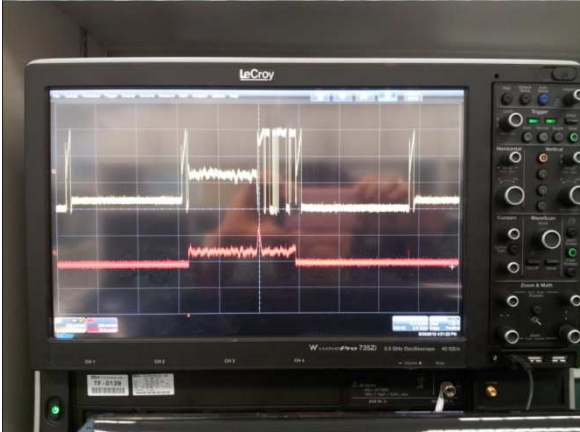
การวัดสัญญาณบนฮาร์ดดิสก์ด้วย Oscilloscope



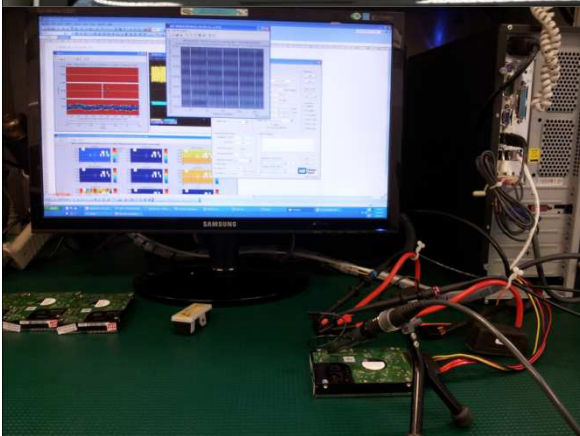
1). First of all the area that be able to perform Failure Analysis (FA) or paste any Hard Disk Drive (HDD), must be Electrostatic discharge (ESD) material to avoid HDD damage.



2). Grounding Host PC and Oscilloscope prior connect to HDD, also operator or any person have to wear Smock suite prior start working
3). Point to the location (refer to PCBA's schematic on specific product) that return the signal for measurement by probe



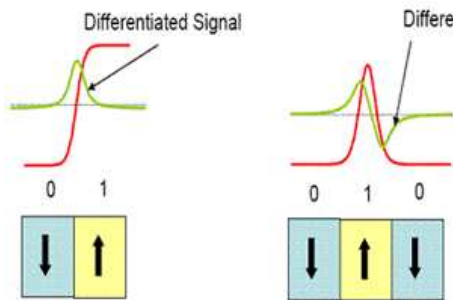
4). Adjust the setting on the scope panel to see the signal on the screen, after that the record the signal



5). Analysis the data on the Host PC and scope's picture where measuring.

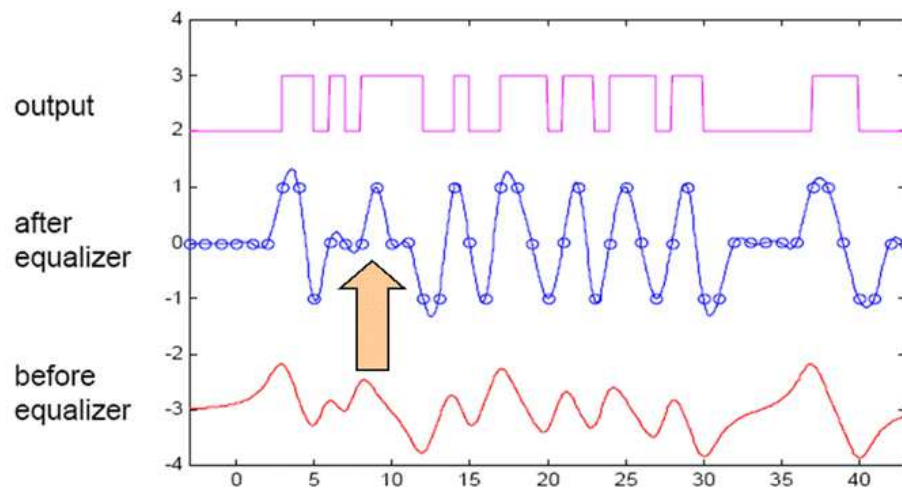
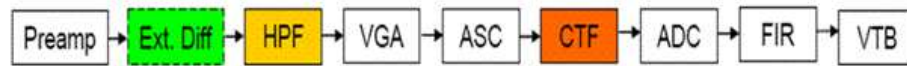
ภาคผนวก ข

ลักษณะการแปลงสัญญาอนุสัญญาเป็นดิจิทัล



Three possibilities:

- Use an external part between the preamp and the channel
 - Usually an RC network with a differentiator-like shape
- Use the input AC-coupling HPF in the channel
 - Increase the HPF cutoff frequency to approximate a differentiator shape
- Use the CTF in differentiation mode
 - Also called “matched-filter” mode from servo



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธีรนพ สุขอารมณ์ เกิดวันที่ 22 พฤษภาคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับ 2) สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะ/วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปี พ.ศ. 2549 หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2553