

การปรับปรุงอัตราผลิตผลของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

นางสาวอัจฉราภรณ์ คำรงวณิชย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

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.

BIT ERROR RATE IMPROVEMENT OF HARD DISK DRIVE

Miss Acharaporn Dumrongvanich

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	การปรับปรุงอัตราผลิตผลของฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟ
โดย	นางสาวอัจฉราภรณ์ คำรงวณิชย์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจันทร์ฉวีไชย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสงศ์ โรจนโรวรรณ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจันทร์ฉวีไชย)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.โอฬาร กิตติธีรพรชัย)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ จันทนา จันทโร)

อัญรารณณ์ คำรงวณิชย์ : การปรับปรุงอัตราบิตผิดพลาดของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์. (BIT ERROR RATE IMPROVEMENT OF HARD DISK DRIVE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร. อังศุมาลิน เสนจันทร์ศิไชย, 124 หน้า.

งานวิจัยฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการอ่าน-เขียนของหัวอ่านเขียนในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่เกี่ยวกับค่าอัตราบิตผิดพลาด จากการศึกษาข้อมูลขั้นต้นพบว่าค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ (Cpk) ของอัตราบิตผิดพลาดมีค่าเท่ากับ 0.72 ซึ่งต่ำกว่าข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านเดียวคือด้านต่ำที่มีค่าเท่ากับ 1.25 ในการปรับปรุงค่า Cpk ของอัตราบิตผิดพลาดจะประยุกต์ใช้หลักการของ Six Sigma 5 ขั้นตอนโดยเริ่มจากระยะนิยามปัญหา ระยะวิเคราะห์การวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา ระยะวิเคราะห์สาเหตุปัญหา ระยะปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และสุดท้ายคือระยะการติดตามควบคุม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าค่าความร้อนที่จ่ายให้กับหัวอ่านเขียน ค่าแอมพลิจูดของกระแส ค่าส่วนเกินของกระแส จำนวนสิ่งแปลกปลอมบนจานบันทึกข้อมูล และความกว้างของหัวอ่านเขียน เป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราบิตผิดพลาด เนื่องจากค่า p-value ของปัจจัยดังกล่าวมีค่าน้อยกว่า 0.05 แต่เนื่องจากจำนวนสิ่งแปลกปลอมบนจานบันทึกข้อมูล และความกว้างของหัวอ่านเขียนเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นการทดลองในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลสำหรับปัจจัยที่สามารถควบคุมได้จำนวน 3 ปัจจัย ผลจากการวิเคราะห์พบว่าอิทธิพลร่วมของปัจจัยค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียนและแอมพลิจูดของกระแส และอิทธิพลร่วมของแอมพลิจูดของกระแสและค่าส่วนเกินของกระแสมีผลต่ออัตราบิตผิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 5% และจากการวิเคราะห์ผลด้วยวิธีเชิงเส้นทั่วไปพบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของค่าความร้อนที่จ่ายให้กับหัวอ่านเขียน ค่าแอมพลิจูดของกระแส และค่าส่วนเกินของกระแส มีค่าเท่ากับ 35 DAC 10 มิลลิแอมป์ และ 9 มิลลิแอมป์ ตามลำดับ ผลจากการปรับปรุงกระบวนการด้วยการปรับระดับปัจจัยให้มีค่าที่เหมาะสมดังกล่าวพบว่าค่า Cpk ของอัตราบิตผิดพลาดเพิ่มขึ้นจาก 0.72 เป็น 2.38 และสัดส่วนของเสียประเภท Head related ลดลง 54.87% จาก 21.85% เป็น 9.86%

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

5371516921 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : BIT ERROR RATE / READ-WRITE HEAD / HARD DISK DRIVE / SIX SIGMA APPROACH

ACHARAPORN DUMRONVANICH : BIT ERROR RATE IMPROVEMENT OF HARD DISK DRIVE. ADVISOR : ASST.PROF.ANGSUMALIN SENJUNTICHAJ, D. Eng., 124 pp.

The objective of this research is to improve the performance of the read-write head process in Hard disk drive manufacturing with respect to Bit Error Rate (BER). With the preliminary survey, the process capability index (Cpk) of BER was 0.72 which is less than the one side acceptable value at 1.25. To improve Cpk of BER, five phases of Six sigma approach are applied starting from Define, Measure, Analyze, Improvement and Control phases (DMAIC). At 95% confidence, thermal protrusion, writing current amplitude, writing current overshoot, number of defects on media and writing head width are the significant factors for BER due to their p-values less than 0.05. Since the number of defects and writing head width are uncontrollable factors, the experiment are designed and performed based of Factorial design with three levels of each controllable factor. At 5% significance level, there are the interaction effects between the thermal protrusion and the writing current amplitude as well as the interaction affects between the writing current amplitude and the writing current overshoot. With the analysis of General Linear Model, the suggested values for the thermal protrusion, writing current amplitude and writing current overshoot are 35 DAC, 10 mA and 9 mA, respectively. Under the suggested condition, Cpk of BER is increased from 0.72 to 2.38 and the percentage of defective due to head related failure is reduced by 54.87% from 21.85% to 9.86%.

Department : Industrial Engineering Student's Signature

Field of Study : Industrial Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2012

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีจากความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจันทรณ์ไชย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆระหว่างการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องด้วยความเอาใจใส่เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ที่สุด

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสงศ์ โรจนโรวรรณ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.โอฬาร กิตติธิรพรชัย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์จันทนา จันทโร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ภายนอกมหาวิทยาลัย และรองศาสตราจารย์ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องจึงทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบริษัทกรณีศึกษาเป็นอย่างสูงที่ให้โอกาสผู้วิจัยได้เข้าไปทำการศึกษาวิจัย ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลและทำการทดลองเป็นอย่างดี และขอขอบพระคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ คณะทำงานที่ช่วยกันระดมสมอง ให้คำแนะนำ ความรู้ และความช่วยเหลือต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยเป็นอย่างยิ่ง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จ ให้ความช่วยเหลือสนับสนุน และให้กำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีได้กล่าวไว้ใน ณ ที่นี้ด้วย ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้งานวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ข้อมูลทั่วไปของบริษัทกรณีศึกษา.....	1
1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย.....	6
1.4 ขอบเขตของการทำวิจัย.....	7
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
1.7 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	8
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.1.1 การเชื่อมต่อของฮาร์ดดิสก์.....	11
2.1.2 ขนาดความจุของฮาร์ดดิสก์.....	12
2.1.3 ความเร็วรอบของฮาร์ดดิสก์.....	12
2.1.4 หน่วยความจำบัฟเฟอร์ของฮาร์ดดิสก์.....	12
2.1.5 บทบาทและความสำคัญของฮาร์ดดิสก์.....	12
2.1.6 การพัฒนาเทคโนโลยีการอ่าน-เขียนข้อมูล.....	13
2.1.7 การพัฒนาเชิงกลของระบบฮาร์ดดิสก์.....	14
2.2 หลักการและแนวความคิดของซิกซ์ ซิกม่า.....	14
2.2.1 ระยชนิยามปัญหา.....	15
2.2.2 ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา.....	17

	หน้า
2.2.3 ระยะการวิเคราะห์สาเหตุปัญหา.....	19
2.2.4 ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ.....	20
2.2.5 ระยะการติดตามควบคุม.....	24
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	27
บทที่ 3 ระเบียบนิยามปัญหา	34
3.1 บทนำ.....	34
3.2 ศึกษากระบวนการผลิต.....	34
3.3 สภาพปัญหาในปัจจุบัน.....	35
3.4 ตัวชี้วัดของงานวิจัย.....	38
3.5 การกำหนดทีมงานในการดำเนินงาน.....	39
3.6 สรุปผลระเบียบนิยามปัญหา.....	39
บทที่ 4 ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา.....	40
4.1 บทนำ.....	40
4.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงของระบบการวัด.....	40
4.2.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงของระบบการวัดของค่าอัตราบิดผิดพลาด ของหัวอ่านเขียน.....	41
4.3 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการอัตราบิดผิดพลาดของ หัวอ่านเขียนในปัจจุบัน.....	43
4.4 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า.....	48
4.4.1 การระดมความคิดฝั่งก้างปลาหรือผังสาเหตุและผล.....	48
4.4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล.....	49
บทที่ 5 ระยะการวิเคราะห์สาเหตุปัญหา.....	54
5.1 บทนำ.....	54
5.2 ปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบสมมติฐาน.....	54
5.3 การทดสอบสมมติฐาน.....	57
5.3.1 การกำหนดขนาดของจำนวนตัวอย่างเพื่อใช้ทดสอบสมมติฐาน.....	57
5.3.2 การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียน.....	58
บทที่ 6 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ.....	64
6.1 บทนำ.....	64

	หน้า
6.2 การออกแบบการทดลอง.....	64
6.2.1 จำนวนการทดลอง.....	64
6.2.2 การทดลองซ้ำ.....	65
6.2.3 ตัวแปรตอบสนอง.....	66
6.3 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง.....	69
6.3.1 ตรวจสอบข้อกำหนดของแบบจำลอง.....	69
6.3.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วย General Linear Model.....	71
6.3.3 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของระดับปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง คืออัตราบิดผิพลาต.....	72
บทที่ 7 ระยะเวลาติดตามควบคุม.....	76
7.1 บทนำ.....	76
7.2 การทดสอบยืนยันผล.....	76
7.3 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบยืนยันผล.....	77
7.4 การติดตามผลการทดลอง.....	78
7.5 ผลการปรับปรุงระดับของปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราบิดผิพลาต.....	79
7.5.1 สัดส่วนของเสียแบ่งตามสาเหตุหรือลักษณะ.....	79
7.5.2 จำนวนและค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียประเภท Head Related.....	81
7.6 การวางแผนควบคุมระดับปัจจัย.....	83
บทที่ 8 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	85
8.1 บทนำ.....	85
8.2 บทสรุปจากระยะนิยามปัญหา.....	85
8.3 บทสรุประยะการวิเคราะห์การวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา.....	85
8.4 บทสรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุปัญหา.....	86
8.5 บทสรุประยะปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ.....	87
8.6 บทสรุประยะการติดตามควบคุม.....	87
8.7 ข้อจำกัดในการทดลอง.....	88
8.8 ข้อเสนอแนะ.....	88
รายการอ้างอิง.....	89

ภาคผนวก.....	92
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	124

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 เกณฑ์วัดระดับคะแนนของซีกซ์ ซิกม่า.....	15
ตารางที่ 2.2 ค่าคำแนะนำสำหรับค่าที่ต่ำที่สุดของดัชนี Cpk.....	18
ตารางที่ 2.3 ผลการตัดสินใจจากการทดสอบสมมติฐาน.....	20
ตารางที่ 2.4 ค่าคงที่สำหรับการคำนวณขีดจำกัดของแผนภูมิ $\bar{X} - R$	27
ตารางที่ 3.1 ต้นทุนต่อหน่วยของส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์.....	37
ตารางที่ 4.1 ขนาดสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบด้วยข้อมูลผันแปรผัน.....	41
ตารางที่ 4.2 ผลการวัดค่าอัตราเบ็ดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน.....	42
ตารางที่ 4.3 เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการยอมรับ.....	43
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของปัจจัยที่มีผลกระทบ ต่ออัตราเบ็ดผิดพลาด.....	50
ตารางที่ 4.5 ผลลัพธ์การให้คะแนนจากตาราง Cause & Effect Matrix.....	53
ตารางที่ 5.1 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราเบ็ดผิดพลาดเพื่อนำมาพิสูจน์นัยสำคัญของ สาเหตุของปัญหาด้วยวิธีการทดสอบสมมติฐาน.....	55
ตารางที่ 5.2 สรุปผลการทดสอบความแปรปรวนของสองประชากรเบื้องต้น โดยค่า สถิติทดสอบเอฟของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราเบ็ดผิดพลาด.....	60
ตารางที่ 5.3 สรุปผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราเบ็ดผิดพลาด.....	61
ตารางที่ 5.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราเบ็ดผิดพลาด.....	63
ตารางที่ 6.1 การกำหนดสัญลักษณ์และระดับของปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่ออัตราเบ็ดผิดพลาด....	65
ตารางที่ 6.2 ตารางบันทึกผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียล.....	66
ตารางที่ 6.3 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมของอัตราเบ็ดผิดพลาด.....	74
ตารางที่ 7.2 เปรียบเทียบค่าความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังปรับปรุง.....	78
ตารางที่ 7.3 แผนการควบคุมในกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์.....	84

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ A ในช่วงเดือนกรกฎาคม 2554 ถึง เดือนมิถุนายน 2555.....	3
รูปที่ 1.2 แผนผังกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์.....	4
รูปที่ 1.3 แผนภูมิพาราโตของเสียแบ่งตามสาเหตุหรือลักษณะเดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555.....	5
รูปที่ 1.4 จำนวนของเสียย่อยแยกตามประเภทของ Head related เดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555.....	6
รูปที่ 1.5 ความสามารถของกระบวนการของค่าอัตราบิดผิดพลาด.....	7
รูปที่ 2.1 แสดงความหมายของซีกซ์ ซีกม่า และระดับคะแนนของซีกซ์ ซีกม่า.....	15
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการดำเนินการซีกซ์ ซีกม่า.....	16
รูปที่ 3.1 แผนผังกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์.....	34
รูปที่ 3.2 แผนภูมิพาราโตของเสียแบ่งตามสาเหตุหรือลักษณะเดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555.....	35
รูปที่ 3.3 สัดส่วนของเสียที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ A เดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555.....	36
รูปที่ 3.4 จำนวนและค่าใช้จ่ายของของเสียประเภท Head Related เดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555.....	37
รูปที่ 3.5 จำนวนของเสียย่อยแยกตามประเภทของ Head เดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555.....	38
รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบระบบการวัดของค่าอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน.....	43
รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบระบบการวัดของค่าอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน (2)	44
รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบระบบการวัดของค่าอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน (3)	45
รูปที่ 4.4 ความสามารถของกระบวนการของค่าอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียนใน ปัจจุบัน.....	46
รูปที่ 4.5 ความสามารถของกระบวนการของค่าอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียนใน ปัจจุบัน (ใหม่).....	47
รูปที่ 4.6 ฟังก์ชันปลาหรือฟังก์ชันสาเหตุและผลแสดงปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราบิดผิดพลาด ของหัวอ่านเขียนไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านต่ำ.....	51

รูปที่ 4.7 แผนภูมิแท่งเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลกระทบต่ออัตราบิดผิพลาต.....	52
รูปที่ 5.1 การคำนวณขนาดตัวอย่างของการทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test.....	58
รูปที่ 5.2 ผลการคำนวณขนาดตัวอย่างของการทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test.....	58
รูปที่ 5.3 ผลการทดสอบความแปรปรวนของสองประชากรเบื้องต้น โดยค่าสถิติทดสอบเอฟ	59
รูปที่ 5.4 ผลการทดสอบ 2 Sample T.....	60
รูปที่ 6.1 การใช้ MINITAB ในการหาจำนวนการทดลองซ้ำ.....	65
รูปที่ 6.2 ผลการหาจำนวนการทดลองซ้ำ.....	66
รูปที่ 6.3 ผลการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติของอัตราบิดผิพลาต.....	70
รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตกค้างและค่าที่ถูกฟีดของอัตราบิดผิพลาต.....	70
รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตกค้างของอัตราบิดผิพลาตตามลำดับการทดลอง.....	71
รูปที่ 6.6 ผลการวิเคราะห์ด้วย General Linear Model.....	72
รูปที่ 6.7 ผลของอิทธิพลร่วมที่มีต่ออัตราบิดผิพลาต.....	73
รูปที่ 6.8 ผลของปัจจัยหลักที่มีต่ออัตราบิดผิพลาต.....	73
รูปที่ 7.1 ขั้นตอนที่ใช้ในการทดสอบการทำงานของฮาร์ดดิสก์.....	74
รูปที่ 7.2 ฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในการทดสอบยืนยันผล.....	77
รูปที่ 7.3 ผู้ทดสอบการทำงานของฮาร์ดดิสก์.....	78
รูปที่ 7.4 ความสามารถของกระบวนการของค่าอัตราบิดผิพลาตของหัวอ่านเขียนหลังการ ปรับปรุง.....	79
รูปที่ 7.5 แผนภูมิ I-MR อัตราบิดผิพลาตช่วงการติดตามผล.....	80
รูปที่ 7.6 สัดส่วนของเสียที่ประเภท Head Related ก่อนและหลังการปรับปรุง.....	80
รูปที่ 7.7 ผลการทดสอบ 2 Proportion ของสัดส่วนของเสียก่อนและหลังการปรับปรุง.....	81
รูปที่ 7.8 สัดส่วนของเสียที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ A ก่อนและหลังการปรับปรุง.....	81
รูปที่ 7.9 จำนวนและค่าใช้จ่ายของของเสียประเภท Head Related ก่อนและหลังการปรับปรุง	82
รูปที่ 7.10 ผลการทดสอบ 2 Sample T ของจำนวนของเสียก่อนและหลังการ ปรับปรุง.....	82
รูปที่ 7.11 ไบบันทึกรการตรวจสอบค่าระดับปัจจัยที่ปรับตั้งก่อนการทดสอบหัวอ่านเขียน.....	83

บทที่ 1

บทนำ

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับการจัดเก็บข้อมูลที่สำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากการพัฒนาการเก็บบันทึกข้อมูลให้มีความจุมากขึ้น เพื่อรองรับการใช้งานที่หลากหลาย นอกจากการเก็บบันทึกข้อมูลได้มากขึ้นแล้ว ฮาร์ดดิสก์ยังมีความน่าเชื่อถือในการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล ดังนั้นฮาร์ดดิสก์จึงเป็นที่นิยมอย่างยิ่งในการเก็บบันทึกข้อมูลในปัจจุบัน

ปัจจุบันพบว่าประเทศไทยเป็นแหล่งการผลิตฮาร์ดดิสก์รายหลักในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ของโลก เนื่องจากผู้ผลิตรายใหญ่ทั้งหมดได้มีการตั้งฐานการผลิตในประเทศไทยแทบทั้งสิ้น ดังนั้นอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ของประเทศไทยจึงมีการแข่งขันกันสูงมาก ทำให้แต่ละบริษัทต้องทำการเพิ่มส่วนแบ่งทางการตลาดของตนเองให้สูงที่สุด โดยกลยุทธ์ที่แต่ละบริษัทนำมาใช้คือการสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า โดยทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีความแตกต่างและเหนือกว่าคู่แข่ง เช่นมีการพัฒนาด้านความจุในการบันทึกข้อมูล ด้านความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูล และราคาของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น โดยเฉพาะการพัฒนาในเรื่องของประสิทธิภาพในการจัดเก็บข้อมูลให้สามารถจัดเก็บข้อมูลได้มากขึ้นเป็นส่วนสำคัญในการแข่งขันในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์เป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากบริษัทใดสามารถนำสินค้าของตัวเองออกสู่ตลาดได้เร็วกว่าบริษัทอื่น จะทำให้ได้เปรียบคู่แข่งเป็นอย่างมากในด้านการค้า อีกทั้งด้านการลดต้นทุนก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทุกบริษัทให้ความสนใจในการที่ลดต้นทุนการผลิตของตนเองให้ได้มากที่สุด โดยทำการควบคุมการผลิตให้มีของเสียเกิดน้อยที่สุด เพื่อลดต้นทุนที่ไม่จำเป็นที่ส่งผลให้เกิดความสูญเสียทั้งด้านแรงงาน วัตถุดิบ และเวลา ทั้งหมดนี้จึงเป็นกลยุทธ์สำคัญที่แต่ละบริษัทนำมาใช้สร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าและตอบสนองความต้องการของลูกค้าให้ได้มากที่สุด

1.1 ข้อมูลทั่วไปของบริษัทกรณีศึกษา

บริษัทกรณีศึกษาเป็นหนึ่งในบริษัทผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์รายใหญ่ของโลก ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (บีโอไอ) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526 ปัจจุบันมีฐานการผลิต 2 แห่งในจังหวัดสมุทรปราการและจังหวัดนครราชสีมา มีส่วนแบ่งการตลาดฮาร์ดดิสก์ประมาณ 40 % คิดเป็นอันดับที่ 2 ของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ โดยในปี 2553 มียอดการส่งออกฮาร์ดดิสก์ถึง 50.3 ล้านตัว

บริษัทกรณีศึกษามุ่งเน้นด้านการบริหารจัดการด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์และการบริการ อีกทั้งยังมีจุดเด่นซึ่งเป็นที่ยอมรับในวงการอุตสาหกรรมการผลิตด้านเทคโนโลยี 4 ด้าน ได้แก่

1. การผลิตที่ใช้เครื่องจักรอัตโนมัติ (Advanced Manufacturing) โดยมีการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาใช้ในกระบวนการผลิตและการลดของเสียทุกรูปแบบ

2. การนำเครื่องมือบริหารจัดการซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) มาใช้ทั่วทั้งองค์กรทำให้สามารถประหยัดต้นทุน (Cost Saving) ได้อย่างมาก

3. การนำระบบซัพพลายเชน แมนเนจเม้นท์ (Supply Chain Management) มาใช้ในกระบวนการผลิต ทำให้การส่งมอบ สินค้ามีความรวดเร็ว

4. การนำระบบ Web-Enabled Business Process มาใช้ในทุกระบบงานของกิจการ ซึ่งเป็นระบบเดียวกันทั้งองค์กรของบริษัทกรณีศึกษาทั่วโลก ทำให้สามารถเชื่อมโยงข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพกับทุกฐานการผลิต

ประกอบกับบริษัทยังมีโครงการหลัก 3 โครงการซึ่งสนับสนุนศักยภาพในการนำผลิตภัณฑ์ออกสู่ตลาดอย่าง ทันทั่วถึง และเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานบริษัท

1. โครงการซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งเป็นโครงการที่ได้รับการยอมรับและถูกนำมาใช้ในองค์กรหลายแห่งทั่วโลก เป็นอีกโครงการหนึ่งซึ่งบริษัทนำมาใช้ในการรักษาความเป็นผู้นำในอุตสาหกรรม ซึ่งมีกลยุทธ์และจุดประสงค์ในการยกระดับประสิทธิภาพในการดำเนินงานคุณภาพและการสร้างความพึงพอใจสำหรับลูกค้าโครงการซิกซ์ ซิกม่า เป็นปรัชญาซึ่งมีจุดมุ่งหมายในการลดข้อผิดพลาด ปรับปรุงประสิทธิภาพในการผลิต ลดของเสียและลดค่าใช้จ่ายภายในบริษัท

2. โครงการซัพพลายเชน แมนเนจเม้นท์ เป็นโครงการที่บริษัทให้ความสำคัญมาก เนื่องจากโครงการนี้ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการบริหารวัตถุดิบและการตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้า วัตถุประสงค์ของโครงการซัพพลายเชนคือการยกระดับประสิทธิภาพในการดำเนินงานผ่านทางกระบวนการผลิตที่คล่องตัว การลดระดับสินค้าคงคลังและการสร้างความคล่องตัวในการผลิต นอกจากนี้โครงการนี้ยังช่วยปรับปรุงผลการดำเนินงานด้านการเงินของบริษัทผ่านทางความสัมพันธ์เชิงกลยุทธ์กับคู่ค้า ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าคงคลังที่ลดต่ำลงและระยะเวลาในการนำผลิตภัณฑ์ออกสู่ตลาดที่รวดเร็วยิ่งขึ้น

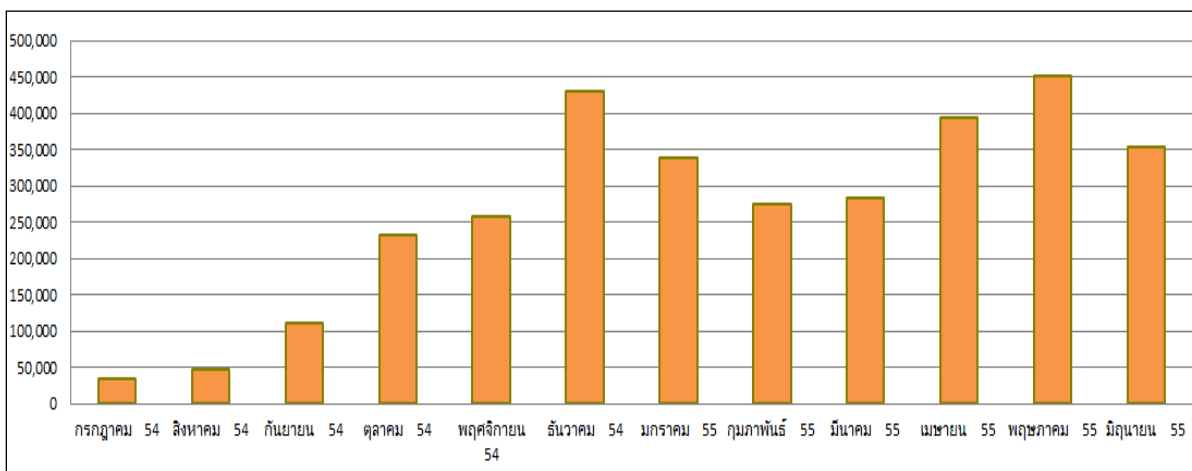
3. โครงการทีมหลักเป็นการทำงานร่วมกันของทุกแผนกภายในบริษัทซึ่งประกอบไปด้วยฝ่ายวิศวกรรมฝ่ายผลิต ฝ่ายคุณภาพ ฝ่ายวัตถุดิบ ฝ่ายปฏิบัติการและโรงงาน สมาชิกในทีมได้รับมอบหมายให้รับผิดชอบการดำเนินงานในด้านการบริหารผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการตัดสินใจเกี่ยวกับเรื่องสำคัญต่าง ๆ ทำให้ทีมผู้บริหารระดับสูงสามารถวางแผนกลยุทธ์ นอกจากนี้ทีมหลักซึ่งปฏิบัติงานด้านการจัดสรรทรัพยากรและพัฒนาธุรกิจยังช่วยให้การทำงานของหน่วยงานต่างๆ เป็นไปอย่างสอดคล้องกันเพื่อเพิ่มพูนประสิทธิภาพและความเร็วในการปฏิบัติงานในระดับสูงสุด

1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันบริษัทฮาร์ดดิสก์ต่างให้ความสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีความจุมากที่สุด ประกอบกับปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ A ที่มีความจุข้อมูลสูงสุดถึง 3,000 จิกะไบต์ ซึ่งเป็น

ผลิตภัณฑ์ที่มีความจุมากที่สุดในบริษัทกรณีศึกษาในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554 ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2555 มีปริมาณการผลิตที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ ดังแสดงในรูปที่ 1.1

ผลิตภัณฑ์ A เป็นฮาร์ดดิสก์ขนาด 3.5 นิ้ว มีหัวอ่านเขียนจำนวน 10 หัว และแผ่นดิสก์จำนวน 5 แผ่น ทางด้านอินเทอร์เฟซการเชื่อมต่อจะพัฒนาเป็น SATA3 ความเร็ว 6Gb/s และมีความเร็วรอบอยู่ที่ 7,200 RPM ความเร็วในการค้นหาข้อมูลที่ 8.5 ms และความเร็วในการเขียนข้อมูลที่ 9.5 ms

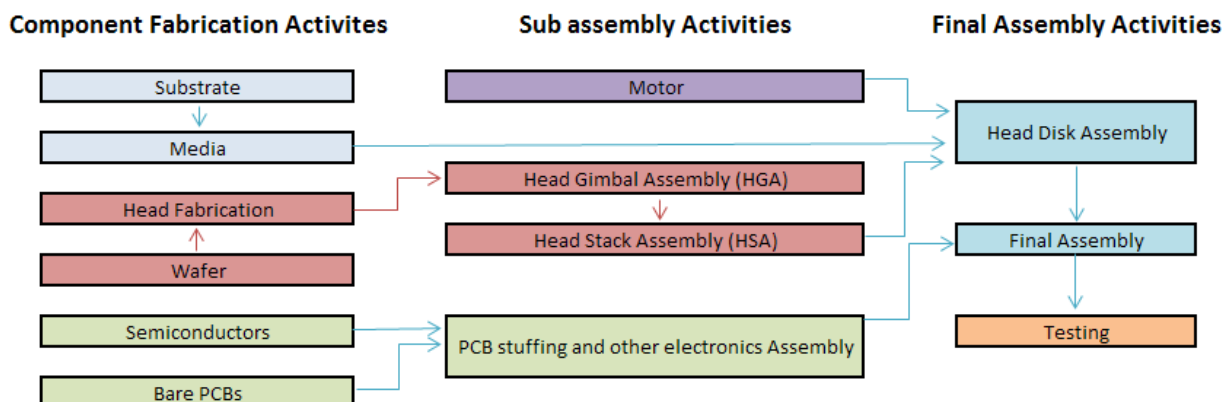


รูปที่ 1.1 ปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ A ในช่วงเดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลายชิ้น ชิ้นส่วนหลักที่สำคัญ คือมอเตอร์ (Motor) หัวอ่านเขียนข้อมูล (Head Stack Assembly: HSA) งานบันทึกข้อมูล (Media) และ แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Printed Circuit Board: PCB) โดยมีผังกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ตามรูปที่ 1.2

ในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ขั้นสุดท้าย (Final Assembly) นอกจากการประกอบผลิตภัณฑ์ที่ให้ครบถ้วนถูกต้องแล้ว หลักการสำคัญในการผลิตฮาร์ดดิสก์คือ การทดสอบการทำงานของฮาร์ดดิสก์ (Testing) เพื่อให้ได้คุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ ในช่วงทดสอบการทำงานของฮาร์ดดิสก์นี้พบว่า ได้มีของเสียเกิดขึ้นจากกระบวนการนี้เป็นจำนวนมากโดยสาเหตุที่ทำให้การทำงานของฮาร์ดดิสก์ไม่เป็นไปตามลูกค้าที่ต้องการสามารถจำแนกออกเป็นสาเหตุต่างๆ ได้ดังนี้

1. Head Related เป็นปัญหาของการทำงานของหัวอ่านเขียนข้อมูลที่ไม่ได้คุณภาพทั้งหมดซึ่งประกอบไปด้วยลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนไม่ได้ระดับตามต้องการ สัญญาณที่ได้จากหัวอ่านมีลักษณะไม่สมมาตร การเขียนข้อมูลไปรบกวนสัญญาณของแทร็กข้างเคียง และข้อมูลที่อ่านได้ของหัวอ่านมีความผิดพลาดไปจากข้อมูลเป็นจริง เป็นต้น



รูปที่ 1.2 แผนผังกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ (Recording Head Manufacturing Basic, 2552)

2. Media Related เป็นปัญหาที่เกี่ยวกับสิ่งผิดปกติที่เกิดลงบนจานบันทึกข้อมูล โดยลักษณะของเสี้ยวที่เกิดขึ้นอาจจะเกิดได้จากงานบันทึกข้อมูลในสภาวะอุณหภูมิปกติ หรืออาจเป็นของเสี้ยวที่เกิดขึ้นเมื่องานบันทึกข้อมูลเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Thermal Asperity: TA) ก็ได้

3. MDW Related เป็นปัญหาเกี่ยวกับการเขียนสัญญาณข้อมูลลงบนจานบันทึกข้อมูลไม่ได้ตามกำหนดเนื่องจากการบอกตำแหน่งการอ่านเขียนข้อมูลผิดพลาด ปัญหาดังกล่าวนี้เป็นปัญหาที่มาจากงานบันทึกข้อมูลที่มาจากผู้ขายโดยตรง

4. Drive Build Process เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ เช่น ขั้นตอนการผลิตไม่ได้มาตรฐานส่งผลให้เกิดของเสี้ยวเกิดขึ้นและการเกิดปัญหาเกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตที่ส่งผลให้หัวอ่านเขียนเกิดข้อบกพร่อง ลักษณะข้อเสี้ยวประเภทนี้จะเกิดก่อนเข้ากระบวนการทดสอบการทำงานฮาร์ดดิสก์

5. Drive Test Process เป็นปัญหาที่เกิดจากอุปกรณ์ในการทดสอบการทำงานฮาร์ดดิสก์ไม่ได้คุณภาพ ประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ไม่มีเสถียรภาพ โค้ดที่ใช้ในการทดสอบการทำงานฮาร์ดดิสก์มีความผิดพลาดส่งผลให้ฮาร์ดดิสก์ทดสอบไม่ได้ตามที่กำหนด และความผิดพลาดจากคนงานในการควบคุมเครื่องทดสอบ เป็นต้น

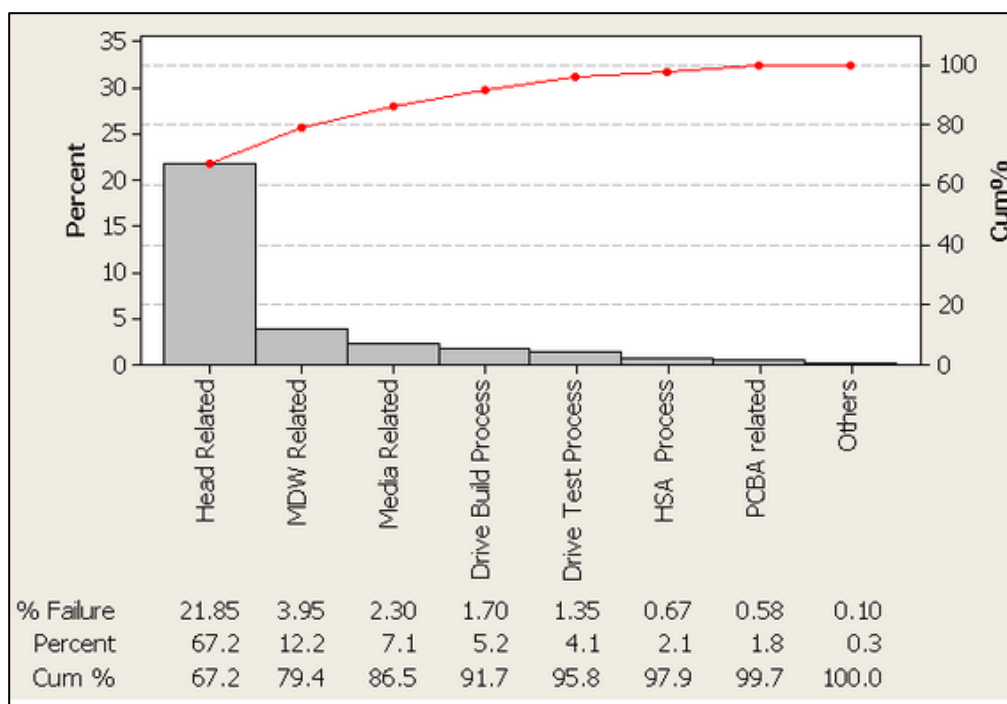
6. HSA Process เป็นปัญหาที่เกิดจากกระบวนการผลิตหัวอ่านเขียนไม่ได้มาตรฐาน แล้วนำหัวอ่านเขียนที่ไม่ได้มาตรฐานนั้นถูกส่งมาประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์

7. PCBA related เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นที่บอร์ดควบคุมการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไม่ได้ประสิทธิภาพ เช่น ไอซีของบอร์ดเกิดชำรุดเสียหาย เป็นต้น

8. Others เป็นปัญหาที่นอกเหนือจากที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้น

จากการรวบรวมปริมาณของเสี้ยวของผลิตภัณฑ์ A แยกตามลักษณะหรือสาเหตุของการเกิดของเสี้ยวตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554 ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2555 ดังแสดงในรูปที่ 1.3 พบว่าสัดส่วนของเสี้ยว

ประเภท Head related มีสัดส่วนของเสียสูงที่สุดเท่ากับ 21.85% โดยมีสัดส่วนของเสียคิดเป็น 67.2% จากสัดส่วนของเสียรวมทั้งหมด

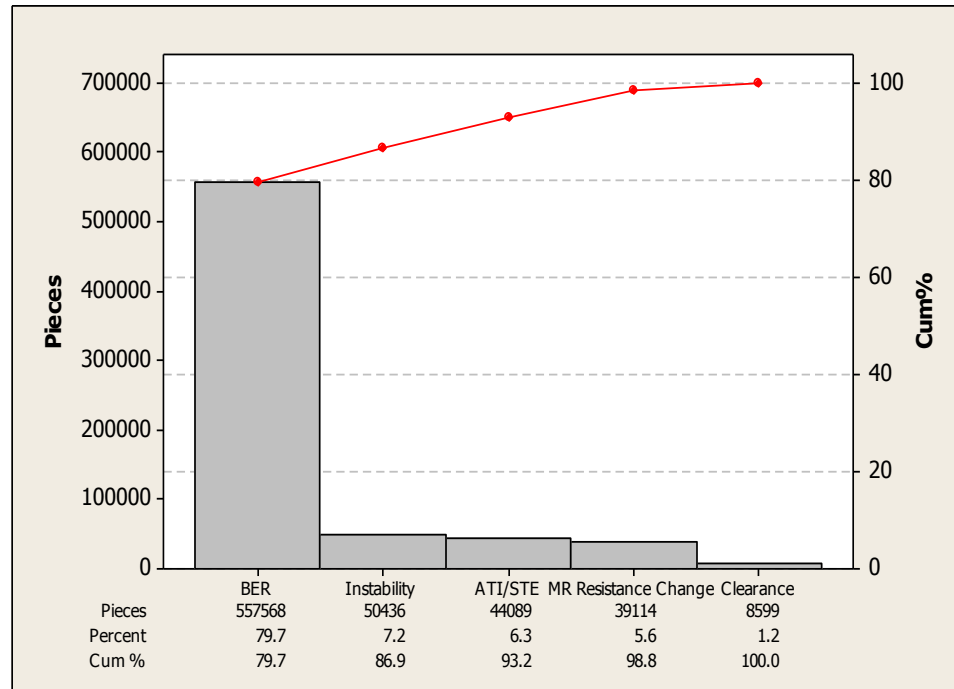


รูปที่ 1.3 แผนภูมิพาราโตของเสียแบ่งตามสาเหตุหรือลักษณะเดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555

โดยของเสียประเภท Head Related สามารถแยกประเภทของเสียย่อยได้เป็น 5 ประเภท ดังนี้

1. ของเสียที่เกิดจากข้อมูลที่อ่านได้ของหัวอ่านมีความผิดพลาดไปจากข้อมูลจริง (Low Bit Error Rate (BER))
2. ของเสียที่เกิดจากลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนไม่ได้ระดับตามต้องการ (Poor Clearance)
3. ของเสียที่เกิดจากสัญญาณที่ได้จากหัวอ่านมีลักษณะไม่สมมาตร (Instability)
4. ของเสียที่เกิดจากการเขียนข้อมูลของแทร็กที่สนใจไปรบกวนสัญญาณของแทร็กข้างเคียง (Adjacent Track Interference: ATI)/Side Track Erasure: STE)
5. ของเสียที่เกิดจากค่าความต้านทานของหัวอ่านเขียนมีค่าผิดปกติไปจากเดิม (Resistance Change)

เมื่อพิจารณาตามแผนภาพพาราโตจำนวนของเสียย่อยแยกตามประเภทของ Head related ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554 ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2555 ในรูปที่ 1.4 พบว่าของเสียที่พบมากที่สุดคือของเสียประเภท ข้อมูลที่อ่านได้ของหัวอ่านมีความผิดพลาดไปจากข้อมูลจริงหรือ Low BER คิดเป็นสัดส่วน 79.7% จากของเสียรวมทั้งหมด ดังนั้นอาศัยหลักการ 80:20 ของพาราโต งานวิจัยนี้จึงเลือกทำการลดของเสีย Head related ประเภท Low BER

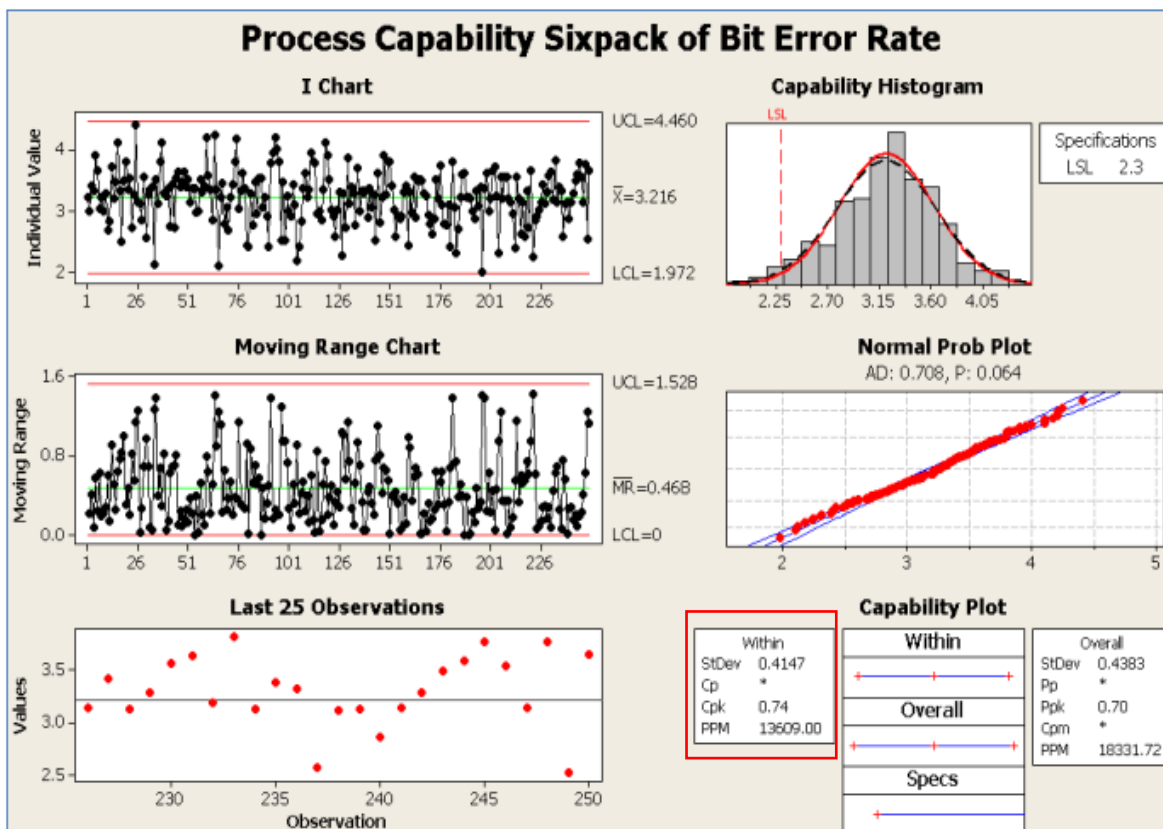


รูปที่ 1.4 จำนวนของเสียย่อยแยกตามประเภทของ Head related เดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555

สำหรับของเสียประเภทอัตราบิตผิดพลาดจะเป็นของเสียประเภทหนึ่งของหัวอ่านเขียน ที่บ่งบอกว่าหัวอ่านเขียนมีประสิทธิภาพที่ต่ำ เราสามารถวัดค่าอัตราบิตผิดพลาดได้จากการเขียนข้อมูลลงไป ในแทร็กแทร็กหนึ่งที่สนใจ จากนั้นจึงทำการอ่านข้อมูลที่เขียนลงไปว่ามีบิตผิดพลาดมากน้อยเพียงใด จากที่ทราบกันแล้วว่ค่า BER ที่ในงานวิจัยนี้แสดงอยู่รูปของ $-\log_{10}(BER)$ ถ้ามีค่าสูงยิ่งดีแสดงถึงมีอัตราบิตผิดพลาดที่น้อย ดังนั้นทางบริษัทกรณีศึกษาจึงมีข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านเดียวคือมีข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ด้านต่ำซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.3 เมื่อพิจารณาถึงความสามารถของ กระบวนการของค่า BER พบว่ามีค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการหรือ Cpk ที่ต่ำคือมีค่า 0.74 เมื่อพิจารณาจาก Montgomery (1996) ที่ได้กำหนดค่าดัชนี Cpk ที่ต่ำที่สุดของข้อกำหนดเฉพาะแบบ พิกัดด้านเดียวคือ 1.25 ประกอบกับค่าความแปรปรวนมีค่าค่อนข้างมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการ ปรับปรุงความสามารถของกระบวนการให้มีค่า Cpk ที่ดีขึ้น

1.3 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย

1. ปรับปรุงกระบวนการเพื่อเพิ่มค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ (Cpk) ของอัตรา บิตผิดพลาดของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
2. กำหนดแผนการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



รูปที่ 1.5 ความสามารถของกระบวนการของค่าอัตราบิตผิดพลาด

1.4 ขอบเขตของการทำวิจัย

1. ศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ A ขนาดความจุ 3000 จิกะไบต์
2. ศึกษาปัญหาที่เกี่ยวกับอัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียน โดยมีค่าอัตราบิตผิดพลาดที่ไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านเดียวคือด้านต่ำ
3. ตัวชี้วัดของงานวิจัยคือค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการของอัตราบิตผิดพลาดในผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ A

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ค่าปัจจัยต่างๆในกระบวนการผลิตที่สามารถเพิ่มค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการของอัตราบิตผิดพลาดของฮาร์ดดิสก์ได้र्फ
2. แผนการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ได้र्फ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถวิเคราะห์หาสาเหตุที่มีผลต่อประสิทธิภาพการอ่านเขียนข้อมูลของหัวอ่านเขียนใน ส่วนของอัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียนในผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ได้อย่างถูกต้อง
2. ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน of ผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ เพื่อสร้างความพึงพอใจและ ตอบสนองความต้องการให้กับลูกค้า
3. ลดปริมาณของเสียประเภทอัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียน
4. ลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียประเภทอัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียน
5. เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาจำนวนของเสียประเภทอัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียนใน ผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆ

1.7 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ทำการศึกษาวิจัยโดยเลือกใช้นิวคูลิ ชิกซ์ ซิกม่า ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ระยะเวลาศึกษาข้อมูลและนิยามปัญหา (Define Phase)

- 1) ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่ เกี่ยวกับการลดของเสียในอุตสาหกรรมการผลิต ฮาร์ดดิสก์ตามวิธีชิกซ์ ซิกม่า และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการอ่านเขียนข้อมูลของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์
- 2) ศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ในการดำเนินการวิจัย โดยใช้แผนภูมิ การไหลของกระบวนการ (Flow Process Chart) เพื่อวิเคราะห์ปัญหาในปัจจุบัน เก็บข้อมูล จัดลำดับ ความสำคัญของปัญหาเพื่อระบุปัญหา เป้าหมาย และขอบเขตที่ชัดเจน
- 3) จัดตั้งคณะทำงานเพื่อเข้าร่วมทีมปรับปรุงคุณภาพ โดยเลือกจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องใน กระบวนการทดสอบการทำงาน of หัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์

2. ระยะเวลาวิเคราะห์ระบบการวัด (Measure Phase)

- 1) วิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการของค่าอัตราบิตผิดพลาด โดยใช้ดัชนีชี้วัด ความสามารถของกระบวนการ Cpk
- 2) ระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variables : KPIVs) โดย วิเคราะห์หาสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ทำให้้อัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียนมีค่าไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะ ของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านเดียวคือด้านต่ำโดยใช้แผนภูมิแกงปลา
- 3) วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) โดยการ ให้คะแนนเพื่อเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้า เพื่อพิสูจน์นัยสำคัญของสาเหตุของปัญหาต่อไป ด้วยวิธีการทางสถิติ

3. ระยะเวลาวิเคราะห์สาเหตุปัญหา (Analysis Phase)

1) นำปัจจัยนำเข้าที่เลือกมาทดสอบทางสถิติว่ามีผลอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ต่อคุณภาพ หัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ประเภทอัตราบิดผิดพลาด โดยใช้วิธีการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

4. ระยะเวลาปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

1) นำปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณภาพหัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์โดยใช้วิธีออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถเพิ่มค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการของอัตราบิดผิดพลาดของฮาร์ดดิสก์ได้

2) ทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้

3) วิเคราะห์และสรุปค่าที่ทำให้หัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์มีค่าอัตราบิดผิดพลาดที่เหมาะสมที่สุด

5. ระยะเวลาติดตามควบคุม (Control Phase)

1) ทำการทดสอบอีกครั้งเพื่อยืนยันผลหลังการทดลองจากการใช้ปัจจัยที่วิเคราะห์ว่ามีความเหมาะสมที่สุด

2) ประเมินตัวชี้วัดความสามารถของกระบวนการ C_{pk} หลังจากที่ได้ทำการปรับปรุงด้วยค่าปัจจัยที่เหมาะสมแล้ว

3) วางแผนควบคุมคุณภาพของกระบวนการหลังการปรับปรุง

4) สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ฮาร์ดดิสก์เป็นอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลประเภทหนึ่ง ปัจจุบันได้มีการพัฒนาการเก็บบันทึกข้อมูลให้มีความจุมากขึ้นกว่าเดิม เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยตลาดในปัจจุบันต้องการแหล่งข้อมูลที่มีความจุเป็นปริมาณมาก มีความน่าเชื่อถือในด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล ทำให้ฮาร์ดดิสก์ได้ถูกนำไปใช้งานนอกเหนือจากคอมพิวเตอร์ เช่น อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์สำหรับผู้บริโภค (Consumer Electronics : CE) , การนำฮาร์ดดิสก์มาทำเป็นเครือข่ายส่วนตัว (Network Attached Storage : NAS) และ การนำฮาร์ดดิสก์มาเป็นพื้นที่ส่วนกลางในการเก็บข้อมูล (Storage Area Network: SAN)

ฮาร์ดดิสก์ที่มีกลไกแบบปัจจุบันถูกประดิษฐ์ขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2499 โดยนักประดิษฐ์ยุคบุกเบิกแห่งบริษัทไอบีเอ็ม เรย์โนลด์ จอห์นสัน โดยมีความจุเริ่มแรกที่ 100 kb มีขนาด 20 นิ้วในปี ค.ศ. 1980 ฮาร์ดดิสก์เป็นสิ่งที่หายากและราคาแพงมาก แต่หลังจากนั้นฮาร์ดดิสก์กลายเป็นมาตรฐานของพีซีและราคาถูกลงมาก ส่วนประกอบที่สำคัญของฮาร์ดดิสก์มีดังนี้

1. จานบันทึกข้อมูล (Media) จะมีลักษณะเป็นจานเหล็กกลมๆ ทำด้วยโลหะผสม (Metal Alloy Disc) ที่เคลือบสารแม่เหล็ก Aluminum Alloy หรือ Glass Substrateวางซ้อนกันหลายๆ ชั้นขึ้นอยู่กับความจุ ในปัจจุบันจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 นิ้ว สำหรับฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer : PC) สำหรับขนาดที่ใช้ในคอมพิวเตอร์แบบพกพา (Notebooks) จะใช้ฮาร์ดดิสก์ที่มีขนาด 2.5 นิ้ว จานบันทึกข้อมูลสามารถใช้งานได้ทั้ง 2 หน้า แต่ละหน้ามีความจุที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสารแม่เหล็กที่ฉาบอยู่และการออกแบบของผู้ผลิต

2. มอเตอร์หมุนจานบันทึกข้อมูล (Spindle Motor) เป็นมอเตอร์ที่ใช้หมุนของจานบันทึกข้อมูลซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อความเร็วในการหมุนของฮาร์ดดิสก์เพราะยิ่งมอเตอร์หมุนเร็วหัวอ่านก็จะเจอข้อมูลที่ต้องการเร็วขึ้น โดยมีหน่วยเป็นรอบต่อนาที ถ้าเป็นฮาร์ดดิสก์รุ่นเก่าจะหมุนด้วยความเร็วเพียง 3,600 รอบต่อนาที ต่อมาพัฒนาเป็น 5,400 รอบต่อนาที และ 7,200 รอบต่อนาที ซึ่งปัจจุบันสามารถหมุนได้เร็วถึง 10,000 รอบต่อนาที การพัฒนาให้ฮาร์ดดิสก์หมุนเร็วจะได้ประสิทธิภาพสูงขึ้น

3. หัวอ่านเขียน (Read/Write Head) เป็นส่วนที่ใช้ในการอ่านเขียนข้อมูลมีขนาดเล็กและมีความซับซ้อน จึงมีราคาแพง ภายในหัวอ่านมีลักษณะเป็นขดลวด โดยในการอ่านเขียนข้อมูลคอนโทรลเลอร์ (Controller) จะนำคำสั่งที่ได้รับมาแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าและป้อนเข้าสู่ขดลวดทำให้

เกิดการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไปเปลี่ยนโครงสร้างของสารแม่เหล็กที่ฉาบบนจานบันทึกข้อมูลจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลขึ้น จำนวนหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์มักจะมีจำนวนเท่ากับจำนวนหน้าของจานบันทึกข้อมูล เช่น ถ้ามีจานบันทึกข้อมูล 3 แผ่นจะมีหัวอ่านเขียนรวมทั้งหมด 6 หัวอ่านเขียน เป็นต้น หัวอ่านเขียนเป็นส่วนประกอบที่ค่อนข้างเสถียร อาจเกิดจากการที่ฮาร์ดดิสก์ถูกกระทบอย่างแรงทำให้หัวอ่านที่ลอยอยู่บนผิวจานบันทึกข้อมูลด้วยระยะห่าง 0.5 ไมโครนิ้ว (Micro Inches) หรือส่วนส่วนของนิ้วเท่านั้น อาจเคลื่อนจากตำแหน่งเดิมทำให้ไม่สามารถอ่านข้อมูลที่ถูกต้องได้

4. แขนของหัวอ่าน (Actuator Arm) เป็นส่วนประกอบที่ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายหัวอ่านเข้าออกตามแนวคดกับแตร็ก (Track) ของจานบันทึกข้อมูล โดยอุปกรณ์ชุดนี้ประกอบด้วยแม่เหล็กแรงสูง ขดลวดทองแดง (Voice Coil) และก้านอลูมิเนียมที่ปลายด้านหนึ่งจะติดตั้งหัวอ่านเขียนอยู่ ขณะที่ทำงานจะมีคอนโทรลเลอร์ (Controller) ทำหน้าที่แปลงคำสั่งที่มาจากคอมพิวเตอร์ Controller จะทำหน้าที่ควบคุมให้แขนของหัวอ่านเคลื่อนหัวอ่านไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว และแม่นยำ

5. แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Print Circuit Board Assembly: PCBA) คือ ทำหน้าที่เป็นส่วนควบคุมการทำงานของฮาร์ดดิสก์ทั้งหมดและทำหน้าที่เป็นส่วนติดต่อกับเมนบอร์ด (Main Board) ของคอมพิวเตอร์ ภายใน PCBA มีหน่วยความจำ (Memory) อยู่จำนวนหนึ่งที่เรียกว่า Buffer Memory ใช้สำหรับเป็นที่พักข้อมูลที่โอนถ่ายระหว่างฮาร์ดดิสก์ และ Main Board ส่วนของ Buffer Memory ถ้ามีจำนวนมากจะช่วยให้การโอนถ่ายข้อมูลได้เร็ว และมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.1.1 การเชื่อมต่อของฮาร์ดดิสก์

1. แบบ Integrate Drive Electronics (IDE) ฮาร์ดดิสก์แบบ IDE เป็นอินเทอร์เฟซรุ่นเก่า ที่มีการเชื่อมต่อโดยใช้สายแพขนาด 40 เส้น โดยสายแพ 1 เส้นสามารถที่จะต่อ ฮาร์ดดิสก์ได้ 2 ตัว บนเมนบอร์ดนั้นจะมีขั้วต่อ IDE อยู่ 2 ขั้วด้วยกัน ทำให้สามารถพ่วงต่อ ฮาร์ดดิสก์ ได้สูงสุด 4 ตัว มีความเร็วสูงสุดในการถ่ายโอนข้อมูลอยู่ที่ 8.3 เมกะไบต์/ วินาที สำหรับขนาดความจุก็ยังน้อยอีกด้วย เพียงแค่ 504 MB เท่านั้น

2. แบบ Enhanced Integrated Drive Electronics (E-IDE) ฮาร์ดดิสก์แบบ E-IDE พัฒนามาจากประเภท IDE ด้วยสายแพขนาด 80 เส้น ผ่านคอนเน็คเตอร์ 40 ขาเช่นเดียวกับ IDE ซึ่งช่วยเพิ่มศักยภาพ ในการทำงานให้มากขึ้น โดยฮาร์ดดิสก์ ที่ทำงานแบบ E-IDE นั้นจะมีขนาดความจุที่สูงกว่า 504 MB และความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลที่สูงขึ้น โดยสูงถึง 133 เมกะไบต์ต่อวินาที วิธีการรับส่งข้อมูลของฮาร์ดดิสก์แบบ E-IDE ยังแบ่งออกเป็นหลาย 2 แบบ คือ Programmed Input Output (PIO) และ Direct Memory Access (DMA) โหมด PIO เป็นการรับส่งข้อมูล โดยผ่านการประมวลผลของซีพียู โหมด DMA จะอนุญาตให้อุปกรณ์ต่างๆ ส่งผ่านข้อมูลหรือติดต่อไปยังหน่วยความจำหลัก (RAM) ได้โดยตรงโดยไม่ต้องติดต่อไปที่ซีพียูก่อนเหมือนกระบวนการทำงานปกติ ประโยชน์ของการใช้ DMA สามารถทำให้ซีพียูจัดการงานได้รวดเร็วขึ้น ส่งผลให้ระบบโดยรวมมีความเร็วสูงขึ้นตามไปด้วย

3. แบบ Small Computer System Interface (SCSI) ฮาร์ดดิสก์แบบ SCSI เป็นฮาร์ดดิสก์ที่มีอินเทอร์เฟซที่แตกต่างจาก E-IDE โดย ฮาร์ดดิสก์แบบ SCSI จะมีการ์ดสำหรับควบคุมการทำงาน โดยเฉพาะ ซึ่งเรียกว่า การ์ด SCSI สำหรับความสามารถของการ์ด SCSI นี้ สามารถที่จะควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ที่มีการทำงานแบบ SCSI ได้ถึง 7 ชิ้นอุปกรณ์ด้วยกัน ผ่านสายแพรแบบ SCSI อัตราความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลของ ฮาร์ดดิสก์ แบบ SCSI จะมีความเร็วสูงสุดถึง 320 เมกะไบต์/วินาที รวมถึงกำลังรอบในการหมุนของจานดิสก์ปัจจุบันแบ่งเป็น 10,000 และ 15,000 รอบต่อนาที โดยส่วนใหญ่จะนำฮาร์ดดิสก์แบบ SCSI มาใช้กับงานด้านเครือข่าย (Server) เท่านั้น

4. แบบ Serial ATA เป็นอินเทอร์เฟซที่กำลังได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน และในอนาคตจะมีการพัฒนาเป็น Serial ATA II โดยให้อัตราความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลขั้นแรกสูงสุดถึง 150 เมกะไบต์ต่อวินาที ทำให้ลดปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการส่งผ่านข้อมูลระหว่าง CPU ความเร็วสูงกับตัวฮาร์ดดิสก์ลงได้ โดยสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องด้วยความเร็วของระบบที่เพิ่มมากขึ้น

2.1.2 ขนาดความจุของฮาร์ดดิสก์

ปัจจุบันขนาดความจุที่มีจำหน่ายกันอยู่ที่ระดับกิกะไบต์ เช่น 20, 30, 40, 60 ไปจนถึง 3,000 กิกะไบต์ เมื่อปริมาณความจุที่สูงขึ้นย่อมส่งผลให้ราคาต้องขยับตัวสูงตามไปด้วย สำหรับขนาดที่ควรจะซื้อหามาใช้ในปัจจุบันควรเลือกซื้อให้เหมาะสมกับการใช้งาน และไม่ควรเพื่อพื้นที่ไว้ใช้งานมากเกินไปจนจำเป็น เพื่อประหยัดงบประมาณและสามารถที่จะใช้พื้นที่บน ฮาร์ดดิสก์ได้อย่างคุ้มค่าอีกด้วย

2.1.3 ความเร็วรอบของฮาร์ดดิสก์

ฮาร์ดดิสก์ที่เมื่อความเร็วรอบยิ่งดีเพียงใด จะทำให้ประสิทธิภาพในการเข้าถึงหรือค้นหาข้อมูลมีความรวดเร็วขึ้นตามไปด้วย ซึ่งปัจจุบันความเร็วรอบในการหมุนจานบันทึกข้อมูลมาตรฐานพีซี และแล็ปท็อปส่วนใหญ่มาอยู่ที่ 7,200 รอบต่อนาที (3.5 นิ้ว) และ 5,400 รอบต่อนาที (2.5 นิ้ว) นอกจากนี้การใช้งานที่สูงขึ้นไปอีกในระดับเอ็นเทอร์ไพรซ์อย่างเครื่องเซิร์ฟเวอร์และเวิร์คสเตชัน ความเร็วรอบในการหมุนถึงระดับ 10,000-15,000 รอบต่อนาที

2.1.4 หน่วยความจำบัฟเฟอร์ของฮาร์ดดิสก์

เป็นอีกวิธีที่ผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ใช้เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของฮาร์ดดิสก์ในปัจจุบัน คือการใช้หน่วยความจำแคช หรือบัฟเฟอร์ (Buffer) เพื่อเป็นที่พักข้อมูลก่อนที่จะส่งไปยังคอนโทรลเลอร์บนการ์ด หรือเมนบอร์ด หน่วยความจำแคชนี้ในฮาร์ดดิสก์รุ่นเก่าๆ ราคาที่ถูกมักจะมีขนาดหน่วยความจำเล็กตามลงไป เช่น 128 กิโลไบต์ หรือบางยี่ห้อก็จะมีขนาด 256-512 กิโลไบต์ แต่ถ้าเป็นรุ่นที่ราคาสูงขึ้นมาจะมีการเพิ่มจำนวนหน่วยความจำนี้เป็น 2 เมกะไบต์ไปจนถึง 8 เมกะไบต์ ซึ่งจากการทดสอบพบว่า การมีขนาดหน่วยความจำแคช หรือ บัฟเฟอร์ที่เพิ่มขึ้น มีส่วนช่วยให้การทำงานของฮาร์ดดิสก์นั้นเป็นไปอย่างรวดเร็วขึ้นตามไปด้วย

2.1.5 บทบาทและความสำคัญของฮาร์ดดิสก์

ฮาร์ดดิสก์เป็นอุปกรณ์ที่ได้รับการพัฒนามายาวนานและอยู่คู่กับคอมพิวเตอร์จนกลายเป็นศูนย์กลางของการจัดเก็บข้อมูลที่อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลประเภทอื่นมีอาจเทียบได้ ปัจจุบันฮาร์ดดิสก์มีบทบาทต่อระบบคอมพิวเตอร์ในแง่มุมต่างๆต่อไปนี้

1. ความจุ เมื่อมีความต้องการที่จะติดตั้งโปรแกรมหรือจัดเก็บไฟล์เอกสารที่สร้างจากแอปพลิเคชันต่างๆ สิ่งที่ใช้ต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรกๆ คือ พื้นที่ว่างที่เหลืออยู่ในฮาร์ดดิสก์ เพราะฉะนั้นความจุของฮาร์ดดิสก์จึงเป็นตัวกำหนดว่าระบบจะมีความจุมากน้อยเพียงใด
2. ประสิทธิภาพของระบบ ความเร็วของฮาร์ดดิสก์มีผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ ไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าซีพียูหรือแรม เพราะนอกจากฮาร์ดดิสก์จะเป็นอุปกรณ์หลักสำหรับจัดเก็บข้อมูลแล้ว ระบบปฏิบัติการรุ่นใหม่ก็มักจะนำเอาเนื้อที่ของฮาร์ดดิสก์มาใช้เป็นหน่วยความจำของระบบด้วย เรียกหน่วยความจำที่เกิดจากการนำแรมมาใช้งานร่วมกับพื้นที่บนฮาร์ดดิสก์นี้ว่า หน่วยความจำเสมือน (Virtual Memory) โดยเมื่อมีความต้องการใช้งานหน่วยความจำมากกว่าปริมาณแรมที่มีอยู่ ข้อมูลบางส่วนในแรมจะถูกย้ายไปพักในฮาร์ดดิสก์ การย้ายข้อมูลไปมาระหว่างฮาร์ดดิสก์กับหน่วยความจำนี้เองที่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง
3. ความน่าเชื่อถือของระบบ เป็นสิ่งที่มีค่ามากที่สุดสำหรับระบบคอมพิวเตอร์หนึ่งๆ มิใช่ฮาร์ดแวร์หรืออุปกรณ์ราคาแพงแต่คือข้อมูลที่ผู้เป็นเจ้าของเพียรพยายามสร้างขึ้นมาโดยใช้เวลาระยะหนึ่ง ดังนั้นฮาร์ดดิสก์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่รับผิดชอบในเรื่องนี้จึงมีส่วนสำคัญอย่างมากและอาจใช้เป็นเครื่องตัดสินใจได้ว่าระบบใดจะมีความน่าเชื่อถือมากกว่ากัน ฮาร์ดดิสก์เป็นอุปกรณ์สำคัญในการเก็บข้อมูลที่ถาวรภายในคอมพิวเตอร์

2.1.6 การพัฒนาเทคโนโลยีการอ่าน-เขียนข้อมูล

จิตติมา จินตนาวัน (2554) ได้กล่าวว่า เทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลเป็นกุญแจสำคัญในการพัฒนาฮาร์ดดิสก์ เพื่อให้มีความจุหนาแน่นมากขึ้นได้สำเร็จ หัวอ่าน-เขียนในแบบเดิมเป็นชนิด Thin Film Inductive (TFI) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นแผ่นฟิล์มบางๆที่มีขดลวดพันอยู่โดยรอบ สำหรับหัวอ่านซึ่งอาศัยหลักการเหนี่ยวนำให้เกิดความต่างศักย์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กตามที่กล่าวมาข้างต้นนั้น พบว่าหัวอ่านชนิด TFI มีข้อจำกัดในการเพิ่มความจุหนาแน่นของข้อมูล กล่าวคือหัวอ่านประเภทนี้จะให้ค่า Sensitivity ที่ลดลงเมื่อมีขนาดเล็กลง ต่อมาได้มีการพัฒนาหัวอ่านประเภท Magneto Resistance เพื่อช่วยเพิ่ม Sensitivity โดยหัวอ่านประเภทใหม่นี้มีโครงสร้างเป็นแผ่นฟิล์มโลหะบางๆที่มีคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานได้ดีตามการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก เรียกคุณสมบัติดังกล่าวว่า Magneto-Resistive (MR) sensing เมื่อหัวอ่านทำงานกระแสจะจ่ายมาที่ขดลวดที่พันอยู่โดยรอบของหัวอ่าน ความต่างศักย์ต่อหัวอ่านซึ่งขึ้นกับค่าความต้านทานนี้จะบ่งบอกถึงข้อมูลที่

ต้องการอ่านได้ ต่อมา MR Head ได้รับการพัฒนามาเป็นหัวอ่านประเภท Giant Magneto-Resistance (GMR) ที่ให้ Sensitivity เพิ่มขึ้น เทคโนโลยีหัวอ่านชนิด MR และ GMR เริ่มนำมาใช้ในฮาร์ดดิสก์ ในช่วงครึ่งแรกและครึ่งหลังของช่วงศตวรรษ 1990-2000 และทำให้สมรรถนะเชิงความจุ (Aerial Density) ของฮาร์ดดิสก์เพิ่มขึ้นในอัตรา 60% และ 100% ตามลำดับ

2.1.7 การพัฒนาเชิงกลของระบบฮาร์ดดิสก์

จิตติมา จินตนาวัน (2554) ได้กล่าวด้านการออกแบบและพัฒนาเชิงกลในส่วนของคุณสมบัติมอเตอร์-ดิสก์ และชุดหัวอ่าน-เขียน ก็จำเป็นต้องตอบสนองการบันทึกข้อมูลที่มีความหนาแน่นสูง เริ่มต้นที่สปีดมอเตอร์ที่ได้รับการออกแบบให้มีขนาดเล็กลงอย่างมาก เพื่อให้เหมาะกับฮาร์ดดิสก์ขนาดเล็กเช่น 2.5 นิ้วในปัจจุบัน และเพื่อให้เข้าถึงข้อมูลได้รวดเร็วขึ้น ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนดิสก์นั้น เพิ่มขึ้นจากเดิมที่ 1,200 รอบต่อนาที จนถึงปัจจุบันฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้วมีความเร็วรอบ 5,400 รอบต่อนาที และในฮาร์ดดิสก์ขนาด 3.5 นิ้วมีความเร็วรอบมาตรฐานที่ 7,200 รอบต่อนาที หรือสูงได้ถึง 15,000 รอบต่อนาที ในฮาร์ดดิสก์สมรรถนะสูง แบร์ริงที่ใช้ในสปีดมอเตอร์เริ่มต้นเป็นชนิดบอลแบร์ริง และในปัจจุบันเปลี่ยนเป็นชนิด Fluid Dynamic Bearing (FDB) แทบทั้งหมด มอเตอร์ประเภท FDB ช่วยลดการสั่นสะเทือนในแนวรัศมีของจานบันทึกข้อมูล จึงสามารถช่วยลดความผิดพลาดในการบันทึกข้อมูล (Track Mis-Registration : TMR) ได้มาก นอกจากนี้ FDB มอเตอร์ยังช่วยต้านแรงกระแทกได้ดีกว่า ทำให้ฮาร์ดดิสก์ได้รับความเสียหายน้อยกว่าเมื่อเทียบกับมอเตอร์แบบเดิม และฮาร์ดดิสก์ที่ใช้มอเตอร์ประเภท FDB จะเสียบขึ้นมากเมื่อเทียบกับรุ่นเก่า ในชุดหัวอ่าน-เขียน ส่วนสไลเดอร์ได้รับการพัฒนาให้มีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ เพื่อให้สอดคล้องกับขนาดของแถบข้อมูลที่เล็กลงในปัจจุบัน ญุณแจสำคัญอีกประการหนึ่งในการออกแบบชุดหัวอ่าน-เขียนได้แก่การควบคุมระยะห่างระหว่างจานบันทึกข้อมูลและสไลเดอร์ หรือเรียกกันว่า Fly Height ค่า Fly Height นี้จะแปรผันกับขนาดของสไลเดอร์กล่าวคือยิ่งฮาร์ดดิสก์มีความจุหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น จะทำให้หัวอ่านและสไลเดอร์มีขนาดเล็กลงไปด้วย และค่า Fly Height ก็จะลดลงด้วยเช่นกัน ในปัจจุบันค่า Fly Height มีขนาดเล็กมากในระดับไม่เกิน 5 นาโนเมตร

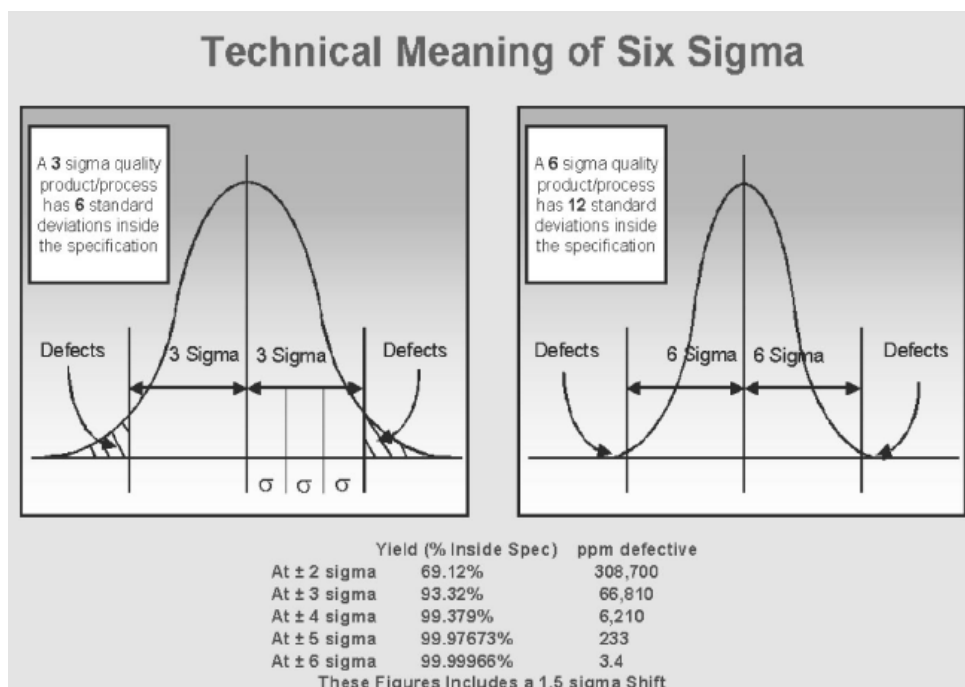
2.2 หลักการและแนวความคิดของซิกซ์ ซิกม่า

ซิกซ์ ซิกม่า เป็นตัวอักษรกรีก ซึ่งเป็นเครื่องหมายที่ใช้แทนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่แสดงถึงการกระจายตัวหรือความแปรปรวนของข้อมูล ที่เบี่ยงเบนออกไปจากค่าเฉลี่ย ซิกซ์ ซิกม่าหมายถึงระดับคุณภาพของกระบวนการต่างๆ ที่มุ่งเน้นให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด โดยยอมให้มีของเสียได้เพียง 3.4 หน่วยในล้านหน่วย ดังแสดงในตารางที่ 2.1 เภณฑ์วัดระดับคะแนนของซิกซ์ ซิกม่า และรูป 2.1

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์วัดระดับคะแนนของซิกซ์ ซิกม่า

ระดับซิกมา	ค่าความน่าเชื่อถือ (Reliability)	DPMO
1.0	30.23%	69,7672
2.0	69.12%	308,770
3.0	93.32%	66,810
4.0	99.379%	6,209
5.0	99.97673%	232
6.0	99.99966%	3.4

ขั้นตอนการดำเนินการซิกซ์ ซิกม่าจะประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 5 ขั้นตอนคือ ระเบียบมปัญหา ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ระยะการปรับปรุงแก้ไข และระยะการติดตามควบคุม ขั้นตอนการดำเนินการอธิบายได้ตามรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 แสดงความหมายของซิกซ์ ซิกม่า และระดับคะแนนของซิกซ์ ซิกม่า (Mortimer, 2006)

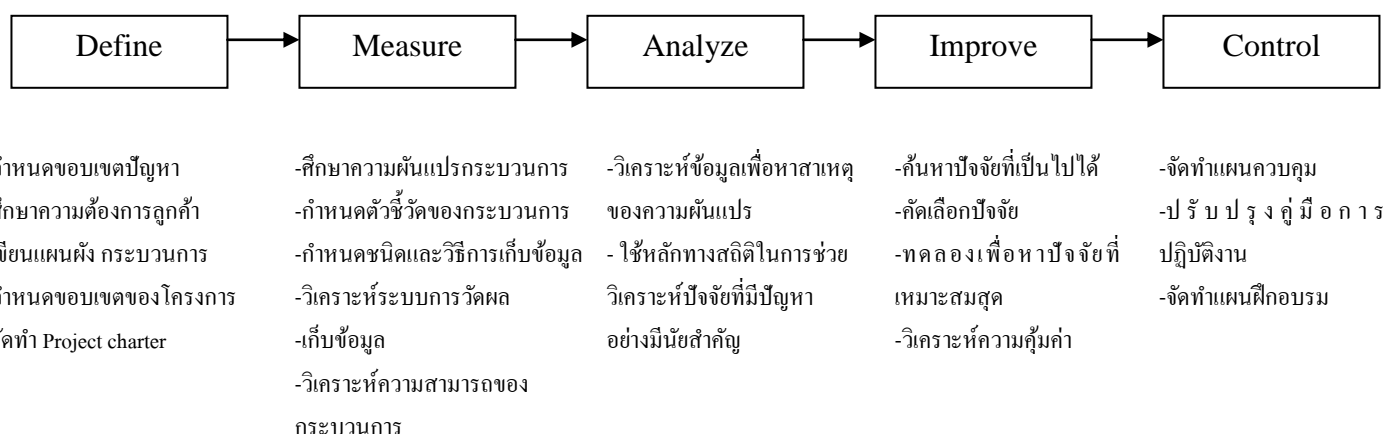
2.2.1 ระเบียบมปัญหา

ระเบียบมปัญหาคือ ขั้นตอนของการกำหนดปัญหา และคัดเลือกหัวข้อเพื่อใช้ในการดำเนินงาน โดยต้องมีการกำหนดปัญหา และเป้าหมายให้ชัดเจนว่าควรที่จะทำการปรับปรุงอะไร ที่ไหน

เมื่อไหร่ ศึกษาผลกระทบของปัญหา ทั้งนี้เน้นความต้องการของลูกค้าเป็นหลัก เพื่อให้โครงการที่เลือก จะทำนั้นเป็นเรื่องสำคัญจริง ทำแล้วคุ้มค่าในการทำ ก่อให้เกิดผลดีทั้งองค์กรเองและลูกค้าด้วย โดยมี เครื่องมือที่ใช้ดังนี้

- แผนภาพพารेटโต (Pareto Diagram)

แผนภาพพารेटโตเป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์และเรียงลำดับความสำคัญของปัญหาหรือสาเหตุต่างๆ ที่เกิดขึ้น เพื่อเป็นตัวชี้ให้เห็นว่าปัญหาประเภทใดมีความสำคัญเป็นลำดับต้นๆ โดยทำการ เรียงลำดับรายการตามความถี่ในการเกิด คำนวณและแสดงเปอร์เซ็นต์ความถี่สะสมของรายการที่มี ความถี่จากมากไปน้อย



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการดำเนินการซิกซ์ ซิกม่า

- ฮิสโทแกรม (Histogram)

ฮิสโทแกรมเป็นกราฟที่แสดงความถี่ของข้อมูลที่มีความถี่มากๆ โดยมีแกนนอนแทนค่าที่เป็นไปได้ของตัวแปร เช่น ความยาว น้ำหนัก เป็นต้น ความกว้างของรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากแทนความกว้างของอันตรภาคชั้น ส่วนความสูงของรูปสี่เหลี่ยมคือความถี่ของข้อมูล เพื่อให้ทราบว่าคุณสมบัติมีการกระจายและมีความถี่มากหรือน้อยเพียงไร

- แผนผังกระบวนการ (Process Map)

แผนผังกระบวนการเป็นการสร้างแผนภาพที่แสดงขั้นตอนของกระบวนการ โดยมีกิจกรรมปฏิบัติการต่างๆ ไว้ในแผนภาพ เป็นเครื่องมือเบื้องต้นที่ใช้เพื่อที่จะช่วยให้เราสามารถเห็นถึงภาพที่แท้จริงในกิจกรรมต่างๆ ของกระบวนการได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น ให้เราสามารถค้นหาจุดบกพร่อง ปรับเปลี่ยน

แก้ไข เพิ่มเติม หรือลดขั้นตอนของกระบวนการ รวมถึงการลด เพิ่มเติม หรือควบคุมปัจจัยต่างๆ ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม เพื่อไปสู่การได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ

2.2.2 ระยะเวลาวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา

ระยะเวลาวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหาคือ ขั้นตอนการวัดความสามารถของกระบวนการ เพื่อให้เข้าใจว่ากระบวนการที่เราใช้ในปัจจุบันเป็นอย่างไร มีประสิทธิภาพเหมาะสมหรือไม่ ก่อนที่นำกระบวนการนี้ไปดำเนินการแก้ไขปัญหา ทำให้เรามีความมั่นใจว่ากระบวนการวัดของเรามีความน่าเชื่อถือ

- **แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)**

แผนผังสาเหตุและผลเป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหากับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น โดยมีชื่อหนึ่งว่า ผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) เราจะใช้แผนผังก้างปลาเมื่อต้องการค้นหาสาเหตุแห่งปัญหา ต้องการทำการศึกษา ทำความเข้าใจ หรือทำความเข้าใจกับกระบวนการอื่น ๆ เพราะว่าโดยส่วนใหญ่พนักงานจะรู้ปัญหาเฉพาะในพื้นที่ของตนเท่านั้น แต่เมื่อมีการทำผังก้างปลาแล้ว จะทำให้เราสามารถรู้กระบวนการของแผนกอื่นได้ง่ายขึ้น และต้องการให้เป็นแนวทางในการระดมสมองในการแก้ปัญหานั้นๆ

วิธีการสร้างแผนผังสาเหตุและผลหรือผังก้างปลา สิ่งสำคัญในการสร้างแผนผัง คือ ต้องทำเป็นทีมหรือเป็นกลุ่ม โดยใช้ขั้นตอน 6 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กำหนดประโยคปัญหาที่หัวปลา
2. กำหนดกลุ่มปัจจัยที่จะทำให้เกิดปัญหานั้นๆ
3. ระดมสมองเพื่อหาสาเหตุในแต่ละปัจจัย
4. หาสาเหตุหลักของปัญหา
5. จัดลำดับความสำคัญของสาเหตุ
6. ใช้แนวทางการปรับปรุงที่จำเป็น

- **การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis : PCA)**

ความสามารถของกระบวนการ (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2546: 2-3 อ้างถึงใน Juran and Gryna, 1993: 398) หมายถึงความผันแปรโดยธรรมชาติที่ได้รับการวัดของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการที่ศึกษา (The measured, inherent variation of the product turned out by a process) โดยที่ความสามารถที่ได้รับการวัด (measured capability) จะหมายถึงค่าความสามารถของกระบวนการที่ได้รับการประเมินผ่านข้อมูลซึ่งเป็นผลมาจากการวัดงานที่ได้รับการผลิตจากกระบวนการที่ได้ศึกษา และความสามารถโดยธรรมชาติ (inherent capability) จะหมายถึงความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากกระบวนการที่อยู่ภายใต้สภาวะการควบคุม

ดัชนี Cp เป็นตัววัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการที่สะท้อนผลจากการออกแบบหรือการกระจายตัวของกระบวนการ ส่วน Cpk จะเป็นดัชนีที่สะท้อนการผลจากการควบคุมหรือค่าตำแหน่งของกระบวนการ โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญในการตัดสินใจสองประการคือความแม่นยำ (Precision) ที่อธิบายผ่านค่า Cp และค่าความเที่ยง (Accuracy) ที่อธิบายผ่านค่า k โดยค่า Cpk มีค่ามากที่สุดที่ Cp ค่าดัชนี Cpk ที่เหมาะสมต่อกระบวนการแบบต่างๆ จะแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าคำแนะนำสำหรับค่าที่ต่ำที่สุดของดัชนี Cpk (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2546: 2-3 อ้างอิงใน Montgomery , 1996: 441)

ประเภทของกระบวนการ	ค่าดัชนีที่ต่ำที่สุดสำหรับ Cpk		ระดับคุณภาพ (ระยะสั้น)
	ข้อกำหนดเฉพาะแบบพิกัดด้านเดียว	ข้อกำหนดเฉพาะแบบพิกัดด้านสองด้าน	
กระบวนการทั่วไป (ใช้งานอยู่)	1.25	1.33	4 sigma
กระบวนการทั่วไป (ใหม่)	1.45	1.50	4.5 sigma
กระบวนการที่เกี่ยวกับความปลอดภัยหรือพารามิเตอร์วิกฤติ (ใช้งานอยู่)	1.45	1.50	4.5 sigma
กระบวนการที่เกี่ยวกับความปลอดภัยหรือพารามิเตอร์วิกฤติ (ใหม่)	1.60	1.67	5 sigma

- **การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis : MSA)**

ระบบการวัดที่ต้องมีทั้งเที่ยง (Accuracy) และแม่นยำ (Precision) ความเที่ยงจะพิจารณาในเรื่องของการที่ค่าที่วัดได้เข้าใกล้ค่าจริง ส่วนความแม่นยำนั้นจะพิจารณาในเรื่องที่ค่าที่วัดได้หลายๆครั้งมีค่าใกล้เคียงกัน ในเรื่องความเที่ยงจะพิจารณา 3 เรื่อง คือ คุณสมบัติด้านไบอัสของระบบการวัด คุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด และคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด ส่วนเรื่องความแม่นยำจะวิเคราะห์ความแปรผันด้าน Repeatability และ Reproducibility (นภัสดวงศ์ โรจนโรวรรณ, 2554: 48-50 อ้างอิงใน AIAG, 2002) มีนิยามความหมายคำต่างๆที่เกี่ยวกับระบบการวัดไว้ ดังนี้

- Bias แสดงถึง ความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้บนคุณลักษณะและชิ้นงานเดียวกัน

- Stability แสดงถึง การเปลี่ยนแปลงของค่าไบอัสเมื่อเวลาเปลี่ยนไป

- Linearity แสดงถึง การเปลี่ยนแปลงของค่าไบอัสเมื่อเปลี่ยนแปลงย่านวัด

- Repeatability แสดงถึง ความผันแปรของค่าวัดที่ทำการวัดโดยพนักงานวัดเดียวกัน เครื่องมือวัดเดียวกัน ในการวัดชิ้นงานเดียวกันซ้ำๆ โดยทั่วไปมักจะแสดงความผันแปรของเครื่องมือวัด

- Reproducibility แสดงถึงความผันแปรที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากการใช้เครื่องมือวัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปมักแสดงถึงความแตกต่างระหว่างพนักงานวัด

2.2.3 ระยะเวลาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ระยะเวลาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาคือ ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุหลักของปัญหาจากข้อมูลที่มีวัดมาได้ เพื่อหาหรือพิสูจน์ตัวแปรที่สำคัญที่สุดในกระบวนการ ที่เป็นสาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดความแปรปรวน ทั้งนี้ต้องมีการเชื่อมโยงกับตัวหลักกระบวนการ โดยใช้หลักสถิติมาช่วยในการวิเคราะห์ ได้แก่ การทดสอบสมมติฐาน การวิเคราะห์การถดถอย

การทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานเป็นส่วนหนึ่งของสถิติเชิงอนุมาน (Statistical Inference) ซึ่งเป็นการทดสอบเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า โดยสุ่มตัวอย่างจากประชากรแล้ว อาศัยการแจกแจงของตัวสถิติ สร้างสถิติทดสอบเกี่ยวกับพารามิเตอร์นั้นๆ โดยมีคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องดังนี้

1) สมมติฐาน คือ ความเชื่อหรือคำกล่าวอ้างยืนยันเกี่ยวกับลักษณะของประชากร ซึ่งอาจมีเพียงประชากรเดียวหรือหลายประชากรก็ได้

2) สมมติฐานที่จะทดสอบ เรียกว่า สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) แทนด้วย H_0 สมมติฐานที่แย้งกับสมมติฐานหลักและนำมาพิจารณาในการทดสอบด้วยเรียกว่าสมมติฐานแย้งหรือสมมติฐานรอง (Alternative Hypothesis) ซึ่งแทนด้วย H_1

3) บริเวณยอมรับ (Acceptance region) คือบริเวณที่ทำให้เกิดการยอมรับ H_0 ส่วนบริเวณปฏิเสธ (Rejection region) หรือบริเวณวิกฤต (Critical region) คือบริเวณที่ทำให้เกิดการปฏิเสธ H_0

4) ผลการตัดสินใจจากการทดสอบสมมติฐานเนื่องจากสมมติฐานที่จะทดสอบ (H_0) เป็นความเชื่อ หรือคำยืนยันเกี่ยวกับลักษณะของประชากรซึ่งยังไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นจริงหรือเท็จจนกว่าจะทำการพิสูจน์โดยเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมด มาวิเคราะห์ตามลักษณะของประชากรที่ต้องการพิสูจน์นั้น ซึ่งบางครั้งการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมดจากประชากรเป็นสิ่งที่ทำได้ยากเพราะต้องเสียค่าใช้จ่ายและเวลามาก จึงทำได้เพียงการสำรวจจากตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบเท่านั้นเองดังนั้นผลการตัดสินใจจากการทดสอบสมมติฐานใดๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.3

ผลการทดสอบไม่ว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานหลัก ย่อมอาจมีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้ 2 กรณีเสมอ คือ

1) การปฏิเสธ H_0 เมื่อ H_0 เป็นจริง เรียกว่า ความผิดพลาดประเภทที่ 1

2) การยอมรับ H_0 เมื่อ H_0 เป็นเท็จ เรียกว่า ความผิดพลาดประเภทที่ 2

ตารางที่ 2.3 ผลการตัดสินใจจากการทดสอบสมมติฐาน

การตัดสินใจ	ข้อเท็จจริงของ H_0	
	H_0 เป็นจริง	H_0 ไม่เป็นจริง
ปฏิเสธ H_0	ความผิดพลาดประเภทที่ 1	ตัดสินใจถูก
ยอมรับ H_0	ตัดสินใจถูก	ความผิดพลาดประเภทที่ 2

5) ขนาดของความผิดพลาดประเภทที่ 1 (Size of a type I error) คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 แทนด้วย α เราเรียกว่า ระดับนัยสำคัญ (Level of significant) และขนาดของความผิดพลาดประเภทที่ 2 (Size of a type II error) คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 2 แทนด้วย β และเรียก $1-\beta$ ว่า กำลังของการทดสอบ (Power of the test)

ขั้นตอนของการทดสอบสมมติฐาน มีดังนี้

- 1) ตั้งสมมติฐานหลัก (H_0) และสมมติฐานทางเลือก (H_1) ให้มีความหมายตรงข้ามกันเสมอ
- 2) กำหนดระดับนัยสำคัญ α
- 3) เลือกตัวสถิติทดสอบที่เหมาะสม แล้วหาจุดวิกฤตเพื่อกำหนดบริเวณปฏิเสธ H_0 ให้สอดคล้องกับ

H_1 และ α

- 4) คำนวณค่าสถิติที่ใช้ทดสอบจากตัวอย่างขนาด n ที่สุ่มมา
- 5) ตัดสินใจยอมรับหรือปฏิเสธ H_0 โดยพิจารณาจากเงื่อนไขนี้ ถ้าค่าสถิติทดสอบที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 4 ตกอยู่ในบริเวณยอมรับ เราจะตัดสินใจยอมรับ H_0 แต่หากตกอยู่บริเวณปฏิเสธ จะตัดสินใจปฏิเสธ H_0
- 6) สรุปผล

2.2.4 ระยะเวลาปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ระยะเวลาปรับปรุงแก้ไขกระบวนการคือขั้นตอนพัฒนาหรือการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการ หลังจากที่เรารับปัจจัยสำคัญของปัญหาหลัก ต้องมีการออกแบบการทดลอง เพื่อปรับตั้งค่าที่เหมาะสม ให้เป็นไปตามที่ต้องการ เพื่อลดปัญหาที่จะเกิดขึ้นได้

- การออกแบบการทดลอง (ปารเมศ ชูติมา, 2545)

การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment) หมายถึงกระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อว่าจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ วิธีการออกแบบการทดลองในเชิงสถิติเป็นสิ่งจำเป็น ถ้าเราต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่เรามีอยู่ และถ้ายังปัญหาที่สนใจนั้นเกี่ยวข้องกับความผิดพลาดในการทดลอง (Experimental Error) วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่าง

เดียวเท่านั้นที่จะสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญ 2 ประการสำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลองก็คือ การออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ซึ่งศาสตร์ทั้งสองศาสตร์มีความเกี่ยวข้องกันอย่างมาก ทั้งนี้เพราะวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติที่มีความเหมาะสมนั้นจะขึ้นกับการออกแบบการทดลองที่จะนำมาใช้

หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลอง คือ เพลกเคชัน (Replication), แรนดอมไมเซชัน (Randomization) และบล็อกกิง (Blocking) ในที่นี้กำหนดให้ว่า

เพลกเคชัน หมายถึงการทำการทดลองซ้ำ มีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ ประการแรกทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยของการวัดพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่า ความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่ ประการที่สองถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ดังนั้นเพลกเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบนี

แรนดอมไมเซชัน หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) วิธีทางสถิติกำหนดว่าข้อมูล (หรือความผิดพลาด) จะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ แรนดอมไมเซชันทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริง การที่เราแรนดอมไมซ์การทดลอง ทำให้เราสามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

บล็อกกิง เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความแม่นยำให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขต่างๆ ภายในแต่ละบล็อกจะเกิดขึ้นได้จากการทำบล็อกกิง นิยมใช้ Response หลายตัวในการทำครั้งหนึ่ง

- **ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง**

1. กำหนดหัวข้อปัญหา (Problem statement) จะต้องชัดเจน เข้าใจได้ง่ายและเป็นรูปธรรม ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 อย่าง อะไรที่กำลังเป็นปัญหา (What) ลักษณะของปัญหาเป็นเช่นไรขนาดไหน (How) และพบปัญหานั้นที่ใดในช่วงเวลาใด (Where)

2. การเลือกปัจจัย (Factor) และการกำหนดระดับของปัจจัย (Treatment) จำเป็นที่จะต้องเลือกปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอย่างแท้จริง ซึ่งสามารถเลือกจากกรรมวิธีคัดกรองโดยเครื่องมือทางสถิติ เช่น T-Test เป็นต้น ผู้ที่มีความรู้หรือเชี่ยวชาญในกระบวนการนั้นๆ ก็เป็นผู้ที่สามารถให้คำแนะนำที่ดีในการเลือกปัจจัย และการกำหนดระดับของปัจจัยด้วย

3. การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response) จะต้องเน้นตัวแปรที่สามารถวัดได้ ทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัด

และวัดด้วยกระบวนการวัดอื่นๆ เช่น การนับ และจะต้องเป็นตัวแปรที่สื่อถึงกระบวนการที่เราต้องการศึกษานั้น ได้ดีด้วย

4. เลือกแบบทดลอง (Experiment design) เช่น การกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่าง วิธีการเลือกสิ่งตัวอย่าง วางแผนการทำการทดลอง วิธีการบันทึกผลการทดลอง และการกำหนดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ เป็นต้น

5. ดำเนินการทดลอง (Perform the Experiment) ให้เป็นไปตามแผนการ ทั้งวิธีการดำเนินการ ความถูกต้องในการวัด การควบคุมตัวแปรในการทดลอง และเก็บผลการทดลอง

6. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) ต้องมีการตรวจสอบ ลักษณะและคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง การพิสูจน์ทราบความถูกต้องของ Model ที่ได้ (Model adequacy checking) หากค่าระดับนัยสำคัญของอิทธิพลของแต่ละปัจจัย โดยปกติ DOE จะใช้ ANOVA ในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนั้นผู้วิเคราะห์ก็ต้องเข้าใจเงื่อนไข ของ ANOVA ด้วย

7. สรุปผลการทดลองและให้คำแนะนำ ผู้ดำเนินการทดลองจะเป็นผู้ที่เข้าใจที่ไปที่มาของข้อมูลดี และมองออกว่าผลที่ได้เป็นเช่นนั้นเพราะอะไร การดำเนินการมีข้อบกพร่องตรงไหน มีสาระสำคัญอะไรที่ผู้อ่านรายงานควรจะได้รับรู้ เพื่ออนาคตได้ดำเนินการทดลองบ้างก็จะเอาไปเป็นบรรทัดฐานได้ ผู้บริหารหน่วยงานอาจจะสนใจข้อวิเคราะห์ ความคิดเห็น ของผู้ดำเนินการมากกว่าผลที่ปรากฏก็เป็นได้

- การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (ปรารเมศ ชุตินา, 2545)

การแยกเอาความแปรผันในค่าสังเกตออกจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน เป็นความสัมพันธ์ทางพีชคณิตอย่างเดียว อย่างไรก็ตาม การใช้การแบ่งเพื่อทำการทดสอบอย่างเป็นทางการสำหรับสำหรับกรณีไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของระดับต้องอ้างอิงกับสมมติฐานบางประการ โดยเฉพาะสมมติฐานที่ว่า ค่าสังเกตจะต้องอธิบายได้โดยแบบจำลองดังนี้

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad (2.1)$$

และความผิดพลาดจะต้องมีการแจกแจงแบบปกติเป็นอิสระด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัวแต่ไม่ทราบค่า ถ้าสมมติฐานเหล่านี้เป็นจริง กระบวนการวิเคราะห์ความแปรปรวนนี้ก็จะเป็นการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับการไม่มีความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของระดับที่ต้องการ

ในทางปฏิบัติสมมติฐานที่กล่าวถึงมักไม่เป็นเช่นนั้น ซึ่งเราควรเชื่อในผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังสมการที่ 2.2 ได้ ก็ต่อเมื่อเราสามารถตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานว่าเป็น

จริงเสียก่อน เราสามารถตรวจสอบสมมติฐานขั้นต้นและความถูกต้องของแบบจำลองได้โดยง่ายจากการตรวจสอบส่วนตกค้าง (Residual) สำหรับค่าสังเกต j ที่ระดับที่ i . ส่วนตกค้างจะมีค่าเป็น

$$e_{ij} = y_{ij} - \hat{y}_{ij} \quad (2.2)$$

โดยที่ \hat{y}_{ij} คือค่าประมาณของค่าสังเกต y_{ij} ซึ่งหาได้จาก

$$\begin{aligned} \hat{y}_{ij} &= \hat{\mu} + \hat{\tau}_i \\ &= \bar{y}_{..} + (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..}) \\ &= \bar{y}_{i.} \end{aligned} \quad (2.3)$$

สมการที่ 2.3 บอกให้ทราบว่า ค่าประมาณของค่าสังเกตใดๆ ในระดับที่ i . ก็คือค่าเฉลี่ยของระดับนั้นๆ

การตรวจสอบส่วนตกค้างควรทำทุกครั้งที่วิเคราะห์ความแปรปรวน ถ้าหากแบบจำลองถูกต้อง ส่วนตกค้างจะต้องไม่มีรูปแบบ

การตรวจสอบส่วนที่ตกค้างมีขั้นตอนอยู่ 3 ขั้นตอน

1. การตรวจสอบความเป็นปกติ สามารถทำได้โดยการพล็อตฮิสโทแกรมของส่วนที่ตกค้าง ถ้าหากสมมติฐานที่ว่า ความผิดพลาดมีการแจกแจงแบบ NID ($0, \sigma^2$) เป็นจริงแล้ว รูปแบบของส่วนตกค้างที่พล็อตออกมาควรจะมีลักษณะที่มีค่ามัธยฐานเท่ากับ 0 ขั้นตอนที่สำคัญอีกขั้นตอนหนึ่งคือการสร้าง Normal Probability Plot ของส่วนตกค้าง ถ้าหากการแจกแจงของความผิดพลาดเป็นแบบปกติรูปที่พล็อตขึ้นมาจะเป็นเส้นตรง

2. การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูลทำได้โดยการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างส่วนที่ตกค้างตามลำดับเวลา โดยหากข้อมูลมีความเป็นอิสระแล้วกราฟของส่วนที่ตกค้างจะต้องไม่มีรูปแบบที่ชัดเจน เช่น จุดต่อเนื่อง แนวโน้ม หรือวัฏจักร ข้อมูลจะต้องมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอแสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระ

3. การตรวจสอบความเสถียรภาพของความแปรปรวน ทำได้โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนที่ตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต ซึ่งหากความแปรปรวนมีความเสถียรแล้ว การกระจายตัวของส่วนที่ตกค้างกับค่าที่ถูกฟิตควรจะมีขนาดที่ใกล้เคียง การกระจายของข้อมูลในด้านบวกและลบที่มีความสมดุลกันเพื่อตรวจสอบความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มมีค่าคงที่

- การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (ปารเมศ ชูติมา, 2545)

การทดลองส่วนมากในทางปฏิบัติจะเกี่ยวข้องกับการศึกษาถึงผลของปัจจัย (Factor) ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ในกรณีเช่นนี้ การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) จะเป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล หมายถึงการทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ตัวอย่างเช่นกรณี 2 ปัจจัย ถ้า

ปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบไปด้วย b ระดับ ในการทดลอง 1 เปรดิเคต (Replicate) จะประกอบด้วย การทดลองทั้งหมด ab การทดลอง และเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล เราจะกล่าวได้ว่าปัจจัยเหล่านี้มีการไขว้ (Crossed) ซึ่งกันและกัน

ผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่ง หมายถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบ (Response) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยนั้นๆ ซึ่งเรียกว่าผลหลัก (Main Effect) เนื่องจากว่ามันเกี่ยวข้องกับปัจจัยเบื้องต้นของการทดลอง ในการทดลองบางอย่าง เราอาจจะพบว่าความแตกต่างของผลตอบที่เกิดขึ้นบนระดับต่างๆของปัจจัยหนึ่งจะมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับอื่นๆ ทั้งหมดของปัจจัยอื่น ซึ่งหมายความว่า ผลตอบของปัจจัยหนึ่งจะขึ้นกับระดับของปัจจัยอื่น ๆ นั้นเอง และเราเรียกเหตุการณ์นี้ว่า การมีอันตรกิริยา (Interaction) ต่อกันระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้อดีของ Full factorial design

1. ไม่มีการเกิด Alias
2. สามารถวิเคราะห์ Main factor และ Interaction ได้ทั้งหมด

ข้อด้อยของ Full factorial design

1. ต้องทำการทดลองให้ครบทุกการทดลองทำให้ต้องสิ้นเปลืองทรัพยากรมาก ใช้เวลานาน
2. เมื่อจำนวนการทดลองหลายๆ อาจประสบปัญหาในการป้องกันความคลาดเคลื่อนของการปรับเปลี่ยนค่าของปัจจัยใดๆ ได้

2.2.5 ระยะเวลาติดตามควบคุม

ระยะเวลาติดตามควบคุม คือขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ เพื่อให้กระบวนการนั้นนิ่ง และคงที่อย่างสม่ำเสมอ ป้องกันเพื่อไม่ให้เกิดข้อบกพร่องหรือปัญหาเหมือนเดิมอีก

- แผนภูมิควบคุม (นภัสดวงศ์ โรจนโรวรรณ, 2554: 18-21)

จุดประสงค์สำคัญหนึ่งของการใช้แผนภูมิควบคุมคือ แผนภูมิควบคุมจะช่วยคอยติดตามกระบวนการและบอกสัญญาณเตือนเมื่อกระบวนการเกิดความผิดปกติ เช่น มีค่าสูงที่ต่ำกว่าปกติ หรือมีแนวโน้ม เป็นต้น เพื่อที่จะได้กำจัดสาเหตุของความผิดปกตินั้นและปรับกระบวนการในเวลาที่เหมาะสม แต่หากการออกนอกควบคุมเป็นไปในทิศทางที่ดีขึ้น เนื่องจากมีการปรับปรุงกระบวนการ ก็ได้นำวิธีการใหม่มาเป็นมาตรฐานใหม่ต่อไป แผนภูมิควบคุมแบ่งตามชนิดของข้อมูลที่ควบคุม ได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้ คือ

แผนภูมิควบคุมชนิดแปรผัน (Variable Control Chart) ข้อมูลที่ควบคุมมีลักษณะเป็นค่าต่อเนื่องหรือเป็นค่าที่วัดมา เช่น ความยาว น้ำหนัก เป็นต้น แผนภูมิในประเภทนี้ที่นิยมใช้ได้แก่ แผนภูมิควบคุม \bar{X} -R และ แผนภูมิควบคุม I-MR เป็นต้น

แผนภูมิควบคุมชนิดตามลักษณะ (Attribute Control Chart) แผนภูมิในกลุ่มนี้ใช้ข้อมูลที่เป็นจำนวนนับ เช่น แผนภูมิในการติดตามดูว่า จำนวนของเสียหรือจำนวนข้อบกพร่องของงานที่ผลิตจากกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ เนื่องจากข้อมูลที่เก็บเป็นค่าเต็มหน่วยหรือค่าที่นับได้ลงตัวแน่นอน เช่น จำนวนของเสียที่พบ จำนวนรอยตำหนิที่พบบนของเสียจึงเรียกแผนภูมิประเภทนี้ว่า แผนภูมิควบคุมชนิดตามลักษณะ (Attribute Control Chart)

• ประโยชน์ของแผนภูมิควบคุม

1. ควบคุมกระบวนการผลิตได้ทันเหตุการณ์ เมื่อมีจุดใดแสดงความผิดปกติ ผู้ควบคุมสามารถแก้ไขกระบวนการผลิตให้กลับสู่สภาพปกติได้อย่างทันท่วงที
2. ทราบถึงสมรรถภาพกระบวนการ (Process capability) โดยสามารถนำข้อมูลเกี่ยวกับค่าตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการ มาคำนวณหาสมรรถภาพของกระบวนการได้ และใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาตัดสินใจในผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตได้
3. แผนภูมิควบคุมช่วยเพิ่มผลผลิต โดยมีส่วนช่วยในการแก้ปัญหาก่อนที่จะกระบวนการจะผลิตของเสียออกมาเป็นจำนวนมาก และลดการทำซ้ำ (Rework) ซึ่งจะช่วยเพิ่มผลผลิตได้
4. แผนภูมิควบคุมช่วยป้องกันการปรับแต่งกระบวนการโดยไม่จำเป็น เนื่องจากสามารถแยกแยะสภาพความแปรปรวนของกระบวนการได้ว่า เมื่อใดเป็นความแปรปรวนตามปกติ และเมื่อใดเป็นความแปรปรวนที่เกิดจากความผิดปกติ จึงทำให้ผู้ปฏิบัติงานทราบว่า จำเป็นต้องมีการปรับเครื่องจักรเมื่อมีความผิดปกติเกิดขึ้นเท่านั้น
5. แผนภูมิควบคุมให้ข้อมูลเพื่อการวินิจฉัยกระบวนการผลิต การวิเคราะห์สภาพการกระจายของจุดในแผนภูมิควบคุม ทำให้ได้ข้อมูลเพื่อการแก้ไขกระบวนการผลิต

• แนวทางในการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม

1. เลือกกระบวนการที่ต้องการควบคุม
2. กำหนดคุณลักษณะที่ต้องการควบคุมของกระบวนการที่เลือก
3. เลือกชนิดของแผนภูมิที่เหมาะสมกับคุณลักษณะนั้น

• แผนภูมิตัวแปร

- ให้รายละเอียดข้อมูลของกระบวนการมาก เช่น การประมาณค่าเฉลี่ย การประมาณค่ากระจาย ตลอดจนสมรรถภาพของกระบวนการ

- ปกติจะแสดงถึงปัญหาหรือความผิดปกติต่างๆ ที่เกิดขึ้น ก่อนที่ของเสียจะเกิดขึ้น ทำให้

สามารถดำเนินการแก้ไขได้ทันทั่วทั้งที่ ลดโอกาสการเกิดของเสีย

• **แผนภูมิชนิดตามลักษณะ**

- มีความง่ายในการเก็บข้อมูล
- สามารถใช้แผนภูมิควบคุมเพียงแผนภูมิเดียว ในการควบคุมคุณลักษณะหลายๆ

อย่างได้พร้อมๆ กัน เช่น แผนภูมิ p

- ข้อเสียคือ ยอมรับระดับของเสียระดับหนึ่ง เพราะสิ่งที่พล็อตก็คือสัดส่วนของเสีย

4. กำหนดระบบการเก็บข้อมูล

5. สร้าง ปรับปรุง และนำแผนภูมิไปใช้ในการควบคุมและปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิต

6. ต้องมีแบบฟอร์มในการบันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิต ซึ่งควรมีข้อมูลในเรื่อง

- การเปลี่ยนแปลงการปรับตั้งเครื่องจักร เช่น ค่าที่ปรับ ทิศทางที่ปรับผลของการปรับตั้ง
- วัตถุดิบที่ใช้

• **แผนภูมิควบคุม I - MR**

แผนภูมิ I-MR ใช้เมื่อกำหนดให้กลุ่มตัวอย่างมีขนาดตัวอย่างเป็น $n=1$ โดยใช้ในกรณีที่

- การผลิตที่มีอัตราการผลิตต่ำ ต้องรอเก็บตัวอย่างเป็นเวลานาน
- การสุ่มครั้งเดียวสามารถเป็นตัวแทนของกระบวนการได้
- การวัดค่าที่ได้จากกระบวนการที่ใช้เครื่องจักรอัตโนมัติ และสามารถวัดค่าทุกชิ้นที่ผลิตได้

การคำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ I - MR

- สำหรับแผนภูมิ MR (Moving Range)

$$\begin{aligned} UCL &= D_4 \overline{MR} \\ CL &= \overline{MR} \\ LCL &= 0 \end{aligned} \quad (2.4)$$

โดย $MR_i = |x_i - x_{i-1}|$

- สำหรับแผนภูมิ \bar{x} เมื่อใช้ MR

$$\begin{aligned} UCL &= \bar{\bar{x}} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \\ CL &= \bar{\bar{x}} \\ LCL &= \bar{\bar{x}} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \end{aligned} \quad (2.5)$$

โดย $\overline{MR} = \frac{\sum_0^m MR_i}{m}$ และ $\frac{MR}{d_2} = \hat{\sigma}_x$

การวิเคราะห์ผลบนแผนภูมิควบคุม

- ผลของแผนภูมิ \bar{x} และแผนภูมิ MR จะเกี่ยวเนื่องกัน ดังนั้นจึงใช้เพียงแต่แผนภูมิ \bar{x} เป็นหลักในการวิเคราะห์ความผิดปกติของกระบวนการได้

- สิ่งสำคัญสำหรับแผนภูมิตัวอย่างเดี่ยว คือ ข้อมูลต้องมีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งถ้าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติแล้ว สามารถใช้กฎ 8 กฎได้ แต่ถ้าไม่ใช่ ควรพิจารณาใช้แผนภูมิอื่น เช่น CUSUM หรือ EWMA ซึ่งไม่เคร่งครัดกับสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลมากนัก

ตารางที่ 2.4 ค่าคงที่สำหรับการคำนวณขีดจำกัดของแผนภูมิ $\bar{X} - R$

n	A ₂	D ₃	D ₄	d ₂
2	1.880	0	3.267	1.128
3	1.023	0	2.575	1.693
4	0.729	0	2.282	2.059
5	0.577	0	2.115	2.326
6	0.483	0	2.004	2.534
7	0.419	0.076	1.924	2.704
8	0.373	0.136	1.864	2.847
9	0.337	0.184	1.816	2.907
10	0.308	0.223	1.777	3.078
15	0.223	0.348	1.652	3.472
20	0.180	0.414	1.586	3.735

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันแนวคิดเรื่องซิกซ์ ซิกม่า เป็นแนวคิดที่บริษัทหรือองค์กรต่างๆ ให้ความสำคัญในการนำไปปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการ พร้อมทั้งลดของเสียที่เกิดขึ้นต่างๆ ในการกระบวนการผลิตต่างๆ โดยส่วนใหญ่งานวิจัยต่างๆ จะประยุกต์ใช้ซิกซ์ ซิกม่า กับตัวแปรตอบสนองประเภทแปรผัน (Variable) มากกว่าประเภทลักษณะ (Attribute)

ซิกซ์ ซิกม่า เป็นการนำความรู้ทางด้านคุณภาพ และหลักการทางสถิติมารวมกันไว้อย่างเป็นระบบ มีวิธีการดำเนินงานแต่ละขั้นตอนอย่างเป็นระเบียบ และง่ายต่อการเข้าใจ คือมีการกำหนดปัญหาและเป้าหมายชัดเจน ว่าควรเลือกปัจจัยไหนที่สำคัญ และจำเป็นในการแก้ไขอะไรเป็นลำดับแรก โดยมีการนำเทคนิคต่างๆ มาช่วยในการคัดเลือกปัจจัย เช่น แผนภูมิพาราโต ขั้นตอนการวัดมีการวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงของระบบการวัด เพื่อเป็นการตรวจสอบอุปกรณ์ และพนักงานในการวัดว่ามีความผิดพลาดหรือไม่ก่อนทำการวัดจริง เพื่อเป็นส่วนช่วยให้ข้อมูลที่ได้จากวัดนั้นมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น มีการระดมความคิดเพื่อหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา เช่น การทำแผนภูมิแกงปลา การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ จากนั้นจึงนำปัจจัยที่สำคัญมาเก็บข้อมูล และนำข้อมูลเหล่านั้นมาทำการ

วิเคราะห์สาเหตุที่มีนัยสำคัญ มีการใช้เครื่องมือทางสถิติต่างๆ เช่นการตรวจสอบสมมติฐาน จากนั้นจึงนำปัจจัยที่มีนัยสำคัญไปออกแบบการทดลอง เพื่อหาค่าที่เหมาะสมในดำเนินการแก้ไขปรับปรุง และมีการควบคุมกระบวนการให้ดำเนินต่อไปโดยไม่ให้เกิดความผิดพลาดเกิดขึ้นอีก มีการเฝ้าติดตาม มีการใช้การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ ในการควบคุมกระบวนการ

การดำเนินการซิกซ์ ซิกม่าได้นั้น ต้องมีความพร้อมทั้งองค์กร ผู้บริหารระดับสูง ต้องแสดงวิสัยทัศน์และความเป็นผู้นำในการปรับปรุง และคัดเลือกพนักงานที่มีความรู้ความสามารถในการปรับปรุงเพื่อให้เกิดความสำเร็จ มีการจัดทีมงานที่มีความรู้ด้านซิกซ์ ซิกม่า งบประมาณ มีวัฒนธรรมที่พร้อมรับการเปลี่ยนแปลง และระบบสารสนเทศที่สามารถตรวจสอบได้

ดังนั้นการนำหลักการหลักการซิกซ์ ซิกม่ามาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ไขปัญหาใดๆจะสามารถช่วยให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างมีขั้นตอน กระบวนการผลิตมีคุณภาพสูงขึ้น ความแปรปรวนของกระบวนการลดต่ำลง ของเสียหรือข้อบกพร่องในกระบวนการลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ สินค้ามีคุณภาพมากขึ้น ค่าใช้จ่ายในกระบวนการลดน้อยลง ส่งผลให้ต้นทุนผลิตภัณฑ์ลดลง ราคาผลิตภัณฑ์ลดต่ำลง และทำให้เป็นที่พึงพอใจของลูกค้ามากยิ่งขึ้นอีกด้วย

จากงานวิจัยเรื่องการลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการประกอบสปินเดิลมอเตอร์ (นิสากร สมสุข, 2551) ที่ได้ประยุกต์แนวคิดของซิกซ์ ซิกมา ในลดปริมาณของเสียในกระบวนการประกอบสปินเดิลมอเตอร์ของฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้วที่ใช้กับแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ จากการวิเคราะห์ Parato chart พบว่าปัญหาที่เกิดในกระบวนการผลิตคือความสูงของปีก Hub ไม่ได้ตามข้อกำหนดเฉพาะซึ่งเป็นข้อมูลประเภทแปรผัน ผลจากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา โดยใช้วิธีการทดสอบสมมติฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาคือ แรงที่ใช้ในการกด Hub จากการทดลองพบว่าค่าแรงดันที่เหมาะสมคือ 5 บาร์หลังจากการปรับปรุงกระบวนการพบว่าจำนวนของเสียในกระบวนการประกอบสปินเดิลมอเตอร์ จาก 6,294 DPPM ลงเหลือ 3,542 DPPM นอกจากนี้ได้มีการนำแนวคิดของซิกซ์ ซิกม่ามาลดค่าเบี่ยงเบนจากแนวแกนเลนส์ในกระบวนการผลิตเลนส์แว่นตาโดยอาศัยเทคนิคการออกแบบการทดลอง (ชญาณี หวังประดิษฐ์, 2551) ซึ่งมีข้อมูลเชิงแปรผันคือค่าแนวแกนเลนส์ จากการวิเคราะห์ FMEA ทำให้ทราบว่าปัจจัยที่ทำให้เกิดความผิดพลาดของแนวแกน เกิดจากกระบวนการบล็อกเลนส์ และกระบวนการตัดเลนส์ จากนั้นทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความผิดพลาดโดยการวิเคราะห์แผนภาพก้างปลา และการประยุกต์การออกแบบการทดลองแบบ 2k Fraction Factorial Design สำหรับกระบวนการบล็อกเลนส์ และแบบ Fraction Factorial Design สำหรับกระบวนการตัดเลนส์ เพื่อวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัย เพื่อให้ได้ค่าเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ตามข้อกำหนดลูกค้าคือ ± 3 องศา

อีกความหมายหนึ่งของซิกซ์ ซิกม่า นอกจากการกระจายตัว หรือความแปรปรวนของข้อมูล ที่เบี่ยงเบนออกไปจากค่าเฉลี่ย ซิกซ์ ซิกม่ายังหมายถึงระดับคุณภาพของกระบวนการอีกด้วย โดยมุ่งเน้นให้

เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด โดยยอมให้มีของเสียได้เพียง 3.4 หน่วยในล้านหน่วย ดังแสดงได้จากงานวิจัยเรื่อง DMAIC approach to printed circuit board quality improvement (J. P. C. Tong F. Tsung and B. P. C. Yen, 2004) ที่ทำการปรับปรุงระดับคุณภาพของซิกซ์ ซิกม่าในกระบวนการตรวจสอบ PCB โดยจะพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อความสูงของการบัดกรีซึ่งมีข้อมูลเป็นประเภทแปรผัน จากเครื่องจักรที่ 12 พบว่าเมื่อทำมาทดสอบความมึนยสำคัญพบว่ามี 5 ปัจจัยคือความเหนียวของตัวบัดกรี ความเร็วของ squeegee แรงดันของ squeegee ด้านของลายฉลุ และลักษณะของใบมีด จากนั้นนำปัจจัยทั้ง 5 มาทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมพบว่าได้ความเหนียวของตัวบัดกรี < 150 mPa.s ความเร็วของ squeegee 0.4 inch/sec แรงดันของ squeegee 18 bar ด้านขวาของลายฉลุ และด้านหน้าของใบมีด ผลที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิตพบว่าสามารถเพิ่มระดับคุณภาพของซิกซ์ ซิกม่าจาก 1.162 ถึง 5.924 ซึ่งใกล้เคียงกับระดับซิกซ์ ซิกม่ามากยิ่งขึ้น

จากนั้นแนวคิดซิกซ์ ซิกม่ายังได้ถูกนำมาประยุกต์กับข้อมูลประเภทลักษณะ ดังเห็นได้ งานวิจัยเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นประเภทฟองและรูลึกในการพ่นสีรองพื้นของกระบวนการผลิตกล่องนาฬิกา ราคาแพง (ภาณุ ชุตเจ็จจิน, 2550) โดยข้อมูลทางลักษณะคือของเสียประเภทฟองและรูลึกและพบว่าปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดของเสียมี 3 ปัจจัย ประกอบด้วย ความหนืดของสารเคมีในการพ่นสีรองพื้น จำนวนรอบของการพ่นสีในการพ่นสีรองพื้น และรูปแบบการพ่นสีรองพื้น ซึ่งระดับที่เหมาะสมของปัจจัยจากผลการทดลองคือ ความหนืดของสารเคมีในการพ่นสีรองพื้น เท่ากับ 30 วินาที จำนวนรอบของการพ่นในการพ่นสีรองพื้นเท่ากับ 6 รอบ และรูปแบบการพ่นในการพ่นสีรองพื้นแบบเดี่ยว เมื่อทำไปใช้งานจริงพบว่าเราสามารถลดจำนวนของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากการพ่นสีรองพื้นในกระบวนการผลิตกล่องนาฬิกา ราคาแพงเหลือเพียง 3,240 DPPM จากกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงมีปริมาณของเสียเท่ากับ 19,615 DPPM และอีกงานวิจัยที่มีข้อมูลเป็นประเภทลักษณะ คือของเสียจากกระบวนการชุบโครเมียม (วสันต์ พุกผาสุก, 2551) งานวิจัยนี้เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการชุบโครเมียม และปรับปรุงคุณภาพผิวงานชุบโครเมียม โดยมีเป้าหมาย คือ การลดอัตราของเสียที่เกิดขึ้นลง 70 เปอร์เซ็นต์ จาก Parato chart ของเสียที่พบมากที่สุดคือการเกิดเม็ดหรือ ตามคบนผิวชิ้นงาน และจากแผนภูมิแกงปลา และการวิเคราะห์ FMEA พบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียประเภทนี้คือวิธีการล้างชิ้นงาน ค่าพีเอชบ่อนิเกิลเงา และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า แนวทางการวิเคราะห์นั้นจะทำการวิเคราะห์ทีละสาเหตุทีละปัจจัย (One Factor at a Time) โดยใช้วิธีการทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (One-Way ANOVA) โดยในการทดลองนี้จะมีจุดมุ่งหมายเพื่อคัดกรองปัจจัยต่างๆ (Screening Factors) ที่สงสัยออกไปก่อนจากนั้นหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด จะต้องควบคุมปัจจัยวิธีการล้างชิ้นงานอยู่ระดับหนึ่ง ค่าพีเอชบ่อนิเกิลเงาอยู่ที่ระดับ 4.25 และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ระดับ 4.40 A/dm² ผลจากการปรับปรุง พบว่า ค่าเฉลี่ยของเสียต่อเดือนลดลงจาก 146,295 PPM เหลือเพียง 25,780 PPM และทำให้ลดมูลค่าความ สูญเสียจาก 774,714 บาทต่อเดือนเหลือ

128,648 บาทต่อเดือน โดยสามารถลดระดับการเกิดของเสียลง 82 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งบรรลุตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

นอกจากนี้ยังได้มีการประยุกต์ใช้ ซิกม่า กับข้อมูลประเภทลักษณะ ใช้กับอุตสาหกรรมพลาสติก (วารสารฯ ขำสนิท, 2551) ในการลดต้นทุนที่เกิดจากข้อเสียประเภทข้อบกพร่องชนิดครีป และชนิดไม่เต็มแม่พิมพ์ จากงานวิจัยพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อข้อบกพร่องประเภทดังกล่าวคือ ความดันฉีด ความเร็วฉีด และระยะย้าย โดยสถานะที่ทำให้ต้นทุนของเสียรวมที่เกิดขึ้นจากข้อเสียประเภทนี้ คือ ความดันฉีด 55.6 เมกกะปาสคาล ความเร็วฉีด 62.9 มิลลิเมตร/วินาที และระยะย้าย 5.3 มิลลิเมตร ส่งผลให้ลดต้นทุนของเสียรวมจากเดิม 0.3194 บาท/ชิ้น เหลือ 0.0293 บาท/ชิ้น และงานวิจัยเรื่องการลดแม่แบบแก้วเสียในกระบวนการผลิตเลนส์พลาสติกโดยใช้แนวคิดซิกม่า ซิกม่า (ธีรพร เสนพรหม, 2550) ที่มีข้อมูลประเภทลักษณะคือของเสียแม่แบบแก้ว โดยใช้เทคนิคการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลที่มีการแปลงข้อมูลจากตัวแปรตอบสนองประเภทลักษณะเป็นแปรผันของ Bisgaard & Fuller พบว่าปัจจัยที่ผลต่อของเสียประเภทแม่แบบแก้วมี 5 ปัจจัยคือ อุณหภูมิออกจากตู้โพลีเมอร์ไรเซชัน 130 องศาเซลเซียส ระยะเวลาเก็บงานไว้ในตู้หลังการตู้โพลีเมอร์ไรเซชัน 2 ชั่วโมง วิธีการแกะแม่แบบออกจากเลนส์วิธีที่ 2 อุณหภูมิในการแกะแม่แบบ 90 องศาเซลเซียส และชนิดของสปีดเลนส์ชนิดรูป ผลหลังจากการปรับปรุงพบว่าสัดส่วนของเสียลดลงจาก 0.25% หรือ 2,512 PPM เหลือ 0.083% หรือ 826 PPM

การประยุกต์ใช้ซิกม่า ซิกม่า ของหัวหน้าเขียนในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ที่มีตัวแปรตอบสนองประเภทแปรผัน เห็นได้จากงานวิจัยเรื่องการปรับปรุงข้อบกพร่องอันเนื่องมาจากการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิต ของกระบวนการประกอบหัวอ่านและบันทึก (นวลพรรณ ใจงาม, 2542) ที่มีข้อมูลประเภทแปรผันคือค่าความต้านทานของหัวอ่านเขียนที่ส่งผลโดยตรงกับข้อบกพร่องอันเนื่องมาจากการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิต พบว่าปัจจัยส่งผลต่อการเกิดกระแสไฟฟ้าสถิต เรียงจากมากไปน้อย คือการต่อกราวด์ในกระบวนการผลิต วิธีการทำงานของการดึงสายเชื่อมตะกั่ว งานไม่ผ่านข้อกำหนดปะปนเข้าสู่กระบวนการผลิต สแกนเนอร์ในการอ่านบาร์โค้ดของชิ้นงาน การใช้มือจับชิ้นงานประเภทของเครื่องมือในการจับงาน และประสิทธิภาพของพัดลมสลายประจุไฟฟ้า และยังมีงานวิจัยเรื่องการลดปริมาณของเสียจากค่ามุมของชิ้นงานหัวอ่าน-เขียนไม่ได้ตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ที่กระบวนการก่อนหน้ากระบวนการตัดค่ามุมของชิ้นงาน (พงส์ สกุลกลานวัฒน์, 2551) โดยมีข้อมูลประเภทแปรผันคือค่ามุมของชิ้นงาน จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่ผลอย่างมีนัยสำคัญตามแนวทางซิกม่า ซิกม่าทำให้ทราบปัจจัยที่ผลต่อของเสียที่เกิดขึ้นได้ 4 ปัจจัยคือค่ามุมของ Tongue, ค่ามุม Sag, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจุดเชื่อม และระยะ X ของจุดเชื่อม ผลที่ได้จากการทำค่าที่เหมาะสมไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิตพบว่าสามารถลดของเสียลงเหลือ 1.56 ส่งผลให้ Overall yield ใกล้เคียงค่าเป้าหมายเท่ากับ 73.73% และอีกงานวิจัยที่มีข้อมูลประเภทแปรผันคือตำแหน่งการวางของหัวอ่านเขียน ได้แก่งานวิจัยเรื่องการลดของเสียในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์โดยเทคนิคซิกม่า ซิกม่า (วิศิษฐ์ศรี วิยะรัตน์, 2551) เป็นการลดของ

เสียหายการวางตำแหน่งของหัวอ่านผิดพลาด จากการวัดผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เกิดจากการวางตำแหน่งหัวอ่านผิดพลาดก่อนการปรับปรุงมีค่าเป็น 0.1259% ผลจากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยแผนภาพก้างปลา การระดมสมอง และการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ พบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาคือ ความเข้มของแสง UV เวลาการเปิดวาล์วของหลอดกาว และความดันของกาวภายในหลอดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของหัวอ่านในแนวแกน x และ t อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนในแนวแกน y ไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งพบว่าผลกระทบที่รุนแรงจะอยู่ที่แกน t และจากการปรับปรุงด้วยการออกแบบการทดลองแบบ เพื่อทำการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย พบว่าความเข้มของแสง UV คือ 88 mw/cm² เวลาการเปิดวาล์วของหลอดกาว 0.02 วินาที และความดันของกาวในหลอดที่เหมาะสม 2.7 psi ทำให้มีผลิตภัณฑ์บกพร่องเป็น 0.0257% ลดจากเดิมคิดเป็นร้อยละ 79.58

มีงานวิจัยหลายงานที่ได้นำซิกซ์ ซิกม่า ไปใช้ในการลดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงได้จากงานวิจัยเรื่องการศึกษาปัจจัยในกระบวนการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลฮาร์ดดิสก์ที่มีผลกระทบต่อการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล โดยใช้ในการออกแบบการทดลอง (วัชรศักดิ์ ทวีสุข, 2546) ที่มีข้อมูลประเภทแปรผันคือการโค้งตัว เพื่อศึกษาถึงปัจจัยในกระบวนการผลิตชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลที่มีผลกระทบต่อค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล รวมทั้งพิจารณาหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่เป็นไปได้จริงในทางปฏิบัติ เพื่อการลดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัว ให้อยู่ในระดับ 0.033 ส่วนในล้านส่วนของหนึ่งนิ้ว ปัจจัยทั้งหมดที่มีผลกระทบต่อค่าการโค้งตัวโดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล ทำให้สามารถเลือกปัจจัยที่มีศักยภาพจำนวน 6 ปัจจัย คือตำแหน่งของกาวโครงสร้าง ตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้า ขนาดของกาวโครงสร้างขนาดของกาวตัวนำไฟฟ้า ระยะห่างจากปลายท่อหน้าแสง UV ถึงตัวงาน และระยะเวลาในการให้แสง UV พบว่าปัจจัยที่เหมาะสมคือตำแหน่งของกาวต้องมีระยะ 32 mil ในแนวแกน x และตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้าอยู่ที่ระยะ 36 mil จากรูอ้างอิงแนวแกน y ค่าปัจจัยอื่นๆให้คงที่ค่าปัจจุบัน พบว่าสามารถลดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวของหัวอ่านเขียนข้อมูลลงมาอยู่ที่ระดับ 0.0309 ส่วนในล้านส่วนของหนึ่งนิ้ว

การประยุกต์ใช้ซิกซ์ ซิกม่า ของหัวอ่านเขียนในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ ที่มีตัวแปรตอบสนองประเภทลักษณะ ได้แก่งานวิจัยเรื่องการลดการปนเปื้อนจากกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียนสำหรับคอมพิวเตอร์ (ศิริวิดี เอื้ออรัญโชติ, 2546) ได้นำแนวคิดของซิกซ์ ซิกม่า มาประยุกต์เพื่อลดการปนเปื้อนบนชิ้นงานจากกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียน โดยมีข้อมูลประเภทลักษณะคือคราบสกปรกบนชิ้นงานหัวอ่านเขียน จากการนำแนวคิดของซิกซ์ ซิกม่า มาใช้ทำให้ทราบว่าปัจจัยที่มีผลต่อของเสียที่เกิดขึ้นบนหัวอ่าน-เขียน มี 3 ประเภท คือ คราบสกปรกจากฝุ่นละออง คราบสกปรกจากการตกค้างของกาว คราบสกปรกจากการตกค้างของคราบน้ำยา หลังจากทำการปรับปรุงแล้วพบว่าของเสียมีปริมาณ 79,080

DPPM ลดจากก่อนทำการปรับปรุงคือ 245,153 DPPM สามารถลดความสูญเสียได้เป็นจำนวนเงิน US\$8,091

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับของเสียประเภทอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียนในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ดังเห็นได้จากงานวิจัยเรื่องระเบียบวิธีสำหรับควบคุมระยะการบินของหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์เพื่อลดอัตราข้อมูลผิดพลาดจากการอ่าน-เขียน (ฉัญญพร ชาญณรงค์, 2554) งานวิจัยนี้เสนอการออกแบบระเบียบวิธีสำหรับควบคุมระยะการบินของหัวอ่าน - เขียนฮาร์ดดิสก์เพื่อลดอัตราข้อมูลผิดพลาดจากการอ่าน-เขียน โดยศึกษาผลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงระยะการบินของหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์เพื่อหาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นเมื่อหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์เข้าใกล้ดิสก์ ตัวแปรที่ถูกทดสอบคือสัญญาณระบุตำแหน่งผิดพลาด (Position Error Signal : PES) ซึ่งเป็นตัวระบุตำแหน่งหัวอ่าน - เขียนฮาร์ดดิสก์ และค่าการแปลงดิจิทัลเป็นแอนะล็อก (Digital to Analog Converter : DAC) ที่ป้อนให้แก่คอยล์ขอมอเตอร์เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ ผลการศึกษาพบว่าค่า DAC เปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อหัวอ่าน-เขียนเข้าใกล้ดิสก์ ดังนั้นค่า DAC จึงถูกใช้ในการตรวจจับการเข้าใกล้ดิสก์และระบุระยะการบินของหัวอ่าน-เขียน จากผลการทดสอบระเบียบวิธีที่นำเสนอไปใช้สามารถปรับปรุงระยะการบินเพื่อลดอัตราข้อมูลผิดพลาดจากการอ่าน-เขียนข้อมูลได้เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 6.99% เมื่อเปรียบเทียบค่าระยะการบินที่ถูกกำหนดจากโรงงาน

อีกงานวิจัยที่แสดงถึงปัจจัยที่ผลต่อหัวอ่านมีความผิดพลาดจากข้อมูลจริงคืองานวิจัยเรื่องผลกระทบของกระแสเขียนต่อสมรรถนะของระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแนวตั้ง (พรชัย เปลี่ยมทรัพย์ และคณะ, 2554) ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงผลกระทบของกระแสเขียนที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแนวตั้ง และแสดงผลออกมาในรูปของ $-\log_{10}(BER)$ โดยพิจารณาจากพารามิเตอร์ของกระแสเขียน 2 ตัวแปรคือแอมพลิจูดของกระแส (current amplitude : I_w) และส่วนพุ่งเกินของกระแส (current overshoot : I_o) จากงานวิจัยพบว่า เมื่อมีการเพิ่มค่า I_w และ I_o ค่า $-\log_{10}(BER)$ จะดีขึ้นเฉพาะในกรณี unsqueezed แต่ในกรณีsqueezed นั้นเป็นผลให้สมรรถนะต่ำลงตามเปอร์เซ็นต์ของการ squeezed ที่สูงขึ้น

งานวิจัยของ J. Elerath and M. Pecht (2007) ได้กล่าวถึงข้อผิดพลาดในระหว่างการเขียน-อ่านข้อมูลไว้ว่า BER เป็นมาตรการทางสถิติของประสิทธิภาพของทุกไฟฟ้า เครื่องกล, แม่เหล็ก และเฟิร์มแวร์ ระบบควบคุมการทำงานร่วมกันที่จะเขียนหรืออ่านข้อมูล ส่วนใหญ่ความผิดพลาดบิตที่เกิดขึ้นเมื่อคำสั่งอ่านและได้รับการแก้ไข แต่เนื่องจากข้อมูลที่เขียนไม่ค่อยจะถูกตรวจสอบทันทีหลังจากที่การเขียนข้อผิดพลาดที่บิตยังสามารถเกิดขึ้นได้ในระหว่างการเขียนข้อมูล ข้อบกพร่องประเภทอัตราบิดผิดพลาด มีโอกาสที่เป็นไปได้จากงานบันทึกข้อมูลที่มีรอยรอยขีดข่วน, ป้าย หรือหลุม สามารถทำให้ข้อมูลเสียหายบนงานบันทึกข้อมูล และสามารถส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดการเขียนเช่นกัน อีกสาเหตุที่

พบข้อบกพร่องสำหรับข้อมูลที่เขียนไม่ดีคือการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียน การบินสูงเกินไปทำให้แม่เหล็กในการเขียนข้อมูลอ่อนไป ทำให้ไม่สามารถอ่านข้อมูลกลับมาได้

อีกงานวิจัยเรื่อง Flexible KFCI Compensation for Head/Media Optimization Perpendicular Disk Drives (P. Supnithi et al., 2011) ในงานวิจัยนี้จะเป็นการทดลองค่าลาดเอียงของการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ต่อนิ้ว (Kilo Flux Change per Inch : KFCI) โดยการวัดลาดเอียงของ KFCI จะคำนวณมาจากจุดที่มากกว่าสามเพื่อให้ได้ความถูกต้องดีกว่าแต่จะใช้เวลานานในการคำนวณความชันว่ามีผลต่อค่า BER อย่างไรโดยงานวิจัยนี้จะทำเลือกจุดที่ทำการทดสอบคือ 200, 1,400 และ 1,800 KFCIs ตามลำดับ มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าความลาดเอียงที่แท้จริง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการเพิ่มประสิทธิภาพความยืดหยุ่น โดยทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบ BER ระหว่างวิธีที่นำเสนอและวิธีการที่คงที่ลาดชันในกลุ่มเดียวกันของไดรฟ์ โดยทำการทดลองกับหัวอ่านเขียนจำนวน 60 หัวอ่านเขียน พบว่าค่า BER ของแต่ละหัวภายใต้กรณีค่าชดเชยมากกว่าจากการออกแบบกระบวนการที่มี fixed slope ประมาณ 0.3-0.5 decade โดยเฉลี่ย สำหรับหัวอ่านเขียน

สรุปผลจากงานวิจัยดังกล่าวมาข้างต้นที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยได้คือระยะการบินที่ทำให้หัวอ่านเข้าใกล้งานบันทึกข้อมูล การเพิ่มค่าแอมพลิจูดของกระแส ส่วนพุ่งเกินของกระแสงานบันทึกข้อมูลที่ไม่มีรอยรอยขีดข่วน, ฝุ่น หรือหลุม และการคำนวณค่าลาดเอียงของการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ต่อนิ้วที่แท้จริง จะส่งผลดีต่อค่าความผิดพลาดของการอ่านเขียนข้อมูล ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของหัวอ่านเขียนได้

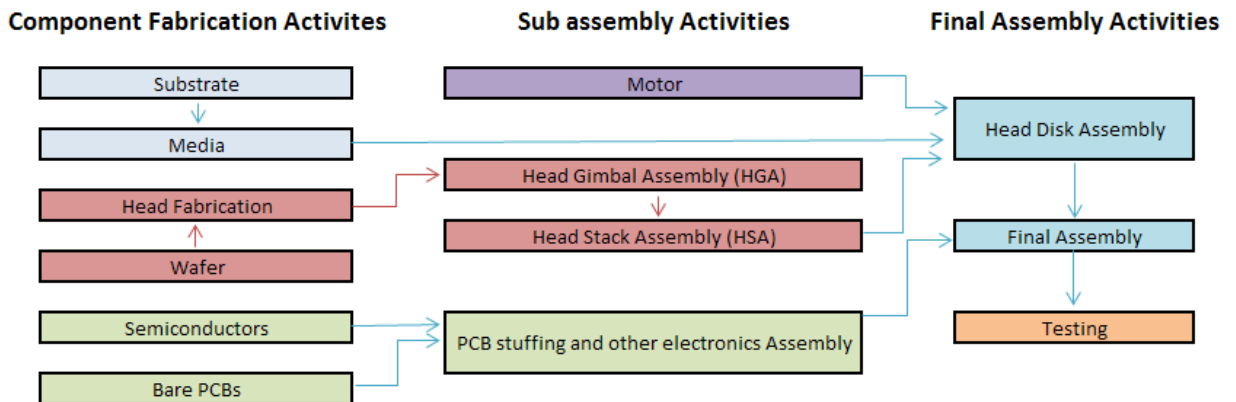
บทที่ 3 ระยษณียามปัญห

3.1 บทนำ

ระยษณียามปัญหเป็นขั้นตอนแรกของการดำเนินการตามวิธีซิกซ์ ซิกม่า เพื่อใช้ในการกำหนดปัญห และคัดเลือกหัวข้อที่จะทำการปรับปรุงโดยต้องมีการกำหนดปัญห และเป้าหมายให้ชัดเจนว่าควรที่จะทำการปรับปรุงอะไร โดยเริ่มจากศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อวิเคราะห์ปัญหในปัจจุบัน เก็บข้อมูล จัดลำดับความสำคัญของปัญหเพื่อระบุปัญห เป้าหมาย และขอบเขตที่ชัดเจน รวมทั้งจัดตั้งคณะทำงานเพื่อเข้าร่วมทีมปรับปรุงคุณภาพโดยเลือกจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการทดสอบการทำงานของหัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์

3.2 ศึกษากระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะมีขั้นตอนการประกอบหลักอยู่ 3 ขั้นตอนคือ Component Fabrication Activities, Sub Assembly Activities และ Final Assembly Activities โดยมีผังกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ตามรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แพนผังกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์

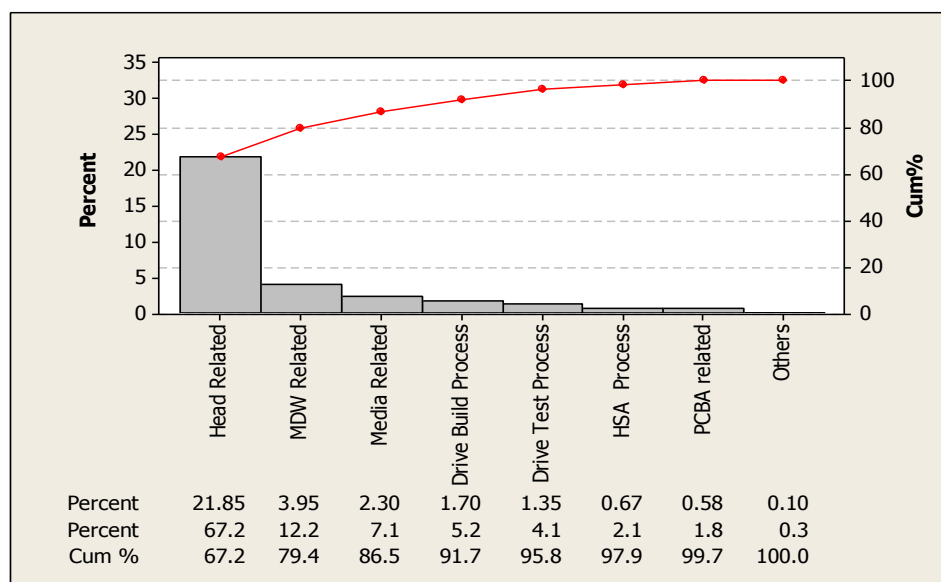
ขั้นตอน Component Fabrication Activities เป็นขั้นตอนแรกของการประกอบผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ คือการผลิตส่วนประกอบหลักที่สำคัญของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ คืองานบันทึกข้อมูล (Media) ที่ได้จากการประกอบรวมกันของแผ่นชั้นแม่เหล็ก (Substrate) หัวอ่านเขียนที่ได้จากการประกอบตัดแบ่งของเวเฟอร์ (Wafer) และชิ้นส่วนประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์

ขั้นตอน Sub Assembly Activities เป็นการประกอบของหัวอ่านเขียน (HGA) รวมเข้ากันจนเป็นชุดประกอบของหัวอ่านเขียน (HSA)

ขั้นตอน Final Assembly Activities เป็นการนำส่วนประกอบทั้งหมดมารวมเข้าด้วยกัน คือมอเตอร์ (Motor) ชุดประกอบของหัวอ่านเขียน จานบันทึกข้อมูล และแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการทดสอบการทำงานของฮาร์ดดิสก์ (Testing) เพื่อทำการทดสอบคุณลักษณะทางกล (Mechanical test) และคุณลักษณะทางไฟฟ้า (Electrical) ให้ได้คุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ

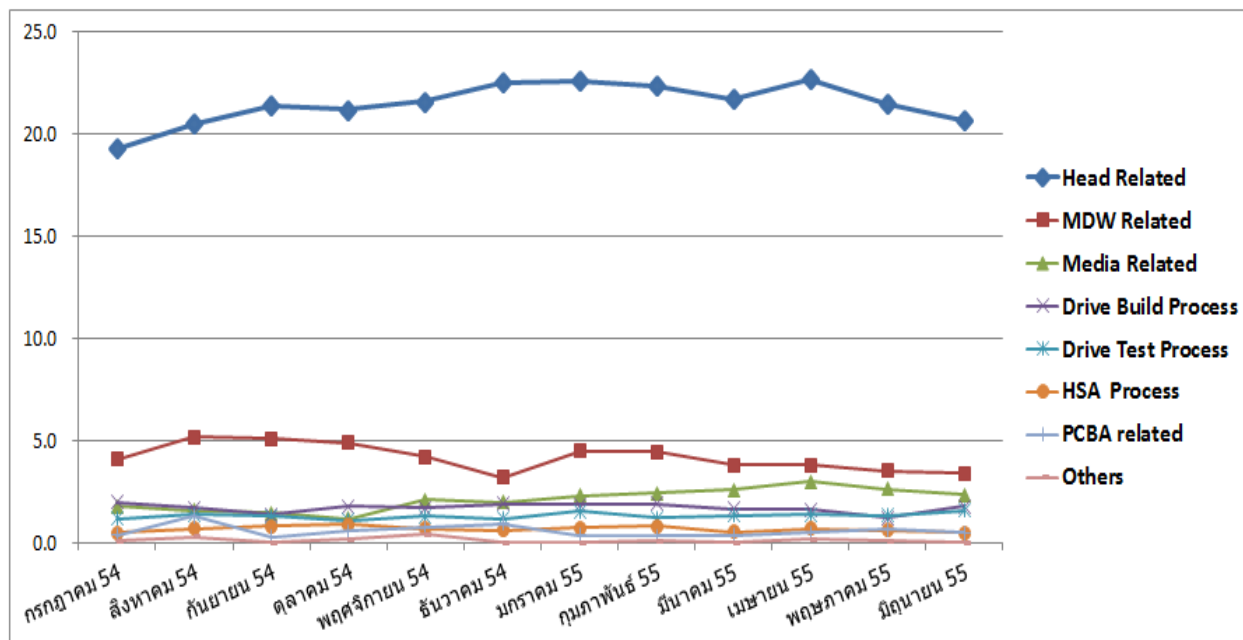
3.3 สภาพปัญหาในปัจจุบัน

ในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ขั้นสุดท้ายนอกจากการประกอบผลิตภัณฑ์ที่ให้ครบถ้วนถูกต้องแล้ว หลักการสำคัญในการผลิตฮาร์ดดิสก์ คือการทดสอบการทำงานของฮาร์ดดิสก์เพื่อให้ได้คุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ ในช่วงทดสอบการทำงานของฮาร์ดดิสก์นี้พบว่าได้มีของเสียเกิดขึ้นจากกระบวนการนี้เป็นจำนวนมากโดยสาเหตุที่ทำให้การทำงานของฮาร์ดดิสก์ไม่เป็นไปตามลูกค้าที่ต้องการตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554 ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2555 พบว่าปัญหาประเภท Head Related ซึ่งเป็นปัญหาของการทำงานของหัวอ่านเขียนข้อมูลที่ไม่ได้คุณภาพทั้งหมดมีจำนวนของเสียมากที่สุดคิดเป็น 67.2%



รูปที่ 3.2 แผนภูมิพาราโตของเสียแบ่งตามสาเหตุหรือลักษณะเดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555

จากรูปที่ 3.3 แสดงของเสียและแบ่งตามเดือนการผลิตในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554 ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2555 ของเสียประเภท Head related ยังคงมีปริมาณมากที่สุดและสูงขึ้นในแต่ละเดือน



รูปที่ 3.3 สัดส่วนของเสียที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ A เดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากของเสียประเภทต่างๆ พบว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากของเสียประเภท Head Related มีค่าใช้จ่ายมากที่สุด เนื่องจากในส่วนของประกอบของฮาร์ดดิสก์ทั้งหมดต้นทุนของหัวอ่านเขียนมีราคาต่อหน่วยสูงที่สุดคิดเป็น 644 บาท จากต้นทุนรวม 1,552 บาท คิดเป็น 41.49% โดยมีรายละเอียดของต้นทุนจากแผนกควบคุมการผลิตของบริษัทกรณีศึกษาดังแสดงในตารางที่ 3.1

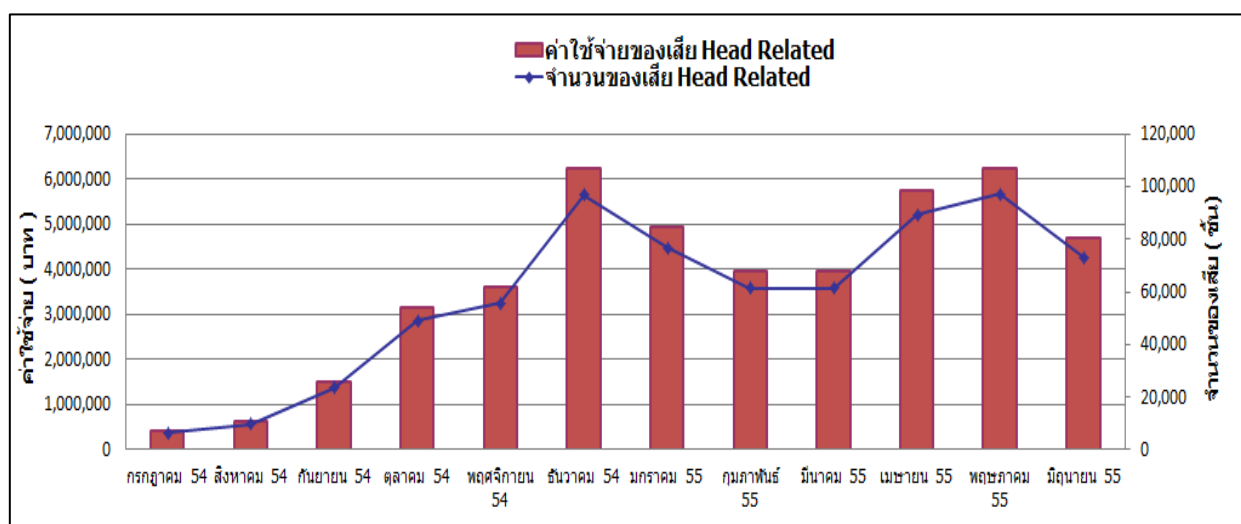
จากรูปที่ 3.4 แสดงจำนวนและค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียประเภท Head Related ในแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555 พบว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณของของเสียที่เกิดขึ้น โดยค่าใช้จ่ายในปี 2554 ที่สูงที่สุดคือในเดือนธันวาคมมีค่าใช้จ่ายสูงถึง 6,228,706 บาท และในปี 2555 ค่าใช้จ่ายสูงสุดในเดือนพฤษภาคมมีค่าใช้จ่ายสูงถึง 6,239,768 บาท

จากค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียประเภท Head Related ที่มีแนวโน้มสูงขึ้นในแต่ละเดือนที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยสนใจที่เลือกทำการลดของเสียประเภท Head Related เป็นสำคัญ โดยของเสียประเภท Head Related สามารถแยกประเภทของเสียย่อยได้เป็น 5 ประเภท ดังนี้

1. ของเสียที่เกิดจากข้อมูลที่อ่านได้ของหัวอ่านมีความผิดพลาดไปจากข้อมูลจริง
2. ของเสียที่เกิดจากลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนไม่ได้ระดับตามต้องการ
3. ของเสียที่เกิดจากสัญญาณที่ได้จากหัวอ่านมีลักษณะไม่สมมาตร
4. ของเสียที่เกิดจากการเขียนข้อมูลของแตรีกที่สนใจไปรบกวนสัญญาณของแตรีกข้างเคียง
5. ของเสียที่เกิดจากค่าความต้านทานของหัวอ่านเขียนมีค่าผิดปกติไปจากเดิม

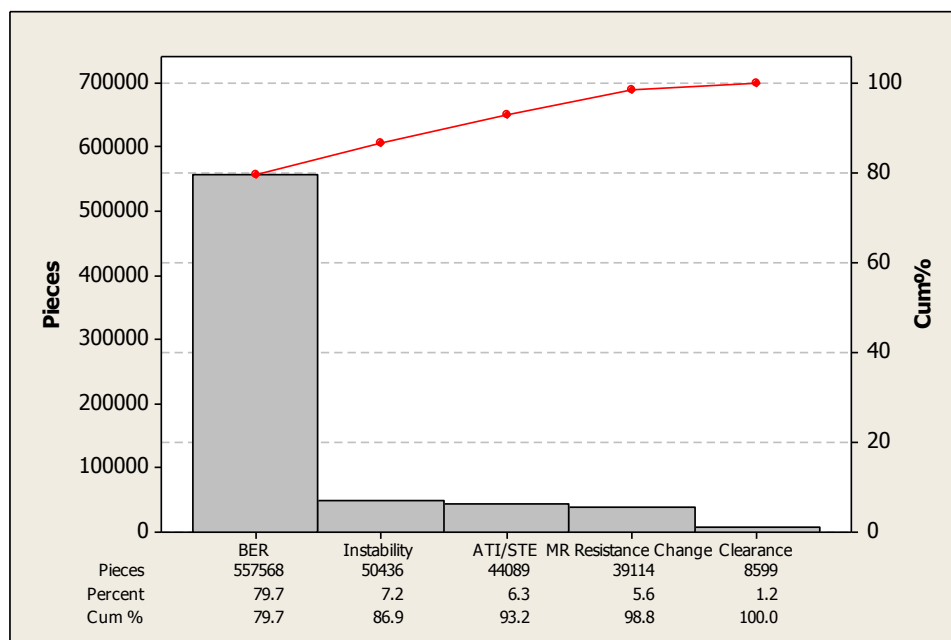
ตารางที่ 3.1 ต้นทุนต่อหน่วยของส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์

ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์	ราคา (บาท)
HSA	644
MBA	369
PCBA	298
Media	136
LVCM	59
UVCN	59
Top cover	42
Other	6



รูปที่ 3.4 จำนวนและค่าใช้จ่ายของของเสียประเภท Head Related
เดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555

เมื่อพิจารณาตามแผนภาพพาราโตจำนวนของเสียย่อยแยกตามประเภทของ Head Related ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555 ในรูปที่ 3.5 พบว่าของเสียที่พบมากที่สุดคือของเสียประเภท ข้อมูลที่อ่านได้ของหัวอ่านมีความผิดพลาดไปจากข้อมูลจริงหรือ Low BER คิดเป็นสัดส่วน 79.7% จากของเสียรวมทั้งหมด ดังนั้นอาศัยหลักการ 80:20 ของพาราโต งานวิจัยนี้จึงเลือกทำการลดของเสีย Head Related ประเภท Low BER



รูปที่ 3.5 จำนวนของเสียย่อยแยกตามประเภทของ Head Related กรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555

3.3 ตัวชี้วัดของงานวิจัย

อัตราบิตผิดพลาด (Bit Error Rate : BER) เป็นตัวชี้วัดคุณภาพและความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดของการอ่านข้อมูลที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลว่าการเก็บข้อมูลมีค่าถูกต้องมากน้อยเพียงใด อัตราบิตผิดพลาดเป็นอัตราส่วนของจำนวนบิตที่ผิดพลาดต่อจำนวนบิตทั้งหมดที่เขียนลงจานบันทึกข้อมูล (N_e/N_t) โดยส่วนใหญ่การตรวจสอบอัตราบิตผิดพลาดจะเป็นสัดส่วนจำนวนบิตผิดพลาดจากการอ่านข้อมูลกลับ เมื่อมีการเขียนข้อมูลจำนวน 1 ล้านบิต ตัวอย่างเช่น ถ้ามีจำนวนบิตที่ผิดพลาดเท่ากับ 1 ดังนั้น $BER = 1/10^6$ หรือเท่ากับ 10^{-6}

โดยอัตราบิตผิดพลาดจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปที่เขียนง่ายขึ้น ดังแสดงในสมการที่ 3.1 จากตัวอย่างข้างต้นจะเห็นได้ว่าอัตราบิตผิดพลาดจะเท่ากับ 6

$$BER = -\log_{10}\left(\frac{N_e}{N_t}\right) \quad (3.1)$$

โดยที่ N_e คือจำนวนบิตที่ผิดพลาด และ N_t คือจำนวนบิตทั้งหมดที่เขียนลงในจานบันทึกข้อมูล

ดังนั้นถ้า BER มีค่าสูงหมายความว่า การอ่านเขียนข้อมูลจะมีประสิทธิภาพสูงคือมีจำนวนบิตผิดพลาดที่น้อย และในทางกลับกันถ้า BER มีค่าต่ำหมายความว่า การอ่านเขียนข้อมูลจะมีประสิทธิภาพต่ำลงคือมีจำนวนบิตผิดพลาดมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จะทำการลดของเสียประเภท Low BER ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงลักษณะ (Attribute data) แต่จะใช้ตัวแปรตอบสนอง (Response) เป็นข้อมูลแปรผันคือ BER เพื่อดำเนินการปรับปรุงคุณภาพของเสียประเภทอัตราบิตผิดพลาดไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านต่ำหรือ Low BER ด้วยวิธีการทางซิกซ์ ซิกม่าต่อไป

3.4 การกำหนดทีมงานในการดำเนินงาน

ผู้วิจัยทำการกำหนดทีมงานในการดำเนินงานจากผู้ที่มีประสบการณ์ มีความรู้ ความชำนาญในกระบวนการทดสอบการทำงานของหัวอ่านเขียน โดยเฉพาะการปรับปรุงคุณภาพหัวอ่านเขียนข้อมูล เพื่อช่วยในการระดมสมองด้วยเครื่องมือและเทคนิคต่างๆที่ใช้ส่งผลต่ออัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียนไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านเดียวคือด้านต่ำ อีกทั้งยังช่วยในงานการสนับสนุนการทดลองต่างๆเพื่อให้บรรลุเป้าหมายการทดลอง โดยทีมงานวิจัยประกอบไปด้วยบุคคลที่มาจากส่วนงานต่างๆดังนี้

วิศวกรฝ่ายผลิตภัณฑ์

วิศวกรฝ่ายกระบวนการผลิต

วิศวกรผู้เชี่ยวชาญด้านหัวอ่านเขียน

วิศวกรควบคุมคุณภาพ

3.5 สรุปผลระยะนิยามปัญหา

ในขั้นตอนนิยามปัญหาหลังจากที่ได้ศึกษากระบวนการการผลิตและวิเคราะห์สภาพปัญหาในปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษาแล้วได้กำหนดปัญหาและขอบเขตในงานวิจัยคือปัจจุบันมีของเสียประเภท Head Related จำนวนมากที่สุดเป็นจำนวนของเสียทั้งหมดคิดเป็น 67.2% ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียประเภท Head Related ในแต่ละเดือนซึ่งมีปริมาณมากขึ้นตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555 โดยเฉพาะในเดือนพฤษภาคม 2555 มีค่าใช้จ่ายสูงถึง 6,239,768 บาท เมื่อแยกของเสียประเภท Head Related พบว่าของเสียย่อยที่พบมากที่สุดคือของเสียประเภทข้อมูลที่อ่านได้ของหัวอ่านมีความผิดพลาดไปจากข้อมูลจริงหรือ Low BER คิดเป็นสัดส่วน 79.7% ดังนั้นจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้จะศึกษาปัญหาที่เกี่ยวข้องกับอัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียนที่ไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านเดียวคือด้านต่ำ โดยจะทำการศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ A ขนาดความจุ 3000 จิกะไบต์

บทที่ 4

ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา

4.1 บทนำ

หลังจากที่ได้ทำการนิยามปัญหาที่เกิดขึ้นแล้ว ในบทนี้จะเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา โดยใช้เครื่องมือทางคุณภาพและสถิติช่วยในการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ เริ่มต้นจากการวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงของระบบการวัดในการวัดอัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียน และทำการเก็บข้อมูลเพื่อพิจารณาความสามารถกระบวนการของค่าอัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียนในปัจจุบัน เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์หาสาเหตุ จากนั้นระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า โดยวิเคราะห์หาสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ทำให้อัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียนมีค่าไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านเดียวคือด้านต่ำ โดยใช้ผังก้างปลาหรือผังสาเหตุและผล จากนั้นวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล โดยการให้คะแนนเพื่อเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้า เพื่อพิสูจน์ัยสำคัญของสาเหตุของปัญหาต่อไปด้วยวิธีการทางสถิติ

4.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงของระบบการวัด

การวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงของระบบการวัดเป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากการแก้ไขปัญหาด้านคุณภาพหรือการป้องกันปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพนั้น ต้องมีความมั่นใจว่าระบบการวัดมีเสถียรภาพ ด้วยการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดในการกระบวนการผลิตอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่

ระบบการวัดของบริษัทกรณีศึกษามีลักษณะการประเมินผลแบบข้อมูลเชิงแปรผัน (Variable data) คือค่าอัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียน ในที่นี้จะทำการวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติความแม่นยำของเครื่องมือการวัดซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความผันแปรของระบบการวัด 2 ด้านดังนี้

- Repeatability หมายถึงความผันแปรของค่าวัดที่ทำการวัดโดยพนักงานวัดคนเดียวกัน เครื่องมือวัดเครื่องเดียวกัน ในการวัดชิ้นงานเดียวกันซ้ำๆ เพื่อแสดงความผันแปรของเครื่องมือวัด
- Reproducibility หมายถึงความผันแปรที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากการใช้เครื่องมือวัดเครื่องเดียวกันในการวัดชิ้นงานชิ้นเดียวกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน เช่น พนักงานที่ทำการวัดคนละคน เพื่อแสดงถึงความแตกต่างระหว่างพนักงานวัด โดยพนักงานที่ทำการวัดควรพิจารณาถึงช่วงอายุให้มีความเหมาะสมเพื่อลดความผันแปรของระบบการวัด

ในการกำหนดขนาดสิ่งตัวอย่างและจำนวนครั้งของการวัดซ้ำ (Fasser and Brettner ,1992) มีคำแนะนำสำหรับกรณีค่าวัดดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ขนาดสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบด้วยข้อมูลผันแปรผัน

จำนวนผู้ทดสอบ (พนักงานวัด)	จำนวนอุปกรณ์วัด	จำนวนชิ้นงานที่น้อยที่สุด	จำนวนการวัดซ้ำใน แต่ละชิ้นงาน
1	2	10	5
1	2	15	3
2	1	15	3
2	2	10	2
1 หรือ 2	3 หรือมากกว่า	10	2
3 หรือมากกว่า	1 หรือ 2	10	2
3 หรือมากกว่า	3 หรือมากกว่า	10	2

ในการทดสอบของงานวิจัยนี้จะกำหนดให้มีจำนวนผู้ทดสอบ 3 คน, จำนวนอุปกรณ์การวัด 1 ชิ้น ดังนั้นจึงต้องกำหนดจำนวนชิ้นงานที่ต้องทำการวัดมากกว่าหรือเท่ากับ 10 ชิ้น และจำนวนการวัดซ้ำ ในแต่ละชิ้น เท่ากับ 2 ครั้ง

4.2.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงของระบบการวัดของค่าอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน มีขั้นตอนการออกแบบและประเมินความสามารถของระบบการวัดดังต่อไปนี้

1. คัดเลือกผู้ทดสอบที่มีความชำนาญในการวัดค่าอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียนและชำนาญการใช้เครื่องมือวัดจำนวน 3 คน โดยกำหนดให้พนักงานวัดเป็นชายที่มีอายุระหว่าง 25 – 30 ปี เนื่องจากพนักงานที่วัดค่าอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียนในกระบวนการผลิตจะมีอายุระหว่าง 25 – 30 ปีทั้งเพศชายและเพศหญิง แต่เนื่องจากการวัดค่าคือการอ่านค่าจากเครื่องมือวัดที่มีความแม่นยำ ดังนั้นเพศจึงไม่มีผลต่อความสามารถของระบบการวัด

2. กำหนดกลุ่มตัวอย่างโดยทำการคัดเลือกงานในกระบวนการผลิตจำนวน 10 ชิ้น

3. ให้พนักงานทำการวัดค่าอัตราบิดผิดพลาดโดยแต่ละคนจะทำการวัดซ้ำจำนวน 2 ครั้ง/ชิ้นงาน โดยจำนวนชิ้นงานที่วัดซ้ำได้จากตารางที่ 4.1

4. เพื่อหลีกเลี่ยงความเียงเอนขณะทำการประเมินระบบการวัด ดังนั้นจึงมีการสุ่มลำดับของการวัดค่าอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน นอกจากนี้เมื่อผู้วัดทำการวัดค่าเรียบร้อยแล้วจะต้องนำข้อมูลที่วัดได้ไปบันทึกโดยผ่านผู้กรอกข้อมูล (คนกลาง) ซึ่งจะช่วยลดความเียงเอนระหว่างผู้วัดแต่ละคนได้

5. นำข้อมูลที่ได้อำนาจวิเคราะห์ความผันแปรในระบบการวัด

จากการดำเนินการวัดค่าอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียนตามขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้นจะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2 ดังนี้

จากตารางที่ 4.2 ได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความผันแปรในระบบการวัดของงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นยำโดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Method) ได้ผล ดังนี้

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดค่าอัตราเบี่ยงเบนของหัวอ่านเขียน

ตัวอย่างทดสอบ	ผู้ทดสอบคนที่ 1		ผู้ทดสอบคนที่ 2		ผู้ทดสอบคนที่ 3	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	3.538	3.559	3.521	3.573	3.550	3.522
2	3.474	3.562	3.539	3.550	3.455	3.531
3	3.493	3.419	3.441	3.453	3.450	3.431
4	2.870	2.850	2.810	2.810	2.851	2.887
5	3.098	3.078	2.995	3.024	3.096	3.040
6	3.525	3.538	3.535	3.593	3.573	3.550
7	2.560	2.638	2.629	2.652	2.615	2.618
8	3.538	3.555	3.545	3.558	3.514	3.508
9	2.561	2.637	2.610	2.650	2.603	2.619
10	3.659	3.652	3.645	3.619	3.630	3.602

1. จากกราฟ Components of Variation พบว่าค่าความแปรปรวนอันเนื่องมาจากความแตกต่างของชิ้นงาน (Part to Part) เท่ากับ 99.41% ซึ่งมีค่ามากกว่าความแปรปรวนอันเนื่องมาจากระบบการวัดของเครื่องมือ (Total Gage R&R) ที่มีค่าเพียง 0.59% เท่านั้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ความผันแปรส่วนใหญ่ของระบบการวัดนี้มาจากความแตกต่างของลักษณะชิ้นงาน

2. จากแผนภูมิควบคุมพิสัย (R Chart) พบว่าพนักงานทุกคน มีพิสัยอยู่ในการควบคุม แสดงว่าค่าที่วัดซ้ำได้ของแต่ละคนมีค่าที่ใกล้เคียงกันในแต่ละครั้ง

3. จากแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย (X bar chart) พบว่าค่าเฉลี่ยเกือบทุกจุดอยู่นอกขอบเขตการควบคุมทั้งด้านขอบบน (UCL) และขอบล่าง (LCL) เหตุผลที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า ความผันแปรส่วนใหญ่มาจากชิ้นงานที่มีลักษณะแตกต่างกัน แต่ความผันแปรที่มาจากเครื่องมือวัดมีค่าน้อยมาก

4. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

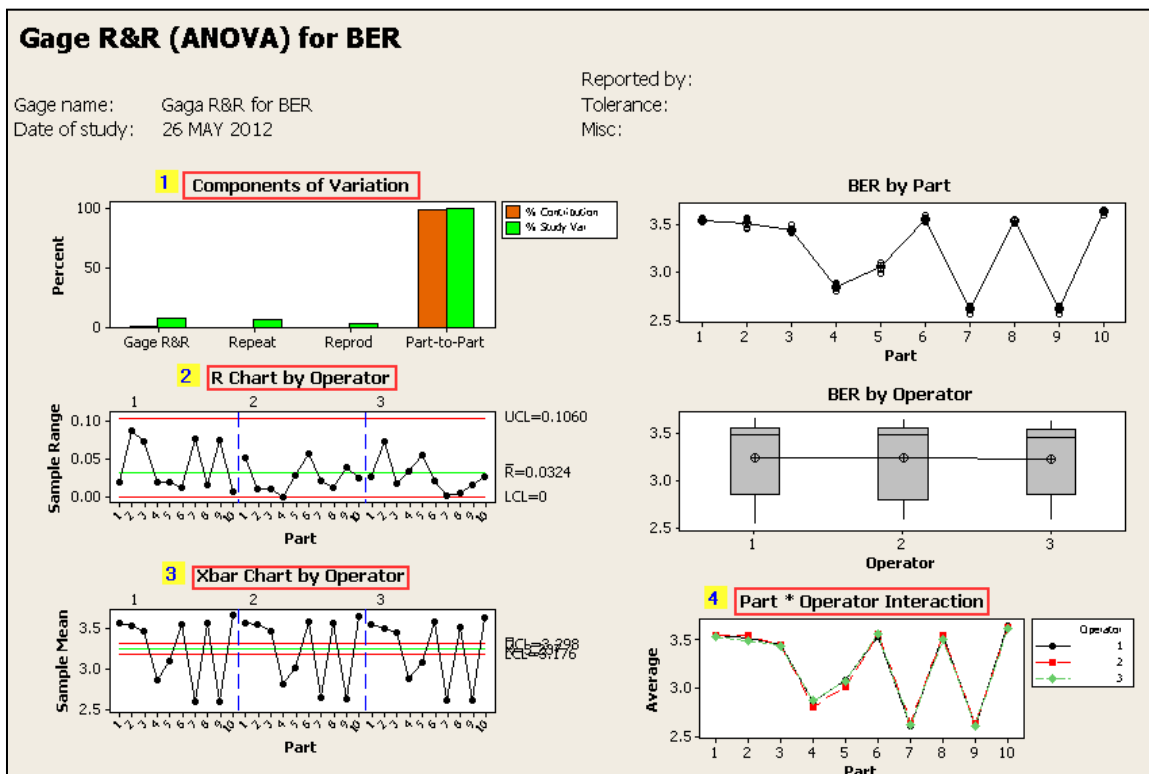
การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA with interaction) เพื่อพิจารณาถึงสาเหตุของความแปรปรวนคือชิ้นงาน พนักงานวัด และอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงาน ว่ามีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่กับค่าที่ทำการวัด โดยทำการทดสอบสมมติฐานดังนี้

5. ชิ้นงาน (Parts)

H_0 : ชิ้นงานไม่มีอิทธิพลต่อความแปรปรวน

H_1 : ชิ้นงานมีอิทธิพลต่อความแปรปรวน

สรุปค่า P value < 0.0005 ซึ่งน้อยกว่า $\alpha = 0.05$ จะปฏิเสธ H_0 กล่าวคือชิ้นงานมีอิทธิพลต่อความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบระบบการวัดของค่าอัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียน

6. พนักงานวัด (Operators)

H_0 : พนักงานไม่มีอิทธิพลต่อความแปรปรวน

H_1 : พนักงานมีอิทธิพลต่อความแปรปรวน

สรุปค่า P value = 0.761 ซึ่งมากกว่า $\alpha = 0.05$ จะยอมรับ H_0 กล่าวคือพนักงานไม่มีอิทธิพลต่อความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

7. อิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัด (Parts*Operators)

H_0 : อิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดไม่มีอิทธิพลต่อความแปรปรวน

H_1 : อิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดมีอิทธิพลต่อความแปรปรวน

สรุปค่า P value = 0.214 ซึ่งมากกว่า $\alpha = 0.05$ จะยอมรับ H_0 กล่าวคืออิทธิพลร่วมระหว่าง ช่างงานและพนักงานวัด ไม่มีอิทธิพลต่อความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

8. ความแปรปรวนของข้อมูลทั้งหมดเป็น 0.166914 คิดเป็น 100% พบว่าเป็นผลมาจากผลรวมของค่าความแปรปรวนของความแตกต่างของช่างงาน 0.169914 คิดเป็น 99.41% และค่าความแปรปรวนของระบบการวัด 0.000996 คิดเป็น 0.59% ดังนั้นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลทั้งหมดจึงเท่ากับ 0.412206 โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากความแตกต่างของช่างงานเป็นส่วนใหญ่เท่ากับ 0.410997 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากระบบการวัดเพียง 0.031558

9. ความผันแปรที่ได้จากระบบการวัดหรือประชากร (Study Variance: SV) ทั้งหมดเท่ากับ 2.47324 โดยเป็นความแปรผันจากระบบการวัดเท่ากับ 0.18935 และความผันแปรจากความแตกต่างของช่างงานเท่ากับ 2.46598

10. ค่าความผันแปรเมื่อทำการประเมินผลเทียบกับความผันแปรของระบบการวัด (%SV หรือ P/TV) พบว่ามีความผันแปรจากช่างงานเท่ากับ 99.71% และความผันแปรจากระบบการวัด 7.66% ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าค่า P/TV เท่ากับ 7.66% มีค่าน้อยกว่า 10% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามการอ้างอิงจาก AIAG ดังนั้นระบบการวัดนี้มีความแม่นยำและมีความผันแปรที่ยอมรับได้

11. ค่า Number of Distinct Categories มีค่าเท่ากับ 18 ซึ่งมากกว่ามาตรฐานที่ค่า 5 แสดงว่าระบบการวัดนี้สามารถแยกกลุ่มของข้อมูลวัดได้ออกเป็น 18 กลุ่มที่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดนี้สามารถประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการวัดได้

Gage R&R Study - ANOVA Method						
Gage R&R for BER						
Gage name:	Gage R&R for BER					
Date of study:	26 MAY 2012					
Reported by:						
Tolerance:						
Misc:						
Two-Way ANOVA Table With Interaction						
Source	DF	SS	MS	F	P	
Part	9	9.13196	1.01466	879.588	0.000	5
Operator	2	0.00064	0.00032	0.278	0.761	6
Part * Operator	18	0.02076	0.00115	1.376	0.214	7
Repeatability	30	0.02515	0.00084			
Total	59	9.17851				
Alpha to remove interaction term = 0.25						

รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบระบบการวัดของค่าอัตราการผลิตผลของหัวอ่านเขียน (2)

Gage R&R		
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.000996	0.59
Repeatability	0.000838	0.49
Reproducibility	0.000158	0.09
Operator	0.000000	0.00
Operator*Part	0.000158	0.09
Part-To-Part	0.168918	99.41
Total Variation	0.169914	100.00

Source	8 StdDev (SD)	9 Study Var (6 * SD)	10 %Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.031558	0.18935	7.66
Repeatability	0.028953	0.17372	7.02
Reproducibility	0.012556	0.07534	3.05
Operator	0.000000	0.00000	0.00
Operator*Part	0.012556	0.07534	3.05
Part-To-Part	0.410997	2.46598	99.71
Total Variation	0.412206	2.47324	100.00

Number of Distinct Categories = 18 11

รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบระบบการวัดของค่าอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน (3)

ตารางที่ 4.3 เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการยอมรับ

ค่า Gage R&R	ความหมายในการยอมรับ
P/T หรือ P/TV < 10%	สามารถยอมรับความสามารถระบบการวัด
10% <= P/T หรือ P/TV < 30%	อาจจะยอมรับได้ขึ้นอยู่กับความสำคัญในสิ่งที่ประยุกต์ใช้ค่าใช้จ่ายในการวัด ตลอดจนปัจจัยอื่นๆ
P/T หรือ P/TV >= 30%	ไม่สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้ มีความจำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุความผันแปรแล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

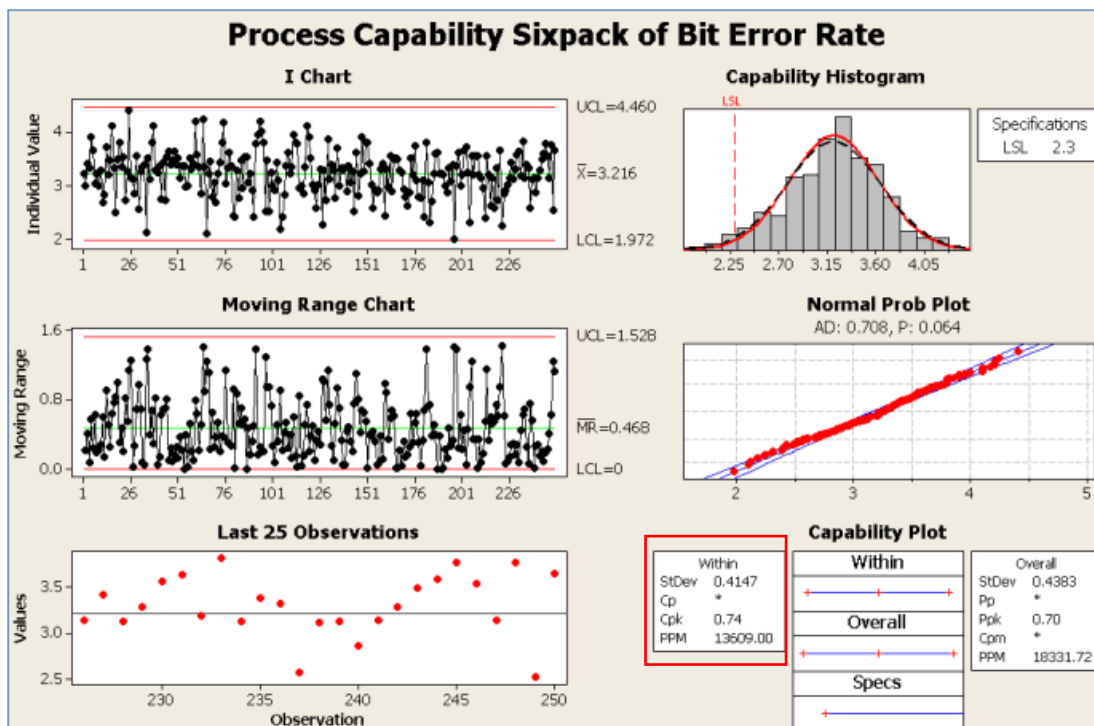
สรุปผลการวิเคราะห์

การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดโดยใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าผลประเมินระบบการวัดนี้สามารถยอมรับได้

4.3 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียนในปัจจุบัน

สำหรับของเสียประเภทอัตราบิดผิดพลาดจะเป็นของเสียประเภทหนึ่งของหัวอ่านเขียน ที่บ่งบอกว่าหัวอ่านเขียนมีประสิทธิภาพที่ต่ำ เราสามารถวัดค่าอัตราบิดผิดพลาดได้จากการเขียนข้อมูลลงไป ในแทร็กแทร็กหนึ่งที่น่าสนใจ จากนั้นจึงทำการอ่านข้อมูลทีเขียนลงไปว่ามีบิดผิดพลาดมากน้อยเพียงใด จากที่ทราบกันแล้วว่าค่า BER ที่ในงานวิจัยนี้แสดงอยู่รูปของ $-\log_{10}(BER)$ ถ้ามีค่าสูงยิ่งดีแสดงถึงมี

อัตราบิตผิดพลาดที่น้อย ดังนั้นทางบริษัทกรณีศึกษาจึงมีข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านเดียวคือมีข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ด้านต่ำซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.3 ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ความสามารถของกระบวนการของค่าอัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียนในปัจจุบัน

เมื่อพิจารณาถึงความสามารถของกระบวนการของค่าอัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียนพบว่ามีความสามารถของกระบวนการที่ต่ำคือมีค่า 0.74 เมื่อพิจารณาจาก Montgomery (1996) ที่ได้กำหนดค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการที่ต่ำที่สุดของข้อกำหนดเฉพาะแบบพิกัดด้านเดียวคือ 1.25 ประกอบกับค่าความแปรปรวนมีค่าค่อนข้างมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการให้มีค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการที่ดีขึ้น

จากนั้นทำการคำนวณขนาดตัวอย่างของหัวอ่านเขียน เพราะทางบริษัทไม่เคยทำการวิจัยเรื่องค่าอัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียนมาก่อน ดังนั้นจึงต้องคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อพิจารณาว่าการกระจายตัวของค่าอัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียน 250 ค่า ที่ทำการเก็บข้อมูลมาพิจารณานั้นสามารถเป็นตัวแทนที่แสดงถึงสภาพปัญหาของความสามารถของกระบวนการ C_p และ C_{pk} ได้ โดยคำนวณจากสูตร (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2549)

$$n \geq \left(\frac{1}{9C_{pk}^2} + \frac{1}{2} \right) \left(\frac{Z_{\alpha/2}}{e_{ppk}} \right)^2 \quad (4.1)$$

กำหนดให้ C_{pk} คือความสามารถของกระบวนการเท่ากับ 0.74

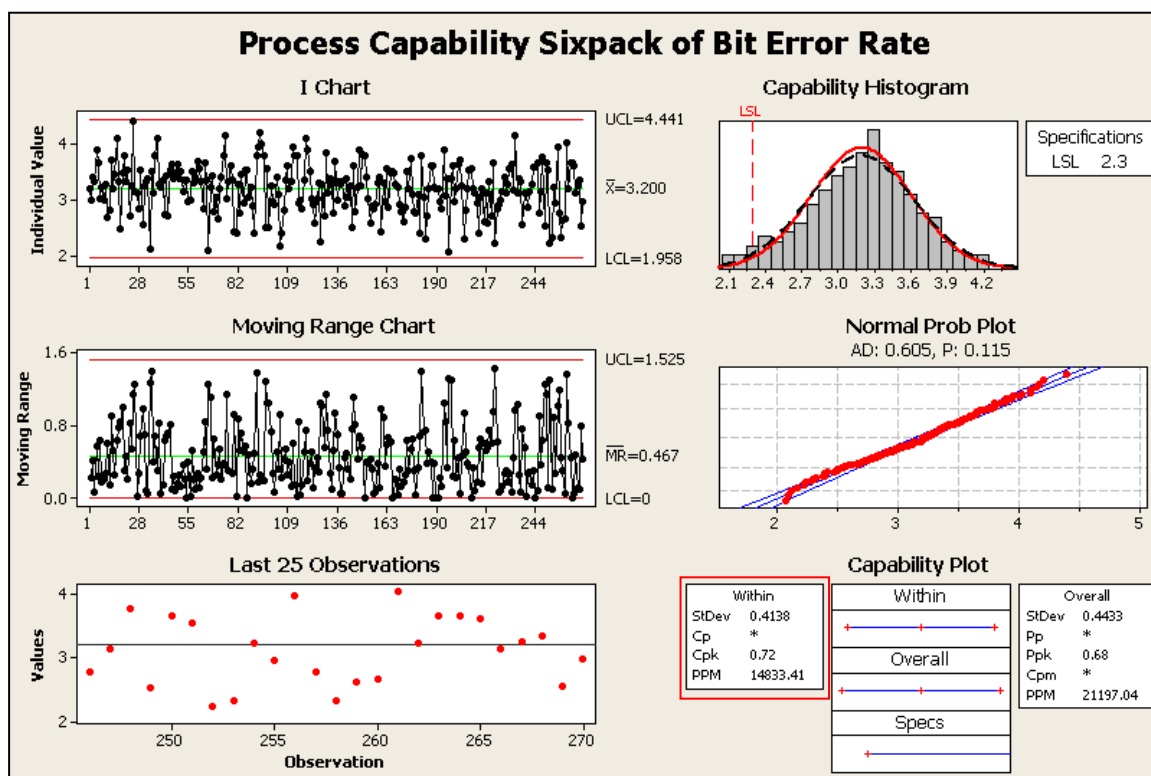
$Z_{\alpha/2}$ กำหนดค่าระดับนัยสำคัญที่ 5% เมื่อเปิดตาราง Z ได้ค่าเท่ากับ 1.96

e_{ppk} คือระดับเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดที่ยอมรับได้กำหนดเป็น 10% หรือ 0.10
(ค่ากำหนดเฉพาะของบริษัทการศึกษาที่ยอมรับได้)

แทนค่าในสมการได้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ

$$n \geq \left(\frac{1}{9(0.74)^2} + \frac{1}{2} \right) \left(\frac{1.96}{0.1} \right)^2 \approx 270 \text{ ตัวอย่าง}$$

จากการคำนวณขนาดตัวอย่างจะคำนวณได้ 270 ตัวอย่าง ซึ่งมากกว่าการเก็บข้อมูลจากขั้นตอนวิเคราะห์สภาพปัญหาตอนแรกที่ 250 ตัวอย่าง ดังนั้นจึงต้องมีการเก็บตัวอย่างเพิ่มอีกจำนวน 20 ตัวอย่าง เพื่อเป็นตัวแทนบอกความสามารถของกระบวนการค่าอัตราผิดพลาดของหัวอ่านเขียนในปัจจุบันได้ พบว่าความสามารถของกระบวนการของค่าอัตราผิดพลาดของหัวอ่านเขียนในปัจจุบันที่คำนวณใหม่แสดงได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความสามารถของกระบวนการของค่าอัตราผิดพลาดของหัวอ่านเขียนในปัจจุบัน (ใหม่)

เมื่อพิจารณาถึงความสามารถของกระบวนการของค่าอัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียนที่ได้จากการเก็บข้อมูลตัวอย่างเพิ่มเป็น 270 ตัวอย่างพบว่ามีค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการที่ยังคงต่ำอยู่คือมีค่า 0.72 เมื่อพิจารณาจาก Montgomery (1996) ที่ได้กำหนดค่า C_{pk} ที่ต่ำที่สุดของข้อกำหนดเฉพาะแบบพิกัดด้านเดียวคือ 1.25 ประกอบกับค่าความแปรปรวนมีค่าค่อนข้างมากคือมีค่า 0.41 ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการให้มีค่า C_{pk} ที่เพิ่มมากขึ้น

4.4 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า

การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ส่งผลต่ออัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียนไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านเดียวคือด้านต่ำ จะเป็นการระดมความคิดจากสมาชิกในทีมที่ได้ทำการคัดเลือกจากกระบวนนิยามปัญหา ซึ่งประกอบไปด้วย ผู้จัดการฝ่ายผลิต ผู้จัดการฝ่ายควบคุมการผลิต หัวหน้างานฝ่ายผลิต วิศวกรฝ่ายผลิต วิศวกรผู้เชี่ยวชาญด้านหัวอ่านเขียน วิศวกรควบคุมการผลิต วิศวกรฝ่ายประกันคุณภาพ และผู้ดำเนินงานวิจัย โดยขั้นตอนในการระดมความคิดเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียนไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านเดียวคือด้านต่ำ มีดังต่อไปนี้

- ใช้ผังก้างปลาหรือผังสาเหตุและผล ในการระดมความคิดเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ของอัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียนไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านเดียวคือด้านต่ำ การใช้ผังก้างปลาจะทำให้สามารถรวบรวมสาเหตุและเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ ได้ดียิ่งขึ้น
- จากนั้นนำปัจจัยต่างๆ ที่ได้จากการระดมความคิดโดยใช้แผนผังก้างปลา มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่อาจจะมีผล โดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล และทำการเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยโดยการระดมสมองเพื่อทำการตัดปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลน้อยต่ออัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียนไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านเดียวคือด้านต่ำ

4.4.1 การระดมความคิดผังก้างปลาหรือผังสาเหตุและผล

การระดมความคิดโดยใช้ผังก้างปลาหรือผังสาเหตุและผล จะทำการวิเคราะห์โดยพิจารณาแยกปัจจัยสาเหตุของปัญหาที่ส่งผลต่ออัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียนไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านเดียวคือด้านต่ำ ออกเป็นหัวหมวดหมู่หลัก 6 หมวดหมู่คือ

- ปัจจัยที่เกิดจากพนักงาน (Man)
- ปัจจัยที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine)
- ปัจจัยที่เกิดจากวัตถุดิบ (Material)
- ปัจจัยที่เกิดจากวิธีการทำงาน (Method)
- ปัจจัยจากสภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิต (Environment)

ผลจากการระดมความคิดจากสมาชิกในทีมเพื่อหาสาเหตุของปัญหาที่ส่งผลต่ออัตราบิดผิตพลาดของหัวอ่านเขียนไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านเดียวคือด้านต่ำด้วยฝังก้างปลา จะแสดงในรูปที่ 4.6

4.4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล

งานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราบิดผิตพลาดของหัวอ่านเขียนไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านต่ำ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้มีการระดมสมองจากสมาชิกในทีมเพื่อค้นหาปัจจัยทั้งหมดที่เป็นสาเหตุของข้อบกพร่องดังกล่าว และนำเทคนิคการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) มาใช้ในการคัดกรองปัจจัยที่มีผลกระทบมาก เพื่อใช้เป็นปัจจัยในการออกแบบการทดลองเพื่อปรับตั้งค่าที่เหมาะสมโดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับปัจจัยทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง ที่ได้จากการระดมสมองจากสมาชิกในทีม

2. นำข้อมูลปัจจัยทั้งหมดที่เกี่ยวข้องใส่ในตาราง Cause & Effect Matrix ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ในที่นี้กำหนดให้อัตราความสำคัญที่มีผลกระทบเท่ากับ 10 เนื่องจากเป็นผลลัพธ์ที่ต้องการเพียงข้อเดียว โดยให้สมาชิกทำการลงคะแนนความสำคัญให้กับทุกปัจจัย ซึ่งการให้คะแนนนี้จะขึ้นอยู่กับความรู้ ความชำนาญ และประสบการณ์ของสมาชิกในทีมของแต่ละคน โดยการให้คะแนนจะให้สมาชิกในทีมให้คะแนนอย่างเป็นอิสระต่อกันเป็นการให้คะแนนของตัวเองจบครบโดยไม่มีมีการปรึกษากัน คะแนนที่ให้จะมีค่าอยู่ในช่วง 1 ถึง 10 ซึ่งมีเกณฑ์ให้คะแนนดังนี้

0 = ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนอง

1 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองน้อยมาก

5 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองปานกลาง

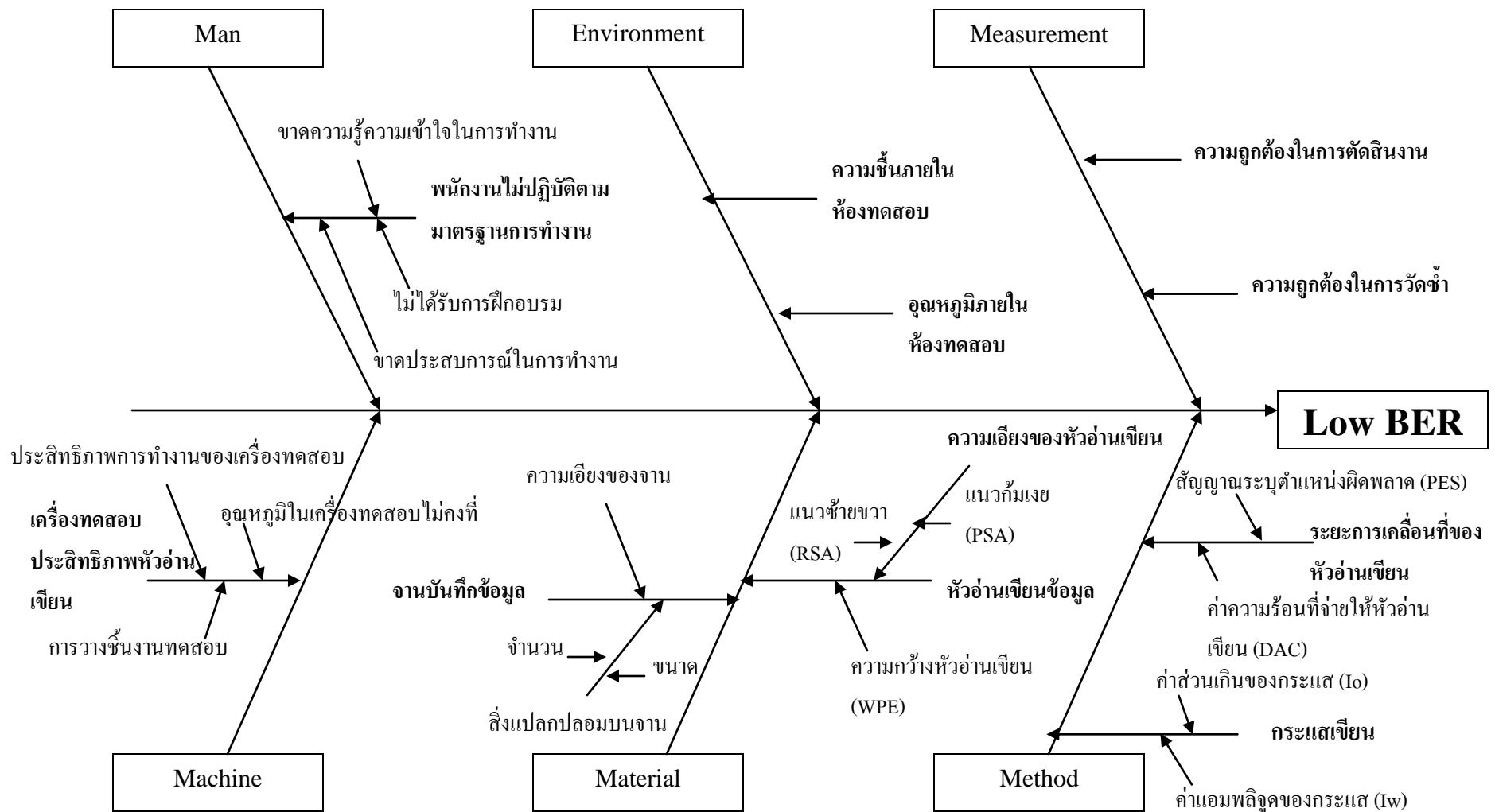
10 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองมากที่สุด

3. ผู้ทำการวิจัยรวบรวมคะแนน และคุณค่าคะแนนของแต่ละปัจจัยของสมาชิกแต่ละคนด้วยอัตราความสำคัญที่มีผลกระทบเท่ากับ 10 จากนั้นทำการรวบรวมคะแนนที่ได้ทั้งหมดในแต่ละปัจจัยและสรุปผลคะแนนที่ได้จากตาราง Cause & Effect Matrix ในตารางที่ 4.5 ซึ่งพบว่าผลของการให้คะแนนของสมาชิกมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือถ้าให้คะแนนมากก็จะมีแนวโน้มมากกันทั้งหมดในทีม แต่ถ้ามีการให้คะแนนน้อยก็จะมีแนวโน้มน้อยกันทั้งหมดในทีม จากนั้นนำคะแนนที่ได้มาจัดลำดับความสำคัญของปัจจัย โดยเรียงลำดับคะแนนจากมากไปน้อย ดังแสดงในแผนภูมิรูปที่ 4.7

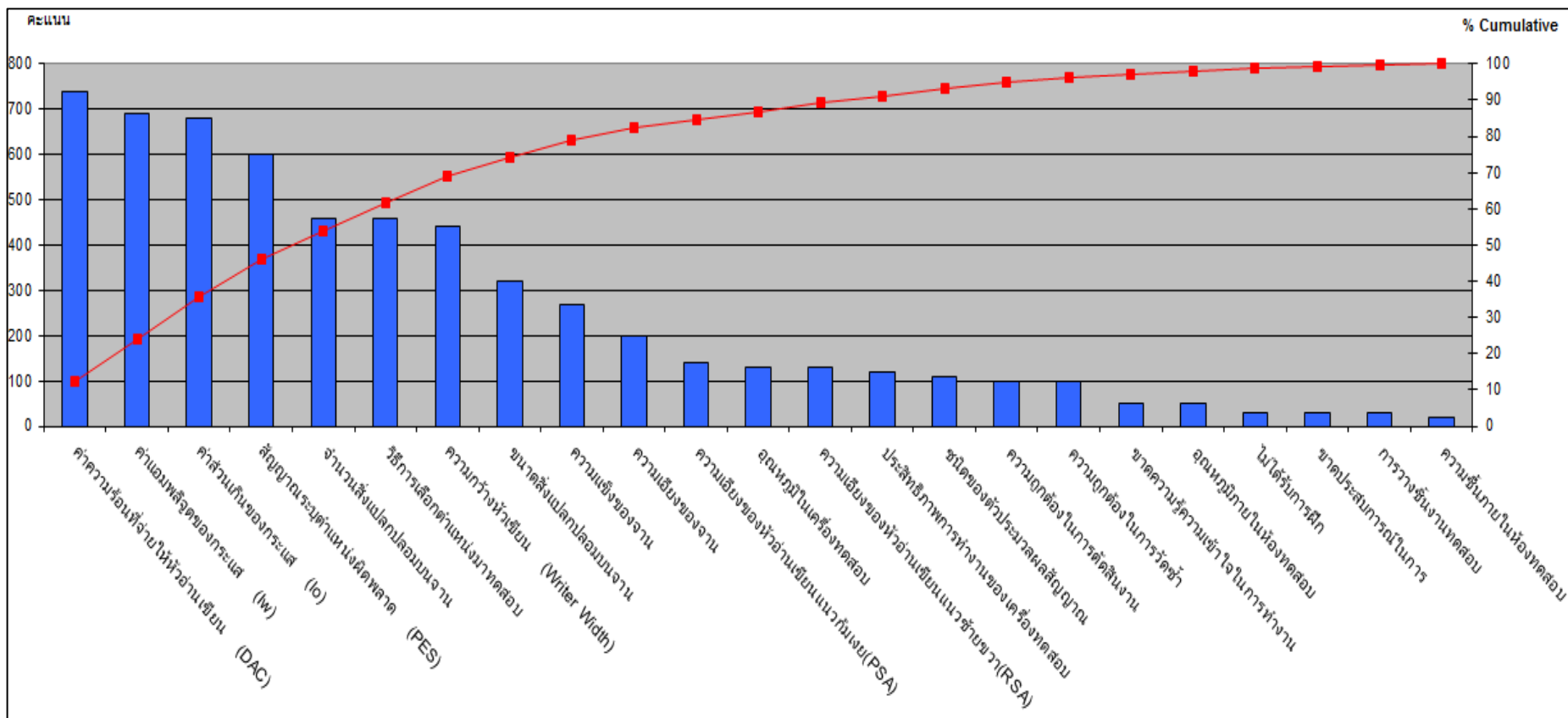
ผลจากการให้คะแนนความสำคัญของปัจจัยที่มีผลกระทบต่ออัตราบิดผิตพลาด โดยสมาชิกในทีมพบว่าจากปัจจัยทั้งหมด 23 ปัจจัยจะมีค่าคะแนนรวมเท่ากับ 5,900 คะแนน จากนั้นเมื่อนำแต่ละ

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของปัจจัยที่มีผลกระทบต่ออัตราบิตผิดพลาด

Cause & Effect Matrix					
Item	Area Cause	Process Input		Total	
1	Man	พนักงานไม่ปฏิบัติตาม	ขาดความรู้ความเข้าใจในการทำงาน	50	
2		มาตรฐานการทำงาน	ไม่ได้รับการฝึกอบรม	30	
3			ขาดประสบการณ์ในการทำงาน	30	
4	Environment	ความชื้นภายในห้องทดสอบ		20	
5		อุณหภูมิภายในห้องทดสอบ		50	
6	Measurement	ความถูกต้องในการตัดสัญญาณ		100	
7		ความถูกต้องในการวัดซ้ำ		100	
8	Machine	เครื่องทดสอบ	ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทดสอบ	120	
9		ประสิทธิภาพหัวอ่าน	การวางชิ้นงานทดสอบ	30	
10		เขียน	อุณหภูมิในเครื่องทดสอบ	130	
11	Material	งานบันทึกข้อมูล	ความเอียงของงาน	200	
12			ความแข็งของงาน	270	
13			สิ่งแปลกปลอมบนงาน	ขนาด	320
14				จำนวน	460
15		หัวอ่านเขียนข้อมูล	ความเอียงของหัวอ่านเขียน	แนวซ้ายขวา(RSA)	130
16				แนวก้มเงย (PSA)	140
17			ความกว้างหัวเขียน (Writer Width)		440
18		แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์	ชนิดของตัวประมวลผลสัญญาณ		110
19	Method	ระยะการเคลื่อนที่ของ	ค่าสัญญาณระบุตำแหน่งผิดพลาด (PES)	600	
20		หัวอ่านเขียน	ค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียน (DAC)	740	
21		การจ่ายกระแสเขียน	ค่าส่วนเกินของกระแส (Io)	680	
22			ค่าแอมพลิจูดของกระแส (Iw)	690	
23		วิธีการเลือกตำแหน่งมาทดสอบ		460	
				5,900	



รูปที่ 4.6 ฟังก้างปลาหรือผังสาเหตุและผลแสดงปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียนไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านต่ำ



รูปที่ 4.7 แผนภูมิแท่งเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลกระทบต่ออัตราบิดผิดพลาด

ปัจจัยมาเรียงลำดับคะแนนจากมากไปหาน้อยดังตาราง 4.5 จะเห็นได้ว่ามีปัจจัยทั้งสิ้น 10 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราผลิตผลตามกฎ 80/20 ของพาราโตคิคเป็น 82.37% ของคะแนนรวมทั้งหมด

ตารางที่ 4.5 ผลลัพธ์การให้คะแนนจากตาราง Cause & Effect Matrix

ลำดับ	Aria Cause	ปัจจัย	คะแนน	% Cumulative
1	Method	ค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียน	740	12.54
2	Method	ค่าแอมพลิจูดของกระแส	690	24.24
3	Method	ค่าส่วนเกินของกระแส	680	35.76
4	Method	สัญญาณระบุตำแหน่งผิดพลาด	600	45.93
5	Material	จำนวนสิ่งแปลกปลอมบนจาน	460	53.73
6	Method	วิธีการเลือกตำแหน่งมาทดสอบ	460	61.53
7	Material	ความกว้างหัวเขียน	440	68.98
8	Material	ขนาดสิ่งแปลกปลอมบนจาน	320	74.41
9	Material	ความแข็งของจาน	270	78.98
10	Material	ความเอียงของจาน	200	82.37
11	Material	ความเอียงของหัวอ่านเขียนแนวกัมเมย	140	84.75
12	Machine	อุณหภูมิในเครื่องทดสอบ	130	86.95
13	Material	ความเอียงของหัวอ่านเขียนแนวซ้ายขวา	130	89.15
14	Machine	ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทดสอบ	120	91.19
15	Material	ชนิดของตัวประมวลผลสัญญาณ	110	93.05
16	Measurement	ความถูกต้องในการตัดสีงาน	100	94.75
17	Measurement	ความถูกต้องในการวัดซ้ำ	100	96.44
18	Man	ขาดความรู้ความเข้าใจในการทำงาน	50	97.29
19	Environment	อุณหภูมิภายในห้องทดสอบ	50	98.14
20	Man	ไม่ได้รับการฝึก	30	98.64
21	Man	ขาดประสบการณ์ในการทำงาน	30	99.15
22	Machine	การวางชิ้นงานทดสอบ	30	99.66
23	Environment	ความชื้นภายในห้องทดสอบ	20	100.00

บทที่ 5

ระยะการวิเคราะห์สาเหตุปัญหา

5.1 บทนำ

ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุปัญหา เป็นขั้นตอนที่นำปัจจัยเบื้องต้นที่คาดว่าจะมีผลให้อัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียนมีค่าไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านเดียวคือด้านต่ำ จากขั้นตอนก่อนหน้ามาวิเคราะห์ด้วยวิธีการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) เพื่อทดสอบทางสถิติว่าปัจจัยดังกล่าวมีผลอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ต่ออัตราบิตผิดพลาด โดยปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณภาพหัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์จะถูกนำไปวิเคราะห์ต่อ โดยวิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) เพื่อหาระดับที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถเพิ่มค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ (C_{pk}) ของอัตราบิตผิดพลาดของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในขั้นตอนต่อไป

5.2 ปัจจัยนำเข้านำมาทดสอบสมมติฐาน

จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล สรุปปัจจัยที่จะนำมาทดสอบสมมติฐานว่ามีผลต่ออัตราบิตผิดพลาดค่าทั้งหมด 10 ปัจจัยดังนี้

- ค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียน
- ค่าแอมพลิจูดของกระแส
- ค่าส่วนเกินของกระแส
- สัญญาณระบุตำแหน่งผิดพลาด
- จำนวนสิ่งแปลกปลอมบนจาน
- วิธีการเลือกตำแหน่งมาทดสอบ
- ความกว้างหัวเขียน
- ขนาดสิ่งแปลกปลอมบนจาน
- ความแข็งของจาน
- ความเอียงของจาน

ตารางที่ 5.1 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราบิดผิดพลาดเพื่อนำมาพิสูจน์นัยสำคัญของสาเหตุของปัญหา ด้วยวิธีการทดสอบสมมติฐาน

ลำดับ	Area Cause	ปัจจัย	เหตุผลในการตัดสินใจ	วิธีการทดสอบสมมติฐาน
1	Method	ค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียน	เนื่องจากค่าความร้อนที่จ่ายให้กับหัวอ่านเขียนเป็นค่าที่แสดงให้ถึงว่าหัวอ่านเขียนลดยู่เหนืองานบันทึกข้อมูลเพียงใด ยิ่งใกล้งานมากยิ่งขึ้นทำให้การวัดอัตราบิดผิดพลาดมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับคือค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียนเป็น 15 และ 35 DAC
2	Method	ค่าแอมพลิจูดของกระแส	การเพิ่มค่าแอมพลิจูดของกระแสจะทำให้เกิดการยื่นออก (Protrusion) ของหัวอ่านเขียนให้เข้าใกล้งานบันทึกข้อมูลมากขึ้น	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับคือค่าแอมพลิจูดของกระแสเป็น 6 และ 10 มิลลิแอมป์
3	Method	ค่าส่วนเกินของกระแส	การเพิ่มค่าส่วนเกินของกระแสทำให้การสวิตช์เร็วขึ้น เกรนที่เปลี่ยนช้ามีมากขึ้น ทำให้สัญญาณการอ่านกลับมีค่าดีขึ้น (Read back signal)	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับคือค่าส่วนเกินของกระแส เป็น 7 และ 11 มิลลิแอมป์
4	Method	สัญญาณระบุตำแหน่งผิดพลาด	ค่าสัญญาณระบุตำแหน่งผิดพลาดเป็นค่าชดเชยการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนให้ตรงตำแหน่งมากยิ่งขึ้น	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับคือค่าสัญญาณระบุตำแหน่งผิดพลาดสูงกว่า 4.3 และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 4.3
5	Material	จำนวนสิ่งแปลกปลอมบนจาน	เนื่องจากการวัดค่าอัตราบิดผิดพลาดจะทำการเลือกแท่งเพื่อทำการอ่านเขียนข้อมูลยิ่งถ้างานบันทึกข้อมูลมีจำนวนสิ่งแปลกปลอมมากจะส่งผลให้	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับคือจำนวนสิ่งแปลกปลอมบนจานสูงกว่า 150 และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 150 จำนวน

ลำดับ	Area Cause	ปัจจัย	เหตุผลในการตัดสินใจ	วิธีการทดสอบ สมมติฐาน
			ข้อมูลที่อ่านขึ้นมามีปัญหาส่งผลโดยตรงต่อค่าอัตราบิดผิดพลาด	
6	Method	วิธีการเลือกตำแหน่งมาทดสอบ	เนื่องจากการวัดค่าอัตราบิดผิดพลาดจะทำการเลือกแท่งเพื่อทำการอ่านเขียนข้อมูลว่ามีอัตราบิดผิดพลาดเท่าไรหรืดังนั้นตำแหน่งที่เลือกมาทดสอบอาจจะมึผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการอ่านเขียนของหัวอ่านเขียน	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับคือตำแหน่งที่ 1 แท่งที่ทำการทดสอบอยู่ตำแหน่งที่ 100 ของโซน และ ตำแหน่งที่ 2 แท่งที่ทำการทดสอบอยู่ตำแหน่งที่ 150 ของโซน
7	Material	ความกว้างหัวเขียน	ค่าความกว้างหัวเขียนส่งผลโดยตรงต่อการเขียนข้อมูลยิ่งความกว้างหัวเขียนมีค่าน้อยแสดงว่ามีพื้นที่ในการเขียนข้อมูลที่น้อยแต่ถ้ามีค่ากว้างมากเกินไปก็จะส่งผลให้รบกวนแท่งข้างเคียงได้	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับคือค่าความกว้างหัวเขียนมากกว่า 3.7 และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3.7 ไมโครนิ้ว
8	Material	ขนาดสิ่งแปลกปลอมบนจาน	ถ้าจานบันทึกข้อมูลมีขนาดสิ่งแปลกปลอมบนจานมากจะส่งผลให้ข้อมูลที่อ่านขึ้นมามีปัญหาส่งผลโดยตรงต่อค่าอัตราบิดผิดพลาดคล้ายหัวข้อที่ 5 Material	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับคือขนาดสิ่งแปลกปลอมบนจานมากกว่า 130 และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 130 ไบต์
9	Material	ความแข็งของจาน	ค่าความแข็งของจานเป็นค่าที่ได้มาจากบริษัทผู้ผลิตจาน ดังนั้นความแข็งแรงของจานแต่ละบริษัทจะมีค่าแตกต่างกัน	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับคือค่าความแข็งของจานจากบริษัทที่ 1 และ 2
10	Material	ความเอียงของจาน	ความเอียงของจานจะส่งผลให้หัวอ่านเขียนไม่สามารถลอยอยู่เหนือจานบันทึกข้อมูลได้เท่ากันตลอดทุกแท่งดังนั้นส่งผลทำให้	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับคือค่าความเอียงของจานสูงกว่า 4 และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 4

ลำดับ	Area Cause	ปัจจัย	เหตุผลในการตัดสินใจ	วิธีการทดสอบสมมติฐาน
			การอ่านเขียนข้อมูลไม่มีประสิทธิภาพได้	ไมโครนิว

5.3 การทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานสำหรับค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่ม (2 Sample T- Test) เป็นการทดสอบว่าค่าเฉลี่ยของสองกลุ่มงานมีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยในงานวิจัยนี้จะศึกษาค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิพลาตของหัวอ่านเขียนเพื่อนำไปสู่การพิจารณาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่ออัตราบิดผิพลาตของหัวอ่านเขียนมีค่าไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านเดียวคือด้านต่ำ เพื่อนำปัจจัยที่มีนัยสำคัญเหล่านั้น ไปใช้ในการทดลองเพื่อการปรับปรุงในขั้นตอนต่อไป

5.3.1 การกำหนดขนาดของจำนวนตัวอย่างเพื่อใช้ทดสอบสมมติฐาน

การหาขนาดของจำนวนตัวอย่างสำหรับทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T- Test สามารถหาได้จากสมการที่ 5.1

$$n = \frac{(t_{\alpha/2}^2 + t_{\beta}^2) \times \sigma^2}{e^2} \quad (5.1)$$

กำหนดให้ n = จำนวนตัวอย่าง

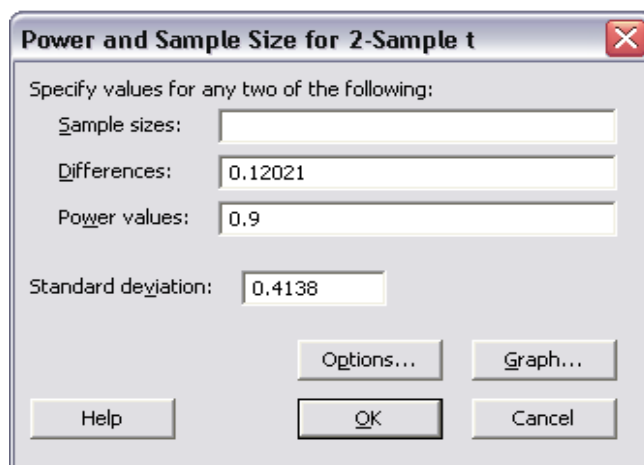
α = ระดับนัยสำคัญ

β = ความน่าจะเป็นสำหรับความผิดพลาดในการยอมรับสมมติฐานหลักเมื่อสมมติฐานหลักไม่เป็นจริง

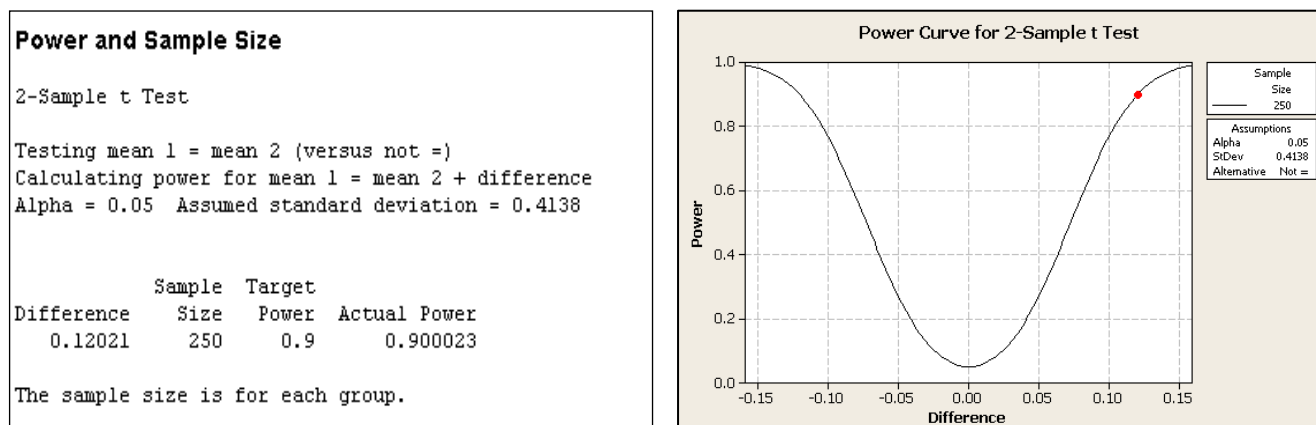
e = ความคลาดเคลื่อนความถูกต้องในการทดสอบสมมติฐาน

σ^2 = ความแปรปรวนของประชากร

ดังนั้นที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานสำหรับค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่มเท่ากับ 250 ขึ้นงาน เมื่อกำหนดให้อำนาจในการทดสอบ (Power of test) เท่ากับ 90% หรือ β เท่ากับ 10% และค่าความคลาดเคลื่อนความถูกต้องในการทดสอบสมมติฐานเท่ากับ 0.12021 ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าเฉลี่ยของสองกลุ่มประชากรที่ทางบริษัทยอมรับได้ โดยมีค่าความแปรปรวนของอัตราบิดผิพลาตในกระบวนการปัจจุบันจากการสุ่มตัวอย่างในบทที่ 4 เท่ากับ 0.4138² (จากรูปที่ 4.4) ดังแสดงด้วยผลลัพธ์ของโปรแกรม MINITAB ในรูปที่ 5.1 และ 5.2



รูปที่ 5.1 การคำนวณขนาดตัวอย่างของการทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test



รูปที่ 5.2 ผลการคำนวณขนาดตัวอย่างของการทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test

5.3.2 การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียน

วัตถุประสงค์เพื่อทดสอบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียนเมื่อให้ค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียนเท่ากับ 35 DAC เท่ากับค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียนเมื่อให้ค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียนเท่ากับ 15 DAC

กำหนดให้

μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียนเมื่อให้ความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียนเท่ากับ 35 DAC

μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียนเมื่อให้ความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียนเท่ากับ 15 DAC

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

ค่าสถิติทดสอบที่ใช้ในขั้นตอนการทดสอบนี้คือ ค่าสถิติทดสอบที (t) สำหรับประชากรสองกลุ่ม โดยการทดลองนี้มีผลการทดสอบความแปรปรวนของสองประชากรเบื้องต้นโดยค่าสถิติทดสอบเอฟ (F) เท่ากับ 1.01 และมีค่า P- Value เท่ากับ 0.958 แสดงในรูปที่ 5.3 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นการทดลองค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่ม โดยค่าสถิติทดสอบที่เป็นการทดสอบที่ความแปรปรวนของประชากรสองกลุ่มมีค่าเท่ากัน

Test and CI for Two Variances: DAC = 15, DAC = 35					
Method					
Null hypothesis	Sigma(DAC = 15) / Sigma(DAC = 35) = 1				
Alternative hypothesis	Sigma(DAC = 15) / Sigma(DAC = 35) not = 1				
Significance level	Alpha = 0.05				
Statistics					
Variable	N	StDev	Variance		
DAC = 15	250	0.105	0.011		
DAC = 35	250	0.104	0.011		
Ratio of standard deviations = 1.003					
Ratio of variances = 1.007					
95% Confidence Intervals					
Distribution of Data	CI for StDev Ratio	CI for Variance Ratio			
Normal	(0.886, 1.136)	(0.785, 1.291)			
Continuous	(0.876, 1.151)	(0.768, 1.325)			
Tests					
Method	DF1	DF2	Test Statistic	P-Value	
F Test (normal)	249	249	1.01	0.958	
Levene's Test (any continuous)	1	498	0.00	0.951	

รูปที่ 5.3 ผลการทดสอบความแปรปรวนของสองประชากรเบื้องต้นโดยค่าสถิติทดสอบเอฟ

ในการทดสอบสมมติฐานดังกล่าวได้ค่าทดสอบที เท่ากับ -4.04 และค่า P- Value เท่ากับ 0.000 ดังแสดงในรูปที่ 5.4 ดังนั้นที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ไม่สามารถสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยอัตราบิตผิดพลาดที่ระดับความร้อนเท่ากับ 15 DAC เท่ากับระดับความร้อนเท่ากับ 35 DAC หรือสรุปได้ว่าค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียน ที่นำมาใช้ในการทดสอบมีผลอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% ต่อค่าเฉลี่ยของอัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียน

Two-Sample T-Test and CI: DAC = 15, DAC = 35				
Two-sample T for DAC = 15 vs DAC = 35				
	N	Mean	StDev	SE Mean
DAC = 15	250	3.309	0.105	0.0066
DAC = 35	250	3.346	0.104	0.0066
Difference = mu (DAC = 15) - mu (DAC = 35)				
Estimate for difference: -0.03778				
95% CI for difference: (-0.05615, -0.01941)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -4.04 P-Value = 0.000 DF = 498				
Both use Pooled StDev = 0.1045				

รูปที่ 5.4 ผลการทดสอบ 2 Sample T

จากวิธีการทดสอบสมมติฐานข้างต้นสำหรับค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียนข้างต้นได้นำมาใช้ในการทดสอบกับปัจจัยอื่นๆว่าส่งผลกระทบต่ออัตราบิดผิดพลาดหรือไม่ โดยตารางที่ 5.2 แสดงค่าสถิติสำหรับการทดสอบสมมติฐานสำหรับความแปรปรวนของสองกลุ่มประชากรว่าเท่ากันหรือไม่สำหรับแต่ละปัจจัย ซึ่งค่าสถิติทดสอบดังกล่าวได้ค่า F-Test ของปัจจัยที่ 1 ถึง 10 และมีค่า P-Value ที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 5.2 เช่นกัน ดังนั้นที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ผลการทดสอบสมมติฐานสรุปได้ว่าความแปรปรวนของสองกลุ่มประชากรหรือความแปรปรวนที่สองระดับของปัจจัยที่ 1 4 และ 6 ถึง 10 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และปัจจัยที่เหลือมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 5.2 สรุปผลการทดสอบความแปรปรวนของสองประชากรเบื้องต้น โดยค่าสถิติทดสอบเอฟของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราบิดผิดพลาด

ลำดับ	ปัจจัย	F-Test	P-Value	ผลการทดสอบความแปรปรวนของประชากรสองกลุ่ม
1	ค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียน	1.010	0.958	ไม่แตกต่าง
2	ค่าแอมพลิจูดของกระแส	0.620	0.000	แตกต่าง
3	ค่าส่วนเกินของกระแส	0.570	0.000	แตกต่าง
4	สัญญาณระบุตำแหน่งผิดพลาด	0.900	0.402	ไม่แตกต่าง
5	จำนวนสิ่งแปลกปลอมบนจาน	0.710	0.007	แตกต่าง
6	วิธีการเลือกตำแหน่งมาทดสอบ	1.260	0.073	ไม่แตกต่าง
7	ความกว้างหัวเขียน	1.260	0.066	ไม่แตกต่าง
8	ขนาดสิ่งแปลกปลอมบนจาน	0.780	0.055	ไม่แตกต่าง
9	ความแข็งของจาน	0.800	0.072	ไม่แตกต่าง
10	ความเอียงของจาน	0.920	0.507	ไม่แตกต่าง

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าสถิติสำหรับการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยต่างๆที่ส่งผลกระทบต่ออัตราบิตผิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ซึ่งค่าสถิติทดสอบดังกล่าวได้ค่า T- Test ของปัจจัยที่ 1 ถึง 10 และมีค่า P-Value ที่แตกต่างกัน ดังนั้นที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ผลการทดสอบสมมติฐานสรุปได้ว่าปัจจัยที่ 1 2 3 5 และ 7 มีผลต่ออัตราบิตผิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญ และปัจจัยที่เหลือไม่มีผลต่ออัตราบิตผิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 5.3 สรุปผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราบิตผิดพลาด

ลำดับ	ปัจจัย	วิธีการทดสอบสมมติฐาน	T-Test	P-Value	สรุปผลการทดลอง
1	ค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียน	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียนเป็น 15 DAC และ 35 DAC	-4.040	0.000	มีผลต่ออัตราบิตผิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญ
2	ค่าแอมพลิจูดของกระแส	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือค่าแอมพลิจูดของกระแสเป็น 6 มิลลิแอมป์และ 10 มิลลิแอมป์	2.440	0.015	มีผลต่ออัตราบิตผิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญ
3	ค่าส่วนเกินของกระแส	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือค่าส่วนเกินของกระแส เป็น 7 มิลลิแอมป์และ 11 มิลลิแอมป์	3.430	0.001	มีผลต่ออัตราบิตผิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญ
4	สัญญาณระบุตำแหน่งผิดพลาด	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือค่าสัญญาณระบุตำแหน่งผิดพลาดสูงกว่า 4.3 และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 4.3	0.370	0.708	ไม่มีผลต่ออัตราบิตผิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญ
5	จำนวนสิ่งแปลกปลอมบนจาน	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือจำนวนสิ่งแปลกปลอมบนจานสูงกว่า 150 จำนวนและน้อยกว่าหรือเท่ากับ 150 จำนวน	3.120	0.002	มีผลต่ออัตราบิตผิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญ
6	วิธีการเลือกตำแหน่งมาทดสอบ	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือวิธีการเลือกตำแหน่งมาทดสอบที่ 1 และ 2	-0.980	0.327	ไม่มีผลต่ออัตราบิตผิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญ

ลำดับ	ปัจจัย	วิธีการทดสอบสมมติฐาน	T-Test	P-Value	สรุปผลการทดลอง
7	ความกว้างหัวเขียน	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือค่าความกว้างหัวเขียนมากกว่า 3.7 ไมโครนิ้วและน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3.7 ไมโครนิ้ว	4.390	0.000	มีผลต่ออัตราบิดบิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญ
8	ขนาดสิ่งแปลกลอมบนงาน	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือขนาดสิ่งแปลกลอมบนงานมากกว่า 130 ไบต์ และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 130 ไบต์	0.260	0.794	ไม่มีผลต่ออัตราบิดบิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญ
9	ความแข็งของงาน	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือค่าความแข็งของงานจากบริษัทที่ 1 และ 2	-0.120	0.901	ไม่มีผลต่ออัตราบิดบิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญ
10	ความเอียงของงาน	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือค่าความเอียงของงานสูงกว่า 4 ไมโครนิ้ว และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 4 ไมโครนิ้ว	1.93	0.054	ไม่มีผลต่ออัตราบิดบิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 5.4 แสดงถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราบิดบิดพลาดทั้งหมด 5 ปัจจัยประกอบด้วยค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียน ค่าแอมพลิจูดของกระแส ค่าส่วนเกินของกระแส จำนวนสิ่งแปลกลอมบนงาน และความกว้างหัวเขียน แต่เนื่องจากปัจจัยจำนวนสิ่งแปลกลอมบนงาน และความกว้างหัวเขียนเป็นผลมาจากกระบวนการก่อนหน้าคือกระบวนการผลิตงานบันทึกข้อมูลและกระบวนการผลิตหัวอ่านเขียนตามลำดับ ทำให้ไม่สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ของปัจจัยทั้งสองได้ในกระบวนการทดสอบการทำงานของฮาร์ดดิสก์ จากข้อมูลการกำหนดระดับปัจจัยในตารางที่ 5.1 และการทดสอบสมมติฐานพบว่าอัตราบิดบิดพลาดจะมีค่าที่ดีได้จะต้องมีจำนวนสิ่งแปลกลอมบนงานบันทึกข้อมูลที่ต่ำกว่า 150 จำนวนและมีความกว้างของหัวอ่านเขียนที่ต่ำกว่า 3.7 ไมโครนิ้ว ดังนั้นอัตราบิดบิดพลาดของหัวอ่านเขียนจะเพิ่มขึ้นได้นั้นจะต้องมีการควบคุมให้จำนวนสิ่งแปลกลอมบนงานและความกว้างหัวเขียนมี

ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมาข้างต้นก่อนเข้าสู่กระบวนการทดสอบการทำงานของฮาร์ดดิสก์ ตลอดจนงานวิจัยนี้จึงมีการควบคุมค่าพารามิเตอร์ของจำนวนสิ่งแปลกปลอมบนจานและความกว้างหัวเขียน

ตารางที่ 5.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราบิดผิดพลาด

ลำดับ	ปัจจัยนำเข้า	หน่วย	ประเภทของข้อมูล
1	ค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียน	DAC	Variable
2	ค่าแอมพลิจูดของกระแส	มิลลิแอมป์	Variable
3	ค่าส่วนเกินของกระแส	มิลลิแอมป์	Variable
4	จำนวนสิ่งแปลกปลอมบนจาน	จำนวน	Variable
5	ความกว้างหัวเขียน	ไมครอน	Variable

บทที่ 6

การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

6.1 บทนำ

ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการเป็นขั้นตอนที่นำปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญต่ออัตราบิดผิวดของหัวอ่านเขียนมีค่าไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านเดียวคือด้านต่ำจากการขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุปัญหาออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับของปัจจัยที่ทำให้อัตราบิดผิวดของหัวอ่านเขียนเหมาะสมที่สุด โดยระดับของปัจจัยดังกล่าวจะมีผลต่อทำให้ค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการของอัตราบิดผิวดของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เพิ่มขึ้น

6.2 การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 3^3 เนื่องจากมีปัจจัยที่ทำการวิเคราะห์จำนวน 3 ปัจจัย ได้แก่ค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียน ค่าแอมพลิจูดของกระแส และค่าส่วนเกินของกระแส โดยแต่ละปัจจัยจะประกอบไปด้วย 3 ระดับ ได้แก่ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูง ดังแสดงในตารางที่ 6.1

เหตุผลที่เลือกใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเนื่องจากเป็นการทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ทำให้สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากอันตรกิริยาของปัจจัยที่ก่อให้เกิดข้อสรุปที่ผิดพลาดได้ เป็นการออกแบบการทดลองที่มีประสิทธิภาพมากกว่าการทดลองทีละปัจจัย และทำให้ประมาณผลของปัจจัยหนึ่งที่ระดับต่างๆของปัจจัยอื่นได้ รวมทั้งให้ข้อสรุปที่สมเหตุสมผลในทุกเงื่อนไขของการทดลองได้ การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลนี้จะต้องทำการทดสอบในทุกเงื่อนไขของปัจจัยซึ่งต้องใช้จำนวนการทดลองมาก แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้มีปัจจัยที่ต้องทำการทดลองเพียง 3 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมีการกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยเท่ากับ 3 ระดับ ดังนั้นจึงมีจำนวนการทดลองทั้งสิ้น 27 การทดลอง ซึ่งมีจำนวนการทดลองที่ไม่มากเกินไป ทำให้ผู้วิจัยสามารถทำการทดลองเพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมต่ออัตราบิดผิวดผิดพลาดได้

6.2.1 จำนวนการทดลอง

เนื่องจากการออกแบบการทดลองนี้เป็นการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลสำหรับ 3 ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยจะประกอบไปด้วย 3 ระดับ โดยปัจจัยที่ 1 คือค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ A ประกอบไปด้วย 3 ระดับ โดยค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียนที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 15 25 และ 35 DAC ปัจจัยที่ 2 คือค่าแอมพลิจูดของกระแส แทนด้วยสัญลักษณ์ B

ประกอบไปด้วย 3 ระดับ โดยค่าแอมพลิจูดของกระแสที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 6 8 และ 10 มิลลิแอมป์ และปัจจัยที่ 3 คือค่าส่วนเกินของกระแส แทนด้วยสัญลักษณ์ C ประกอบไปด้วย 3 ระดับ โดยค่าส่วนเกินของกระแสที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 7 9 และ 11 มิลลิแอมป์ สำหรับการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลที่มีจำนวนปัจจัยเท่ากับ 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมีค่าที่แตกต่างกันเป็น 3 ระดับ ทำให้มีจำนวนการทดลองเท่ากับ 27 การทดลอง (3x3x3 การทดลอง)

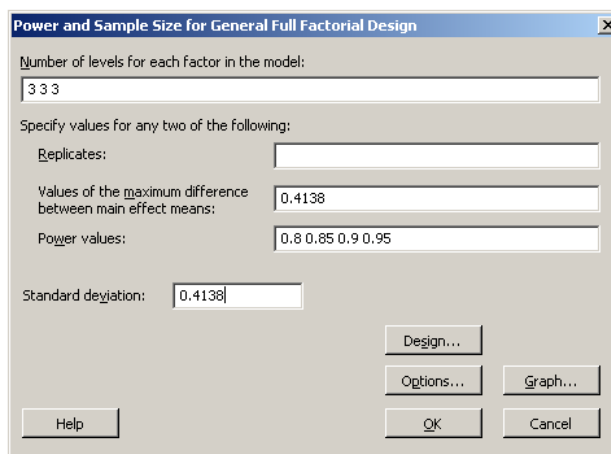
ตารางที่ 6.1 การกำหนดสัญลักษณ์และระดับของปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่ออัตราบิตผิดพลาด

ลำดับ	ปัจจัยนำเข้า	หน่วย	สัญลักษณ์	ระดับ		
				ต่ำ (-1)	กลาง (0)	สูง (1)
1	ค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียน	DAC	A	15	25	35
2	ค่าแอมพลิจูดของกระแส	มิลลิแอมป์	B	6	8	10
3	ค่าส่วนเกินของกระแส	มิลลิแอมป์	C	7	9	11

6.2.2 การทดลองซ้ำ

การทดลองซ้ำเป็นการทดลองภายใต้สถานการณ์เดียวกัน เพื่อยืนยันข้อสรุปที่ได้จากการทดลองก่อนหน้านี้ว่ามีความคล้ายคลึงหรือแตกต่างกันอย่างไร จำนวนการทดลองซ้ำภายในการทดลองกลุ่มเดียวกันเท่ากับ 3 ครั้ง จำนวนการทดลองซ้ำนี้มีค่าอำนาจในการทดสอบเท่ากับ 90% ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 5% ทำให้การวิจัยมีจำนวนการทดลองเท่ากับ 81 การทดลอง

รูปที่ 6.1 และ 6.2 แสดงการใช้โปรแกรม MINITAB และผลการคำนวณจำนวนการทดลองซ้ำสำหรับการทดลองที่มีปัจจัยจำนวน 3 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมีจำนวนระดับเท่ากับ 3 ระดับ



รูปที่ 6.1 การใช้ MINITAB ในการหาจำนวนการทดลองซ้ำ

Power and Sample Size

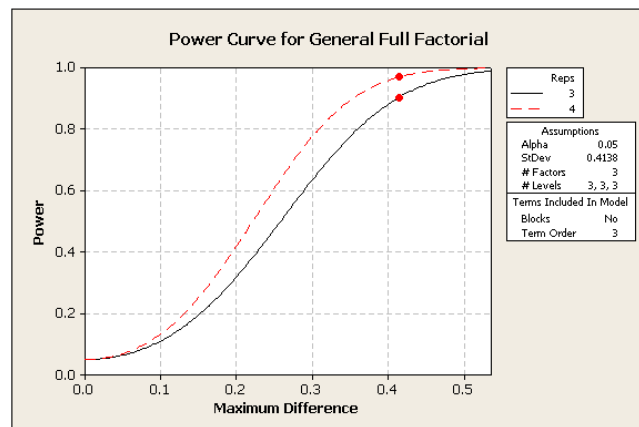
General Full Factorial Design

Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.4138

Factors: 3 Number of levels: 3, 3, 3

Include terms in the model up through order: 3
Not including blocks in model.

Maximum Difference	Reps	Total Runs	Target Power	Actual Power
0.4138	3	81	0.80	0.902567
0.4138	3	81	0.85	0.902567
0.4138	3	81	0.90	0.902567
0.4138	4	108	0.95	0.969526



รูปที่ 6.2 ผลการหาจำนวนการทดลองซ้ำ

6.2.3 ตัวแปรตอบสนอง

งานวิจัยนี้มีตัวแปรตอบสนองคืออัตราบิตผิดพลาดซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดของการอ่านข้อมูลที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพการอ่านข้อมูล เมื่อได้ผลจากการทดลองควรจะต้องตรวจสอบข้อกำหนดของการออกแบบเชิงตัวประกอบที่ระบุว่าค่าตกค้าง (Residual, ϵ_{ij}) (ราชบัณฑิตยสถาน, 2553) มีการแจกแจงปกติ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และค่าความแปรปรวนคงที่ค่าหนึ่ง

สรุปการทดลองของงานวิจัยนี้มีทั้งสิ้น 27 การทดลอง มีการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง จึงมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 81 การทดลอง โดยมีผลการทดลองแสดงในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ตารางบันทึกผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	DAC	I_w	I_o	Bit Error Rate
65	1	1	1	25	6	9	3.202
41	2	1	1	25	8	9	3.353
69	3	1	1	25	8	11	3.479
8	4	1	1	15	10	9	3.180
56	5	1	1	15	6	9	2.933
76	6	1	1	35	8	7	2.876
45	7	1	1	25	10	11	3.379
49	8	1	1	35	8	7	2.848

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	DAC	I_w	I_o	Bit Error Rate
34	9	1	1	15	10	7	3.247
46	10	1	1	35	6	7	3.181
61	11	1	1	15	10	7	3.294
35	12	1	1	15	10	9	3.188
27	13	1	1	35	10	11	3.464
23	14	1	1	35	8	9	3.147
26	15	1	1	35	10	9	3.530
33	16	1	1	15	8	11	3.409
12	17	1	1	25	6	11	3.427
74	18	1	1	35	6	9	3.217
39	19	1	1	25	6	11	3.33
62	20	1	1	15	10	9	3.145
58	21	1	1	15	8	7	3.153
6	22	1	1	15	8	11	3.441
36	23	1	1	15	10	11	3.282
43	24	1	1	25	10	7	3.056
78	25	1	1	35	8	11	3.234
77	26	1	1	35	8	9	3.139
31	27	1	1	15	8	7	3.159
15	28	1	1	25	8	11	3.308
13	29	1	1	25	8	7	3.246
48	30	1	1	35	6	11	3.192
57	31	1	1	15	6	11	3.134
38	32	1	1	25	6	9	3.292
37	33	1	1	25	6	7	3.447
2	34	1	1	15	6	9	2.964
22	35	1	1	35	8	7	2.919
28	36	1	1	15	6	7	2.794
50	37	1	1	35	8	9	3.215

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	DAC	I_w	I_o	Bit Error Rate
3	38	1	1	15	6	11	3.184
42	39	1	1	25	8	11	3.348
20	40	1	1	35	6	9	3.206
73	41	1	1	35	6	7	3.127
19	42	1	1	35	6	7	3.131
67	43	1	1	25	8	7	3.240
75	44	1	1	35	6	11	3.124
71	45	1	1	25	10	9	3.409
81	46	1	1	35	10	11	3.492
44	47	1	1	25	10	9	3.458
47	48	1	1	35	6	9	3.246
16	49	1	1	25	10	7	3.080
17	50	1	1	25	10	9	3.509
70	51	1	1	25	10	7	3.031
5	52	1	1	15	8	9	3.313
1	53	1	1	15	6	7	2.823
52	54	1	1	35	10	7	3.530
68	55	1	1	25	8	9	3.359
80	56	1	1	35	10	9	3.524
14	57	1	1	25	8	9	3.399
30	58	1	1	15	6	11	3.255
53	59	1	1	35	10	9	3.493
51	60	1	1	35	8	11	3.348
66	61	1	1	25	6	11	3.450
29	62	1	1	15	6	9	2.738
64	63	1	1	25	6	7	3.330
21	64	1	1	35	6	11	3.137
54	65	1	1	35	10	11	3.429
10	66	1	1	25	6	7	3.423

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	DAC	I_w	I_o	Bit Error Rate
60	67	1	1	15	8	11	3.404
72	68	1	1	25	10	11	3.208
24	69	1	1	35	8	11	3.206
40	70	1	1	25	8	7	3.231
25	71	1	1	35	10	7	3.541
7	72	1	1	15	10	7	3.303
11	73	1	1	25	6	9	3.258
18	74	1	1	25	10	11	3.348
63	75	1	1	15	10	11	3.203
63	75	1	1	15	10	11	3.203
59	76	1	1	15	8	9	3.321
32	77	1	1	15	8	9	3.319
9	78	1	1	15	10	11	3.242
55	79	1	1	15	6	7	2.862
4	80	1	1	15	8	7	3.199
79	81	1	1	35	10	7	3.501

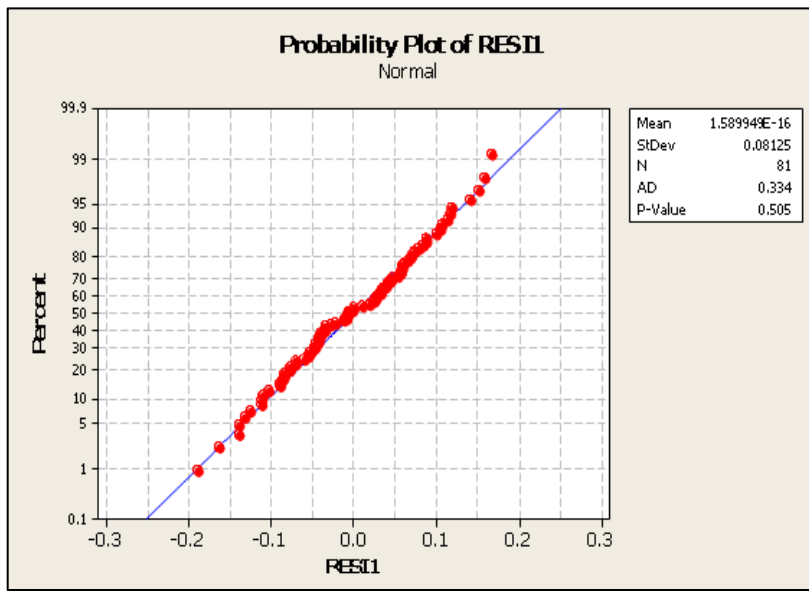
6.3 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

6.3.1 ตรวจสอบข้อกำหนดของแบบจำลอง

การทดสอบว่าค่าตกค้างมีการแจกแจงปกติและค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ สามารถพิจารณาได้จากกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าตกค้าง และการทดสอบสมมติฐานว่าค่าตกค้างมีการแจกแจงปกติด้วยค่าสถิติทดสอบ Anderson-Darling (AD)

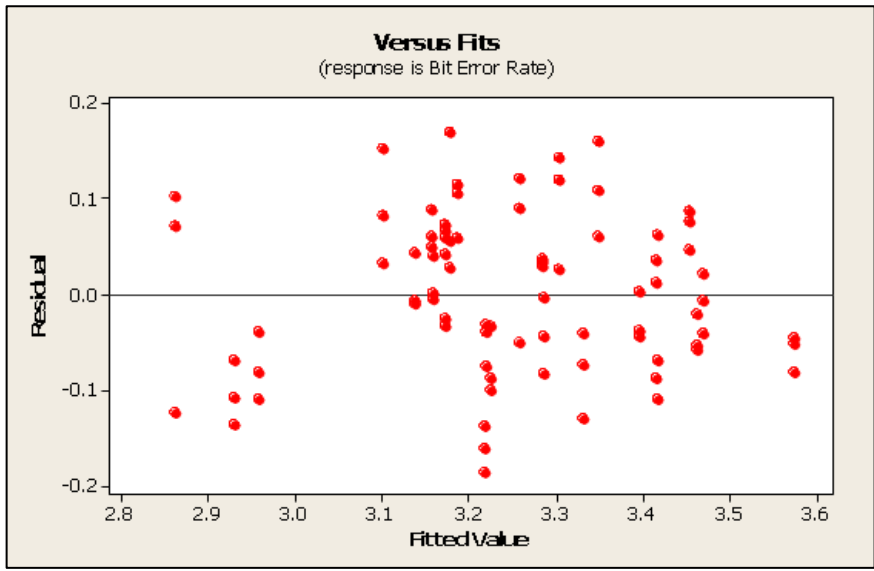
จากการทดสอบข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 6.3 พบว่าค่าตกค้างมีการกระจายตัวเป็นปกติ คือมีลักษณะการเรียงตัวของค่าตกค้างกระจายรอบๆ เส้นตรง และเมื่อทดสอบสมมติฐานว่าค่าตกค้างมีการแจกแจงปกติหรือไม่ พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 5% ไม่สามารถปฏิเสธได้ว่าค่าตกค้างมีการแจกแจงปกติ เนื่องด้วยค่าสถิติทดสอบ AD มีค่าเท่ากับ 0.334 ซึ่งมากกว่า 0.05

การทดสอบว่าค่าตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามระดับของปัจจัยหรือขึ้นอยู่กับค่าพยากรณ์ของผลตอบ พิจารณาได้จากกราฟระหว่างค่าตกค้างกับค่าที่ถูกฟิตต้องมีการกระจายแบบสุ่ม คืออยู่เหนือและใต้เส้นกึ่งกลางเท่ากัน



รูปที่ 6.3 ผลการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติของค่าตกค้าง

จากการทดสอบข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 6.4 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของอัตราบิตผิดพลาดมีการกระจายตัวเป็นแบบสุ่ม หรือไม่เป็นแบบกรวยปากเปิด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าค่าตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ตรงตามสมมติฐาน

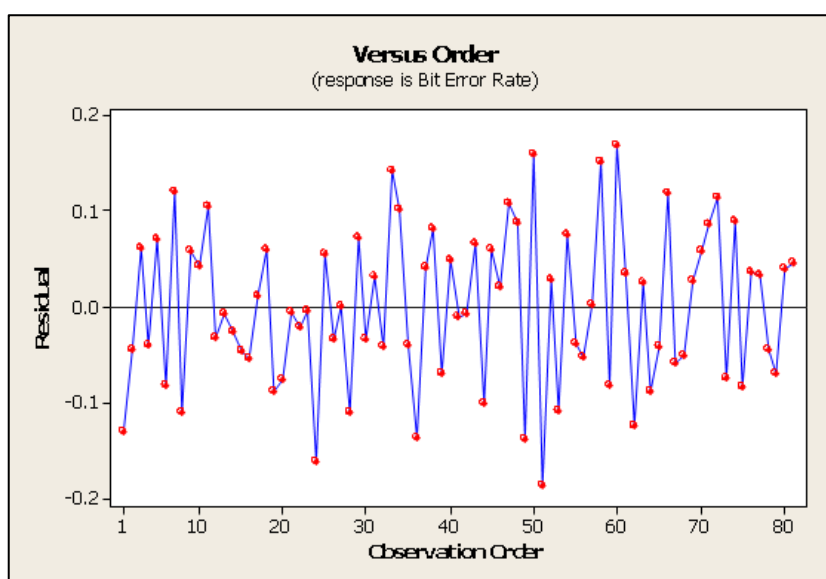


รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของอัตราบิตผิดพลาด

ค่าตกค้างต้องเป็นอิสระต่อกันไม่แปรผันตามปัจจัยหรือลำดับการทดลอง พิจารณาได้จากกราฟระหว่างค่าตกค้างกับลำดับการทดลอง

จากการทดสอบข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 6.5 พบว่าค่าตกค้างมีการกระจายตัวที่มีรูปแบบเป็นอิสระต่อกัน ไม่มีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือรูปแบบที่แน่นอน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกันตรงตามสมมติฐาน

ผลการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลอัตราบิดผิพลาต พบว่าข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ของการออกแบบการทดลองเป็นไปตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อ คือข้อมูลมีการแจกแจงปกติ ข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน และข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลในการขั้นตอนต่อไปได้



รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตกค้างของอัตราบิดผิพลาตตามลำดับการทดลอง

6.3.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วย General Linear Model

จากการเก็บข้อมูลผลการทดลองดังตารางที่ 6.2 และพิจารณาผลการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลพบว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานคือข้อมูลมีการแจกแจงปกติ มีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน และมีความเป็นอิสระต่อกัน จึงได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ General Linear Model ดังแสดงในรูปที่ 6.6 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 81.05% หมายความว่าถ้าความผันแปรในข้อมูลมีค่าเท่ากับ 100 หน่วย² แล้วความผันแปร 81.05 หน่วย² สามารถอธิบายได้ด้วยปัจจัย DAC, Iw และ Io ส่วนความผันแปรที่เหลืออีก 18.95% ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยปัจจัยทั้งสามดังกล่าว เมื่อเทียบกับค่า R-Sq(adj) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 75.55 หน่วย² มีค่าใกล้เคียงกับค่า R-Sq ดังนั้นค่าที่ได้แสดงให้เห็นว่าการออกแบบการทดลองอยู่ในระดับที่ดี มีข้อมูลเพียงพอต่อการวิเคราะห์

จากนั้นจึงทำการพิจารณาผลการทดลองโดยทำการพิจารณาจากความมีนัยสำคัญของอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่าง DAC และ Io มีค่า P-value เท่ากับ 0.056 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 สรุปได้ว่าอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยไม่มีผลต่ออัตราบิตผิดพลาดที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง DAC และ Iw กับอิทธิพลร่วมระหว่าง Iw และ Io พบว่ามีค่า P-value เท่ากับ 0.000 และ 0.002 ตามลำดับ สรุปได้ว่าอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยมีค่าต่ออัตราบิตผิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

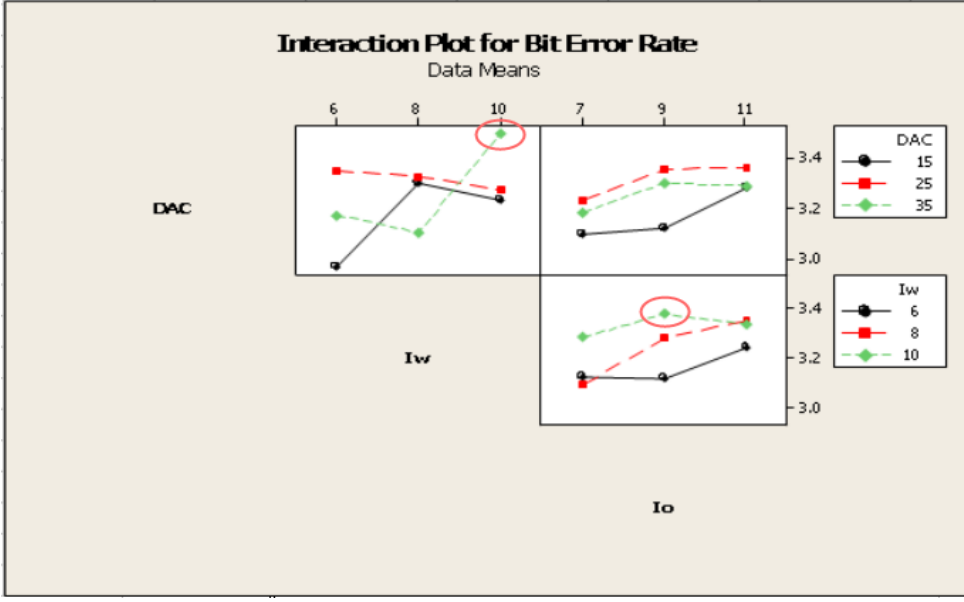
General Linear Model: Bit Error Rate versus DAC, Iw, Io						
Factor	Type	Levels	Values			
DAC	fixed	3	15, 25, 35			
Iw	fixed	3	6, 8, 10			
Io	fixed	3	7, 9, 11			
Analysis of Variance for Bit Error Rate, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
DAC	2	0.31760	0.31760	0.15880	18.64	0.000
Iw	2	0.40285	0.40285	0.20143	23.65	0.000
Io	2	0.28638	0.28638	0.14319	16.81	0.000
DAC*Iw	4	1.00021	1.00021	0.25005	29.36	0.000
DAC*Io	4	0.08308	0.08308	0.02077	2.44	0.056
Iw*Io	4	0.16824	0.16824	0.04206	4.94	0.002
Error	62	0.52807	0.52807	0.00852		
Total	80	2.78643				
S = 0.0922888 R-Sq = 81.05% R-Sq(adj) = 75.55%						

รูปที่ 6.6 ผลการวิเคราะห์ด้วย General Linear Model

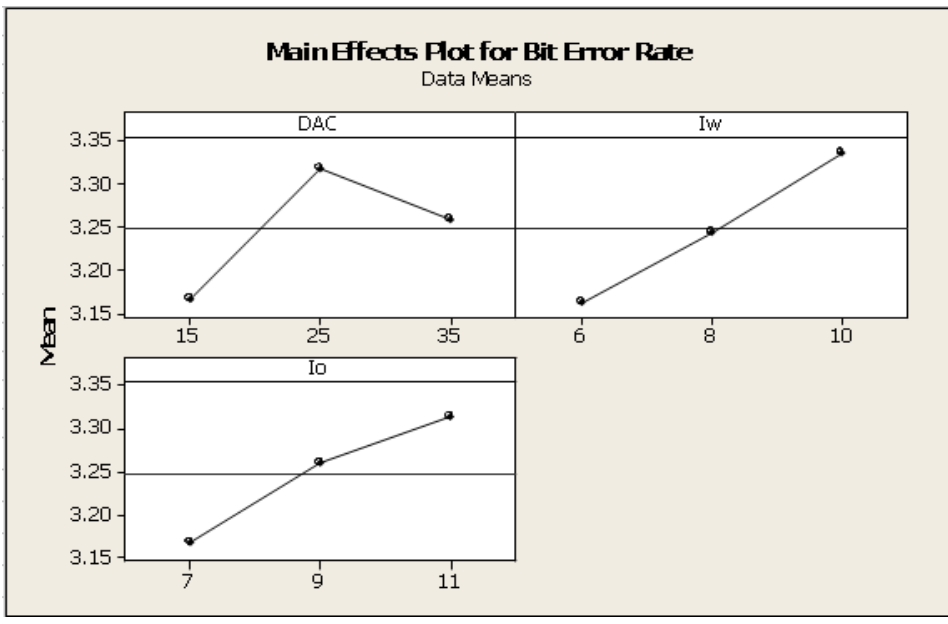
รูปที่ 6.7 และ 6.8 แสดงกราฟของอิทธิพลร่วมระหว่างสองปัจจัยต่ออัตราบิตผิดพลาดและอิทธิพลของปัจจัยหลักต่ออัตราบิตผิดพลาดตามลำดับ

6.3.3 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของระดับปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองคืออัตราบิตผิดพลาด

การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของระดับปัจจัยที่มีผลต่ออัตราบิตผิดพลาดจะพิจารณาเฉพาะอิทธิพลร่วมระหว่างสองปัจจัยคือ DAC กับ Iw และ Iw กับ Io โดยพิจารณาผลจากอิทธิพลร่วมระหว่าง DAC และ Iw เป็นอันดับแรกพบว่าค่าที่เหมาะสมที่ส่งผลต่อความอัตราบิตผิดพลาดที่มากที่สุดคือระดับของปัจจัย DAC เท่ากับ 35 DAC และ Iw เท่ากับ 10 มิลลิแอมป์ และเมื่อพิจารณาผลจากอิทธิพลร่วมระหว่าง Iw และ Io เป็นอันดับต่อมาพบว่าที่ระดับของ Iw เท่ากับ 10 มิลลิแอมป์ และให้ค่าอัตราบิต



รูปที่ 6.7 ผลของอิทธิพลร่วมที่มีต่ออัตราบิดผิดพลาด



รูปที่ 6.8 ผลของปัจจัยหลักที่มีต่ออัตราบิดผิดพลาด

ผิดพลาดที่ดีที่สุดคือ 3.382 คือที่ระดับปัจจัย Io เท่ากับ 9 มิลลิแอมป์ ดังนั้นเราสามารถสรุปผลของระดับปัจจัยที่เหมาะสมของทั้ง 3 ปัจจัยคือค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียนเท่ากับ 35 DAC ค่าแอมพลิจูดของกระแสเท่ากับ 10 มิลลิแอมป์ และค่าส่วนเกินของกระแสเท่ากับ 9 มิลลิแอมป์ ดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมของอัตราบิดผัดพลาด

ลำดับ	ปัจจัยนำเข้า	ระดับที่เหมาะสม	หน่วย
1	ค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียน	35	DAC
2	ค่าแอมพลิจูดของกระแส	10	มิลลิแอมป์
3	ค่าส่วนเกินของกระแส	9	มิลลิแอมป์

จากการทดลองนี้สามารถอธิบายผลของอิทธิพลร่วมระหว่างค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียน และค่าแอมพลิจูดของกระแสได้ว่าการเพิ่มระดับของค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียนให้มีค่าสูงสุดคือ 35 DAC จะส่งผลให้อัตราบิดผัดพลาดมีค่าสูงขึ้น ประกอบกับการเพิ่มระดับของค่าแอมพลิจูดของกระแสให้มีค่าสูงสุดด้วยคือมีค่าเท่ากับ 10 มิลลิแอมป์ ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มค่าความร้อนที่จ่ายให้กับหัวอ่านเขียนจะส่งผลโดยตรงที่ทำให้หัวอ่านเขียนยึดเข้าใกล้งานบันทึกข้อมูล ทำให้สามารถอ่านเขียนข้อมูลได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียนยังไม่เพียงพอที่จะทำให้อัตราบิดผัดพลาดมีค่าสูงขึ้นได้ต้องมีการจ่ายค่าแอมพลิจูดของกระแสให้กับหัวอ่านเขียนที่สูงขึ้นด้วย เพื่อทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเขียนเพิ่มขึ้นส่งผลให้สามารถไปลบล้างสภาพความเป็นแม่เหล็กที่งานบันทึกข้อมูลเป็นผลให้ทิศทางของเกรนในแผ่นงานบันทึกข้อมูลมีทิศทางที่ควรจะเป็น อีกทั้งยังทำให้หัวอ่านเขียนมีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็นผลให้หัวอ่านเขียนยึดออกเข้าใกล้งานบันทึกข้อมูลมากขึ้นส่งผลดังที่ เคยกล่าวไว้ว่าถ้าหัวอ่านเขียนเข้าใกล้งานบันทึกข้อมูลมากจะทำให้สามารถอ่านเขียนข้อมูลได้ถูกต้อง ส่งผลให้มีค่าอัตราบิดผัดพลาดในการอ่านเขียนสูงขึ้น

เมื่อค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียนมีค่าสูงเท่ากับ 35 DAC แต่ถ้าค่าแอมพลิจูดของกระแสที่จ่ายให้กับหัวอ่านเขียนมีค่าน้อยเท่ากับ 6 มิลลิแอมป์ พบว่าจะไม่ส่งผลให้ค่าอัตราบิดผัดพลาดมีค่าสูงขึ้นได้ เนื่องจากการที่ค่าแอมพลิจูดของกระแสต่ำจะทำให้สภาพความเป็นแม่เหล็กของงานบันทึกข้อมูลยังคงหลงเหลืออยู่และไม่สามารถลบล้างความเป็นสภาพแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนงานบันทึกข้อมูลได้

เมื่อพิจารณาผลของอิทธิพลร่วมระหว่างค่าแอมพลิจูดของกระแสและค่าส่วนเกินของกระแส พบว่าเมื่อค่าแอมพลิจูดของกระแสมีค่าสูงคือมีค่าเท่ากับ 10 มิลลิแอมป์ จะส่งผลให้อัตราบิดผัดพลาดมีค่าสูงเมื่อพิจารณาที่ระดับเดียวกันของค่าส่วนเกินของกระแส และระดับส่วนเกินของกระแสที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าอัตราบิดผัดพลาดมีค่าที่สูงที่สุดคือที่ระดับกลางคือเท่ากับ 9 มิลลิแอมป์ เนื่องจากการที่ค่าส่วนเกินของกระแสมีค่าน้อยทำให้ใช้เวลานานในการสวิตช์ขั้วและจำนวนเกรนที่เปลี่ยนขั้วน้อย ดังนั้นอัตราบิดผัดพลาดจึงมีค่าต่ำกว่าระดับอื่น แต่เมื่อมีการเพิ่มค่าส่วนเกินของกระแสจะส่งผลให้การสวิตช์ขั้วเกรนที่เร็วขึ้น เกรนที่เปลี่ยนขั้วมีจำนวนมากและช่วยให้ข้ามผ่านแบนด์วิดธ์ที่จำกัดในการเขียน ส่งผลให้การอ่านเขียนสัญญาณที่ได้ดียิ่งขึ้น ค่าอัตราบิดผัดพลาดที่เกิดจากการอ่านเขียนจึงมีค่าสูงกว่า

ระดับส่วนเกินของกระแสมีค่าต่ำ แต่เมื่อเพิ่มค่าส่วนเกินของกระแสสูงขึ้นไปอีกพบว่าค่าอัตราบิด
ผิดพลาดจะต่ำลงเนื่องจากค่าส่วนเกินของกระแสที่สูงขึ้นจะทำให้ใช้เวลาสั้นลงในการสวิตช์ขั้ว แต่จะ
ทำให้เกิดการเลื่อนของการเปลี่ยนสถานะ และเกิดความผิดพลาดของการเปลี่ยนสถานะการบันทึกได้

บทที่ 7

ระยะการติดตามควบคุม

7.1 บทนำ

ระยะการติดตามควบคุมเป็นระยะสุดท้ายของงานวิจัยนี้ มีจุดประสงค์ในการตรวจสอบและควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่ได้จากการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการในขั้นตอนก่อนหน้า โดยการปรับค่าปัจจัยนำเข้าตามที่กำหนดไว้ เพื่อตรวจสอบและยืนยันผลว่าอัตราบิตผิดพลาด และดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการหลังจากที่ได้ทำการปรับปรุงด้วยระดับปัจจัยที่เหมาะสมแล้วเป็นไปตามผลการวิเคราะห์หรือไม่ จากนั้นทำการวางแผนควบคุมคุณภาพของกระบวนการหลังการปรับปรุง เพื่อจัดทำเป็นมาตรฐานป้องกันไม่ให้เกิดขึ้นซ้ำ

7.2 การทดสอบยืนยันผล

เป็นการทดสอบยืนยันผลของการนำระดับของปัจจัยนำเข้าทั้งหมดที่เหมาะสมตามที่กำหนดไว้มาตรวจสอบและยืนยันผลว่าอัตราบิตผิดพลาดและดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ หลังจากที่ได้ทำการปรับปรุงด้วยค่าปัจจัยที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ 6.3 แล้วเป็นไปตามผลการวิเคราะห์หรือไม่ โดยวิธีการทดสอบมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการทดสอบยืนยันผลอัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียน โดยทำการปรับระดับปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ในตารางที่ 6.3 บทที่ 6 ดังต่อไปนี้

- ค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียน เท่ากับ 35 DAC
- ค่าแอมพลิจูดของกระแส เท่ากับ 10 มิลลิแอมป์
- ค่าส่วนเกินของกระแส เท่ากับ 9 มิลลิแอมป์

ปัจจัยทั้งสามจะเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบการทำงานของฮาร์ดดิสก์โดยจะถูกกำหนดในขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 ขั้นตอนที่ใช้ในการทดสอบการทำงานของฮาร์ดดิสก์

2. จำนวนหัวอ่านเขียนที่ทำการทดสอบทั้งหมด 270 หัวอ่านเขียน โดยอ้างอิงการคำนวณจำนวนตัวอย่างในหัวข้อ 4.3 จากบทที่ 4 โดยนำหัวอ่านเขียนที่อยู่ในรูปของฮาร์ดดิสก์ใส่ใน Slot ที่ใช้ในการทดสอบดังรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 ฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในการทดสอบยืนยันผล

3. นำฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในการทดสอบยืนยันผลเข้าไปทดสอบในตู้ทดสอบดังแสดงในรูปที่ 7.3 จากนั้นสั่งการทดสอบการทำงาน โดยเรียก Script ที่ได้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมแล้วผ่านทางคอมพิวเตอร์

4. บันทึกผลอัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียนหลังจากที่ทดสอบการทำงานของฮาร์ดดิสก์เสร็จเรียบร้อยแล้ว

5. เปรียบเทียบอัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียนก่อนและหลังการปรับปรุง พร้อมทั้งวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังจากที่ได้ทำการปรับปรุง

7.3 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบยืนยันผล

หลังจากปรับระดับปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราบิตผิดพลาดทั้ง 3 ปัจจัยให้ได้ค่าที่เหมาะสมดังที่แสดงในตารางที่ 6.3 บทที่ 6 แล้วทำการทดสอบยืนยันผลจากข้อมูลตัวอย่าง 270 ตัวอย่างโดยมีผลการทดสอบแสดงในภาคผนวก ค พบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราบิตผิดพลาด มีค่าสูงขึ้นจาก 3.216 เป็น 3.637 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตหัวอ่านเขียนมีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.1872 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานก่อนการปรับปรุงซึ่งเท่ากับ 0.4138 การที่ปรับระดับของปัจจัยดังกล่าวส่งผลทำให้อัตราบิตผิดพลาดมีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย ดังนั้นการกระจายตัวของค่าอัตราบิตผิดพลาดจึงต่ำ ส่งผลให้มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยลงกว่าก่อนการปรับปรุง เมื่อพิจารณาความสามารถของกระบวนการของค่าอัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียน จะพบว่าค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการมีค่าเท่ากับ 2.38 โดยมีค่าสูงขึ้นจากเดิมก่อนการปรับปรุงที่มีค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการอยู่ที่ 0.72 เมื่อพิจารณาจาก Montgomery (1996) ที่ได้กำหนดค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการที่ต่ำที่สุดของข้อกำหนดเฉพาะแบบพิภักด้านเดียวคือ 1.25 จึงสรุปได้ว่า

หลังจากการปรับระดับของปัจจัยให้เหมาะสมแล้วส่งผลให้กระบวนการผลิตหัวอ่านเขียนมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นกว่าเดิม และอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ดังแสดงในรูปที่ 7.4 และตารางที่ 7.1



รูปที่ 7.3 ตู้ทดสอบการทำงานของฮาร์ดดิสก์

ตารางที่ 7.1 เปรียบเทียบค่าความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังปรับปรุง

ค่าอัตราบิตผิดพลาด	ก่อนการปรับปรุง			หลังการปรับปรุง		
	Mean	StDev	C_{pk}	Mean	StDev	C_{pk}
	3.200	0.4138	0.72	3.637	0.1872	2.38

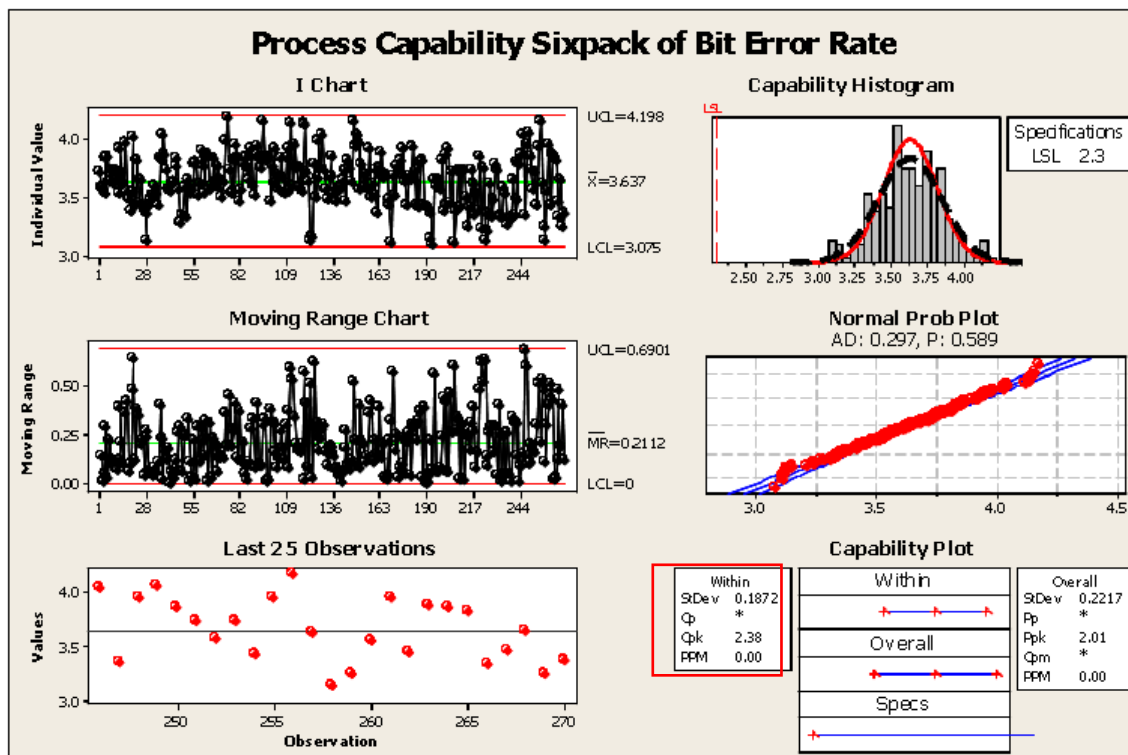
7.4 การติดตามผลการทดลอง

จากค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้อัตราบิตผิดพลาดมีค่าสูงคือค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียนเท่ากับ 35 DAC ค่าแอมพลิจูดของกระแสเท่ากับ 10 มิลลิแอมป์ และค่าส่วนเกินของกระแสเท่ากับ 9 มิลลิแอมป์ นำมาเป็นค่าปรับตั้งการทำงานในกระบวนการทดสอบหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ เพื่อทำการติดตามผลการทดลองเป็นระยะเวลา 1 เดือนกับจำนวนข้อมูล 2,000 ข้อมูลด้วยแผนภูมิควบคุม I-MR ที่มี

$$CL = \bar{x} = 3.637$$

$$UCL = \bar{x} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} = 3.637 + 3 \frac{0.2112}{1.128} = 4.198$$

$$LCL = \bar{x} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} = 3.637 - 3 \frac{0.2112}{1.128} = 3.075 \quad \text{เมื่อ } d_2 = 1.128$$



รูปที่ 7.4 ความสามารถของกระบวนการของค่าอัตราบิตผิดพลาดของหัวอ่านเขียนหลังการปรับปรุง

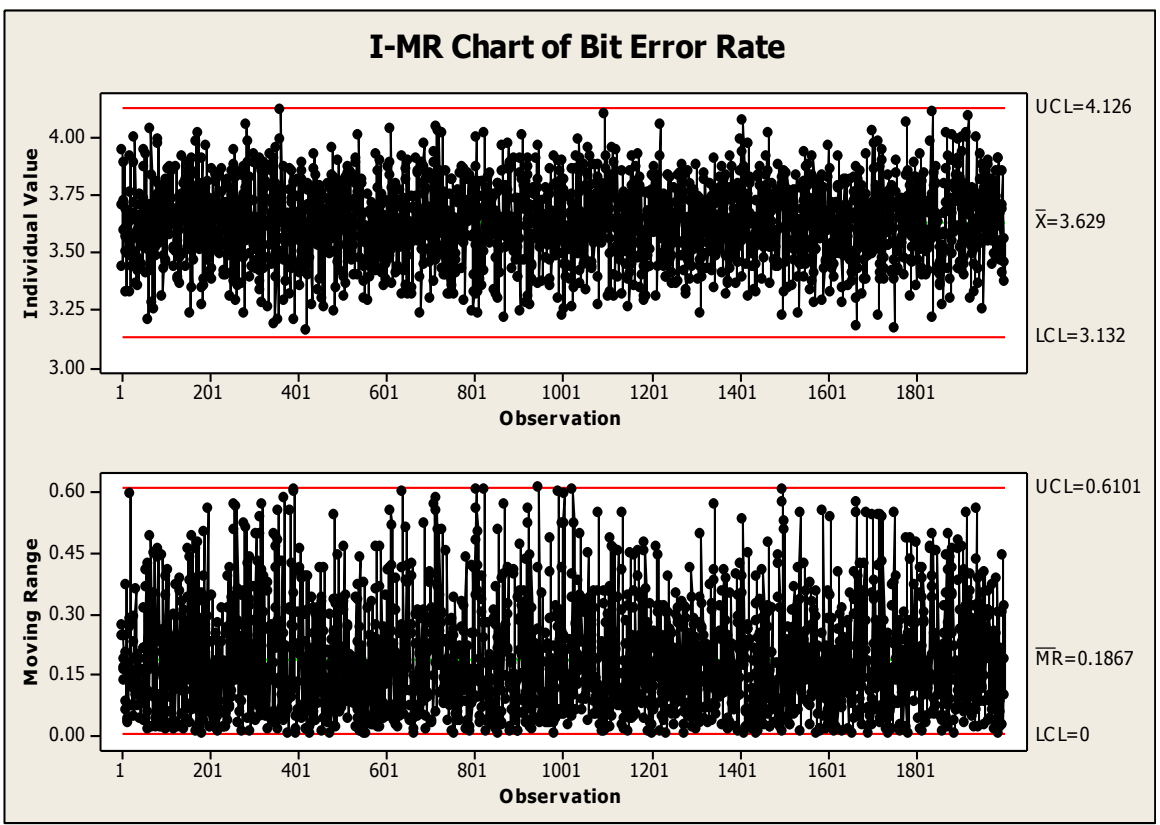
ดังแสดงในรูปที่ 7.5 เพื่อวิเคราะห์ว่าหลังจากการปรับปรุงสามารถนำไปใช้ในการควบคุมกระบวนการและพบว่าค่าอัตราบิตผิดพลาดมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าก่อนการปรับปรุงคือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.629 โดยอัตราบิตผิดพลาดในงานวิจัยนี้เป็นค่าคิดลบซึ่งหมายถึงว่าถ้าอัตราบิตผิดพลาดคิดลบมาก แสดงว่าประสิทธิภาพของการอ่านเขียนข้อมูลจะมีประสิทธิภาพที่ดีมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงนำค่าปัจจัยใหม่ที่ได้ไปกำหนดเป็นมาตรฐานการทดสอบหัวอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ เพื่อให้ของเสียที่เกิดจากกระบวนการทดสอบการอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์มีค่าน้อยที่สุด

7.5 ผลการปรับปรุงระดับของปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราบิตผิดพลาด

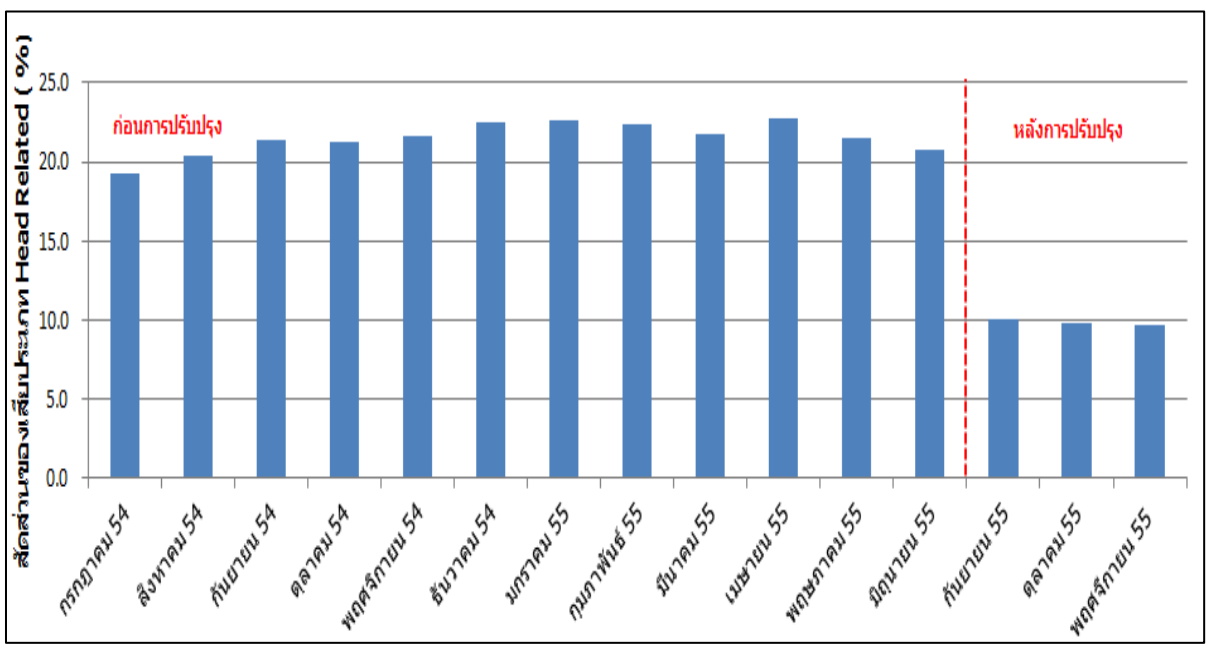
7.5.1 สัดส่วนของเสียแบ่งตามสาเหตุหรือลักษณะ

เมื่อทำการศึกษาสัดส่วนของเสียประเภท Head Related ที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการปรับปรุงระดับของปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราบิตผิดพลาด พบว่าจากรูปที่ 7.6 สัดส่วนของเสียเฉลี่ยก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 21.85% เปรียบเทียบกับหลังการปรับปรุงพบว่ามีสัดส่วนของเสียเฉลี่ยเท่ากับ 9.86% ดังนั้นสรุปได้ว่าเมื่อมีการปรับปรุงระดับของปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราบิตผิดพลาดให้มีระดับที่เหมาะสม ทำให้สัดส่วนของเสียประเภท Head Related ลดลงจากเดิมประมาณ 54.87%

จากรูปที่ 7.7 พบว่าสัดส่วนของเสียเฉลี่ยหลังจากการปรับปรุงระดับของปัจจัยมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญโดยมีค่า P-Value เท่ากับ 0.000



รูปที่ 7.5 แผนภูมิ I-MR อัตราบิตผิดพลาดช่วงการติดตามผล



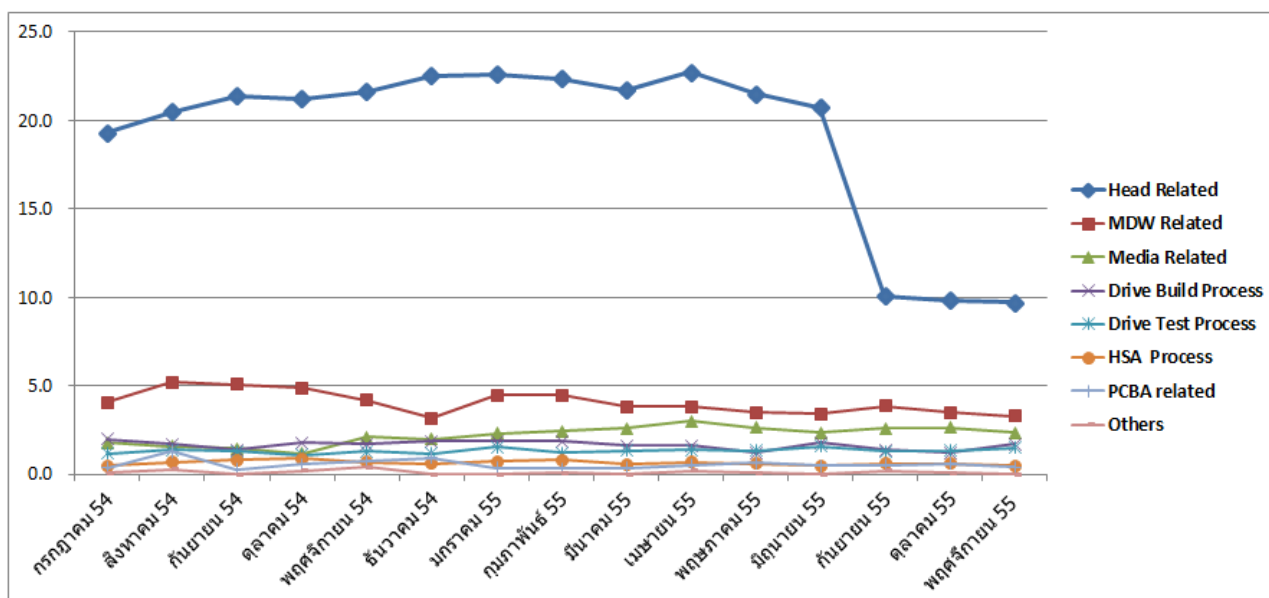
รูปที่ 7.6 สัดส่วนของเสียที่ประเภท Head Related ก่อนและหลังการปรับปรุง

Test and CI for Two Proportions			
Sample	X	N	Sample p
1	58317	266843	0.218544
2	33635	341228	0.098570

Difference = p (1) - p (2)
 Estimate for difference: 0.119974
 95% CI for difference: (0.118114, 0.121834)
 Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 126.43 P-Value = 0.000

รูปที่ 7.7 ผลการทดสอบ 2 Proportion ของสัดส่วนของเสียก่อนและหลังการปรับปรุง

เมื่อทำการศึกษาสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ A ก่อนและหลังการปรับปรุงระดับของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราบิดผิพลาต พบว่าจากรูปที่ 7.8 สัดส่วนของเสียประเภท Head Related ลดลงหลังจากทำการปรับปรุงระดับปัจจัยให้มีระดับตามที่แนะนำเห็นได้จากช่วงเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายน พ.ศ. 2555 มีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด ประกอบกับการปรับปรุงระดับปัจจัยตามที่แนะนำไม่ส่งผลกระทบต่อสัดส่วนของเสียประเภทอื่นๆ ดังเห็นได้จากสัดส่วนของเสียประเภทอื่นยังคงมีแนวโน้มเท่าเดิมทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงระดับปัจจัย



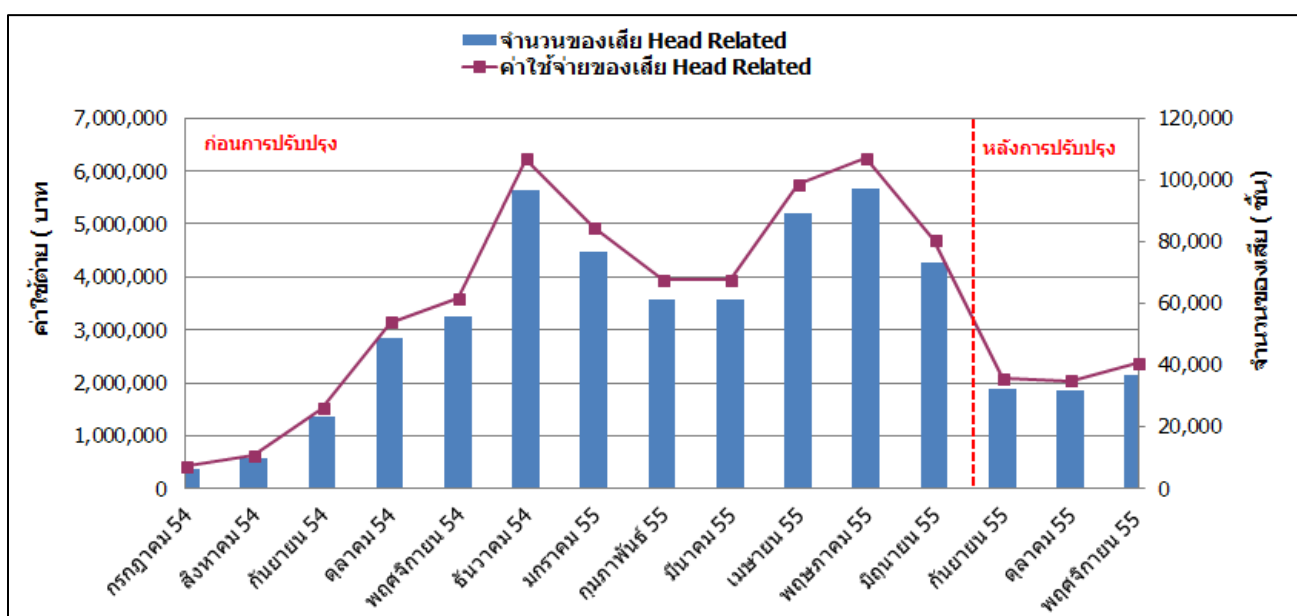
รูปที่ 7.8 สัดส่วนของเสียที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ A ก่อนและหลังการปรับปรุง

7.5.2 จำนวนและค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียประเภท Head Related

เมื่อทำการศึกษาจำนวนและค่าใช้จ่ายของของเสียประเภท Head related ที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการปรับปรุงระดับของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราบิดผิพลาต จากรูปที่ 7.9 พบว่าจำนวนของเสียมีปริมาณ

ลดลงจากเดิมก่อนการปรับปรุงมีจำนวนของเสียเฉลี่ยเท่ากับ 58,317 ชิ้นต่อเดือน คิดเป็นค่าใช้จ่าย 3,752,836 บาทต่อเดือน เปรียบเทียบหลังการปรับปรุงมีจำนวนของเสียเฉลี่ย 33,635 ชิ้นต่อเดือน คิดเป็นค่าใช้จ่าย 2,164,469 บาทต่อเดือน ประหยัดค่าใช้จ่ายได้เท่ากับ 1,588,367 บาทต่อเดือน ดังนั้นสรุปได้ว่าเมื่อมีการปรับปรุงระดับของปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราบิดผิดพลาดให้มีระดับที่เหมาะสม จะทำให้จำนวนของเสียและค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียประเภท Head Related ลดลงจากเดิมประมาณ 42.32 %

จากรูปที่ 7.10 พบว่าค่าใช้จ่ายของของเสียประเภท Head Related ที่เกิดขึ้นมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายของของเสียก่อนการปรับปรุง โดยมีค่า P-Value เท่ากับ 0.021



รูปที่ 7.9 จำนวนและค่าใช้จ่ายของของเสียประเภท Head Related ก่อนและหลังการปรับปรุง

Two-Sample T-Test and CI: ค่าใช้จ่ายของเสียก่อน, ค่าใช้จ่ายของเสียหลัง				
Two-sample T for ค่าใช้จ่ายของเสียก่อน VS ค่าใช้จ่ายของเสียหลัง				
	N	Mean	StDev	SE Mean
ค่าใช้จ่ายของเสียก่อน	12	3752836	2022133	583739
ค่าใช้จ่ายของเสียหลัง	3	2164469	176752	102048
Difference = mu (ค่าใช้จ่ายของเสียก่อน) - mu (ค่าใช้จ่ายของเสียหลัง)				
Estimate for difference: 1588367				
95% CI for difference: (284080, 2892654)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 2.68 P-Value = 0.021 DF = 11				

รูปที่ 7.10 ผลการทดสอบ 2 Sample T ของค่าใช้จ่ายของเสียก่อนและหลังการปรับปรุง

7.6 การวางแผนควบคุมระดับปัจจัย

การวางแผนควบคุมระดับปัจจัยเป็นการควบคุมให้ค่าอัตราบิดผิดพลาดไม่มีความผันแปรจนส่งผลกระทบต่อของเสียที่เกิดจากการทดสอบของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ และรักษาเสถียรภาพของกระบวนการอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ เพื่อให้เกิดมาตรฐานในการทำงาน และเป็นแนวทางในการควบคุมเชิงป้องกัน (Proactive) เพื่อให้ได้ค่าอัตราบิดผิดพลาดที่เหมาะสม โดยมีการตั้งค่าและควบคุมระดับปัจจัยดังนี้

ก่อนการเริ่มทำงานทุกครั้งจะต้องมีการปรับค่าระดับปัจจัยให้มีค่าเหมาะสม ประกอบไปด้วยค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียนเท่ากับ 35 DAC ค่าแอมพลิจูดของกระแสเท่ากับ 10 มิลลิแอมป์ และค่าส่วนเกินของกระแสเท่ากับ 9 มิลลิแอมป์ และมีการบันทึกค่าในใบตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ ดังรูปที่

7.11

Write/Read Testing Parameter						Date :
						SBR :
						PCO :
						Tester ID :
Item	Parameter	Unit	Spec	Setup	Remark	
1	Thermal protrusion	DAC	35			
2	Writing current amplitude	mA	10			
3	Writing current overshoot	mA	9			
Reviewed by						
(.....)						
Approved by						
(.....)						

รูปที่ 7.11 ใบบันทึกการตรวจสอบค่าระดับปัจจัยที่ปรับตั้งก่อนการทดสอบหัวอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์

นอกจากได้กำหนดให้วิศวกรเป็นผู้ติดตามการตั้งค่าและตรวจวัดระดับปัจจัยการทำงานแล้ว เพื่อให้กระบวนการผลิตในกระบวนการมีประสิทธิภาพและเป็นการควบคุมปัจจัยป้อนเข้าให้ได้ผลลัพธ์ของกระบวนการตามที่ต้องการ ต้องมีการกำหนดแผนการควบคุมกระบวนการ (Control Plan) ในการทดสอบฮาร์ดดิสก์ดังตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.2 แผนการควบคุมในกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์

ลำดับ ที่	พารามิเตอร์	สเปก	หน่วย	ความถี่	วิธีการ	ผู้รับผิดชอบ	ใบบันทึก คุณภาพ	การตัดสินใจและการแก้ปัญหา
1	ความร้อนที่จ่าย ให้หัวอ่านเขียน	35	DAC	ก่อนเริ่มงานและทุก ครั้งที่มีการเปลี่ยน script ที่ใช้ในการ ทดสอบ	ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ใน script ที่ใช้ทำการ ทดสอบให้ตรงตามข้อกำหนด	วิศวกร กระบวนการ ผลิต	รูปที่ 7.10	บันทึกสาเหตุและแก้ไขพารามิเตอร์ให้ ตรงตามข้อกำหนด
					ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ใน logfile หลังจาก ทำการทดสอบจำนวนชิ้นงาน	วิศวกรฝ่าย ผลิตภัณฑ์	รูปที่ 7.10	บันทึกสาเหตุและแจ้งวิศวกร กระบวนการเพื่อแก้ไขปัญหา
2	ค่าแอมพลิจูด ของกระแส	10	mA	ก่อนเริ่มงานและทุก ครั้งที่มีการเปลี่ยน script ที่ใช้ในการ ทดสอบ	ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ใน script ที่ใช้ทำการ ทดสอบให้ตรงตามข้อกำหนด	วิศวกร กระบวนการ ผลิต	รูปที่ 7.10	บันทึกสาเหตุและแก้ไขพารามิเตอร์ให้ ตรงตามข้อกำหนด
					ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ใน logfile หลังจาก ทำการทดสอบจำนวนชิ้นงาน	วิศวกรฝ่าย ผลิตภัณฑ์	รูปที่ 7.10	บันทึกสาเหตุและแจ้งวิศวกร กระบวนการเพื่อแก้ไขปัญหา
3	ค่าส่วนเกินของ กระแส	9	mA	ก่อนเริ่มงานและทุก ครั้งที่มีการเปลี่ยน script ที่ใช้ในการ ทดสอบ	ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ใน script ที่ใช้ทำการ ทดสอบให้ตรงตามข้อกำหนด	วิศวกร กระบวนการ ผลิต	รูปที่ 7.10	บันทึกสาเหตุและแก้ไขพารามิเตอร์ให้ ตรงตามข้อกำหนด
					ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ใน logfile หลังจาก ทำการทดสอบจำนวนชิ้นงาน	วิศวกรฝ่าย ผลิตภัณฑ์	รูปที่ 7.10	บันทึกสาเหตุและแจ้งวิศวกร กระบวนการเพื่อแก้ไขปัญหา

บทที่ 8

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

8.1 บทนำ

งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางการประยุกต์แนวคิด ซิกซ์ ซิกม่า ทั้ง 5 ขั้นตอนได้แก่ ระเบียบวิธี ปัญหา ระยะการวิเคราะห์ระบบการวัด ระยะการวิเคราะห์สาเหตุปัญหา ระยะปรับปรุงแก้ไข กระบวนการ และระยะการติดตามควบคุม ในการปรับปรุงกระบวนการเพื่อเพิ่มค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการของอัตราบิดผิพลาตของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการให้ดียิ่งขึ้น

8.2 บทสรุปจากระเบียบวิธีปัญหา

งานวิจัยนี้เริ่มจากระเบียบวิธีปัญหาเป็นขั้นตอนแรกเพื่อใช้ในการกำหนดปัญหา และคัดเลือกหัวข้อที่จะทำการปรับปรุงโดยเริ่มจากศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อวิเคราะห์ปัญหาในปัจจุบัน เก็บข้อมูล จัดลำดับความสำคัญของปัญหาเพื่อระบุปัญหา เป้าหมาย และขอบเขตที่ชัดเจน รวมทั้งจัดตั้งคณะทำงานเพื่อเข้าร่วมทีมปรับปรุงคุณภาพ ในขั้นตอนนี้พบว่าปัจจุบันบริษัท ภูมิศึกษามีสัดส่วนของเสียประเภท Head Related มากที่สุดคิดเป็น 67.2% ของสัดส่วนของเสียรวมทั้งหมด เมื่อทำการศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมพบว่าของเสียประเภทข้อมูลที่อ่านได้ของหัวอ่านมีความผิดพลาดไปจากข้อมูลจริงมีจำนวนมากที่สุดในของเสียประเภท Head Related คิดเป็น 79.7% ดังนั้นจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงกระบวนการเพื่อเพิ่มค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการอัตราบิดผิพลาตของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ อีกทั้งยังสามารถกำหนดแผนการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้

8.3 บทสรุประยะการวิเคราะห์ระบบการวัด

ระยะการวิเคราะห์ระบบการวัดเป็นระยะในการหาสาเหตุของปัญหา เริ่มต้นจากการวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงของระบบการวัด ในการวัดอัตราบิดผิพลาตของหัวอ่านเขียน พบว่ามีค่าความผันแปรของระบบการวัด (%SV หรือ P/TV) เท่ากับ 7.66% ซึ่งมาจากความผันแปรจากสาเหตุของรีพีทเทบิลิตี้ 7.02% และความผันแปรจากสาเหตุรีโพรดิวซิเบิลิตี 3.05% โดยค่า $P/TV = 7.66%$ มีค่าน้อยกว่า 10% จึงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามการอ้างอิงจาก AIAG ดังนั้นจึงถือได้ว่าระบบการวัดนี้มีความแม่นยำและมีความผันแปรที่ยอมรับได้ จากนั้นทำการเก็บข้อมูลจำนวน 270 ตัวอย่างเพื่อพิจารณาความสามารถกระบวนการของค่าอัตราบิดผิพลาตของหัวอ่านเขียนในปัจจุบันพบว่ามีค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการเท่ากับ 0.72 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ จากนั้นระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า

โดยวิเคราะห์หาสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ทำให้อัตราบิดผิตพลาดของหัวอ่านเขียนมีค่าไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านเดียวคือด้านต่ำโดยใช้ฟังก์ชันการแปลงหรือฟังก์ชันสาเหตุและผล และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล โดยการให้คะแนนเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าผลคะแนนความสำคัญของปัจจัยที่มีผลกระทบต่ออัตราบิดผิตพลาดต่ำจากสมาชิกในทีมพบว่าจากปัจจัยทั้งหมด 23 ปัจจัยจะมีค่าคะแนนรวมเท่ากับ 5,900 คะแนน จากนั้นเมื่อนำแต่ละปัจจัยมาเรียงลำดับคะแนนจากมากไปหาน้อยจะเห็นได้ว่ามีปัจจัยทั้งสิ้น 10 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราบิดผิตพลาดต่ำตามกฎ 80/20 ของพาราโตคิดเป็น 82.37% ของคะแนนรวมทั้งหมด อันได้แก่

- ค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียน
- ค่าแอมพลิจูดของกระแส
- ค่าส่วนเกินของกระแส
- สัญญาณระบุตำแหน่งผิตพลาด
- จำนวนสิ่งแปลกปลอมบนจาน
- วิธีการเลือกตำแหน่งมาทดสอบ
- ความกว้างหัวเขียน
- ขนาดสิ่งแปลกปลอมบนจาน
- ความแข็งของจาน
- ความเอียงของจาน

8.4 บทสรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุปัญหา

ระยะการวิเคราะห์สาเหตุปัญหาเป็นระยะในการนำปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลที่ทำให้อัตราบิดผิตพลาดของหัวอ่านเขียนมีค่าไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านเดียวคือด้านต่ำจากขั้นตอนก่อนหน้ามาพิสูจน์นัยสำคัญของสาเหตุของปัญหาด้วยวิธีการทดสอบสมมติฐาน เพื่อทดสอบทางสถิติว่ามีผลอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ พบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราบิดผิตพลาดอย่างมีนัยสำคัญมีทั้งหมด 5 ปัจจัยประกอบด้วย ค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่าน

เขียน ค่าแอมพลิจูดของกระแส ค่าส่วนเกินของกระแส จำนวนสิ่งแปลกปลอมบนจาน และความกว้างหัวเขียน แต่เนื่องจากปัจจัยจำนวนสิ่งแปลกปลอมบนจาน และความกว้างหัวเขียน เป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือก 3 ปัจจัยคือค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียน ค่าแอมพลิจูดของกระแส และค่าส่วนเกินของกระแส นำมาวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

8.5 บทสรุประยะปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการเป็นระยะที่นำปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่ออัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียนมีค่าไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านเดียวคือด้านต่ำจากการขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุปัญหาวิเคราะห์ต่อโดยใช้วิธีออกแบบการทดลอง ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลในการหาระดับของปัจจัยที่มีต่ออัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียนที่เหมาะสมที่สุด พบว่าระดับปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองคืออัตราบิดผิดพลาดมากที่สุดคือระดับของปัจจัยค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียน เท่ากับ 35 DAC ค่าแอมพลิจูดของกระแส เท่ากับ 10 มิลลิแอมป์ และค่าส่วนเกินของกระแสเท่ากับ 9 มิลลิแอมป์

8.6 บทสรุประยะการติดตามควบคุม

97

ระยะการติดตามควบคุมเป็นระยะสุดท้ายของงานวิจัยนี้ จากการทดสอบและยืนยันผลโดยการใช้ระดับปัจจัยที่เหมาะสมจากขั้นตอนก่อนหน้าพบว่าความสามารถของกระบวนการของค่าอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน หรือค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการมีค่าสูงขึ้นเท่ากับ 2.38 โดยมีค่าสูงจากเดิมก่อนการปรับปรุงที่มีค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการอยู่ที่ 0.72 จึงสรุปได้ว่าหลังจากการปรับระดับของปัจจัยให้เหมาะสมแล้วส่งผลให้หัวอ่านเขียนมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นกว่าเดิม

เมื่อทำการวิเคราะห์สัดส่วนของเสียเฉลี่ยที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่าสัดส่วนของเสียมีการลดลงกล่าวคือปริมาณของเสียประเภท Head related มีปริมาณลดลงจากเดิมสัดส่วนเฉลี่ยก่อนทำการปรับปรุงเท่ากับ 21.85% หลังการปรับปรุงสัดส่วนเฉลี่ยเท่ากับ 9.86% คิดเป็นลดลงจากเดิมประมาณ 54.87% พร้อมกันนี้ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียประเภท Head Related จึงลดลงตามไปด้วย จากเดิมค่าเฉลี่ยของเสียก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 58,317 ชิ้นต่อเดือน คิดเป็นค่าใช้จ่าย 3,752,836 บาทต่อเดือน เปรียบเทียบหลังการปรับปรุงสามเดือนมีจำนวนของเสียเฉลี่ย 33,635 ชิ้นต่อเดือน คิดเป็นค่าใช้จ่าย 2,164,469 บาท หรือลดลงจากเดิมประมาณ 42.32%

8.7 ข้อจำกัดในการทดลอง

1. งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ A ขนาดความจุ 3000 จิกะไบต์ และทำการศึกษาปัญหาที่เกี่ยวกับอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน โดยมีค่าอัตราบิดผิดพลาดที่ไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านเดียวคือด้านต่ำเท่านั้น
2. งานวิจัยนี้ไม่สามารถทดลองเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยได้แก่ จำนวนสิ่งแปลกปลอมบนจาน และความกว้างหัวเขียนเพราะเป็นค่าที่ได้จากกระบวนการก่อนหน้าที่มาจากระบวนการผลิตวัสดุ

8.8 ข้อเสนอแนะ

1. ก่อนเข้าสู่กระบวนการทดสอบการทำงานของฮาร์ดดิสก์ควรมีการควบคุมให้จำนวนสิ่งแปลกปลอมบนจานบันทึกข้อมูลมีจำนวนที่ต่ำกว่า 150 จำนวน และมีความกว้างของหัวอ่านเขียนที่ต่ำกว่า 3.7 ไมโครนิ้ว เพื่อเพิ่มอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียนได้
2. ผลที่ได้จากการทดลองนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาจำนวนของเสียประเภทอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียนในผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆได้
3. จากการวิเคราะห์ของเสียประเภท Head related นอกจากของเสียที่เกิดจากอัตราบิดผิดพลาดแล้วยังมีของเสียประเภทอื่นอีก เช่น ของเสียที่เกิดจากลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียนไม่ได้ระดับตามต้องการ สัญญาณที่ได้จากหัวอ่านมีลักษณะไม่สมมาตร เป็นต้น ดังนั้นหากทำการปรับปรุงคุณภาพได้ทั้งหมดจะทำให้ของเสียประเภท Head Related ลดลง ส่งผลให้หัวอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นด้วย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2546. การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ. พิมพ์ครั้งที่ 2.

กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น,

ชญานี หวังประดิษฐ์. 2550. การปรับปรุงความผิดพลาดในกระบวนการผลิตเลนส์แว่นตาโดยอาศัย

เทคนิคการออกแบบการทดลอง. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม : 434-439.

จิตติมา จินตนาวัน. 2554. ครึ่งศตวรรษฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ กับเส้นทางในอนาคต [ออนไลน์]. แหล่งที่มา :

<http://www.eng.chula.ac.th/newsletter/index.php?q=node/227> [18 กุมภาพันธ์ 2555].

ธีรพร เสนพรหม. 2551. การลดแม่แบบแก้วเสียในกระบวนการผลิตเลนส์พลาสติกโดยใช้แนวคิดซิกซ์

ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธัญญพร ชาญณรงค์. 2554. ระเบียบวิธีสำหรับควบคุมระยะเวลาการบินของหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์

เพื่อลดอัตราข้อมูลผิดพลาดจากการอ่าน-เขียน. วารสารวิจัย มข. : 240-251.

นวลพรรณณ ใจงาม. 2542. การลดของเสียที่เกิดจากการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิต ในกระบวนการ

ประกอบหัวอ่านโดยใช้ระเบียบวิธีซิกซ์ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชา
วิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นภัสดวงศ์ โรจนโรวรรณ. 2554. การควบคุมคุณภาพ (Quality Control). กรุงเทพมหานคร : คณะ

วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)

นิสากร สมสุข. 2551. การลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการประกอบสปินเดิลมอเตอร์โดยการประยุกต์

ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม : 476-481.

ปารเมศ ชุตติมา. 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

พงศ์ สกุลกลานวัฒน์. 2550. การลดของเสียแขนจับหัวอ่านด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า. การประชุมวิชาการ
ข่าวงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม : 523-528.

พรชัย ทรัพย์นิธิ. 2554. เทคโนโลยีรีดแชนแนลเบื้องต้นในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Introduction to Read Channel Technology for Hard Disk Drives) [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.ecti-thailand.org/emagazine/views/96> [10 มีนาคม 2555]

พรชัย เปลี่ยมทรัพย์ และคณะ. 2554. ผลกระทบของกระแสเขียนต่อสมรรถนะของระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กแวนดิง. ฐานข้อมูลการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://kucon.lib.ku.ac.th/dbstat/download_count.php?rec_no=KC4811034&mfn=012239&db=kucon [10 มีนาคม 2555]

ภาณุ ชุตติเจ็จจิน. 2550. การประยุกต์ซิกซ์ ซิกม่า เพื่อลดของเสียจากการพันสีรองพื้น ในกระบวนการผลิตกล่องนาฬิกากระดาษ. การประชุมวิชาการข่าวงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม : 78-83.

วารภรณ์ ขำสนิท. 2551. การปรับปรุงค่าพารามิเตอร์สำหรับกระบวนการฉีดพลาสติกที่มีข้อบกพร่องหลายชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วสันต์ พุกผาสุก. 2551. การลดของเสียจากกระบวนการชุบโครเมียม โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า : กรณีศึกษาบริษัทในอุตสาหกรรมชุบโครเมียม. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ : 33-42.

วัชรศักดิ์ ทวีสุข. 2546. การศึกษาปัจจัยในกระบวนการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลฮาร์ดดิสก์ที่มีผลกระทบต่อการทำงานของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลโดยใช้การออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิศิษฐ์ศรี วิษรัตน์. 2551. การลดของเสียในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์โดยเทคนิคซิกส์ซิกม่า. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม : 394-398.

ศิริวดี เอื้ออรุณโชติ. 2546. การลดการปนเปื้อนจากกระบวนการผลิตหัวอ่าน- เขียนสำหรับคอมพิวเตอร์ โดยการประยุกต์ใช้วิธีซิกซ์ ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Elerath, J. and Pecht, M. 2007. Enhanced Reliability Modeling of RAID Storage Systems. IEEE CONFERENCE PUBLICATIONS : 175-184.

Mortimer, A. 2006. Six Sigma : a vital improvement approach when applied to the right problems, in the right environment. Assembly Automation : 10-17.

Supnithi, P., Bunsri, K. and Novid, M. 2011. Flexible KFCI Compensation for Head/Media Optimization in Perpendicular Disk Drives. IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS : 1805-1808.

School of Mechanical Engineering Institute of Engineering Suranaree University of Technology. 2009. Recording Head Manufacturing Basic. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)

Tong, J. P. C., Tsung, F. and Yen, B. P. C. 2004. A DMAIC approach to printed circuit board quality Improvement. Int J Adv Manuf Technol : 523-531.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

Cause & Effect Matrix ของปัจจัยที่มีผลกระทบต่ออัตราบิดพลาด

ตารางที่ ก-1 Cause & Effect Matrix ในการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลกระทบต่ออัตราบิดผิพลาตต้า

Cause & Effect Matrix															
Item	Area Cause	Process Input		PE	PE	PR	PR	HM	HM	QC	QC	Total	Total x 10		
				1	2	1	2	1	2	1	2				
1	Man	พนักงานไม่ปฏิบัติตาม มาตรฐานการทำงาน		ขาดความรู้ความเข้าใจในการทำงาน		1	0	0	1	1	1	0	1	5	50
2				ไม่ได้รับการฝึกอบรม		0	1	0	0	0	1	1	0	3	30
3				ขาดประสบการณ์ในการทำงาน		0	0	1	1	0	0	0	0	1	3
4	Environment	ความชื้นภายในห้องทดสอบ		0	0	0	0	1	1	0	0	2	20		
5		อุณหภูมิภายในห้องทดสอบ		1	0	0	0	1	1	1	1	5	50		
6	Measurement	ความถูกต้องในการตัดสินค้า		0	2	1	1	2	2	1	1	10	100		
7		ความถูกต้องในการวัดซ้ำ		1	1	2	2	0	1	2	1	10	100		
8	Machine	เครื่องทดสอบประสิทธิภาพ หัวอ่านเขียน		ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง ทดสอบ		2	1	2	2	1	1	2	1	12	120
9				การวางชิ้นงานทดสอบ		0	1	1	0	0	0	0	1	3	30
10				อุณหภูมิในเครื่องทดสอบ		2	1	2	2	2	1	2	1	13	130
11	Material	งานบันทึกข้อมูล		ความเอียงของงาน		4	3	3	2	1	2	3	2	20	200
12				ความแข็งของงาน		3	4	5	4	3	2	3	3	27	270
13				สิ่งแปลกลบอมบนงาน	ขนาด	3	4	4	3	4	4	5	5	32	320
14					จำนวน	6	7	7	6	7	5	8	7	53	530

Cause & Effect Matrix														
Item	Area Cause	Process Input			PE	PE	PR	PR	HM	HM	QC	QC	Total	Total x 10
					1	2	1	2	1	2	1	2		
15	Material	หัวอ่านเขียนข้อมูล	ความเอียงของหัวอ่านเขียน	แนวซ้ายขวา(RSA)	1	2	2	3	2	1	1	1	13	130
16				แนวกึ่งเมฆ (PSA)	1	1	2	2	2	3	2	1	14	140
17		ความกว้างหัวเขียน (Writer Width)			3	4	4	5	6	7	7	8	44	440
18		แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์	ชนิดของตัวประมวลผลสัญญาณ			2	2	1	1	2	1	1	1	11
19	Method	ระยะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียน	สัญญาณระบุตำแหน่งผิดพลาด (PES)		7	8	8	6	7	9	7	8	60	600
20			ค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียน (DAC)		10	9	9	9	8	10	10	9	74	740
21		การจ่ายกระแสเขียน	ค่าส่วนเกินของกระแส (Io)		8	7	8	9	8	10	9	9	68	680
22			ค่าแอมพลิจูดของกระแส (Iw)		10	8	7	7	9	8	10	10	69	690
23		วิธีการเลือกตำแหน่งมาทดสอบ			3	4	6	5	6	7	7	8	46	460

ภาคผนวก ข

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราบิดผัดพลาด

ข.1 การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียน

วัตถุประสงค์เพื่อทดสอบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียนเมื่อให้ค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียนเท่ากับ 35 DAC เท่ากับค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียนเมื่อให้ค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียนเท่ากับ 15 DAC

กำหนดให้

μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียนเมื่อให้ความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียนเท่ากับ 35 DAC

μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียนเมื่อให้ความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียนเท่ากับ 15 DAC

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

ค่าสถิติทดสอบที่ใช้ในขั้นตอนการทดสอบนี้คือ ค่าสถิติทดสอบที (t) สำหรับประชากรสองกลุ่ม โดยการทดลองนี้มีผลการทดสอบความแปรปรวนของสองประชากรเบื้องต้นโดยค่าสถิติทดสอบเอฟ (F) เท่ากับ 1.01 และมีค่า P- Value เท่ากับ 0.958 ดังแสดงในรูปที่ ข.1 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นการทดลองค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่มโดยค่าสถิติทดสอบที่เป็นารทดสอบที่ความแปรปรวนของประชากรสองกลุ่มมีค่าเท่ากัน

ในการทดสอบสมมติฐานดังกล่าวได้ค่าทดสอบที่เท่ากับ -4.04 และค่า P- Value เท่ากับ 0.000 แสดงในรูปที่ ข.2 ดังนั้นที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ไม่สามารถสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยอัตราบิดผิดพลาดที่ระดับความร้อนเท่ากับ 15 DAC เท่ากับระดับความร้อนเท่ากับ 35 DAC หรือสรุปได้ว่าค่าความร้อนที่จ่ายให้หัวอ่านเขียน ที่นำมาใช้ในการทดสอบมีผลอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% ต่อค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน

Test and CI for Two Variances: DAC = 15, DAC = 35

Method

Null hypothesis $\text{Sigma}(\text{DAC} = 15) / \text{Sigma}(\text{DAC} = 35) = 1$
 Alternative hypothesis $\text{Sigma}(\text{DAC} = 15) / \text{Sigma}(\text{DAC} = 35) \text{ not} = 1$
 Significance level $\text{Alpha} = 0.05$

Statistics

Variable	N	StDev	Variance
DAC = 15	250	0.105	0.011
DAC = 35	250	0.104	0.011

Ratio of standard deviations = 1.003
 Ratio of variances = 1.007

95% Confidence Intervals

Distribution of Data	CI for StDev Ratio	CI for Variance Ratio
Normal	(0.886, 1.136)	(0.785, 1.291)
Continuous	(0.876, 1.151)	(0.768, 1.325)

Tests

Method	DF1	DF2	Statistic	P-Value
F Test (normal)	249	249	1.01	0.958
Levene's Test (any continuous)	1	498	0.00	0.951

รูปที่ ข.1 ผลการทดสอบความแปรปรวนของสองประชากรเบื้องต้น โดยค่าสถิติทดสอบเอฟ

Two-Sample T-Test and CI: DAC = 15, DAC = 35

Two-sample T for DAC = 15 vs DAC = 35

	N	Mean	StDev	SE Mean
DAC = 15	250	3.309	0.105	0.0066
DAC = 35	250	3.346	0.104	0.0066

Difference = $\mu(\text{DAC} = 15) - \mu(\text{DAC} = 35)$
 Estimate for difference: -0.03778
 95% CI for difference: (-0.05615, -0.01941)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -4.04 P-Value = 0.000 DF = 498
 Both use Pooled StDev = 0.1045

รูปที่ ข.2 ผลการทดสอบ 2 Sample T

ข.2 ทดสอบสมมติฐานของปัจจัยค่าแอมพลิจูดของกระแส

วัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์ว่าค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน โดยให้ค่าแอมพลิจูดของกระแสเป็น 10 มิลลิแอมป์เท่ากับค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน โดยให้ค่าแอมพลิจูดของกระแสเป็น 6 มิลลิแอมป์

กำหนดให้

μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน โดยให้แอมพลิจูดของกระแส

เป็น 10 มิลลิแอมป์

μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน โดยให้แอมพลิจูดของกระแส

เป็น 6 มิลลิแอมป์

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

ค่าสถิติทดสอบที่ใช้ขั้นตอนการทดสอบนี้คือ ค่าสถิติทดสอบที (t) สำหรับประชากรสองกลุ่ม โดยการทดลองนี้มีผลการทดสอบความแปรปรวนของสองประชากรเบื้องต้น โดยค่าสถิติทดสอบเอฟ (F) เท่ากับ 0.62 และมีค่า P- Value เท่ากับ 0.000 ดังแสดงในรูปที่ ข.3 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นการทดลองค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่ม โดยค่าสถิติทดสอบที่เป็นารทดสอบที่ความแปรปรวนของประชากรสองกลุ่มมีค่าไม่เท่ากัน

ในการทดสอบสมมติฐานดังกล่าวได้ค่าทดสอบที่เท่ากับ 2.44 และค่า P- Value เท่ากับ 0.015 แสดงในรูปที่ ข.4 ดังนั้นที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ไม่สามารถสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยอัตราบิดผิดพลาดที่ค่าแอมพลิจูดของกระแสเป็น 10 มิลลิแอมป์เท่ากับค่าแอมพลิจูดของกระแสเป็น 6 มิลลิแอมป์หรือสรุปได้ว่าค่าแอมพลิจูดของกระแสที่นำมาใช้ในการทดสอบมีผลอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% ต่อค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน

Test and CI for Two Variances: Write Current = 10, Write Current = 6

Method

Null hypothesis $\text{Sigma}(\text{Write Current} = 10) / \text{Sigma}(\text{Write Current} = 6) = 1$
Alternative hypothesis $\text{Sigma}(\text{Write Current} = 10) / \text{Sigma}(\text{Write Current} = 6) \text{ not} = 1$
Significance level $\text{Alpha} = 0.05$

Statistics

Variable	N	StDev	Variance
Write Current = 10	250	0.119	0.014
Write Current = 6	250	0.152	0.023

Ratio of standard deviations = 0.788
Ratio of variances = 0.621

95% Confidence Intervals

Distribution of Data	CI for StDev Ratio	CI for Variance Ratio
Normal	(0.696, 0.892)	(0.484, 0.796)
Continuous	(0.709, 0.905)	(0.502, 0.819)

Tests

Method	DF1	DF2	Test Statistic	P-Value
F Test (normal)	249	249	0.62	0.000
Levene's Test (any continuous)	1	498	12.40	0.000

รูปที่ ข.3 ผลการทดสอบความแปรปรวนของสองประชากรเบื้องต้น โดยค่าสถิติทดสอบเอฟ

Two-Sample T-Test and CI: Write Current = 10, Write Current = 6

Two-sample T for Write Current = 10 vs Write Current = 6

	N	Mean	StDev	SE Mean
Write Current = 10	250	3.345	0.119	0.0076
Write Current = 6	250	3.315	0.152	0.0096

Difference = $\mu(\text{Write Current} = 10) - \mu(\text{Write Current} = 6)$
Estimate for difference: 0.0298
95% CI for difference: (0.0058, 0.0538)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 2.44 P-Value = 0.015 DF = 472

รูปที่ ข.4 ผลการทดสอบ 2 Sample T

ข.3 ทดสอบสมมติฐานของปัจจัยค่าส่วนเกินของกระแส

วัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์ว่าค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน โดยให้ค่าส่วนเกินของกระแสเป็น 11 มิลลิแอมป์ เท่ากับค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน โดยให้ค่าส่วนเกินของกระแส เป็น 7 มิลลิแอมป์

กำหนดให้

μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน โดยให้ค่าส่วนเกินของกระแส

เป็น 11 มิลลิแอมป์

μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน โดยให้ค่าส่วนเกินของกระแส

เป็น 7 มิลลิแอมป์

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

ค่าสถิติทดสอบที่ใช้ขั้นตอนการทดสอบนี้คือ ค่าสถิติทดสอบที (t) สำหรับประชากรสองกลุ่ม โดยการทดลองนี้มีผลการทดสอบความแปรปรวนของสองประชากรเบื้องต้นโดยค่าสถิติทดสอบเอฟ (F) เท่ากับ 0.57 และมีค่า P- Value เท่ากับ 0.000 ดังแสดงในรูปที่ ข.5 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นการทดลองค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่ม โดยค่าสถิติทดสอบที่เป็นารทดสอบที่ความแปรปรวนของประชากรสองกลุ่มมีค่าไม่เท่ากัน

ในการทดสอบสมมติฐานดังกล่าวได้ค่าทดสอบที่เท่ากับ 3.43 และค่า P- Value เท่ากับ 0.001 แสดงในรูปที่ ข.6 ดังนั้นที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ไม่สามารถสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยอัตราบิดผิดพลาดที่ค่าส่วนเกินของกระแสเป็น 11 มิลลิแอมป์เท่ากับค่าส่วนเกินของกระแสเป็น 7 มิลลิแอมป์หรือสรุปได้ว่าค่าแอมพลิจูดของกระแสที่นำมาใช้ในการทดสอบมีผลอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% ต่อค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน

Test and CI for Two Variances: Write Overshoot = 11, Write Overshoot = 7

Method

Null hypothesis $\text{Sigma}(\text{Write Overshoot} = 11) / \text{Sigma}(\text{Write Overshoot} = 7) = 1$
Alternative hypothesis $\text{Sigma}(\text{Write Overshoot} = 11) / \text{Sigma}(\text{Write Overshoot} = 7) \text{ not} = 1$
Significance level $\text{Alpha} = 0.05$

Statistics

Variable	N	StDev	Variance
Write Overshoot = 11	250	0.123	0.015
Write Overshoot = 7	250	0.163	0.027

Ratio of standard deviations = 0.755
Ratio of variances = 0.570

95% Confidence Intervals

Distribution of Data	CI for StDev Ratio	CI for Variance Ratio
Normal	(0.667, 0.855)	(0.445, 0.731)
Continuous	(0.663, 0.886)	(0.440, 0.786)

Tests

Method	DF1	DF2	Test Statistic	P-Value
F Test (normal)	249	249	0.57	0.000
Levene's Test (any continuous)	1	498	12.62	0.000

รูปที่ ข.5 ผลการทดสอบความแปรปรวนของสองประชากรเบื้องต้น โดยค่าสถิติทดสอบเอฟ

Two-Sample T-Test and CI: Write Overshoot = 11, Write Overshoot = 7

Two-sample T for Write Overshoot = 11 vs Write Overshoot = 7

	N	Mean	StDev	SE Mean
Write Overshoot = 11	250	3.456	0.123	0.0078
Write Overshoot = 7	250	3.412	0.163	0.010

Difference = μ (Write Overshoot = 11) - μ (Write Overshoot = 7)
Estimate for difference: 0.0444
95% CI for difference: (0.0190, 0.0698)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 3.43 P-Value = 0.001 DF = 463

รูปที่ ข.6 ผลการทดสอบ 2 Sample T

ข.4 ทดสอบสมมติฐานของปัจจัยสัญญาณระบุตำแหน่งผิดพลาด

วัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์ว่าค่าเฉลี่ยของอัตราผิดพลาดของหัวอ่านเขียน โดยให้ค่าสัญญาณระบุตำแหน่งผิดพลาดสูงกว่า 4.3 เท่ากับค่าเฉลี่ยของอัตราผิดพลาดของหัวอ่านเขียน โดยให้ค่าสัญญาณระบุตำแหน่งผิดพลาดต่ำกว่าหรือเท่ากับ 4.3

กำหนดให้

μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของอัตราผิดพลาดของหัวอ่านเขียน โดยให้สัญญาณระบุตำแหน่งผิดพลาดสูงกว่า 4.3

μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของอัตราผิดพลาดของหัวอ่านเขียน โดยให้สัญญาณระบุตำแหน่งผิดพลาดต่ำกว่าหรือเท่ากับ 4.3

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

ค่าสถิติทดสอบที่ใช้ขั้นตอนการทดสอบนี้คือ ค่าสถิติทดสอบที (t) สำหรับประชากรสองกลุ่ม โดยการทดลองนี้มีผลการทดสอบความแปรปรวนของสองประชากรเบื้องต้นโดยค่าสถิติทดสอบเอฟ (F) เท่ากับ 0.90 และมีค่า P- Value เท่ากับ 0.402 ดังแสดงในรูปที่ ข.7 มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นการทดลองค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่ม โดยค่าสถิติทดสอบที่เป็นารทดสอบที่ความแปรปรวนของประชากรสองกลุ่มมีค่าเท่ากัน

ในการทดสอบสมมติฐานดังกล่าวได้ค่าทดสอบที่เท่ากับ 0.37 และค่า P- Value เท่ากับ 0.708 แสดงในรูปที่ ข.8 ดังนั้นที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สามารถสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยอัตราผิดพลาดที่ค่าสัญญาณระบุตำแหน่งผิดพลาดสูงกว่า 4.3 เท่ากับค่าสัญญาณระบุตำแหน่งผิดพลาดต่ำกว่าหรือเท่ากับ 4.3 หรือสรุปได้ว่าค่าสัญญาณระบุตำแหน่งผิดพลาดที่นำมาใช้ในการทดสอบไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% ต่อค่าเฉลี่ยของอัตราผิดพลาดของหัวอ่านเขียน

Test and CI for Two Variances: PES <= 4.3, PES > 4.3

Method

Null hypothesis Sigma(PES <= 4.3) / Sigma(PES > 4.3) = 1
Alternative hypothesis Sigma(PES <= 4.3) / Sigma(PES > 4.3) not = 1
Significance level Alpha = 0.05

Statistics

Variable	N	StDev	Variance
PES <= 4.3	250	0.187	0.035
PES > 4.3	250	0.197	0.039

Ratio of standard deviations = 0.948
Ratio of variances = 0.899

95% Confidence Intervals

Distribution of Data	CI for StDev Ratio	CI for Variance Ratio
Normal	(0.837, 1.074)	(0.701, 1.153)
Continuous	(0.821, 1.068)	(0.675, 1.141)

Tests

Method	DF1	DF2	Test Statistic	P-Value
F Test (normal)	249	249	0.90	0.402
Levene's Test (any continuous)	1	498	0.96	0.329

รูปที่ ข.7 ผลการทดสอบความแปรปรวนของสองประชากรเบื้องต้น โดยค่าสถิติทดสอบเอฟ

Two-Sample T-Test and CI: PES <= 4.3, PES > 4.3

Two-sample T for PES <= 4.3 vs PES > 4.3

	N	Mean	StDev	SE Mean
PES <= 4.3	250	3.347	0.187	0.012
PES > 4.3	250	3.340	0.197	0.012

Difference = mu (PES <= 4.3) - mu (PES > 4.3)
Estimate for difference: 0.0064
95% CI for difference: (-0.0274, 0.0403)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.37 P-Value = 0.708 DF = 498
Both use Pooled StDev = 0.1925

รูปที่ ข.8 ผลการทดสอบ 2 Sample T

ข.5 ทดสอบสมมติฐานของปัจจัยจำนวนสิ่งแปลกปลอมบนจาน

วัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์ว่าค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน โดยให้จำนวนสิ่งแปลกปลอมบนจานสูงกว่า 150 จำนวน เท่ากับค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน โดยให้จำนวนสิ่งแปลกปลอมบนจานต่ำกว่าหรือเท่ากับ 150 จำนวน

กำหนดให้

- μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน โดยให้จำนวนสิ่งแปลกปลอมบนจานสูงกว่า 150 จำนวน
- μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน โดยให้จำนวนสิ่งแปลกปลอมบนจานต่ำกว่าหรือเท่ากับ 150 จำนวน

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

ค่าสถิติทดสอบที่ใช้ขั้นตอนการทดสอบนี้คือ ค่าสถิติทดสอบที (t) สำหรับประชากรสองกลุ่ม โดยการทดลองนี้มีผลการทดสอบความแปรปรวนของสองประชากรเบื้องต้น โดยค่าสถิติทดสอบเอฟ (F) เท่ากับ 0.71 และมีค่า P- Value เท่ากับ 0.007 ดังแสดงในรูปที่ ข.9 น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นการทดลองค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่ม โดยค่าสถิติทดสอบที่เป็นการทดสอบที่ความแปรปรวนของประชากรสองกลุ่มมีค่าไม่เท่ากัน

ในการทดสอบสมมติฐานดังกล่าวได้ค่าทดสอบที่เท่ากับ 3.12 และค่า P- Value เท่ากับ 0.002 แสดงในรูปที่ ข.10 ดังนั้นที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ไม่สามารถสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยอัตราบิดผิดพลาดที่จำนวนสิ่งแปลกปลอมบนจานสูงกว่า 150 จำนวน เท่ากับค่าจำนวนสิ่งแปลกปลอมบนจานต่ำกว่าหรือเท่ากับ 150 จำนวน หรือสรุปได้ว่าจำนวนสิ่งแปลกปลอมบนจานที่นำมาใช้ในการทดสอบมีผลอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% ต่อค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน

Test and CI for Two Variances: Defect count <= 150, Defect count > 150

Method

Null hypothesis Sigma(Defect count <= 150) / Sigma(Defect count > 150) = 1
Alternative hypothesis Sigma(Defect count <= 150) / Sigma(Defect count > 150) not = 1
Significance level Alpha = 0.05

Statistics

Variable	N	StDev	Variance
Defect count <= 150	250	0.194	0.038
Defect count > 150	250	0.230	0.053

Ratio of standard deviations = 0.841
Ratio of variances = 0.708

95% Confidence Intervals

Distribution of Data	CI for StDev Ratio	CI for Variance Ratio
Normal	(0.743, 0.953)	(0.552, 0.908)
Continuous	(0.728, 0.959)	(0.530, 0.919)

Tests

Method	DF1	DF2	Test Statistic	P-Value
F Test (normal)	249	249	0.71	0.007
Levene's Test (any continuous)	1	498	6.54	0.011

รูปที่ ข.9 ผลการทดสอบความแปรปรวนของสองประชากรเบื้องต้น โดยค่าสถิติทดสอบเอฟ

Two-Sample T-Test and CI: Defect count <= 150, Defect count > 150

Two-sample T for Defect count <= 150 vs Defect count > 150

	N	Mean	StDev	SE Mean
Defect count <= 150	250	3.341	0.194	0.012
Defect count > 150	250	3.282	0.230	0.015

Difference = mu (Defect count <= 150) - mu (Defect count > 150)
Estimate for difference: 0.0593
95% CI for difference: (0.0219, 0.0968)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 3.12 P-Value = 0.002 DF = 483

รูปที่ ข.10 ผลการทดสอบ 2 Sample T

ข.6 ทดสอบสมมติฐานของปัจจัยวิธีการเลือกตำแหน่งมาทดสอบ

วัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์ว่าค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน โดยใช้วิธีการเลือกตำแหน่งมาทดสอบที่ 1 เท่ากับค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน โดยใช้วิธีการเลือกตำแหน่งมาทดสอบที่ 2

กำหนดให้

μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน โดยใช้วิธีการเลือกตำแหน่งมาทดสอบที่ 1

μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน โดยใช้วิธีการเลือกตำแหน่งมาทดสอบที่ 2

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

ค่าสถิติทดสอบที่ใช้ขั้นตอนการทดสอบนี้คือ ค่าสถิติทดสอบที (t) สำหรับประชากรสองกลุ่ม โดยการทดลองนี้มีผลการทดสอบความแปรปรวนของสองประชากรเบื้องต้นโดยค่าสถิติทดสอบเอฟ (F) เท่ากับ 1.26 และมีค่า P- Value เท่ากับ 0.703 ดังแสดงในรูปที่ ข.11 มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นการทดลองค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่ม โดยค่าสถิติทดสอบที่เป็นารทดสอบที่ความแปรปรวนของประชากรสองกลุ่มมีค่าเท่ากัน

ในการทดสอบสมมติฐานดังกล่าวได้ค่าทดสอบที่เท่ากับ -0.98 และค่า P- Value เท่ากับ 0.327 แสดงในรูปที่ ข.12 ดังนั้นที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สามารถสรุปได้ว่าวิธีการเลือกตำแหน่งมาทดสอบที่ 1 เท่ากับวิธีการเลือกตำแหน่งมาทดสอบที่ 2 หรือสรุปได้ว่าวิธีการเลือกตำแหน่งมาทดสอบที่นำมาใช้ในการทดสอบ ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% ต่อค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน

Test and CI for Two Variances: Test location_No1, Test location_No2

Method

Null hypothesis $\text{Sigma}(\text{Test location_No1}) / \text{Sigma}(\text{Test location_No2}) = 1$
 Alternative hypothesis $\text{Sigma}(\text{Test location_No1}) / \text{Sigma}(\text{Test location_No2}) \text{ not} = 1$
 Significance level $\text{Alpha} = 0.05$

Statistics

Variable	N	StDev	Variance
Test location_No1	250	0.203	0.041
Test location_No2	250	0.181	0.033

Ratio of standard deviations = 1.121
 Ratio of variances = 1.256

95% Confidence Intervals

Distribution of Data	CI for StDev Ratio	CI for Variance Ratio
Normal	(0.989, 1.269)	(0.979, 1.611)
Continuous	(1.000, 1.314)	(1.000, 1.726)

Tests

Method			Test	
	DF1	DF2	Statistic	P-Value
F Test (normal)	249	249	1.26	0.073
Levene's Test (any continuous)	1	498	3.86	0.050

รูปที่ ข.11 ผลการทดสอบความแปรปรวนของสองประชากรเบื้องต้นโดยค่าสถิติทดสอบเอฟ

Two-Sample T-Test and CI: Test location_No1, Test location_No2

Two-sample T for Test location_No1 vs Test location_No2

	N	Mean	StDev	SE Mean
Test location_No1	250	3.322	0.203	0.013
Test location_No2	250	3.339	0.181	0.011

Difference = μ (Test location_No1) - μ (Test location_No2)
 Estimate for difference: -0.0169
 95% CI for difference: (-0.0506, 0.0169)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.98 P-Value = 0.327 DF = 498
 Both use Pooled StDev = 0.1922

รูปที่ ข.12 ผลการทดสอบ 2 Sample T

ข.7 ทดสอบสมมติฐานของปัจจัยความกว้างหัวเขียน

วัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์ว่าค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียนโดยให้ค่าความกว้างหัวเขียนสูงกว่า 3.7 ไมโครนิ้ว เท่ากับค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน โดยให้ค่าความกว้างหัวเขียนต่ำกว่าหรือเท่ากับ 3.7 ไมโครนิ้ว

กำหนดให้

μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียนโดยให้ค่าความกว้างหัวเขียน (Writer Width) สูงกว่า 3.7 ไมโครนิ้ว

μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียนโดยให้ค่าความกว้างหัวเขียน (Writer Width) ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 3.7 ไมโครนิ้ว

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

ค่าสถิติทดสอบที่ใช้ขั้นตอนการทดสอบนี้คือ ค่าสถิติทดสอบที (t) สำหรับประชากร สองกลุ่ม โดยการทดลองนี้มีผลการทดสอบความแปรปรวนของสองประชากรเบื้องต้นโดยค่าสถิติทดสอบเอฟ (F) เท่ากับ 1.26 และมีค่า P- Value เท่ากับ 0.066 ดังแสดงในรูปที่ ข.13 มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นการทดลองค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่ม โดยค่าสถิติทดสอบที่เป็นารทดสอบที่ความแปรปรวนของประชากรสองกลุ่มมีค่าเท่ากัน

ในการทดสอบสมมติฐานดังกล่าวได้ค่าทดสอบ t เท่ากับ 4.39 และค่า P- Value เท่ากับ 0.000 แสดงในรูปที่ ข.14 ดังนั้นที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ไม่สามารถสรุปได้ว่าค่าความกว้างหัวเขียนสูงกว่า 3.7 ไมโครนิ้ว เท่ากับค่าความกว้างหัวเขียนต่ำกว่าหรือเท่ากับ 3.7 ไมโครนิ้ว หรือสรุปได้ว่าค่าความกว้างหัวเขียนที่นำมาใช้ในการทดสอบมีผลอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% ต่อค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิดพลาดของหัวอ่านเขียน

Test and CI for Two Variances: Writer Width <= 3.7, Writer Width >3.7

Method

Null hypothesis $\text{Sigma}(\text{Writer Width} \leq 3.7) / \text{Sigma}(\text{Writer Width} >3.7) = 1$
Alternative hypothesis $\text{Sigma}(\text{Writer Width} \leq 3.7) / \text{Sigma}(\text{Writer Width} >3.7) \text{ not} = 1$
Significance level $\text{Alpha} = 0.05$

Statistics

Variable	N	StDev	Variance
Writer Width <= 3.7	250	0.220	0.048
Writer Width >3.7	250	0.196	0.038

Ratio of standard deviations = 1.124
Ratio of variances = 1.263

95% Confidence Intervals

Distribution of Data	CI for StDev Ratio	CI for Variance Ratio
Normal	(0.992, 1.273)	(0.984, 1.620)
Continuous	(0.950, 1.254)	(0.903, 1.571)

Tests

Method	DF1	DF2	Statistic	P-Value
F Test (normal)	249	249	1.26	0.066
Levene's Test (any continuous)	1	498	1.57	0.211

รูปที่ ข.13 ผลการทดสอบความแปรปรวนของสองประชากรเบื้องต้น โดยค่าสถิติทดสอบเอฟ

Two-Sample T-Test and CI: Writer Width <= 3.7, Writer Width >3.7

Two-sample T for Writer Width <= 3.7 vs Writer Width >3.7

	N	Mean	StDev	SE Mean
Writer Width <= 3.7	250	3.302	0.220	0.014
Writer Width >3.7	250	3.220	0.196	0.012

Difference = $\mu(\text{Writer Width} \leq 3.7) - \mu(\text{Writer Width} >3.7)$
Estimate for difference: 0.0818
95% CI for difference: (0.0452, 0.1185)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 4.39 P-Value = 0.000 DF = 498
Both use Pooled StDev = 0.2083

รูปที่ ข.14 ผลการทดสอบ 2 Sample T

ข.8 ทดสอบสมมติฐานของปัจจัยขนาดสิ่งแปลกปลอมบนงาน

วัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์ว่าค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิพลาตของหัวอ่านเขียนโดยให้ขนาดสิ่งแปลกปลอมบนงานสูงกว่า 130 ไบต์เท่ากับค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิพลาตของหัวอ่านเขียนโดยให้ขนาดสิ่งแปลกปลอมบนงานต่ำกว่าหรือเท่ากับ 130 ไบต์

กำหนดให้

μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิพลาตของหัวอ่านเขียนโดยให้ขนาดสิ่งแปลกปลอมบนงานสูงกว่า 130 ไบต์

μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิพลาตของหัวอ่านเขียนโดยให้ขนาดสิ่งแปลกปลอมบนงานต่ำกว่าหรือเท่ากับ 130 ไบต์

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

ค่าสถิติทดสอบที่ใช้ขั้นตอนการทดสอบนี้คือ ค่าสถิติทดสอบที (t) สำหรับประชากรสองกลุ่ม โดยการทดลองนี้มีผลการทดสอบความแปรปรวนของสองประชากรเบื้องต้นโดยค่าสถิติทดสอบเอฟ (F) เท่ากับ 0.78 และมีค่า P- Value เท่ากับ 0.055 ดังแสดงในรูปที่ ข.15 มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นการทดลองค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่ม โดยค่าสถิติทดสอบที่เป็นกรทดสอบที่ความแปรปรวนของประชากรสองกลุ่มมีค่าเท่ากัน

ในการทดสอบสมมติฐานดังกล่าวได้ค่าทดสอบที่เท่ากับ 0.26 และค่า P- Value เท่ากับ 0.794 แสดงในรูปที่ ข.16 ดังนั้นที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สามารถสรุปได้ว่าขนาดสิ่งแปลกปลอมบนงานสูงกว่า 130 ไบต์เท่ากับขนาดสิ่งแปลกปลอมบนงานต่ำกว่าหรือเท่ากับ 130 ไบต์หรือสรุปได้ขนาดสิ่งแปลกปลอมบนงานที่นำมาใช้ในการทดสอบ ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% ต่อค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิพลาตของหัวอ่านเขียน

Test and CI for Two Variances: Defect size <= 130, Defect size > 130

Method

Null hypothesis Sigma(Defect size <= 130) / Sigma(Defect size > 130) = 1
Alternative hypothesis Sigma(Defect size <= 130) / Sigma(Defect size > 130) not = 1
Significance level Alpha = 0.05

Statistics

Variable	N	StDev	Variance
Defect size <= 130	250	0.193	0.037
Defect size > 130	250	0.218	0.048

Ratio of standard deviations = 0.885
Ratio of variances = 0.784

95% Confidence Intervals

Distribution of Data	CI for StDev Ratio	CI for Variance Ratio
Normal	(0.782, 1.003)	(0.611, 1.005)
Continuous	(0.794, 1.034)	(0.631, 1.070)

Tests

Method	DF1	DF2	Statistic	P-Value
F Test (normal)	249	249	0.78	0.055
Levene's Test (any continuous)	1	498	2.15	0.143

รูปที่ ข.15 ผลการทดสอบความแปรปรวนของสองประชากรเบื้องต้น โดยค่าสถิติทดสอบเอฟ

Two-Sample T-Test and CI: Defect size <= 130, Defect size > 130

Two-sample T for Defect size <= 130 vs Defect size > 130

	N	Mean	StDev	SE Mean
Defect size <= 130	250	3.328	0.193	0.012
Defect size > 130	250	3.323	0.218	0.014

Difference = mu (Defect size <= 130) - mu (Defect size > 130)
Estimate for difference: 0.0048
95% CI for difference: (-0.0314, 0.0410)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.26 P-Value = 0.794 DF = 498
Both use Pooled StDev = 0.2060

รูปที่ ข.16 ผลการทดสอบ 2 Sample T

ข.9 ทดสอบสมมติฐานของปัจจัยความแข็งของงาน

วัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์ว่าค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิพลาตของหัวอ่านเขียนโดยให้ค่าความแข็งของงานจากบริษัทที่ 1 เท่ากับค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิพลาตของหัวอ่านเขียนโดยให้ค่าความแข็งของงานจากบริษัทที่ 2

กำหนดให้

μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิพลาตของหัวอ่านเขียนโดยให้ค่าความแข็งของงานจากบริษัทที่ 1

μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิพลาตของหัวอ่านเขียนโดยให้ค่าความแข็งของงานจากบริษัทที่ 2

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

ค่าสถิติทดสอบที่ใช้ขั้นตอนการทดสอบนี้คือ ค่าสถิติทดสอบที (t) สำหรับประชากรสองกลุ่ม โดยการทดลองนี้มีผลการทดสอบความแปรปรวนของสองประชากรเบื้องต้นโดยค่าสถิติทดสอบเอฟ (F) เท่ากับ 0.8 และมีค่า P- Value เท่ากับ 0.072 ดังแสดงในรูปที่ ข.17 มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นการทดลองค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่ม โดยค่าสถิติทดสอบที่เป็นารทดสอบที่ความแปรปรวนของประชากรสองกลุ่มมีค่าเท่ากัน

ในการทดสอบสมมติฐานดังกล่าวได้ค่าทดสอบที่เท่ากับ -0.12 และค่า P- Value เท่ากับ 0.901 แสดงในรูปที่ ข.18 ดังนั้นที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สามารถสรุปได้ว่าค่าความแข็งของงานจากบริษัทที่ 1 เท่ากับค่าความแข็งของงานจากบริษัทที่ 2 หรือสรุปได้ค่าความแข็งของงานที่นำมาใช้ในการทดสอบ ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% ต่อค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิพลาตของหัวอ่านเขียน

Test and CI for Two Variances: Media Strength_1, Media Strength_2				
Method				
Null hypothesis	Sigma(Media Strength_1) / Sigma(Media Strength_2) = 1			
Alternative hypothesis	Sigma(Media Strength_1) / Sigma(Media Strength_2) not = 1			
Significance level	Alpha = 0.05			
Statistics				
Variable	N	StDev	Variance	
Media Strength_1	250	0.196	0.038	
Media Strength_2	250	0.220	0.048	
Ratio of standard deviations = 0.892				
Ratio of variances = 0.796				
95% Confidence Intervals				
Distribution of Data	CI for Ratio	CI for Variance Ratio		
Normal	(0.788, 1.010)	(0.620, 1.021)		
Continuous	(0.789, 1.029)	(0.623, 1.058)		
Tests				
Method	DF1	DF2	Test Statistic	P-Value
F Test (normal)	249	249	0.80	0.072
Levene's Test (any continuous)	1	498	2.40	0.122

รูปที่ ข.17 ผลการทดสอบความแปรปรวนของสองประชากรเบื้องต้น โดยค่าสถิติทดสอบเอฟ

Two-Sample T-Test and CI: Media Strength_1, Media Strength_2				
Two-sample T for Media Strength_1 vs Media Strength_2				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Media Strength_1	250	3.319	0.196	0.012
Media Strength_2	250	3.322	0.220	0.014
Difference = mu (Media Strength_1) - mu (Media Strength_2)				
Estimate for difference: -0.0023				
95% CI for difference: (-0.0389, 0.0343)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.12 P-Value = 0.901 DF = 498				
Both use Pooled StDev = 0.2083				

รูปที่ ข.18 ผลการทดสอบ 2 Sample T

ข.10 ทดสอบสมมติฐานของปัจจัยความเอียงของงาน

วัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์ว่าค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิพลาตของหัวอ่านเขียน โดยให้ค่าความเอียงของงานสูงกว่า 4 ไมโครนิ้วเท่ากับค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิพลาตของหัวอ่านเขียน โดยให้ค่าความเอียงของงานต่ำกว่าหรือเท่ากับ 4 ไมโครนิ้ว

กำหนดให้

μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิพลาตของหัวอ่านเขียน โดยให้ค่าความเอียงของงานสูงกว่า 4 ไมโครนิ้ว

μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิพลาตของหัวอ่านเขียน โดยให้ค่าความเอียงของงานต่ำกว่าหรือเท่ากับ 4 ไมโครนิ้ว

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

ค่าสถิติทดสอบที่ใช้ขั้นตอนการทดสอบนี้คือ ค่าสถิติทดสอบที (t) สำหรับประชากรสองกลุ่ม โดยการทดลองนี้มีผลการทดสอบความแปรปรวนของสองประชากรเบื้องต้นโดยค่าสถิติทดสอบเอฟ (F) เท่ากับ 0.92 และมีค่า P- Value เท่ากับ 0.507 ดังแสดงในรูปที่ ข.19 มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นการทดลองค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่มโดยค่าสถิติทดสอบที่เป็นการทดสอบที่ความแปรปรวนของประชากรสองกลุ่มมีค่าเท่ากัน

ในการทดสอบสมมติฐานดังกล่าวได้ค่าทดสอบที เท่ากับ 1.93 และค่า P- Value เท่ากับ 0.054 แสดงในรูปที่ ข.20 ดังนั้นที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สามารถสรุปได้ว่าค่าความเอียงของงานสูงกว่า 4 ไมโครนิ้วเท่ากับค่าความเอียงของงานต่ำกว่าหรือกับ 4 ไมโครนิ้ว หรือสรุปได้ค่าความเอียงของงานที่นำมาใช้ในการทดสอบไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% ต่อค่าเฉลี่ยของอัตราบิดผิพลาตของหัวอ่านเขียน

Test and CI for Two Variances: Media tilt <= 4, Media tilt>4

Method

Null hypothesis $\text{Sigma}(\text{Media tilt} \leq 4) / \text{Sigma}(\text{Media tilt} > 4) = 1$
Alternative hypothesis $\text{Sigma}(\text{Media tilt} \leq 4) / \text{Sigma}(\text{Media tilt} > 4) \text{ not} = 1$
Significance level $\text{Alpha} = 0.05$

Statistics

Variable	N	StDev	Variance
Media tilt <= 4	250	0.199	0.040
Media tilt >4	250	0.207	0.043

Ratio of standard deviations = 0.959
Ratio of variances = 0.919

95% Confidence Intervals

Distribution of Data	CI for StDev Ratio	CI for Variance Ratio
Normal	(0.847, 1.086)	(0.717, 1.179)
Continuous	(0.826, 1.080)	(0.683, 1.167)

Tests

Method	DF1	DF2	Statistic	P-Value
F Test (normal)	249	249	0.92	0.507
Levene's Test (any continuous)	1	498	0.69	0.407

รูปที่ ข.19 ผลการทดสอบความแปรปรวนของสองประชากรเบื้องต้น โดยค่าสถิติทดสอบเอฟ

Two-Sample T-Test and CI: Media tilt <= 4, Media tilt>4

Two-sample T for Media tilt <= 4 vs Media tilt >4

	N	Mean	StDev	SE Mean
Media tilt <= 4	250	3.360	0.199	0.013
Media tilt >4	250	3.325	0.207	0.013

Difference = μ (Media tilt <= 4) - μ (Media tilt >4)
Estimate for difference: 0.0350
95% CI for difference: (-0.0007, 0.0707)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 1.93 P-Value = 0.054 DF = 498
Both use Pooled StDev = 0.2031

รูปที่ ข.20 ผลการทดสอบ 2 Sample T

ภาคผนวก ก.

ผลการทดสอบค่าอัตราบิตผิดพลาดก่อนและหลังการปรับปรุงระดับปัจจัยให้เหมาะสม

ตารางที่ ค-1 ผลการทดสอบค่าอัตราบิตผิดพลาดก่อนการปรับปรุงระดับปัจจัยให้เหมาะสม

No	Bit Error Rate	No	Bit Error Rate	No	Bit Error Rate	No	Bit Error Rate
1	3.207	69	2.789	137	3.325	205	2.300
2	2.988	70	3.041	138	3.272	206	2.814
3	3.397	71	2.670	139	3.320	207	3.194
4	3.323	72	3.207	140	2.881	208	3.541
5	3.900	73	3.414	141	3.368	209	3.548
6	3.661	74	3.798	142	3.054	210	3.205
7	3.028	75	4.165	143	3.258	211	3.124
8	3.213	76	3.023	144	2.500	212	2.940
9	2.997	77	3.326	145	3.602	213	2.389
10	3.274	78	3.620	146	2.795	214	3.038
11	2.672	79	3.352	147	3.218	215	3.205
12	2.812	80	2.426	148	3.900	216	2.603
13	3.720	81	2.409	149	3.251	217	3.125
14	3.203	82	3.278	150	3.805	218	2.574
15	3.459	83	2.753	151	3.796	219	3.324
16	4.100	84	3.464	152	3.396	220	2.715
17	3.324	85	2.955	153	3.010	221	3.662
18	2.485	86	3.530	154	2.579	222	2.234
19	3.491	87	3.529	155	2.899	223	2.851
20	3.800	88	3.053	156	2.852	224	2.913
21	3.331	89	3.213	157	2.912	225	3.003
22	3.534	90	2.895	158	3.293	226	3.140
23	2.716	91	2.400	159	3.410	227	3.417
24	3.262	92	3.780	160	2.424	228	3.120
25	4.400	93	3.950	161	3.307	229	3.290
26	3.141	94	4.200	162	2.964	230	3.564

No	Bit Error Rate	No	Bit Error Rate	No	Bit Error Rate	No	Bit Error Rate
27	3.120	95	3.999	163	3.549	231	3.634
28	2.850	96	3.800	164	2.876	232	3.183
29	3.539	97	2.510	165	3.493	233	4.151
30	2.560	98	3.556	166	3.502	234	3.126
31	3.256	99	2.510	167	3.485	235	3.384
32	3.336	100	3.247	168	3.270	236	3.317
33	3.390	101	2.980	169	3.234	237	2.561
34	2.123	102	2.910	170	2.914	238	3.119
35	3.511	103	3.417	171	2.780	239	3.130
36	3.120	104	3.094	172	2.610	240	2.859
37	3.800	105	2.178	173	2.870	241	3.142
38	4.100	106	2.400	174	3.510	242	3.288
39	3.276	107	2.825	175	3.203	243	3.593
40	3.228	108	3.365	176	3.740	244	3.588
41	3.366	109	3.613	177	3.096	245	3.672
42	2.733	110	3.212	178	2.789	246	2.774
43	3.420	111	3.341	179	2.750	247	3.138
44	2.713	112	3.948	180	3.085	248	3.766
45	3.526	113	3.800	181	2.400	249	2.521
46	3.630	114	3.781	182	3.789	250	3.655
47	3.390	115	2.939	183	3.053	251	3.540
48	3.473	116	2.981	184	2.310	252	2.234
49	3.642	117	2.834	185	2.700	253	2.330
50	3.381	118	3.350	186	3.208	254	3.214
51	3.513	119	4.100	187	3.600	255	2.945
52	3.142	120	3.900	188	3.601	256	3.956
53	3.354	121	3.517	189	3.213	257	2.764

No	Bit Error Rate	No	Bit Error Rate	No	Bit Error Rate	No	Bit Error Rate
54	3.356	122	3.012	190	3.209	258	2.314
55	2.963	123	2.906	191	3.203	259	2.623
56	2.987	124	2.570	192	2.978	260	2.670
57	3.508	125	3.010	193	2.852	261	4.032
58	3.303	126	3.292	194	3.897	262	3.212
59	3.407	127	2.251	195	3.062	263	3.656
60	3.680	128	3.271	196	3.392	264	3.654
61	3.561	129	2.713	197	2.079	265	3.604
62	3.341	130	3.851	198	3.370	266	3.123
63	2.832	131	3.110	199	3.610	267	3.244
64	3.675	132	3.376	200	2.977	268	3.344
65	3.348	133	3.281	201	3.200	269	2.543
66	2.100	134	2.752	202	3.649	270	2.965
67	3.214	135	3.694	203	3.705		
68	3.442	136	2.991	204	3.243		

ตารางที่ ค-2 ผลการทดสอบยืนยันผลอัตราบิตผิดพลาดหลังจากปรับปรุงระดับปัจจัยให้เหมาะสม

No	Bit Error Rate	No	Bit Error Rate	No	Bit Error Rate	No	Bit Error Rate
1	3.715	69	3.579	137	3.531	205	3.713
2	3.572	70	3.764	138	3.462	206	3.112
3	3.585	71	3.639	139	3.542	207	3.384
4	3.533	72	3.497	140	3.581	208	3.721
5	3.825	73	3.624	141	3.576	209	3.738
6	3.851	74	3.988	142	3.638	210	3.415
7	3.632	75	4.175	143	3.458	211	3.712
8	3.732	76	3.725	144	3.723	212	3.734
9	3.617	77	3.536	145	3.815	213	3.488
10	3.722	78	3.812	146	3.744	214	3.248
11	3.652	79	3.542	147	3.628	215	3.419
12	3.531	80	3.954	148	4.153	216	3.731
13	3.922	81	3.826	149	3.935	217	3.345
14	3.713	82	3.458	150	4.039	218	3.619
15	3.614	83	3.565	151	3.960	219	3.537
16	3.969	84	3.776	152	3.562	220	3.374
17	3.544	85	3.825	153	3.784	221	3.852
18	3.483	86	3.843	154	3.587	222	3.234
19	3.382	87	3.753	155	3.694	223	3.754
20	4.023	88	3.645	156	3.559	224	3.123
21	3.542	89	3.921	157	3.922	225	3.214
22	3.424	90	3.595	158	3.503	226	3.354
23	3.806	91	3.513	159	3.611	227	3.616
24	3.452	92	3.924	160	3.732	228	3.325
25	3.653	93	3.834	161	3.512	229	3.487
26	3.434	94	3.742	162	3.362	230	3.775

No	Bit Error Rate	No	Bit Error Rate	No	Bit Error Rate	No	Bit Error Rate
27	3.395	95	3.845	163	3.749	231	3.734
28	3.129	96	4.143	164	3.875	232	3.334
29	3.368	97	3.813	165	3.672	233	3.346
30	3.431	98	3.826	166	3.702	234	3.336
31	3.476	99	3.841	167	3.688	235	3.573
32	3.516	100	3.457	168	3.473	236	3.527
33	3.595	101	3.763	169	3.432	237	3.267
34	3.533	102	3.920	170	3.115	238	3.320
35	3.422	103	3.614	171	3.683	239	3.310
36	3.826	104	3.694	172	3.513	240	3.652
37	3.809	105	3.563	173	3.761	241	3.343
38	4.034	106	3.834	174	3.735	242	3.482
39	3.860	107	3.655	175	3.813	243	3.792
40	3.738	108	3.535	176	3.914	244	3.779
41	3.556	109	3.835	177	3.687	245	3.872
42	3.553	110	3.913	178	3.638	246	4.024
43	3.610	111	3.543	179	3.430	247	3.345
44	3.634	112	4.133	180	3.686	248	3.947
45	3.756	113	3.604	181	3.643	249	4.042
46	3.825	114	3.944	182	3.940	250	3.847
47	3.570	115	3.749	183	3.650	251	3.735
48	3.282	116	3.582	184	3.431	252	3.563
49	3.343	117	3.745	185	3.734	253	3.721
50	3.578	118	3.540	186	3.418	254	3.421
51	3.326	119	4.113	187	3.790	255	3.935
52	3.651	120	4.132	188	3.817	256	4.148
53	3.544	121	3.717	189	3.423	257	3.619

No	Bit Error Rate	No	Bit Error Rate	No	Bit Error Rate	No	Bit Error Rate
54	3.536	122	3.634	190	3.420	258	3.134
55	3.563	123	3.123	191	3.413	259	3.245
56	3.781	124	3.154	192	3.368	260	3.544
57	3.798	125	3.774	193	3.151	261	3.945
58	3.512	126	3.499	194	3.087	262	3.434
59	3.617	127	3.663	195	3.652	263	3.866
60	3.898	128	3.978	196	3.592	264	3.846
61	3.756	129	3.745	197	3.648	265	3.812
62	3.534	130	4.024	198	3.570	266	3.332
63	3.852	131	3.723	199	3.813	267	3.454
64	3.865	132	3.560	200	3.373	268	3.644
65	3.558	133	3.471	201	3.434	269	3.243
66	3.590	134	3.655	202	3.859	270	3.365
67	3.824	135	3.843	203	3.915		
68	3.634	136	3.676	204	3.453		

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ – ชื่อสกุล	นางสาวอัจฉราภรณ์ คำรงวณิชย์
วัน เดือน ปี เกิด	12 มิถุนายน 2530
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	566/59 ม.4 ซ.ศูนย์การค้าบางปะกอก แขวงบางปะกอก เขตราชบุรี บูรณะ กรุงเทพมหานคร 10140
ที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัทฮาร์ดดิสก์แห่งหนึ่ง
ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน	วิศวกรผลิตภัณฑ์
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สาขาวิชา วิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
พ.ศ.2551	