

การทดลองเพื่อกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อการลดอัตราความผิดพลาด
ในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟ

นายนิพนธ์ จิระพัฒน์พิศาล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
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.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF PROPER PARAMETERS FOR REDUCING
BIT ERROR RATE OF HARD DISK DRIVE

Mr. Nipon Jirapatpisan

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 2011

Copyright of Chulalongkorn University

นิพนธ์ จิระพัฒนพิศาล : การทดลองเพื่อกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อการลดอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์. (EXPERIMENTAL DETERMINATION OF PROPER PARAMETERS FOR REDUCING BIT ERROR RATE OF HARD DISK DRIVE) อ. ที่
ปริญญาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. จิระพัฒน เจาประเสริฐวงศ์ , 144 หน้า.

งานวิจัยนี้เสนอแนวทางการควบคุมคุณภาพโดยแนวทางของซิกซ์ ซิกม่า เพื่อลดปริมาณฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่ได้ขนาดตามความจุเริ่มต้น (Prime Capacity) ที่ 500GB ในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และทดสอบฟังก์ชันการใช้งาน และศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราความผิดพลาดในการทดสอบการอ่านเขียน (Bit Error Rate) ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งเป็นข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์และพิจารณาหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม

การวิจัยดำเนินการตามขั้นตอนการวิธีการทางซิกซ์ ซิกม่าทั้ง 5 ขั้นตอน โดยเริ่มจากขั้นตอนนิยามปัญหา ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และขั้นตอนการควบคุมการผลิตตามลำดับ โดยมี 25 ปัจจัยในต้นเริ่มต้น และถูกกลั่นกรองเหลือ 4 ปัจจัย เพื่อนำเข้าในการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k ผลการวิเคราะห์โดยใช้หลักการทางสถิติวิศวกรรมที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ 3 ปัจจัย ได้แก่ความหนาของสารเคลือบหัวอ่านเขียนปัจจุบันเท่ากับ 21 อังสตรอม ความหนาของสารเคลือบผิวบนแผ่นดิสก์ปัจจุบันเท่ากับ 22 อังสตรอม และระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ปัจจุบันเท่ากับ 1.9 นาโนเมตร โดยระดับของปัจจัยที่เหมาะสมต่อการลดอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ คือ ความหนาของสารเคลือบหัวอ่านเขียนเท่ากับ 17 อังสตรอม ความหนาของสารเคลือบผิวบนแผ่นดิสก์ เท่ากับ 20 อังสตรอม และระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ที่ระดับ 1.5 นาโนเมตร จากนั้นจึงทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลก่อนนำไปใช้จริงในกระบวนการผลิต และทำการควบคุมปัจจัยนำเข้ดังกล่าว

จากการดำเนินการคุณภาพตามแนวทางของซิกซ์ ซิกม่า สัดส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ต้องลดขนาดความจุลงจากเดิม 500GB เป็น 320GB เนื่องจากอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนไม่ได้ตามเกณฑ์ลดลงจากเดิม 7.05% เหลือ 3.24% คำนวณเป็นจำนวนเงินที่ได้รับกลับคืนเท่ากับ 38,086,588 บาท/ปี นอกจากนี้ยังพบว่า สัดส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีอัตราความผิดพลาดไม่ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียสมีค่าลดลงเหลือ 0.42% ทำให้มีโอกาสนในการยกเลิกการทดสอบดังกล่าวที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งในอนาคต ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงโอกาสที่ของเสียจะหลุดลอดไปถึงลูกค้าด้วย

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ.....ลายมือชื่อนิติศ.....
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปริญญาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา 2554.....

##5171422321 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : BIT ERROR RATE OF HARD DISK DRIVE / SIX SIGMA / DEFINE PHASE /
MEASURE PHASE / ANALYZE PHASE / IMPROVE PHASE / CONTROL PHASE

NIPON JIRAPATPISAN : EXPERIMENTAL DETERMINATION OF PROPER PARAMETERS
FOR REDUCING BIT ERROR RATE OF HARD DISK DRIVE. ADVISOR : ASSOC. PROF.
JEERAPAT NGAOPRASERTWONG , 144 pp.

The objective of this research is to reduce bit error rate of hard disk drive that directly affect number of hard disk drives not meeting prime capacity 500GB. Six Sigma Approach is applied not only to study the factors influencing the bit error rate, but also to identify the appropriate operative condition.

The study has been undergone according to the five phase improvement models of Six Sigma methodology. The process begins with defining phase, measuring phase, analyzing phase, improving phase and controlling phase respectively. The result of the process is able to determine 25 KPIVs at early process and reduce to 4 KPIVs that have been used to perform an experiment by full factorial 2^k method. Analysis using statistical techniques by $\alpha = 0.05$ found 3 factors that influence bit error rate which are HGA diamond like carbon thickness now is 21 °A, media over coat thickness now is 22 °A, head and media spacing now is 1.9 nm. The proper factors level for reducing bit error rate are HGA diamond like carbon thickness is 17 °A, media over coat thickness is 20 °A, head and media spacing is 1.5 nm. The preliminary experiments are also conducted to confirm the result before production. Finally, the results of statistical analysis are set at the process of control phase.

The results by Six Sigma Approach applied showed number of hard disk drives that need to downgrade capacity due to bit error rate not meet criteria reduce from 7.05% to 3.24%. The revenue gained back is 38,086,588 BAHT/year. Also found out that ratio of hard disk drive not meeting bit error rate criteria at 25°C and 55°C reduce to 0.42%, there is an opportunity to eliminate these testing in the future but need to consider potential escapee to customer.

Department : Industrial Engineering..... Student's Signature.....
Field of Study : Industrial Engineering..... Advisor's Signature.....
Academic Year : 2011.....

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินงานวิจัยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องด้วยความอนุเคราะห์ของ
รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่เสียสละเวลาแนะนำแนวทาง
รวมทั้งให้คำปรึกษาทั้งหลักการและทฤษฎีวิชาการเสมอมา ทำให้งานวิจัยนี้อยู่ในกรอบของหลักการและ
เหตุผลอย่างที่ควรจะเป็น ผู้แต่งขอขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้ รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านสำหรับคำแนะนำที่
ให้กับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รองศาสตราจารย์ดำรงศักดิ์ ทวีแสงสกุลไทย ประธานกรรมการ

รองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชูติมาและรองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย ธิจิรวณิช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่
ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆพร้อมทั้งตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องให้กับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ประโยชน์และความดีอันพึงเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่มารดา พี่น้อง ภรรยา เพื่อน
นิสิต และเพื่อนร่วมงาน ตลอดจนขอขอบคุณทุกท่านที่มีได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและให้
กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 ปัจจัยเบื้องต้นที่ส่งผลกระทบต่อการค้าความผิดพลาดการอ่านเขียน.....	4
1.3 วัตถุประสงค์การทำวิจัย.....	10
1.4 ขอบเขตการทำวิจัย.....	10
1.5 ขั้นตอนการศึกษาวิจัยและดำเนินการ.....	11
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำวิจัย.....	12
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
2.1 หลักการสื่อสารเบื้องต้น.....	13
2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า.....	13
2.3 การบันทึกระบบแม่เหล็ก.....	14
2.4 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	17
2.5 การออกแบบการทดลอง.....	23
2.6 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	27
บทที่ 3 การศึกษาข้อมูลปัจจุบันและการกำหนดนิยามปัญหา.....	30
3.1 ข้อมูลทั่วไปของบริษัทตัวอย่าง.....	30
3.2 กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	31
3.3 สภาพปัญหาปัจจุบัน.....	33

บทที่ 4 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา.....	37
4.1 การวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล (Cause & Effect Diagram).....	37
4.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R).....	58
บทที่ 5 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา.....	65
5.1 การศึกษาข้อมูลการผลิตในอดีตเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่นำเข้าไปการทดลอง..	65
5.2 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA).....	93
บทที่ 6 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ.....	96
6.1 ปัจจัยนำเข้าการทดลอง.....	96
6.2 ตัวแปรตอบสนอง.....	97
6.3 การออกแบบการทดลอง.....	97
6.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองหาปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Initial BER).....	98
6.5 การวิเคราะห์ผลการทดลองหาปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง (BER @25 °C).....	104
6.6 การวิเคราะห์ผลการทดลองหาปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง (BER @55 °C).....	110
บทที่ 7 การทดสอบยืนยันผล.....	116
7.1 วิธีการทดสอบยืนยันผล.....	116
7.2 การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ.....	118
บทที่ 8 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	126
8.1 สรุปขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา.....	126
8.2 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยมีความแตกต่างกันจากการศึกษาข้อมูล การผลิตของผลิตภัณฑ์.....	126
8.3 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ.....	127
8.4 ข้อจำกัดในการทดลอง.....	127
8.5 ข้อเสนอแนะ.....	128

รายการอ้างอิง.....	129
ภาคผนวก.....	132
ภาคผนวก ก ตารางแสดงผลการทดลอง.....	133
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	144

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากวัตถุดิบ (Material).....	5
1.2 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากวิธีการ (Method).....	8
1.3 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากคน (Man).....	9
1.4 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากเครื่องจักร (Machine).....	9
1.5 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากสิ่งแวดล้อม (Environment).....	10
3.1 Yield (%) ในแต่ละขั้นตอนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	33
4.1 ผู้เชี่ยวชาญแต่ละสาขาที่ได้ร่วมระดมความคิดหาปัจจัยเบื้องต้นที่เกี่ยวข้อง.....	37
4.2 รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	39
4.3 ขั้นตอนการผลิต Slider.....	42
4.4 ขั้นตอนการผลิต HGA.....	48
4.5 ขั้นตอนการผลิตแผ่นบันทึกข้อมูล (Media).....	51
4.6 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากวัตถุดิบ (Material).....	53
4.7 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากวิธีการ (Method).....	55
4.8 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากคน (Man).....	56
4.9 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากเครื่องจักร (Machine).....	57
4.10 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากสิ่งแวดล้อม (Environment).....	57
4.11 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของเครื่อง Xcalibre ต่ออัตราความผิดพลาด เบื้องต้นของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	58
4.12 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของเครื่อง Xcalibre ต่ออัตราความผิดพลาด ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	60
4.13 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของเครื่อง Xcalibre ต่ออัตราความผิดพลาด ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส.....	63
5.1 การคัดเลือกปัจจัยที่มาจากวัตถุดิบ (Material) เพื่อนำเข้าในการทดลองต่อไป.....	79
5.2 การคัดเลือกปัจจัยที่มาจากวิธีการ (Method) เพื่อนำเข้าในการทดลองต่อไป.....	84
5.3 การคัดเลือกปัจจัยที่มาจากคน (Man) เพื่อนำเข้าในการทดลองต่อไป.....	87
5.4 การคัดเลือกปัจจัยที่มาจากเครื่องจักร (Machine) เพื่อนำเข้าในการทดลองต่อไป.....	89

ตารางที่	หน้า
5.5 การคัดเลือกปัจจัยที่มาจากสิ่งแวดล้อม (Environment) เพื่อนำเข้าในการทดลองต่อไป.....	90
5.6 การวิเคราะห์ FMEA สำหรับปัจจัยนำเข้าในการทดลอง.....	94
5.7 ปัจจัยที่จะถูกนำเข้าในการทดลอง.....	95
6.1 ปัจจัยที่จะถูกนำเข้าในการทดลอง.....	96
6.2 กำลังและจำนวนของการทดสอบ.....	97
6.3 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของปัจจัยที่ส่งผลต่อ Initial BER.....	98
6.4 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของปัจจัยที่ส่งผลต่อ BER @25 °C.....	104
6.5 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของปัจจัยที่ส่งผลต่อ BER @55 °C.....	110
7.1 การเปรียบเทียบสัดส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีอัตราความผิดพลาดไม่ได้ตามเกณฑ์ ก่อนและหลังการปรับปรุง.....	121
7.2 การเปรียบเทียบสัดส่วนของจำนวนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และจำนวนเงินที่ได้จากการขาย ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ก่อนและหลังการปรับปรุง.....	122
7.3 ผลการทดสอบความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ (BEST).....	123
7.4 ผลการทดสอบความสามารถในการบินระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์.....	125

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 กระบวนการผลิตและทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	2
1.2 ค่า BER ที่ได้จากการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง.....	3
1.3 ยอดการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์รายสัปดาห์.....	4
1.4 ปัจจัยเบื้องต้นที่ส่งผลต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	5
2.1 การเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าในขดลวดโซลินอย.....	14
2.2 การดูดและผลักกันของแม่เหล็ก 2 ชั้น.....	14
2.3 ชั้นส่วนโครงสร้างของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	17
2.4 เทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลแบบแวนอนและแนวตั้ง.....	21
3.1 กระบวนการผลิตและทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	32
3.2 ของเสียที่เกิดในกระบวนการทดสอบการใช้งาน (Back-End Test Process).....	34
3.3 ความสามารถของกระบวนการสำหรับอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนเบื้องต้น.....	34
3.4 ความสามารถของกระบวนการสำหรับอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนที่อุณหภูมิ 25 °C.....	35
3.5 ความสามารถของกระบวนการสำหรับอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนที่อุณหภูมิ 55 °C.....	36
4.1 กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ใน Clean Room และ Back End.....	38
4.2 กระบวนการผลิต Slider.....	41
4.3 กระบวนการตรวจสอบและทำความสะอาด Slider.....	42
4.4 กระบวนการผลิตและตรวจสอบ HGA.....	47
4.5 กระบวนการผลิตและตรวจสอบ HAS.....	49
4.6 กระบวนการผลิตและตรวจสอบ Media.....	50
4.7 ปัจจัยเบื้องต้นที่ได้จากระดมความคิดจากผู้เชี่ยวชาญ.....	52
4.8 แผนภาพการประเมินความผันแปรของเครื่อง Xcalibre ต่ออัตราความผิดพลาดเบื้องต้น.....	60
4.9 แผนภาพการประเมินความผันแปรของเครื่อง Xcalibre ต่ออัตราความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 25 °C.....	62

4.10 แผนภาพการประเมินความผันแปรของเครื่อง Xcalibre ต่ออัตราความผิดพลาด ที่อุณหภูมิ 55 °C.....	64
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดและขนาดความกว้างของหัวเขียน.....	66
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดและกลุ่มขนาดความกว้างของหัวเขียน ด้านสูงและต่ำ.....	66
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดและขนาดสัญญาณของหัวอ่านเขียน.....	67
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดและกลุ่มขนาดสัญญาณของ หัวอ่านเขียนด้านสูงและต่ำ.....	67
5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดและขนาดความสมมาตรของสัญญาณ.....	68
5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดและกลุ่มขนาดความสมมาตรของ สัญญาณด้านสูงและต่ำ.....	68
5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดและความสามารถในการเขียนข้อมูลทับ.....	69
5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดและกลุ่มค่าความสามารถในการเขียน ข้อมูลทับด้านสูงและต่ำ.....	69
5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดและค่า SNR ของหัวอ่านเขียน.....	70
5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดและกลุ่มค่า SNR ของหัวอ่านเขียน ขนาดสูงและต่ำ.....	70
5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดและปริมาณฝุ่นละออง.....	71
5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดและขนาดของปริมาณฝุ่นละอองด้านสูงและต่ำ.....	71
5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดและปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้หัวอ่านเขียน...	72
5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดและกลุ่มปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ หัวอ่านเขียนด้านสูงและต่ำ.....	72
5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดและพลังงานที่จ่ายให้กับหัวอ่านเขียน.....	73
5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดและกลุ่มพลังงานที่จ่ายให้กับหัวอ่านเขียน ด้านสูงและต่ำ.....	73
5.17 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแผ่นดิสก์.....	74
5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดและสายการประกอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์.....	75

5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดและรุ่นเครื่องในการผลิตแผ่นดิสก์.....	76
5.20 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญที่เกิดจากอุณหภูมิที่ 25 และ 55 องศาเซลเซียส.....	77
5.21 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญที่เกิดจากความชื้นที่อุณหภูมิห้องและความชื้นที่ 80%.....	78
5.22 แผนภาพแสดงดัชนีลำดับความเสี่ยงจาก FMEA.....	95
6.1 แผนภูมิแสดงสถิติเชิงพรรณนาของอัตราความผิดพลาดเบื้องต้น.....	98
6.2 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้างอัตราความผิดพลาดเบื้องต้น.....	99
6.3 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล.....	100
6.4 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต.....	100
6.5 แผนภูมิพาเรโต แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่ออัตรา ความผิดพลาดเบื้องต้น.....	101
6.6 กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อ อัตราความผิดพลาดเบื้องต้น.....	101
6.7 ผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่ออัตราความผิดพลาดเบื้องต้น.....	102
6.8 ผลอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่ออัตราความผิดพลาดเบื้องต้น.....	102
6.9 แผนภูมิแสดงสถิติเชิงพรรณนาของอัตราความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 25 °C.....	104
6.10 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้างอัตราความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 25 °C.....	105
6.11 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล.....	106
6.12 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต.....	106
6.13 แผนภูมิพาเรโต แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่ออัตรา ความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 25 °C.....	107
6.14 กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ ต่ออัตราความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 25 °C.....	107
6.15 ผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่ออัตราความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 25 °C.....	108
6.16 ผลอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่ออัตราความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 25 °C.....	108
6.17 แผนภูมิแสดงสถิติเชิงพรรณนาของอัตราความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 55 °C.....	110
6.18 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้างอัตราความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 55 °C.....	111
6.19 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล.....	112
6.20 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต.....	112

6.21 แผนภูมิพาเรโต แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่ออัตรา ความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 55 °C.....	113
6.22 กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ ต่ออัตราความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 55 °C.....	113
6.23 ผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่ออัตราความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 55 °C.....	114
6.24 ผลอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่ออัตราความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 55 °C.....	114
7.1 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญก่อนและหลังการปรับปรุง.....	118
7.2 สัดส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ก่อนการปรับปรุงที่ต้องลดขนาดความจุ.....	119
7.3 สัดส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์หลังการปรับปรุงที่ต้องลดขนาดความจุ.....	120

บทที่ 1

บทนำ

ในยุคปัจจุบันที่เทคโนโลยีต่างๆพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้เข้ามามีบทบาทในการใช้ชีวิตประจำวันมากขึ้น ทั้งนี้เพื่อช่วยในการอำนวยความสะดวกสบาย ไม่ว่าจะเป็นโทรศัพท์มือถือที่แทบทุกคนมีพกพา หรือกล้องถ่ายรูปดิจิทัล โดยเฉพาะคอมพิวเตอร์ที่มีบทบาทอย่างมากในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นด้านการศึกษาค้นคว้า การทำงานของคนหลากหลายอาชีพ ตลอดไปจนถึงการตอบสนองความบันเทิงในรูปแบบต่างๆ การแข่งขันของอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์จึงดำเนินไปอย่างรวดเร็ว ไม่ว่าจะเป็นทางด้านเทคโนโลยีความเร็วในการเข้าถึงข้อมูล เทคโนโลยีการเพิ่มขนาดเนื้อที่การเก็บข้อมูล การเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ การออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อลดขนาดให้สามารถพกพาได้สะดวก ตลอดจนการแข่งขันทางด้านราคาซึ่งถือเป็นตัวแปรที่สำคัญของเศรษฐกิจทุกยุค

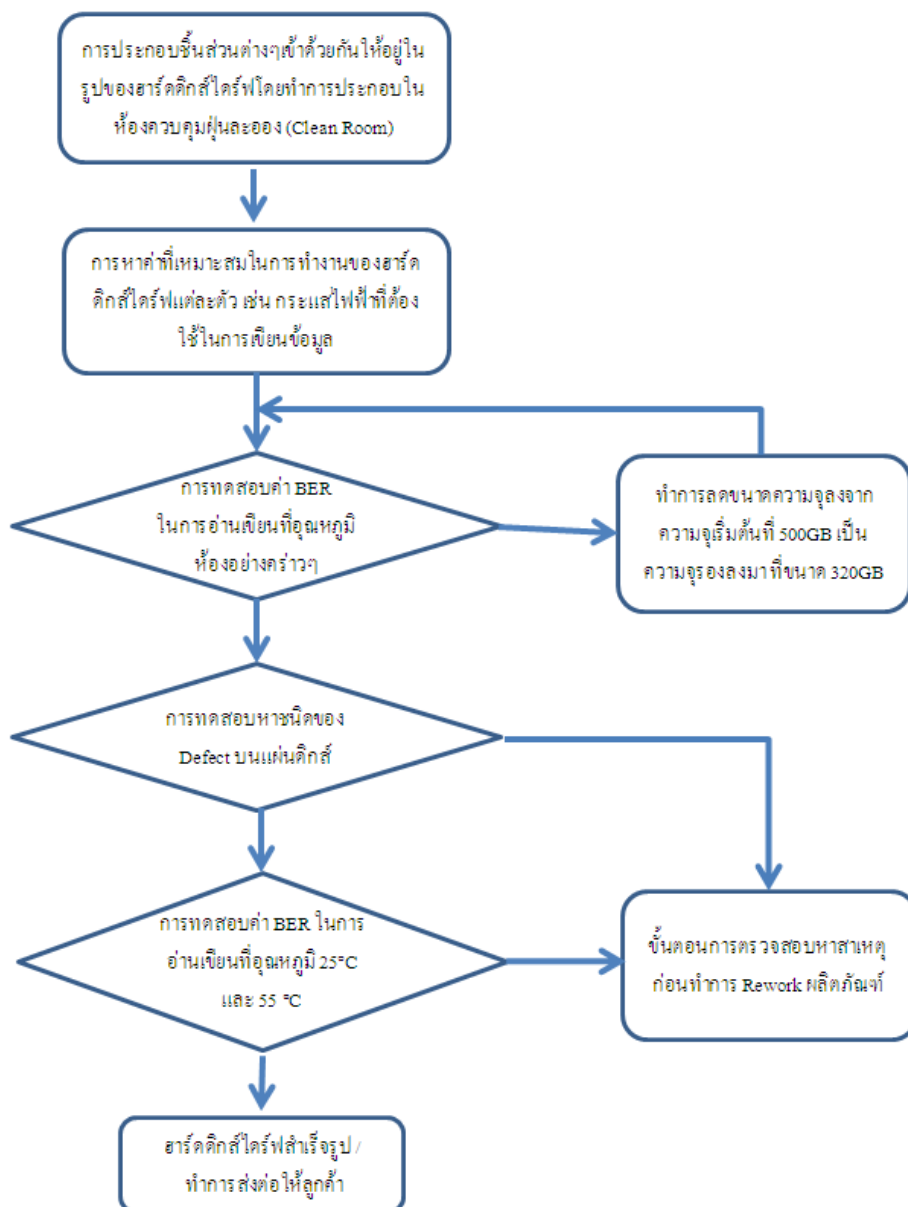
อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ถือเป็นอีกอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีการพัฒนาของเทคโนโลยีอย่างรวดเร็ว ไม่ว่าจะเป็นความเร็วรอบในการหมุนจาก 5,400 รอบต่อนาที ไปเป็น 7,200 หรือ 10,000 รอบต่อนาที โดยในปัจจุบันความจุสูงสุดของข้อมูลสำหรับคอมพิวเตอร์แบบพกพาอยู่ที่ความจุขนาด 1 เทระไบต์ และคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะอยู่ที่ความจุ 2 เทระไบต์ เพื่อให้ได้ขนาดความจุข้อมูลที่มากทำให้จำเป็นต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีของหัวอ่านเขียนจาก Giant Magnetic Recording (GMR) ไปเป็น Tunneling Magneto-Resistive (TMR) และการบันทึกในแนวระนาบ Longitudinal Magnetic Recording (LMR) ไปเป็นการบันทึกในแนวตั้ง หรือ Perpendicular Magnetic Recording (PMR) โดยที่ประสิทธิภาพ ความน่าเชื่อถือหรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยังคงเป็นตัวแปรสำคัญที่ลูกค้าคำนึงถึงอยู่เสมอ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจัยที่เป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในขั้นนี้ได้แก่ ค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนข้อมูลหรือที่เรียกว่า Bit Error Rate (BER) ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างจำนวนบิตที่เกิดความผิดพลาดต่อจำนวนบิตทั้งหมดที่ทำการทดสอบ โดยจำนวนบิตที่ทำการทดสอบจะอยู่ในช่วง $10^9 - 10^{10}$ บิต/พื้นที่ผิวการเก็บข้อมูล เพื่อให้ง่ายแก่การพิจารณาจึงมีการแปรค่าดังกล่าวให้อยู่ในรูปที่ง่ายขึ้นดังนี้

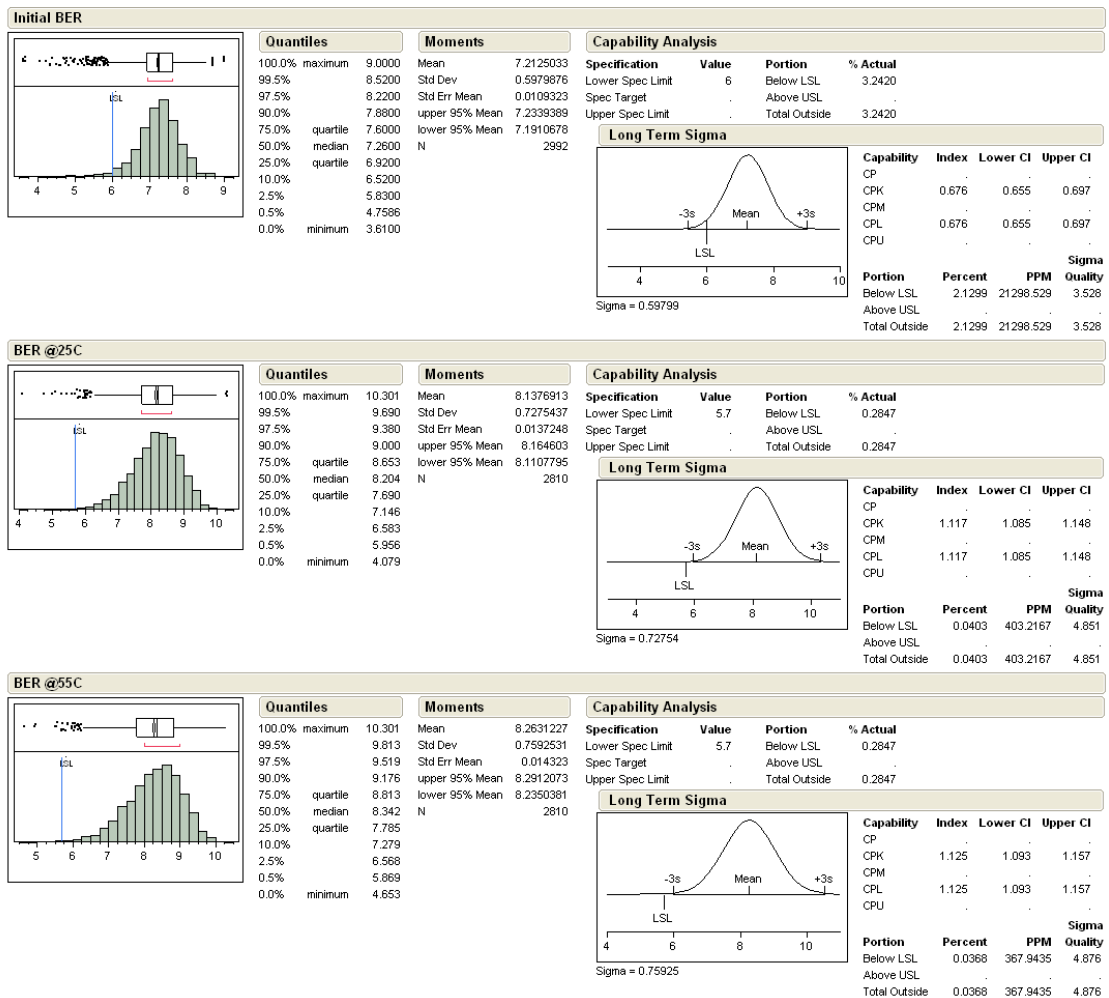
$$\text{อัตราความผิดพลาดในการทดสอบการอ่านเขียน (BER)} = -\log \left(\frac{\text{จำนวนบิตที่เกิดความผิดพลาด}}{\text{จำนวนบิตทั้งหมดที่ทำการทดสอบ}} \right)$$

จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่าเมื่อจำนวนบิตที่เกิดความผิดพลาดลดลงจะทำให้อัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนดีขึ้น โดยขั้นตอนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ปัจจุบันหลังจากที่นำชิ้นส่วนต่างๆมาประกอบเข้าด้วยกันในรูปของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แล้วจะเริ่มทำการทดสอบค่า BER ในการอ่านเขียนทั้งที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและการจำลองสถานการณ์ในการทำงานจริงของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถเขียนกระบวนการผลิตและทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้ดังภาพ 1.1



ภาพที่ 1.1 กระบวนการผลิตและทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

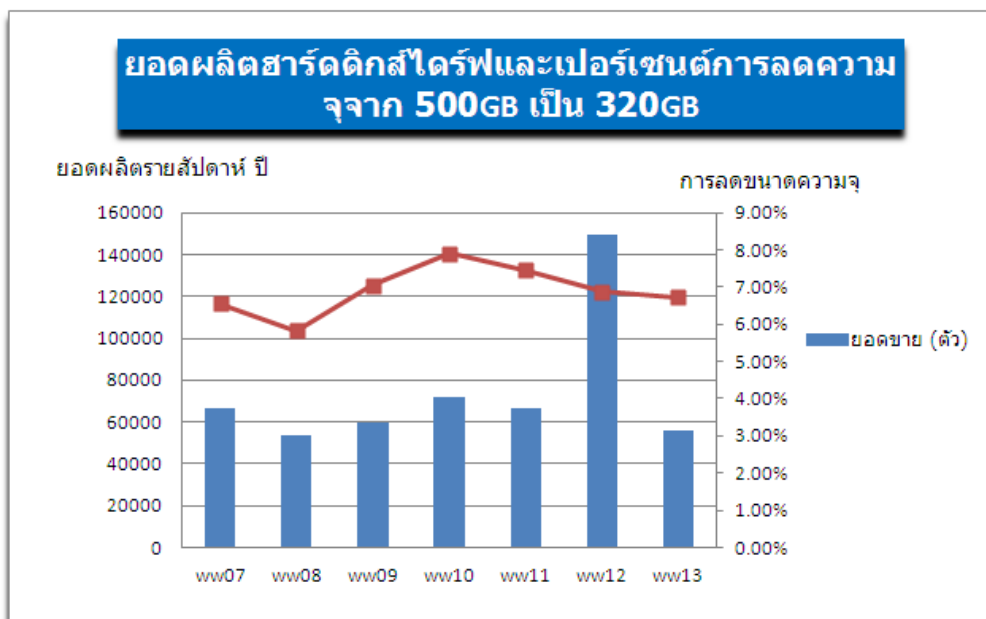
ข้อมูลการผลิตปัจจุบันของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาดความจุ 500GB ที่ความเร็ว 7,200 รอบต่อนาที มีสัดส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาดความจุรองลงมา (Alternate Format Capacity) หรือที่ความจุเท่ากับ 320GB ในปริมาณค่อนข้างสูง คือประมาณ 7%ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ทำการทดสอบทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องมาจากค่าที่ได้จากการทดสอบความผิดพลาดในการอ่านเขียนไม่ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้



ภาพที่ 1.2 ค่า BER ที่ได้จากการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ผลิตกันชนขนาดความจุ 500GB, 7200 RPM

จากข้อมูลการผลิตดังภาพที่ 1.3 ปริมาณการผลิตประมาณ 60,000 ตัว/สัปดาห์ และราคาขายที่แตกต่างกันระหว่างฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาดความจุ 500GB และ 320GB ที่ 356 บาท สามารถนำมาคำนวณหาจำนวนเงินที่สูญเสียไปเนื่องจากการลดขนาดความจุจาก 500GB เป็น 320GB ได้เท่ากับ 1,345,680 บาท/สัปดาห์ โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{จำนวนเงินที่สูญเสีย} &= \text{ปริมาณการผลิตต่อสัปดาห์} \times \% \text{Yield} \times \text{สัดส่วนของฮาร์ดดิสก์ที่ต้องลด} \\
 &\quad \text{ขนาดความจุ} \times (\text{ราคาขายฮาร์ดดิสก์ขนาด 500GB} - \text{ราคาขายฮาร์ดดิสก์} \\
 &\quad \text{ขนาด 320GB}) \\
 &= 60,000 \times 90\% \times 7\% \times (2,491 - 2,135) \\
 &= 1,345,680 \text{ บาท / สัปดาห์}
 \end{aligned}$$

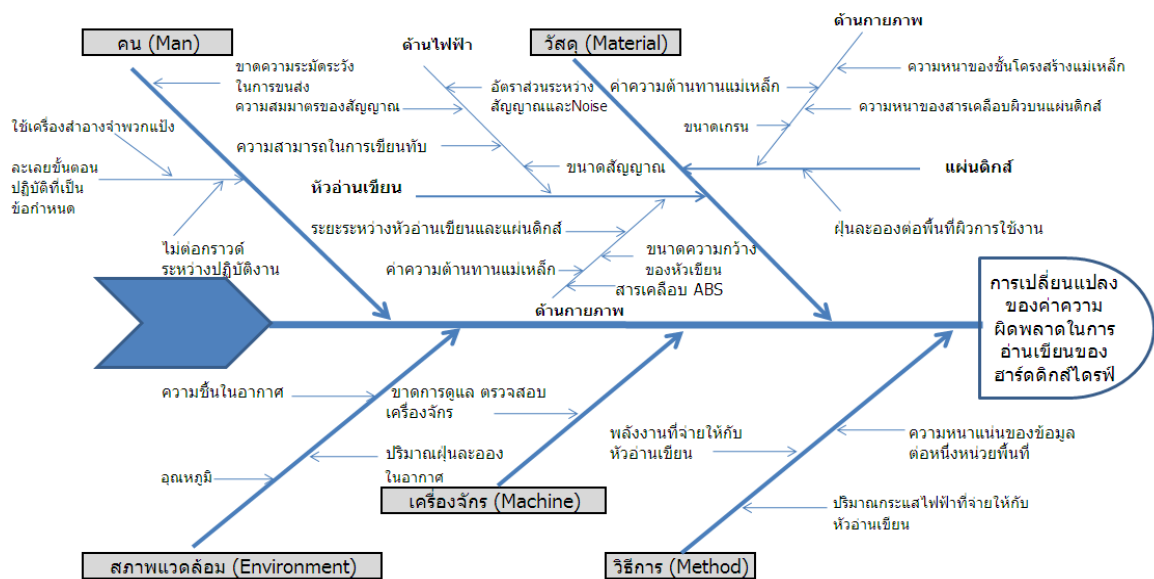


ภาพที่ 1.3 ยอดการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟรายสัปดาห์ของปี 2553

ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าของปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนน่าจะช่วยส่งเสริมให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาดความจุ 500GB (Prime Format Capacity) มากขึ้น หรืออีกนัยหนึ่งคือสามารถลดของเสียที่เกิดจากอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนไม่ได้ตามเกณฑ์กำหนด

1.2 ปัจจัยเบื้องต้นที่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

ปัจจัยเบื้องต้นที่ได้จากการระดมสมองของผู้ที่เกี่ยวข้องได้แก่ วิศวกรที่ดูแลผลิตภัณฑ์ (Product Engineer), วิศวกรอาวุโสด้านหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ (Head and Media Engineer) และหัวหน้าวิศวกรแผนก HGA



ภาพที่ 1.4 ปัจจัยเบื้องต้นที่ส่งผลต่อความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

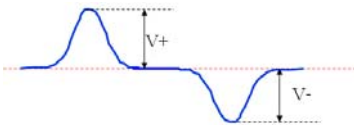
ตารางที่ 1.1 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากวัสดุดิบ (Material)

ปัจจัยเบื้องต้นจากวัสดุดิบ (Material)	หน้าที่และรายละเอียด
ค่าความหนาของสารเคลือบหัวอ่านเขียน (Diamond Like Carbon Thickness / 17 – 25 A)	<ul style="list-style-type: none"> - เพื่อป้องกันส่วนผิวหน้าของหัวอ่านเขียน ไม่ให้ได้รับความเสียหาย - โดยความหนาของสารเคลือบจะมีผลต่อสัญญาณที่อ่านเขียนได้จากหัวอ่าน กล่าวคือความหนาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้มีขนาดของสัญญาณที่ได้ลดลงดังนั้นจึงต้องหาค่าขนาดความหนาที่เหมาะสม โดยความหนาน้อยเกินไปก็จะทำให้หัวอ่านเขียนไม่มีเสถียรภาพและมีโอกาสได้รับความเสียหายได้ง่าย
ค่าความหนาของสารเคลือบผิวบนแผ่นดิสก์ (Over Coat Thickness / 20 – 25 A)	<ul style="list-style-type: none"> - เพื่อป้องกันผิวส่วนหน้าสุดของแผ่นดิสก์ไม่ให้เสียหายจากรอยขีดข่วนที่มาจากฝุ่น - ความหนาของสารเคลือบแผ่นดิสก์จะมีผลต่อสัญญาณที่อ่านเขียนได้จากหัวอ่าน กล่าวคือความหนาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้มีขนาดของสัญญาณที่ลดลงดังนั้นจึงต้องหาค่าขนาดความหนาที่เหมาะสม

ตารางที่ 1.1 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากวัสดุดิบ (Material) (ต่อ)

ปัจจัยเบื้องต้นจากวัสดุดิบ (Material)	หน้าที่และรายละเอียด
ค่าความหนาของชั้นโครงสร้างแม่เหล็กของแผ่นดิสก์ (Magnetic Layer Thickness)	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นชั้นโครงสร้างที่ใช้ในการการบันทึกข้อมูลของแผ่นดิสก์ โดยขนาดของสัญญาณที่อ่านเขียนได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนาของชั้นแม่เหล็ก - ทั้งนี้ความหนาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้การเรียงตัวของเกรนมีแบบแผนที่น้อยลง ทำให้ทิศทางของแม่เหล็กที่ได้มีทิศทางที่ไม่เป็นแบบแผนเพิ่มขึ้น
ขนาดเกรนของชั้นแม่เหล็กของแผ่นดิสก์ (Grain Size)	<ul style="list-style-type: none"> - ขนาดเกรนจะส่งผลโดยตรงกับพื้นที่ข้อมูลบนแผ่นดิสก์ โดยขนาดเกรนที่ลดลงจะทำให้ค่าความต้านทานแม่เหล็กเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ความต้านทานต่อสัญญาณรบกวนดีขึ้น - ในทางกลับกันขนาดเกรนที่ลดลงจะทำให้สูญเสียเสถียรภาพเชิงความร้อน กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ทิศทางของสนามแม่เหล็กไม่เป็นแบบแผนตามต้องการ
ระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ (Head and Media Spacing / 1.3 – 2.7 nm)	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ โดยระยะห่างนี้โดยปกติมีค่าอยู่ในระดับนาโนเมตร ทั้งนี้ค่าดังกล่าวไม่ควรมีค่าสูงหรือต่ำเกินไป - กรณีที่มีค่าสูงเกินไปจะทำให้ขนาดสัญญาณที่อ่านเขียนได้ลดลง - ส่วนในกรณีมีขนาดต่ำเกินไปจะทำให้หัวอ่านเขียนมีโอกาสชนกับแผ่นดิสก์ทำให้เกิดความเสียหายได้ง่าย
ขนาดความกว้างของหัวเขียน (Magnetic Write Width / 2.8 – 5.2 mm)	<ul style="list-style-type: none"> - ขนาดหัวเขียนที่กว้างขึ้นจะทำให้ขนาดของสัญญาณที่ได้จากการเขียนมีขนาดที่สูงขึ้นตามลำดับ แต่จะทำให้ความกว้างของแทร็คข้อมูลมีขนาดใหญ่ทำให้มีเนื้อที่ในการเก็บข้อมูลลดลง

ตารางที่ 1.1 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากวัสดุดิบ (Material) (ต่อ)

ปัจจัยเบื้องต้นจากวัสดุดิบ (Material)	หน้าที่และรายละเอียด
<p>ขนาดสัญญาณของหัวอ่านเขียน (Track Average Amplitude / 2.5 mV min.)</p>	<p>- ค่าขนาดสัญญาณไฟฟ้าที่อ่านได้จากการอ่านของหัวอ่านเขียน โดยได้จากผลรวมขนาดสัญญาณด้านบวกและขนาดสัญญาณไฟฟ้าด้านลบ</p> 
<p>ความสมมาตรของสัญญาณที่ได้ หัวอ่านเขียน (Track Average Amplitude – Asymmetry / within + 24%)</p>	<p>- เป็นค่าความสมมาตรของขนาดสัญญาณที่วัดได้จากด้านบวกและด้านลบของรูปสัญญาณ</p> $AASM (\%) = \left(\frac{Ap - An}{Ap + An} \right) \times 100$
<p>ค่าความสามารถในการเขียน ข้อมูลใหม่ทับข้อมูลเก่า (Overwrite / 26dB min.)</p>	<p>- เป็นค่าความสามารถของหัวอ่านเขียนในการเขียนข้อมูลใหม่ทับข้อมูลเก่า ทั้งนี้สามารถหาได้จาก</p> $\text{Overwrite (dB)} = 20 \log \left(\frac{A1(\text{HFTAA after overwrite})}{A2(\text{LFTAA before overwrite})} \right)$
<p>อัตราส่วนระหว่างค่าสัญญาณที่ ต้องการกับสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio / 10 mV/mV min.)</p>	<p>- เป็นค่าสัญญาณทางไฟฟ้าระหว่างค่าสัญญาณที่อ่านได้เทียบกับขนาดของสัญญาณรบกวนซึ่งสามารถหาได้จาก</p> $\text{SNR} = 20 \log \left(\frac{\text{HFTAA (p-p)}}{V(\text{noise RMS})} \right)$
<p>ค่าความต้านทานแม่เหล็กของ หัวอ่านเขียน (Coercivity: Hc)</p>	<p>- ค่า Coercivity หรือค่าความต้านทานแม่เหล็กของหัวอ่านเขียน โดยหลักการแล้วควรมีค่าต่ำเพื่อให้สามารถเปลี่ยนแปลงทิศทางของสนามแม่เหล็กได้ง่าย</p>
<p>ค่าความต้านทานแม่เหล็กของ แผ่นดิสก์ (Coercivity: Hc)</p>	<p>- ค่า Coercivity หรือค่าความต้านทานแม่เหล็กของแผ่นดิสก์ โดยค่าดังกล่าวควรมีค่าสูงในขนาดที่เหมาะสมเพื่อป้องกันไม่ให้สัญญาณแม่เหล็กจากภายนอกเข้ามารบกวนได้ แต่ไม่ควรมีค่าสูงจนเกินไปทำให้หัวอ่านเขียนไม่สามารถเปลี่ยนทิศทางของขั้วแม่เหล็กได้</p>

ตารางที่ 1.1 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากวัสดุ (Material) (ต่อ)

ปัจจัยเบื้องต้นจากวัสดุ (Material)	หน้าที่และรายละเอียด
จำนวนฝุ่นละอองต่อพื้นที่ผิวการใช้งานของแผ่นดิสก์ (Particle / 500 count Max.)	- ค่าปริมาณฝุ่นละอองต่อหนึ่งพื้นที่ผิวของแผ่นดิสก์ ไม่ควรมีค่ามากเกินไป เพราะมีโอกาสจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อหัวอ่านเขียน อีกทั้งพื้นที่การใช้งานรวมบนแผ่นดิสก์จะน้อยลงตามลำดับ

ตารางที่ 1.2 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากวิธีการ (Method)

ปัจจัยเบื้องต้นจากวิธีการ (Method)	หน้าที่และรายละเอียด
ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหัวอ่านเขียนระหว่างทำการเขียนข้อมูล (Write Current)	<ul style="list-style-type: none"> - ปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ใส่ให้กับหัวอ่านเขียนเพื่อใช้ในการเขียนสัญญาณ - การเพิ่มปริมาณกระแสไฟฟ้าจะทำให้ขนาดแม่เหล็กไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เพื่อเหนี่ยวนำให้ทิศทางแม่เหล็กของแผ่นดิสก์เป็นไปในทิศทางที่ต้องการ - การเพิ่มกระแสไฟฟ้าที่มากเกินไปจะทำให้หัวอ่านเขียนมีเสถียรภาพที่ลดลงในระยะยาวและโอกาสที่จะเขียนข้อมูลทับข้อมูลแทร็คด้านข้างซึ่งไม่ใช่แทร็คที่ต้องการจะสูงขึ้นตามลำดับ
พลังงานที่จ่ายให้กับตัวทำความร้อนของหัวอ่านเขียน (Touchdown Power)	- เป็นพลังงานที่จ่ายให้กับหัวอ่านเขียน เพื่อทำให้ระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ใกล้กันมากขึ้น
ความหนาแน่นของข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Bit per Inch)	- ปริมาณความหนาแน่นของข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เก็บข้อมูลตามรัศมีของแผ่นดิสก์

ตารางที่ 1.3 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากคน (Man)

ปัจจัยเบื้องต้นจากคน (Man)	หน้าที่และรายละเอียด
- ขั้นตอนการขนส่งฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ขาดความระมัดระวัง	- โอกาสทำให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เสียหายเนื่องจากการกระทบกระเทือนหรือหัวอ่านเขียนไปกระทบกับแผ่นดิสก์ทำให้ไม่สามารถอ่านเขียนสัญญาณได้
- การแอบใช้เครื่องสำอางจำพวกแป้ง ซึ่งถือเป็นฝุ่นละอองในสายการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	- โอกาสที่จะทำให้เกิดฝุ่นละอองในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำให้หัวอ่านเขียนมีโอกาสได้รับความเสียหายและประสิทธิภาพการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ลดลง
- ละเลยข้อปฏิบัติการต่อกราวด์ในสายการผลิต	- มีโอกาสก่อให้เกิดการถ่ายเทไฟฟ้าสถิตทำให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เสียหาย หรือหัวอ่านเขียนไม่สามารถทำงานได้

ตารางที่ 1.4 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากเครื่องจักร (Machine)

ปัจจัยเบื้องต้นจากเครื่องจักร (Machine)	หน้าที่และรายละเอียด
สายการผลิตในขั้นตอนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	- โอกาสทำให้แผ่นดิสก์ที่ประกอบเอียงไม่ได้ระนาบ หรือเกิดการลั่นของแผ่นดิสก์ระหว่างที่มอเตอร์หมุนซึ่งส่งผลต่อการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
เครื่องทดสอบฟังก์ชันการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Xcalibre Tester)	- ไม่สามารถทดสอบฟังก์ชันการทำงานได้ตามต้องการ ทั้งนี้เนื่องมาจากขาดการดูแล ตรวจสอบจากผู้ที่เกี่ยวข้อง
รุ่นเครื่องที่ใช้ในการผลิตแผ่นดิสก์ (Sputtering Machine)	- เครื่องที่ใช้ในกระบวนการผลิตแผ่นดิสก์มี 2 รุ่นได้แก่ รุ่น Anelva 3010 และ Anelva 3040 โดยข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างทั้งสองรุ่นได้แก่ Anelva 3040 จะมีกำลังในการผลิตมากกว่าเป็น 2 เท่า

ตารางที่ 1.5 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากสิ่งแวดล้อม (Environment)

ปัจจัยเบื้องต้นจากสิ่งแวดล้อม (Environment)	หน้าที่และรายละเอียด
อุณหภูมิ (Temperature)	- อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้การเขียนข้อมูลลงบนแผ่นดิสก์ได้ง่ายขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าความต้านแม่เหล็กลดลง ในขณะเดียวกันก็มีโอกาสทำให้การทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีประสิทธิภาพลดลง
ค่าความชื้นในอากาศ (Humidity)	- ค่าความชื้นในอากาศที่มากเกินไป มีโอกาสทำให้เกิดการกัดกร่อนต่อหัวอ่านเขียนได้เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีส่วนผสมของโลหะผสมที่เกิดสนิมได้ง่าย
ปริมาณฝุ่นละอองในอากาศในสายการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	- โอกาสที่จะทำให้เกิดฝุ่นละอองในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำให้หัวอ่านเขียนมีโอกาสได้รับความเสียหายและประสิทธิภาพการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ลดลง

1.3 วัตถุประสงค์การทำวิจัย

วัตถุประสงค์ในการทำวิจัย มีดังต่อไปนี้

- 1) เพื่อทำการศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราความผิดพลาดในการทดสอบการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
- 2) พิจารณาระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อการลดอัตราความผิดพลาดในการทดสอบการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยมีเป้าหมายเพื่อลดของเสียที่เกิดจากค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนไม่ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ตลอดจนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการอ่านเขียนให้ดียิ่งขึ้น

1.4 ขอบเขตการทำวิจัย

ขอบเขตในการทำวิจัย มีดังต่อไปนี้

- 1) ทำการศึกษาและวิจัยบนผลิตภัณฑ์เพียงรุ่นเดียว ซึ่งอยู่ในขอบเขตความรับผิดชอบของผู้ทำวิจัย ในที่นี้ได้แก่ผลิตภัณฑ์ขนาดความจุเท่ากับ 500GB ความเร็ว 7200 รอบ/นาที

- 2) ขอบเขตของตัวแปรที่นำมาพิจารณาได้แก่ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ ตลอดจนปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เช่น ปริมาณกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันที่จ่ายให้กับหัวอ่านเขียน เป็นต้น

1.5 ขั้นตอนการศึกษาวิจัยและดำเนินการ

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย มีดังต่อไปนี้

- 1) สํารวจศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวอ่านเขียนและอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
- 2) การศึกษาข้อมูลปัจจุบันและการกำหนดนิยามปัญหา (Define Phase)
 - ก) รวบรวมข้อมูล ปัญหาที่มีอยู่ในปัจจุบันเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เบื้องต้น
 - ข) พิจารณาความสามารถของกระบวนการผลิตและปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน
- 3) การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)
 - ก) ศึกษากระบวนการผลิต ตลอดจนตัวแปรต่างๆ ที่น่าจะส่งผลต่ออัตราความผิดพลาดในการทดสอบการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ในที่นี้ได้แก่ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์
 - ข) คัดเลือกปัจจัยที่มีแนวโน้มจะเกี่ยวข้องต่ออัตราความผิดพลาดในการทดสอบการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยการระดมสมองของผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องและอาศัยเครื่องมือการจัดการด้านคุณภาพ เช่น แผนภาพแสดงเหตุและผล เข้าช่วยในการกรองปัจจัยเบื้องต้น ซึ่งปัจจัยเบื้องต้นจากการระดมสมองได้แก่
 1. ค่าความหนาของสารเคลือบหัวอ่านเขียน (Diamond Like Carbon Thickness)
 2. ค่าความหนาของชั้นโครงสร้างแม่เหล็กของแผ่นดิสก์ (Magnetic Layer Thickness)
 3. ค่าความต้านทานแม่เหล็กของแผ่นดิสก์ (Coercivity: Hc)
 4. ระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ (Head and Media Spacing)
 5. ขนาดความกว้างของหัวเขียน (Magnetic Writer Width)
 6. ค่าความสามารถในการเขียนข้อมูลใหม่ทับข้อมูลเก่า (Overwrite)
 7. อัตราส่วนระหว่างค่าสัญญาณที่ต้องการกับสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio)
 8. พลังงานที่จ่ายให้กับตัวทำความร้อนของหัวอ่านเขียน (Touchdown Power)

9. ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหัวอ่านเขียนระหว่างทำการเขียนข้อมูล (Write Current)
 10. จำนวนฝุ่นละอองต่อพื้นที่ผิวการใช้งานของแผ่นดิสก์ (Particle/Surface)
- 4) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)
 - ก) ทดสอบความมีนัยสำคัญด้วยเครื่องมือทางสถิติ เช่น การทดสอบความแปรปรวน (Anova) หรือการทดสอบสมมุติฐาน (Hypothesis Testing) เป็นต้น
 - ข) วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อทำการคัดเลือกปัจจัยที่มีนัยสำคัญ เพื่อใช้เป็นปัจจัยนำเข้าในการทำการทดลอง
 - ค) สรุปผลและวางแผนขั้นตอนดำเนินงานขั้นตอนต่อไป
 - 5) การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)
 - ก) ออกแบบการทดลองและทำการทดลองรวบรวมเก็บข้อมูลเพื่อหาปัจจัยหลักที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราความผิดพลาดการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
 - ข) วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง โดยอาศัยเครื่องมือทางสถิติเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์
 - 6) การควบคุมตัวแปรที่มีนัยสำคัญ (Control Phase)
 - ก) เก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงที่ได้จากการกำหนดระดับของปัจจัยตามความเหมาะสมแล้ว
 - ข) สรุปผลลัพธ์ที่ได้โดยพิจารณาจากปริมาณของเสียหรือค่าอัตราความผิดพลาดการอ่านเขียนข้อมูลที่ลดลง
 - 7) สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
 - 8) จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์และนำเสนองานวิจัยในเอกสารทางวิชาการ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำวิจัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินงานวิจัยข้างต้น มีดังต่อไปนี้

- 1) เข้าใจในการนำหลักวิธีการต่างๆมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาจริงในงานอุตสาหกรรม
- 2) ปรับปรุงปริมาณของเสีย โดยทำการปรับระดับของปัจจัยตามความเหมาะสมเพื่อลดอัตราความผิดพลาดในการทดสอบการอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
- 3) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยสำหรับผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้เป็นการศึกษาถึงทฤษฎีต่างๆ ที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัย ตลอดจนงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และการปรับปรุงกระบวนการโดยอาศัยแนวทางของซิกซ์ ซิกม่า เพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

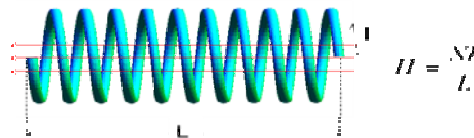
2.1 หลักการสื่อสารเบื้องต้น

ระบบการสื่อสาร (Communication system) คือ ระบบที่ทำหน้าที่ในการส่งถ่ายข้อมูลจากจุดต้นทางไปยังอีกจุดปลายทาง เช่น ระบบรับส่งคลื่นวิทยุ, ระบบส่งข้อมูลความเร็วสูงผ่านสายใยนำแสงและระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น หรืออาจจะพิจารณาได้ว่า ระบบการสื่อสาร คือ ระบบที่ทำหน้าที่การส่งถ่ายข้อมูลจากช่วงเวลาหนึ่ง (ต้นทาง) ไปยังอีกช่วงเวลาหนึ่ง (ปลายทาง) เช่น ระบบการบันทึกข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ กล่าวคือ ข้อมูลจะถูกจัดเก็บเข้าไปในแผ่นดิสก์ (Media) ณ เวลาหนึ่ง จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปข้อมูลจะถูกดึงออกมาจากแผ่นดิสก์เพื่อนำมาใช้งาน โดยทั่วไปแล้วข้อมูลที่รับส่งระบบสื่อสารจะเป็นอะไรก็ได้ เช่น เสียง, รูปภาพ, วีดีโอ, เพลง, อีเมลล์และอื่นๆ โดยจุดมุ่งหมายหลักของระบบสื่อสาร ก็คือ ต้องการให้วงจรภาครับ (Receiver) สามารถที่จะตรวจหาและถอดรหัสได้ว่าข้อมูลที่ถูกส่งมาจากวงจรภาคส่ง (Transmitter) ได้

โดยทั่วไประบบสื่อสารสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ ระบบสื่อสารแอนะล็อกและระบบสื่อสารดิจิทัล ข้อแตกต่างที่สำคัญของทั้งสองระบบนี้คือ วงจรภาครับจะมีเป้าหมายต่างกัน นั่นคือวงจรภาครับของระบบสื่อสารแอนะล็อกจะทำหน้าที่ในการสร้างรูปคลื่นสัญญาณใหม่ให้เหมือนกับรูปคลื่นสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากวงจรภาคส่ง ดังนั้นตัวชี้บอก (Indicator) ประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแบบแอนะล็อก ก็คือ ความสมบูรณ์ของสัญญาณที่สร้างกลับคืนมา (Fidelity) ในขณะที่วงจรภาครับของระบบสื่อสารดิจิทัลจะทำหน้าที่ในการพิจารณาหาว่า รูปคลื่นสัญญาณใดที่ถูกส่งมาจากวงจรภาคส่งโดยไม่จำเป็นต้องทราบว่ามีรูปลักษณะอย่างไร เพราะฉะนั้น ตัวชี้บอกประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารดิจิทัล ก็คือ ความน่าจะเป็นของข้อผิดพลาด (Probability of error) ที่จะเกิดขึ้นเมื่อวงจรภาครับตัดสินใจผิดพลาด

2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

แท่งแม่เหล็กมี 2 ขั้ว ได้แก่ ขั้วเหนือและขั้วใต้ซึ่งจะมีเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้เสมอ ในการทำเหล็กธรรมดาให้เป็นแม่เหล็กสามารถกระทำได้โดยใช้ขดลวดพันรอบแกนเหล็ก แล้วป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไปก็จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ตามสมการด้านล่าง



ภาพที่ 2.1 การเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าในขดลวดโซลินอยด์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก

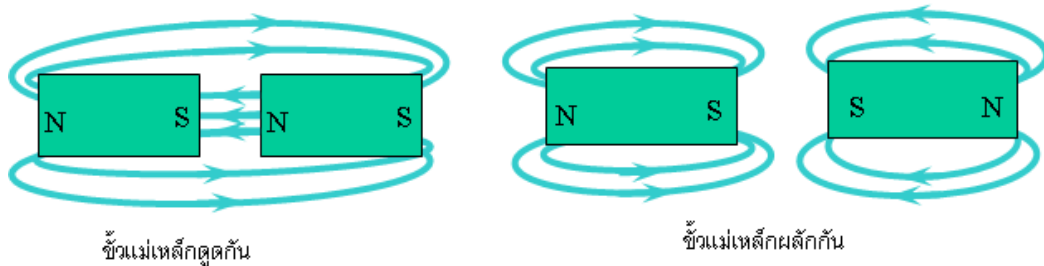
โดยที่ H คือ สนามแม่เหล็กที่เกิดจากการป้อนกระแสไฟฟ้าให้ขดลวดโซลินอยด์

N คือ จำนวนรอบของขดลวด

I คือ ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวดโซลินอยด์

L คือ ความยาวของขดลวด

โดยในกรณีนำแท่งแม่เหล็ก 2 แท่งมาวางต่อกัน โดยหันขั้วที่ต่างกันชนกันจะเกิดการดูดกัน และถ้าวางขั้วที่เหมือนกันชนกันก็จะเกิดการผลักกัน ซึ่งคุณสมบัตินี้จะถูกใช้ในการตรวจจับสัญญาณ โดยที่ต้องใช้สนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงๆมาตัดกับขดลวดเพื่อให้เกิดแรงดันตามที่ต้องการ



ภาพที่ 2.2 การดูดและผลักกันของแม่เหล็ก 2 ขั้ว

2.3 การบันทึกระบบแม่เหล็ก

การบันทึกระบบแม่เหล็ก คือ การจัดเก็บข้อมูลระดับบิตให้อยู่ในรูปของการเปลี่ยนแปลงระดับสภาพความเป็นแม่เหล็ก (Magnetization) ในแผ่นดิสก์ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบแอนะล็อกและแบบดิจิทัล การบันทึกระบบแม่เหล็กแบบแอนะล็อกจะเก็บสัญญาณในรูปของการเปลี่ยนแปลงระดับสภาพความ

เป็นแม่เหล็กอย่างต่อเนื่อง โดยระดับสภาพความเป็นแม่เหล็กจะเป็นสัดส่วนกับระดับของสัญญาณที่กำลังจะถูกจัดเก็บ ตัวอย่างเช่น การเก็บสัญญาณเสียงจากไมโครโฟนเป็นต้น ตรงกันข้ามการบันทึกระบบแม่เหล็กแบบดิจิทัลจะใช้ประโยชน์จากสมบัติของความเป็นแม่เหล็กของวัสดุบางชนิดที่เมื่ออยู่ในสถานะอิ่มตัว (Saturated) แล้ว จะทำให้สภาพความเป็นแม่เหล็กมีทิศทางไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งหรือในทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งลักษณะการบันทึกข้อมูลแบบนี้เหมาะสำหรับการเก็บข้อมูลดิจิทัลที่มีสองสถานะ คือ บิต “1” และบิต “0” หรือที่เรียกกันว่าข้อมูลไบนารี (Binary Data) ดังนั้น วัสดุเหล่านี้จึงถูกนำมาทำเป็นแผ่นดิสก์เพื่อเก็บข้อมูลไบนารี เนื่องจากข้อมูลในปัจจุบันส่วนมากมักอยู่ในรูปของข้อมูลดิจิทัล เช่น ข้อมูลในเครื่องคอมพิวเตอร์และข้อมูลที่รับส่งผ่านทางอินเทอร์เน็ต เป็นต้น นอกจากนี้ข้อมูลแอนะล็อกก็สามารถที่จะถูกแปลงให้เป็นข้อมูลดิจิทัลได้ เพื่อให้อยู่ในภาพที่ง่ายต่อการจัดเก็บข้อมูล โดยผ่านขั้นตอนการกรอกรหัสพัลส์ (PCM: Pulses Code Modulation) จึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมกับการเก็บข้อมูลในปัจจุบัน

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้มีการเริ่มมาใช้ระบบการสื่อสารดิจิทัลมากขึ้น คือ การพัฒนาเทคนิคและอัลกอริทึม (Algorithm) ในด้านต่างๆ เช่น อัลกอริทึมการบีบอัด (Compression Algorithm) ซึ่งจะทำหน้าที่ลดจำนวนบิตที่ต้องใช้ในการส่ง, เทคนิคการเข้ารหัสแก้ไขข้อผิดพลาด (ECC: Error Correction Code) ซึ่งจะทำหน้าที่แก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น ณ วงจรการรับให้กลับมามีรูปแบบอัตโนมัติ, เทคนิคการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลและการพัฒนาวงจรรวม (IC: Integrated Circuit) ซึ่งช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้มาก

ในปัจจุบันนี้ระบบการสื่อสารดิจิทัลได้ถูกนำมาใช้เป็นมาตรฐานของระบบสื่อสารต่างๆ ได้แก่ ระบบเครือข่ายเฉพาะที่ (LAN: Local Area Network), ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่, ระบบสื่อสารไร้สายต่างๆ ได้แก่ ระบบ Bluetooth, Wi-Fi, และ Wi-MAX ทั้งนี้เป็นเพราะว่าสัญญาณดิจิทัลมีข้อดีเมื่อเทียบกับสัญญาณแอนะล็อกดังต่อไปนี้

- 1) สัญญาณดิจิทัลสามารถที่จะถูกสร้างกลับคืนมา (Signal Reconstruction) ได้ง่าย
- 2) สัญญาณดิจิทัลมีความทนทานต่อความผิดเพี้ยน (Distortion) และการสอดแทรก (Interference)
- 3) วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกรวบรวมให้ใช้งานกับสัญญาณดิจิทัลมีความยืดหยุ่นและราคาถูก
- 4) เทคนิคการรวมสัญญาณดิจิทัล ด้วยการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (TDM: Time Division Multiplexing) มีความซับซ้อนน้อยกว่าการรวมสัญญาณแอนะล็อกด้วยการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ (FDM: Frequency Division Multiplexing)
- 5) ข้อมูลต่างๆ เช่น เสียง, รูปภาพ, เพลงและอีเมลล์ เป็นต้น สามารถที่จะแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล ทำให้ง่ายต่อการรวมสัญญาณ
- 6) เทคนิคการประมวลผลสัญญาณแบบใหม่ๆ เพื่อรองรับการใช้งานสัญญาณดิจิทัล เช่น การเข้ารหัสแก้ไขข้อผิดพลาดและการเข้ารหัสลับ (Encryption) เป็นต้น ทำให้สัญญาณดิจิทัลที่ส่งมีประสิทธิภาพสูง

ถึงแม้ว่าสัญญาณดิจิทัลจะมีข้อดีจำนวนมากตามที่กล่าวมาข้างต้น ข้อเสียของสัญญาณดิจิทัลก็สามารถสรุปได้ ดังนี้

- 1) ระบบการรับส่งสัญญาณดิจิทัลต้องการกระบวนการสำหรับการเข้าจังหวะ (Synchronization) ของบิต, สัญญาณ, เฟรมและอื่นๆ ซึ่งวงจรที่ทำหน้าที่ในการเข้าจังหวะมีความซับซ้อนและราคาแพง
- 2) ประสิทธิภาพของระบบสื่อสารดิจิทัลจะลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อระบบทำงานที่ระดับอัตราส่วนค่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่ต้องการต่อค่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณรบกวน หรือค่าเอสเอ็นอาร์ (SNR: Signal to Noise Ratio) ต่ำกว่าระดับขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold Level) ซึ่งแตกต่างจากระบบสื่อสารแอนะล็อกที่ประสิทธิภาพของระบบจะค่อยๆลดลงอย่างนุ่มนวลกว่าเมื่อพิจารณาในสถานการณ์เดียวกัน
- 3) เครื่องทวนสัญญาณ (Repeater) สำหรับระบบสื่อสารดิจิทัล จะมีความซับซ้อนและราคาแพงมากกว่าเครื่องทวนสัญญาณที่ใช้กับระบบสื่อสารแอนะล็อก

อย่างไรก็ตามโดยภาพรวมแล้ว ระบบสื่อสารดิจิทัลถือว่ามีประสิทธิภาพมากกว่าระบบสื่อสารแอนะล็อก นอกจากนี้ ปัจจัยหลักที่ต้องใช้งานระบบสื่อสารดิจิทัลเกิดจากการที่ปริมาณแบนด์วิดท์มีจำกัด แต่มีความต้องการอัตราส่งที่สูงขึ้น

2.3.1 ตัวชี้บอกประสิทธิภาพของระบบสื่อสารดิจิทัลทั่วไป

ในทางปฏิบัติ ตัวชี้บอกที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบสื่อสารดิจิทัล คือ ค่าเอสเอ็นอาร์ SNR และอัตราข้อผิดพลาดบิต (BER: Bit Error Rate) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ค่าเอสเอ็นอาร์ (SNR)

SNR เป็นตัวชี้บอกที่สามารถใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบได้ ตัวอย่างเช่น ถ้าสมมุติให้ ระบบ 2 ระบบมีประสิทธิภาพในรูปของ BER วัดที่ด้านขาออกของวงจรตรวจหา (Detector) เท่ากัน ถ้าระบบใดใช้กำลังในการส่งข้อมูลน้อยกว่า ก็ถือว่าระบบนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า

ในทางปฏิบัติ SNR สามารถที่จะถูกนิยามได้หลายลักษณะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่กำหนดมาให้ เช่น ตำแหน่งที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงในการวัด SNR ของระบบ เป็นต้น นอกจากนี้ ในการวิเคราะห์ระบบการประมวลผลสัญญาณของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ องค์ประกอบของสัญญาณรบกวนที่ใช้ในการคำนวณหาค่า SNR ประกอบไปด้วย สัญญาณรบกวนแบบบวก (Additive noise) และสัญญาณรบกวนแผ่นดิสก์ (Media noise) รวมกันก็ได้ โดยจะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดการใช้งานแต่ละงาน (Application)

อัตราข้อผิดพลาดบิต (BER)

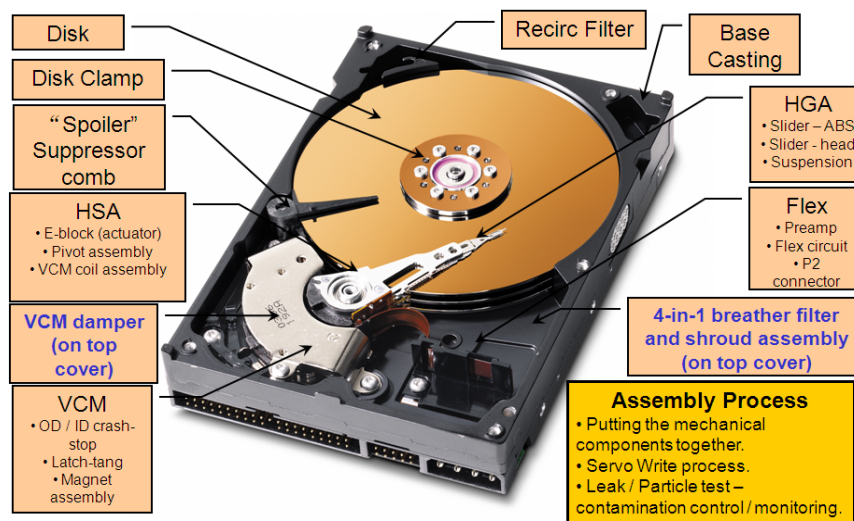
BER สามารถใช้เป็นตัวชี้บอกในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบได้เช่นเดียวกับ SNR คือถ้ากำหนดให้ระบบ 2 ระบบใช้ SNR เท่ากัน ดังนั้น ในระบบใดๆที่มี BER วัดที่ขาออกวงจรตรวจหาน้อยกว่า ก็ จะถือว่า ระบบนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า โดยทั่วไปแล้ว ค่า BER จะเป็นฟังก์ชันของ SNR นั่นคือ ถ้าระบบ ใช้ SNR มากขึ้น BER ที่ได้จะลดลง อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ ไม่สามารถกำหนดให้ระบบทำงานที่ SNR สูงๆ เพราะว่าจะมีค่าใช้จ่ายมาก นอกจากนี้ ความสามารถในการออกแบบระบบการประมวลผลสัญญาณของ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้สามารถทำงานที่ระดับ SNR น้อยๆได้ ก็เปรียบเสมือนว่า ระบบที่ถูกออกแบบนั้นสามารถ ทำงานที่ระดับความจุของข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สูงๆได้

โดยปกติ ค่า BER ที่ใช้เป็นตัวกำหนดระดับความน่าเชื่อถือของระบบสำหรับงานประยุกต์ต่างๆ ตัวอย่าง เช่น การรับส่งสัญญาณเสียงจะมีคุณภาพดี ก็ต่อเมื่อ $BER < 10^{-3}$, การรับส่งสัญญาณข้อมูลจะมีคุณภาพ ดีก็ต่อเมื่อ $BER < 10^{-5}$, การรับส่งสัญญาณผ่านสายใยแก้วนำแสง (Fiber optic) จะมีคุณภาพดีก็ต่อเมื่อ $BER < 10^{-12}$ และอุปกรณ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะมีคุณภาพดีก็ต่อเมื่อ $BER < 10^{-20}$ เป็นต้น

2.4 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลในระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งใช้แผ่นจานโลหะกลมเคลือบ ด้วยผิวพิเศษที่ถูกออกแบบให้สามารถที่จะเก็บข้อมูลต่างๆ ในรูปแบบทางแม่เหล็กไฟฟ้าได้

2.4.1 โครงสร้างของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



ภาพที่ 2.3 ชิ้นส่วนโครงสร้างของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ทำจากวัสดุประเภทโลหะที่มีความแข็งแรง ทั้งนี้ เพื่อที่จะป้องกันไม่ให้ชิ้นส่วนหรือกลไกภายในได้รับความเสียหายจากการหยิบจับหรือเคลื่อนย้ายซึ่งมองจากภายนอกแล้ว จะเห็นเพียงแผ่นโลหะงาปีคอยู่ด้านบน ส่วนด้านล่างก็จะเป็นแผ่นวงจรควบคุมหรือแผ่น PCB

โดยฮาร์ดดิสก์จะประกอบด้วยแผ่นจานแม่เหล็กสองแผ่นหรือมากกว่ามาจัดเรียงอยู่บนแกนเดียวกัน เรียกว่า “Spindle” ทำให้แผ่นจานแม่เหล็กหมุนไปพร้อมๆกัน จากการขับเคลื่อนของมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยความเร็วต่างๆ โดยมีหน่วยเป็นรอบต่อนาที แต่ละหน้าของแผ่นจานแม่เหล็กจะมีหัวอ่านเขียนประจำเฉพาะ โดยหัวอ่านเขียนทุกหัวจะเชื่อมติดกันคล้ายหวี สามารถเคลื่อนเข้าออกระหว่างแทร็คต่างๆ อย่างรวดเร็ว ซึ่งส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ โดย รายละเอียดของส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ มีรายละเอียด ดังนี้คือ

- 1) แขนของหัวอ่าน (Actuator Arm) แขนของหัวอ่านจะทำงานร่วมกับ Stepping Motor ในการหมุนแขนของหัวอ่านไปยังตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการอ่านเขียนข้อมูล โดยมีคอนโทรลเลอร์ (Controller) ทำหน้าที่แปลคำสั่งที่มาจากข้อมูล แล้วใช้หัวอ่านข้อมูล แต่ต่อมา Stepping Motor ก็ถูกแทนที่ด้วย Voice Coil ซึ่งทำงานได้เร็วและแม่นยำ Stepping Motor
- 2) หัวอ่านเขียน (Head) เป็นส่วนที่ใช้ในการอ่าน-เขียนข้อมูล มีขนาดเล็กและซับซ้อนมากทำให้มีราคาแพง ในการอ่าน-เขียนข้อมูลเริ่มจากคอนโทรลเลอร์ (Controller) จะนำคำสั่งที่ได้มาแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้า แล้วป้อนเข้าสู่ขดลวดภายในหัวอ่านทำให้เกิดแรงเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กแล้วไปเปลี่ยนโครงสร้างของสารแม่เหล็กที่เคลือบอยู่บนแผ่นดิสก์ เพื่อเหนี่ยวนำให้สารเคลือบผิวเกิดการเรียงตัวใหม่ให้เป็นไปในทิศทางของข้อมูล ในทางกลับกัน การอ่านข้อมูล หัวอ่านก็จะอ่านผ่านสนามแม่เหล็กที่เกิดจากสารแม่เหล็กที่ผิว แล้วถอดรหัสสนามแม่เหล็กเหล่านั้นให้กลายเป็นข้อมูล
- 3) แผ่นจานแม่เหล็กหรือแผ่นดิสก์ (Media) จะมีลักษณะเป็นแผ่นจานกลมๆ เคลือบสารแม่เหล็กวางซ้อนกันหลายๆชั้น โดยขึ้นอยู่กับรุ่นและความจุ มีช่องว่างระหว่างแผ่น สารแม่เหล็กที่ว่าจะถูกติดตั้งอยู่กับสถานะเป็น 0 และ 1 เพื่อจัดเก็บข้อมูล โดยจากแผ่นดิสก์ดังกล่าวจะถูกติดตั้งอยู่กับ Spindle Motor ซึ่งจะทำหน้าที่หมุนจานแม่เหล็ก ปกติแล้วฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แต่ละตัวจะมีแผ่นดิสก์ประมาณ 1-4 แผ่น แต่ละแผ่นก็จะเก็บข้อมูลได้ทั้งสองด้าน
- 4) มอเตอร์หมุนจานแม่เหล็ก (Spindle Motor) เป็นมอเตอร์ที่ใช้หมุนจานแม่เหล็กซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อความเร็วในการอ่าน-เขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เพราะยิ่งมอเตอร์หมุนเร็วเท่าใดหัวอ่านก็จะเจอข้อมูลที่ต้องการเร็วขึ้นนั่นเองซึ่งความเร็ว ที่ว่านี้จะวัดกันรอบต่อวินาที (Revolutions Per Minute หรือย่อๆว่า RPM) ถ้าเป็นฮาร์ดดิสก์ไครฟ์รุ่นเก่าจะหมุนด้วยความเร็วเพียง 3,600 และ 5,400 รอบต่อวินาที ต่อมาพัฒนาเป็น 7,200 รอบต่อวินาที (IDE, EIDE) และปัจจุบันหมุนได้เร็วถึง 15,000 รอบต่อวินาที (มาตรฐาน SCSI)

- 5) เคส (Case) เป็นตัวถังที่ทำจากโลหะที่มีความแข็งแรง มีฝาปิดสนิทชนิดที่ไม่มีรอยร้าว ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการเหยียบจับ และป้องกันฝุ่นละออง ซึ่งถ้ามีฝุ่นละอองเล็ดลอดเข้าไปเกาะอยู่ที่จานดิสก์ เมื่อหัวอ่านเขียนเคลื่อนที่มาอ่านที่จุดดังกล่าว อาจทำให้ข้อมูลที่ได้อผิดพลาด และอาจเกิดรอยขีดข่วนที่ผิว ทำให้สารแม่เหล็กเสียหาย และไม่สามารถเก็บข้อมูลได้
- 6) แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการทำงานของหัวอ่านและการหมุนจานแม่เหล็ก เรียกแผงวงจรนี้ว่า “ลอจิกบอร์ด” (Logic board) แล้วแปลงคำสั่งดังกล่าวให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อให้หัวอ่านเขียนมีสถานะเป็นแม่เหล็กตามจังหวะข้อมูลที่ป้อนให้กับมัน นอกจากนี้ลอจิกบอร์ดยังทำหน้าที่ควบคุมความเร็วในการหมุนจานแม่เหล็กให้คงที่ และบอกให้หัวอ่านเขียนเคลื่อนที่ไปมายังบริเวณข้อมูลที่ต้องการเขียน/อ่านอีกด้วย

2.4.2 วิวัฒนาการของหัวอ่านเขียนแม่เหล็ก

หัวแม่เหล็กที่ใช้ในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ จะทำหน้าที่ในการแปลงกลับไปมาระหว่างสัญญาณทางไฟฟ้าและสัญญาณทางแม่เหล็ก โดยทั่วไปหัวแม่เหล็กที่ใช้จะประกอบไปด้วยสองหัวคือ หัวเขียนและหัวอ่าน รวมกันเป็นหัวแม่เหล็กหนึ่งชุด ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ในยุคแรกๆ หัวแม่เหล็กที่ใช้เป็นแบบเฟอร์ไรต์ (Ferrite) ซึ่งใช้ขดลวดในการแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าและสัญญาณทางแม่เหล็ก หัวแม่เหล็กแบบเฟอร์ไรต์จะทำงานได้ดีเมื่อใช้เป็นหัวเขียนเพราะว่าความเข้มของสนามแม่เหล็กจะเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนขดลวดที่ใช้เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการกระทำเช่นนี้จะทำให้ยากต่อกระบวนการอ่าน ฉะนั้นฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ในยุคต่อมาจึงใช้หัวแม่เหล็กแบบ MR (Magneto-Resistive) สำหรับกระบวนการอ่าน ซึ่งจะทำให้ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ของการเก็บข้อมูลสูงขึ้น เนื่องจากหัวแม่เหล็กแบบ MR จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กจึงทำให้สัญญาณที่อ่านได้มีขนาดของสัญญาณสูง ซึ่งทำให้ง่ายต่อการประมวลผลสัญญาณ ดังนั้นในช่วงเวลานั้นฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จะใช้หัวแม่เหล็กคนละแบบสำหรับกระบวนการอ่านและการเขียน หลังจากนั้นในปี ค.ศ. 1997 ได้มีการนำหัวแม่เหล็กแบบ GMR (Giant Magneto-Resistive) มาใช้งานในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ซึ่งทำให้สามารถเพิ่มความจุข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามหัวแม่เหล็กแบบ TMR (Tunneling Magneto-Resistive) ได้เป็นที่นิยมใช้งานในปัจจุบัน เพราะว่ามีประสิทธิภาพดีกว่าหัวแม่เหล็กแบบอื่นๆ โดยสรุปแล้วจะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีทางด้านหัวแม่เหล็กได้ถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งส่งผลให้ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์มีขนาดความจุข้อมูลมากขึ้นเพื่อรองรับความต้องการในการจัดเก็บข้อมูลที่มากขึ้นในอนาคต

2.4.3 แผ่นดิสก์ (Media)

คุณสมบัติของแผ่นดิสก์เป็นสารแม่เหล็กที่คงสภาพแม่เหล็ก โดยสามารถเหนี่ยวนำทำให้เกิดการเปลี่ยนขั้วแม่เหล็กตามที่ต้องการได้ โดยจะต้องทนต่อสนามแม่เหล็กภายนอกที่มารบกวนได้ด้วย เช่น มอเตอร์, หม้อแปลง เป็นต้น แผ่นดิสก์จะต้องใช้สารแม่เหล็กที่มีค่าความต้านทานแม่เหล็กสูง โดยชั้นโครงสร้างของแผ่นดิสก์แบ่งได้ดังต่อไปนี้

- 1) ชั้นฐาน (Substrate) คือวัสดุพื้นฐานที่เป็นโครงสร้างหลักของแผ่นดิสก์ วัสดุที่จะนำมาทำนั้นจะต้องมีคุณสมบัติเป็นวัสดุที่หนาและทนทานต่อการเหยียดของมอเตอร์ขณะที่แผ่นดิสก์หมุน การขยายตัวต่ออุณหภูมิและน้ำหนักไม่มากเกินไป ซึ่งสารที่ใช้ทำชั้นฐานของแผ่นดิสก์ ได้แก่ โลหะผสมอะลูมิเนียมหรือสารผสมที่มีส่วนประกอบของกระจก (Glass) โดยในกรณีที่ใช้โลหะผสมอะลูมิเนียมเป็นฐานจะต้องมีการเคลือบด้วยสารที่มีความแข็งในชั้นบนสุดของแผ่นดิสก์เนื่องจากเป็นวัสดุที่ไม่แข็งนัก
- 2) Undercoat : เป็นสารที่นำมาเคลือบเรียบบนชั้นฐานของแผ่นดิสก์อีกชั้นหนึ่ง จะเคลือบเพียงชั้นเดียว
- 3) ชั้นแม่เหล็ก (Magnetic Layer) จัดเป็นชั้นโครงสร้างที่มีความสำคัญมากเพราะมีผลกระทบโดยตรงในการเขียนอ่านบันทึกข้อมูลด้วยสัญญาณแม่เหล็กเพราะจะมีการเรียงตัวของเส้นแรงแม่เหล็กตามทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กจากหัวอ่านเขียน สำหรับสารแม่เหล็กที่ใช้เคลือบบนแผ่นดิสก์แต่ก่อนนิยมใช้ Oxide ของแม่เหล็ก แต่ปัจจุบันนิยมใช้ Co หรือ CoCr เพราะให้ค่าความต้านทานแม่เหล็ก Hc สูงและสามารถจัดเก็บข้อมูลได้ดีกว่า ซึ่งคุณสมบัติของสารแม่เหล็กที่ใช้เคลือบแผ่นดิสก์จะต้องมีค่าความต้านทานแม่เหล็ก (Hc) ที่เหมาะสมมากพอที่จะรักษาสภาพแม่เหล็กเมื่อไม่มีการเขียนสัญญาณของหัวอ่านเขียนและจะต้องไม่มีค่ามากเกินไปจนหัวอ่านเขียนไม่สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงสถานะของทิศทางแม่เหล็กได้
- 4) ชั้นสารเคลือบบนสุดของแผ่นดิสก์ (Over Coat) เป็นการเคลือบสารเพื่อช่วยยึดสารแม่เหล็กและลดการเสียดสี ป้องกันการขีดขูดที่อาจจะเกิดขึ้น สารที่ใช้เคลือบนี้ได้แก่ ZrO_2 และ SiO_2 ซึ่งเมื่อเคลือบเสร็จแล้ว จะทำการขัดผิวให้ราบเรียบ แล้วจึงนำไปเคลือบสารหล่อลื่นอีกครั้ง โดยความหนาของชั้นนี้จะพยายามทำให้บางเพื่อลดระยะความห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ให้น้อยลง

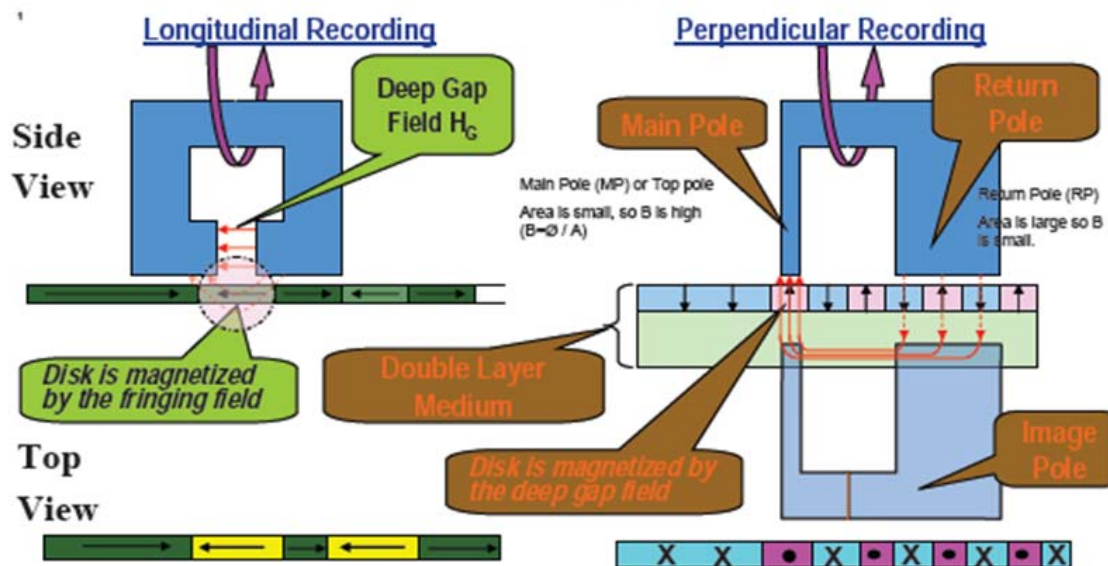
2.4.4 เทคโนโลยีการบันทึกข้อมูล

เทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีการได้แก่ การบันทึกข้อมูลแบบแวนอนและการบันทึกข้อมูลแบบแนวตั้ง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เทคโนโลยีการบันทึกแบบแวนอน

เนื่องจากความต้องการในการจัดเก็บข้อมูลมีมากขึ้นเรื่อยๆ จึงต้องมีการค้นคว้าหาเทคนิคต่างๆมาช่วยให้ความจุของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ เช่น การลดความสูงของการบินของหัวแม่เหล็ก (Flying Height) หรือการลดความหนาของแผ่นดิสก์ เป็นต้น ในปัจจุบันฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่ใช้เทคโนโลยีการบันทึกแบบแวนอนได้ถึงขีดจำกัดซูเปอร์พาราแมกเนติกเรียบร้อยแล้วในช่วงประมาณปี พ.ศ. 2549-2550 โดยความจุข้อมูลสูงสุดโดยการบันทึกข้อมูลด้วยวิธีนี้จะน้อยกว่า 1 เทระไบต์ ซึ่งในปัจจุบันจึงได้มีการนำเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลแบบแวนอนตั้งเพื่อเพิ่มขนาดความจุของข้อมูล

Recording technologies comparison



ภาพที่ 2.4 เทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลแบบแวนอนและแวนอนตั้ง

เทคโนโลยีการบันทึกแบบแวนอนตั้ง

เทคโนโลยีการบันทึกแบบแวนอนตั้งได้เริ่มต้นค้นคว้ามาตั้งแต่ในปี ค.ศ. 1984 โดยที่สภาพความเป็นแม่เหล็กของแผ่นดิสก์จะตั้งฉากกับระนาบของจานบันทึก ซึ่งในปัจจุบันฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่ผลิตออกมาสู่ตลาดมีเทคโนโลยีการบันทึกแบบแวนอนตั้งทั้งหมด โดยข้อดีของการบันทึกแบบแวนอนตั้งเมื่อเทียบกับแวนอนมีดังนี้

- 1) ทำให้ได้ความจุข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่เพิ่มขึ้นมากกว่าเดิมหลายเท่า

- 2) ความสามารถในการเขียนและการอ่านจะค่อนข้างเป็นอิสระจากความหนาของงานบันทึกทำให้สามารถเพิ่มความหนาแน่นเชิงพื้นที่ให้มากขึ้นได้โดยไม่ต้องกังวลถึงเรื่องความเสถียรภาพเชิงความร้อน
- 3) สัญญาณที่ได้จากการอ่านกลับของหัวอ่านจะได้ขนาดของสัญญาณมากกว่า ซึ่งทำให้ง่ายต่อการประมวลผลสัญญาณ
- 4) สนามแม่เหล็กที่ใช้สำหรับการเขียนข้อมูลเข้าไปในแผ่นดิสก์จะมีความเข้มมากกว่าซึ่งจะช่วยทำให้เกิดสัญญาณรบกวนและข้อผิดพลาดน้อยลง

อย่างไรก็ตามสิ่งที่ต้องคำนึงถึงของการบันทึกแบบแนวตั้ง มีดังต่อไปนี้

- 1) แผ่นดิสก์ที่ใช้กับระบบการบันทึกแบบแนวตั้งจะมี 2 ชั้น ชั้นแรกจะเป็นชั้นแม่เหล็กที่ใช้เก็บข้อมูลบิต 0 และบิต 1 ส่วนชั้นที่สองจะมีชื่อเรียกว่า Soft Underlayer (SUL) ซึ่งจะทำหน้าที่การนำปลั๊กซ์แม่เหล็กจากชั้นแม่เหล็กให้กลับไปสู่หัวแม่เหล็ก ในปัจจุบันนี้นักวิจัยได้พัฒนาคุณภาพของ SUL ให้ดีขึ้นเรื่อยๆ เพื่อรองรับการทำงานของระบบการบันทึกแบบแนวตั้งที่ความจุข้อมูลสูง
- 2) หัวแม่เหล็ก หัวเขียนที่ใช้ในการบันทึกแบบแนวตั้งจะเกี่ยวข้องกับการออกแบบโพรบ (Probe design) เพื่อให้สามารถเขียนแทร็กแคบๆ ที่ตั้งฉากกับระนาบของงานบันทึกได้

2.4.5 การอ่าน-เขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

การที่จะเหนี่ยวนำให้สารแม่เหล็กบนแผ่นดิสก์เป็นรูปแบบ “0” และ “1” ได้นั้น ต้องอาศัยการทำงานของหัวอ่านเขียน ซึ่งเป็นอุปกรณ์พิเศษที่สามารถเขียนหรืออ่านข้อมูลที่มีลักษณะเป็นการรวมตัวของสารแม่เหล็กนี้ได้ หัวอ่านเขียนจะถูกยึดติดกับ Actuators ซึ่งเป็นเหมือนศูนย์ควบคุมตำแหน่งของหัวอ่านเขียนให้สัมพันธ์กับข้อมูลที่ต้องการบนแผ่นดิสก์ สังเกตว่าตรงกลางของทุก “Spindle” จะต่อแกนเข้ากับมอเตอร์อีกที่สามารถเรียกรวมๆ ได้ว่า “Spindle Motor”

หลักการก็คือ เมื่อมอเตอร์ถูกสั่งให้หมุนแกน Spindle ก็จะหมุนตาม แล้วแผ่นดิสก์ ทั้งหมดก็จะหมุนตามไปด้วย ในขณะที่เดียวกัน Actuators ก็จะเคลื่อนหัวอ่านเขียนในลักษณะส่ายไปมาด้วยความแม่นยำ เพื่อไปยังตำแหน่งที่ต้องการอ่าน-เขียนข้อมูลตามคำสั่ง เมื่อมีคำสั่งให้เขียนข้อมูล หัวอ่านเขียนจะได้รับกระแสไฟฟ้าจากฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่ตัวมันเอง สนามแม่เหล็กนี้จะเหนี่ยวนำให้สารแม่เหล็กบนแผ่นดิสก์ บริเวณที่หัวอ่านเขียนอยู่นั้นเกิดขั้วบวกและขั้วลบเรียงกันขึ้นมาเป็น Platters หรือรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลตามที่ได้อ้างอิงถึงมาแล้ว ส่วนการอ่านข้อมูลนั้นใช้วิธีเคลื่อนหัวอ่านเขียนผ่านส่วนที่มีข้อมูลที่ต้องการอ่านบนแผ่นดิสก์ ก่อนแปลงกลับเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าส่งกลับไปยังอุปกรณ์อื่นๆ ต่อไป

ในการอ่านหรือเขียนข้อมูลลงบนแผ่นดิสก์ หัวอ่าน ไม่ได้อ่านหรือเขียนโดยการสัมผัสกับจากแผ่นดิสก์โดยตรง แต่จะใช้หลักการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในการจัดการกับข้อมูลแทน โดยหัวอ่านเขียนจะยกลอยโดยอาศัยแรงลมที่เกิดจากการหมุนของแผ่นดิสก์ด้วยความเร็วสูงนั่นเอง

2.5 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments)

มีจุดมุ่งหมายเพื่อตรวจสอบว่าปัจจัยหรือตัวแปรใดที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง หรือสิ่งที่ผู้ทำการทดลองให้ความสนใจอยู่ ทั้งนี้มีจุดมุ่งหมายดังนี้ คือเพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) หรือการพิสูจน์ถึงข้อเท็จจริง หรือความเชื่อจากประสบการณ์หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต และเพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) หรือการศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ

โดยปัจจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) ได้แก่ ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการทำการทดลอง และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หรือปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยได้ อาจเนื่องมาจากขีดจำกัดด้านเทคโนโลยีและต้นทุน เป็นต้น

2.5.1 ลำดับขั้นตอนการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง

ลำดับขั้นตอนการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองมีดังต่อไปนี้

- 1) การนิยามปัญหา เป็นการระบุว่าความต้องการในกระบวนการผลิตคืออะไร ซึ่งการนิยามปัญหานี้จะเกี่ยวข้องไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลอง
- 2) การเลือกปัจจัยและระดับของปัจจัย เป็นการใช้หลักการทางทฤษฎีและประสบการณ์จากงานวิจัยต่างๆ เพื่อระบุว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง สุดท้ายคือ การระบุว่าจะระดับที่ใช้เป็นแบบกำหนด (Fixed effect) แบบสุ่ม (Random Effect) หรือแบบผสม (Mixed Effect)
- 3) การเลือกตัวแปรตอบสนอง ในการเลือกตัวแปรตอบสนองผู้ทำการวิจัยจะต้องเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษา ในการวัดค่านั้นจะต้องมีความแม่นยำและถูกต้องด้วย
- 4) การเลือกแบบการทดลอง เมื่อกำหนดทริทเมนต์และตัวแปรตอบสนองแล้วต้องทำการตัดสินใจเกี่ยวกับขนาดการทดลอง ซึ่งหมายถึงจำนวนซ้ำของการทดลอง และข้อจำกัดในการสุ่ม
- 5) ดำเนินการทดลอง ในระหว่างการดำเนินการทดลอง ผู้วิจัยจะต้องศึกษาดูแลอย่างใกล้ชิด ปฏิบัติตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้
- 6) การวิเคราะห์ข้อมูล จะใช้ความรู้ทางด้านสถิติเข้ามาวิเคราะห์และสรุปผล รวมทั้งตัดสินใจว่าความถูกต้องของข้อมูลที่ได้ ก่อนที่จะตีความข้อมูล

- 7) สรุปผลและข้อเสนอแนะ การสรุปผลการวิเคราะห์ อาจแสดงในรูปแบบกราฟ ตาราง แผนภูมิ เป็นต้น รวมทั้งข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น

2.5.2 หลักการพื้นฐาน

หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลองคือ

เรพลิเคชัน (Replication) หมายถึง การทำการทดลองซ้ำ ทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยของการวัดขั้นพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่า ความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่

แรนคอมไมเซชัน (Randomization) หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) ทำให้เราสามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้ รวมทั้งขจัดอคติความเอนเอียงของผู้ทำการทดลอง

บล็อกกิง (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ให้แก่การทดลอง โดยบล็อกแต่ละอันอาจหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมดของวัสดุ ทั้งนี้เพื่อลดผลของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้

2.5.3 การเลือกแบบการทดลอง

การเลือกแบบการทดลอง จะเกี่ยวข้องกับขนาดการทดลอง ซึ่งหมายถึงจำนวนซ้ำของการทดลอง และข้อจำกัดในการสุ่ม โดยมีข้อดีและข้อเสียในแต่ละรูปแบบการทดลองดังต่อไปนี้

- 1) **แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design)** นิยมใช้กับการทดลองปัจจัยเดียว (Single Factor Experiment) และการทดลองที่มีปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้มีขนาดไม่ใหญ่โตนัก และไม่มีปัจจัยรบกวน โดยหลักการสำคัญของแผนการทดลองนี้คือ การจัดทริทเมนต์ให้กับหน่วยทดลองหรือจัดหน่วยทดลองให้แก่ทริทเมนต์จะต้องเป็นไปแบบสุ่ม

ข้อดี

- ก) เป็นแผนการทดลองที่จัดง่าย
- ข) ให้ค่าองศาแห่งความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อน (Degree of Freedom for Error) สูงสุด
- ค) วิธีการวิเคราะห์ห้ง่ายที่สุดในบรรดาแผนการทดลองทั้งหมด
- ง) ในแต่ละทริทเมนต์ถึงแม้ว่าจะมีจำนวนซ้ำไม่เท่ากัน ก็ไม่ทำให้การวิเคราะห์มีความซับซ้อนแต่อย่างใด

ข้อเสีย

- ก) มีข้อจำกัดว่าจะใช้ได้เหมาะสมเมื่อมีจำนวนทริทเมนต์น้อยๆหากมีจำนวนมากแล้วจำเป็นต้องใช้หน่วยการทดลองมาก ซึ่งสามารถกระทำจริงได้ยาก
- ข) ใช้กับหน่วยการทดลองที่มีความสม่ำเสมอเท่านั้น
- ค) ไม่สามารถตรวจสอบอิทธิพลของอันตรกิริยาได้ (Interaction Effect)

- 2) **แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCB)** ในบางการทดลอง อาจประสบปัญหาเกี่ยวกับหน่วยการทดลองที่ใช้ไม่มีความสม่ำเสมอ ทำให้การใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอดไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรจะเป็น เนื่องมาจากความผันแปรของข้อมูลจะไม่ใช้ผลของทริทเมนต์เพียงอย่างเดียว แต่ยังมีคามผันแปรที่เกิดจากหน่วยทดลองรวมอยู่ด้วย ซึ่งความผันแปรส่วนหลังนี้จะไปรวมอยู่กับความคลาดเคลื่อนของการทดลอง ทำให้ยอดรวมของผลบวกเทอมของความคลาดเคลื่อนมีค่าสูงขึ้น มีผลต่อการทดสอบทำให้ผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องพยายามแยกผลที่เกิดจากอิทธิพลอื่นที่ไม่ใช่ทริทเมนต์ออกจากความแปรปรวนทั้งหมด แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อก เป็นวิธีหนึ่งในหลายๆวิธีของการจำแนกแบบ 2 ทาง (Two-Way Classification) โดยจะใช้เมื่อหน่วยการทดลองมีความแตกต่างกัน 2 ลักษณะ คือ ทางแนวนอน (Row) และ แนวตั้ง (Column) มีหลักการได้แก่ การพยายามจัดหน่วยการทดลองที่มีความคล้ายคลึงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งเรียกว่า บล็อก ดังนั้นความแปรปรวนระหว่างหน่วยทดลองในบล็อกเดียวกันจึงต่ำและให้ความแตกต่างระหว่างบล็อกมีค่าสูง

ข้อดี

- ก) ไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนทริทเมนต์หรือบล็อก
- ข) ถ้าหากมีความจำเป็นที่จะต้องมีการทำซ้ำสำหรับทริทเมนต์ใดก็อาจเพิ่มหน่วยการทดลองได้ในแต่ละบล็อก
- ค) กรณีที่ข้อมูลในบล็อกใดหรือทริทเมนต์ใดใช้ไม่ได้หรือสูญหายไปก็สามารถละเว้นไม่นำมาวิเคราะห์ได้

ข้อเสีย

หน่วยการทดลองในแต่ละบล็อกมีความผันแปรที่เกิดขึ้นจากการทดลองย่อมมากตามกรณี ถ้าไม่สามารถควบคุมหน่วยการทดลองภายในบล็อกให้สม่ำเสมอได้

3) **แผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Experiment)** เป็นการทดลองที่มุ่งเน้นศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยมากกว่าหนึ่งปัจจัยพร้อมๆกัน โดยให้ความสนใจที่อิทธิพลร่วมของปัจจัยซึ่งเป็นอิทธิพลที่ส่งผลให้กับตัวแปรตอบสนอง โดยทั่วไปแล้วอาจกล่าวได้ว่าการทดลองแบบแฟกทอเรียลเป็นแผนการทดลองที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยหลายๆตัวพร้อมกัน กล่าวคือ มีการใช้ระดับของปัจจัยต่างๆร่วมกัน จึงสามารถตรวจสอบอิทธิพลต่างๆในการทดลองครั้งหนึ่งๆได้พร้อมกัน เช่นถ้าปัจจัย A มี a ระดับ แฟกเตอร์ B มี b ระดับ แต่ละซ้ำจะมี ab Treatment Combination โดยอิทธิพลของปัจจัยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

- ก) อิทธิพลหลัก (Main Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยที่แสดงต่อตัวแปรตอบสนองด้วยตัวของมันเองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่เกิดขึ้น
- ข) อิทธิพลร่วมหรืออันตรกิริยา (Interaction Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยหนึ่งที่จะเปลี่ยนไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยร่วมกัน

การทดลองแบบแฟกทอเรียลนั้น เป็นการประกอบกันของทรีทเมนต์ ไม่ใช่ชนิดของแผนการทดลอง การประกอบกันของทรีทเมนต์นี้อาจใช้แผนการทดลองแบบใดๆก็ได้ เช่น การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แบบสุ่มบล็อก เป็นต้น

ข้อดี

- ก) เป็นการใช้หน่วยการทดลองทั้งหมดเพื่อตรวจสอบอิทธิพลของทรีทเมนต์หลายๆทรีทเมนต์พร้อมกันได้จึงเป็นการประหยัดและเสียเวลาน้อยลงกว่าการทดสอบครั้งละหนึ่งปัจจัย
- ข) ทำให้สามารถตรวจสอบอิทธิพลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยได้ จึงช่วยในการสรุปผลได้กว้างขวางกว่าการทดลองครั้งละหนึ่งปัจจัย

ข้อเสีย

- ก) เนื่องจากมี Treatment Combination จึงต้องใช้หน่วยการทดลองมากขึ้น จึงอาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนหน่วยทดลอง
- ข) ถ้าจำนวนปัจจัยมีมาก ขนาดของการทดลองก็จะใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นการเสียค่าใช้จ่ายสูง และการหาวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่มีความสม่ำเสมอจำนวนมากก็เป็นไปได้ยาก

2.6 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการผลิตหัวอ่านเขียนและฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ตลอดจนงานวิจัยที่มีการนำเอาวิธีการทางซิกซ์ ซิกม่า และการออกแบบการทดลอง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานในการวิจัย โดยมีงานวิจัยที่สำรวจดังต่อไปนี้

ศิริวดี เอื้ออรัญโชติ (2546) จากการศึกษางานวิจัย “การลดการปนเปื้อนจากกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียนสำหรับคอมพิวเตอร์โดยการประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า” เป็นการศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการปนเปื้อนของกระบวนการผลิตหัวอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดรอยขีดข่วนบนแผ่นดิสก์เป็นผลให้ข้อมูลที่เก็บเสียหายหรือหัวอ่านไม่สามารถอ่านเขียนได้ เริ่มแรกด้วยการนำวิธีการของ FMEA เข้ามาช่วยในจัดลำดับความสำคัญของปัญหาที่ควรแก้ไข จากนั้นจึงทำการทดลองหาปัจจัยที่มีผลต่อการปนเปื้อนโดยทำการทดลองทีละหนึ่งตัวแปร ซึ่งสามารถหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการปนเปื้อนได้ทั้งสิ้น 5 ปัจจัย จากนั้นจึงนำปัจจัยทั้งหมดที่กล่าวมาทำการทดลองโดยอาศัยการออกแบบการทดลองแบบ 2^5 Full Factorial Design เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมโดยในท้ายที่สุดสามารถลดการปนเปื้อนของหัวอ่านเขียนซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตได้ประมาณ 2 ใน 3 หรือประมาณ 66% ของการปนเปื้อนก่อนทำการปรับปรุง

วัชรศักดิ์ ทวีสุข (2546) จากการศึกษางานวิจัย “การศึกษาปัจจัยในกระบวนการการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลฮาร์ดดิสก์ที่มีผลกระทบต่อการ โกงตัวของตัวหัวเขียนอ่าน โดยใช้การออกแบบการทดลอง” ได้มีการนำเอาการออกแบบการทดลอง Fractional Factorial มาใช้ในหาระดับของปัจจัยในกระบวนการประกอบชุดหัวอ่านเขียนที่มีผลต่อการ โกงตัวของหัวอ่านเขียนและทำการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยเริ่มแรกได้ระดมสมองจากผู้เชี่ยวชาญ วิศวกรการผลิตที่เกี่ยวข้องสามารถหาปัจจัยเบื้องต้นได้ 6 ปัจจัย หลังจากนั้นได้มีการนำแผนการทดลองแฟรคชันนอลแบบครึ่งหนึ่งของ 2^6 แฟกทอเรียลมาออกแบบการทดลอง โดยผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการ โกงตัวของหัวอ่านเขียนมีอยู่ 4 ปัจจัย ได้แก่ ตำแหน่งของกาวโครงสร้าง ตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้า ขนาดของกาวโครงสร้าง และขนาดของกาวตัวนำไฟฟ้า หลังจากนั้นจึงได้ใช้โปรแกรมทางสถิติเข้าช่วยในการคำนวณหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมต่อการใช้งาน ซึ่งผลจากการทดลองได้ผลลัพธ์ตามที่คาดหวังไว้ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการ โกงตัวหลังการปรับปรุงเท่ากับ $0.0309 \mu\text{-inch}$ จากเป้าหมายเริ่มแรกที่ตั้งไว้เท่ากับ $0.033 \mu\text{-inch}$

นवलพรรณ ใจงาม (2542) จากการศึกษางานวิจัย “การลดของเสียที่เกิดจากการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิตในกระบวนการประกอบหัวอ่านโดย ใช้ระเบียบวิธีซิกซ์ซิกม่า” ทำการหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิต เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตหัวอ่านเขียนโดยอาศัยแนวทางของซิกซ์

ซึกม่า เริ่มตั้งแต่การศึกษากระบวนการผลิต, การนำเอาแผนภาพแสดงเหตุและผล ตลอดจนการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการของ FMEA เพื่อทำการกรองสาเหตุหรือปัจจัยเบื้องต้นที่น่าจะเกี่ยวข้อง จากนั้นจึงนำปัจจัยนำเข้ดังกล่าวมาทำการทดลองทีละหนึ่งตัวแปร โดยมีตัวแปรตอบสนองได้แก่ จำนวนของเสียที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าสถิต หลังจากได้ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการเกิดการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิตแล้ว จึงทำการปรับปรุงข้อบกพร่องดังกล่าว ยกตัวอย่างการปรับปรุงเช่น การเปลี่ยนแปลงการไหลของกระบวนการผลิตหรือการต่อกราวด์แบบใหม่ และทิศทางของพัดลมสลายประจุไฟฟ้า เป็นต้น ในท้ายที่สุดสามารถลดเสียจากเดิม 31,600 DPPM เหลือ 7,890 DPPM หลังจากทำการปรับปรุง

สุชาติ แซ่แต้ (2548) จากการศึกษางานวิจัย “การปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก” กล่าวถึงการวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อแรงเสียดทานของกระบวนการผลิตกระดาษลูกฟูก โดยอาศัยหลักการของแผนผังก้างปลา (Cause and Effect Diagram) และ FMEA เข้ามากรองปัจจัยเบื้องต้นที่น่าจะเกี่ยวข้อง ซึ่งได้ปัจจัยเบื้องต้นทั้งสิ้น 11 ตัว จากนั้นนำปัจจัยดังกล่าวมาทำการทดลองโดยอาศัยการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการ Fraction Factorial Design แบบ Resolution IV 2¹¹⁻⁵ เพื่อลดจำนวนการทดลองให้น้อยลง โดยผลการทดลองพบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อแรงเสียดทานมีทั้งหมด 4 ตัว ได้แก่ ระยะเวลาของ Print Roll Gap และ Feed Belt Gap, ค่าน้ำยาวานิชและความหนืดของน้ำหมึกพิมพ์ โดยหลังจากทำการปรับระดับของปัจจัยตามข้อมูลที่ได้จากการทดลองแล้วพบว่า ปริมาณของเสียลดลงอย่างมากเหลือเพียง 11.2 DPPM และความสามารถของกระบวนการเพิ่มขึ้นเป็น 1.34

วิชาญ วรรณ (2545) จากการศึกษางานวิจัย “ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเหล็กปลายสั้นสำหรับกระบวนการหล่อเหล็กแบบต่อเนื่องโดยวิธีการออกแบบการทดลอง” มีวัตถุประสงค์ในการลดของเสียที่มีลักษณะเป็นเหล็กปลายสั้นที่เกิดกระบวนการผลิตเหล็กแท่ง โดยในเริ่มแรกผู้วิจัยได้ทำการระดมสมองกับผู้เชี่ยวชาญเพื่อทำการระบุปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อการเกิดเหล็กปลายสั้น ซึ่งมีทั้งสิ้น 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการไหลของน้ำหล่อเหล็กแท่งช่วงที่ 1, ความเร็วในการหล่อเหล็กแท่งและอุณหภูมิน้ำเหล็กในทันดิช หลังจากนั้นจึงได้ทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อทดสอบว่าปัจจัยใดบ้างที่มีอิทธิพลโดยทำการทดลองเชิงแฟกทอเรียลที่มีระดับของปัจจัย 2 ระดับ ผลการทดลองเบื้องต้นสรุปได้ว่า ปัจจัยทั้ง 3 ตัวมีอิทธิพลต่อการเกิดเหล็กปลายสั้น หลังจากนั้นจึงทำการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม โดยทำการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบผลกระทบคงที่ เมื่อปัจจัยมี 3 ระดับ โดยผลการทดลองทำให้สามารถระบุระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดเหล็กปลายสั้นน้อยที่สุด ได้แก่ อัตราการไหลของน้ำหล่อเหล็กแท่งช่วงที่ 1 ที่ระดับ 200 ลิตร/นาที่ ความเร็วในการหล่อเหล็กแท่งที่ระดับ 0.90 เมตรต่อนาที และอุณหภูมิน้ำเหล็กในทันดิชที่ระดับ 1,530 องศาเซลเซียส โดยหลังจากที่นำผล

การทดลองที่ได้ไปใช้ในการผลิตจริงโดยสามารถลดความยาวของเหล็กปลายสั้นจากภาวะปัจจุบัน 681±17 มิลลิเมตร เหลือ 523±13 มิลลิเมตร คิดเป็นมูลค่าในการลดลงของเสียเท่ากับ 236,196 บาท/ปี

Daive Guarisco, Zhaohui Li, Bill E. Higgins, Yan Wu and Andrew LeFebvre (2006)

จากการศึกษาวิจัย “Perpendicular Drive Integration” ดำเนินงานวิจัยโดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแผ่นดิสก์ในระบบการบันทึกข้อมูลแม่เหล็กแบบแนวตั้ง (Perpendicular Magnetic Recording) โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานแม่เหล็กไฟฟ้า (Coercivity: Hc) และชั้นความหนาของ Soft Underlayer ผลการทดลองสรุปได้ว่า ค่าความต้านทานแม่เหล็กไฟฟ้าของแผ่นดิสก์ที่ลดลงมีแนวโน้มที่จะทำให้อัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนดีขึ้นแต่ก็ทำให้มีโอกาสเกิดการรบกวนจากสนามแม่เหล็กจากแหล่งอื่นๆ ได้ง่าย ทั้งนี้ ยังพบว่าอัตราความหนาแน่นของข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (BPI) จะมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียน กล่าวคือ อัตราความหนาแน่นของข้อมูลที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนแย่ลง

บทที่ 3

การศึกษาข้อมูลปัจจุบันและการกำหนดนิยามปัญหา

ในบทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาข้อมูลปัจจุบัน เริ่มจากการศึกษากระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และทำการกำหนดนิยามปัญหา โดยมีละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ข้อมูลทั่วไปของบริษัทกรณีศึกษา

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่ใหญ่ที่สุดแห่งหนึ่ง ในปัจจุบัน มีพนักงานมากกว่า 30,000 คน และยังมีกรขยายงานอย่างต่อเนื่อง โดยมีฐานการผลิตอยู่ที่นิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน จังหวัดอยุธยา และ นิคมอุตสาหกรรมนวนคร จังหวัดปทุมธานี

3.1.1 ประวัติความเป็นมา

เดิมเป็นฐานการผลิตของบริษัท Readwrite เป็นบริษัทผลิตหัวอ่านส่งขายต่อให้บริษัทผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งประสบปัญหา ก่อนที่บริษัทกรณีศึกษาเข้ามาครอบครองกิจการไปเนื่องจากบริษัทดังกล่าวเป็นลูกค้ารายใหญ่ของ Readwrite หัวใจหลักของโรงงานเป็น วิศวกร ลักษณะโรงงานเป็นแบบ Engineer Plant

ประวัติความเป็นมาบริษัท บริษัทเป็นผู้บุกเบิก เทคโนโลยี ทางด้านฮาร์ดไดรฟ์ ก่อตั้งขึ้นปี ค.ศ. 1970 ที่ สหรัฐอเมริกา ก่อนขยายมาสู่ภูมิภาคเอเชีย ในปี ค.ศ. 2002 ตั้งฐานการผลิตที่นิคมอุตสาหกรรมนวนคร ในปี ค.ศ. 2003 ตั้งฐานการผลิตที่นิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน เป็นฐานการผลิตหัวอ่านเขียนที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย ซึ่งได้การร่วมมือเป็นอย่างดีของรัฐบาลประเทศไทย มีโรงงานขนาดใหญ่อยู่ที่ สหรัฐอเมริกา อยู่ที่ แคลิฟอร์เนีย มี สำนักงานใหญ่อยู่ที่ แคลิฟอร์เนียโดยมีฐานการผลิตหลักอยู่ที่ ประเทศไทย โดยมีโรงงานสำหรับผลิตชิ้นส่วนและประกอบ บริหารงานแบบโรงงาน ควบคุมคนงานในแต่ละงาน โดยมีหัวหน้างาน ควบคุมและมีวิศวกรควบคุมอีกที ภายใต้การควบคุมของวิศวกรเทคนิค ผู้จัดการและกรรมการบริหารอีกที กรรมการบริหาร(Director), ผู้จัดการ (Manager), วิศวกรเทคนิค (Engineer Technician), วิศวกร (Engineer)

โครงสร้างการทำงานแบ่งงานเป็น 5 ส่วน ได้แก่ ส่วนสนับสนุนการผลิต (Operation Support), ส่วนสนับสนุนโครงสร้างพื้นฐาน, ส่วนพัฒนาระบบทางธุรกิจ, ส่วนงานการผลิตและวิศวกรรม และสุดท้ายคือ ส่วนระบบฐานข้อมูล

3.1.2 ผลិតภัณฑ์

การผลิตเน้นใช้ระบบคอมพิวเตอร์ในการควบคุมเป็นแบบอัตโนมัติควบคุมในการผลิต ผลิตภัณฑ์ของฐานการผลิตนิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน Slider Fabrication และฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ผลิตภัณฑ์ของฐานการผลิตนิคมอุตสาหกรรมนวนครฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยการประกอบชิ้นส่วน ที่ได้จาก ฐานการผลิตนิคมอุตสาหกรรมบางปะอินเข้ากับชิ้นส่วนที่ผลิตภายในฐานการผลิตนี้กำลังการผลิตของบริษัท ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ประมาณ 500,000 ตัว ต่อวัน

กลุ่มลูกค้า

ผลิตเพื่อส่งจ่ายแก่ผู้ค้ารายย่อย เพื่อจำหน่ายกับ

- 1) เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับใช้งานเป็นองค์กร
- 2) เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับใช้งานส่วนบุคคล

ผลิตเพื่อจำหน่ายแก่บริษัท ต่างๆ สำหรับ

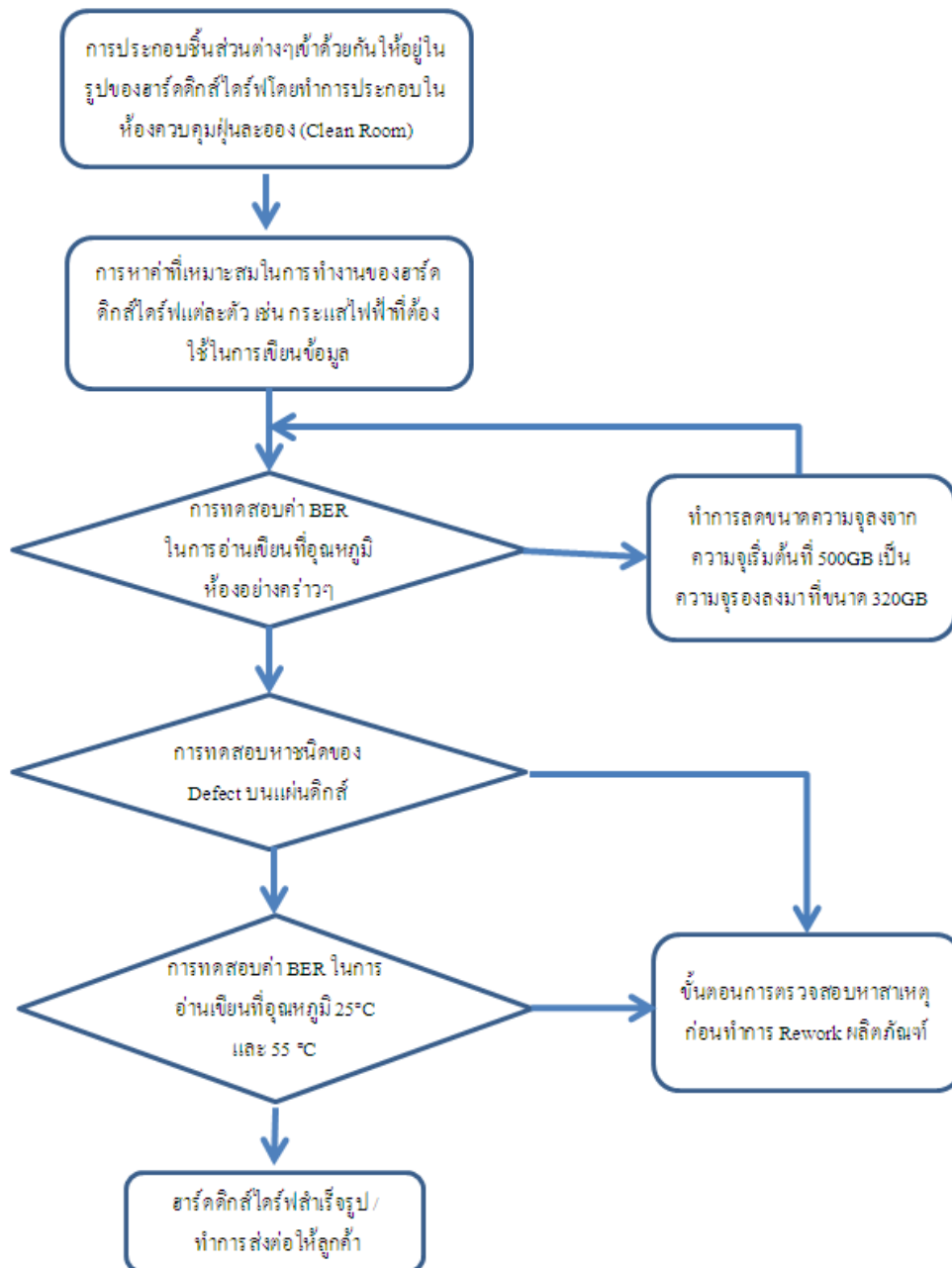
- 1) ประกอบเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหรือองค์กร ภายใต้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ของบริษัทสั่งซื้อ
- 2) เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับพกพา
- 3) อุปกรณ์ภายนอกอื่นๆของคอมพิวเตอร์
- 4) อุปกรณ์อื่นๆที่ใช้ ผลิตภัณฑ์ของบริษัทเป็นส่วนประกอบ เช่น กล้องถ่ายรูป เกม เป็นต้น

3.2 กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

จากภาพที่ 3.1 กระบวนการทดสอบการฟังก์ชันการทำงานเริ่มต้นด้วยการคำนวณค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละตัว เช่น ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายที่ใช้ในการเขียนสัญญาณ ระยะความสูงระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ เป็นต้น จากนั้นทำการทดสอบหาอัตราการความผิดพลาดในการทดสอบการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟอย่างคร่าวๆ (Initial Bit Error Rate) โดยหากค่าที่ได้ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้จะทำการลดขนาดความจุโดยรวมลงจากเดิม

หลังจากนั้นจึงเป็นการทดสอบอัตราการความผิดพลาดในการอ่านเขียนที่อุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส (Bit Error Rate @25 °C) และที่อุณหภูมิสูง 55 องศาเซลเซียส (Bit Error Rate @55 °C) เพื่อจำลองการทำงานจริงเมื่อลูกค้านำไปใช้งาน โดยการคำนวณค่าดังกล่าวในเชิงปฏิบัติสามารถหาได้ดังนี้

$$\text{อัตราการความผิดพลาดในการทดสอบการอ่านเขียน (BER)} = -\log \left(\frac{\text{จำนวนบิตที่เกิดความผิดพลาด}}{\text{จำนวนบิตทั้งหมดที่ทำการทดสอบ}} \right)$$



ภาพที่ 3.1 กระบวนการผลิตและทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

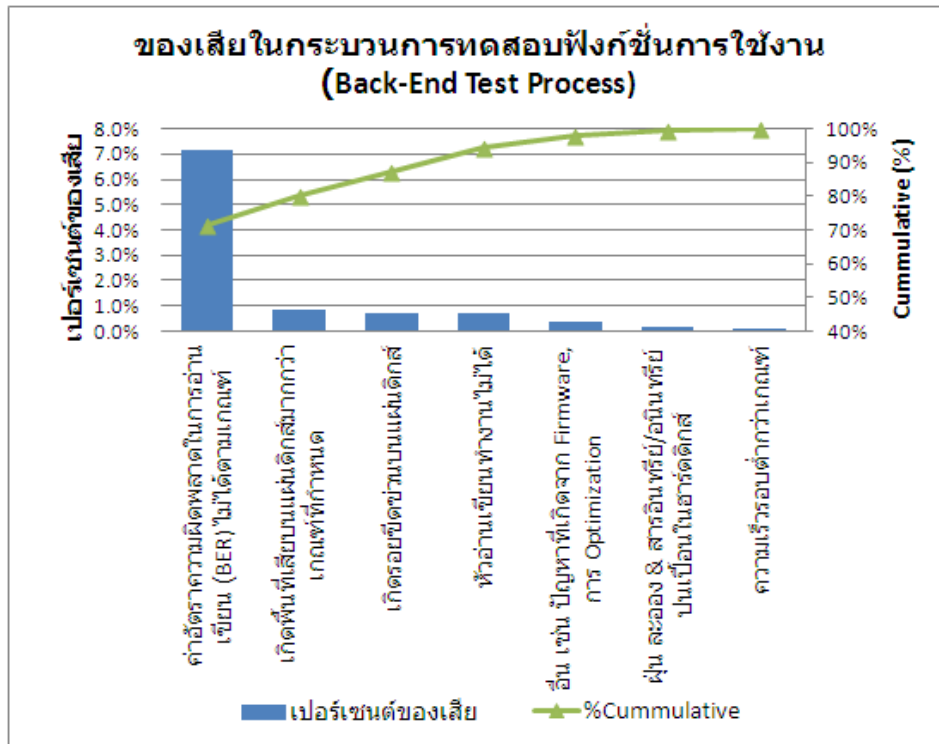
3.3 สภาพปัญหาปัจจุบัน

ข้อมูลการผลิตปัจจุบันของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สำหรับใช้กับคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ ขนาดความจุ 500GB ความเร็ว 7,200 รอบต่อนาที มี %Yield ในขั้นตอนการผลิตแต่ละกระบวนการของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยจะเห็นได้ว่ากระบวนการที่ควรนำมาปรับปรุงมากที่สุดได้แก่ขั้นตอนการทดสอบฟังก์ชันการใช้งาน (Back – End Test) เนื่องจากเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิผลต่ำสุดในกระบวนการทั้งหมด

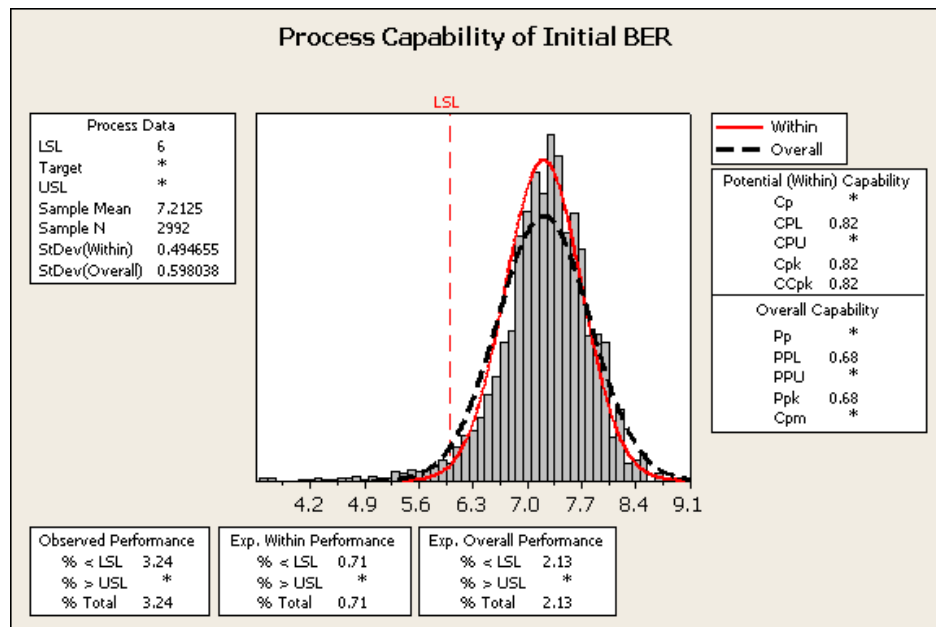
ตารางที่ 3.1 Yield (%) ในแต่ละขั้นตอนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

กระบวนการ	%Yield ปัจจุบัน	หมายเหตุ
ขั้นตอนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Clean Room Assembly Process)	> 99.5%	- ปริมาณของเสียมีน้อยมาก มีการนำเครื่องจักรหุ่นยนต์ที่ทันสมัยเข้ามาช่วยประกอบ
ขั้นตอนการทดสอบฟังก์ชันการใช้งาน (Back-End Test Process)	90%	- เป้าหมายที่ผู้บริหารตั้งไว้ > 93% - เป็นกระบวนการที่ใช้เวลาทดสอบนาน (1 วัน)
ขั้นตอนการบรรจุภัณฑ์(Packing Process)	100%	

จากภาพที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าสัดส่วนของเสียมากที่สุดในการบวนการดังกล่าวได้แก่ ค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ประมาณ 7% ทำให้ต้องมีการลดขนาดความจุจากเดิม 500 กิกะไบต์ ลงเป็น 320 กิกะไบต์ (Alternate Format Capacity) เพื่อให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีขึ้น ปัญหารองลงมาคือสัดส่วนของเสียมีน้อยกว่า 1% ทั้งสิ้น ได้แก่ การเกิดพื้นที่เสียบนแผ่นดิสก์ (Media defect) 0.8%, รอยขีดข่วน (Scratch) 0.7% และหัวอ่านเขียนไม่มีเสถียรภาพ (Instability head) 0.7% เป็นต้น



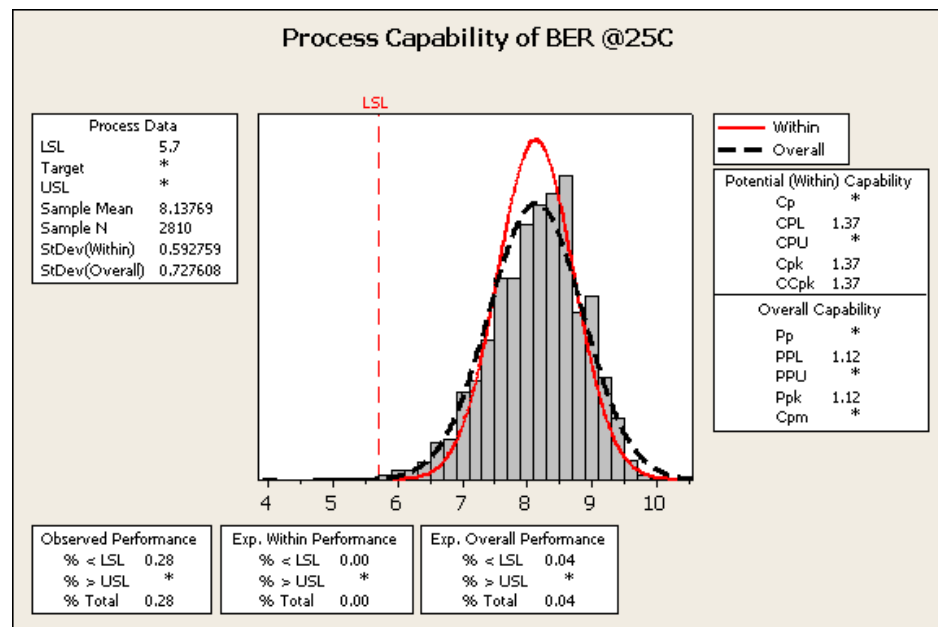
ภาพที่ 3.2 ของเสียที่เกิดในกระบวนการทดสอบการใช้งาน (Back-End Test Process)



ภาพที่ 3.3 ความสามารถของกระบวนการของค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนเบื้องต้น (Initial Bit Error Rate)

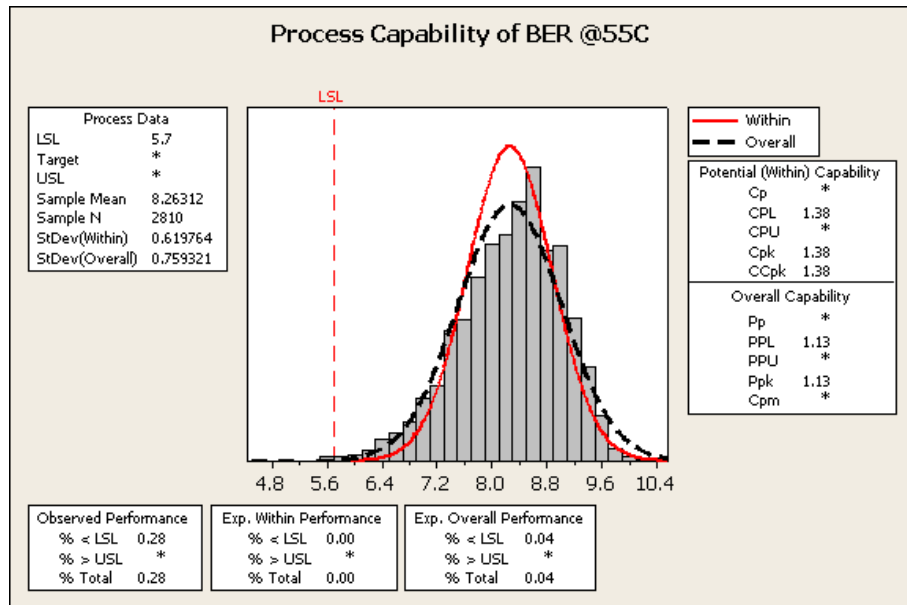
จากผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการของค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนเบื้องต้นดังแสดงในภาพที่ 3.3 พบว่ามีดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Cpk) เท่ากับ 0.82 และจำนวนหัวอ่านเขียนที่ไม่ได้ตามเกณฑ์เท่ากับ 3.24% หรือประมาณ 6.48% เมื่อคำนวณอยู่ในรูปฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยที่ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ 1 ตัวจะมีจำนวนหัวอ่านเขียน 2 ตัว

ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการของค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนที่อุณหภูมิ 25 °C ดังแสดงในภาพที่ 3.4 พบว่ามีดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Cpk) เท่ากับ 1.37 และจำนวนหัวอ่านเขียนที่ไม่ได้ตามเกณฑ์เท่ากับ 0.28% หรือประมาณ 0.56% เมื่อคำนวณอยู่ในรูปฮาร์ดดิสก์



ภาพที่ 3.4 ความสามารถของกระบวนการของค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนที่อุณหภูมิ 25 °C (Bit Error Rate @25 °C)

สุดท้ายเป็นผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการของค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนที่อุณหภูมิ 55 °C ดังแสดงในภาพที่ 3.5 พบว่ามีดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Cpk) เท่ากับ 1.38 และจำนวนหัวอ่านเขียนที่ไม่ได้ตามเกณฑ์เท่ากับ 0.28% หรือประมาณ 0.56% เมื่อคำนวณอยู่ในรูปฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



ภาพที่ 3.5 ความสามารถของกระบวนการของค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนที่อุณหภูมิ 55 °C (Bit Error Rate @55 °C)

การผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาดความจุ 500GB ที่ความเร็ว 7,200 รอบต่อนาที ดังกล่าวมีสัดส่วนประมาณ 60,000 ตัว/สัปดาห์ ทั้งนี้ปริมาณฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีอัตราความผิดพลาดในการทดสอบการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้มีประมาณ 7% ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ได้ทั้งหมด ซึ่งต้องทำการลดขนาดความจุจากเดิม 500GB เป็น 320GB ในขณะที่ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาดความจุ 500GB มีราคาขายเท่ากับ 2,491 บาท และขนาดความจุ 320GB มีราคาขายเท่ากับ 2,135 บาท คิดเป็นจำนวนเงินที่สูญเสียได้เท่ากับ 1,345,680บาท/สัปดาห์ โดยมีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 \text{จำนวนเงินที่สูญเสีย} &= \text{ปริมาณการผลิตต่อสัปดาห์} \times \% \text{Yield} \times \text{สัดส่วนของฮาร์ดดิสก์ที่ต้องลด} \\
 &\quad \text{ขนาดความจุลง} \times (\text{ราคาขายฮาร์ดดิสก์ขนาด 500GB} - \text{ราคาขายฮาร์ดดิสก์} \\
 &\quad \text{ขนาด 320GB}) \\
 &= 60,000 \times 90\% \times 7\% \times (2,491 - 2,135) \\
 &= 1,345,680 \text{ บาท / สัปดาห์}
 \end{aligned}$$

ผู้วิจัยจึงได้คัดเลือกปัญหาค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนไม่ได้ตามเกณฑ์มาทำการศึกษาโดยมีเป้าหมายเพื่อลดของเสียที่เกิดจากค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนไม่ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ตลอดจนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการอ่านเขียนให้ดียิ่งขึ้น

บทที่ 4

การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา โดยมีการศึกษากระบวนการผลิต ตลอดจนการระดมสมองของผู้ที่เกี่ยวข้อง เพื่อระบุปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง ตลอดจนการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล (Cause & Effect Diagram)

ทำการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) ทำการศึกษาขั้นตอนกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ รวมทั้งขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนที่สำคัญ ได้แก่ หัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ ตลอดจนปัจจัยที่สำคัญที่ต้องควบคุมในแต่ละกระบวนการ
- 2) ระดมความคิดจากผู้เชี่ยวชาญแต่ละสาขาที่เกี่ยวข้อง เพื่อระบุปัจจัยที่น่าจะส่งผลต่ออัตราการผลิตพลาดในการทดสอบการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

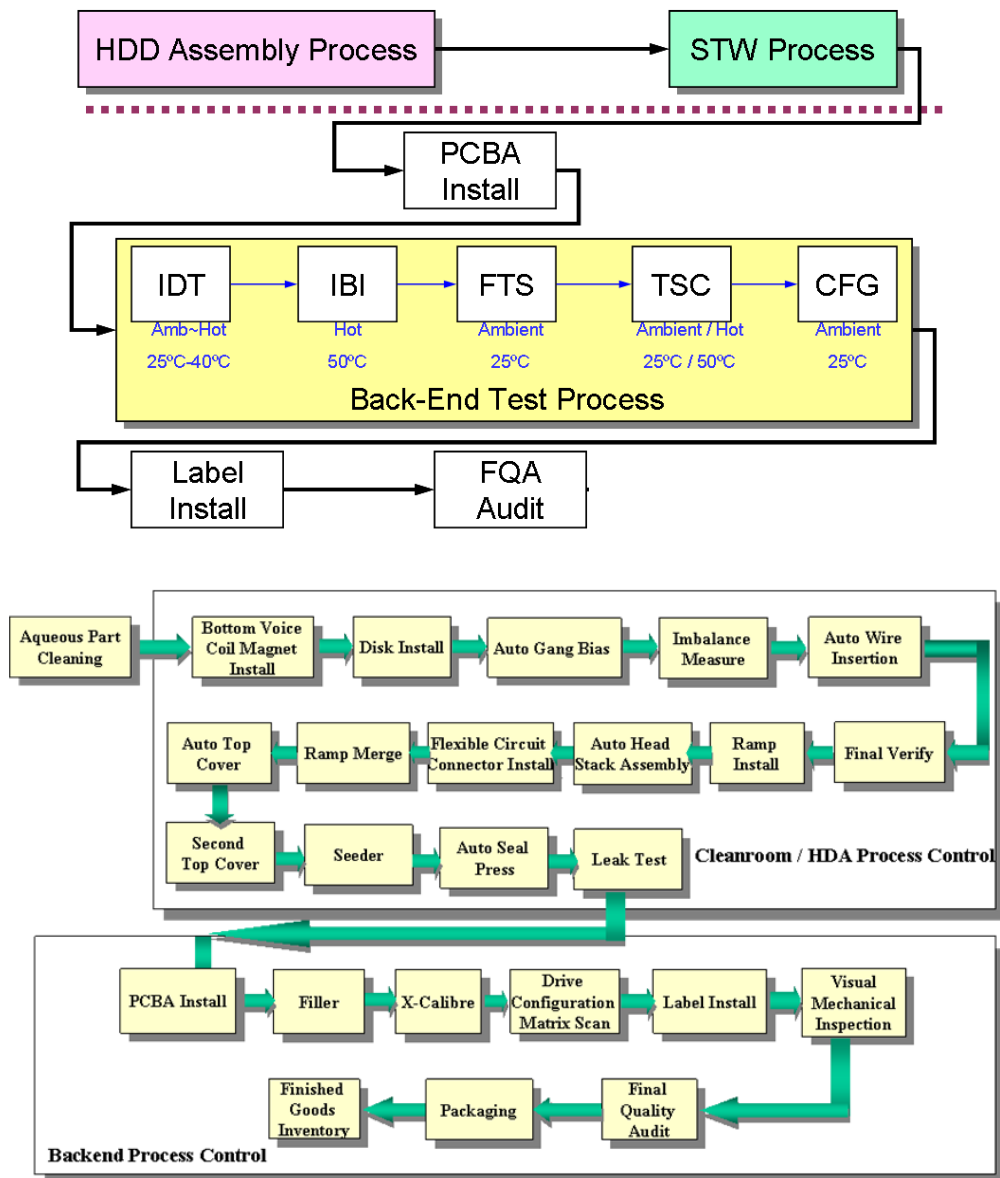
ตารางที่ 4.1 ผู้เชี่ยวชาญแต่ละสาขาที่ได้รับระดมความคิดหาปัจจัยเบื้องต้นที่เกี่ยวข้อง

แผนก / โรงงาน	ตำแหน่ง	ประสบการณ์ทำงานด้านอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (ปี)
1. วิศวกรผลิตภัณฑ์ (Product Engineer - Drive)	Senior Engineer I	3.5
2. วิศวกรแผนกหัวอ่านเขียน (Product Engineer - HGA)	Engineer II	4
3. วิศวกรที่ดูแลการผลิตแผ่นดิสก์ (Product Engineer - Media)	Senior Engineer I	4
4. วิศวกรด้านหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ (Head & Media Engineer - Drive)	Manager	> 10
	Senior Engineer I	6
	Senior Engineer I	4

4.1.1 กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เริ่มต้นด้วยการประกอบชิ้นส่วนต่างๆของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เข้าด้วยกันใน Clean Room หลังจากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการทดสอบฟังก์ชันการทำงาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



ภาพที่ 4.1 กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ใน Cleanroom และ Back End

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

กระบวนการ	หน้าที่รายละเอียด
HDD Drive Assembly (Clean Room)	<ul style="list-style-type: none"> - การประกอบชิ้นส่วนต่างๆของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เข้าด้วยกัน - การประกอบจะทำในห้องควบคุมปริมาณฝุ่นละออง (Clean room) เพื่อป้องกันฝุ่นละอองเข้าไปในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหาย ทั้งนี้เนื่องจากหัวอ่านเขียนมีขนาดเล็กมาก ซึ่งจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง 5400 รอบต่อนาที หรือ 7200 รอบต่อนาที เพราะฉะนั้นฝุ่นละอองเพียงเล็กน้อยก็ก่อให้เกิดความเสียหายจนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่สามารถทำงานได้ - จำเป็นต้องใช้ความเที่ยงตรงสูงจึงมีการนำหุ่นยนต์ เข้ามาช่วยในการประกอบ จุดที่สำคัญได้แก่การตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด - ชิ้นส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ มอเตอร์ หัวอ่านเขียน แผ่นดิสก์
Servo Track Writing	<ul style="list-style-type: none"> - การเขียนสัญญาณนำร่องที่ใช้ในการกำหนดแทร็ค โดยสัญญาณ Servo จะมีหน้าที่ช่วยในการค้นหาแทร็คที่ต้องการทำการอ่านหรือเขียนและเป็นตัวกำหนดไม่ให้หัวอ่านเขียนออกนอกแทร็ค
Back-End Test Process (Functional Test)	<ul style="list-style-type: none"> - ขั้นตอนการทดสอบฟังก์ชันการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์หลังจากเสร็จสิ้นการประกอบและการเขียนสัญญาณ Servo - ทำการทดสอบที่เครื่อง Xcalibre ภายนอกห้องควบคุมปริมาณฝุ่น - เริ่มต้นด้วยการติดต่อกับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จากนั้นทำการทดสอบหาอัตราความผิดพลาดในการทดสอบการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อย่างคร่าวๆ โดยหากค่าที่ได้ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้จะทำการลดขนาดความจุโดยรวมลงจากเดิม - การหาค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของฮาร์ดดิสก์ ได้แก่ ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายที่ใช้ในการเขียนสัญญาณ ระยะความสูงระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ เป็นต้น

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนการผลิต (ต่อ)

กระบวนการ	หน้าที่รายละเอียด
Back-End Test Process (Functional Test)	<ul style="list-style-type: none"> - การทดสอบการทำงานที่อุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่สูงประมาณ 55 องศาเซลเซียสเพื่อจำลองการทำงานจริงเมื่อลูกค้านำไปใช้งาน - การตรวจสอบประเภทของเสียต่างๆให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดและ - การทดสอบอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียน (Bit Error Rate) ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
Functional Quality Assurance (FQA)	- กระบวนการสุ่มตรวจนำฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แต่ละล็อตมาตรวจสอบการฟังก์ชันการอ่านเขียน ถือเป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนทำการจัดส่งถึงลูกค้า

2) กระบวนการผลิตหัวอ่านเขียน

หัวอ่านเขียน (Head) เป็นส่วนที่ใช้ในการอ่าน-เขียนข้อมูล มีขนาดเล็กและซับซ้อนมากทำให้มีราคาแพง ในการอ่าน-เขียนข้อมูลเริ่มจากคอนโทรลเลอร์ (Controller) จะนำคำสั่งที่ได้มาแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าแล้วป้อนเข้าสู่ขดลวดภายในหัวอ่านทำให้เกิดแรงเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กแล้วไปเปลี่ยนโครงสร้างของสารแม่เหล็กที่เคลือบอยู่บนแผ่นดิสก์ เพื่อเหนี่ยวนำให้สารเคลือบผิวเกิดการเรียงตัวใหม่ให้เป็นไปในทิศทางของข้อมูล ในทางกลับกัน การอ่านข้อมูล หัวอ่านก็จะอ่านผ่านสนามแม่เหล็กที่เกิดจากสารแม่เหล็กที่ผิว แล้วถอดรหัสสนามแม่เหล็กเหล่านั้นให้กลายเป็นข้อมูล

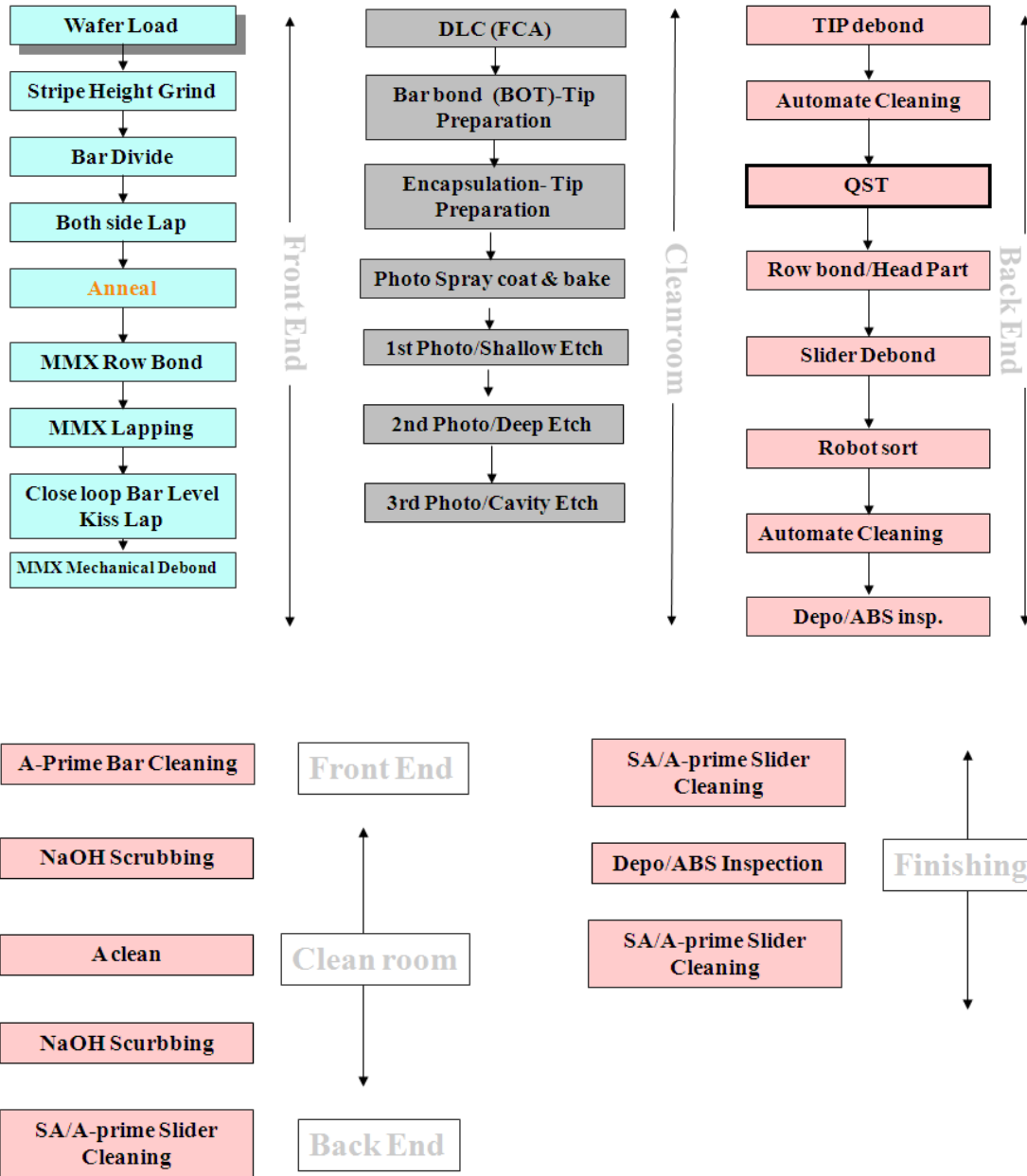
Slider: ทำจากแร่ Titanium เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยส่วนประกอบที่สำคัญๆมีดังนี้

ABS (Air Bearing Surface) ซึ่งเป็นด้านหน้าของตัว Slider หน้าที่ของ ABS คือทำให้เกิดแรงยกตัวของ Slider และ HGA ตอน Disk หมุนและจะเคลื่อนไปหตามสภาพผิวของแผ่น Disk เพื่อรักษาระยะการบิน (Fly Height) ตามที่ต้องการ

Deposition เป็นด้านที่มีแผงวงจรฝังอยู่ ประกอบด้วย Transducer, Bone pad

Pole Tip ทำหน้าที่อ่านหรือเขียนข้อมูลลงบนแผ่น Disk

ก) กระบวนการผลิต Slider



ภาพที่ 4.2 กระบวนการผลิต Slider



ภาพที่ 4.3 กระบวนการตรวจสอบและทำความสะอาด Slider

ตารางที่ 4.3 ขั้นตอนการผลิต Slider

กระบวนการ	รายละเอียด
Wafer Issue	การ Load แผ่น Wafer ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้วเข้าสู่สายการผลิต
Wafer Preparation	การเตรียมแผ่น Wafer สำหรับขั้นตอน SHG
SHG Bar Production	ขั้นตอนการตัดแผ่น Wafer ออกเป็น Bar ด้วยเครื่อง SHG
SHG Bar Divide	ขั้นตอนการตัดแบ่ง Bar ที่ได้จาก SHG Process ออกเป็นส่วนขนาด 1.835 และ 1.704 นิ้ว
SHG Bar Cleaning	การทำความสะอาด Bar หลังจากทำการตัดแบ่งแล้ว
MMX Back Side Lab	ขั้นตอนการขัดด้าน Back Side ของ Wafer Bar เพื่อให้ได้ความหนาตาม Spec เสมอกัน
Magnetic Annealing	การอบเรียงสนามแม่เหล็กด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 240 degree F เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.3 ขั้นตอนการผลิต Slider (ต่อ)

กระบวนการ	รายละเอียด
MMX Row Bond	การติด Bar ด้าน Back Side บน Row Tool เพื่อเตรียม Bar ก่อนทำการตัด
MMX Wire Bond	การนำ Wire ที่ทำจากทองคำเชื่อมกับแผงวงจรถับ Slider เพื่อใช้เป็นตัวนำในการควบคุมค่า Resistance ในการขณะทำการ Lap
MMX Lapping	การ Lap หน้า ABS ให้ได้ค่า Throat Height ที่ถูกต้องทุกๆ Slider ตลอดทั้ง Bar และทำให้ผิวหน้า ABS เรียบเสมอกัน
MMX Debond & Clean	การแยก Bar ออกจาก Row Tool ด้วยน้ำยา NMP ที่อุณหภูมิ 80 degree C โดยล้างด้วยการสั่นสะเทือนของเครื่อง Ultrasonic
Pole Geometry (ROI)	การวัดขนาดของ Pole Tip ของ Slider บน Bar ด้วยกล้องขยายกำลังสูง
Bar Bond Fir Relief Cut	การติด Bar ด้วย Back Side ลงบน Pallet เพื่อเป็นการเตรียม Bar ก่อนกระบวนการ Relief Cut
Relief Cut Process	การเซาะ Bar ให้เป็นร่องระหว่างตัว Slider โดยใช้เครื่อง Dover
Bar Debond & Clean	การแยก Bar ที่ผ่านการเซาะร่องเรียบร้อยแล้วออกจาก Pallet ด้วยน้ำยา NMP ร้อนและเครื่อง Ultrasonic
Bar Level Kiss Lap	การขัดหน้า ABS เพื่อให้ได้ค่า Crown, Camber, Twist และค่า PTR ตามที่ต้องการ
FCA Coating Process	การเคลือบหน้า ABS ด้วยสาร Diamond like carbon เพื่อเคลือบ ผิวหน้า ABS ให้มีความแข็งแรงและมันวาว เพื่อให้ผิวหน้า ABS มีความแข็งแรงและทนทานต่อการกัดกร่อนเป็นสนิม
Bar Bonding (BOT)	การ Bond Bar ลงบน Tip ขนาด 3 นิ้วเพื่อเป็นการเตรียมงานก่อนที่จะเข้ากระบวนการ Photo
Encapsulation	การเตรียม Bar ก่อนทำการเคลือบ Film โดยการติด Slider Bar เข้ากับ Fixture และนำไปอบให้ติดกัน
Photo Spin Coat (DLC Pad)	การเคลือบหน้างานด้วยน้ำยา Photo Resist (Wet Film)

ตารางที่ 4.3 ขั้นตอนการผลิต Slider (ต่อ)

กระบวนการ	รายละเอียด
Wafer Issue	การ Load แผ่น Wafer ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้วเข้าสู่สายการผลิต
Wafer Preparation	การเตรียมแผ่น Wafer สำหรับขั้นตอน SHG
SHG Bar Production	ขั้นตอนการขัดแผ่น Wafer ออกเป็น Bar ด้วยเครื่อง SHG
SHG Bar Divide	ขั้นตอนการตัดแบ่ง Bar ที่ได้จาก SHG Process ออกเป็นส่วนขนาด 1.835 และ 1.704 นิ้ว
SHG Bar Cleaning	การทำความสะอาด Bar หลังจากทำการตัดแบ่งแล้ว
MMX Back Side Lab	ขั้นตอนการขัดด้าน Back Side ของ Wafer Bar เพื่อให้ได้ความหนาตาม Spec เสมอกัน
Magnetic Annealing	การอบเรียงสนามแม่เหล็กด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 240 degree F เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง
MMX Row Bond	การติด Bar ด้าน Back Side บน Row Tool เพื่อเตรียม Bar ก่อนทำการตัด
MMX Wire Bond	การนำ Wire ที่ทำจากทองคำเชื่อมกับแผงวงจรกับ Slider เพื่อใช้เป็นตัวนำในการควบคุมค่า Resistance ในการขณะทำการ Lap
MMX Lapping	การ Lap หน้า ABS ให้ได้ค่า Throat Height ที่ถูกต้องทุกๆ Slider ตลอดทั้ง Bar และทำให้ผิวหน้า ABS เรียบเสมอกัน
MMX Debond & Clean	การแยก Bar ออกจาก Row Tool ด้วยน้ำยา NMP ที่อุณหภูมิ 80 degree C โดยล้างด้วยการสั่นสะเทือนของเครื่อง Ultrasonic
Pole Geometry (ROI)	การวัดขนาดของ Pole Tip ของ Slider บน Bar ด้วยกล้องขยายกำลังสูง
Bar Bond Fir Relief Cut	การติด Bar ด้วย Back Side ลงบน Pallet เพื่อเป็นการเตรียม Bar ก่อนกระบวนการ Relief Cut
Relief Cut Process	การเซาะ Bar ให้เป็นร่องระหว่างตัว Slider โดยใช้เครื่อง Dover
Bar Debond & Clean	การแยก Bar ที่ผ่านการเซาะร่องเรียบร้อยแล้วออกจาก Pallet ด้วยน้ำยา NMP ร้อนและเครื่อง Ultrasonic
Bar Level Kiss Lap	การขัดหน้า ABS เพื่อให้ได้ค่า Crown, Camber, Twist และค่า PTR ตามที่ต้องการ

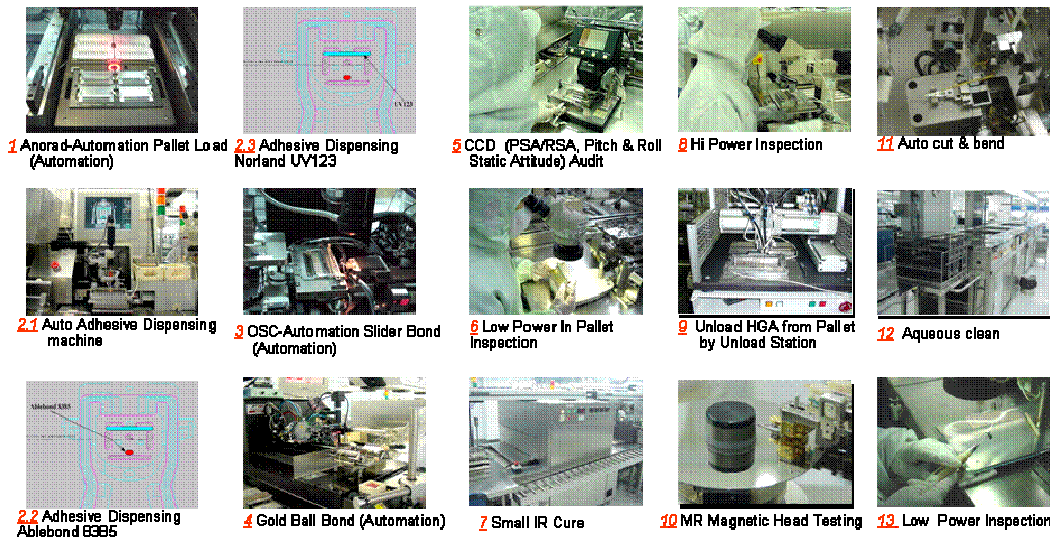
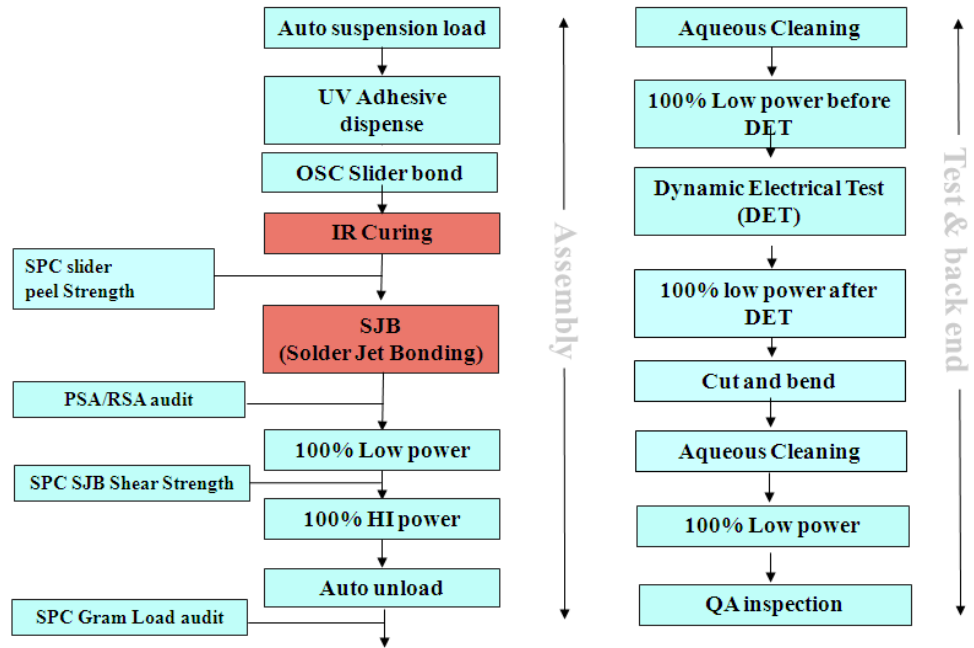
ตารางที่ 4.3 ขั้นตอนการผลิต Slider (ต่อ)

กระบวนการ	รายละเอียด
FCA Coating Process	การเคลือบหน้า ABS ด้วยสาร Diamond like carbon เพื่อเคลือบ ผิวหน้า ABS ให้มีความแข็งแรงและมันวาว เพื่อให้ผิวหน้า ABS มีความแข็งแรง และทนทานต่อการกัดกร่อนเป็นสนิม
Bar Bonding (BOT)	การ Bond Bar ลงบน Tip ขนาด 3 นิ้วเพื่อเป็นการเตรียมงานก่อนที่จะเข้า กระบวนการ Photo
Encapsulation	การเตรียม Bar ก่อนทำการเคลือบ Film โดยการติด Slider Bar เข้ากับ Fixture และนำไปอบให้ติดกัน
Photo Spin Coat (DLC Pad)	การเคลือบหน้างานด้วยน้ำยา Photo Resist (Wet Film)
Stepper Expose (DLC Pad)	การฉายแสงเพื่อ Mask หน้างานให้เป็นรูป DLC Landing Pad เป็นขั้นตอนที่ คล้ายกับการ Screen เลื่อ ทั้งนี้ส่วนที่โดนแสงจะถูกล้างออกไป เพื่อใช้ในการ ทำ DLC Pad
Photo Develop and Inspection	การล้าง Film ที่ต้องการ Coat Pad ออกพร้อมกับการตรวจสอบสกรปรก
DLC Coating Process	การเคลือบหน้า Landing Pad ด้วยสาร Diamond Like Carbon
Photo Spin Coat (Shallow)	การเคลือบหน้างานด้วยน้ำยา Photo Resist (Wet Film)
Stepper Expose	การฉายแสงเพื่อสร้างรูป ABS ลงหน้างาน
Photo Develop & Inspection	การล้าง Film ส่วนที่ไม่ต้องการออกและตรวจสอบสกรปรกโดยอาศัยกล้อง ขยายกำลังสูง
Reactive Ion Etching	การกัดกร่อนผิวหน้า ABS ให้เป็นไปตามรูปแบบและความลึกตามที่ออกแบบไว้
Re-deposition Removal	การล้างคราบสารเคมีตกค้างบริเวณ Etch Line
Photo Resist Strip	การล้างทำความสะอาด Film หรือสาร Photo Resist ที่เคลือบอยู่บนหน้างาน
Depth Zygo Measurement	การวัดความลึกของงานบริเวณที่ถูกกัดกร่อน
CD Measurement	วัด Dimension ของหน้า ABS ว่าได้ตามที่ระบุไว้หรือไม่

ตารางที่ 4.3 ขั้นตอนการผลิต Slider (ต่อ)

กระบวนการ	รายละเอียด
Tip Debond & Clean	การแยก Slider Bar ออกจาก Tip ก่อนทำการตัด Bar เป็นตัว slider
Wax Bonding Process	การติด Bar ลงบน Pallet ก่อนทำการตัด Bar ให้เป็นตัว slider
Precision Head Part	นำงานเข้าเครื่อง Dover หรือ MTI เพื่อทำการตัด Bar ให้เป็นตัว slider
Slider Debond	การแยก Slider ที่ถูกตัดแบ่งเรียบร้อยแล้วออกจาก Pallet
Graphic Tablet	การป้อนข้อมูลที่ระบุบน Wafer Map ที่แนบมากับใบ PT ตั้งแต่ขั้นตอนการทำ Wafer Issue
Robot Sort	การแยกงานคือออกจากงานเสียด้วยเครื่อง Robot
Magnetic Field Initialization	การจัดเรียง slider ก่อนทำการ Test ที่เครื่อง Quasi
Quasi Static Test (QST)	การตรวจสอบค่าที่เกี่ยวข้องทางไฟฟ้า เช่น ค่าความต้านทานไฟฟ้า, ขนาดของสัญญาณไฟฟ้าที่อ่านได้ เป็นต้น ก่อนทำการแยกงานเป็นหมวดหมู่ (Binning) โดยการแบ่งเกรดเป็น A, B, C เป็นต้น
Contour Measurement	ทดสอบค่า Contour เพื่อให้มั่นใจว่า Slider มีค่า Crown, Camber, Twist และค่า PTR
SA/A Prime	ทำความสะอาดตัว Slider ด้วยเครื่อง A-Prime ใช้ระบบความร้อนทำให้ระเหยเป็นไอ
Slider ABS Inspection	การตรวจสอบ slider ด้วยสายตาผ่านกล้องกำลังขยายสูง (Hi - power) เพื่อคัดแยกงานตัวที่มีตำหนิออก ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้จากการทำงานในขั้นตอนต่างๆ เช่น เกิดรอยร้าว, รอยบิ่นและคราบสกปรกต่างๆ
QA ABS & Depo Audit	การสุ่มตรวจด้วยกล้องกำลังขยายสูงอีกครั้ง

๗) กระบวนการผลิต Head Gimbals Assembly (HGA)



ภาพที่ 4.4 กระบวนการผลิตและตรวจสอบ HGA

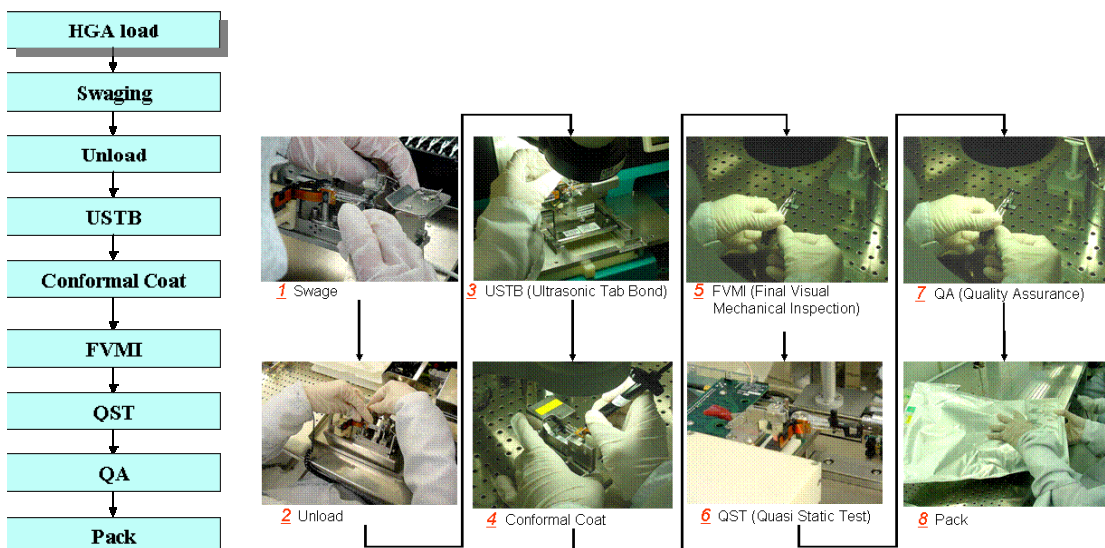
ตารางที่ 4.4 ขั้นตอนการผลิต HGA

กระบวนการ	รายละเอียด
Auto Suspension Load	การนำ Slider และ แขนจับ (Suspension) มาประกอบลงใน Fixture
UV Adhesive Dispense	การนำกาวมาเชื่อมระหว่าง Slider และ แขนจับ (Suspension)
IR Curing	การอบกาวให้แห้ง
SPC Slider Peel Strength	การสุ่มวัดความแข็งแรงของกาวที่ยึดเกาะระหว่าง Slider และ แขนจับ (Suspension)
SJB (Solder Jet Bonding)	
PSA/RSA Audit	การสุ่มตรวจค่า PSA และ RSA ว่าได้ตามที่กำหนดไว้หรือไม่
100%Lower Power	การตรวจด้วยกล้องขยายกำลังต่ำ
SPC SJB Shear Strength	
100%Hi Power	
Auto Unload	
SPC Gram Load Audit	
Aqueous Cleaning	นำชิ้นงานไปล้าง IPA เพื่อขจัดคราบสกปรกที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการ
100%Low Power before DET	การตรวจด้วยกล้องขยายกำลังต่ำก่อนนำเข้าทดสอบค่าทางไฟฟ้า
Dynamic Electrical Test	การทดสอบเกี่ยวกับคุณสมบัติทางด้านแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น ค่าขนาด สัญญาณไฟฟ้าที่อ่านได้จากการอ่านของหัวอ่านเขียน (Amplitude), ความสามารถในการเขียนข้อมูลใหม่ที่ทับข้อมูลเก่า (Overwrite), อัตราส่วนระหว่างค่าสัญญาณที่ต้องการกับสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio)
Cut and Bend	การตัดและตัดแขนจับ (Suspension) เพื่อใช้สำหรับขั้นตอนการประกอบให้อยู่ในรูป HSA
Aqueous Cleaning	นำชิ้นงานไปล้าง IPA เพื่อขจัดคราบสกปรกที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการต่างๆ

ตารางที่ 4.4 ขั้นตอนการผลิต HGA (ต่อ)

กระบวนการ	รายละเอียด
100%Low Power	การตรวจด้วยกล้องขยายกำลังต่ำ เพื่อตรวจหางานเสีย เช่น รอยขีดข่วน รอยร้าว การบิ่น
QA Inspection	การสุ่มตรวจก่อนส่งไปทำกระบวนการถัดไป โดยมีการตรวจระยะความสูงของหัวอ่านเขียนกับ Disk รวมอยู่ด้วย รวมทั้งเก็บรวบรวมแนวโน้มค่าความสามารถทางไฟฟ้า

ค) กระบวนการผลิต Head Stack Assembly (HSA)



ภาพที่ 4.5 กระบวนการผลิตและตรวจสอบ HAS

3) กระบวนการผลิตแผ่นบันทึกข้อมูล

แผ่นจานแม่เหล็กหรือแผ่นดิสก์ (Media) จะมีลักษณะเป็นแผ่นจานกลมๆ เคลือบสารแม่เหล็กวางซ้อนกันหลายๆชั้นโดยขึ้นอยู่กับรุ่นและความจุ มีช่องว่างระหว่างแผ่น สารแม่เหล็กที่จะถูกติดตั้งอยู่กับสถานะเป็น 0 และ 1 เพื่อจัดเก็บข้อมูล โดยจากแผ่นดิสก์ดังกล่าวจะถูกติดตั้งอยู่กับ Spindle Motor ซึ่งจะทำให้หน้าที่หมุนจานแม่เหล็ก ปกติแล้วฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แต่ละตัวจะมีแผ่นดิสก์ประมาณ 1-4 แผ่น แต่ละแผ่นก็จะเก็บข้อมูลได้ทั้งสองด้าน คุณสมบัติของแผ่นดิสก์เป็นสารแม่เหล็กที่คงสภาพแม่เหล็ก โดยสามารถเหนี่ยวนำทำให้เกิดการเปลี่ยนขั้วแม่เหล็กตามที่ต้องการได้ โดยจะต้องทนต่อสนามแม่เหล็กภายนอกที่มารบกวนได้ด้วย เช่น มอเตอร์, หม้อแปลง เป็นต้น แผ่นดิสก์จะต้องใช้สารแม่เหล็กที่มีค่าความต้านทานแม่เหล็กสูง

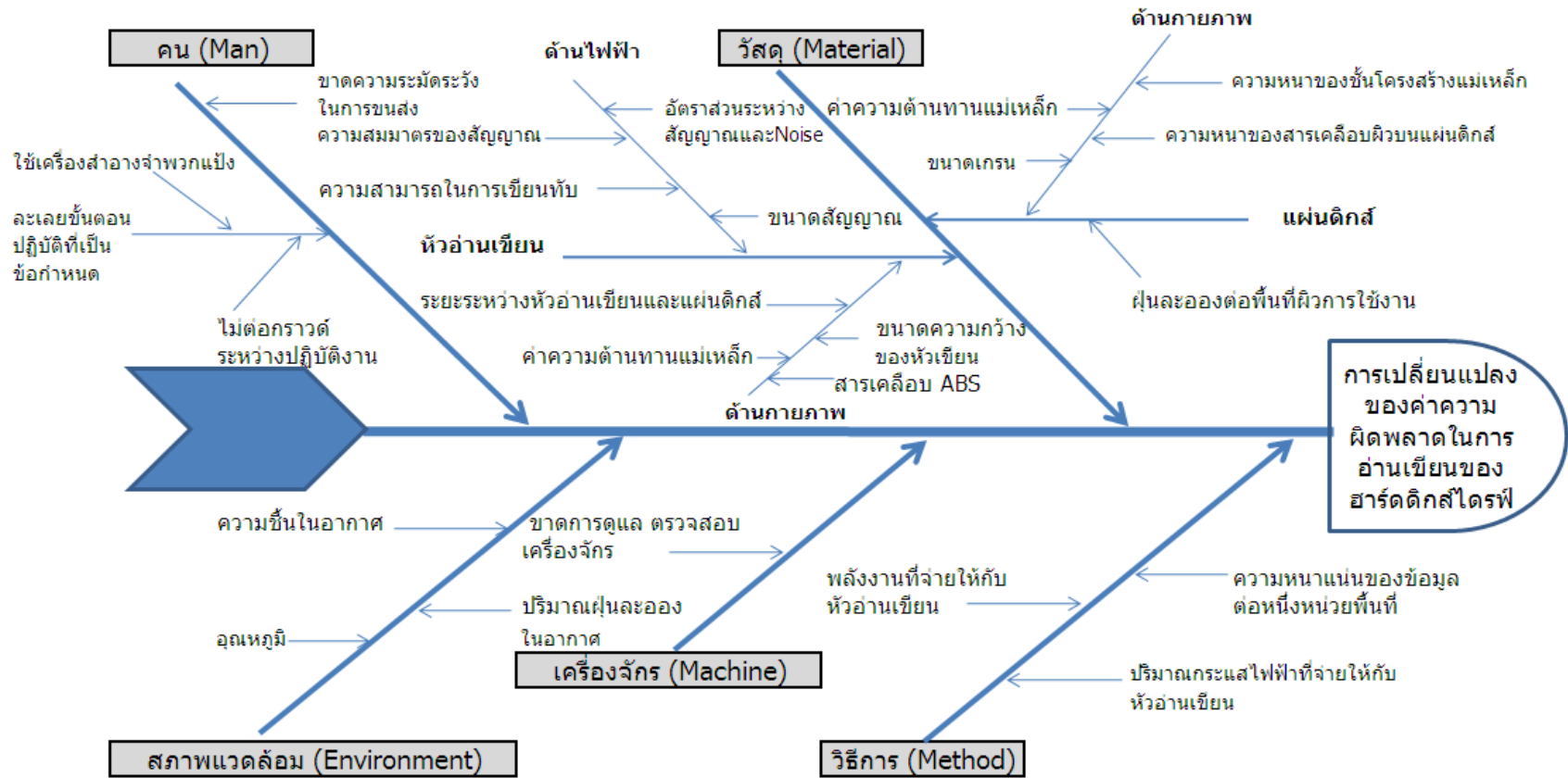
โดยชั้นโครงสร้างของแผ่นดิสก์มีดังต่อไปนี้ ชั้นฐาน (Substrate) คือวัสดุพื้นฐานที่เป็นโครงสร้างหลักของแผ่นดิสก์, ชั้นแม่เหล็ก (Magnetic Layer) จัดเป็นชั้นโครงสร้างที่มีความสำคัญมากเพราะมีผลกระทบโดยตรงในการเขียนอ่านบันทึกข้อมูลด้วยสัญญาณแม่เหล็กเพราะจะมีการเรียงตัวของเส้นแรงแม่เหล็กตามทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กจากหัวอ่านเขียนและชั้นสารเคลือบบนสุดของแผ่นดิสก์ (Over Coat) เป็นการเคลือบสารเพื่อช่วยยึดสารแม่เหล็กและลดการเสียดสี ป้องกันการขูดขีดที่อาจจะเกิดขึ้น โดยกระบวนการผลิตแผ่นดิสก์แสดงดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 กระบวนการผลิตและตรวจสอบ Media

ตารางที่ 4.5 ขั้นตอนการผลิตแผ่นบันทึกข้อมูล (Media)

กระบวนการ	รายละเอียด
Substrate	เป็นฐานรองแผ่นดิสก์ทำจากวัสดุที่มีความแข็งแรง ทนทานต่อการหมุนด้วยความเร็วสูง โดยมากทำจากอะลูมิเนียมหรือวัสดุที่มีส่วนประกอบของแก้ว
NiP Plating	การเคลือบผิวของฐานรองด้วยนิเกิลฟอสฟอรัส เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและทนต่อการกัดกร่อน สนิม
Polishing	การขัดผิวหน้าให้เรียบเพื่อให้หัวอ่านเขียนสามารถเข้าใกล้ได้มากขึ้น รวมทั้งการกำจัดคราบสกปรกต่างๆ
Texture	การใช้เลเซอร์ในการปรับพื้นผิวให้มีความละเอียด เพื่อปรับให้เกรนมีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบ
Cleaning	การทำความสะอาด กำจัดสิ่งสกปรกต่างๆให้หมดไป
Sputtering	การทำชั้นแม่เหล็ก (Magnetic layer) เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล และสารที่มีส่วนประกอบของคาร์บอน (Diamond Like Carbon) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับแผ่นดิสก์
Lube	การเคลือบผิวหน้าแผ่นดิสก์ด้วยสารหล่อลื่น (Lubricant) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับแผ่นดิสก์
UV Bonding	การฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต เพื่อให้สารหล่อลื่นเกาะตัวกัน
Tape Burnishing	การใช้เทปแปะลงบนแผ่นดิสก์และดึงออก เพื่อเป็นการกำจัดฝุ่นละอองที่อยู่บนแผ่นดิสก์ ตลอดจนลดแรงเสียดทานระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์
Final Test	ทำการสุ่มตรวจค่าความสามารถทางแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น ขนาดของสัญญาณที่บันทึกได้ เป็นต้น

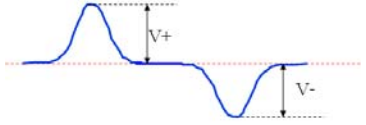


ภาพที่ 4.7 ปัจจัยเบื้องต้นที่ได้จากระดมความคิดจากผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 4.6 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากวัสดุคิบบ (Material)

ปัจจัยเบื้องต้นจากวัสดุคิบบ (Material)	หน้าที่และรายละเอียด
ค่าความหนาของสารเคลือบ หัวอ่านเขียน (Diamond Like Carbon Thickness / 17 – 25 A)	<ul style="list-style-type: none"> - เพื่อป้องกันผิวหน้าของหัวอ่านเขียนไม่ให้ได้รับความเสียหาย - โดยความหนาของสารเคลือบจะมีผลต่อสัญญาณที่อ่านเขียนได้จากหัวอ่าน กล่าวคือความหนาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้มีขนาดของสัญญาณที่ได้ลดลงดังนั้นจึงต้องหาค่าขนาดความหนาที่เหมาะสม โดยความหนาน้อยเกินไปก็จะทำให้หัวอ่านเขียนไม่มีเสถียรภาพและมีโอกาสได้รับความเสียหายได้ง่าย
ค่าความหนาของสารเคลือบผิวบน แผ่นดิสก์ (Over Coat Thickness / 20 – 25 A)	<ul style="list-style-type: none"> - เพื่อป้องกันผิวส่วนหน้าสุดของแผ่นดิสก์ไม่ให้เสียหายจากรอยขีดข่วนที่มาจากฝุ่น - ความหนาของสารเคลือบแผ่นดิสก์จะมีผลต่อสัญญาณที่อ่านเขียนได้จากหัวอ่าน กล่าวคือความหนาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้มีขนาดของสัญญาณที่ลดลงดังนั้นจึงต้องหาค่าขนาดความหนาที่เหมาะสม
ค่าความหนาของชั้นโครงสร้าง แม่เหล็กของแผ่นดิสก์ (Magnetic Layer Thickness)	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นชั้น โครงสร้างที่ใช้ในการการบันทึกข้อมูลของแผ่นดิสก์ โดยขนาดของสัญญาณที่อ่านเขียนได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนาของชั้นแม่เหล็ก - ทั้งนี้ความหนาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้การเรียงตัวของเกรนมีแบบแผนที่น้อยลง ทำให้ทิศทางของแม่เหล็กที่ได้มีทิศทางที่ไม่เป็นแบบแผนเพิ่มขึ้น
ขนาดเกรนของชั้นแม่เหล็กของ แผ่นดิสก์ (Grain Size)	<ul style="list-style-type: none"> - ขนาดเกรนจะส่งผลโดยตรงกับพื้นที่ข้อมูลบนแผ่นดิสก์ โดยขนาดเกรนที่ลดลงจะทำให้ค่าความต้านทานแม่เหล็กเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ความต้านทานต่อสัญญาณรบกวนดีขึ้น - ในทางกลับกันขนาดเกรนที่ลดลงจะทำให้สูญเสียเสถียรภาพเชิงความร้อน กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ทิศทางของสนามแม่เหล็กไม่เป็นแบบแผนตามต้องการ

ตารางที่ 4.6 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากวัสดุคิบบ (Material) (ต่อ)

ปัจจัยเบื้องต้นจากวัสดุคิบบ (Material)	หน้าที่และรายละเอียด
ระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นคิบบ (Head and Media Spacing / 1.3 – 2.7 nm)	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นคิบบ โดยระยะห่างนี้โดยปกติมีค่าอยู่ในระดับนาโนเมตร ทั้งนี้ค่าดังกล่าวไม่ควรมีค่าสูงหรือต่ำเกินไป - กรณีที่มีค่าสูงเกินไปจะทำให้ขนาดสัญญาณที่อ่านเขียนได้ลดลง - ส่วนในกรณีมีขนาดต่ำเกินไปจะทำให้หัวอ่านเขียนมีโอกาสชนกับแผ่นคิบบทำให้เกิดความเสียหายได้ง่าย
ขนาดความกว้างของหัวเขียน (Magnetic Write Width / 2.8 – 5.2 mm)	<ul style="list-style-type: none"> - ขนาดหัวเขียนที่กว้างขึ้นจะทำให้ขนาดของสัญญาณที่ได้จากการเขียนมีขนาดที่สูงขึ้นตามลำดับ แต่จะทำให้ความกว้างของแทร็คข้อมูลมีขนาดใหญ่ทำให้มีเนื้อที่ในการเก็บข้อมูลลดลง
ขนาดสัญญาณของหัวอ่านเขียน (Track Average Amplitude / 2.5 mV min.)	<ul style="list-style-type: none"> - ค่าขนาดสัญญาณไฟฟ้าที่อ่านได้จากการอ่านของหัวอ่านเขียน โดยได้จากผลรวมขนาดสัญญาณด้านบวกและขนาดสัญญาณไฟฟ้าด้านลบ 
ความสมมาตรของสัญญาณที่ได้หัวอ่านเขียน (Track Average Amplitude – Asymmetry / within + 24%)	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นค่าความสมมาตรของขนาดสัญญาณที่วัดได้จากด้านบวกและด้านลบของรูปสัญญาณ $AASM (\%) = \left(\frac{A_p - A_n}{A_p + A_n} \right) \times 100$
ค่าความสามารถในการเขียนข้อมูลใหม่ทับข้อมูลเก่า (Overwrite / 26dB min.)	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นค่าความสามารถของหัวอ่านเขียนในการเขียนข้อมูลใหม่ทับข้อมูลเก่า ทั้งนี้สามารถหาได้จาก $\text{Overwrite (dB)} = 20 \log \left(\frac{A1(\text{HFTAA after overwrite})}{A2(\text{LFTAA before overwrite})} \right)$

ตารางที่ 4.6 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากวัสดุคิป (Material) (ต่อ)

ปัจจัยเบื้องต้นจากวัสดุคิป (Material)	หน้าที่และรายละเอียด
อัตราส่วนระหว่างค่าสัญญาณที่ ต้องการกับสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio / 10 mV/mV min.)	- เป็นค่าสัญญาณทางไฟฟ้าระหว่างค่าสัญญาณที่อ่านได้เทียบกับ ขนาดของสัญญาณรบกวนซึ่งสามารถหาได้จาก $SNR = 20 \log \left(\frac{HFTAA (p-p)}{V(\text{noise RMS})} \right)$
ค่าความต้านทานแม่เหล็กของ หัวอ่านเขียน (Coercivity: Hc)	- ค่า Coercivity หรือค่าความต้านทานแม่เหล็กของหัวอ่านเขียน โดย หลักการแล้วควรมีค่าต่ำเพื่อให้สามารถเปลี่ยนแปลงทิศทางของ สนามแม่เหล็กได้ง่าย
ค่าความต้านทานแม่เหล็กของ แผ่นดิสก์ (Coercivity: Hc)	- ค่า Coercivity หรือค่าความต้านทานแม่เหล็กของแผ่นดิสก์ โดยค่า ดังกล่าวควรมีค่าสูงในขนาดที่เหมาะสมเพื่อป้องกันไม่ให้สัญญาณ แม่เหล็กจากภายนอกเข้ามารบกวนได้ แต่ไม่ควรมีค่าสูงจนเกินไปทำ ให้หัวอ่านเขียนไม่สามารถเปลี่ยนทิศทางของขั้วแม่เหล็กได้
จำนวนฝุ่นละอองต่อพื้นที่ผิวการ ใช้งานของแผ่นดิสก์ (Particle / 500 count Max.)	- ค่าปริมาณฝุ่นละอองต่อหนึ่งพื้นที่ผิวของแผ่นดิสก์ ไม่ควรมีค่ามาก เกินไป เพราะมีโอกาสจะทำให้เกิดความเสียหายต่อหัวอ่านเขียน อีก ทั้งพื้นที่การใช้งานรวมบนแผ่นดิสก์จะน้อยลงตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากวิธีการ (Method)

ปัจจัยเบื้องต้นจากวิธีการ (Method)	หน้าที่และรายละเอียด
พลังงานที่จ่ายให้กับตัวทำความ ร้อนของหัวอ่านเขียน (Touchdown Power)	- เป็นพลังงานที่จ่ายให้กับหัวอ่านเขียน เพื่อทำให้ระยะห่างระหว่าง หัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ใกล้กันมากขึ้น

ตารางที่ 4.7 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากวิธีการ (Method) (ต่อ)

ปัจจัยเบื้องต้นจากวิธีการ (Method)	หน้าที่และรายละเอียด
ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหัวอ่านเขียนระหว่างทำการเขียนข้อมูล (Write Current)	<ul style="list-style-type: none"> - ปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ใส่ให้กับหัวอ่านเขียนเพื่อใช้ในการเขียนสัญญาณ - การเพิ่มปริมาณกระแสไฟฟ้าจะทำให้ขนาดแม่เหล็กไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเพื่อเหนี่ยวนำให้ทิศทางแม่เหล็กของแผ่นดิสก์เป็นไปในทิศทางที่ต้องการ - การเพิ่มกระแสไฟฟ้าที่มากเกินไปจะทำให้หัวอ่านเขียนมีเสถียรภาพที่ลดลงในระยะยาวและโอกาสที่จะเขียนข้อมูลทับข้อมูลแทร็คด้านข้างซึ่งไม่ใช่แทร็คที่ต้องการจะสูงขึ้นตามลำดับ
ความหนาแน่นของข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Bit per Inch)	<ul style="list-style-type: none"> - ปริมาณความหนาแน่นของข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เก็บข้อมูลตามรัศมีของแผ่นดิสก์

ตารางที่ 4.8 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากคน (Man)

ปัจจัยเบื้องต้นจากคน (Man)	หน้าที่และรายละเอียด
- ขั้นตอนการขนส่งฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ขาดความระมัดระวัง	- โอกาสทำให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เสียหายเนื่องจากการกระทบกระเทือนหรือหัวอ่านเขียนไปกระทบกับแผ่นดิสก์ทำให้ไม่สามารถอ่านเขียนสัญญาณได้
- การแอบใช้เครื่องสำอางจำพวกแป้ง ซึ่งถือเป็นฝุ่นละอองในสายการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	- โอกาสที่จะทำให้เกิดฝุ่นละอองในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำให้หัวอ่านเขียนมีโอกาสได้รับความเสียหายและประสิทธิภาพการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ลดลง
- ละเลยข้อปฏิบัติการต่อกราวด์ในสายการผลิต	- มีโอกาสก่อให้เกิดการถ่ายเทไฟฟ้าสถิตทำให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เสียหาย หรือหัวอ่านเขียนไม่สามารถทำงานได้

ตารางที่ 4.9 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากเครื่องจักร (Machine)

ปัจจัยเบื้องต้นจากเครื่องจักร (Machine)	หน้าที่และรายละเอียด
สายการผลิตในขั้นตอนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	- โอกาสทำให้แผ่นดิสก์ที่ประกอบเอียงไม่ได้ระนาบ หรือเกิดการสั้นของแผ่นดิสก์ระหว่างที่มอเตอร์หมุนซึ่งส่งผลต่อการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
เครื่องทดสอบฟังก์ชันการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Xcalibre Tester)	- ไม่สามารถทดสอบฟังก์ชันการทำงานได้ตามต้องการ ทั้งนี้เนื่องมาจากขาดการดูแล ตรวจสอบจากผู้ที่เกี่ยวข้อง
รุ่นเครื่องที่ใช้ในการผลิตแผ่นดิสก์ (Sputtering Machine)	- เครื่องที่ใช้ในกระบวนการผลิตแผ่นดิสก์มี 2 รุ่น ได้แก่ รุ่น Anelva 3010 และ Anelva 3040 โดยข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างทั้งสองรุ่น ได้แก่ Anelva 3040 จะมีกำลังในการผลิตมากกว่าเป็น 2 เท่า

ตารางที่ 4.10 ปัจจัยเบื้องต้นที่มาจากสิ่งแวดล้อม (Environment)

ปัจจัยเบื้องต้นจากสิ่งแวดล้อม (Environment)	หน้าที่และรายละเอียด
อุณหภูมิ (Temperature)	- อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้การเขียนข้อมูลลงบนแผ่นดิสก์ได้ง่ายขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าความต้านแม่เหล็กลดลง ในขณะที่เดียวกันก็มีโอกาสทำให้การทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีประสิทธิภาพลดลง
ค่าความชื้นในอากาศ (Humidity)	- ค่าความชื้นในอากาศที่มากเกินไป มีโอกาสทำให้เกิดการกัดกร่อนต่อหัวอ่านเขียนได้เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีส่วนผสมของโลหะผสมที่เกิดสนิมได้ง่าย
ปริมาณฝุ่นละอองในอากาศในสายการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	- โอกาสที่จะทำให้เกิดฝุ่นละอองในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำให้หัวอ่านเขียนมีโอกาสได้รับความเสียหายและประสิทธิภาพการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ลดลง

4.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R)

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้แก่เครื่อง Xcalibre ซึ่งจะทำการทดสอบหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการประกอบชิ้นส่วนต่างๆในห้องควบคุมปริมาณฝุ่นละออง (Clean Room) โดยการทดสอบหาค่าความแม่นยำของระบบสามารถกระทำดังต่อไปนี้

- 1) พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดความแม่นยำมี 3 ตัวได้แก่ ค่าความผิดพลาดเบื้องต้น, ค่าความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 25 และ 55 องศาเซลเซียส
- 2) คัดเลือกฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จำนวน 10 ตัว ที่มีอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนครอบคลุมค่าต่ำสุดตลอดจนถึงค่าสูงสุด
- 3) เครื่อง Xcalibre ที่ใช้ในการทดสอบมี 2 ตัว ได้แก่เครื่องที่ 2003 และ 2004 โดยการทดสอบแต่ละครั้งจะกินเวลาประมาณ 1 วัน
- 4) จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แต่ละตัวเท่ากับ 2 ครั้งของการทดสอบในแต่ละเครื่อง Xcalibre

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของเครื่อง Xcalibre ต่ออัตราความผิดพลาดเบื้องต้นของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Initial Bit Error Rate)

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Drive Serial	19	170.376	8.96718	5747.46	0.000
Xcal Tester	1	0.002	0.00153	0.98	0.334
Drive Serial * Xcal Tester	19	0.030	0.00156	5.50	0.000
Repeatability	40	0.011	0.00028		
Total	79	170.419			

พิจารณาค่า P-Value จะเห็นได้ว่าเครื่อง Xcalibre ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความผิดพลาดเบื้องต้น (Initial Bit Error Rate) ที่นัยสำคัญ α เท่ากับ 0.05

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของเครื่อง Xcalicre ต่ออัตราความผิดพลาดเบื้องต้นของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Initial Bit Error Rate)

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.00092	0.04
Repeatability	0.00028	0.01
Reproducibility	0.00064	0.03
Xcal Tester	0.00000	0.00
Xcal Tester*Drive Serial	0.00064	0.03
Part-To-Part	2.24140	99.96
Total Variation	2.24233	100.00

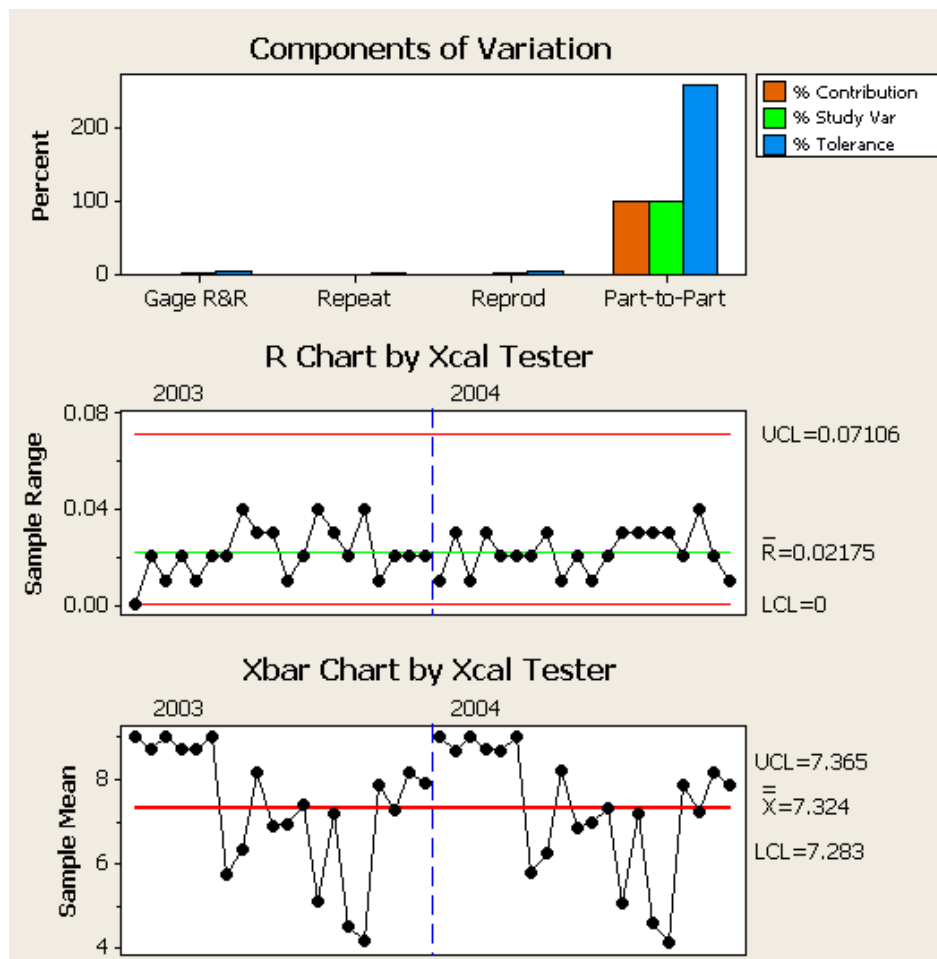
Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SU)	%Tolerance (SU/Toler)
Total Gage R&R	0.03036	0.15637	2.03	5.21
Repeatability	0.01684	0.08675	1.12	2.89
Reproducibility	0.02526	0.13010	1.69	4.34
Xcal Tester	0.00000	0.00000	0.00	0.00
Xcal Tester*Drive Serial	0.02526	0.13010	1.69	4.34
Part-To-Part	1.49713	7.71023	99.98	257.01
Total Variation	1.49744	7.71182	100.00	257.06

Number of Distinct Categories = 69

Gage R&R for Initial BER

จากค่า Number of Distinct Categories ซึ่งเท่ากับ 69 ทำให้สรุปได้ว่าระบบการวัดนี้มีความสามารถในการแยกแยะความแตกต่างของค่าความผิดพลาดเบื้องต้น (Initial Bit Error Rate) ได้ดี

โดยผลจากการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ %P/TV มีค่าเท่ากับ 5.21% แสดงว่าระบบการวัดมีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดี



ภาพที่ 4.8 แผนภาพการประเมินความผันแปรของเครื่อง Xcalibre
ต่ออัตราความผิดพลาดเบื้องต้นของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของเครื่อง Xcalibre ต่ออัตราความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Drive Serial	19	42.2754	2.22502	3003.85	0.000
Xcal Tester	1	0.0001	0.00010	0.14	0.716
Drive Serial * Xcal Tester	19	0.0141	0.00074	3.04	0.002
Repeatability	40	0.0097	0.00024		
Total	79	42.2994			

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของเครื่อง Xcalibre ต่ออัตราความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

Gage R&R

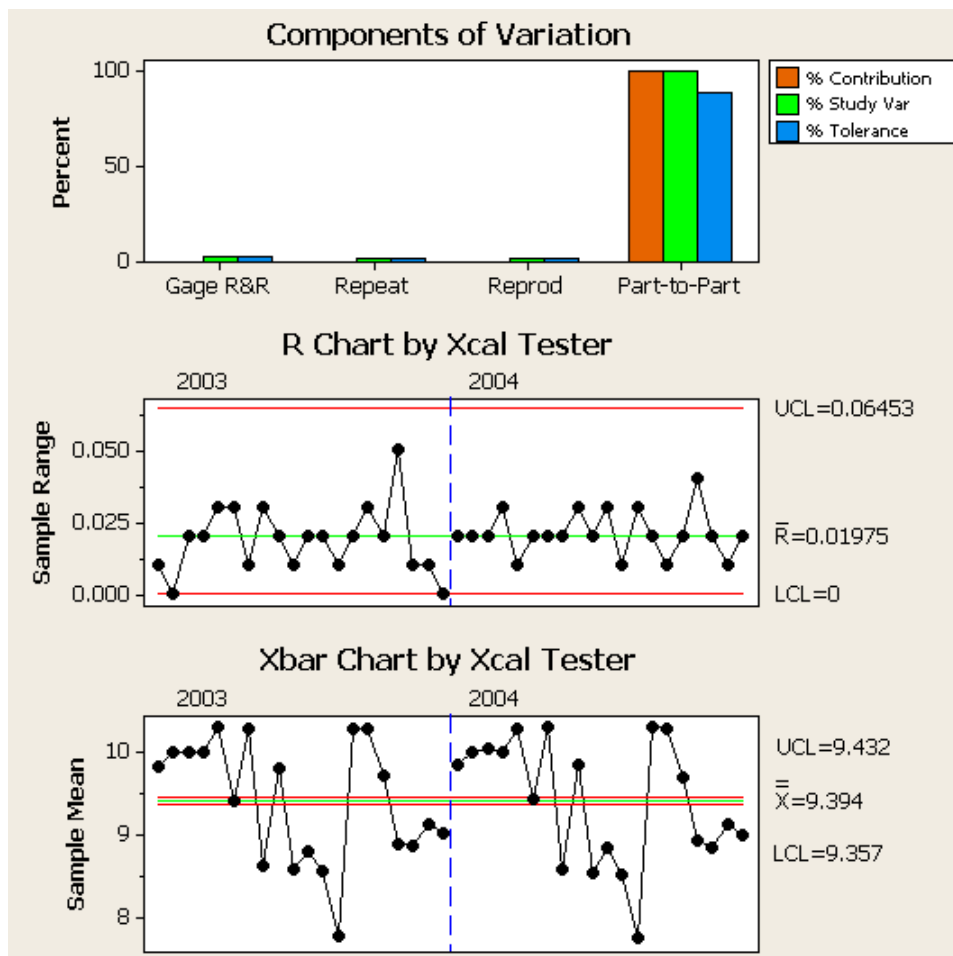
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.000492	0.09
Repeatability	0.000244	0.04
Reproducibility	0.000248	0.04
Xcal Tester	0.000000	0.00
Xcal Tester*Drive Serial	0.000248	0.04
Part-To-Part	0.556071	99.91
Total Variation	0.556563	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SU)	%Tolerance (SU/Toler)
Total Gage R&R	0.022186	0.11426	2.97	2.66
Repeatability	0.015612	0.08040	2.09	1.87
Reproducibility	0.015763	0.08118	2.11	1.89
Xcal Tester	0.000000	0.00000	0.00	0.00
Xcal Tester*Drive Serial	0.015763	0.08118	2.11	1.89
Part-To-Part	0.745701	3.84036	99.96	89.31
Total Variation	0.746031	3.84206	100.00	89.35

Number of Distinct Categories = 47

Gage R&R for BER @ 25 C

พิจารณาค่า P-Value จะเห็นว่าเครื่อง Xcalibre ไม่มีอิทธิพลต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่นัยสำคัญ α เท่ากับ 0.05



ภาพที่ 4.9 แผนภาพการประเมินความผันแปรของเครื่อง Xcalibre
 ต่ออัตราความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

จากค่า Number of Distinct Categories ซึ่งเท่ากับ 47 ทำให้สรุปได้ว่าระบบการวัดนี้มีความสามารถในการแยกแยะความแตกต่างของอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสได้ดี โดยผลจากการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ %P/TV มีค่าเท่ากับ 2.66% แสดงว่าระบบการวัดมีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดี

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของเครื่อง Xcalibre ต่ออัตราความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Drive Serial	19	42.7624	2.25065	1243.09	0.000
Xcal Tester	1	0.0005	0.00050	0.28	0.605
Drive Serial * Xcal Tester	19	0.0344	0.00181	7.39	0.000
Repeatability	40	0.0098	0.00025		
Total	79	42.8071			

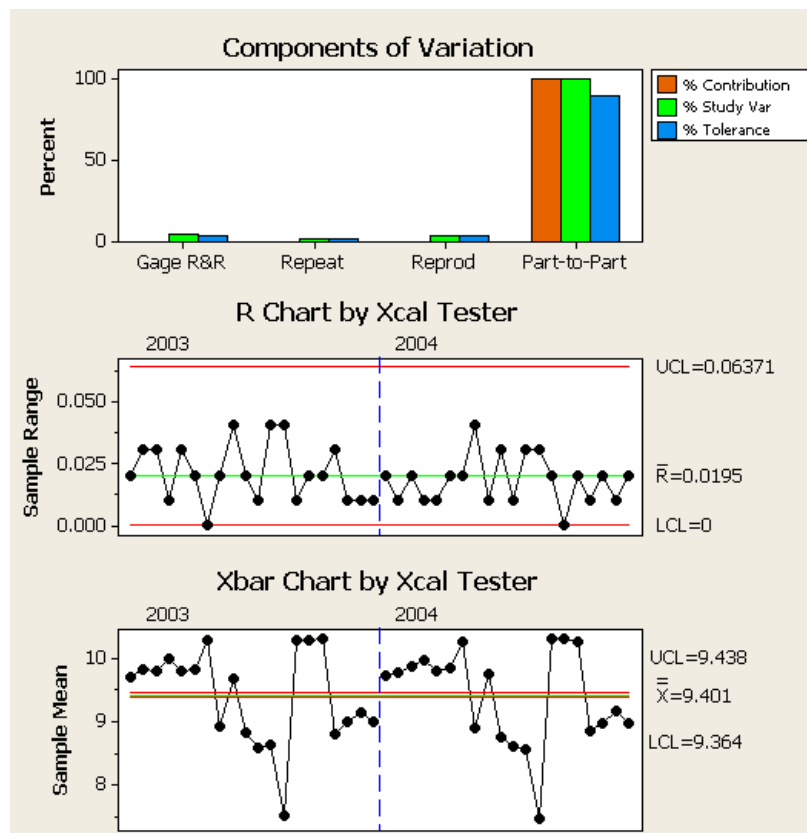
Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.001028	0.18
Repeatability	0.000245	0.04
Reproducibility	0.000783	0.14
Xcal Tester	0.000000	0.00
Xcal Tester*Drive Serial	0.000783	0.14
Part-To-Part	0.562211	99.82
Total Variation	0.563239	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SU)	%Tolerance (SU/Toler)
Total Gage R&R	0.032059	0.16510	4.27	3.84
Repeatability	0.015652	0.08061	2.09	1.87
Reproducibility	0.027978	0.14409	3.73	3.35
Xcal Tester	0.000000	0.00000	0.00	0.00
Xcal Tester*Drive Serial	0.027978	0.14409	3.73	3.35
Part-To-Part	0.749807	3.86151	99.91	89.80
Total Variation	0.750492	3.86503	100.00	89.88

Number of Distinct Categories = 32

พิจารณาค่า P-Value จะเห็นว่าเครื่อง Xcalibre ไม่มีอิทธิพลต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ที่นัยสำคัญ α เท่ากับ 0.05



ภาพที่ 4.10 แผนภาพการประเมินความผันแปรของเครื่อง Xcalibre
ต่ออัตราความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

จากค่า Number of Distinct Categories ซึ่งเท่ากับ 32 ทำให้สรุปได้ว่าระบบการวัดนี้มีความสามารถในการแยกแยะ ความแตกต่างของอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสได้ดี โดยผลจากการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ %P/TV มีค่าเท่ากับ 3.84% แสดงว่าระบบการวัดมีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดี

บทที่ 5

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา โดยอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลการผลิต รวมทั้งการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) เพื่อค้นหาปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

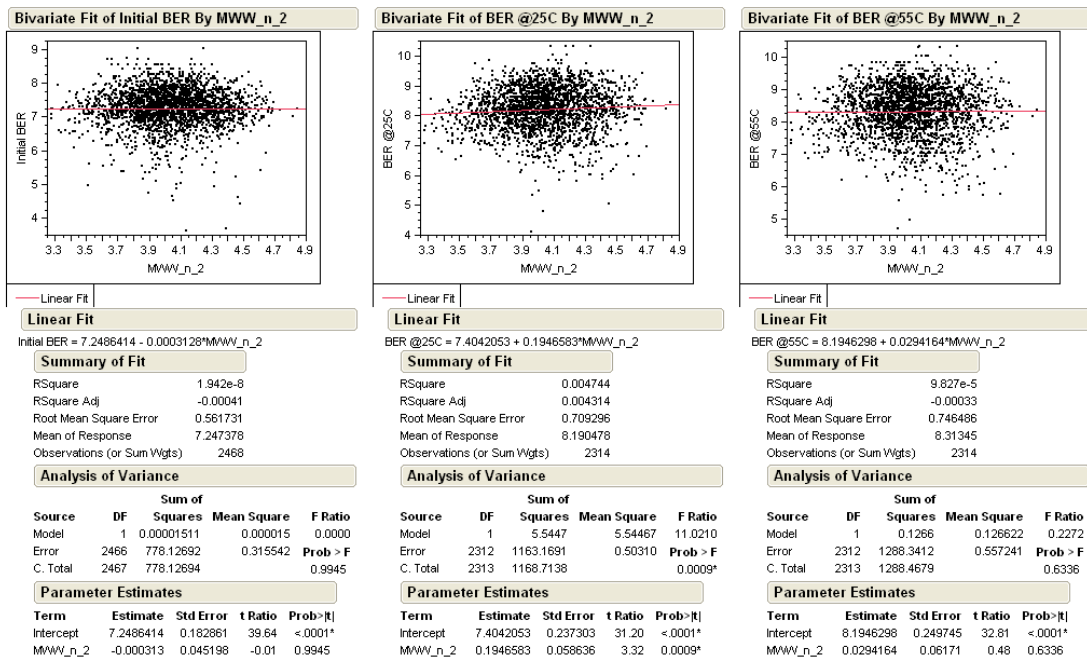
5.1 การศึกษาข้อมูลการผลิตในอดีตเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่นำเข้าในการทดลอง

ทำการศึกษาข้อมูลการผลิตในอดีต (Passive Analysis) ของผลิตภัณฑ์รุ่นดังกล่าว ที่ขนาดความจุ 500GB ที่ความเร็ว 7,200 รอบต่อนาที โดยนำเอาใช้การทดสอบความแปรปรวน (Anova), การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) มาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อคัดกรองปัจจัยเบื้องต้นจำนวน 25 ปัจจัยที่ไม่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองทั้ง 3 ตัว ได้แก่ อัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เบื้องต้น (Initial Bit Error Rate), อัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (Bit Error Rate @ 25 °C) และอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (Bit Error Rate @ 55 °C) อย่างมีนัยสำคัญออก

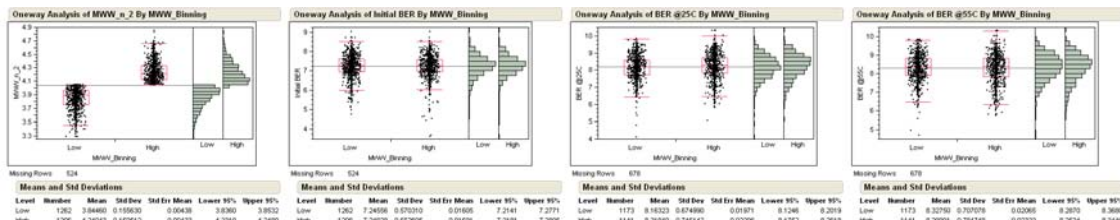
1) ขนาดความกว้างของหัวเขียน (Magnetic Write Width)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตในอดีต โดยที่แกน Y เป็นค่าความผิดพลาดการอ่านเขียนเบื้องต้น (Initial BER), ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการทดสอบที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส (BER @25 °C and BER @55 °C) ตามลำดับ แกน X คือค่าความกว้างของหัวอ่านเขียน หน่วยเป็นไมโครนิ้ว

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแกน X และ Y จะเห็นได้ว่าค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 อีกทั้งการทดสอบโดยการแบ่งขนาดความกว้างหัวอ่านเขียนเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกคือกลุ่มที่มีค่าระหว่าง 3.28 – 4.03 ไมโครนิ้ว และกลุ่มที่สองมีค่าระหว่าง 4.04 – 4.85 ไมโครนิ้ว ให้ค่าความผิดพลาดที่แตกต่างกันน้อยกว่า 0.3 orders จึงสรุปได้ว่าขนาดความกว้างของหัวอ่านเขียนไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนและขนาดความกว้างของหัวเขียน

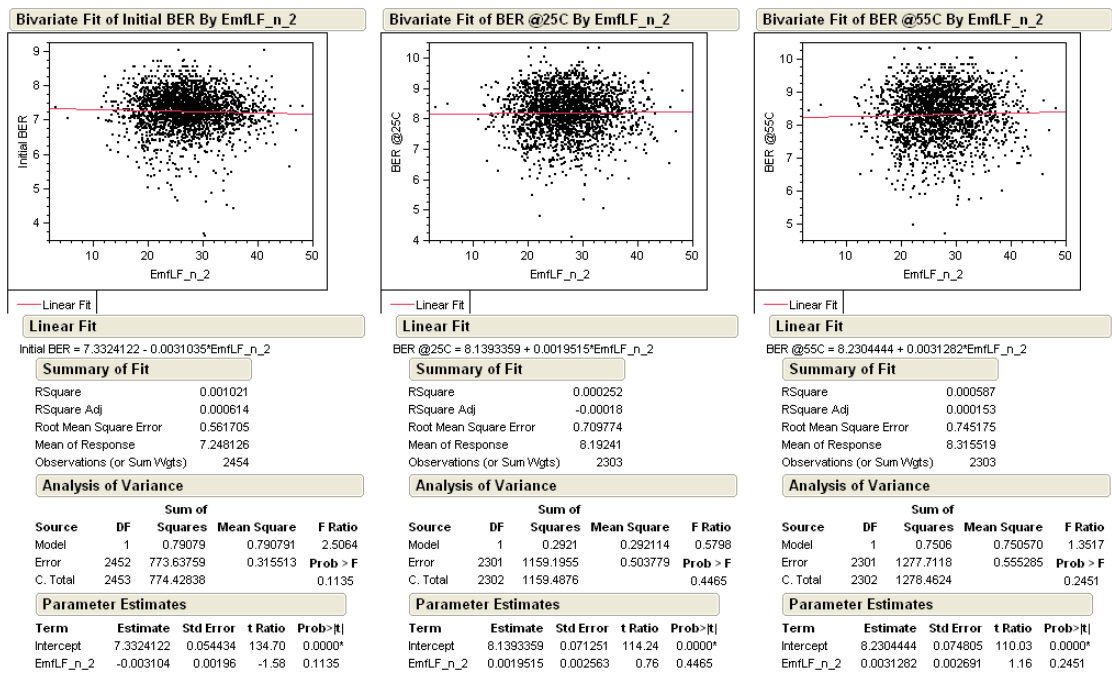


ภาพที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนและกลุ่มขนาดความกว้างของหัวเขียนด้านสูงและต่ำ

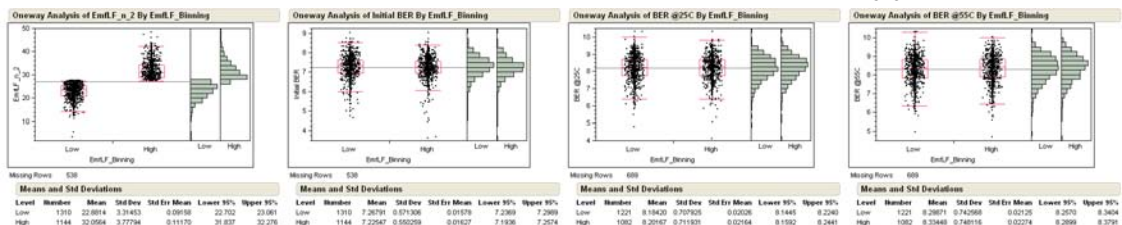
2) ขนาดสัญญาณของหัวอ่านเขียน (Track Average Amplitude)

ค่าขนาดสัญญาณไฟฟ้าที่อ่านได้จากการอ่านของหัวอ่านเขียน โดยได้จากผลรวมขนาดสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าด้านบวกและด้านลบ จากการศึกษาค้นคว้าในอดีต โดยให้แกน Y เป็นค่าความผิดพลาดการอ่านเขียนเบื้องต้น (Initial BER), ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการทดสอบที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส (BER @25 °C and BER @55 °C) ตามลำดับ แกน X คือค่าขนาดสัญญาณมีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแกน X และ Y จะเห็นได้ว่าค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 อีกทั้งการทดสอบโดยการแบ่งขนาดความกว้างหัวอ่านเขียนเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกคือกลุ่มที่มีค่าต่ำระหว่าง 11.08 – 27.33 มิลลิโวลต์ และกลุ่มที่สองมีค่าสูงระหว่าง 27.34 – 48.24 มิลลิโวลต์ ให้ค่าความผิดพลาดที่แตกต่างกันน้อยกว่า 0.3 orders จึงสรุปได้ว่าขนาดสัญญาณที่ได้จากหัวอ่านเขียนไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนและขนาดสัญญาณของหัวอ่านเขียน

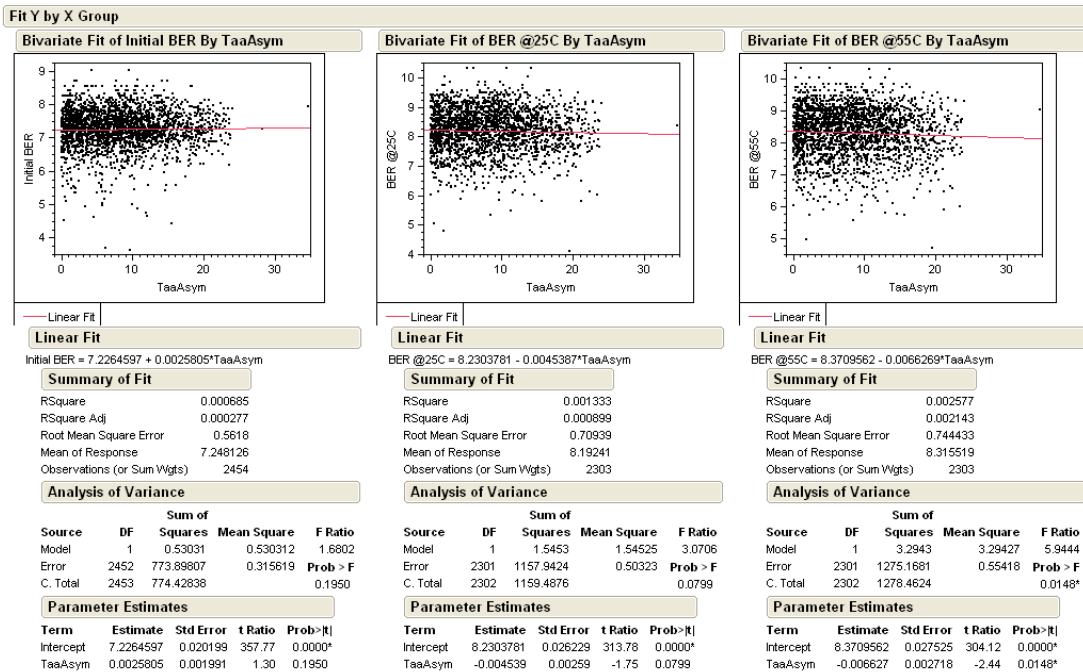


ภาพที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนและกลุ่มขนาดสัญญาณของหัวอ่านเขียนด้านสูงและต่ำ

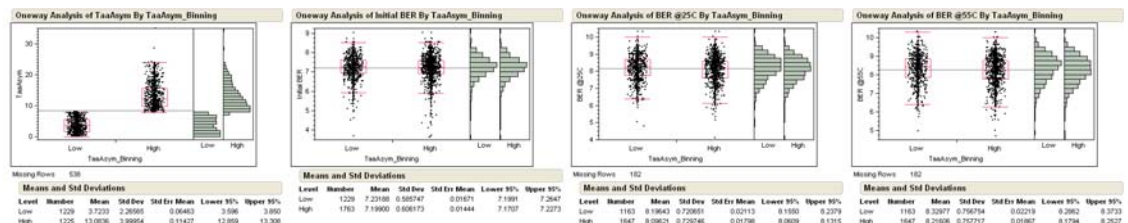
3) ความสมมาตรของสัญญาณที่ได้หัวอ่านเขียน (Track Average Amplitude Asymmetry)

เป็นค่าความสมมาตรของขนาดสัญญาณที่วัดได้จากด้านบวกและด้านลบของรูปสัญญาณ จากการศึกษาข้อมูลในอดีตโดยให้แกน Y เป็นค่าความผิดพลาดการอ่านเขียนเบื้องต้น (Initial BER), ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการทดสอบที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส (BER @25 °C and BER @55 °C) ตามลำดับ ส่วนแกน X คือค่าความสมมาตรของสัญญาณมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแกน X และ Y จะเห็นได้ว่าค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 อีกทั้งการทดสอบโดยการแบ่งขนาดความสมมาตรของสัญญาณเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกคือกลุ่มที่มีค่าระหว่าง 0 - 7.71 เปอร์เซ็นต์และกลุ่มที่สองมีค่าระหว่าง 7.72 - 34.72 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าความผิดพลาดที่แตกต่างกันน้อยกว่า 0.3 orders จึงสรุปได้ว่าขนาดความสมมาตรของสัญญาณที่ได้จากหัวอ่านเขียนไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อย่างมีนัยสำคัญ



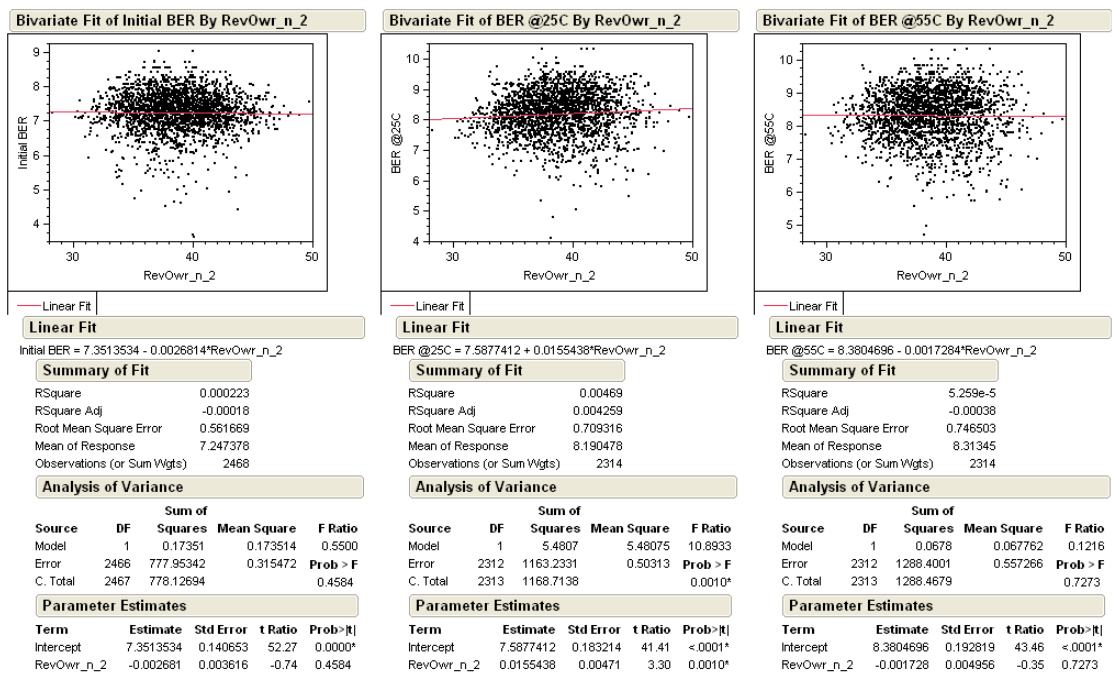
ภาพที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนและขนาดความสมมาตรของสัญญาณ



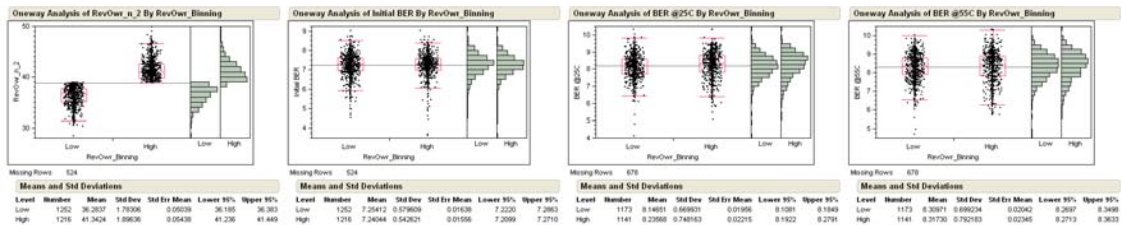
ภาพที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนและกลุ่มขนาดความสมมาตรของสัญญาณด้านสูงและต่ำ

4) ค่าความสามารถในการเขียนข้อมูลใหม่ทับข้อมูลเก่า (Overwrite)

เป็นค่าความสามารถของหัวอ่านเขียนในการเขียนข้อมูลใหม่ทับข้อมูลเก่า หรือเป็นสัดส่วนระหว่างขนาดของสัญญาณที่ได้จากการเขียนล่าสุดและสัญญาณที่เขียนเริ่มต้น จากการศึกษาคือข้อมูลในอดีตของผลิตภัณฑ์ โดยให้แกน Y เป็นค่าความผิดพลาดการอ่านเขียนเบื้องต้น (Initial BER), ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการทดสอบที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส (BER @25 °C and BER @55 °C) ตามลำดับ ส่วนแกน X คือค่าความสามารถในการเขียนที่มีหน่วยเป็นเดซิเบล จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแกน X และ Y จะเห็นได้ว่าค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 อีกทั้งการทดสอบโดยการแบ่งความสามารถในการเขียนทับเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกคือกลุ่มที่มีค่าต่ำระหว่าง 28.29 – 38.75 เดซิเบลและกลุ่มที่สองมีค่าสูงระหว่าง 38.76 – 49.71 เดซิเบล ให้ค่าความผิดพลาดที่แตกต่างกันน้อยกว่า 0.3 orders จึงสรุปได้ว่าค่าความสามารถในการเขียนทับไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนและความสามารถในการเขียนข้อมูลทับ



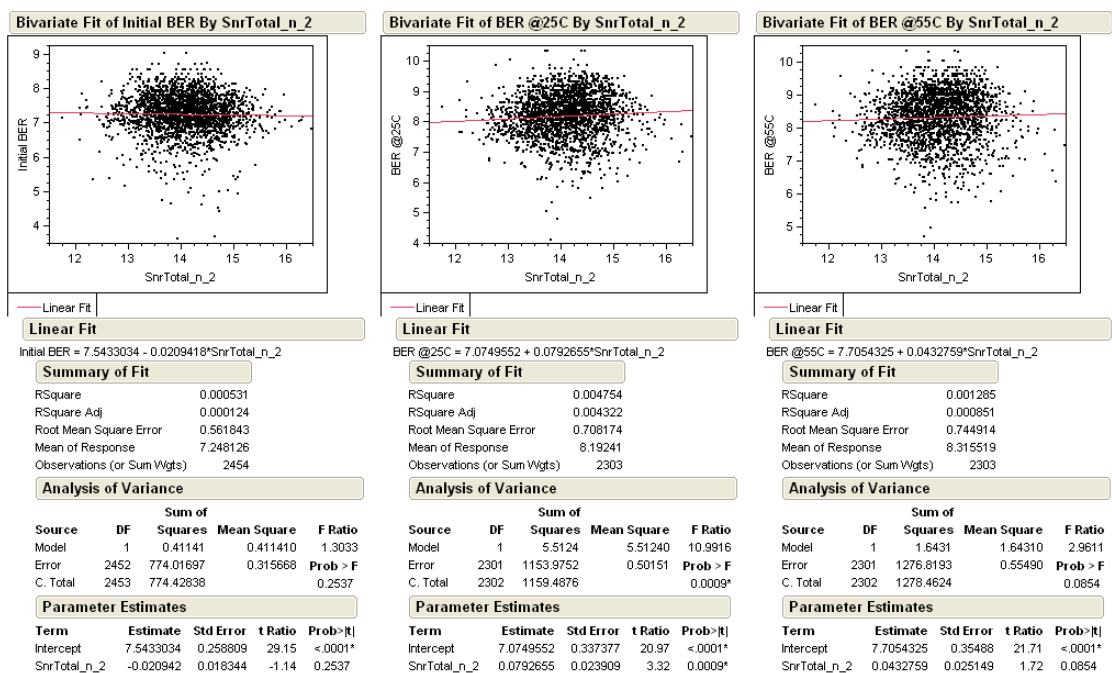
ภาพที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียน

และกลุ่มค่าความสามารถในการเขียนข้อมูลทับด้านสูงและต่ำ

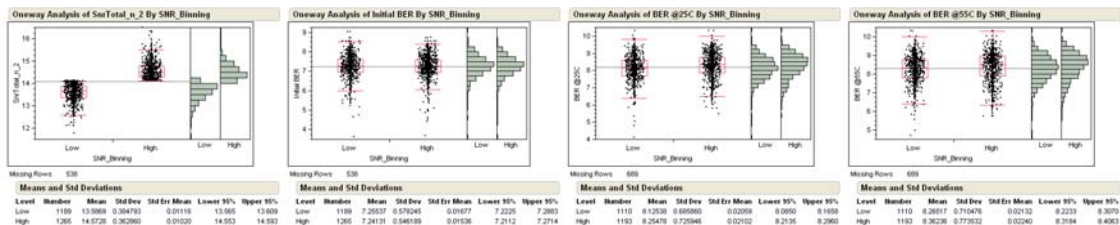
5) อัตราส่วนระหว่างค่าสัญญาณที่ต้องการกับสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio)

ค่าสัญญาณทางไฟฟ้าระหว่างค่าสัญญาณที่อ่านได้เทียบกับขนาดของสัญญาณรบกวน จากการศึกษาข้อมูลในอดีตของผลิตภัณฑ์ โดยให้แกน Y เป็นค่าความผิดพลาดการอ่านเขียนเบื้องต้น (Initial BER), ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการทดสอบที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส (BER @25 °C and BER @55 °C) ตามลำดับ แกน X คือ อัตราส่วนระหว่างค่าสัญญาณที่ต้องการกับสัญญาณรบกวน หน่วยเป็นเดซิเบล

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแกน X และ Y จะเห็นได้ว่าค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 อีกทั้งการทดสอบโดยการแบ่งอัตราส่วนระหว่างค่าสัญญาณที่ต้องการกับสัญญาณรบกวนเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกคือกลุ่มที่มีค่าต่ำกว่า 11.74 – 14.09 เดซิเบลและกลุ่มที่สองมีค่าสูงระหว่าง 14.10 – 16.48 เดซิเบล ให้ค่าความผิดพลาดที่แตกต่างกันน้อยกว่า 0.3 orders จึงสรุปได้ว่าค่าอัตราส่วนระหว่างค่าสัญญาณที่ต้องการกับสัญญาณรบกวน ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อย่างมีนัยสำคัญ



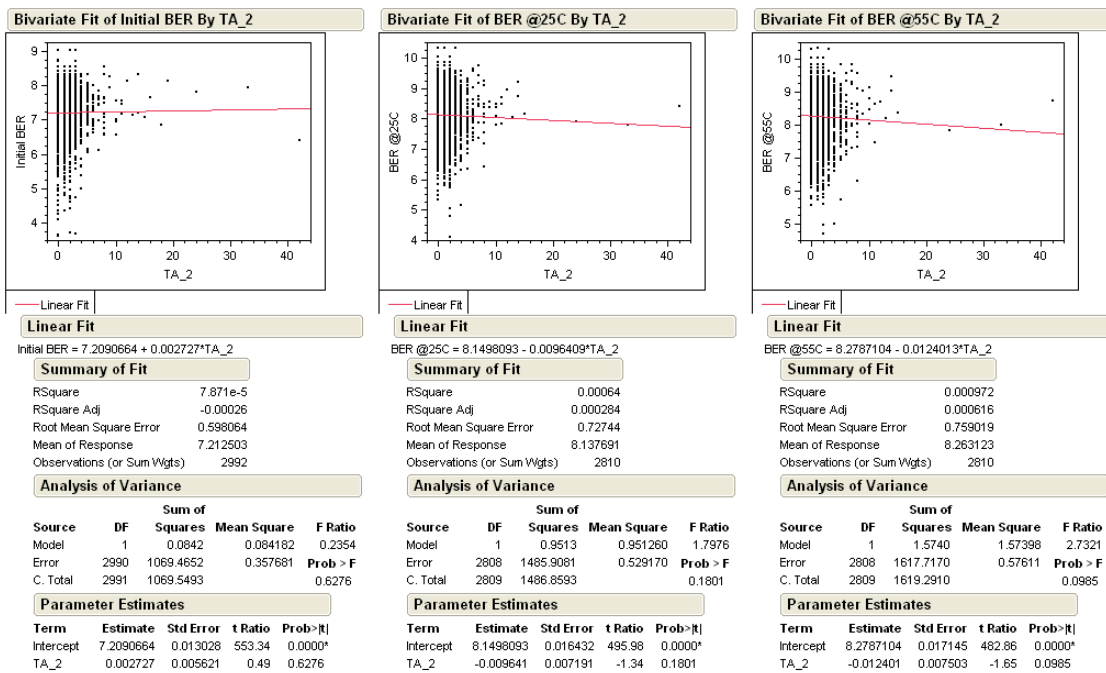
ภาพที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนและค่า SNR ของหัวอ่านเขียน



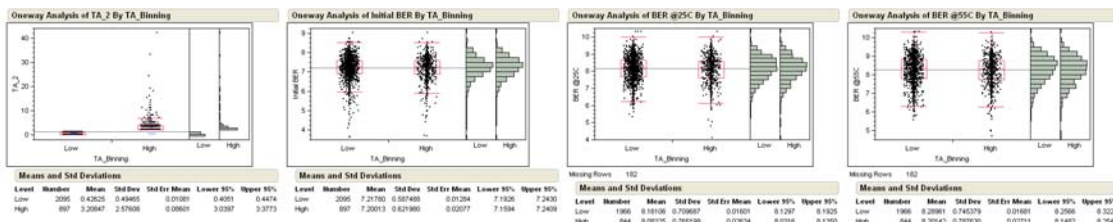
ภาพที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนและกลุ่มค่า SNR ของหัวอ่านเขียนขนาดสูงและต่ำ

6) จำนวนฝุ่นละอองต่อพื้นที่ผิวการใช้งานของแผ่นดิสก์ (Particle/Surface) / ปริมาณฝุ่นละออง
 ในอากาศในสายการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ / การแอบใช้เครื่องสำอางจำพวกแป้ง

จากการศึกษาข้อมูลในอดีตของผลิตภัณฑ์ โดยแกน Y เป็นค่าความผิดพลาดการอ่านเขียนเบื้องต้น (Initial BER), ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการทดสอบที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส (BER @25 °C and BER @55 °C) ตามลำดับ ส่วนแกน X ปริมาณฝุ่นละอองที่อยู่ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแกน X และ Y จะเห็นได้ว่าค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 อีกทั้งการทดสอบโดยการแบ่งปริมาณฝุ่นละอองเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกคือกลุ่มที่มีค่าต่ำระหว่าง 0 – 1 ตำแหน่งและกลุ่มที่สองมีค่าสูงระหว่าง 1 – 42 ตำแหน่ง ให้ค่าความผิดพลาดที่แตกต่างกันน้อยกว่า 0.3 orders จึงสรุปได้ว่าปริมาณฝุ่นละอองที่อยู่ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนอย่างมีนัยสำคัญ



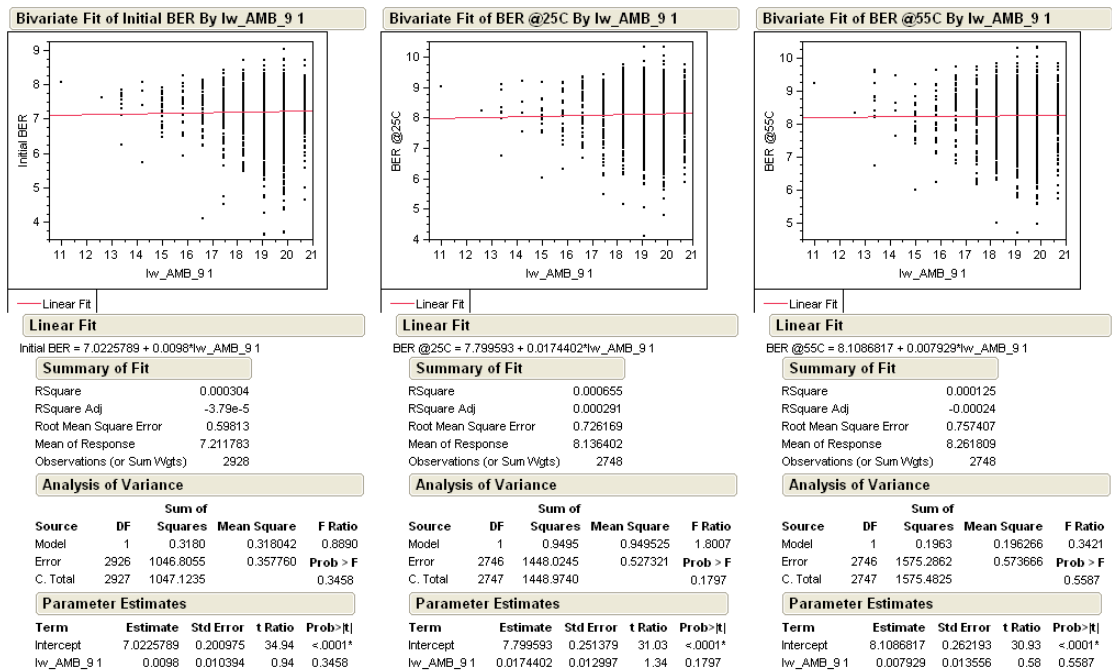
ภาพที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนและปริมาณฝุ่นละอองในฮาร์ดดิสก์



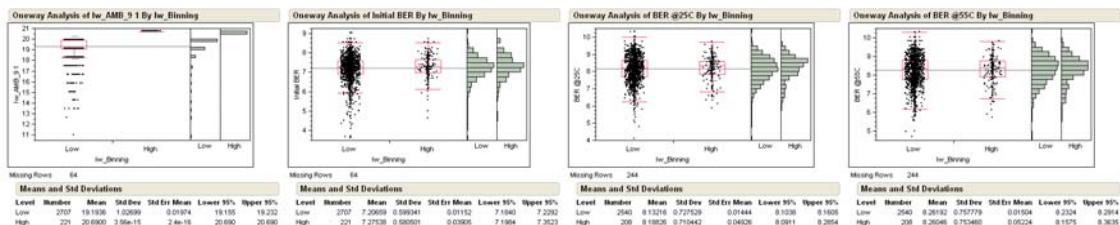
ภาพที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนและขนาดของปริมาณฝุ่นละอองที่อยู่ในฮาร์ดดิสก์ด้านสูงและต่ำ

7) ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหัวอ่านเขียนระหว่างทำการเขียนข้อมูล (Write Current)

ปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ใส่ให้กับหัวอ่านเขียนเพื่อใช้ในการเขียนสัญญาณ จากกราฟวิเคราะห์ข้อมูล การของผลิตภัณฑ์ โดยแกน Y เป็นค่าความผิดพลาดการอ่านเขียนเบื้องต้น (Initial BER), ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการทดสอบที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส (BER @25 °C and BER @55 °C) ตามลำดับ ส่วนแกน X ปริมาณกระแสไฟฟ้า จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแกน X และ Y จะเห็นได้ว่าค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 อีกทั้งการทดสอบโดยการแบ่งปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหัวอ่านเขียนเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกคือกลุ่มที่มีค่าต่ำระหว่าง 11 – 20 DAC และกลุ่มที่สองมีค่าสูงเท่ากับ 21 DAC ให้ค่าความผิดพลาดที่แตกต่างกันน้อยกว่า 0.3 orders จึงสรุปได้ว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้หัวอ่านเขียนระหว่างการเขียนข้อมูล ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดและปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้หัวอ่านเขียน

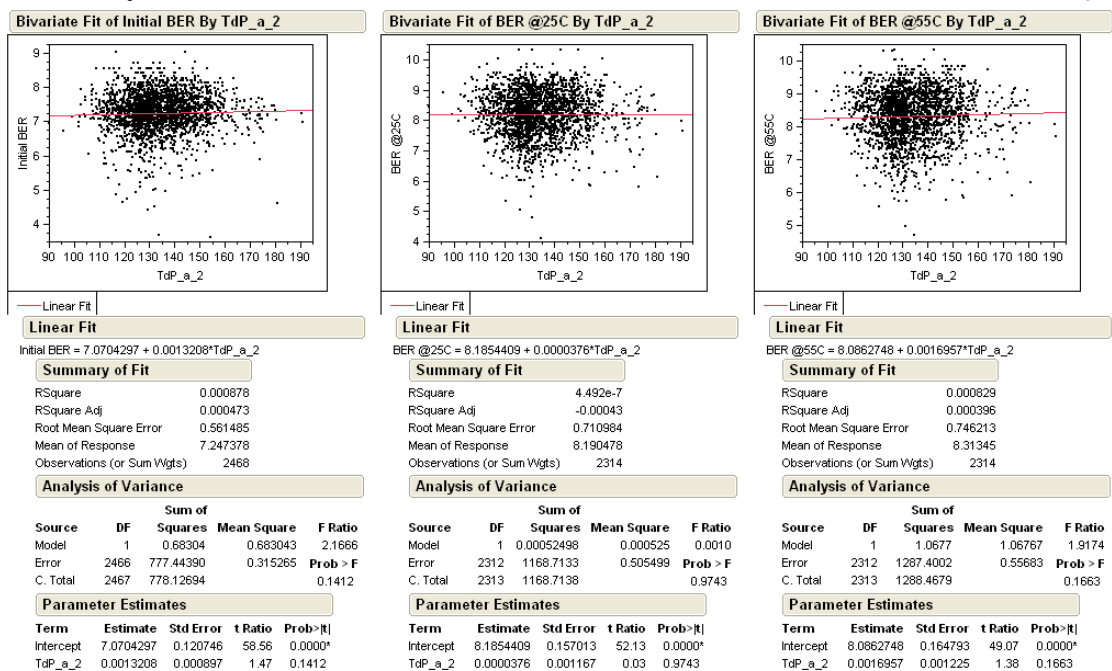


ภาพที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนและกลุ่มปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้หัวอ่านเขียนด้านสูงและต่ำ

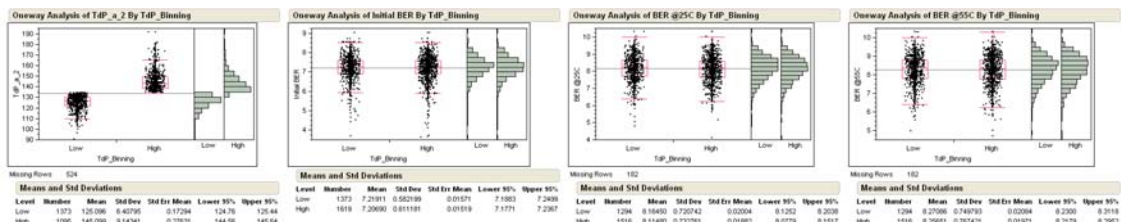
8) พลังงานที่จ่ายให้กับตัวทำความร้อนของหัวอ่านเขียน (Touchdown Power)

เป็นพลังงานที่จ่ายให้กับหัวอ่านเขียน เพื่อทำให้ระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ใกล้เคียงมากขึ้น จากการศึกษาข้อมูลของผลิตภัณฑ์ โดยแกน Y เป็นค่าความผิดพลาดการอ่านเขียนเบื้องต้น (Initial BER), ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการทดสอบที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส (BER @25 °C and BER @55 °C) ตามลำดับ ส่วนแกน X คือพลังงานที่จ่ายให้กับตัวทำความร้อน (Heater) ของหัวอ่านเขียน

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแกน X และ Y จะเห็นได้ว่าค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 อีกทั้งการทดสอบโดยการแบ่งปริมาณพลังงานที่ให้กับหัวอ่านเขียนเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกคือกลุ่มที่มีค่าต่ำระหว่าง 90.22 – 133.98 มิลลิวัตต์ และกลุ่มที่สองมีค่าสูงระหว่าง 134.01 – 190.91 มิลลิวัตต์ ให้ค่าความผิดพลาดที่แตกต่างกันน้อยกว่า 0.3 orders จึงสรุปได้ว่าพลังงานที่จ่ายให้กับตัวทำความร้อนของหัวอ่านเขียนระหว่างการเขียนข้อมูล ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนและพลังงานที่จ่ายให้กับหัวอ่านเขียน



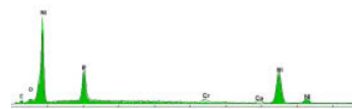
ภาพที่ 5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนและขนาดพลังงานที่จ่ายให้กับหัวอ่านเขียนด้านสูงและต่ำ

9) การขนส่งฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ขาดความระมัดระวัง

ทำให้มีโอกาสที่ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์หลุดน หรือเกิดการกระแทกทำให้เกิดความเสียหายต่อลักษณะทางกายภาพ (Physical damage) ต่อฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เช่น เกิดรอยบุบ โดยแรงกระแทกที่มากเพียงพอจะทำให้หัวอ่านเขียนที่อยู่ห่างจากแผ่นดิสก์เพียงหลักนาโนเมตรมีโอกาสกระทบกันทำให้เกิดความเสียหายต่อทั้งหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ ได้แก่ เกิดรอยขีดข่วนบนแผ่นดิสก์ หรือหัวอ่านเขียนบิดเบี้ยว เป็นต้น โดยจะไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

EDX element analysis result at defect location

- Magnetic layer depletion and no foreign element were detected at defect location compared to background area.



ภาพที่ 5.17 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแผ่นดิสก์

10) ละเลยข้อปฏิบัติการต่อกราวด์ในสายการผลิต

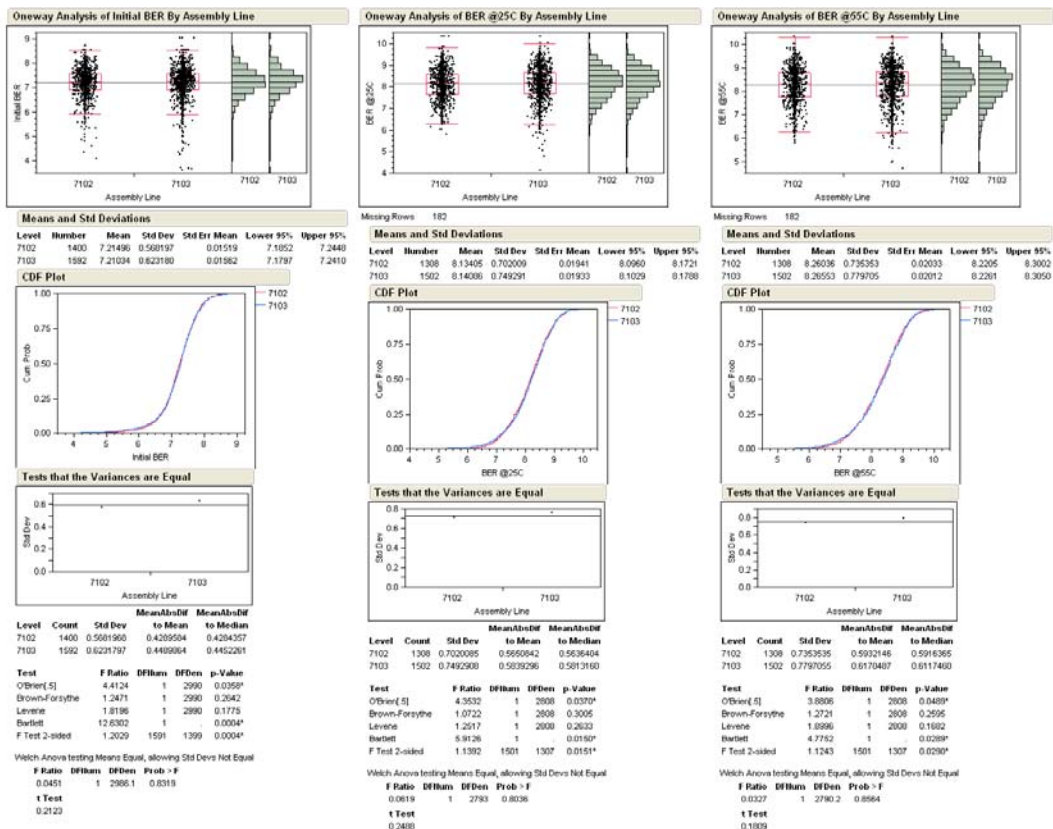
ทำให้มีโอกาสเกิดไฟฟ้าสถิตย์ (Electric Static Discharge) ในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ข้อมูลที่ได้จากประสบการณ์ทำงานทำให้ทราบว่าหากเกิดไฟฟ้าสถิตย์ขึ้นจะทำให้หัวอ่านเขียนซึ่งถือเป็นส่วนประกอบสำคัญที่มีขนาดเล็กที่สุดใหม่ได้และจะไม่สามารถทำการอ่านเขียนได้

11) สายการผลิตในขั้นตอนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Clean Room Assembly Line)

การประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ กระบวนการส่วนใหญ่มีการนำเครื่องมือที่ทันสมัยมาช่วยเพื่อเพิ่มความเที่ยงตรงและลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยแรงงานคนมักถูกใช้ในการป้อนวัตถุดิบเข้าสู่เครื่องจักร

สายการผลิตในขั้นตอนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เช่น เครื่องประกอบหัวอ่าน, แผ่นดิสก์, มอเตอร์ เป็นต้น การวิเคราะห์ข้อมูลของผลิตภัณฑ์ โดยแกน Y เป็นค่าความผิดพลาดการอ่านเขียนเบื้องต้น (Initial BER), ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการทดสอบที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส (BER @25 °C and BER @55 °C) ตามลำดับ ส่วนแกน X คือ สายการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้แก่ สายการผลิต 7102 และ 7103

โดยทั้งสองสายการผลิตให้ค่าความผิดพลาดที่แตกต่างกันน้อยกว่า 0.3 orders จึงสรุปได้ว่าสายการผลิตในขั้นตอนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อย่างมีนัยสำคัญ



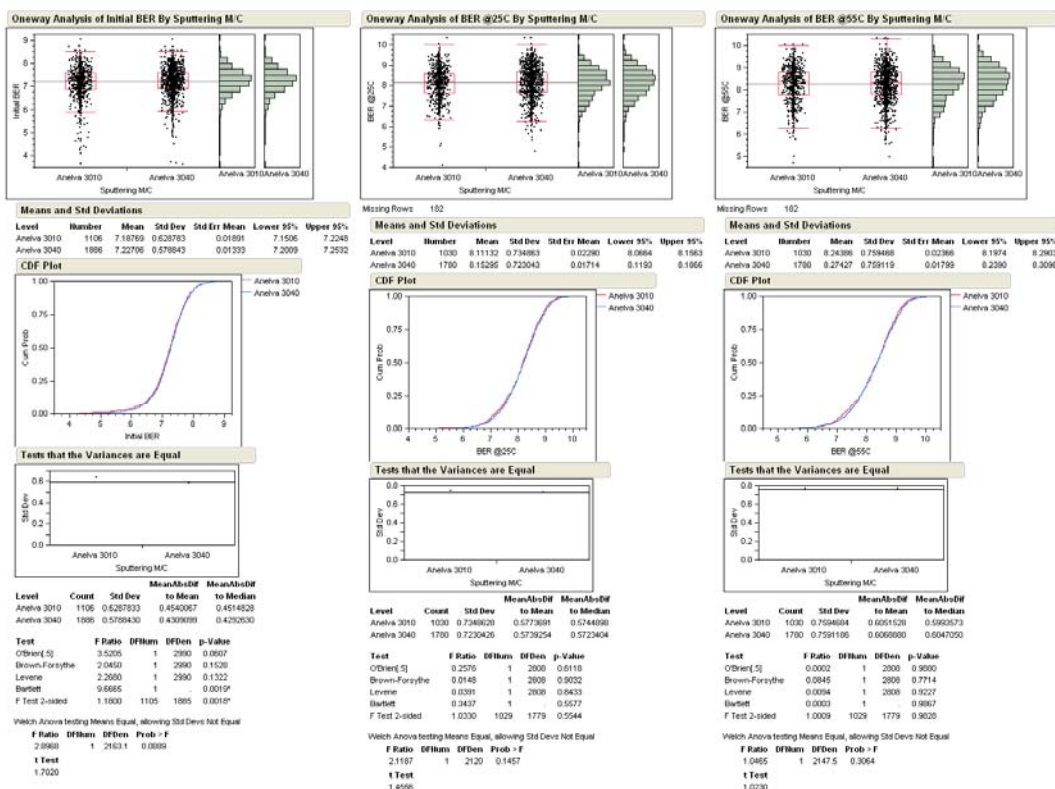
ภาพที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนและสายการผลิตในขั้นตอนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทั้ง 2 สายการผลิต

12) เครื่องทดสอบฟังก์ชันการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Xcalibre Tester)

จากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R) ในหัวข้อที่ 4.2 ของเครื่อง Xcalibre ที่ 2003 และ 2004 ให้ค่า P-Value ในส่วนของเครื่องมือวัดมากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าเครื่อง Xcalibre ทั้งสองไม่มีนัยสำคัญต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

13) รุ่นเครื่องที่ใช้ในการผลิตแผ่นดิสก์ (Sputtering Machine)

ปัจจุบันเครื่องที่ใช้ในกระบวนการผลิตแผ่นดิสก์มี 2 รุ่นได้แก่ รุ่น Anelva 3010 และ Anelva 3040 โดยข้อแตกต่างระหว่างทั้งสองรุ่นได้แก่ Anelva 3040 จะมีกำลังในการผลิตมากกว่าเป็น 2 เท่า ผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่าเครื่องทั้ง 2 รุ่นโดยแกน Y เป็นค่าความผิดพลาดการอ่านเขียนเบื้องต้น (Initial BER), ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการทดสอบที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส (BER @25 °C and BER @55 °C) ตามลำดับ แกน X คือ ชนิดเครื่องที่ใช้ในการผลิตแผ่นดิสก์ทั้ง 2 รุ่น โดยอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนที่ได้จากการผลิตของเครื่องทั้ง 2 รุ่น มีความแตกต่างกันน้อยกว่า 0.3 orders จึงสรุปได้ว่าเครื่องผลิตแผ่นดิสก์ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนและรุ่นเครื่องในการผลิตแผ่นดิสก์

14) อุณหภูมิ (Temperature)

การศึกษาข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ จากการทดสอบด้วยวิธีการ Paired T-Test ได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.375 จึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบที่ 25 และ 55 องศาเซลเซียส ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อย่างมีนัยสำคัญ

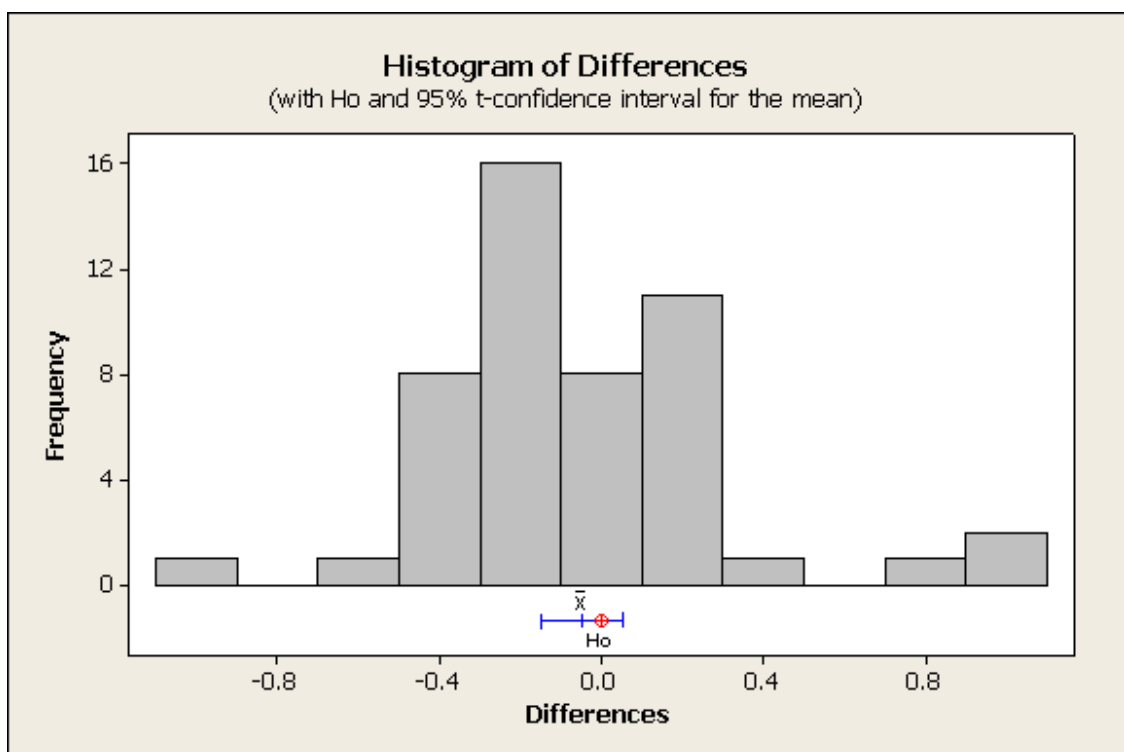
Paired T-Test and CI: BER @25C, BER @55C

Paired T for BER @25C - BER @55C

	N	Mean	StDev	SE Mean
BER @25C	49	8.27205	0.82016	0.11717
BER @55C	49	8.31901	0.94265	0.13466
Difference	49	-0.046955	0.353409	0.050487

95% CI for mean difference: (-0.148466, 0.054556)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -0.93 P-Value = 0.357



ภาพที่ 5.20 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญที่เกิดจากอุณหภูมิที่ 25 และ 55 องศาเซลเซียส

15) ค่าความชื้นในอากาศ (Humidity)

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการกัดกร่อน (Corrosion Test) ในอดีตระหว่างความชื้นที่ 80% และที่ความชื้นที่อุณหภูมิต่ำ ให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.30 จึงสรุปได้ว่าความชื้นที่อุณหภูมิต่ำและความชื้นที่ 80% ไม่ส่งผลต่ออัตราการความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อย่างมีนัยสำคัญ

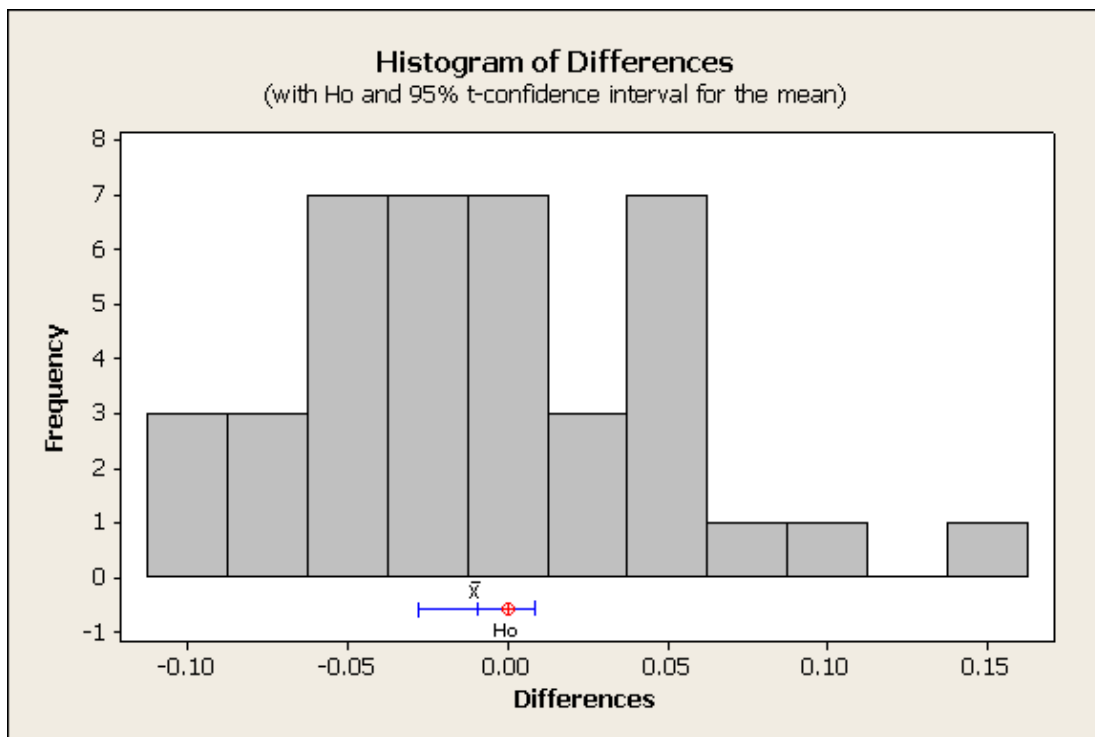
Paired T-Test and CI: Initial BER_Befo, Initial BER_Afte

Paired T for Initial BER_Before Corrosion Te - Initial BER_After Corrosion Tes

	N	Mean	StDev	SE Mean
Initial BER_Befo	40	7.79725	0.53804	0.08507
Initial BER_Afte	40	7.80675	0.54852	0.08673
Difference	40	-0.009500	0.057197	0.009044

95% CI for mean difference: (-0.027793, 0.008793)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -1.05 P-Value = 0.300



ภาพที่ 5.21 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญที่เกิดจากความชื้นที่อุณหภูมิต่ำและความชื้นที่ 80%

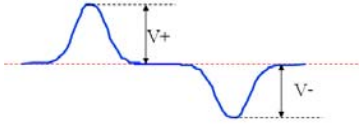
ตารางที่ 5.1 การคัดเลือกปัจจัยที่มาจากวัสดุคิบั (Material) เพื่อนำเข้าในการทดลองต่อไป

ปัจจัยเบื้องต้นจากวัสดุคิบั (Material)	หน้าที่และรายละเอียด	ปัจจัยนำเข้าการทดลอง	เหตุผลการตัดสินใจ / ข้อมูลสนับสนุน	ค่าสูงต่ำที่ยอมรับได้
ค่าความหนาของสารเคลือบหัวอ่านเขียน (Diamond Like Carbon Thickness)	- เพื่อป้องกันส่วนผิวหน้าสุดของหัวอ่านเขียน (ABS) ไม่ให้ได้รับความเสียหาย	เลือก	- โดยความหนาของสารเคลือบจะมีผลต่อสัญญาณที่อ่านเขียนได้จากหัวอ่าน กล่าวคือความหนาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้มีขนาดของสัญญาณที่ได้ลดลงดังนั้นจึงต้องหาค่าขนาดความหนาที่เหมาะสม โดยความหนาน้อยเกินไปก็จะทำให้หัวอ่านเขียนไม่มีเสถียรภาพและมีโอกาสได้รับความเสียหายได้ง่าย	17 - 25 อังสตรอม
ค่าความหนาของสารเคลือบผิวบนแผ่นดิสก์ (Over Coat Thickness)	- เพื่อป้องกันผิวส่วนหน้าสุดของแผ่นดิสก์ไม่ให้เสียหายจากรอยขีดข่วนที่มาจากฝุ่นละออง	เลือก	- ความหนาของสารเคลือบแผ่นดิสก์จะมีผลต่อสัญญาณที่อ่านเขียนได้จากหัวอ่าน กล่าวคือความหนาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้มีขนาดของสัญญาณที่ลดลงดังนั้นจึงต้องหาค่าขนาดความหนาที่เหมาะสม	20 - 25 อังสตรอม

ตารางที่ 5.1 การคัดเลือกปัจจัยที่มาจากวัสดุดิบ (Material) เพื่อนำเข้าในการทดลองต่อไป (ต่อ)

ปัจจัยเบื้องต้นจากวัสดุดิบ (Material)	หน้าที่และรายละเอียด	ปัจจัยนำเข้าการทดลอง	เหตุผลการตัดสินใจ / ข้อมูลสนับสนุน	ค่าสูงต่ำที่ยอมรับได้
ค่าความหนาของชั้นโครงสร้างแม่เหล็กของแผ่นดิสก์ (Magnetic Layer Thickness)	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นชั้นโครงสร้างที่ใช้ในการกักเก็บข้อมูลของแผ่นดิสก์ โดยขนาดของสัญญาณที่อ่านเขียนได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนาของชั้นแม่เหล็ก 	เลือก	<ul style="list-style-type: none"> - ความหนาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้การเรียงตัวของเกรนมีแบบแผนที่น้อยลง ทำให้ทิศทางของแม่เหล็กที่ได้มีทิศทางที่ไม่เป็นแบบแผนเพิ่มขึ้น 	25 - 35 นาโนเมตร
ขนาดเกรนของชั้นแม่เหล็กของแผ่นดิสก์ (Grain Size)	<ul style="list-style-type: none"> - ขนาดเกรนจะส่งผลโดยตรงกับพื้นที่ข้อมูลบนแผ่นดิสก์ โดยขนาดเกรนที่ลดลงจะทำให้ค่าความต้านทานแม่เหล็กเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ความต้านทานต่อสัญญาณรบกวนดีขึ้น - ในทางกลับกันขนาดเกรนที่ลดลงจะทำให้สูญเสียเสถียรภาพเชิงความร้อน กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ทิศทางของสนามแม่เหล็กไม่เป็นแบบแผนตามต้องการ 	ไม่เลือก	<ul style="list-style-type: none"> - การปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตแผ่นดิสก์ให้ได้ขนาดเกรนตามที่กำหนดกระทำได้ยาก ปัจจุบันขนาดของเกรนในหนึ่งแผ่นดิสก์มีค่าประมาณ 3 - 8 นาโนเมตร 	3 - 8 นาโนเมตร

ตารางที่ 5.1 การคัดเลือกปัจจัยที่มาจากวัสดุคิป์ (Material) เพื่อนำเข้าในการทดลองต่อไป (ต่อ)

ปัจจัยเบื้องต้นจากวัสดุคิป์ (Material)	หน้าที่และรายละเอียด	ปัจจัยนำเข้าการทดลอง	เหตุผลการตัดสินใจ / ข้อมูลสนับสนุน	ค่าสูงต่ำที่ยอมรับได้
ขนาดความกว้างของหัวเขียน (Magnetic Write Width)	- ขนาดหัวเขียนที่กว้างขึ้นจะทำให้ขนาดของสัญญาณที่ได้จากการเขียนมีขนาดที่สูงขึ้นตามลำดับ แต่จะทำให้ความกว้างของแทร็คข้อมูลมีขนาดใหญ่ทำให้มีเนื้อที่ในการเก็บข้อมูลลดลง	ไม่เลือก	- การวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ สรุปได้ว่าความกว้างของหัวอ่านเขียนไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟอย่างมีนัยสำคัญ	3.8 - 4.2 ไมโครนิ้ว
ขนาดสัญญาณของหัวอ่านเขียน (Track Average Amplitude)	- ค่าขนาดสัญญาณไฟฟ้าที่อ่านได้จากการอ่านของหัวอ่านเขียน โดยได้จากผลรวมขนาดสัญญาณด้านบวกและขนาดสัญญาณไฟฟ้านด้านลบ 	ไม่เลือก	- การวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ สรุปได้ว่าขนาดสัญญาณไฟฟ้าไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟอย่างมีนัยสำคัญ	> 1.5 มิลลิโวลต์
ความสมมาตรของสัญญาณ (Track Average Amplitude - Asymmetry)	- เป็นค่าความสมมาตรของขนาดสัญญาณที่วัดได้จากด้านบวกและด้านลบของรูปสัญญาณ $AASM (\%) = \left(\frac{A_p - A_n}{A_p + A_n} \right) \times 100$	ไม่เลือก	- การวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ สรุปได้ว่าปัจจัยดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียน	ระหว่าง +/- 30% มิลลิโวลต์/มิลลิโวลต์

ตารางที่ 5.1 การคัดเลือกปัจจัยที่มาจากวัสดุคิป (Material) เพื่อนำเข้าในการทดลองต่อไป (ต่อ)

ปัจจัยเบื้องต้นจากวัสดุคิป (Material)	หน้าที่และรายละเอียด	ปัจจัยนำเข้าการทดลอง	เหตุผลการตัดสินใจ / ข้อมูลสนับสนุน	ค่าสูงต่ำที่ยอมรับได้
ค่าความสามารถในการเขียนข้อมูลใหม่ทับข้อมูลเก่า (Overwrite)	<p>- เป็นค่าความสามารถของหัวอ่านเขียนในการเขียนข้อมูลใหม่ทับข้อมูลเก่า (ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จะไม่ทำการลบข้อมูลชุดเดิมที่มีอยู่ ก่อนทำการเขียนข้อมูลชุดใหม่ แต่จะใช้วิธีเขียนข้อมูลใหม่ทับข้อมูลชุดเดิม) ทั้งนี้สามารถหาได้จาก</p> $\text{Overwrite (dB)} = 20 \log \left(\frac{A1(\text{HFTAA after overwrite})}{A2(\text{LFTAA before overwrite})} \right)$	ไม่เลือก	<p>- การวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ สรุปได้ว่าความสามารถในการเขียนข้อมูลใหม่ทับข้อมูลเก่าไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์อย่างมีนัยสำคัญ</p>	> 26 เดซิเบล
อัตราส่วนระหว่างค่าสัญญาณที่ต้องการกับสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio)	<p>- เป็นค่าสัญญาณทางไฟฟ้าระหว่างค่าสัญญาณที่อ่านได้เทียบกับขนาดของสัญญาณรบกวนซึ่งสามารถหาได้จาก</p> $\text{SNR} = 20 \log \left(\frac{\text{HFTAA (p-p)}}{V(\text{noise RMS})} \right)$	ไม่เลือก	<p>- การวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ สรุปได้ว่าค่าปัจจัยดังกล่าว ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์อย่างมีนัยสำคัญ</p>	> 10 เดซิเบล

ตารางที่ 5.1 การคัดเลือกปัจจัยที่มาจากวัสดุ (Material) เพื่อนำเข้าในการทดลองต่อไป (ต่อ)

ปัจจัยเบื้องต้นจากวัสดุ (Material)	หน้าที่และรายละเอียด	ปัจจัยนำเข้าการทดลอง	เหตุผลการตัดสินใจ / ข้อมูลสนับสนุน	ค่าสูงต่ำที่ยอมรับได้
ค่าซึมซาบแม่เหล็กของหัวอ่านเขียน (Coercivity: Hc)	- ค่า Coercivity หรือค่าซึมซาบแม่เหล็กของหัวอ่านเขียน โดยหลักการแล้วควรมีค่าต่ำเพื่อให้สามารถเปลี่ยนแปลงทิศทางของสนามแม่เหล็กได้ง่าย	ไม่เลือก	<ul style="list-style-type: none"> - ปัจจุบันวัสดุที่ใช้ทำหัวเขียนได้แก่ Fe-Co ที่มีค่า μHc เท่ากับ 0.02 เทสลา (T) ซึ่งถือว่าต่ำสุดเทียบกับวัสดุที่สามารถนำมาใช้หัวเขียนได้แก่ Fe-Co-Al-Ni, Ba-Fe-O - การปรับเปลี่ยนค่าดังกล่าวกระทำได้ยากเนื่องจากเป็นลักษณะจำเพาะของวัสดุ และยังถือเป็นความลับของผู้ผลิตแต่ละราย 	0.02 เทสลา
ค่าซึมซาบแม่เหล็กของแผ่นดิสก์ (Coercivity: Hc)	- ค่า Coercivity หรือค่าซึมซาบแม่เหล็กของแผ่นดิสก์ โดยค่าดังกล่าวควรมีค่าสูงในขนาดที่เหมาะสมเพื่อป้องกันไม่ให้สัญญาณแม่เหล็กจากภายนอกเข้ามารบกวนได้ แต่ทั้งนี้ก็ไม่ควรมีค่าสูงจนเกินไปทำให้หัวอ่านเขียนไม่สามารถเปลี่ยนทิศทางของขั้วแม่เหล็กได้	ไม่เลือก	<ul style="list-style-type: none"> - วัสดุที่ใช้ทำชั้นแม่เหล็กที่ใช้ในการเก็บข้อมูลได้แก่ Co-Cr-Pt - การปรับเปลี่ยนค่าซึมซาบแม่เหล็กกระทำได้ยากเนื่องจากต้องทำการหาวัสดุชนิดใหม่ และอยู่นอกความรับผิดชอบของบริษัทการศึกษา 	

ตารางที่ 5.1 การคัดเลือกปัจจัยที่มาจากวัสดุ (Material) เพื่อนำเข้าในการทดลองต่อไป (ต่อ)

ปัจจัยเบื้องต้นจากวัสดุ (Material)	หน้าที่และรายละเอียด	ปัจจัยนำเข้าการทดลอง	เหตุผลการตัดสินใจ / ข้อมูลสนับสนุน	ค่าสูงต่ำที่ยอมรับได้
จำนวนฝุ่นละอองต่อพื้นที่ผิวการใช้งานของแผ่นดิสก์ (Particle/Surface)	- ค่าปริมาณฝุ่นละอองต่อหนึ่งพื้นที่ผิวของแผ่นดิสก์ไม่ควรมีค่ามากเกินไป เพราะมีโอกาสจะทำให้เกิดความเสียหายต่อหัวอ่านเขียน อีกทั้งพื้นที่การใช้งานรวมบนแผ่นดิสก์จะน้อยลงตามลำดับ	ไม่เลือก	- การวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ สรุปได้ว่าจำนวนฝุ่นละอองที่พื้นที่ผิวหน้าแผ่นดิสก์ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อย่างมีนัยสำคัญ	< 500 ตำแหน่ง / หน้าแผ่น ดิสก์

ตารางที่ 5.2 การคัดเลือกปัจจัยที่มาจากวิธีการ (Method) เพื่อนำเข้าในการทดลองต่อไป

ปัจจัยเบื้องต้นจากวิธีการ (Method)	หน้าที่และรายละเอียด	ปัจจัยนำเข้าการทดลอง	เหตุผลการตัดสินใจ / ข้อมูลสนับสนุน	ค่าสูงต่ำที่ยอมรับได้
พลังงานที่จ่ายให้กับตัวทำความร้อนของหัวอ่านเขียน (Touchdown Power)	- เป็นพลังงานที่จ่ายให้กับหัวอ่านเขียน เพื่อให้ระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ใกล้กันมากขึ้น	ไม่เลือก	- การวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ สรุปได้ว่าปัจจัยดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อย่างมีนัยสำคัญ	90 - 190 มิลลิวัตต์

ตารางที่ 5.2 การคัดเลือกปัจจัยที่มาจากวิธีการ (Method) เพื่อนำเข้าในการทดลองต่อไป (ต่อ)

ปัจจัยเบื้องต้นจากวิธีการ (Method)	หน้าที่และรายละเอียด	ปัจจัยนำเข้าการทดลอง	เหตุผลการตัดสินใจ / ข้อมูลสนับสนุน	ค่าสูงต่ำที่ยอมรับได้
ระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ (Head and Media Spacing)	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ โดยระยะห่างนี้โดยปกติมีค่าอยู่ในระดับนาโนเมตร ทั้งนี้ค่าดังกล่าวไม่ควรมีค่าสูงหรือต่ำเกินไป 	เลือก	<ul style="list-style-type: none"> - กรณีที่มีค่าสูงเกินไปจะทำให้สัญญาณที่อ่านเขียนได้มีขนาดลดลง - ส่วนในกรณีมีขนาดต่ำเกินไปจะทำให้หัวอ่านเขียนมีโอกาสชนกับแผ่นดิสก์ทำให้เกิดความเสียหายได้ง่าย 	1.5 - 2.2 นาโนเมตร
ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหัวอ่านเขียนระหว่างทำการเขียนข้อมูล (Write Current)	<ul style="list-style-type: none"> - ปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ใส่ให้กับหัวอ่านเขียนเพื่อใช้ในการเขียนสัญญาณ - การเพิ่มปริมาณกระแสไฟฟ้าจะทำให้ขนาดแม่เหล็กไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเพื่อเหนี่ยวนำให้ทิศทางแม่เหล็กของแผ่นดิสก์เป็นไปในทิศทางที่ต้องการ - การเพิ่มกระแสไฟฟ้าที่มากเกินไปจะทำให้หัวอ่านเขียนมีเสถียรภาพที่ลดลงในระยะยาวและโอกาสที่จะเขียนข้อมูลทับข้อมูลแทร็คด้านข้าง ซึ่งไม่ใช่แทร็คที่ต้องการจะสูงขึ้น 	ไม่เลือก	<ul style="list-style-type: none"> - การวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ สรุปได้ว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อย่างมีนัยสำคัญ 	11 - 21 มิลลิแอมป์

ตารางที่ 5.2 การคัดเลือกปัจจัยที่มาจากวิธีการ (Method) เพื่อนำเข้าในการทดลองต่อไป (ต่อ)

ปัจจัยเบื้องต้นจากวิธีการ (Method)	หน้าที่และรายละเอียด	ปัจจัยนำเข้าการทดลอง	เหตุผลการตัดสินใจ / ข้อมูลสนับสนุน	ค่าสูงต่ำที่ยอมรับได้
ความหนาแน่นของข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Bit per Inch)	- ปริมาณความหนาแน่นของข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เก็บข้อมูลตามรัศมีของแผ่นดิสก์	ไม่เลือก	<ul style="list-style-type: none"> - การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เก็บข้อมูลให้น้อยลงจะส่งผลให้อัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟดีขึ้น แต่ในทางกลับกัน แต่จะทำให้ขนาดความจุของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟลดลง - มีโอกาสทำให้เกิดปัญหาการเขียนข้อมูลทับแตร็คด้านข้างได้ 	

ตารางที่ 5.3 การคัดเลือกปัจจัยที่มาจากคน (Man) เพื่อนำเข้าในการทดลองต่อไป

ปัจจัยเบื้องต้นจากคน (Man)	หน้าที่และรายละเอียด	ปัจจัยนำเข้า การทดลอง	เหตุผลการตัดสินใจ / ข้อมูล สนับสนุน	ค่าสูงต่ำที่ ยอมรับได้
- ขั้นตอนการขนส่ง ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ขาด ความระมัดระวัง	- โอกาสทำให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เสียหายเนื่องจากการ กระทบกระเทือน หรือหัวอ่านเขียนไปกระทบกับแผ่น ดิสก์ทำให้ไม่สามารถอ่านเขียนสัญญาณได้	ไม่เลือก	- ผลกระทบที่เกิดขึ้นจะทำความ เสียหายในทางกายภาพด้านนอกและ ภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ แต่จะไม่ ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดใน การอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ซึ่ง เป็นความสามารถทางแม่เหล็กไฟฟ้า	
- การแอบใช้ เครื่องสำอางจำพวก แป้ง ซึ่งถือเป็นฝุ่น ละอองในสายการ ประกอบฮาร์ดดิสก์ ไดรฟ์	- โอกาสที่จะทำให้เกิดฝุ่นละอองในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำ ให้หัวอ่านเขียนมีโอกาสได้รับความเสียหายและ ประสิทธิภาพการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ลดลง	ไม่เลือก	- การวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตของ ผลิตภัณฑ์ สรุปได้ว่าจำนวนฝุ่น ละออง ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตรา ความผิดพลาดในการอ่านเขียนของ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อย่างมีนัยสำคัญ - การควบคุมในปัจจุบัน ระบบจะ เกิดการแจ้งเตือนถ้าตรวจสอบพบ ปริมาณฝุ่นละอองมากกว่าค่าที่ กำหนดไว้ในกระบวนการประกอบ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	

ตารางที่ 5.3 การคัดเลือกปัจจัยที่มาจากคน (Man) เพื่อนำเข้าในการทดลองต่อไป (ต่อ)

ปัจจัยเบื้องต้นจากคน (Man)	หน้าที่และรายละเอียด	ปัจจัยนำเข้า การทดลอง	เหตุผลการตัดสินใจ / ข้อมูล สนับสนุน	ค่าสูงต่ำที่ ยอมรับได้
- ละเอียดข้อปฏิบัติการ ต่อกราวด์ใน สายการผลิต	- ในขั้นตอนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ พนักงาน จะต้องทำการต่อสายกราวด์ เพื่อป้องกันการเกิดไฟฟ้า สถิตย์ การละเอียดข้อปฏิบัติมีโอกาสนำให้เกิดการถ่ายเท ไฟฟ้าสถิตย์ทำให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เสียหาย หรือหัวอ่าน เขียนไม่สามารถทำงานได้	ไม่เลือก	- การควบคุมในปัจจุบัน ระบบจะ เกิดการแจ้งเตือนถ้าตรวจสอบพบว่า มีการต่อกราวด์ไม่ถูกต้อง - ข้อมูลที่ได้จากประสบการณ์ทำงาน ทำให้ทราบว่าหากเกิดไฟฟ้าสถิตย์ ขึ้นจะทำให้หัวอ่านเขียนซึ่งถือเป็น ส่วนประกอบสำคัญที่มีขนาดเล็ก มากเกิดรอยไหม้และจะไม่สามารถ ทำการอ่านเขียนได้อีก	

ตารางที่ 5.4 การคัดเลือกปัจจัยที่มาจากเครื่องจักร (Machine) เพื่อนำเข้าในการทดลองต่อไป

ปัจจัยเบื้องต้นจากเครื่องจักร (Machine)	หน้าที่และรายละเอียด	ปัจจัยนำเข้าการทดลอง	เหตุผลการตัดสินใจ / ข้อมูลสนับสนุน	ค่าสูงต่ำที่ยอมรับได้
<p>สายการผลิตในขั้นตอนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เช่น เครื่องประกอบหัวอ่าน, แผ่นดิสก์, มอเตอร์ เป็นต้น</p>	<p>- โอกาสทำให้แผ่นดิสก์ที่ประกอบเรียงไม่ได้ระนาบหรือเกิดการสั้นของแผ่นดิสก์ระหว่างที่มอเตอร์หมุนซึ่งส่งผลต่อการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์</p>	<p>ไม่เลือก</p>	<p>- การวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ สรุปได้ว่าปัจจัยไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อย่างมีนัยสำคัญ</p> <p>- การควบคุมปัจจุบัน ใช้วิธีการนำเซ็นเซอร์/หุ่นยนต์ เข้ามาใช้ในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ ขณะที่แรงงานคนใช้ในการป้อนชิ้นส่วนเข้าสู่เครื่องจักร</p>	
<p>เครื่องทดสอบฟังก์ชันการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Xcalibre Tester)</p>	<p>- ไม่สามารถทดสอบฟังก์ชันการทำงานได้ตามต้องการ ทั้งนี้เนื่องมาจากขาดการดูแล ตรวจสอบจากผู้ที่เกี่ยวข้อง</p>	<p>ไม่เลือก</p>	<p>- จากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R) ในหัวข้อที่ 4.2 ของเครื่อง Xcalibre ที่ 2003 และ 2004 ให้ค่า P-Value ในส่วนของเครื่องมือวัดมากกว่า 0.05</p>	

ตารางที่ 5.4 การคัดเลือกปัจจัยที่มาจากเครื่องจักร (Machine) เพื่อนำเข้าในการทดลองต่อไป (ต่อ)

ปัจจัยเบื้องต้นจากเครื่องจักร (Machine)	หน้าที่และรายละเอียด	ปัจจัยนำเข้าการทดลอง	เหตุผลการตัดสินใจ / ข้อมูลสนับสนุน	ค่าสูงต่ำที่ยอมรับได้
รุ่นเครื่องที่ใช้ในการผลิตแผ่นดิสก์ (Sputtering Machine)	- เครื่องที่ใช้ในกระบวนการผลิตแผ่นดิสก์มี 2 รุ่น ได้แก่ รุ่น Anelva 3010 และ Anelva 3040 โดยข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างทั้งสองรุ่น ได้แก่ Anelva 3040 จะมีกำลังในการผลิตมากกว่าเป็น 2 เท่า	ไม่เลือก	- การวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ สรุปได้ว่าเครื่องทั้ง 2 รุ่นไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ใด ๆ อย่างมีนัยสำคัญ	

ตารางที่ 5.5 การคัดเลือกปัจจัยที่มาจากสิ่งแวดล้อม (Environment) เพื่อนำเข้าในการทดลองต่อไป

ปัจจัยเบื้องต้นจากสิ่งแวดล้อม (Environment)	หน้าที่และรายละเอียด	ปัจจัยนำเข้าการทดลอง	เหตุผลการตัดสินใจ / ข้อมูลสนับสนุน	ค่าสูงต่ำที่ยอมรับได้
อุณหภูมิ (Temperature)	- อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้การเขียนข้อมูลลงบนแผ่นดิสก์ได้ง่ายขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าความต้านแม่เหล็กลดลง ในขณะที่เดียวกันก็มีโอกาสทำให้การทำงานของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์มีประสิทธิภาพลดลง	ไม่เลือก	- สรุปได้ว่าค่าอุณหภูมิที่ 25 และ 55 องศาเซลเซียส ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนอย่างมีนัยสำคัญ	

ตารางที่ 5.5 การคัดเลือกปัจจัยที่มาจากสิ่งแวดล้อม (Environment) เพื่อนำเข้าในการทดลองต่อไป (ต่อ)

ปัจจัยเบื้องต้นจากสิ่งแวดล้อม (Environment)	หน้าที่และรายละเอียด	ปัจจัยนำเข้าการทดลอง	เหตุการณ์ที่ตัดสินใจ / ข้อมูลสนับสนุน	ค่าสูงต่ำที่ยอมรับได้
ค่าความชื้นในอากาศ (Humidity)	- ค่าความชื้นในอากาศที่มากเกินไป มีโอกาสทำให้เกิดการกัดกร่อนต่อหัวอ่านเขียนได้เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีส่วนผสมของโลหะผสมที่เกิดสนิมได้ง่าย	ไม่เลือก	<ul style="list-style-type: none"> - ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการกัดกร่อน (Corrosion) ในอดีตให้ผลสรุปได้ว่าค่าความชื้น ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อย่างมีนัยสำคัญ - การทดสอบกระทำโดยนำฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไปใส่ตู้ที่ควบคุมค่าความชื้นที่ 80% ทำการวัดอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ก่อนและหลังทดสอบ 	

ตารางที่ 5.5 การคัดเลือกปัจจัยที่มาจากสิ่งแวดล้อม (Environment) เพื่อนำเข้าในการทดลองต่อไป (ต่อ)

ปัจจัยเบื้องต้นจากสิ่งแวดล้อม (Environment)	หน้าที่และรายละเอียด	ปัจจัยนำเข้าการทดลอง	เหตุการณ์ที่ตัดสินใจ / ข้อมูลสนับสนุน	ค่าสูงต่ำที่ยอมรับได้
ปริมาณฝุ่นละอองในอากาศในสายการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	- โอกาสที่จะทำให้เกิดฝุ่นละอองในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำให้หัวอ่านเขียนมีโอกาสได้รับความเสียหายและประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ลดลง	ไม่เลือก	<ul style="list-style-type: none"> - ข้อมูลสนับสนุนจากผลการวิเคราะห์จำนวนฝุ่นละอองต่อพื้นที่ผิวการใช้งานของแผ่นดิสก์ ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อย่างมีนัยสำคัญ - การควบคุมในปัจจุบัน ระบบจะเกิดการแจ้งเตือนถ้าตรวจสอบพบปริมาณฝุ่นละอองมากกว่าค่าที่กำหนดไว้ 	

จากการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตในอดีตสามารถคัดกรองปัจจัยที่ไม่ส่งผลต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อย่างมีนัยสำคัญได้ 18 ปัจจัย ทั้งนี้ยังมีปัจจัยที่ไม่สามารถทำการปรับเปลี่ยนระดับของปัจจัยเพื่อนำเข้าการทดลองได้เนื่องด้วยข้อจำกัดทางเทคโนโลยีและเหตุผลด้านความลับของผู้ผลิตอีก 3 ปัจจัย ได้แก่ ขนาดเกรนของชั้นแม่เหล็กของแผ่นดิสก์ (Grain Size), ค่าซึมซาบแม่เหล็กของหัวอ่านเขียน (Coercivity: Hc) และค่าซึมซาบแม่เหล็กของแผ่นดิสก์ (Coercivity: Hc)

5.2 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

หลังจากการพิจารณาหาปัจจัยที่มีแนวโน้มเกี่ยวข้องกับอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ตลอดจนการวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ทำให้สามารถคัดกรองปัจจัยจากเดิม 25 ปัจจัย เหลือ 4 ปัจจัย ได้แก่ ความหนาของสารเคลือบหัวอ่านเขียน (Diamond Like Carbon Thickness), ความหนาของสารเคลือบผิวบนแผ่นดิสก์ (Over Coat Thickness), ความหนาของชั้นโครงสร้างแม่เหล็กของแผ่นดิสก์ (Magnetic Layer Thickness) และระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ (Head and Media Spacing)

ในขั้นตอนนี้จะนำปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยมาทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบด้วยวิธีการ FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) เพื่อศึกษาถึงข้อบกพร่องที่จะเกิดขึ้นจากปัจจัยดังกล่าว ตลอดจนเพื่อเป็นการคัดกรองปัจจัยดังกล่าวอีกรอบหนึ่งด้วยดัชนีแสดงลำดับความเสี่ยง Risk Priority Number โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

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

โดย Severity (S) คือ ระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหาขึ้น

เกณฑ์การให้คะแนนคือ 1-10 โดยให้ 1 แทนผลกระทบมีความรุนแรงน้อยที่สุดเมื่อเกิดความล้มเหลวหรือความผิดพลาดขึ้น และ 10 แทนผลกระทบมีความรุนแรงมากที่สุดเมื่อเกิดความล้มเหลวหรือความผิดพลาดขึ้น

Occurrence (O) คือระดับความถี่ของการเกิดความล้มเหลวหรือความผิดพลาด

เกณฑ์การให้คะแนนคือ 1-10 โดยให้ 1 แทนความถี่ในการเกิดความล้มเหลวหรือความผิดพลาดน้อยที่สุด และ 10 แทนความถี่ในการเกิดความล้มเหลวหรือความผิดพลาดมากที่สุด

Detecting (D) คือระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหาก่อนที่จะหลุดลอดไปถึงมือลูกค้าเกณฑ์การให้คะแนนคือ 1-10 โดยให้ 1 แทนความสามารถในการตรวจจับความล้มเหลวหรือความผิดพลาดดีที่สุด และ 10 แทนความสามารถในการตรวจจับความล้มเหลวหรือความผิดพลาดแย่งที่สุด

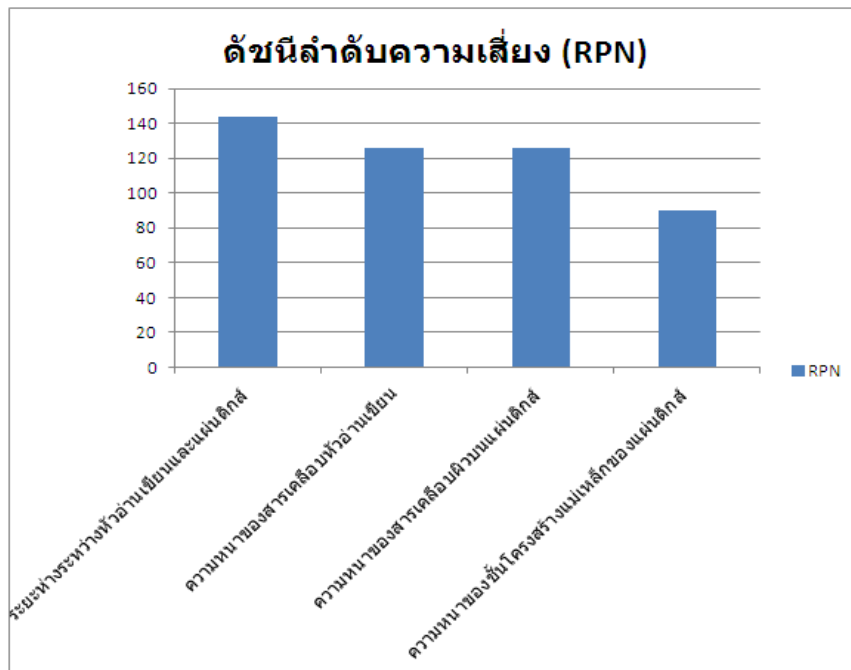
ตารางที่ 5.6 การวิเคราะห์ FMEA สำหรับปัจจัยนำเข้าในการทดลอง

Product Name: Tahoe (500GB / 7200 RPM)

FMEA Committee: Head & Media, Product Engineer, Channel Engineer

FMEA Number: WD001

KPIV	Potential Failure Mode	SEV	Potential Cause	OC	Current Control	DET	RPN	Recommendation
ความหนาของสารเคลือบหัวอ่านเขียน	อัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนไม่ได้ตามเกณฑ์ ทำให้ต้องลดขนาดความจุจาก 500GB เป็น 320GB	7	มีค่าบางหรือหนาเกินไป	9	Design specification	2	126	ทำการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสม
ความหนาของสารเคลือบผิวบนแผ่นดิสก์	อัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนไม่ได้ตามเกณฑ์ ทำให้ต้องลดขนาดความจุจาก 500GB เป็น 320GB	7	มีค่าบางหรือหนาเกินไป	9	Design specification	2	126	ทำการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสม
ความหนาของชั้นโครงสร้างแม่เหล็กของแผ่นดิสก์	อัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนไม่ได้ตามเกณฑ์ ทำให้ต้องลดขนาดความจุจาก 500GB เป็น 320GB	5	มีค่าบางหรือหนาเกินไป	9	Design specification	2	90	ทำการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสม
ระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์	อัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนไม่ได้ตามเกณฑ์ ทำให้ต้องลดขนาดความจุจาก 500GB เป็น 320GB	8	ค่าต่ำหรือสูงเกินไป	9	Design specification	2	144	ทำการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสม



ภาพที่ 5.22 แผนภาพแสดงดัชนีลำดับความเสี่ยงจาก FMEA

จากตารางการวิเคราะห์ FMEA จะเห็นได้ว่าปัจจัยทั้ง 4 ตัว มีความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหาขึ้นค่อนข้างสูงที่ 5-8 คะแนนเนื่องจากต้องทำการลดความจุลงเพื่อให้อัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนดีขึ้น ตลอดจนความถี่ในการเกิดของปัญหาค่อนข้างสูงที่ 9 คะแนน โดยมีฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีอัตราความผิดพลาดไม่ได้ตามเกณฑ์ประมาณ 7% ประกอบกับการวิเคราะห์ค่า RPN ที่ได้พบว่าปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยให้ค่า RPN ที่ใกล้เคียงกัน ผู้วิจัยจึงได้ตัดสินใจนำปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยนำเข้ามาในการทดลองต่อไป ได้แก่ ความหนาของสารเคลือบหัวอ่านเขียน, ความหนาของสารเคลือบผิวบนแผ่นดิสก์, ความหนาของชั้นโครงสร้างแม่เหล็กของแผ่นดิสก์และระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ ดังแสดงในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ปัจจัยที่จะถูกนำเข้ามาในการทดลอง

ปัจจัยที่นำเข้าการทดลอง	ระดับของปัจจัย			หน่วย
	ต่ำ	ปัจจุบัน	สูง	
ความหนาของสารเคลือบหัวอ่านเขียน	17	21	25	อังสตรอม
ความหนาของสารเคลือบผิวบนแผ่นดิสก์	20	22	25	อังสตรอม
ความหนาของชั้นโครงสร้างแม่เหล็กของ	25	28	35	นาโนเมตร
ระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์	1.5	1.9	2.2	นาโนเมตร

บทที่ 6

การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ โดยอาศัยการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล เพื่อทำการทดลองหาปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง ได้แก่ อัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.1 ปัจจัยนำเข้าการทดลอง

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในบทที่ 5 สามารถคัดกรองปัจจัยเพื่อนำเข้าในการทดลองได้ 4 ปัจจัย ได้แก่ ความหนาของสารเคลือบหัวอ่านเขียน (Diamond Like Carbon Thickness), ความหนาของสารเคลือบผิวบนแผ่นดิสก์ (Over Coat Thickness), ความหนาของชั้นโครงสร้างแม่เหล็กของแผ่นดิสก์ (Magnetic Layer Thickness) และระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ (Head and Media Spacing) โดยสามารถระบุระดับของปัจจัยได้ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ปัจจัยที่จะถูกนำเข้าในการทดลอง

ปัจจัยที่นำเข้าการทดลอง	ระดับของปัจจัย			หน่วย
	ต่ำ	ปัจจุบัน	สูง	
ความหนาของสารเคลือบหัวอ่านเขียน (Diamond Like Carbon Thickness)	17	21	25	อังสตรอม
ความหนาของสารเคลือบผิวบนแผ่นดิสก์ (Over Coat Thickness)	20	22	25	อังสตรอม
ความหนาของชั้นโครงสร้างแม่เหล็กของแผ่นดิสก์ (Magnetic Layer Thickness)	25	28	35	นาโนเมตร
ระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ (Head and Media Spacing)	1.5	1.9	2.2	นาโนเมตร

6.2 ตัวแปรตอบสนอง

ในการทดลองนี้ตัวแปรตอบสนองมีทั้งสิ้น 3 ตัวตามที่ได้กล่าวไว้ในบทข้างต้น ได้แก่ อัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เบื้องต้น (Initial Bit Error Rate), อัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (Bit Error Rate @25 °C) และสุดท้ายคืออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (Bit Error Rate @55 °C)

6.3 การออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองนี้จะใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k โดยที่ 2 แทนระดับของปัจจัย และกำหนดให้แต่ละปัจจัยเป็น ค่า (-1) และสูง (+1) ส่วน k คือจำนวนของปัจจัยที่นำเข้ามาทดลอง โดยอาศัยหลักการพื้นฐานการออกแบบการทดลองได้แก่

- 1) **การสุ่ม (Randomization)** หมายถึง การทดลองที่ทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองเป็นแบบสุ่ม เพื่อลดผลของปัจจัยภายนอกและอคติความเอนเอียงของผู้ทำการทดลอง
- 2) **การทำซ้ำ (Replication)** เพื่อให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยของการวัดขั้นพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่า ความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่ โดยจะใช้ effect เท่ากับ 0.3 ซึ่งเป็นอัตราที่ใช้ในเชิงปฏิบัติ และกำลังของการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.8 โดยสามารถคำนวณหาค่าดังกล่าวที่การทำซ้ำต่างๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 กำลังและจำนวนของการทดสอบ

Power and Sample Size

2-Level Factorial Design

Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.6

Factors: 4 Base Design: 4, 16

Blocks: none

Including a term for center points in model.

Center Points	Effect	Reps	Total Runs	Power
3	0.2	6	99	0.364813
3	0.2	8	131	0.464113
3	0.2	10	163	0.553459
3	0.3	6	99	0.677519
3	0.3	8	131	0.800823
3	0.3	10	163	0.881287
3	0.4	6	99	0.897519
3	0.4	8	131	0.962406
3	0.4	10	163	0.987077

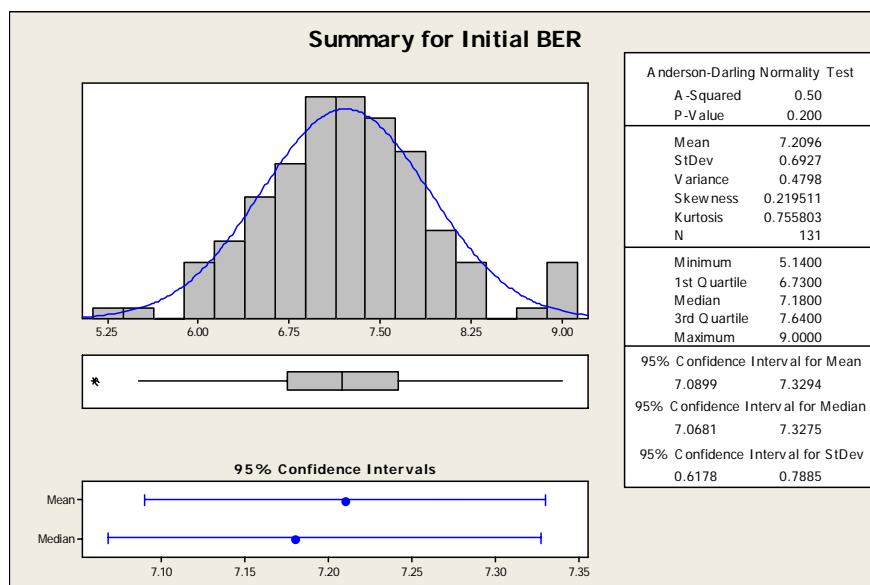
จากการคำนวณในตารางที่ 6.2 จะเห็นได้ว่าที่จำนวนการทำซ้ำเท่ากับ 8 ซ้ำสามารถคำนวณหาค่ากำลังของการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.8008 เพราะฉะนั้นในการทดลองนี้ จะเลือกใช้การทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ Full Factorial Design 2^8 โดยมีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center Point) เข้าไปอีก 3 จุดเพื่อให้สามารถคำนวณหาค่าส่วนโค้ง Curvature ได้ ทั้งนี้จะทำการทดลองซ้ำเพียง 4 การทดลอง เนื่องจากการเก็บข้อมูลแต่ละครั้งจะได้ค่าตัวแปรตอบสนอง 2 ค่า ได้แก่ค่าที่ได้จากตำแหน่งหัวอ่านเขียนด้านล่างแผ่นดิสก์ (Hd#0) และด้านบนแผ่นดิสก์ (Hd#1)

6.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองหาปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Initial BER)

ทำการวิเคราะห์การทดลองหาปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟเบื้องต้น โดยเริ่มจากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง, การทดสอบสมมติฐานความเป็นปกติของข้อมูล, การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent) และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) และผลที่ได้จากการทดลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ผลการทดลองสามารถรวบรวมหาค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟเบื้องต้น (Initial Bit Error Rate) ดังแสดงในภาพที่ 6.1

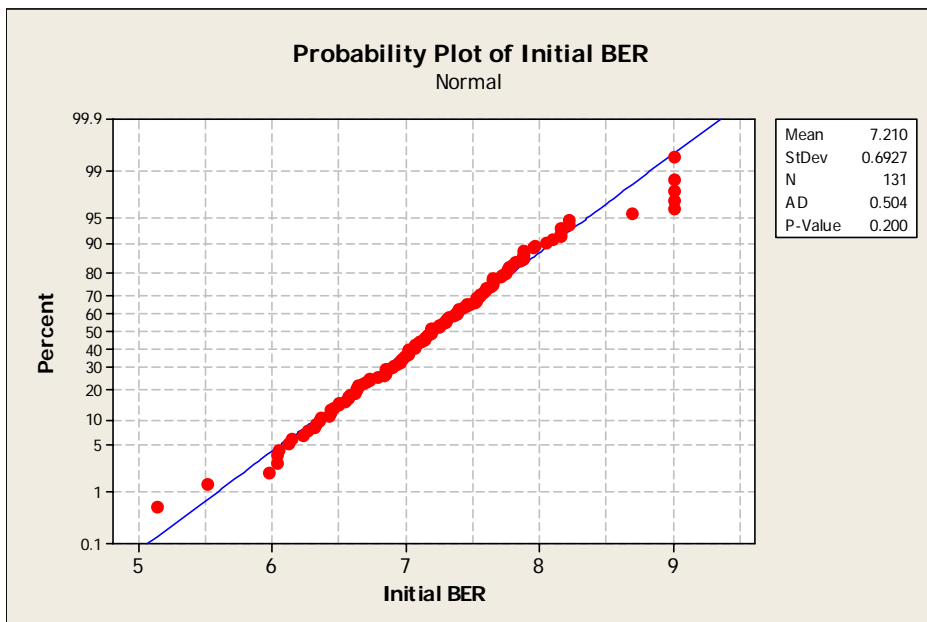


ภาพที่ 6.1 แผนภูมิแสดงสถิติเชิงพรรณนาของค่าตัวแปรตอบสนอง (Initial BER)

ในการออกแบบการทดลองจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่สำคัญคือ NID ($0, \sigma^2$) จึงต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ได้แก่การทดสอบเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลอง คือ ข้อมูลที่ได้เป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ, ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกันและควรมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

6.4.2 การทดสอบสมมติฐานความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้

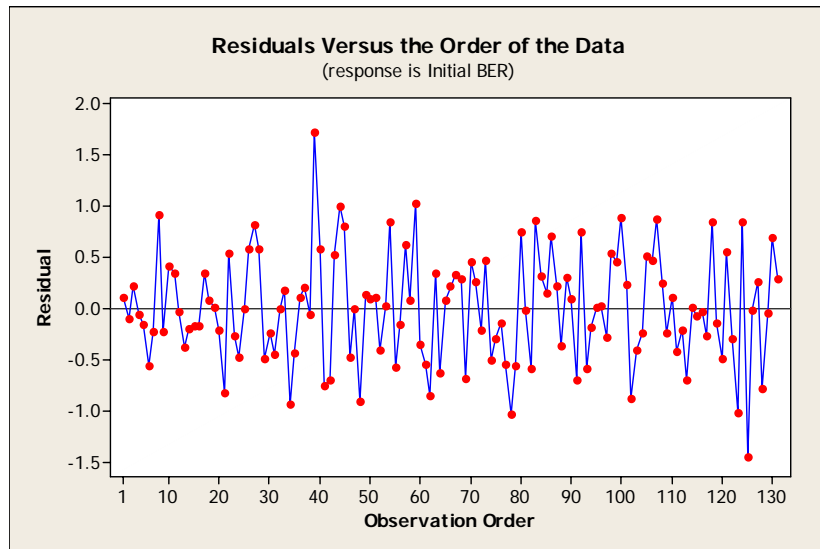
การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบด้วยการกระจายของส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนอง (Initial BER) ซึ่งกราฟการกระจายตัวที่ได้เป็นเส้นตรงและได้ค่า P-Value มากกว่า 0.05 แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายเป็นปกติ ดังแสดงในภาพที่ 6.2



ภาพที่ 6.2 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (Initial BER)

6.4.3 การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent)

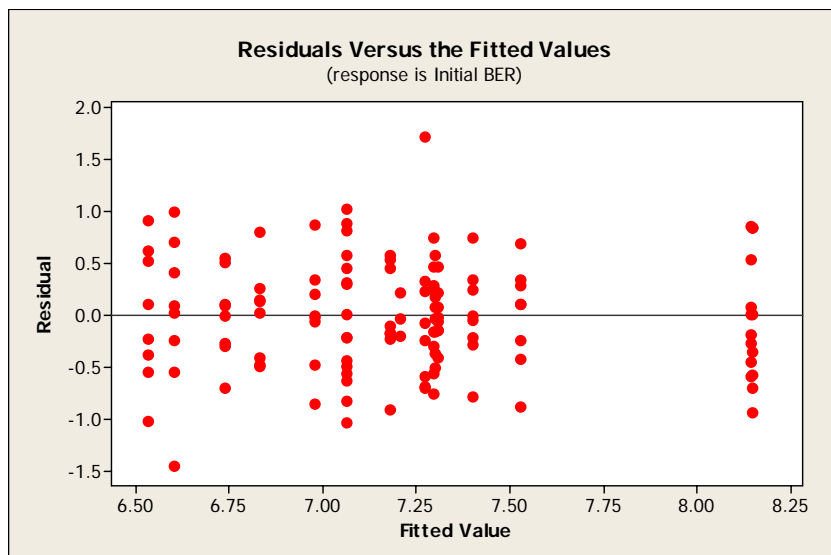
การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบโดยแผนภาพการกระจายความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่อง โดยการกระจายตัวที่ได้ไม่ควรมีรูปแบบใดๆ ดังแสดงในภาพที่ 6.3 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



ภาพที่ 6.3 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล

6.4.4 ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

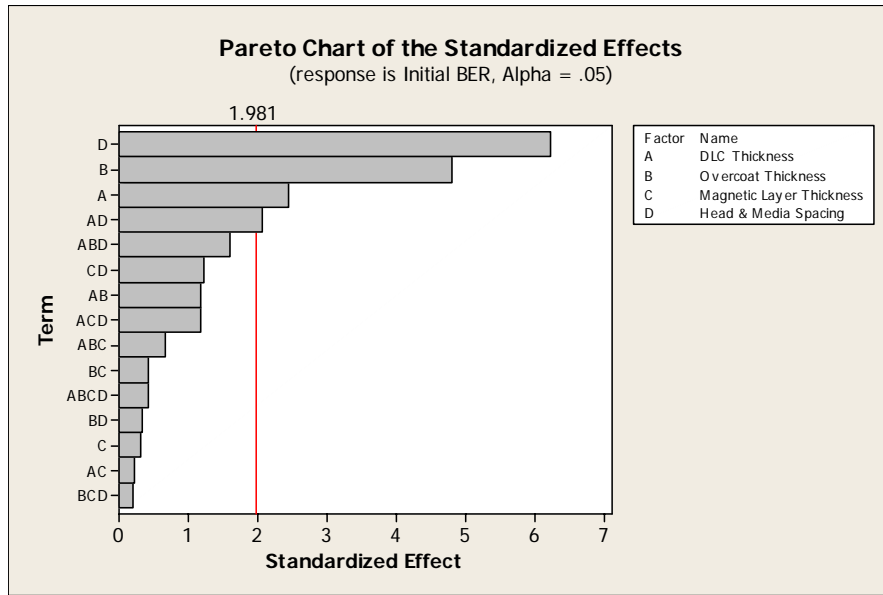
ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบด้วยการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากแบบถดถอย โดยแผนภาพที่ได้ไม่ควรมีลักษณะของความเป็นแนวโน้มหรือรูปแบบใดๆ จากภาพที่ 6.4 สังเกตได้ว่าค่าส่วนตกค้างไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่มีรูปแบบใดๆ จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลที่ได้มีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



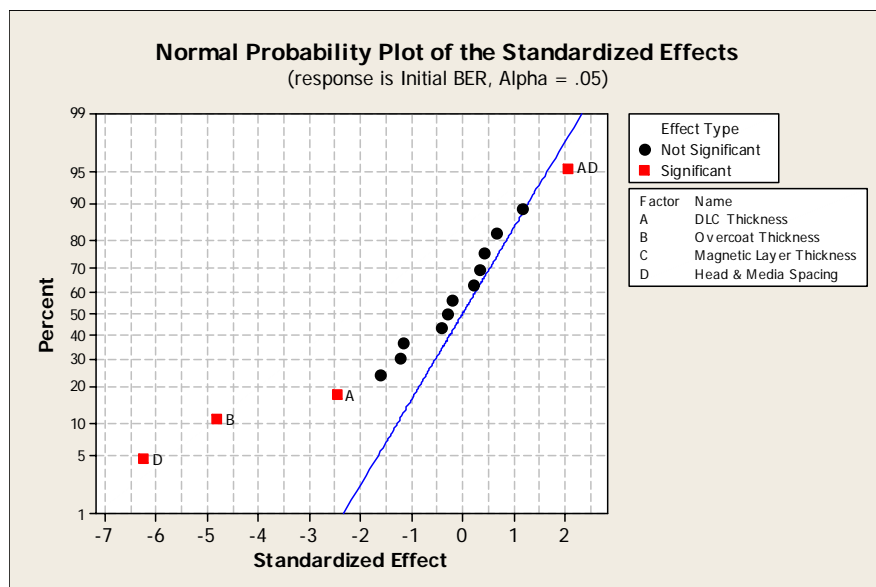
ภาพที่ 6.4 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต

6.4.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

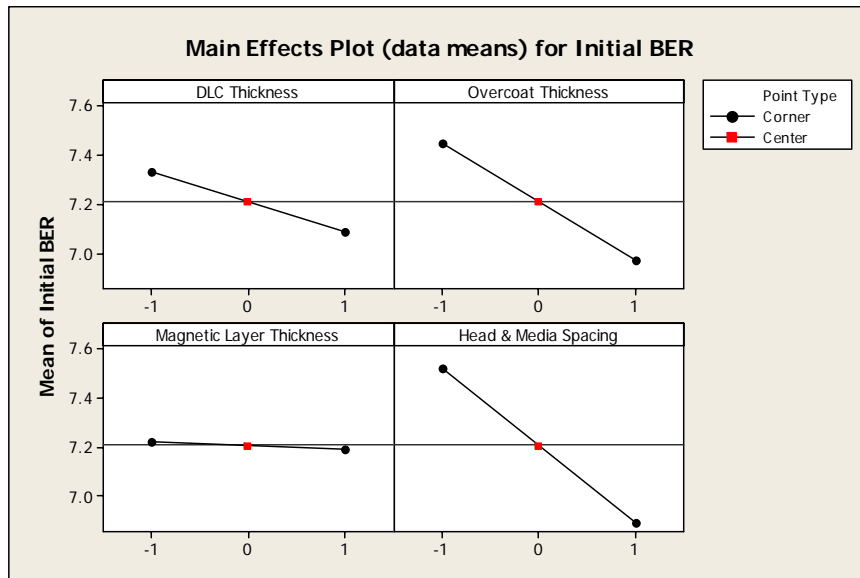
การวิเคราะห์ผลการทดลองหาปัจจัยหลักและอันตรกิริยา ที่ส่งผลต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เบื้องต้น โดยมีรายละเอียดดังนี้



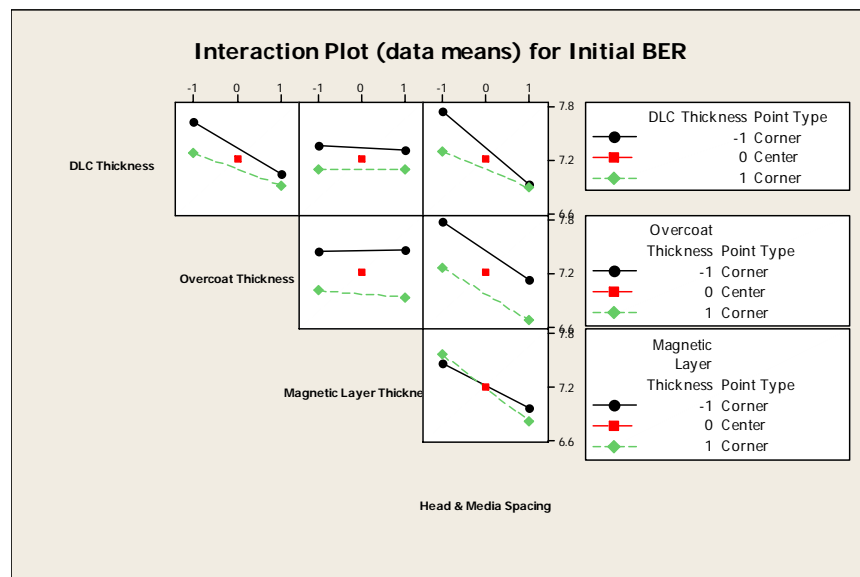
ภาพที่ 6.5 แผนภูมิพารेटอ แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อ Initial BER



ภาพที่ 6.6 กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่า Initial BER



ภาพที่ 6.7 ผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Initial BER)



ภาพที่ 6.8 ผลอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Initial BER)

ตารางที่ 6.3 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของปัจจัยที่ส่งผลต่อ Initial BER

Factorial Fit: Initial BER versus DLC Thickness, Overcoat Thickness, ...

Estimated Effects and Coefficients for Initial BER (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		7.2097	0.05011	143.87	0.000
DLC Thickness	-0.2459	-0.1230	0.05011	-2.45	0.016
Overcoat Thickness	-0.4809	-0.2405	0.05011	-4.80	0.000
Magnetic Layer Thickness	-0.0309	-0.0155	0.05011	-0.31	0.758
Head & Media Spacing	-0.6247	-0.3123	0.05011	-6.23	0.000
DLC Thickness*Overcoat Thickness	0.1181	0.0591	0.05011	1.18	0.241
DLC Thickness* Magnetic Layer Thickness	0.0212	0.0106	0.05011	0.21	0.832
DLC Thickness*Head & Media Spacing	0.2069	0.1034	0.05011	2.06	0.041
Overcoat Thickness* Magnetic Layer Thickness	-0.0431	-0.0216	0.05011	-0.43	0.668
Overcoat Thickness* Head & Media Spacing	0.0338	0.0169	0.05011	0.34	0.737
Magnetic Layer Thickness* Head & Media Spacing	-0.1219	-0.0609	0.05011	-1.22	0.226
DLC Thickness*Overcoat Thickness* Magnetic Layer Thickness	0.0659	0.0330	0.05011	0.66	0.512
DLC Thickness*Overcoat Thickness* Head & Media Spacing	-0.1603	-0.0802	0.05011	-1.60	0.112
DLC Thickness* Magnetic Layer Thickness* Head & Media Spacing	-0.1178	-0.0589	0.05011	-1.18	0.242
Overcoat Thickness* Magnetic Layer Thickness* Head & Media Spacing	-0.0203	-0.0102	0.05011	-0.20	0.840
DLC Thickness*Overcoat Thickness* Magnetic Layer Thickness* Head & Media Spacing	0.0431	0.0216	0.05011	0.43	0.668
Ct Pt		-0.0030	0.33115	-0.01	0.993

S = 0.566956 R-Sq = 41.26% R-Sq(adj) = 33.01%

Analysis of Variance for Initial BER (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	21.8553	21.8553	5.46382	17.00	0.000
2-Way Interactions	6	2.4018	2.4018	0.40029	1.25	0.289
3-Way Interactions	4	1.4189	1.4189	0.35472	1.10	0.358
4-Way Interactions	1	0.0595	0.0595	0.05951	0.19	0.668
Curvature	1	0.0000	0.0000	0.00003	0.00	0.993
Residual Error	114	36.6440	36.6440	0.32144		
Pure Error	114	36.6440	36.6440	0.32144		
Total	130	62.3795				

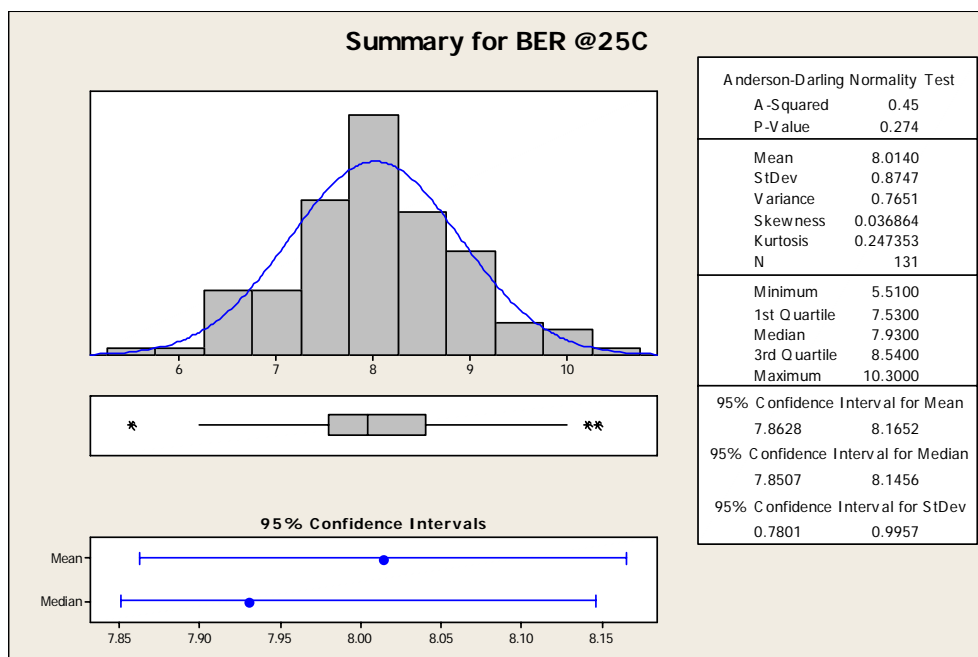
จากผลการทดลองปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่ส่งผลต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนเบื้องต้นอย่างมีนัยสำคัญ (P-Value < 0.05) มี 3 ตัวได้แก่ความหนาของสารเคลือบหัวอ่านเขียน, ความหนาของสารเคลือบผิวบนแผ่นดิสก์และระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ (Head and Media Spacing) ส่วนอันตรกิริยา (Interaction Effect) ที่ส่งผลมี 1 ตัวได้แก่ อันตรกิริยาระหว่างความหนาของสารเคลือบหัวอ่านเขียนและระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ โดยที่ระดับของปัจจัยทั้งหมดควรมีระดับต่ำ

6.5 การวิเคราะห์ผลการทดลองหาปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง (BER @25 °C)

ทำการวิเคราะห์การทดลองหาปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟที่อุณหภูมิ 25°C เริ่มจากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง, การทดสอบสมมติฐานความเป็นปกติของข้อมูล, การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent) และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) และผลที่ได้จากการทดลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.5.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ผลการทดลองสามารถรวบรวมหาค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (Bit Error Rate @ 25 °C) ดังแสดงในภาพที่ 6.9

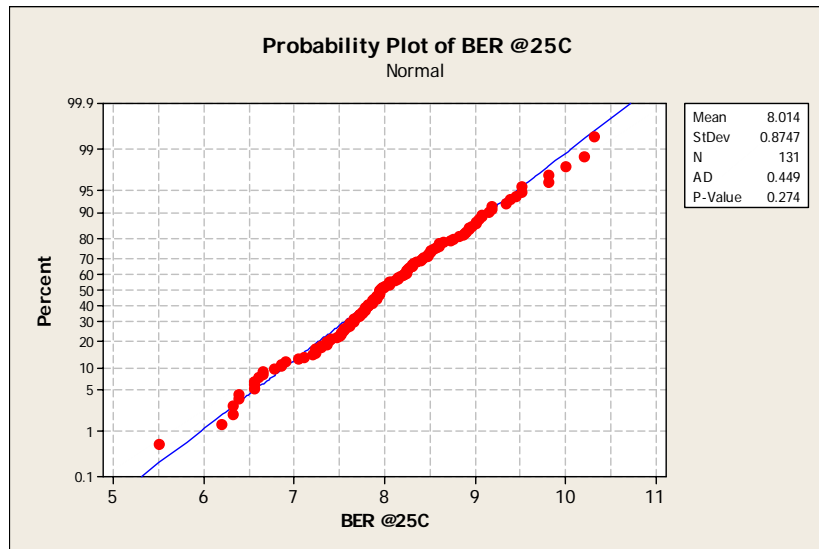


ภาพที่ 6.9 แผนภูมิแสดงสถิติเชิงพรรณนาของค่าตัวแปรตอบสนอง (BER @25 °C)

ในการออกแบบการทดลองจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่สำคัญคือ NID ($0, \sigma^2$) จึงต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ได้แก่การทดสอบเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลอง คือ ข้อมูลที่ได้เป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ, ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกันและความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

6.5.2 การทดสอบสมมติฐานความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้

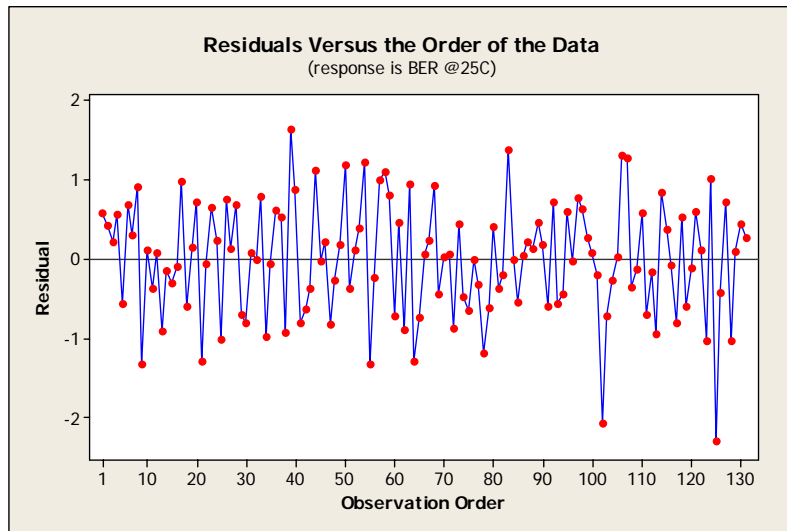
การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบด้วยการกระจายของส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนอง (BER @25 °C) ซึ่งกราฟการกระจายตัวที่ได้เป็นเส้นตรงและได้ค่า P-Value มากกว่า 0.05 แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายเป็นปกติ ดังแสดงในภาพที่ 6.10



ภาพที่ 6.10 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (BER @25 °C)

6.5.3 การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent)

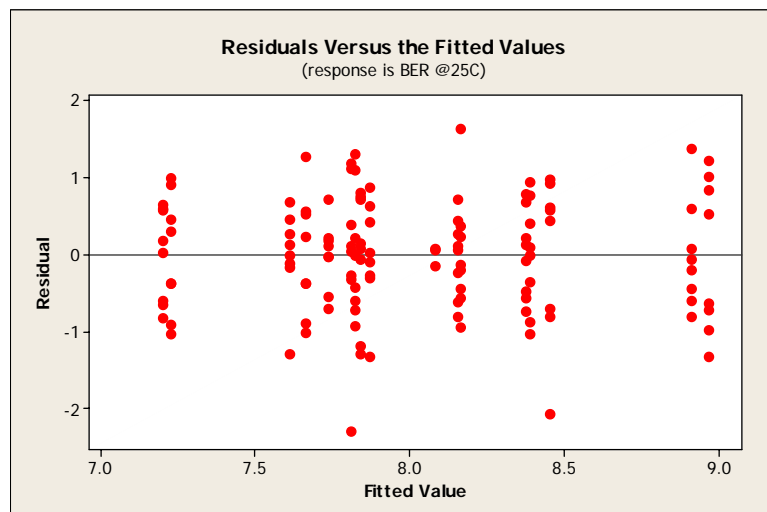
การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบโดยแผนภาพการกระจายความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่อง โดยการกระจายตัวที่ได้ไม่ควรจะมีรูปแบบใดๆ ดังแสดงในภาพที่ 6.11 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



ภาพที่ 6.11 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล

6.5.4 ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

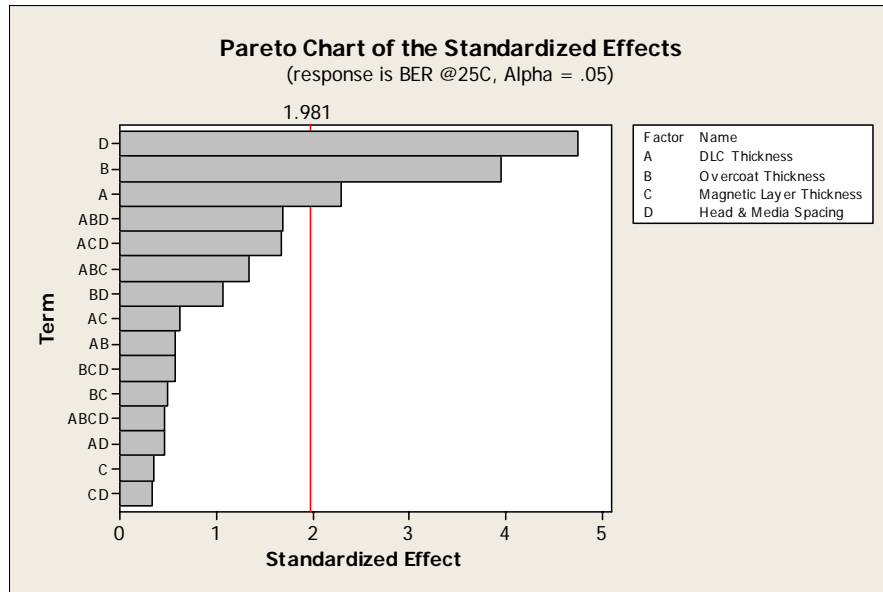
ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้ด้วยการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากแบบถดถอย โดยแผนภาพที่ได้ไม่ควรมีลักษณะของความเป็นแนวโน้มหรือรูปแบบใดๆ จากภาพที่ 6.12 จะสังเกตได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีลักษณะของการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบใดๆ จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลอัตราความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสที่ได้มีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



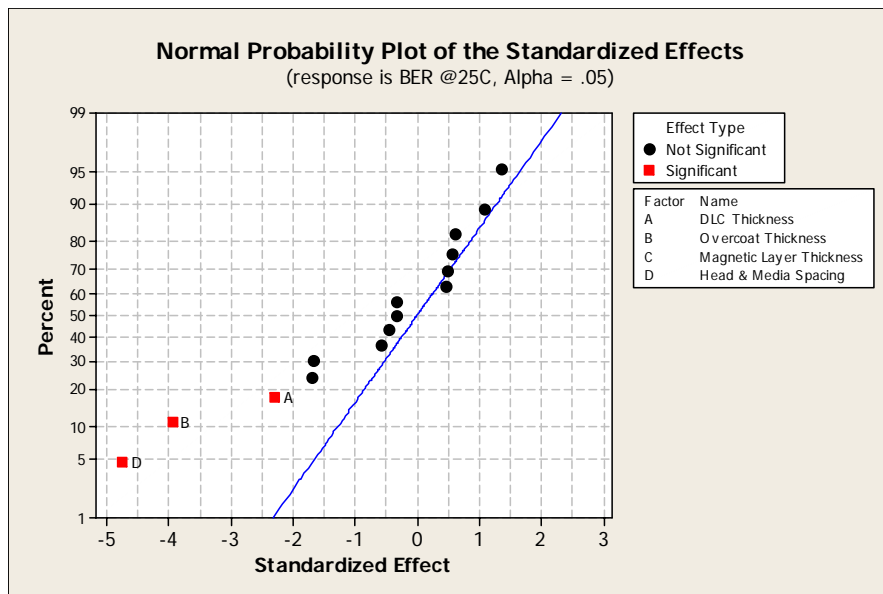
ภาพที่ 6.12 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต

6.5.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

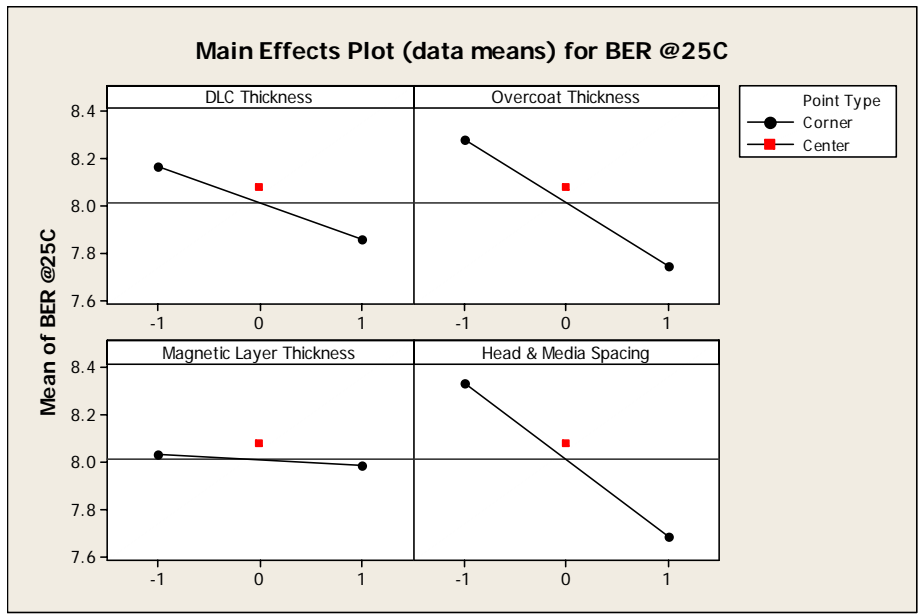
การวิเคราะห์ผลการทดลองหาปัจจัยหลักและอันตรกิริยา ที่ส่งผลต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่อุณหภูมิ 25°C โดยมีรายละเอียดดังนี้



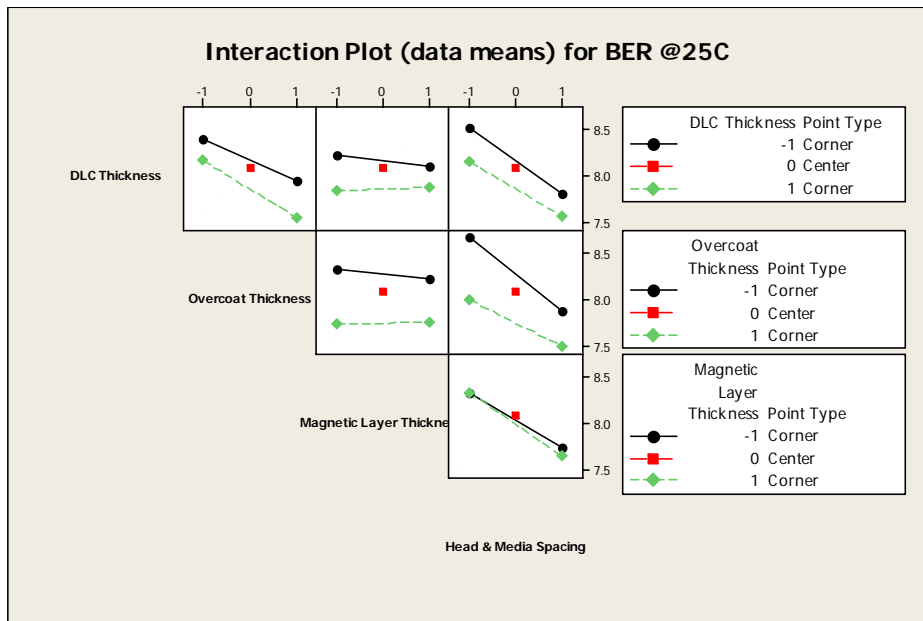
ภาพที่ 6.13 แผนภูมิพารेटอ แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อ BER @25 °C



ภาพที่ 6.14 กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่า BER @ 25 °C



ภาพที่ 6.15 ผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (BER @25 °C)



ภาพที่ 6.16 ผลอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (BER @25 °C)

ตารางที่ 6.4 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของปัจจัยที่ส่งผลต่อ BER @25 °C

Factorial Fit: BER @25C versus DLC Thickness, Overcoat Thickness, ...

Estimated Effects and Coefficients for BER @25C (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		8.0124	0.06803	117.79	0.000
DLC Thickness	-0.3111	-0.1555	0.06803	-2.29	0.024
Overcoat Thickness	-0.5364	-0.2682	0.06803	-3.94	0.000
Magnetic Layer Thickness	-0.0467	-0.0234	0.06803	-0.34	0.732
Head & Media Spacing	-0.6464	-0.3232	0.06803	-4.75	0.000
DLC Thickness*Overcoat Thickness	-0.0786	-0.0393	0.06803	-0.58	0.565
DLC Thickness* Magnetic Layer Thickness	0.0836	0.0418	0.06803	0.61	0.540
DLC Thickness*Head & Media Spacing	0.0620	0.0310	0.06803	0.46	0.649
Overcoat Thickness* Magnetic Layer Thickness	0.0664	0.0332	0.06803	0.49	0.626
Overcoat Thickness* Head & Media Spacing	0.1461	0.0730	0.06803	1.07	0.285
Magnetic Layer Thickness* Head & Media Spacing	-0.0461	-0.0230	0.06803	-0.34	0.735
DLC Thickness*Overcoat Thickness* Magnetic Layer Thickness	0.1830	0.0915	0.06803	1.34	0.181
DLC Thickness*Overcoat Thickness* Head & Media Spacing	-0.2305	-0.1152	0.06803	-1.69	0.093
DLC Thickness* Magnetic Layer Thickness* Head & Media Spacing	-0.2277	-0.1138	0.06803	-1.67	0.097
Overcoat Thickness* Magnetic Layer Thickness* Head & Media Spacing	0.0770	0.0385	0.06803	0.57	0.572
DLC Thickness*Overcoat Thickness* Magnetic Layer Thickness* Head & Media Spacing	-0.0620	-0.0310	0.06803	-0.46	0.649
Ct Pt		0.0676	0.44952	0.15	0.881

S = 0.769621 R-Sq = 32.11% R-Sq(adj) = 22.58%

Analysis of Variance for BER @25C (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	25.7451	25.7451	6.43628	10.87	0.000
2-Way Interactions	6	1.4365	1.4365	0.23942	0.40	0.875
3-Way Interactions	4	4.6193	4.6193	1.15484	1.95	0.107
4-Way Interactions	1	0.1231	0.1231	0.12313	0.21	0.649
Curvature	1	0.0134	0.0134	0.01339	0.02	0.881
Residual Error	114	67.5241	67.5241	0.59232		
Pure Error	114	67.5241	67.5241	0.59232		
Total	130	99.4615				

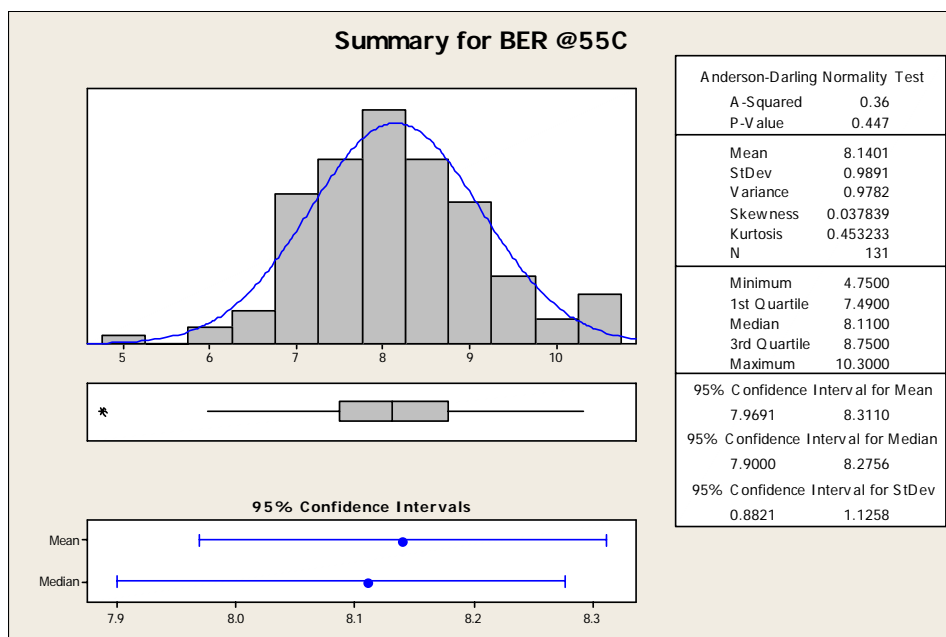
จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่ส่งผลต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญ (P-Value < 0.05) มี 3 ตัวได้แก่ความหนาของสารเคลือบหัวอ่านเขียน, ความหนาของสารเคลือบผิวบนแผ่นดิสก์และระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ (Head and Media Spacing) โดยที่ระดับของปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยควรมีระดับต่ำ ทั้งนี้ไม่ปรากฏผลอันตรกิริยา (Interaction Effect) ที่มีนัยสำคัญ

6.6 การวิเคราะห์ผลการทดลองหาปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง (BER @55 °C)

ทำการวิเคราะห์การทดลองหาปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่อุณหภูมิ 55°C เริ่มจากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง, การทดสอบสมมติฐานความเป็นปกติของข้อมูล, การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent) และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) และผลที่ได้จากการทดลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.6.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ผลการทดลองสามารถรวบรวมหาค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (Bit Error Rate @55 °C) ดังแสดงในภาพที่ 6.17

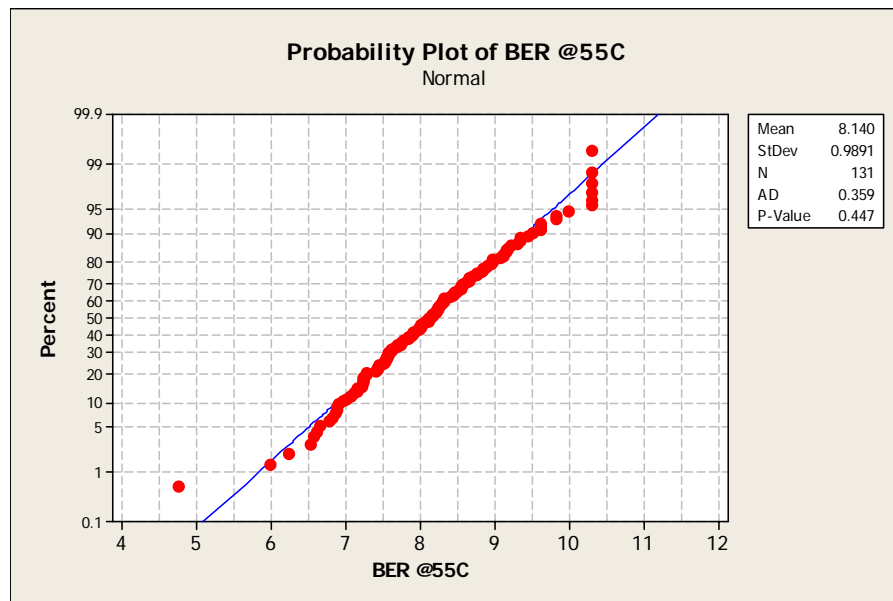


ภาพที่ 6.17 แผนภูมิแสดงสถิติเชิงพรรณนาของค่าตัวแปรตอบสนอง (BER @55 °C)

ในการออกแบบการทดลองจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่สำคัญคือ NID ($0, \sigma^2$) จึงต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ได้แก่การทดสอบเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลอง คือ ข้อมูลที่ได้เป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ, ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกันและความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

6.6.2 การทดสอบสมมติฐานความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้

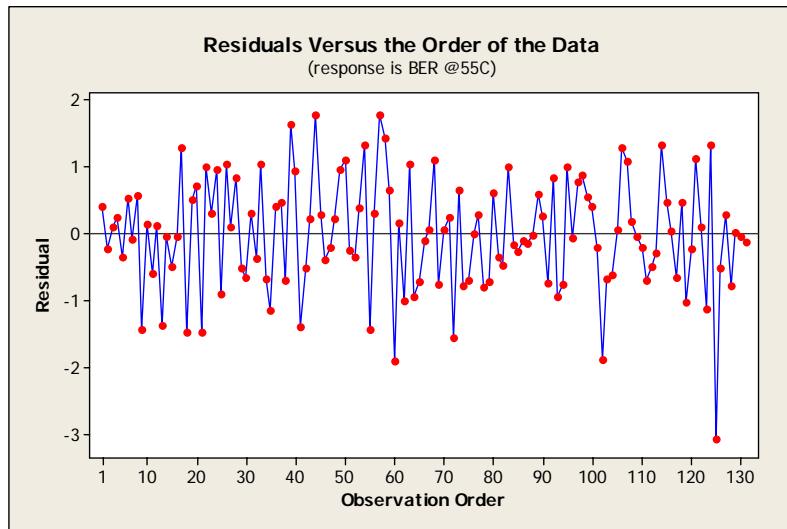
การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบด้วยการกระจายของส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนอง (BER @55 °C) ซึ่งกราฟการกระจายตัวที่ได้เป็นเส้นตรงและได้ค่า P-Value มากกว่า 0.05 แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายเป็นปกติ ดังแสดงในภาพที่ 6.18



ภาพที่ 6.18 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (BER @55 °C)

6.6.3 การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent)

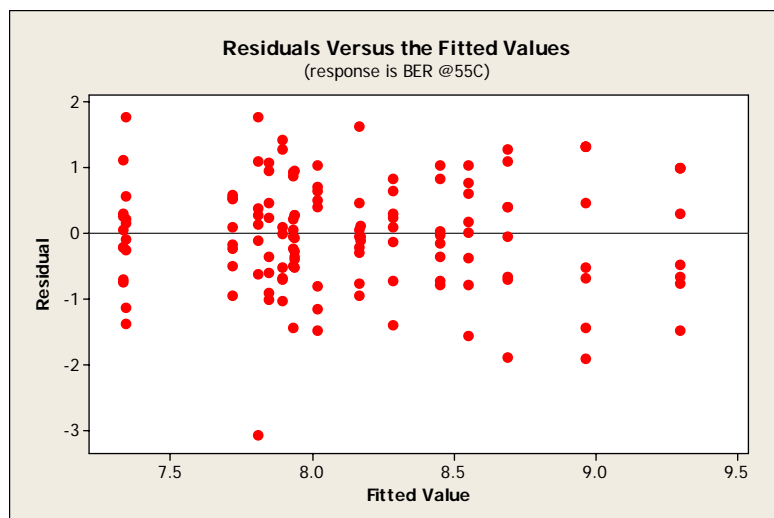
การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบโดยแผนภาพการกระจายความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่อง โดยการกระจายตัวที่ได้ไม่ควรมีรูปแบบใดๆ ดังแสดงในภาพที่ 6.19 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



ภาพที่ 6.19 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล

6.6.4 ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

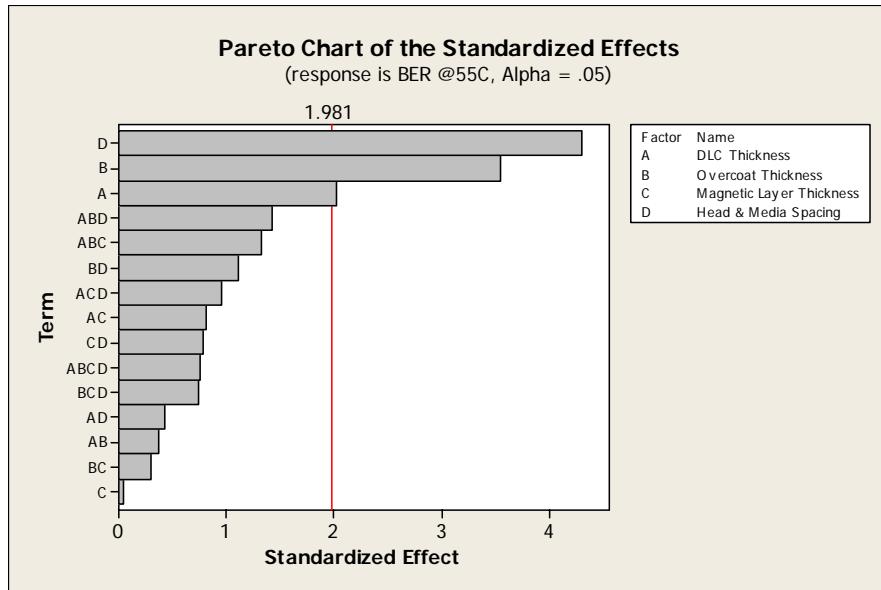
ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้ด้วยการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากแบบถดถอย โดยแผนภาพที่ได้ไม่ควรมีลักษณะของความเป็นแนวโน้มหรือรูปแบบใดๆ จากภาพที่ 6.20 จะสังเกตเห็นได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีลักษณะของการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบใดๆ จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลอัตราความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสที่ได้มีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



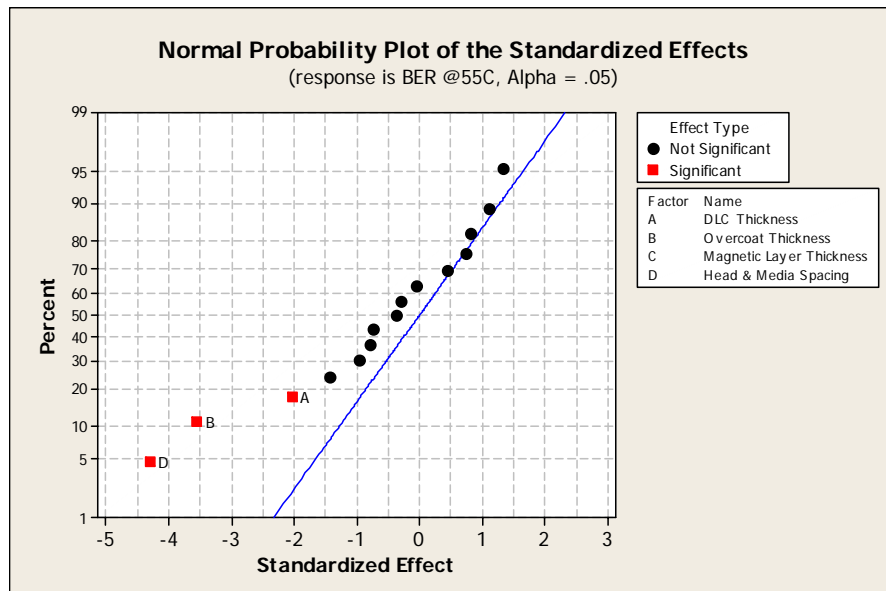
ภาพที่ 6.20 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต

6.6.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

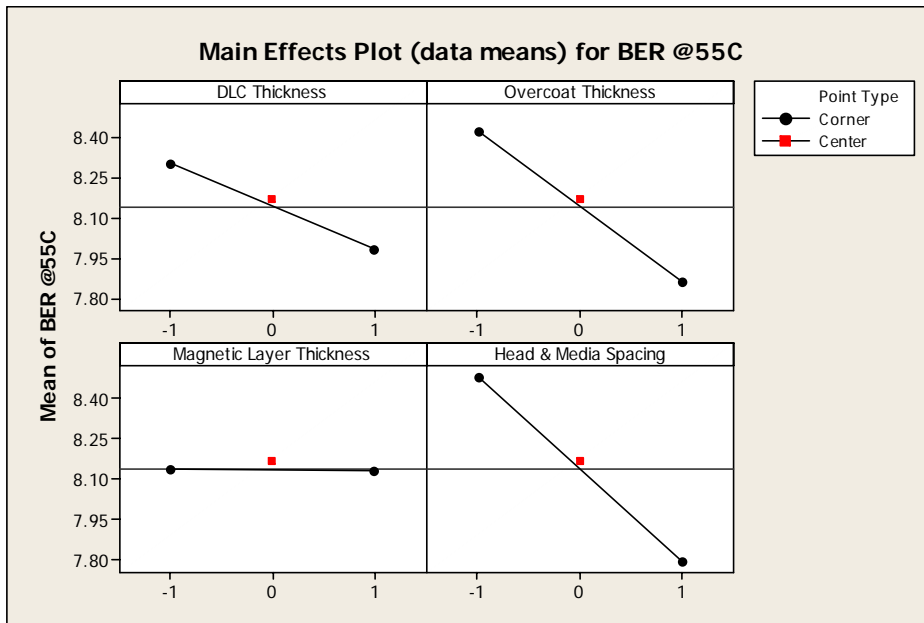
การวิเคราะห์ผลการทดลองหาปัจจัยหลักและอันตรกิริยา ที่ส่งผลต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่อุณหภูมิ 55°C โดยมีรายละเอียดดังนี้



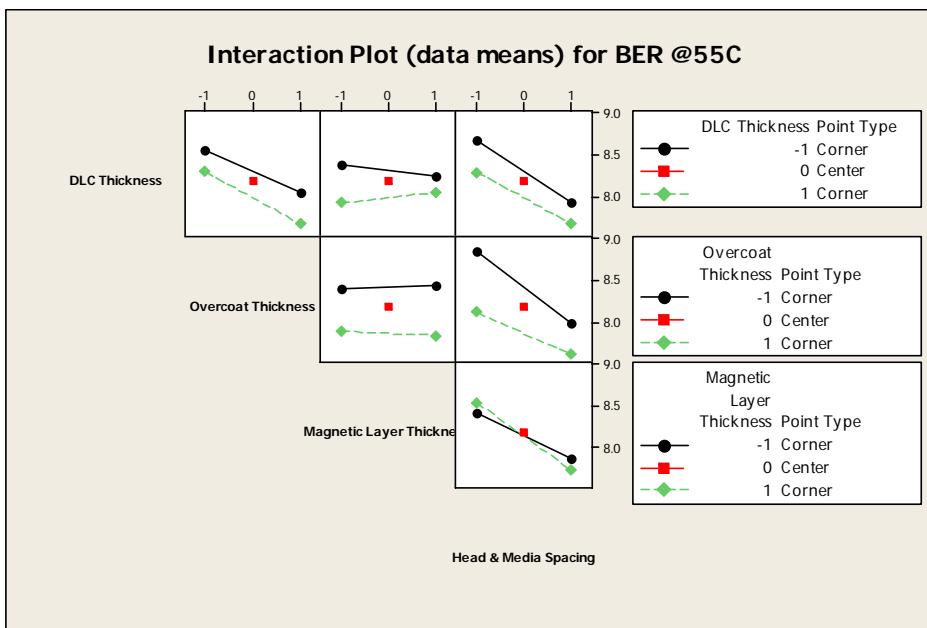
ภาพที่ 6.21 แผนภูมิพารेटอ แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อ BER @55 °C



ภาพที่ 6.22 กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่า BER @55 °C



ภาพที่ 6.23 ผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (BER @55 °C)



ภาพที่ 6.24 ผลอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (BER @55 °C)

ตารางที่ 6.5 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของปัจจัยที่ส่งผลต่อ BER @55 °C

Factorial Fit: BER @55C versus DLC Thickness, Overcoat Thickness, ...

Estimated Effects and Coefficients for BER @55C (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		8.1394	0.07931	102.63	0.000
DLC Thickness	-0.3219	-0.1609	0.07931	-2.03	0.045
Overcoat Thickness	-0.5622	-0.2811	0.07931	-3.54	0.001
Magnetic Layer Thickness	-0.0066	-0.0033	0.07931	-0.04	0.967
Head & Media Spacing	-0.6822	-0.3411	0.07931	-4.30	0.000
DLC Thickness*Overcoat Thickness	-0.0578	-0.0289	0.07931	-0.36	0.716
DLC Thickness*	0.1297	0.0648	0.07931	0.82	0.415
Magnetic Layer Thickness					
DLC Thickness*Head & Media Spacing	0.0684	0.0342	0.07931	0.43	0.667
Overcoat Thickness*	-0.0469	-0.0234	0.07931	-0.30	0.768
Magnetic Layer Thickness					
Overcoat Thickness*	0.1769	0.0884	0.07931	1.12	0.267
Head & Media Spacing					
Magnetic Layer Thickness*	-0.1250	-0.0625	0.07931	-0.79	0.432
Head & Media Spacing					
DLC Thickness*Overcoat Thickness*	0.2106	0.1053	0.07931	1.33	0.187
Magnetic Layer Thickness					
DLC Thickness*Overcoat Thickness*	-0.2263	-0.1131	0.07931	-1.43	0.156
Head & Media Spacing					
DLC Thickness*	-0.1525	-0.0763	0.07931	-0.96	0.338
Magnetic Layer Thickness*					
Head & Media Spacing					
Overcoat Thickness*	0.1184	0.0592	0.07931	0.75	0.457
Magnetic Layer Thickness*					
Head & Media Spacing					
DLC Thickness*Overcoat Thickness*	-0.1191	-0.0595	0.07931	-0.75	0.454
Magnetic Layer Thickness*					
Head & Media Spacing					
Ct Pt		0.0306	0.52406	0.06	0.954

S = 0.897242 R-Sq = 27.83% R-Sq(adj) = 17.70%

Analysis of Variance for BER @55C (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	28.323	28.3226	7.08065	8.80	0.000
2-Way Interactions	6	2.366	2.3665	0.39441	0.49	0.815
3-Way Interactions	4	4.251	4.2507	1.06269	1.32	0.267
4-Way Interactions	1	0.454	0.4536	0.45363	0.56	0.454
Curvature	1	0.003	0.0027	0.00275	0.00	0.954
Residual Error	114	91.775	91.7749	0.80504		
Pure Error	114	91.775	91.7749	0.80504		
Total	130	127.171				

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่ส่งผลต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญ (P-Value < 0.05) มี 3 ตัวได้แก่ความหนาของสารเคลือบหัวอ่านเขียน, ความหนาของสารเคลือบผิวบนแผ่นดิสก์และระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ (Head and Media Spacing) โดยที่ระดับของปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยควรมีระดับต่ำ ทั้งนี้ไม่ปรากฏผลอันตรกิริยา (Interaction Effect) ที่มีนัยสำคัญ

บทที่ 7

การทดสอบยืนยันผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการทดสอบเพื่อยืนยันผลจากค่าระดับของปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ปัจจัย ที่ส่งผลกระทบต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จากการทดลองในบทที่ 6 โดยจะเริ่มตั้งแต่การทดสอบยืนยันสัดส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีอัตราความผิดพลาดไม่ได้ตามเกณฑ์ก่อนและหลังการปรับปรุง การทดสอบความเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ (Reliability Test) และการทดสอบความสามารถการบินระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ (Tribology Test) โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

7.1 วิธีการทดสอบยืนยันผล

จุดประสงค์เพื่อยืนยันผลผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับระดับของปัจจัยตามผลการทดลองในบทที่ 6 โดยการหาอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ได้หลังการปรับปรุง ตลอดจนเพื่อตรวจสอบว่าการปรับเปลี่ยนของระดับปัจจัยดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์และความสามารถการบินของหัวอ่านเขียน โดยมีรายละเอียดดังนี้

7.1.1 การทดสอบยืนยันสัดส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีอัตราความผิดพลาดไม่ได้ตามเกณฑ์ก่อนและหลังการปรับปรุง

- 1) ทำการทดสอบยืนยันผลอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียน โดยทำการปรับระดับปัจจัยทั้ง 3 ตัวตามผลการที่ได้จากการทดลองในบทที่ 6 ดังต่อไปนี้
 - ก) ความหนาของสารเคลือบหัวอ่านเขียน (Diamond Like Carbon Thickness) เท่ากับ 17 อังสตรอม
 - ข) ความหนาของสารเคลือบผิวบนแผ่นดิสก์ (Over Coat Thickness) เท่ากับ 20 อังสตรอม
 - ค) ระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ (Head and Media Spacing) ที่ระดับ 15 นาโนเมตร
- 2) จำนวนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ทำการทดสอบมีทั้งสิ้น 1000 ตัว
- 3) เปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนก่อนและหลังปรับปรุง ตลอดจนสัดส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีอัตราความผิดพลาดไม่ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

7.1.2 การทดสอบความเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ (Reliability Test)

- 1) นำฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์หลังการปรับปรุงที่ได้จากการทดสอบหัวข้อ 7.1.1 มาทำการทดสอบความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ (Basic Environment Stress Test) ที่อุณหภูมิระหว่าง 5 - 55 องศาเซลเซียส และความชื้นระหว่าง 20-40 เปอร์เซ็นต์ ทำการอ่านเขียนสัญญาณและหาค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนที่สภาวะดังกล่าว
- 2) จำนวนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ทำการทดสอบมีทั้งสิ้น 200 ตัว
- 3) เปรียบเทียบผลการทดสอบความเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการปรับปรุง

7.1.3 การทดสอบความสามารถการบินระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ (Tribology Test)

นำฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์หลังการปรับปรุงที่ได้จากการทดสอบหัวข้อ 7.1.1 มาทำการทดสอบความสามารถในการบินระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการประเมินว่ามีปัญหาหัวอ่านเขียนกระทบบนแผ่นดิสก์หรือไม่ (Head and Disk Interfact) ตลอดจนรอยขีดข่วน (Scratch) ที่อาจเกิดขึ้น โดยมีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

- 1) Load UnLoad Test:
 - ก) เป็นการทดสอบโดยการให้หัวอ่านเขียนเคลื่อนที่ไปมาระหว่าง Ramp และแผ่นดิสก์เป็นจำนวน 100K, 300K และ 600K ครั้ง
 - ข) ทำการทดสอบที่อุณหภูมิระหว่าง 5 - 55 องศาเซลเซียส และความชื้นระหว่าง 20-40%
 - ค) จำนวนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ทำการทดสอบ 10 ตัว
- 2) การทดสอบการอ่านเขียนที่ความดันต่างๆ (Altitude Test)
 - ก) การทดสอบการอ่านเขียนและอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนที่ความดันตั้งแต่ -1000 ฟุต, ความดันบรรยากาศ (Ambient), 10000 ฟุต และ 40000 ฟุต และที่อุณหภูมิห้องและ 55 องศาเซลเซียส
 - ข) จำนวนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ทำการทดสอบ 10 ตัว
- 3) การทดสอบความสามารถในการบิน (Flyability Test)
 - ก) เป็นการทดสอบการบินของหัวอ่านเขียนบนแผ่นดิสก์ที่ตำแหน่งแทร็คเดิมเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อทดสอบความสามารถในการบินว่าลดลงหรือไม่เมื่อเวลาผ่านไป
 - ข) จำนวนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ทำการทดสอบ 10 ตัว

4) การทดสอบการกัดกร่อน (Corrosion Test)

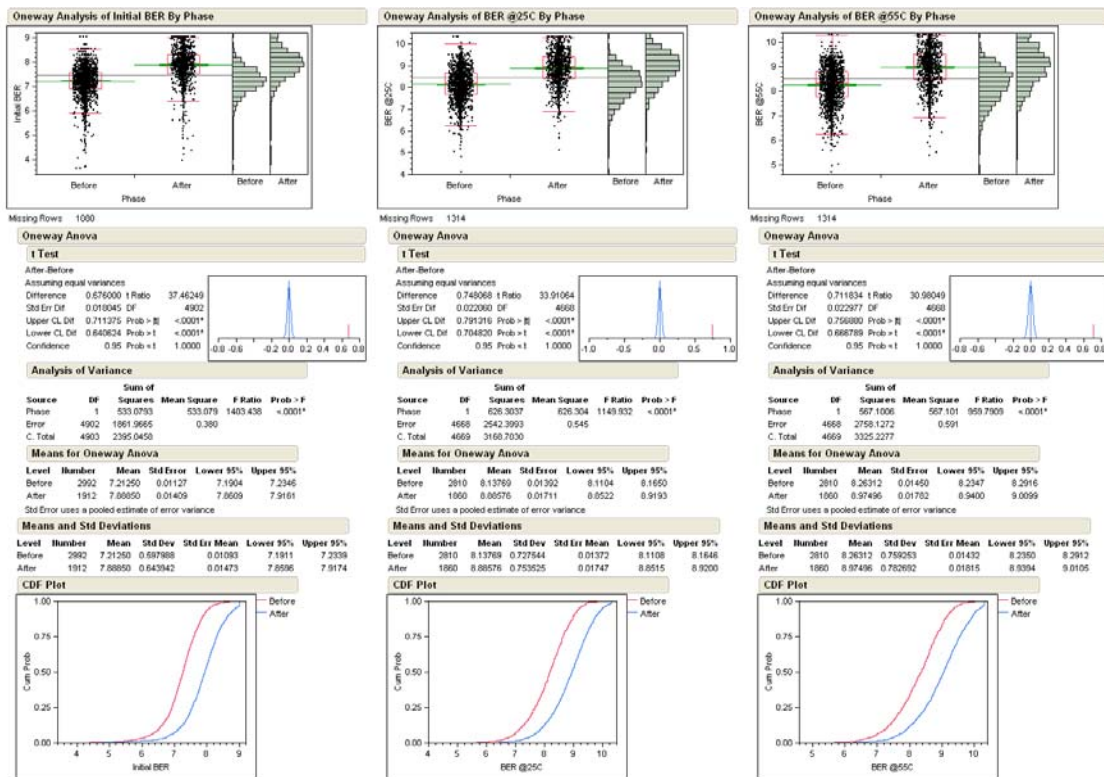
- ก) เป็นการทดสอบการอ่านเขียนและอัตราความผิดพลาด ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสและความชื้นเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ เพื่อตรวจสอบว่ามีปัญหาการกัดกร่อนหรือไม่
- ข) จำนวนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ทำการทดสอบ 12 ตัว

7.2 การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ

ทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบในแต่ละส่วน โดยผลลัพธ์ที่ได้มีดังต่อไปนี้

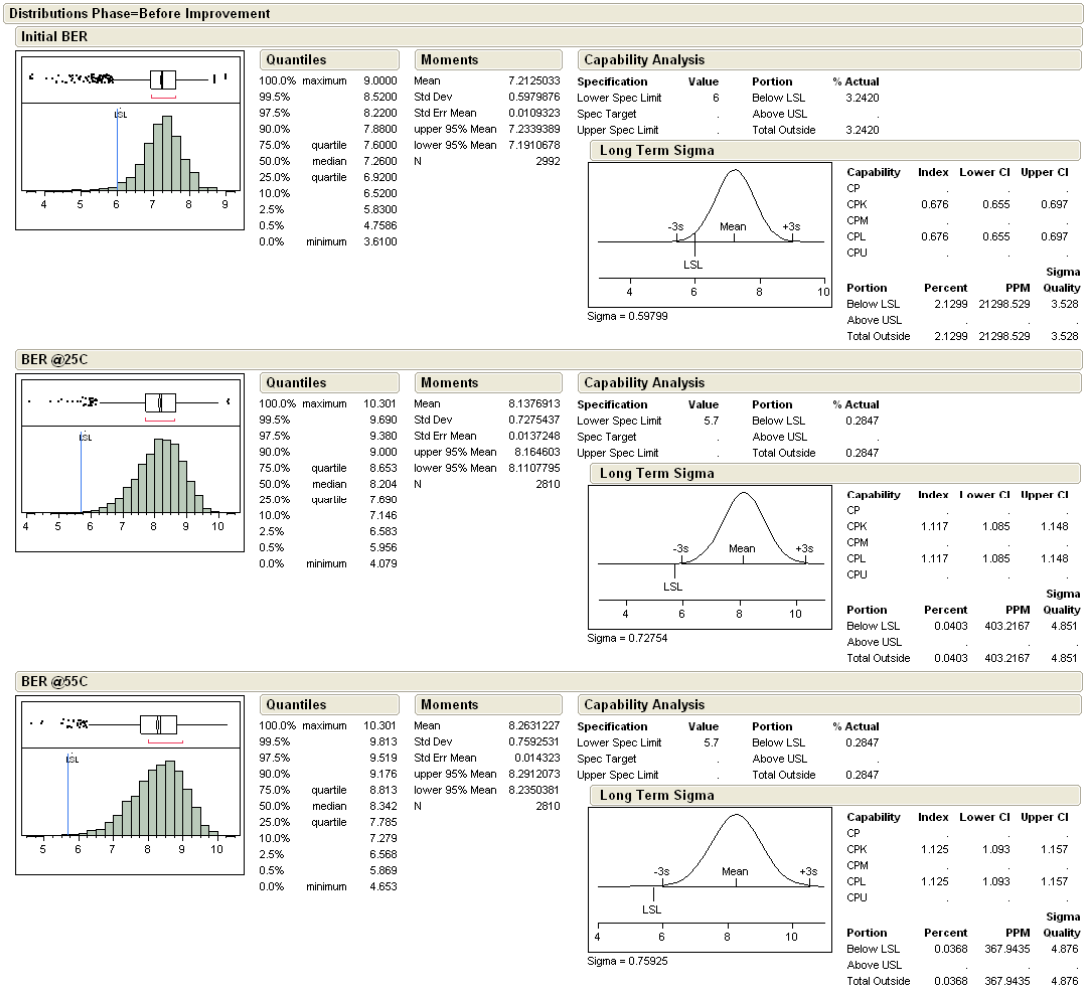
7.2.1 การวิเคราะห์สัดส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีอัตราความผิดพลาดไม่ได้ตามเกณฑ์

จากภาพที่ 7.1 จะเห็นได้ว่าหลังทำการปรับปรุงอัตราความผิดพลาดเบื้องต้นเพิ่มขึ้นจาก 7.21 orders เป็น 7.89 orders หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 0.68 orders, อัตราความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเพิ่มขึ้นจาก 8.14 orders เป็น 8.89 orders หรือเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.75 orders และอัตราความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสเพิ่มขึ้นจาก 8.26 orders เป็น 8.97 orders ซึ่งเท่ากับเพิ่มขึ้น 0.71 order ตามลำดับ



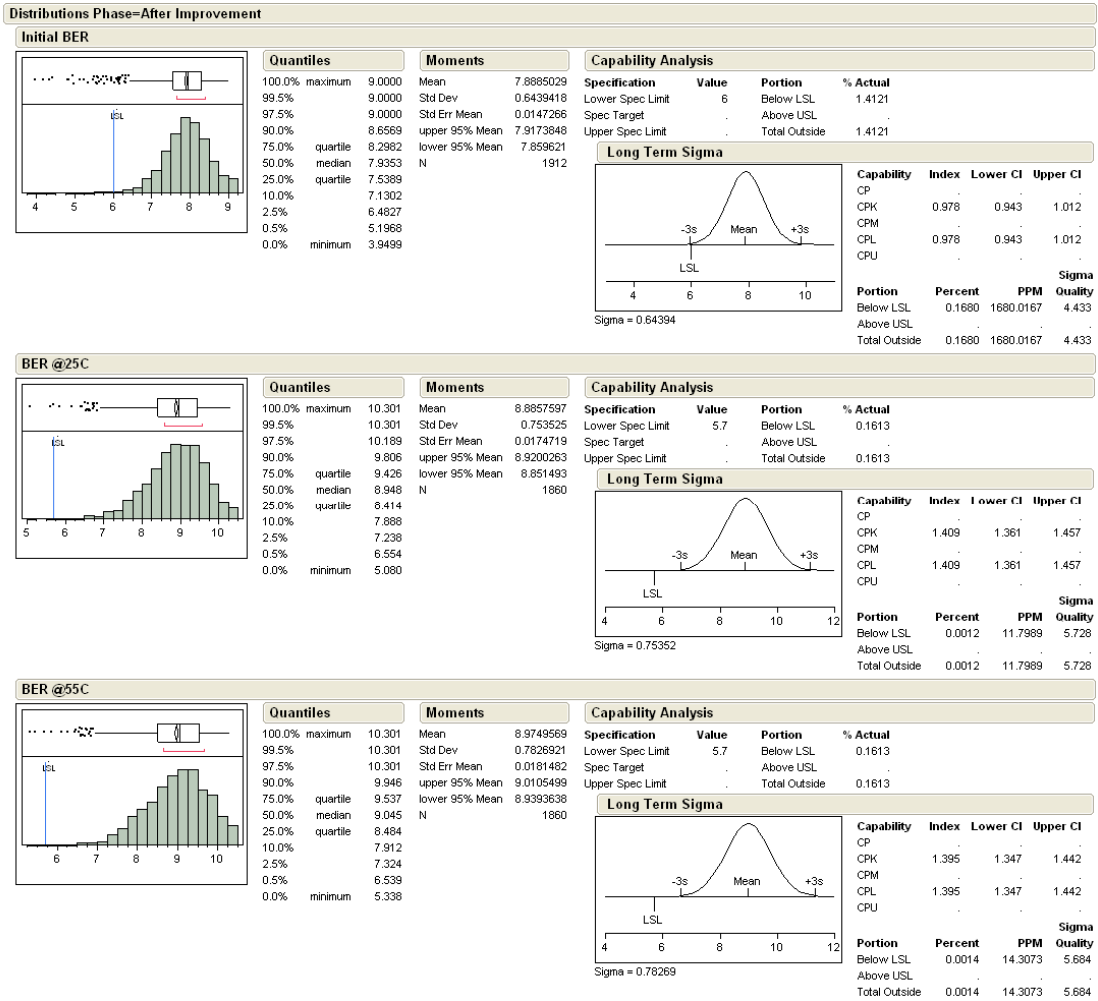
ภาพที่ 7.1 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญก่อนและหลังการปรับปรุง

สัดส่วนหัวอ่านเขียนที่มีอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนไม่ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดก่อนการปรับปรุง ดังแสดงในภาพที่ 7.2



ภาพที่ 7.2 สัดส่วนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ก่อนการปรับปรุงที่ต้องลดความจุลง เนื่องจากอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนไม่ได้ตามเกณฑ์

สัดส่วนหัวอ่านเขียนที่มีอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนไม่ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดหลังการปรับปรุง ดังแสดงในภาพที่ 7.3



ภาพที่ 7.3 สัดส่วนของฮาร์ดดิสก์ที่ได้รับหลังการปรับปรุงที่ต้องลดความจุลง เนื่องจากอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนไม่ได้ตามเกณฑ์

ตารางที่ 7.1 การเปรียบเทียบสัดส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีอัตราความผิดพลาดไม่ได้ตามเกณฑ์ก่อนและหลังการปรับปรุง

เกณฑ์อัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียน ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	สัดส่วนฮาร์ดดิสก์ที่มีอัตราความ ผิดพลาดไม่ได้ตามเกณฑ์	
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการ ปรับปรุง
อัตราความผิดพลาดเบื้องต้น (Initial BER)	6.48%	2.82%
อัตราความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 25 °C (BER @25 °C)	0.57%	0.32%
อัตราความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 55 °C (BER @55 °C)	0.57%	0.32%
อัตราความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 25 °C และ 55 °C	0.57%	0.42%
รวม	7.05%	3.24%

ที่ปริมาณการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ 60,000 ตัวต่อสัปดาห์ และราคาขายที่แตกต่างกันระหว่างฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาดความจุ 500GB และ 320GB เท่ากับ 356 บาท โดยฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาดความจุ 500GB มีราคาขายเท่ากับ 2,491 บาท และขนาดความจุ 320GB มีราคาขายเท่ากับ 2,135 บาท

สามารถคำนวณหาจำนวนเงินที่ได้รับกลับคืนมาจากสัดส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีอัตราความผิดพลาดไม่ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดก่อนทำการปรับปรุงที่ 7.05% เหลือ 3.24% หลังทำการปรับปรุง หรือลดลง 3.81% ได้เท่ากับ 732,434 บาท/สัปดาห์ หรือ 38,086,588 บาท/ปี โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{จำนวนเงินที่ได้รับกลับคืนมา} &= \text{ปริมาณการผลิตต่อสัปดาห์} \times \% \text{Yield} \times (\text{สัดส่วนฮาร์ดดิสก์ที่ต้องลด} \\
 &\quad \text{ขนาดความจุลงก่อนทำการปรับปรุง} - \text{สัดส่วนฮาร์ดดิสก์ที่ต้องลดขนาด} \\
 &\quad \text{ความจุลงหลังทำการปรับปรุง}) \times (\text{ราคาขายฮาร์ดดิสก์ขนาด 500GB} - \\
 &\quad \text{ราคาขายฮาร์ดดิสก์ขนาด 320GB}) \\
 &= 60,000 \times 90\% \times (7.05\% - 3.24\%) \times (2,491 - 2,135) \\
 &= 732,434 \text{ บาท / สัปดาห์}
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 7.2 การเปรียบเทียบสัดส่วนของจำนวนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และจำนวนเงินที่ได้จากการขายฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ก่อนและหลังการปรับปรุง

การคำนวณหาจำนวนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และจำนวนเงินที่ได้รับ	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	หน่วย
ปริมาณการผลิต/สัปดาห์	60,000	60,000	บาท
สัดส่วนเปอร์เซ็นต์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ได้หลังการทดสอบ Back End	90%	90%	เปอร์เซ็นต์
จำนวนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ได้หลังการทดสอบ Back End	54,000	54,000	ตัว
สัดส่วนเปอร์เซ็นต์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ผ่านการทดสอบที่ความจุ 500GB	92.95%	96.76%	เปอร์เซ็นต์
สัดส่วนเปอร์เซ็นต์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ผ่านการทดสอบที่ความจุ 320GB	7.05%	3.24%	เปอร์เซ็นต์
จำนวนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ผ่านการทดสอบที่ความจุ 500GB	50,193	52,250	ตัว
จำนวนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ผ่านการทดสอบที่ความจุ 320GB	3,807	1,750	ตัว
จำนวนเงินที่ได้จากการขายฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาดความจุ 500GB	125,030,763	130,155,746	บาท
จำนวนเงินที่ได้จากการขายฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาดความจุ 320GB	8,127,945	3,735,396	บาท
จำนวนเงินทั้งหมดที่ได้จากการขายฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทั้ง 2 ขนาดความจุ	133,158,708	133,891,142	บาท
จำนวนเงินที่ได้รับกลับคืนมาต่อสัปดาห์		732,434	บาท
จำนวนเงินที่ได้รับกลับคืนมาต่อปี		38,086,568	บาท

หมายเหตุ: ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาดความจุ 500GB มีราคาขายเท่ากับ 2,491 บาท และขนาดความจุ 320GB มีราคาขายเท่ากับ 2,135 บาท

7.2.2 การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์

จากการทดสอบความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการปรับปรุงที่อุณหภูมิระหว่าง 5 - 55 องศาเซลเซียส และความชื้นระหว่าง 20-40 เปอร์เซ็นต์ ให้สัดส่วนของเสียที่เท่ากัน คือประมาณ 1% ดังแสดงในตารางที่ 7.3

โดยที่ของเสียหลังการปรับปรุงได้แก่ปัญหาฝุ่นละอองบนแผ่นดิสก์ (Hard defect) และปัญหาการเขียนสัญญาณนอกแทร็ค (Rapid Off Track Write) อย่างละ 1 ตัว โดยที่ปัญหาหัวอ่านเขียนกระทบบนแผ่นดิสก์จะทำให้เกิดรอยถลอก รอยขีดข่วนบนแผ่นดิสก์ไม่เกิดขึ้นแต่อย่างใด

ตารางที่ 7.3 ผลการทดสอบความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ (BEST - Basic Environment Stress Test)

ผลการทดสอบจากห้อง Lab	ผลการทดสอบความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ (BEST - Basic Environment Stress Test)	
	เปอร์เซ็นต์ของเสีย	ประเภทของเสีย
หลังการปรับปรุง	จำนวนของเสียทั้งหมด 1.02% (2/196) จำนวนของเสียที่เกี่ยวข้องหัวอ่านเขียน 0% (0/196)	1. ฝุ่นละอองบนแผ่นดิสก์ (Hard Defect) 1 ตัว 2. การเขียนสัญญาณนอกแทร็ค (Rapid Off Track Write) - ปัญหาด้าน Mechanical 1 ตัว
ก่อนการปรับปรุง	จำนวนของเสียทั้งหมด 1.08% (2/186) จำนวนของเสียที่เกี่ยวข้องหัวอ่านเขียน 0.54% (0/186)	1. สัญญาณพื้นฐานไม่เสถียร (Base Line Popping) - หัวอ่านเขียนไม่มีเสถียรภาพ 1 ตัว 2. ฝุ่นละอองบนแผ่นดิสก์ (Hard Defect) 1 ตัว

7.2.3 การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบความสามารถในการบินระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์

จากตารางสรุปผลที่ 7.4 จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์หลังปรับปรุงสามารถผ่านการทดสอบการอ่านเขียนที่ความดันต่างๆ (Altitude Test), การทดสอบความสามารถในการบิน (Flyability Test) และการทดสอบการกัดกร่อน (Corrosion Test) ได้ทุกตัว

โดยที่ผลของการทดสอบผลิตภัณฑ์หลังปรับปรุงในส่วนของ Load UnLoad โดยการให้หัวอ่านเขียนเคลื่อนที่ไปมาระหว่าง Ramp และแผ่นดิสก์นั้น ชิ้นงานทั้งหมดสามารถผ่านการทดสอบได้ที่การทดสอบ

100K และ 300K ครั้ง ทั้งนี้ปรากฏว่ามีชิ้นงานที่ไม่ผ่านการทดสอบที่ 600K ครั้ง ที่เฟส อุณหภูมิ 55 °C & ความชื้น 20% (Hot Dry) 1 ตัวและเฟสอุณหภูมิ 55 °C & ความชื้น 40% (Hot Wet) 1 ตัว โดยชิ้นงานก่อนการปรับปรุงให้ผลในลักษณะเดียวกัน คือมีชิ้นงานที่ไม่ผ่านการทดสอบที่ 600K ครั้ง ที่เฟส อุณหภูมิห้อง & ความชื้นห้อง(Ambient) 1 ตัวและเฟสอุณหภูมิ 55 °C & ความชื้น 40% (Hot Wet) 1 ตัว

ตารางที่ 7.4 ผลการทดสอบความสามารถในการบินระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์

ประเภทของการทดสอบ		จำนวน ชิ้นงาน	ผลการทดสอบจากห้อง Lab หลังการ ปรับปรุง	ผลการทดสอบจากห้อง Lab ก่อนการ ปรับปรุง
Load - UnLoad (LUL)	อุณหภูมิห้อง & ความชื้นห้อง (Ambient)	10	10 ชิ้นงานผ่านการทดสอบที่ 300k ครั้ง	10 ชิ้นงานผ่านการทดสอบที่ 300k ครั้ง
			10 ชิ้นงานผ่านการทดสอบที่ 600k ครั้ง	9 ชิ้นงานผ่านการทดสอบที่ 600k ครั้ง
	อุณหภูมิ 55 °C & ความชื้น 20% (Hot Dry)	10	10 ชิ้นงานผ่านการทดสอบที่ 300k ครั้ง	10 ชิ้นงานผ่านการทดสอบที่ 300k ครั้ง
			9 ชิ้นงานผ่านการทดสอบที่ 600k ครั้ง	10 ชิ้นงานผ่านการทดสอบที่ 600k ครั้ง
	อุณหภูมิ 55 °C & ความชื้น 40% (Hot Wet)	10	10 ชิ้นงานผ่านการทดสอบที่ 300k ครั้ง	10 ชิ้นงานผ่านการทดสอบที่ 300k ครั้ง
			9 ชิ้นงานผ่านการทดสอบที่ 600k ครั้ง	9 ชิ้นงานผ่านการทดสอบที่ 600k ครั้ง
	อุณหภูมิ 5 °C & ความชื้น 20% (Cold Dry)	10	10 ชิ้นงานผ่านการทดสอบที่ 300k ครั้ง	10 ชิ้นงานผ่านการทดสอบที่ 300k ครั้ง
			10 ชิ้นงานผ่านการทดสอบที่ 600k ครั้ง	10 ชิ้นงานผ่านการทดสอบที่ 600k ครั้ง
(EPOR)	10	10 ชิ้นงานผ่านการทดสอบที่ 300k ครั้ง	10 ชิ้นงานผ่านการทดสอบที่ 300k ครั้ง	
		10 ชิ้นงานผ่านการทดสอบที่ 600k ครั้ง	10 ชิ้นงานผ่านการทดสอบที่ 600k ครั้ง	
การทดสอบการอ่านเขียนที่ความดันต่างๆ (Altitude Test)		10	10 ชิ้นงานผ่านการทดสอบทุกเฟส	10 ชิ้นงานผ่านการทดสอบทุกเฟส
การทดสอบความสามารถในการบิน (Flyability Test)		10	10 ชิ้นงานผ่านการทดสอบที่ 2 สัปดาห์	10 ชิ้นงานผ่านการทดสอบที่ 2 สัปดาห์
การทดสอบการกัดกร่อน (Corrosion Test)		12	12 ชิ้นงานผ่านการทดสอบที่ 2 สัปดาห์	12 ชิ้นงานผ่านการทดสอบที่ 2 สัปดาห์

บทที่ 8

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เสนอแนวทางการควบคุมคุณภาพโดยอาศัยแนวทางของซิกซ์ ซิกมา ทั้ง 5 ขั้นตอน โดยเริ่มจากขั้นตอนนิยามปัญหา ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และขั้นตอนการควบคุมการผลิตตามลำดับ เพื่อลดปริมาณฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่ได้ขนาดตามความจุเริ่มต้น (Prime Capacity) ในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และทดสอบฟังก์ชันการใช้งาน เนื่องจากอัตราความผิดพลาดในการทดสอบการอ่านเขียน (Bit Error Rate) ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ตลอดจนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการอ่านเขียนให้ดียิ่งขึ้น

8.1 สรุปขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

งานวิจัยเริ่มจากการศึกษาขั้นตอนกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ รวมทั้งขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนที่สำคัญได้แก่ หัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ ตลอดจนปัจจัยที่สำคัญที่ต้องควบคุมในแต่ละกระบวนการระดมความคิดจากผู้เชี่ยวชาญแต่ละสาขาที่เกี่ยวข้อง เพื่อระบุปัจจัยที่น่าจะส่งผลต่ออัตราความผิดพลาดในการทดสอบการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยอาศัยหลักการของแผนภาพแสดงเหตุและผล เข้าช่วยในการกรองปัจจัยเบื้องต้น โดยได้ปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 25 ปัจจัย

8.2 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยมีความแตกต่างกันจากการศึกษาข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์

จากการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว สามารถคัดกรองปัจจัยที่ไม่ส่งผลต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อย่างมีนัยสำคัญได้ 18 ปัจจัย ทั้งนี้ยังมีปัจจัยที่ไม่สามารถทำการปรับเปลี่ยนระดับของปัจจัยเพื่อนำเข้าการทดลองได้เนื่องด้วยข้อจำกัดทางเทคโนโลยีและเหตุผลด้านความลับของผู้ผลิตอีก 3 ปัจจัย ได้แก่ ขนาดเกรนของชั้นแม่เหล็กของแผ่นดิสก์ (Grain Size), ค่าซึมซาบแม่เหล็กของหัวอ่านเขียน (Coercivity: Hc) และค่าซึมซาบแม่เหล็กของแผ่นดิสก์ (Coercivity: Hc) โดยสรุปจากปัจจัยเริ่มต้นทั้งหมด 25 ปัจจัย ได้ถูกกรองเหลือ 4 ปัจจัยที่จะถูกนำเข้าในการทดลองต่อไป ได้แก่ ความหนาของสารเคลือบหัวอ่านเขียน (Diamond Like Carbon Thickness), ความหนาของสารเคลือบผิว

บนแผ่นดิสก์ (Over Coat Thickness), ความหนาของชั้นโครงสร้างแม่เหล็กของแผ่นดิสก์ (Magnetic Layer Thickness) และระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ (Head and Media Spacing)

8.3 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ จะใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k ทั้งนี้มีปัจจัยนำเข้าการทดลอง 4 ปัจจัย และจำนวนการทำซ้ำเท่ากับ 8 ซ้ำ โดยมีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center Point) เข้าไปอีก 3 จุดเพื่อให้คำนวณหาค่า Curvature ได้

ผลการวิเคราะห์โดยใช้หลักการทางสถิติวิศวกรรมที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ 3 ปัจจัย ได้แก่ความหนาของสารเคลือบหัวอ่านเขียนปัจจุบันเท่ากับ 21 อังสตรอม ความหนาของสารเคลือบผิวบนแผ่นดิสก์ปัจจุบันเท่ากับ 22 อังสตรอม และระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ปัจจุบันเท่ากับ 1.9 นาโนเมตรโดยระดับของปัจจัยที่เหมาะสมต่อการลดอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ คือ ความหนาของสารเคลือบหัวอ่านเขียนเท่ากับ 17 อังสตรอม ความหนาของสารเคลือบผิวบนแผ่นดิสก์ เท่ากับ 20 อังสตรอม และระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ที่ระดับ 1.5 นาโนเมตร โดยที่การเปลี่ยนแปลงของระดับปัจจัยดังกล่าวไม่ส่งกระทบในการทดสอบความเชื่อมั่นของผลิตภัณฑ์ (Reliability Test) และการทดสอบความสามารถการบิ (Tribology Test) ระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์

การทดสอบเพื่อยืนยันผลสรุปได้ว่า สัดส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ต้องลดขนาดความจุลงจากเดิม 500GB เป็น 320GB เนื่องจากอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนไม่ได้ตามเกณฑ์ลดลงจากเดิม 7.05% เหลือ 3.24% คำนวณเป็นจำนวนเงินที่ได้รับกลับคืนเท่ากับ 732,434 บาท/สัปดาห์ หรือ 38,086,588 บาท/ปี ที่ปริมาณการผลิต 60,000 ตัว/สัปดาห์

8.4 ข้อจำกัดในการทดลอง

ข้อจำกัดทางเทคโนโลยีและเหตุผลด้านความลับของผู้ผลิต ทำให้ไม่สามารถทำการทดลองเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัย 3 ปัจจัยได้ คือ

- 1) ขนาดเกรนของชั้นแม่เหล็กของแผ่นดิสก์เนื่องจากการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตแผ่นดิสก์ให้ได้ขนาดเกรนตามที่กำหนดกระทำได้ยาก ปัจจุบันขนาดของเกรนในแผ่นดิสก์มีค่าประมาณ 3 - 8 นาโนเมตร
- 2) ค่าซึมซาบแม่เหล็กของหัวอ่านเขียนและ

- 3) ค่าซีมซาบแม่เหล็กของแผ่นดิสก์การปรับเปลี่ยนค่าดังกล่าวกระทำได้ยากเนื่องจากเป็นลักษณะจำเพาะของวัสดุดิบ และยังถือเป็นความลับของผู้ผลิตแต่ละราย

8.5 ข้อเสนอแนะ

- 1) ผลที่ได้จากการทดลองนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยสำหรับผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน แต่ทั้งนี้ควรจะต้องมีการทดสอบความเชื่อมั่นของผลิตภัณฑ์ (Reliability Test) และการทดสอบความสามารถการบิรระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ (Tribology Test) ก่อนนำไปประยุกต์ใช้
- 2) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปัจจัยและระดับของปัจจัยที่เหมาะสมต่อการลดอัตราความผิดพลาดในการทดสอบการอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยมีเป้าหมายเพื่อลดสัดส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ต้องลดขนาดความจุลงเนื่องจากค่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนไม่ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ หลังการปรับปรุงกระบวนการพบว่าอัตราความผิดพลาดในการอ่านเขียนที่อุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิสูง 55 องศาเซลเซียสที่ไม่ได้ตามเกณฑ์มีค่าน้อยและใกล้เคียงกัน ทำให้มีโอกาสในการยกเลิกการทดสอบดังกล่าวที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งในอนาคต แต่ทั้งนี้จำเป็นต้องพิจารณาถึงของเสียที่อาจหลุดลอดไปถึงลูกค้าได้

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กฤษฎา อัสวรุ่งแสงกุล. การปรับปรุงคุณภาพของหัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- กัณดินันท์ ทรัพย์เสริมผล. ความเชื่อถือได้ของหัวอ่านเขียนแบบแมกนีโทริซิสทิฟ ในการทดสอบแบบอิเล็กทรอนิกส์และการทำนายอายุการใช้งาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- ก้อง ภูมิเรศ. การปรับปรุงขีดความสามารถในการผลิตหัวอ่านคอมพิวเตอร์ของผลิตภัณฑ์ซีดีดีบี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- ชาญชัย บวร โชคชัย. การลดของเสียแขนจับหัวอ่านด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า กรณีศึกษากระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่าน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- ทรงพล พิเศษฐ์วัฒนา. การประยุกต์การออกแบบการทดลองในการปรับปรุงคุณภาพของแรงดึง ของหัวอ่านเขียนข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- นวลทอง วีรวานิช. การพัฒนากระบวนการทดสอบการทำงานของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- นวลพรรณ ใจงาม. การลดของเสียที่เกิดจากการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิตในกระบวนการประกอบหัวอ่านโดยใช้ระเบียบวิธีซิกซ์ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- นิพนธ์ บัวแก้ว . ผลกระทบของปัจจัยการเชื่อมเลเซอร์ที่มีต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อมในแขนจับหัวอ่านสำหรับงานแม่เหล็กแบบแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

- พิวัฒน์ เนาวรัตน์กุลชัย. การจัดสรรค่าเผื่อและขนาดสำหรับเครื่องมือในกระบวนการเชื่อมติดของชิ้นงานแผ่นหัวอ่านเขียน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- ปารเมศ ชุตินา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์. การประมวลผลสัญญาณสำหรับการจัดเก็บข้อมูลดิจิทัล เล่ม 1 : พื้นฐานช่องสัญญาณอ่าน-เขียน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดเคชั่น, 2550.
- ภัทรา อายุวัฒน์. การลดของเสียที่เกิดจากค่าการรับน้ำหนักกดของชุดหัวอ่านสำเร็จไม่ได้ตามข้อกำหนดในกระบวนการประกอบหัวอ่านโดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- วัชรศักดิ์ ทวีสุข. การศึกษาปัจจัยในกระบวนการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวอ่านข้อมูลฮาร์ดดิสก์ที่มีผลกระทบต่อการใช้งานของตัวหัวอ่านเขียนโดยใช้การออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- วิชาญ วรรณ. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเหล็กปลายสั้นสำหรับกระบวนการหล่อเหล็กแบบต่อเนื่องโดยวิธีการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- ศรัณย์ ตาปานานท์. การปรับปรุงขีดความสามารถในการผลิตหัวอ่านคอมพิวเตอร์ของผลิตภัณฑ์อัลตราลี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- ศิริพันธ์ ชัชวาลานนท์. การปรับปรุงกระบวนการการผลิตแขนจับยึดหัวอ่านเขียนเพื่อลดปริมาณของเสียในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- ศิริวิดี เอื้ออริชัย. การลดการปนเปื้อนจากกระบวนการผลิตตัวหัวอ่าน-เขียนสำหรับคอมพิวเตอร์โดยใช้วิธีการซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- สุชาติ แซ่เต้. การปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

ภาษาอังกฤษ

Davide Guarisco, Zhaohui Li, Bill E. Higgins, Yan Wu, and Andrew LeFebvre. Perpendicular Drive Integration. IEEE Transactions on Magnetics, 2006.

Montgomery, D.C. Design and Analysis of Experiments. 6th ed. New York : John Wiley & Sons, 2005.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการทดลอง

Std Order	Run Order	Center Pt	Block	DLC Thickness	Overcoat Thickness	Magnetic Layer Thickness	Head & Media Spacing	Initial BER	BER @25 °C	BER @55 °C
70	1	1	1	1	-1	1	-1	7.64	9.04	9.11
13	2	1	1	-1	-1	1	1	7.07	8.30	7.72
39	3	1	1	-1	1	1	-1	7.53	8.04	8.00
94	4	1	1	1	-1	1	1	6.91	8.23	8.11
18	5	1	1	1	-1	-1	-1	7.14	7.81	8.11
100	6	1	1	1	1	-1	-1	6.50	8.30	8.25
80	7	1	1	1	1	1	1	6.31	7.53	7.27
96	8	1	1	1	1	1	1	7.45	8.14	7.93
77	9	1	1	-1	-1	1	1	6.95	6.55	6.51
31	10	1	1	-1	1	1	1	7.01	7.93	7.97
126	11	1	1	1	-1	1	1	7.32	7.30	7.27
130	12	0	1	0	0	0	0	7.18	8.17	8.30
48	13	1	1	1	1	1	1	6.15	6.32	5.97

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการทดลอง

Std Order	Run Order	Center Pt	Block	DLC Thickness	Overcoat Thickness	Magnetic Layer Thickness	Head & Media Spacing	Initial BER	BER @25 °C	BER @55 °C
131	14	0	1	0	0	0	0	7.01	7.93	8.14
61	15	1	1	-1	-1	1	1	7.01	7.57	7.44
93	16	1	1	-1	-1	1	1	7.01	7.78	7.90
86	17	1	1	1	-1	1	-1	7.88	9.44	9.99
53	18	1	1	-1	-1	1	-1	8.22	8.32	7.83
89	19	1	1	-1	-1	-1	1	7.07	8.00	8.55
9	20	1	1	-1	-1	-1	1	6.85	8.56	8.75
121	21	1	1	-1	-1	-1	1	6.23	6.55	6.56
117	22	1	1	-1	-1	1	-1	8.69	8.86	10.30
44	23	1	1	1	1	-1	1	6.46	7.86	7.65
62	24	1	1	1	-1	1	1	6.49	7.90	8.81
46	25	1	1	1	-1	1	1	6.97	6.65	6.95
41	26	1	1	-1	-1	-1	1	7.64	8.60	9.07

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการทดลอง

Std Order	Run Order	Center Pt	Block	DLC Thickness	Overcoat Thickness	Magnetic Layer Thickness	Head & Media Spacing	Initial BER	BER @25 °C	BER @55 °C
4	27	1	1	1	1	-1	-1	7.88	7.75	7.83
98	28	1	1	1	-1	-1	-1	7.88	9.07	9.30
59	29	1	1	-1	1	-1	1	6.33	7.04	7.43
118	30	1	1	1	-1	1	-1	7.29	7.65	8.04
37	31	1	1	-1	-1	1	-1	7.70	9.00	9.60
51	32	1	1	-1	1	-1	-1	7.39	8.39	8.20
2	33	1	1	1	-1	-1	-1	7.48	9.17	9.51
65	34	1	1	-1	-1	-1	-1	7.21	7.99	8.30
105	35	1	1	-1	-1	-1	1	6.63	7.78	6.88
6	36	1	1	1	-1	1	-1	7.64	9.07	9.11
78	37	1	1	1	-1	1	1	7.18	8.20	8.32
103	38	1	1	-1	1	1	-1	7.25	6.90	7.20
58	39	1	1	1	-1	-1	1	9.00	9.81	9.81

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการทดลอง

Std Order	Run Order	Center Pt	Block	DLC Thickness	Overcoat Thickness	Magnetic Layer Thickness	Head & Media Spacing	Initial BER	BER @25 °C	BER @55 °C
109	40	1	1	-1	-1	1	1	7.76	8.75	8.88
104	41	1	1	1	1	1	-1	6.54	7.36	6.90
33	42	1	1	-1	-1	-1	-1	7.45	8.34	8.46
112	43	1	1	1	1	1	1	7.06	6.86	7.57
63	44	1	1	-1	1	1	1	7.60	8.93	9.60
43	45	1	1	-1	1	-1	1	7.64	7.72	8.23
107	46	1	1	-1	1	-1	1	6.35	7.95	7.55
12	47	1	1	1	1	-1	1	6.73	6.39	7.14
29	48	1	1	-1	-1	1	1	6.27	7.60	8.17
27	49	1	1	-1	1	-1	1	6.97	7.93	8.90
47	50	1	1	-1	1	1	1	6.70	9.00	8.93
64	51	1	1	1	1	1	1	6.64	6.86	7.11
11	52	1	1	-1	1	-1	1	6.42	7.86	7.60

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการทดลอง

Std Order	Run Order	Center Pt	Block	DLC Thickness	Overcoat Thickness	Magnetic Layer Thickness	Head & Media Spacing	Initial BER	BER @25 °C	BER @55 °C
15	53	1	1	-1	1	1	1	6.63	8.20	8.20
113	54	1	1	-1	-1	-1	-1	9.00	10.20	10.30
1	55	1	1	-1	-1	-1	-1	7.57	7.65	7.54
24	56	1	1	1	1	1	-1	7.14	7.93	8.60
32	57	1	1	1	1	1	1	7.15	8.23	9.14
23	58	1	1	-1	1	1	-1	7.39	8.93	9.34
25	59	1	1	-1	-1	-1	1	8.09	8.65	8.69
49	60	1	1	-1	-1	-1	-1	7.79	8.25	7.07
128	61	1	1	1	1	1	1	5.98	7.69	7.51
14	62	1	1	1	-1	1	1	6.12	6.78	6.86
115	63	1	1	-1	1	-1	-1	7.74	9.34	9.60
52	64	1	1	1	1	-1	-1	6.43	6.32	6.78
50	65	1	1	1	-1	-1	-1	7.38	7.65	7.75

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการทดลอง

Std Order	Run Order	Center Pt	Block	DLC Thickness	Overcoat Thickness	Magnetic Layer Thickness	Head & Media Spacing	Initial BER	BER @25 °C	BER @55 °C
129	66	0	1	0	0	0	0	7.43	8.14	8.07
106	67	1	1	1	-1	-1	1	7.60	8.41	8.23
102	68	1	1	1	-1	1	-1	7.82	9.38	9.81
26	69	1	1	1	-1	-1	1	6.58	7.72	7.41
125	70	1	1	-1	-1	1	1	7.63	7.90	8.00
120	71	1	1	1	1	1	-1	7.55	8.23	8.54
67	72	1	1	-1	1	-1	-1	7.18	7.51	7.00
8	73	1	1	1	1	1	-1	7.77	8.60	8.95
66	74	1	1	1	-1	-1	-1	6.79	7.90	7.69
124	75	1	1	1	1	-1	1	6.44	6.55	6.65
87	76	1	1	-1	1	1	-1	7.16	7.81	7.90
127	77	1	1	-1	1	1	1	6.05	7.50	8.11
73	78	1	1	-1	-1	-1	1	6.03	6.65	7.23

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการทดลอง

Std Order	Run Order	Center Pt	Block	DLC Thickness	Overcoat Thickness	Magnetic Layer Thickness	Head & Media Spacing	Initial BER	BER @25 °C	BER @55 °C
40	79	1	1	1	1	1	-1	6.73	7.55	7.57
83	80	1	1	-1	1	-1	-1	8.15	8.81	9.17
110	81	1	1	1	-1	1	1	6.96	7.30	7.51
21	82	1	1	-1	-1	1	-1	7.55	8.72	8.83
101	83	1	1	-1	-1	1	-1	9.00	10.30	10.30
84	84	1	1	1	1	-1	-1	7.38	7.60	7.57
123	85	1	1	-1	1	-1	1	6.98	7.20	7.69
79	86	1	1	-1	1	1	1	7.31	7.86	7.72
114	87	1	1	1	-1	-1	-1	7.52	8.60	8.32
82	88	1	1	1	-1	-1	-1	6.93	8.51	8.43
68	89	1	1	1	1	-1	-1	7.37	8.07	8.32
28	90	1	1	1	1	-1	1	6.83	7.39	7.60
60	91	1	1	1	1	-1	1	6.03	6.60	6.60

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการทดลอง

Std Order	Run Order	Center Pt	Block	DLC Thickness	Overcoat Thickness	Magnetic Layer Thickness	Head & Media Spacing	Initial BER	BER @25 °C	BER @55 °C
88	92	1	1	1	1	1	-1	8.04	8.88	9.14
90	93	1	1	1	-1	-1	1	6.68	7.60	7.23
69	94	1	1	-1	-1	1	-1	7.96	8.47	8.55
85	95	1	1	-1	-1	1	-1	8.15	9.51	10.30
75	96	1	1	-1	1	-1	1	6.85	7.72	7.88
99	97	1	1	-1	1	-1	-1	7.11	9.17	9.34
45	98	1	1	-1	-1	1	1	7.72	8.50	8.83
36	99	1	1	1	1	-1	-1	7.52	7.88	8.27
57	100	1	1	-1	-1	-1	1	7.95	7.93	8.43
74	101	1	1	1	-1	-1	1	7.51	7.97	7.97
22	102	1	1	1	-1	1	-1	6.64	6.39	6.81
119	103	1	1	-1	1	1	-1	6.89	7.11	7.23
95	104	1	1	-1	1	1	1	6.36	7.55	7.20

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการทดลอง

Std Order	Run Order	Center Pt	Block	DLC Thickness	Overcoat Thickness	Magnetic Layer Thickness	Head & Media Spacing	Initial BER	BER @25 °C	BER @55 °C
76	105	1	1	1	1	-1	1	7.25	7.23	7.41
71	106	1	1	-1	1	1	-1	7.77	9.14	9.20
30	107	1	1	1	-1	1	1	7.85	8.95	8.95
3	108	1	1	-1	1	-1	-1	7.64	8.04	8.75
10	109	1	1	1	-1	-1	1	7.03	8.04	8.14
108	110	1	1	1	1	-1	1	6.85	7.78	7.14
54	111	1	1	1	-1	1	-1	7.10	7.75	7.99
20	112	1	1	1	1	-1	-1	6.85	7.46	7.23
122	113	1	1	1	-1	-1	1	6.57	7.23	7.88
97	114	1	1	-1	-1	-1	-1	8.15	9.81	10.30
42	115	1	1	1	-1	-1	1	7.19	8.54	8.65
34	116	1	1	1	-1	-1	-1	7.27	8.30	8.51
5	117	1	1	-1	-1	1	-1	7.88	8.11	8.65

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการทดลอง

Std Order	Run Order	Center Pt	Block	DLC Thickness	Overcoat Thickness	Magnetic Layer Thickness	Head & Media Spacing	Initial BER	BER @25 °C	BER @55 °C
17	118	1	1	-1	-1	-1	-1	9.00	9.51	9.44
7	119	1	1	-1	1	1	-1	7.16	7.23	6.88
116	120	1	1	1	1	-1	-1	6.57	7.51	7.49
92	121	1	1	1	1	-1	1	7.29	7.81	8.47
56	122	1	1	1	1	1	-1	6.99	8.27	8.39
16	123	1	1	1	1	1	1	5.51	6.20	6.23
81	124	1	1	-1	-1	-1	-1	9.00	9.99	10.30
111	125	1	1	-1	1	1	1	5.14	5.51	4.75
55	126	1	1	-1	1	1	-1	7.29	7.41	7.39
91	127	1	1	-1	1	-1	1	7.09	8.47	8.23
35	128	1	1	-1	1	-1	-1	6.62	7.36	7.78
19	129	1	1	-1	1	-1	-1	7.36	8.49	8.57
38	130	1	1	1	-1	1	-1	8.22	8.90	8.65

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการทดลอง

Std Order	Run Order	Center Pt	Block	DLC Thickness	Overcoat Thickness	Magnetic Layer Thickness	Head & Media Spacing	Initial BER	BER @25 °C	BER @55 °C
72	131	1	1	1	1	1	-1	7.58	8.43	8.17

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนิพนธ์ จิระพัฒน์พิศาล เกิดที่กรุงเทพมหานคร วันที่ 17 มิถุนายน 2523 เป็นบุตรชายคนโตของนางสมศรี จิระพัฒน์พิศาลผู้เป็นมารดา มีพี่น้องทั้งหมด 3 คน ้วยประถมได้เข้าศึกษาที่โรงเรียนวัดบางสะแกในเขตธนบุรี จบชั้นมัธยมศึกษาที่โรงเรียนธนบุรีวรเทพีพลารักษ์ และสำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์ สาขาอิเล็กทรอนิกส์ ในปี พ.ศ. 2546 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้วิจัยได้เข้าศึกษาระดับปริญญาโทภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551

ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งวิศวกรอาวุโสของบริษัทเอกชนแห่งหนึ่ง เกี่ยวกับอุตสาหกรรมการผลิตหัวอ่านเขียนและการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์