

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การตรวจสอบการตรวจจับการสัมผัสที่มีความแม่นยำสูงสำหรับการบันทึกเชิงแม่เหล็ก
ความหนาแน่นสูง

AN INVESTIGATION OF HIGH PRECISION CONTACT DETECTION FOR HIGH
AREAL DENSITY MAGNETIC RECORDING



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบและข้อมูล

วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-AMI-M-001-003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AN INVESTIGATION OF HIGH PRECISION CONTACT DETECTION FOR HIGH
AREAL DENSITY MAGNETIC RECORDING



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION AND SYSTEM ENGINEERING
COLLEGE OF ADVANCED MANUFACTURING INNOVATION
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

KMITL-2017-AMI-M-001-003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การตรวจสอบการตรวจจับการสัมผัสที่มีความแม่นยำสูงสำหรับการบันทึกเชิงแม่เหล็กความหนาแน่นสูง
Thesis Title AN INVESTIGATION OF HIGH PRECISION CONTACT DETECTION FOR HIGH DENSITY MAGNETIC RECORDING
นักศึกษา นายพิเชษฐ หนูนอก
รหัสประจำตัว 57609009
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมระบบและข้อมูล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ชานนท์ วริสาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ (ร่วม) ดร.ดำรงศักดิ์ ทองสมพร
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMHTL-2017-AMI-M-001-003

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ	โควินท์ทวิวัฒน์	
ดร.เลิศศักดิ์	লেখিত	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุพร	ทองศรี	
ว่าที่ร้อยตรี ดร.กมล	วสะภิญญากุล	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชานนท์	วริสาร	
ดร.ดำรงศักดิ์	ทองสมพร	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 30 พฤษภาคม 2560 เวลา 14.00 - 16.00 น.
สถานที่สอบ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช บุญแสง)
คณบดี วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
วันที่ 21 มิถุนายน พ.ศ. 2560
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตรวจสอบการตรวจจับการสัมผัสที่มีความแม่นยำสูงสำหรับการบันทึกเชิงแม่เหล็กความหนาแน่นสูง
ชื่อนักศึกษา	นายพิเชษฐ หนูนอก
รหัสประจำตัว	57609009
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมระบบและข้อมูล
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชานนท์ วริสาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.ดำรงศักดิ์ ทองสมพร

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นถึงการศึกษาเทคนิคการตรวจจับการสัมผัสที่ใช้อยู่ในปัจจุบันอย่างละเอียด และยังได้ให้ความสำคัญกับการศึกษาผลตอบสนองของระยะห่างระหว่างหัวบันทึกกับแผ่นบันทึก ข้อมูลขณะทำการบันทึกข้อมูล ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการบันทึกข้อมูลด้วย โดยใช้เทคนิคการตรวจจับการสัมผัสด้วยหลักการเหนี่ยวนำที่ทำให้เกิดการยึดตัวจากความร้อน พร้อมทั้งทำการวัดประสิทธิภาพของการบันทึกข้อมูลผ่านพารามิเตอร์ที่มีคุณลักษณะเฉพาะ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตหัวบันทึกสำหรับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และโดยใช้การวัดผลในรูปแบบของความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่บนเครื่องทดสอบแบบ Spin-Stand

ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าความผิดพลาดในกระบวนการตรวจจับการสัมผัส จะส่งผลให้การบินในระยะเป้าหมายขณะบันทึกข้อมูลผิดพลาด และสูญเสียประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูลไปด้วนอกจากนั้นแล้ว ในส่วนผลตอบสนองของ HMS ยังชี้ให้เห็นว่า HMS ขณะทำการเขียนของหัวเขียน มีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูล โดย HMS ที่ผิดพลาดเพียง 1 นาโนเมตร นั้น มีผลต่ออัตราบิดผิดพลาดถึง 0.26 เดกเซต และส่งผลต่อเนื่องถึงการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของจำนวนบิตต่อนิ้ว ประมาณ 64.84 กิโลบิตต่อนิ้ว และต่ออัตราส่วนของสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวน ประมาณ 0.45 เดซิเบล ซึ่งทั้งหมดถือว่าการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญสำหรับการวัดประสิทธิภาพของการบันทึกข้อมูลความหนาแน่นสูง



COPYRIGHT 2017

COLLEGE OF ADVANCE MANUFACTURING INOVATION

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	An Investigation of High Precision Contact Detection for High Density Magnetic Recording
Student	Mr. Pichet Nhunork
Student ID.	57609009
Degree	Master of Engineering
Program	Information and System Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Chanon Warisarn
Thesis Co-Advisor	Dr. Damrongsak Tongsoomporn

ABSTRACT

In this work, we focus on the study of the contact detection technique in present. We also investigate the responds of head-to-media spacing (HMS) during recording process that affects to the recording performance by using the contact detection technique. Thermal induced recording head protrusion and key parametric test used in hard disk drive (HDD) industrial are utilized for analysis. Also, the results of parametric test and areal density capability are obtained from the spin stand tester.

The HMS sensitivity indicates that the HMS during writing process greatly impacts on the recording performance in the view point of bit error rate (BER), bit per inch (BPI) and signal-to-noise ratio (SNR). Only a nanometer change of HMS can be caused in the increase and decrease of those parameters. The results show that BER can change about 0.26 decade from the optimal value. BPI is able to higher and lower around 64.84 kBPI pointing to an areal density and SNR changes 0.45 dB approximately. Inaccurate contact detection directly results to incorrect active flying height as well as HMS and degraded recording performance for high density magnetic recording.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถดำเนินการจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งทั้งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย จึงขอขอบพระคุณบุคคลและหน่วยงานเหล่านี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชานนท์ วิจารณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และดร.ดำรงศักดิ์ ทองสมพร ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้ความรู้ ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการทำการวิจัย รวมถึงความเอื้อเฟื้อและช่วยเหลือในการตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการจัดทำและนำเสนอผลงานทางวิชาการแก่ผู้วิจัยตลอดมา

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด และภาคีวิชาเทคโนโลยีการผลิตขั้นสูง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้รับพิจารณาสนับสนุนด้านทุนการศึกษาคั้งนี้

คุณประสิทธิ์ คำพันธุ์ ห้องทดลอง EDE-Asia Lab พร้อมทั้งบุคลากรผู้ปฏิบัติงานในห้องทดลอง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ อำนวยความสะดวกทั้งในการจัดเตรียมชิ้นงาน การควบคุมเครื่องทดสอบ และอุปกรณ์เครื่องมือที่จำเป็นในการดำเนินการทดลอง รวมถึงน้องๆ นักศึกษาจากกลุ่ม ASPD Lab ที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ เกี่ยวกับการนำเสนอผลงานการวิจัยและการเขียนวิทยานิพนธ์เล่มนี้

คุณประโยชน์อันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา และครอบครัว ซึ่งเป็นที่รักยิ่ง พี่ๆ น้องๆ เพื่อนร่วมงาน ที่คอยให้ความช่วยเหลือและสนับสนุน ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัยมาตลอด รวมถึงผู้บังคับบัญชาในสายงานที่เปิดโอกาสให้ได้เข้าศึกษาในหลักสูตรนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

นายพิเชษฐ หนูนอก

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความสำคัญของการวิจัย.....	2
1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 วรรณกรรมและหลักการ.....	6
2.1 กล่าวนำ.....	6
2.2 เทคนิคการตรวจจับการสัมผัส.....	7
2.3 การตรวจจับการสัมผัสโดยใช้หลักการเหนี่ยวนำให้เกิดการยึดตัวจากความร้อน.....	9
2.3.1 นิยามที่เกี่ยวข้องในกระบวนการตรวจสอบการตรวจจับการสัมผัส.....	9
2.3.2 ขั้นตอนและวิธีการในการตรวจจับการสัมผัส.....	11
2.4 เทคนิคการให้ความร้อนเพื่อให้เกิดการยึดตัวของหัวบันทึก.....	15
2.5 เทคนิคการตรวจจับการสัมผัสแบบใช้ TCR sensor.....	17
2.6 ระยะห่างระหว่างพื้นผิวของส่วนหัวบันทึกกับพื้นผิวชั้นแม่เหล็กของดิสก์ (HMS).....	20
2.7 คำจำกัดความขององค์ประกอบต่างๆ ของ HMS.....	22
2.8 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	24
2.8.1 หัวเขียน.....	26
2.8.2 หัวอ่าน.....	27
2.8.3 สไลเดอร์.....	27
2.8.4 ปัจจัยที่มีผลกับความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่.....	28
2.8.4.1 แทร็กข้อมูล.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.4.2	ปิดข้อมูล.....	29
2.8.4.3	ความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่.....	29
2.8.4.4	อัตราการส่งผ่านข้อมูล.....	29



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....	43
4.1 ความสัมพันธ์ของระยะการยึดตัวของหัวบันทึกกับพลังงานความร้อนที่ป้อน	43
4.2 ผลการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลของผลตอบสนองของ HMS ที่มีต่อประสิทธิภาพ ของหัวเขียนและหัวอ่าน โดยใช้พารามิเตอร์ที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะสำหรับ การวัดผลของการบันทึกข้อมูลแบบ CMR	45
4.2.1 ประสิทธิภาพการเขียนทับ (OVW)	49
4.2.2 ความกว้างของหัวอ่าน (MRW).....	50
4.2.3 อัตราส่วนของสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวน (SNR).....	53
4.3 ผลการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลของผลตอบสนองของ HMS ที่มีต่อประสิทธิภาพ ของหัวเขียนและหัวอ่าน โดยใช้การวัดผลในรูปแบบของความหนาแน่นของข้อมูล เชิงพื้นที่ของการบันทึกข้อมูลแบบ CMR และ SMR	54
4.3.1 อัตราบิดผิดพลาด (BER)	63
4.3.2 ความหนาแน่นของบิตต่อนิ้ว (BPI)	64
4.3.3 ความหนาแน่นของแทร็กต่อนิ้ว (TPI).....	65
4.3.4 ความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ (ADC).....	66
4.4 ผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพในการตรวจจับการสัมผัสแบบใช้ TCR sensor	68
4.5 สรุป.....	69
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....	71
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	71
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	73
เอกสารอ้างอิง	74
ภาคผนวก ก.....	78
ประวัติผู้เขียน.....	89

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แผนการทำงาน (18 เดือน ตั้งแต่ 1 สิงหาคม 2557 – 31 มกราคม 2559).....	32
4.1 ค่าเฉลี่ยของพลังงานความร้อนที่ใช้ในแต่ละระยะของการยึดตัวของหัวเข่านไปย้ง ตำแหน่งระยะบินเป้าหมาย จากการทดลองแบบ Write_HMS.....	43
4.2 ค่าเฉลี่ยของพลังงานความร้อนที่ใช้ในแต่ละระยะของการยึดตัวของหัวเข่านไปย้ง ตำแหน่งระยะบินเป้าหมาย จากการทดลองแบบ Read_HMS.....	44
4.3 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะจากการทดลองแบบ Write_HMS.....	46
4.4 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะจากการทดลองแบบ Read_HMS.....	47
4.5 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้การวัดผลในรูปแบบของความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ ที่วัดจาก Write_HMS-CMR.....	55
4.6 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้การวัดผลในรูปแบบของความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ ที่วัดจาก Read_HMS-CMR.....	57
4.7 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้การวัดผลในรูปแบบของความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ ที่วัดจาก Write_HMS-SMR.....	59
4.8 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้การวัดผลในรูปแบบของความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ ที่วัดจาก Read_HMS-SMR.....	61

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 วิวัฒนาการของความความจุของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์.....	2
2.1 ความเสียหายที่เกิดบนผิวหน้าของแผ่นบันทึกข้อมูล จากการสัมผัสกับสไลเดอร์ แบบรุนแรง.....	9
2.2 ความเสียหายที่เกิดบนผิวหน้าของสไลเดอร์ จากการสัมผัสกับแผ่นบันทึกข้อมูล แบบรุนแรง.....	9
2.3 ลักษณะของหัวบันทึกขณะยังไม่มีความร้อนมาเหนี่ยวนำ.....	10
2.4 ลักษณะการยืดของหัวบันทึกขณะถูกเหนี่ยวนำจากกระบวนการเขียน.....	10
2.5 ลักษณะการยืดของหัวบันทึกขณะถูกเหนี่ยวนำจากการป้อนพลังงานความร้อน.....	11
2.6 ลักษณะการยืดของหัวบันทึก ขณะถูกเหนี่ยวนำจากการป้อนพลังงานความร้อน จนเกิดการสัมผัส.....	11
2.7 รูปแบบการเขียนแตรีกอ้างอิงลงบนแผ่นบันทึก.....	12
2.8 การวางตัวของแตรีกข้อมูลเพื่อใช้ในการตรวจหาการสัมผัส.....	12
2.9 ลักษณะของค่าแอมพลิจูดของสัญญาณที่อ่านได้จากแตรีก.....	13
2.10 ค่าแอมพลิจูดของแตรีกอ้างอิงขณะยังไม่ป้อนความร้อน.....	13
2.11 ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณที่อ่านได้ขณะที่หัวอ่านยืดตัวเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความร้อน.....	14
2.12 ความสัมพันธ์ของความร้อนขณะป้อนกับระยะที่เกิดการยืดตัวจนเกิดการสัมผัส ระหว่างหัวบันทึกกับแผ่นบันทึกข้อมูล.....	14
2.13 ส่วน trailing edge ของสไลเดอร์และชั้นบนสุดของแผ่นบันทึก.....	16
2.14 ภาคตัดขวางของโครงสร้างของหัวบันทึก.....	16
2.15 การกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อมีการป้อนความร้อน.....	17
2.16 มุมมองจากด้านข้างของชุดประกอบหัวบันทึกขณะบินอยู่เหนือแผ่นบันทึกข้อมูล.....	17
2.17 หัวบันทึกและเซ็นเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิในสภาวะก่อนมีการเหนี่ยวนำจากความร้อน และขณะเกิดการเหนี่ยวนำจากความร้อนจนเกิดการสัมผัส.....	17
2.18 แผนภาพลำดับขั้นตอนของกระบวนการตรวจจับการสัมผัสแบบใช้ TCR sensor.....	18
2.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเทียบกับพลังงานความร้อน ที่ป้อนเพื่อให้เกิดการยืดตัวของหัวบันทึก.....	18

2.20 การพิจารณาจุดที่เกิดการสัมผัสและค่าความร้อนที่เหนียวน่าจนเกิดการสัมผัส จากผลของการตรวจจับการสัมผัสแบบใช้ TCR sensor.....	19
2.21 วิวัฒนาการของความความหนาแน่นเชิงพื้นที่ของฮาร์ดดิสก์ และหน่วยความจำแบบแฟลช เมมโมรี่.....	20
2.22 การเปลี่ยนแปลงของ HMS เทียบกับความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่	21
2.23 การเปลี่ยนแปลงของ HMS เทียบกับความยาวบิต (Bit Length).....	22
2.24 ส่วนประกอบของ HMS (ก) ส่วนปลายของหัวบันทึกขณะบินเหนือแผ่นบันทึกข้อมูล (ข) ภาพจำลองส่วนประกอบของ HMS.....	22
2.25 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับระยะห่างที่ใกล้ที่สุดระหว่างหัวบันทึกกับแผ่นบันทึกข้อมูล และความสูงของการบิน	23
2.26 ฮาร์ดดิสก์ไทรฟ์ขนาด 8 5.25 3.5 2.5 1.8 และ 1 นิ้วโดยอ้างอิงจากขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นบันทึกข้อมูล.....	25
2.27 โครงสร้างของฮาร์ดดิสก์ไทรฟ์	26
2.28 จำลองการทำงานของหัวเขียน (การเขียนแนวตั้ง)	27
2.29 การออกแบบพื้นผิวเอบีเอส (ABS).....	28
2.30 ความหนาแน่นของข้อมูลในหนึ่งตารางนิ้ว	29
2.31 การเปรียบเทียบความหนาแน่นของการบันทึกข้อมูลในเชิงพื้นที่ ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากขนาดของบิตที่เล็กลง.....	30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 รูปแบบของแตร็กการบันทึก (ก) แบบ CMR และ (ข) แบบ SMR.....	33
3.2 รูปแบบการทดสอบของเครื่องทดสอบแบบ Spin-Stand.....	34
3.3 รูปแบบการทดลองเพื่อวัดผลตอบสนองของ HMS ต่อประสิทธิภาพการบันทึกข้อมูล	35
3.4 เปรียบเทียบระยะเวลาการบินขณะไม่ป้อนความร้อน ระยะเวลาที่เกิดการสัมผัส และระยะเวลาการบินเป้าหมาย	36
3.5 เงื่อนไขในการทดลอง (ก) แบบ Write_HMS (ข) แบบ Read_HMS	38
4.1 ค่าเฉลี่ยของพลังงานความร้อนที่ใช้ในการยึดตัวไปยังตำแหน่งเป้าหมาย ในแต่ละระยะ HMS ของหัวเขียน.....	44
4.2 ค่าเฉลี่ยของพลังงานความร้อนที่ใช้ในการยึดตัวไปยังตำแหน่งเป้าหมาย ในแต่ละระยะ HMS ของหัวอ่าน	45
4.3 ค่าเฉลี่ยของ OWW ในแต่ละระยะ HMS จากการทดลอง Write_HMS	46
4.4 ค่าเฉลี่ยของ MRW ในแต่ละระยะ HMS จากการทดลอง Write_HMS.....	46
4.5 ค่าเฉลี่ยของ SNR ในแต่ละระยะ HMS จากการทดลอง Write_HMS.....	47
4.6 ค่าเฉลี่ยของ QVW ในแต่ละระยะ HMS จากการทดลองแบบ Read_HMS	48
4.7 ค่าเฉลี่ยของ MRW ในแต่ละระยะ HMS จากการทดลองแบบ Read_HMS.....	48
4.8 ค่าเฉลี่ยของ SNR ในแต่ละระยะ HMS จากการทดลองแบบ Read_HMS.....	48
4.9 การเขียนสัญญาณความถี่ต่ำที่สัญญาณความถี่สูงในการวัดประสิทธิภาพการเขียนทับ	49
4.10 ผลเปรียบเทียบของ OWW เมื่อมีการปรับระยะ HMS.....	50
4.11 ลักษณะของแตร็กข้อมูลและการลบแตร็กในกระบวนการวัดไมโครแตร็กโปรไฟล์	51
4.12 โปรไฟล์จากการสแกนของหัวอ่านในแนวตัดขวางกับแตร็ก ผ่านไมโครแตร็ก	52
4.13 ผลเปรียบเทียบของ MRW เมื่อมีการปรับระยะ HMS	52
4.14 ผลเปรียบเทียบของ SNR เมื่อมีการปรับระยะ HMS.....	53
4.15 ผลเปรียบเทียบของ SNR เมื่อมีการปรับระยะ HMS บน CMR เทียบกับ SMR.....	54
4.16 ค่าเฉลี่ยของ BER ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Write_HMS-CMR.....	55
4.17 ค่าเฉลี่ยของ BPI ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Write_HMS-CMR.....	56

4.18	ค่าเฉลี่ยของ TPI ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Write_HMS-CMR.....	56
4.19	ค่าเฉลี่ยของ ADC ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Write_HMS-CMR.....	56
4.20	ค่าเฉลี่ยของ BER ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Read_HMS-CMR.....	57
4.21	ค่าเฉลี่ยของ BPI ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Read_HMS-CMR.....	58
4.22	ค่าเฉลี่ยของ TPI ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Read_HMS-CMR.....	58
4.23	ค่าเฉลี่ยของ ADC ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Read_HMS-CMR.....	58
4.24	ค่าเฉลี่ยของ BER ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Write_HMS-SMR.....	59
4.25	ค่าเฉลี่ยของ BPI ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Write_HMS-SMR.....	60
4.26	ค่าเฉลี่ยของ TPI ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Write_HMS-SMR.....	60
4.27	ค่าเฉลี่ยของ ADC ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Write_HMS-SMR.....	60
4.28	ค่าเฉลี่ยของ BER ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Read_HMS-SMR.....	61
4.29	ค่าเฉลี่ยของ BPI ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Read_HMS-SMR.....	62
4.30	ค่าเฉลี่ยของ TPI ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Read_HMS-SMR.....	62
4.31	ค่าเฉลี่ยของ ADC ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Read_HMS-SMR.....	62
4.32	ผลเปรียบเทียบของ BER เมื่อมีการปรับระยะ HMS บนการทดลอง ที่มีการเขียนแทร็กแบบ CMR เทียบกับ SMR.....	63
4.33	ผลเปรียบเทียบของ BPI เมื่อมีการปรับระยะ HMS บนการทดลอง ที่มีการเขียนแทร็กแบบ CMR เทียบกับ SMR.....	64
4.34	ผลเปรียบเทียบของ TPI เมื่อมีการปรับระยะ HMS บนการทดลอง ที่มีการเขียนแทร็กแบบ CMR เทียบกับ SMR.....	66
4.35	ผลเปรียบเทียบของ ADC เมื่อมีการปรับระยะ HMS บนการทดลอง ที่มีการเขียนแทร็กแบบ CMR เทียบกับ SMR.....	64
4.36	โปรไฟล์จากการวัดผล $\Delta R/\Delta P$ เมื่อปรับเปลี่ยนเกณฑ์ที่ใช้ในการชี้วัดจุดสัมผัส.....	68

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

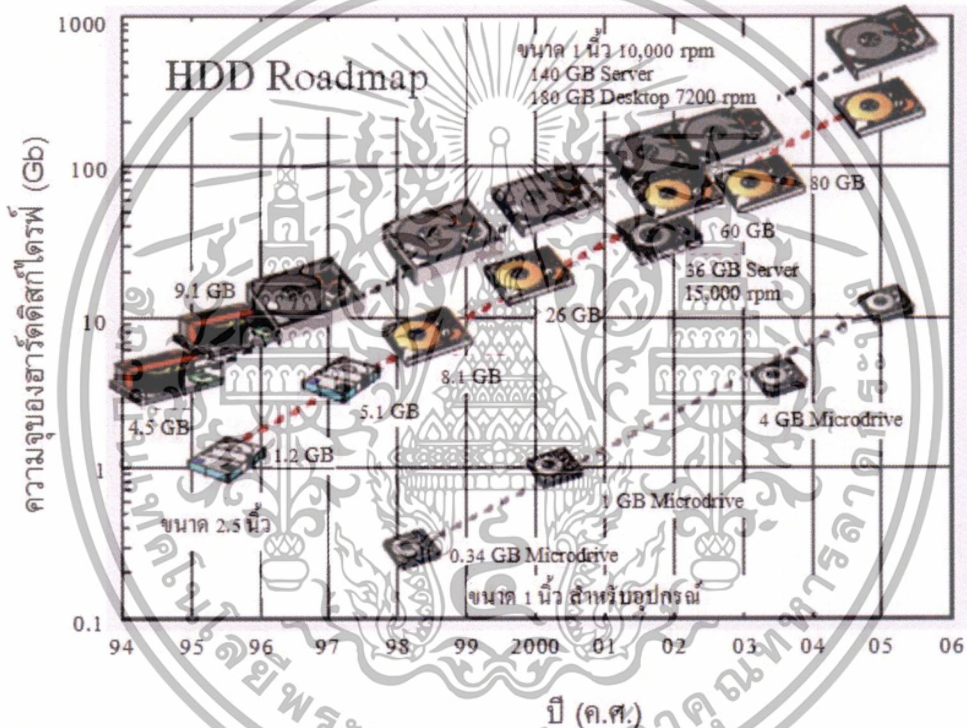
ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive: HDD) เป็นผลิตภัณฑ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความสำคัญต่อภาคการส่งออกของประเทศไทยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยในปี พ.ศ. 2554 ได้มีประมาณการว่าประเทศไทยสามารถส่งออกของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และส่วนประกอบได้มากถึง 500,000 ล้านบาท และก่อให้เกิดการจ้างงานในอุตสาหกรรมมากถึง 150,000 อัตรา [1] ดังนั้นเพื่อเป็นการสร้างความเข้มแข็งให้กับอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในประเทศ ซึ่งประกอบไปด้วยบริษัทผู้ผลิตชั้นนำของโลก 2 ราย คือ บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด และบริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ร่วมกับผู้เกี่ยวข้องทั้งจากภาคเอกชนและสถาบันการศึกษาได้ดำเนินการจัดตั้งคณะกรรมการพัฒนาวิสาหกิจฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขึ้นภายใต้การดำเนินการของศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (เนคเทค) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยในการสนับสนุนและส่งเสริมการพัฒนาอุตสาหกรรมดังกล่าวในประเทศไทยให้มีความเข้มแข็ง โดยทางเนคเทคจึงได้จัดเตรียมแผนการส่งเสริมด้านต่างๆ ไว้หลายโครงการ ได้แก่ โครงการพัฒนาหลักสูตรและบุคลากรทางด้านเทคโนโลยีฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โครงการร่วมลงทุนในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และโครงการจัดตั้งสถาบันวิจัยและพัฒนาทางด้านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เป็นต้น

ปัจจุบันประเทศไทยจัดว่าเป็นประเทศที่ส่งออกอุปกรณ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อันดับหนึ่งของโลก [1] ดังนั้นงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะช่วยทำให้บริษัทผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้เห็นว่าประเทศไทยมีบุคลากรที่มีความสามารถทางด้านเทคโนโลยีฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และรัฐบาลสนับสนุนอุตสาหกรรมทางด้านนี้ เพื่อเป็นแรงจูงใจให้บริษัทเหล่านี้ย้ายฐานการผลิตและศูนย์ออกแบบผลิตภัณฑ์เข้ามาในประเทศไทย(ปัจจุบันส่วนมากอยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกา) ซึ่งช่วยทำให้เกิดการลงทุนในประเทศมากขึ้นและมีการจ้างงานเพิ่มขึ้นตามลำดับ

สำหรับการบันทึกข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เริ่มต้นจากเทคโนโลยีการบันทึกแบบแนวอน (Longitudinal Magnetic Recording: LMR) ซึ่งมีทิศทางของสนามแม่เหล็กขนานกับสื่อบันทึก และเมื่อเทคโนโลยีการบันทึกแบบแนวอนถึงขีดจำกัดในการเพิ่มความจุข้อมูล เทคโนโลยีการบันทึกเชิงแม่เหล็กแบบแนวตั้ง (Perpendicular Magnetic Recording: PMR) จึงได้เข้ามาแทนที่ ซึ่งมีทิศทางของสนามแม่เหล็กตั้งฉากกับสื่อบันทึก โดยเทคโนโลยีการบันทึกเชิงแม่เหล็กแบบแนวตั้งนี้ ยังใช้อยู่ในปัจจุบันและมีความหนาแน่นเชิงพื้นที่ของข้อมูลที่สูงสุดประมาณ 1 เทระบิตต่อตารางนิ้ว (Tb/in^2) [1] ซึ่งกำลังเข้าใกล้ขีดจำกัดในการเพิ่มความหนาแน่นเชิงพื้นที่เช่นกัน นั่นคือการเพิ่มความหนาแน่นเชิงพื้นที่สำหรับเทคโนโลยีการบันทึกเชิงแม่เหล็กแบบแนวตั้ง จำเป็นต้องลดขนาดของเกรนแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Magnetic Grain) ในสื่อบันทึกหรือลดจำนวนเกรนต่อการบันทึกข้อมูลหนึ่งบิต แต่เนื่องจากการลดขนาดของเกรนแม่เหล็กจะทำให้เกิดความไม่เสถียรของความเป็นแม่เหล็ก ณ อุณหภูมิห้อง ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่าข้อจำกัดทางด้านแม่เหล็กพาราอิมยวด (Superparamagnetic Limit) [1-2] ดังนั้นจึงได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการบันทึกแบบใหม่เข้ามาแทนที่เทคโนโลยีดังกล่าว [3] เช่น เทคโนโลยีการบันทึกเชิงแม่เหล็กแบบการใช้ความร้อนเข้าช่วย (Heat Assisted Magnetic Recording: HAMR) เทคโนโลยีการบันทึกเชิงแม่เหล็กแบบ 2 มิติ (Two Dimensional Magnetic Recording: TDMR) และเทคโนโลยีการการบันทึกแบบ BPMR (Bit-Patterned Media Recording) [3] เพื่อเพิ่มความจุของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ต่อไป



รูปที่ 1.1 วิวัฒนาการของความสามารถของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ [4]

1.2 ความสำคัญของการวิจัย

การศึกษาเพื่อปรับปรุงเทคนิคการตรวจจับการสัมผัสที่มีความแม่นยำสูงจะทำให้การปรับระยะการบินขณะบันทึกข้อมูลมีความแม่นยำสูงด้วย ซึ่งจะมีผลทำให้การอ่านการเขียนข้อมูลมีประสิทธิภาพสูงทำให้สามารถเพิ่มอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio: SNR) และจะทำให้ความหนาแน่นของการบันทึกข้อมูลเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ การศึกษาถึงผลตอบสนองของระยะการบินของหัวบันทึกขณะบันทึกข้อมูลที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการบันทึกข้อมูลนั้น ยังสามารถทำให้ทราบถึงคุณลักษณะและทราบถึงผลตอบสนองที่มีต่อประสิทธิภาพการบันทึกข้อมูลของหัวบันทึก ซึ่งระยะการบินดังกล่าวที่สูงหรือต่ำเกินไปสามารถเกิดขึ้นได้ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการทดสอบหัวบันทึกที่ใช้อยู่ในปัจจุบันด้วยหลายสาเหตุ และหนึ่งในนั้นก็คือ ความผิดพลาดจากการตรวจจับการสัมผัสระหว่างหัวบันทึกกับแผ่นบันทึกข้อมูล

1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางกล (การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง การสั่น และการเคลื่อนที่ออกนอกแนวแทร์ก) ของหัวบันทึกเมื่อระยะเวลาการบินลดลงจนเกิดสัมผัสของหัวบันทึกและแผ่นบันทึก
- 2 เพื่อศึกษาเทคนิคการตรวจจับการสัมผัสที่ใช้อยู่ในปัจจุบันอย่างละเอียด
- 3 เพื่อศึกษาถึงผลตอบสนองของระยะเวลาการบินของหัวบันทึกขณะทำการบันทึกข้อมูลที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการบันทึกข้อมูล โดยใช้การวัดประสิทธิภาพของการบันทึกผ่านพารามิเตอร์ที่มีคุณลักษณะเฉพาะที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตหัวบันทึกสำหรับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
- 4 ปรับปรุงเทคนิคการตรวจจับการสัมผัส รวมทั้งการปรับละเอียดของเทคนิคการตรวจจับการสัมผัสแบบใช้เซ็นเซอร์ชนิดทีซีอาร์ (Temperature Coefficient of Resistance: TCR) เพื่อใช้สำหรับการบินในระยะต่ำในอนาคต

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

โครงการวิจัยนี้จะได้ศึกษาเทคนิคต่างๆ ที่มีการนำเสนอเกี่ยวกับเทคนิคการตรวจจับการสัมผัสหรือการชนกันของหัวบันทึกข้อมูลกับสื่อบันทึกข้อมูล ที่มีความแม่นยำสูงและสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการตรวจสอบการบินระยะต่ำบนเครื่องทดสอบแบบ Spin-Stand ต่อไป

โดยได้วางรูปแบบการทดลองที่เกี่ยวข้องกับระยะห่างระหว่างหัวบันทึกข้อมูลกับแผ่นบันทึกทางแม่เหล็ก (Head to Media Spacing: HMS) เป็นหลัก ทั้งนี้เพื่อให้เห็นว่า หากการตรวจจับการสัมผัสไม่มีความแม่นยำมากพอ ก็จะส่งผลโดยตรงต่อระยะเวลาการบินในการเขียนและอ่านสัญญาณ ซึ่งอาจจะผิดพลาดตามมา ดังนั้นย่อมมีผลต่อประสิทธิภาพของการบันทึกข้อมูลไปด้วย รวมถึงอาจจะรุนแรงถึงขั้นก่อให้เกิดความเสียหายต่อหัวบันทึกและแผ่นบันทึกข้อมูลได้ ดังนั้นจึงจะได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลตอบสนองที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการบันทึกข้อมูลหรือการทดสอบหัวบันทึกเพื่อนำไปประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ต่อไป ดังนี้

- 1 ทำการทดลองและเก็บข้อมูล โดยการวัดประสิทธิภาพจากชิ้นส่วนประกอบหัวบันทึกข้อมูล (Head Gimbal Assembly: HGA) จำนวน 20 ชิ้นส่วน ที่ใช้งานบนแผ่นบันทึกข้อมูลขนาด 2.5 นิ้ว ที่หมุนด้วยความเร็ว 5400 รอบต่อนาที บนเครื่องทดสอบหัวบันทึกแบบ Spin-Stand
- 2 ใช้หัวบันทึกที่มีความสามารถในการบันทึกข้อมูลลงบนแผ่นบันทึกข้อมูลด้วยความหนาแน่นของแทร์ก ประมาณ 370,000 และ 450,000 แทร์กต่อนิ้ว สำหรับการบันทึกข้อมูลที่มีรูปแบบการเขียนแทร์กแบบแทร์กต่อแทร์ก (Conventional Magnetic Recording: CMR) และการเขียนแทร์กแบบซ้อนทับ (Shingle Magnetic Recording: SMR) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 ทดลองเพื่อดูพฤติกรรมของการตรวจจับการสัมผัสโดยใช้วิธีการป้อนความร้อนให้กับขดลวดความร้อนที่วางตัวอยู่ใกล้กับหัวเขียนและหัวอ่านเพื่อให้เกิดการยึดตัว เพื่อดูความสัมพันธ์ของพลังงานความร้อนที่ป้อนเพื่อให้เกิดการยึดตัวต่อระยะการยึดตัวของหัวบันทึก

4 ทดลองเพื่อเก็บข้อมูลของผลตอบสนองของระยะการบิน ที่มีต่อประสิทธิภาพของหัวเขียนและหัวอ่าน โดยใช้พารามิเตอร์ที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะสำหรับการวัดผล

5 ทดลองเพื่อเก็บข้อมูลของผลตอบสนองของระยะการบิน ที่มีต่อประสิทธิภาพของหัวเขียนและหัวอ่าน โดยใช้การวัดผลในรูปแบบของความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่แบบ CMR และ SMR ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลที่ใช้ในปัจจุบัน

6 ทดลองและวิเคราะห์ผลเพื่อศึกษาและปรับปรุงวิธีการตรวจจับการสัมผัสแบบใช้เซ็นเซอร์ชนิดทีซีอาร์ (TCR sensor) ซึ่งเริ่มมีการใช้งานในกระบวนการทดสอบหัวบันทึกในปัจจุบัน

1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1 ออกแบบการทดลองให้รองรับและครอบคลุมวัตถุประสงค์ของงานวิจัย
- 2 เตรียมเครื่องทดสอบหัวบันทึกข้อมูลแบบ Spin-Stand ชุดประกอบหัวบันทึก แผ่นบันทึกข้อมูล ซอฟต์แวร์ และเงื่อนไขในการทดลอง เพื่อรองรับการทดลองแต่ละแบบให้ถูกต้อง
- 3 ทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลตามที่ได้ทำการออกแบบไว้
- 4 นำผลการทดลองมาแปรผลและวิเคราะห์ผล

1.5.2 สถานที่ทำวิจัย

การทดลองและวิจัย จัดทำที่ EDE-Asia Lab บริษัท ซีเกทเทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด เลขที่ 1627 หมู่ 7 ถ.เทพารักษ์ ต.เทพารักษ์ อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ 10270

1.5.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัย

- 1 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
- 2 เครื่องทดสอบหัวบันทึกแบบ spin stand
- 3 โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูล JMP
- 4 โปรแกรม Microsoft Excel
- 5 ชิ้นส่วนประกอบหัวบันทึก ชนิดสไลเดอร์ (Slider) ที่สามารถปรับระยะการบินได้ด้วยการใช้ความร้อน (Thermal Flying Height Control Sliders: TFC Sliders) 20 ชิ้นส่วน
- 6 แผ่นบันทึกข้อมูล ขนาด 2.5 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1 สามารถคาดเดาแนวโน้มและพฤติกรรมของหัวบันทึกในชิ้นส่วนประกอบหัวบันทึกข้อมูลผลิตภัณฑ์อื่นๆ เมื่อนำมาทดสอบด้วยเงื่อนไขเดียวกันกับในงานวิจัยนี้
- 2 สามารถใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ผลจากการทดสอบหัวบันทึกข้อมูลบนเครื่อง Spin-Stand ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมได้
- 3 สามารถใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ผลจากการทดสอบหัวบันทึกข้อมูลบนเครื่อง Spin-Stand ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมได้
- 4 สามารถเพิ่มความแม่นยำของกระบวนการตรวจจับการสัมผัสแบบใช้เซ็นเซอร์ชนิดที่ซีอาร์รวมทั้งสามารถหาจุดปรับปรุงในเทคนิคดังกล่าวเพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับการปรับละเอียดเพื่อให้มีความแม่นยำสำหรับใช้ในกระบวนการทดสอบหัวบันทึกโปรดักต์อื่นๆ ซึ่งอาจมีความแตกต่างในเรื่องของการออกแบบผิวหน้าร่องเลื่อนด้วยอากาศ (Air Bearing Surface: ABS) ของสไลเดอร์ ตำแหน่งของการทดสอบของหัวบันทึกบนแผ่นบันทึกข้อมูลซึ่งจะบอกถึงมุมระหว่างหัวบันทึกกับแทร็กข้อมูลที่เขียน ความเร็วรอบการหมุนของแผ่นบันทึกข้อมูล หรือชนิดของแผ่นบันทึกข้อมูลที่มีคุณสมบัติต่างกันออกไป เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมและหลักการ

2.1 กล่าวนำ

เทคโนโลยีที่ถูกเรียกว่า “Dynamic Flying Height (DFH)” เป็นเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้อยู่ในปัจจุบันเพื่อควบคุมระยะห่างการบินของหัวบันทึกข้อมูล (Recording Head) กับแผ่นสื่อบันทึกข้อมูล (Media) หรือที่เรียกว่าแผ่นดิสก์ (Disk) ด้วยระยะห่างระดับนาโนเมตร [6-7] ส่วนเทคโนโลยีหลักที่สามารถเพิ่มความจุของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่อยู่สองเทคโนโลยี วิธีแรกคือการลดระยะห่างการบินของหัวบันทึกข้อมูลให้ใกล้กับแผ่นสื่อบันทึกข้อมูลให้มากที่สุด ทั้งนี้เพื่อให้สามารถอ่านสัญญาณข้อมูลอ่านกลับ (Read Back Signal) ให้ได้ชัดเจนมากที่สุด ส่วนวิธีที่สองคือการปรับตั้งการบินของหัวอ่านให้เหมาะสมเพื่อให้อัตราผิดพลาด (Bit Error Rate: BER) ลดต่ำลงมากที่สุด [8] ดังนั้นเราจะเห็นว่าภายใต้ระยะห่างที่ประชิดมากๆ การควบคุมเพื่อไม่ให้เกิดการชนกัน (Touch Down: TD) จึงถือได้ว่าเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง

ในงานวิจัยที่ได้การศึกษาก่อนหน้านั้นมีอยู่หลายงานวิจัยที่ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมระดับการบินของหัวบันทึกข้อมูล ซึ่งพบวาระดับการบินของหัวบันทึกข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นจะมีการสัมผัสกับแผ่นสื่อบันทึกข้อมูลหรือไม่สามารถพิจารณาได้จากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันสภาพแวดล้อม (Environmental Pressure) ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแผ่นสื่อบันทึกข้อมูล (Media Rotation Speed) หรือด้วยวิธีการให้ความร้อนแก่หัวบันทึกข้อมูล (DFH Heater Protrusion) [9-13] ส่วนกระบวนการตรวจสอบการชนกัน (TD) สามารถสังเกตพฤติกรรมการชนกันด้วยเครื่องมือเช่นเซอร์อะคูสติกอิมิชั่น (Acoustic Emission: AE) [14] ซึ่งในตัว AE เซ็นเซอร์เป็นระบบที่อาศัยความถี่ในการชักตัวอย่างข้อมูลสูงเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเมื่อเกิดการชนกันของหัวบันทึกข้อมูล (เมื่อเราเพิ่มความร้อนจนมากเกินไป) กับแผ่นสื่อบันทึกข้อมูลที่ทดสอบบนเครื่อง Spin-Stand และสัญญาณที่ได้จาก AE ก็จะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า Fast Fourier Transform (FFT) เพื่อให้ได้ถึงองค์ประกอบของความถี่ในหลายๆ ช่วงความถี่ อย่างไรก็ตามการทดสอบด้วยวิธีดังกล่าวทำให้หัวบันทึกข้อมูลมีการสึกหรอเสียหาย และสิ่งที่เกิดขึ้นก็ไม่ได้ช่วยให้สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมการชนกันของหัวบันทึกข้อมูลกับแผ่นสื่อบันทึกข้อมูลได้เลย ดังนั้นเพื่อการตรวจจับการชนกันที่แม่นยำ L. Su [15] ได้ประยุกต์การตรวจจับด้วยเซ็นเซอร์สองชนิดพร้อมกัน นั่นก็คือการใช้ AE เซ็นเซอร์ร่วมกับวิธีการวัดค่าแอมพลิจูดเฉลี่ยในแต่ละแทร็ก (Track Average Amplitude: TAA) ซึ่งถ้าพบว่าสัญญาณ AE เซ็นเซอร์สูงกว่าระดับที่ปรับตั้งเอาไว้ (Threshold) ก็หมายความว่าเกิดการชนกันของหัวบันทึกกับแผ่นสื่อบันทึกแล้ว ส่วน TAA จะอาศัยเส้นกราฟระยะห่างของหัวบันทึกข้อมูลกับแผ่นบันทึกข้อมูลเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดการชนกัน ซึ่งจุดที่เกิดการชนกันนั้นเส้นกราฟแสดงระยะห่างจะมีค่าเท่ากับศูนย์นั้นหมายความว่าไม่สามารถลดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะการบินของหัวบันทึกข้อมูลลงได้อีกแล้ว ดังนั้นเราก็จะสามารถตรวจจับได้ว่าใกล้จะมีการชนกันเกิดขึ้น นอกจากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นแล้วยังมีการพัฒนาและศึกษาความเป็นไปได้ในการลดระยะห่างการบินของหัวบันทึกข้อมูล พร้อมทั้งศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนของสไลเดอร์ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในขณะที่มีการชนกัน ด้วยเทคนิคที่เรียกว่า การปรับระยะการบินด้วยการใช้ความร้อน (Thermal Flying Height Control: TFC) [16] บนเครื่องทดสอบแบบ Spin-Stand ที่นอกจากจะใช้ข้อมูลที่ได้จาก AE เซ็นเซอร์แล้วยังใช้ข้อมูลที่ได้จากเลเซอร์ดอปเพลอร์ไวโบรมิเตอร์ (Laser Doppler Vibrometer: LDV) เข้ามาช่วยในเทคนิคการวิเคราะห์อีกด้วย

อย่างไรก็ตามเมื่อความหนาแน่นของการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็ก เพิ่มขึ้นในระดับสูงกว่า 1 เทระบิตต่อตารางนิ้ว ระยะห่างระหว่างหัวบันทึกและชั้นบันทึกข้อมูลมีผลต่อคุณภาพของการเขียนและการอ่านข้อมูลมาก ซึ่งระยะห่างระหว่างหัวบันทึกและแผ่นบันทึกอาจจะลดลงต่ำกว่า 1 นาโนเมตร (nm) เพื่อจะทำการควบคุมการปรับระยะห่างดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพ จึงมีการนำสไลเดอร์ที่สามารถปรับระยะการบินได้ด้วยเทคนิคการยึดหดของวัสดุด้วยความร้อน (Head Protrusion Technique) โดยวัสดุของหัวบันทึกบริเวณที่ใช้สำหรับเขียนและอ่านข้อมูลจะยึดออกไปใกล้กับแผ่นบันทึกข้อมูล ดังนั้นความแม่นยำของการปรับระยะการบินนี้มีผลอย่างมากต่อคุณภาพการเขียนอ่านข้อมูล เทคนิคในการตรวจจับการสัมผัสระหว่างหัวบันทึกและแผ่นบันทึกจะต้องมีความแม่นยำมากขึ้นเมื่อระยะในการบินลดลงต่ำกว่า 1 นาโนเมตร จึงต้องมีการพัฒนาปรับปรุงเทคนิคที่ใช้อยู่ในปัจจุบันรวมทั้งการพัฒนาเทคนิคใหม่ขึ้นมาเพื่อเพิ่มความแม่นยำ

2.2 เทคนิคการตรวจจับการสัมผัส

เป้าหมายหลักของการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ก็คือการเพิ่มความหนาแน่นของข้อมูลหรือบิตต่อพื้นที่ 1 ตารางนิ้ว (Areal Density: AD) ให้ได้มากที่สุด ซึ่งหลักๆ ก็คือการเพิ่มความหนาแน่นของแทร็ก (Track Density) หรือการเพิ่มจำนวนแทร็กข้อมูลต่อนิ้ว (Track Per Inch: TPI) และการเพิ่มความหนาแน่นของบิต (Bit Density) หรือการเพิ่มจำนวนบิตข้อมูลต่อนิ้ว (Bit Per Inch: BPI) นั้นหมายถึงการที่จะต้องลดขนาดของหัวเขียน (Writer) และหัวอ่าน (Reader) ที่อยู่บนหัวบันทึกให้มีขนาดที่เล็กลง แต่การลดขนาดดังกล่าวลงย่อมส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสัญญาณ (ข้อมูล) ที่เขียนและอ่านบนแผ่นบันทึก และหนึ่งในวิธีที่จะทำให้การบันทึกข้อมูลมีประสิทธิภาพดีขึ้นก็คือการทำให้หัวบันทึกและแผ่นบันทึกใกล้กันมากขึ้นขณะทำการบันทึกข้อมูล

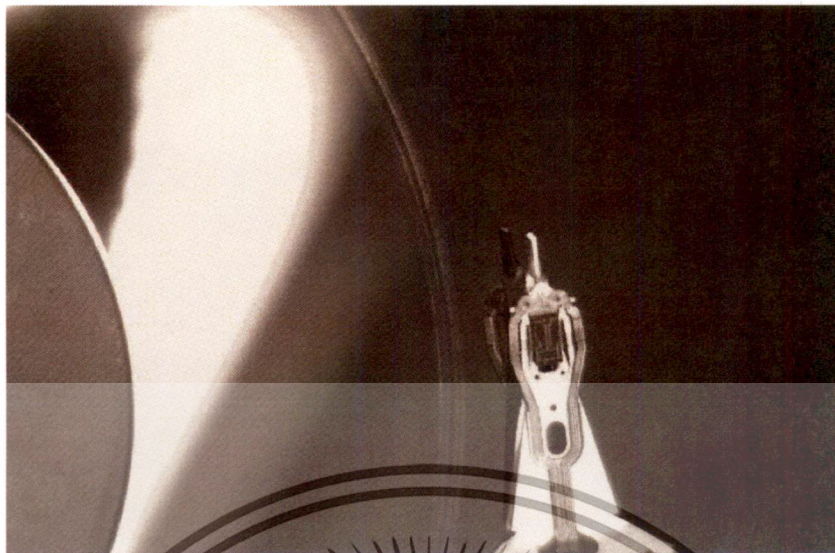
ในการที่จะให้การอ่านและเขียนข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้น หัวบันทึกขณะทำการบันทึกข้อมูลจะมีการบินในระยะที่ใกล้กับพื้นผิวแผ่นบันทึกข้อมูลมาก ในขณะที่ความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เพิ่มขึ้นระยะการบิน (Flying Height – FH) จะมีระยะประมาณ 3 นาโนเมตร สำหรับความหนาแน่น 1 เทระบิตต่อตารางนิ้วดังนั้นการควบคุมที่ระยะห่างระหว่างหัวบันทึกและแผ่นบันทึกข้อมูลที่มีความแม่นยำจึงเป็นสิ่งสำคัญมากขึ้น

เพื่อจะทำการควบคุมการปรับระยะห่างดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพ จึงมีการนำสไลเดอร์ที่สามารถปรับระยะการบินได้ด้วยการใช้ความร้อน ซึ่งจะใช้เทคนิคการยึดตัวของวัสดุด้วยความร้อน โดยวัสดุของหัวบันทึกบริเวณที่ใช้สำหรับเขียนและอ่านข้อมูล (Write/Read Transducer) จะยื่นออกไปใกล้กับแผ่นบันทึกข้อมูลได้ และโดยหลังจากที่มีการนำเสนอสไลเดอร์ชนิดดังกล่าวออกมา ก็ได้มีการศึกษาและตรวจสอบถึงพฤติกรรมของการสัมผัสในแบบต่างๆ ทั้งในรูปแบบของการทำการทดลอง (Experiment) และการทำการจำลอง (Simulation)

เทคนิคการตรวจจับการสัมผัสระหว่างหัวบันทึกและแผ่นบันทึก มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความร้อนที่ป้อนกับระยะการยึดตัวของหัวบันทึก และการหาระยะอ้างอิงในการทำการควบคุมระยะการบิน ในปัจจุบันมีการใช้ทั้งหัวอ่านและตัวตรวจจับการสัมผัสที่ถูกสร้างขึ้นมาโดยเฉพาะ เพื่อใช้ตรวจจับการสัมผัส โดยมีการพัฒนาเทคนิคต่างๆ ขึ้นมาเพื่อตรวจจับการสัมผัส เช่น วิธีแจ้งเตือนการสัมผัสด้วยการสังเกตจากความไม่เป็นเชิงเส้นของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของหัวบันทึกกับแผ่นบันทึกข้อมูลของ Mingsheng Zhang [17] ซึ่งวิธีดังกล่าว จะสามารถใช้ในการเตือนก่อนจะเกิดการสัมผัสแบบรุนแรงโดยการพิจารณาจากสัญญาณฮาร์มอนิกลำดับสูงของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวของหัวบันทึกและแผ่นบันทึกข้อมูลซึ่งถูกกระตุ้นจากการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ หรือ การศึกษาและทดลองของ Ning Li เกี่ยวกับความไม่เสถียรของการสัมผัสระหว่างหัวบันทึกกับแผ่นบันทึกข้อมูลที่เกิดจากการเหนี่ยวนำให้เกิดการยึดตัวโดยใช้ความร้อนในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ [18] เพื่ออธิบายถึงลักษณะของสถานะการสัมผัสและเสถียรภาพของหน้าสัมผัสระหว่างหัวบันทึกกับแผ่นบันทึกข้อมูล (Head-Disk Interface: HDI) และนอกจากนี้ ยังมีผลทดลองที่แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้สัญญาณจาก AE ตรวจจับการสัมผัสระหว่างสไลเดอร์กับชั้นของสารหล่อลื่น (Lubricant) บนแผ่นบันทึกข้อมูลได้ในขณะที่การตรวจสอบการสึกหรอของสไลเดอร์โดยใช้เครื่องเข็ม (Scanning Electron Microscope: SEM) ก็เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพอีกวิธีหนึ่งที่สามารถใช้ในการแยกแยะสถานะการสัมผัสระหว่างสไลเดอร์กับแผ่นบันทึกข้อมูล และสไลเดอร์กับชั้นของสารหล่อลื่นโดยใช้การวัดการกระจายของชั้นสารหล่อลื่นที่เกิดขึ้นบนส่วนที่มีการสัมผัสของสไลเดอร์เพื่อประเมินความลึกของการสัมผัสในชั้นสารหล่อลื่น

ทั้งนี้ นอกจากเรื่องของประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูลจากการควบคุมระยะบินที่แม่นยำแล้ว การตรวจจับการสัมผัสที่แม่นยำยิ่งเพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นหากเกิดการสัมผัสแบบที่เรียกว่า Solid Contact [19] ซึ่งหมายถึงการสัมผัสของสไลเดอร์กับชั้นเคลือบทับ DLC (Diamond-Like Carbon) ซึ่งเป็นส่วนที่มีความแข็งของแผ่นบันทึกข้อมูลที่อยู่ภายใต้ชั้นสารหล่อลื่น ในขณะที่มีการหมุนด้วยความเร็ว โดยอาจเกิดจากการป้อนพลังงานความร้อนสำหรับควบคุมระยะการบินของหัวบันทึก (TFC Power) ที่มีค่าสูงกว่าค่าความร้อนที่ทำให้เกิดการสัมผัส (Touchdown Power: TDP) ลักษณะดังกล่าวอาจจะก่อให้เกิดความเสียหายของสไลเดอร์หรือผิวหน้าของแผ่นบันทึกข้อมูลได้ [20] ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ความเสียหายที่เกิดบนผิวหน้าของแผ่นบันทึกข้อมูล จากการสัมผัสกับสไลเดอร์แบบรุนแรง



รูปที่ 2.2 ความเสียหายที่เกิดบนผิวหน้าของสไลเดอร์ จากการสัมผัสกับแผ่นบันทึกข้อมูลแบบรุนแรง

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการพัฒนาเทคนิคหรือวิธีการของการตรวจจับการสัมผัสที่เกิดขึ้นหรือเทคโนโลยีการตรวจสอบมีความสำคัญอย่างมากในการควบคุมความทนทานของ HDD โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับ สไลเดอร์ชนิดที่สามารถปรับระยะการบินได้ด้วยการใช้ความร้อน

2.3 การตรวจจับการสัมผัสโดยใช้หลักการเหนี่ยวนำให้เกิดการยึดตัวจากความร้อน

2.3.1 นิยามที่เกี่ยวข้องในกระบวนการตรวจสอบการตรวจจับการสัมผัส

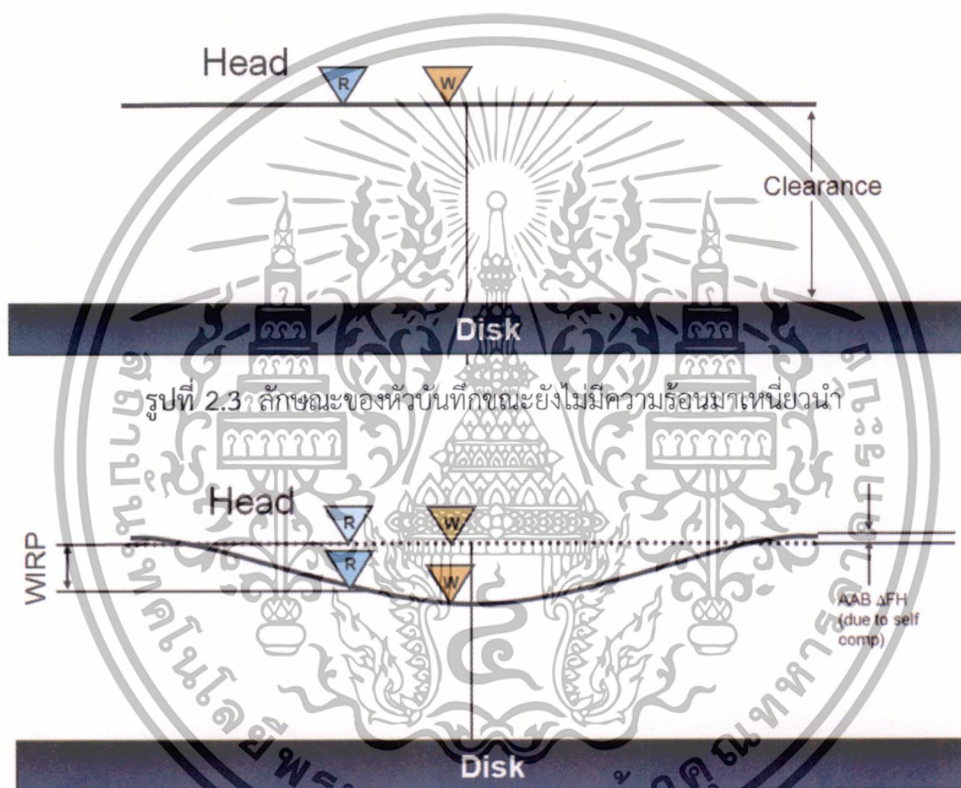
- 1 Close Point (CP) Clearance: ระยะห่างที่น้อยที่สุดระหว่างหัวบันทึกและชั้นบันทึกข้อมูล
- 2 Read Clearance: ระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นบันทึกในขณะอ่านข้อมูล
- 3 Write Clearance: ระยะห่างระหว่างหัวเขียนกับแผ่นบันทึกในขณะเขียนข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 W-IRP (Write-Induced Reader Protrusion): การเปลี่ยนตำแหน่งของหัวอ่านในทิศทางยึดเข้าหาแผ่นบันทึกข้อมูลที่เกิดขึ้นในขณะที่หัวเขียนกำลังทำงาน ซึ่งจะแทนในรูปของความยาว

5 H-IRP (Heater-Induced Reader Protrusion): การเปลี่ยนตำแหน่งของหัวอ่านในทิศทางยึดเข้าหาแผ่นบันทึกข้อมูลที่เกิดขึ้นในขณะที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยความร้อนซึ่งจะแทนในรูปของความยาว

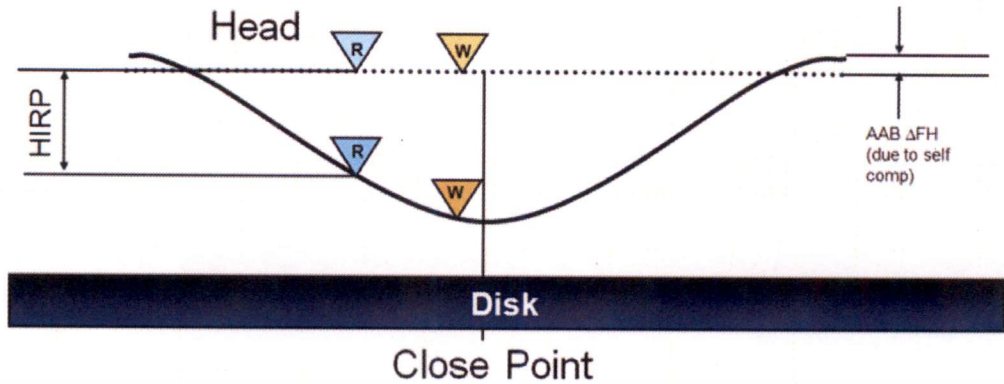
6 CH-IRP (Contact Heater-Induced Reader Protrusion): การเปลี่ยนตำแหน่งของหัวอ่านในทิศทางยึดเข้าหาแผ่นบันทึกข้อมูลที่เกิดขึ้นในขณะที่มีการป้อนความร้อนเพื่อให้เกิดการยึดตัว จากตำแหน่งขณะที่ป้อน พลังงานความร้อนที่ 0 มิลลิวัตต์ จนถึงค่าพลังงานความร้อนที่ทำให้เกิดการสัมผัส อาจแทนได้ในรูปของ CH-IRP = H-IRP



รูปที่ 2.4 ลักษณะการยึดตัวของหัวบันทึกขณะถูกเหนี่ยวนำจากกระบวนการเขียน

รูปที่ 2.3 เป็นการจำลองให้เห็นถึงสถานะของหัวบันทึกซึ่งประกอบด้วยหัวเขียนและหัวอ่าน โดยจะแทนหัวเขียนด้วยสัญลักษณ์ W และจะแทนหัวอ่านด้วยสัญลักษณ์ R ในขณะที่บินอยู่เหนือแผ่นบันทึกข้อมูลโดยจะอาศัยแรงยกตัวของสไลเดอร์ด้วยแรงลมขณะที่แผ่นบันทึกข้อมูลหมุน จากรูปนั้นเป็นสถานะที่ยังไม่มีการป้อนพลังงานความร้อนใดๆ เพื่อให้เกิดการยึดตัวของหัวบันทึกและ ส่วนในรูปที่ 2.4 นั้นจะแสดงให้เห็นถึงลักษณะการยึดตัวของหัวบันทึก ขณะถูกเหนี่ยวนำจากกระบวนการเขียน กล่าวคือ ขณะที่ทำการป้อนกระแสไฟฟ้าให้หัวเขียนเพื่อทำการเขียนข้อมูลเองนั้นก็ก่อให้เกิดความร้อนสามารถทำให้มีการยึดตัวในระดับหนึ่งด้วยเช่นกัน

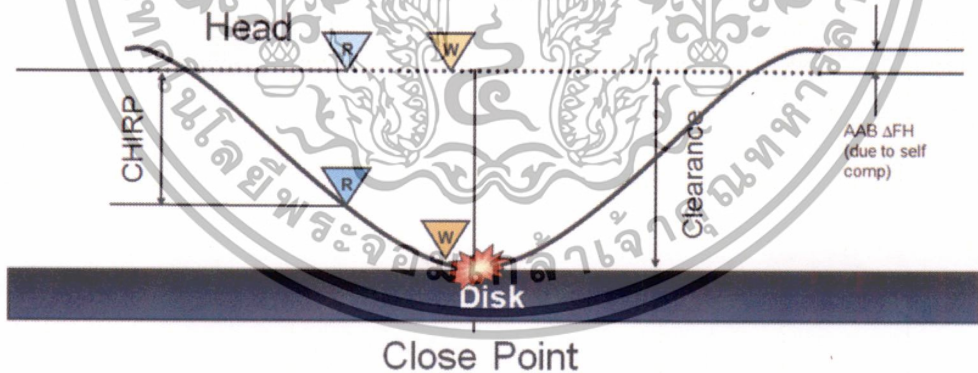
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ลักษณะการยึดของหัวบันทึกขณะถูกเหนี่ยวนำจากการป้อนพลังงานความร้อน

ในส่วนของการยึดตัวของหัวอ่านที่เกิดจากการเหนี่ยวนำจากความร้อนที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อน (Heater Coil) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 นั้น จะเป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นในการหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความร้อนที่ป้อนกับระยะที่เกิดการยึดตัว ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการตรวจจับการสัมผัสระหว่างหัวบันทึกกับแผ่นบันทึกข้อมูล

ส่วนในรูปที่ 2.6 จะแสดงให้เห็นถึงสถานะที่มีการป้อนพลังงานความร้อนเพื่อให้เกิดการยึดตัวของหัวอ่านจนถึงจุดที่สามารถตรวจจับได้ว่าการสัมผัสขึ้นระหว่างหัวบันทึกกับแผ่นบันทึกข้อมูล ก่อนจะนำผลของความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ป้อนกับระยะการยึดตัวดังกล่าวไปใช้ในกระบวนการบินในระยะเวลาทำการเขียนและการอ่านข้อมูลจริงของหัวบันทึก



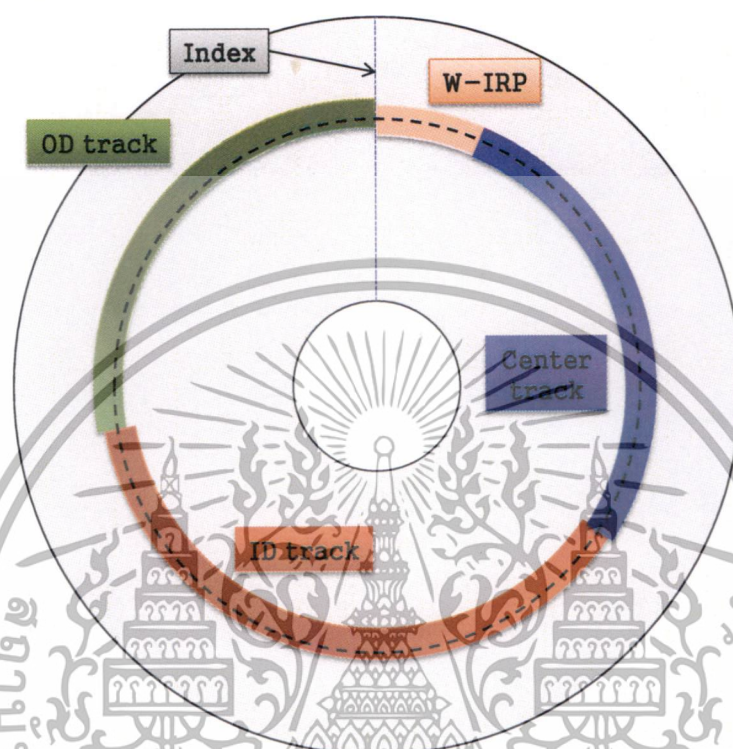
รูปที่ 2.6 ลักษณะการยึดของหัวบันทึก ขณะถูกเหนี่ยวนำจากการป้อนพลังงานความร้อนจนเกิดการสัมผัส

2.3.2 ขั้นตอนและวิธีการในการตรวจจับการสัมผัส

ขั้นตอนและวิธีการการตรวจสอบการสัมผัสในการทดลองนี้จะใช้เทคนิคจากหลักการเหนี่ยวนำให้เกิดการยึดตัวจากความร้อน โดยจะเริ่มจากการใช้หัวเขียนเขียนข้อมูลด้วยสัญญาณความถี่เดียวลงบนแทร็ก (Track) อ้างอิง 3 แทร็ก ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และ 2.8 คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1 แทร็กกลาง (Center Track)
- 2 แทร็กด้านนอก (OD Track) กำหนดให้เป็นด้านบวก (Positive)
- 3 แทร็กด้านใน (ID Track) กำหนดให้เป็นด้านลบ (Negative)



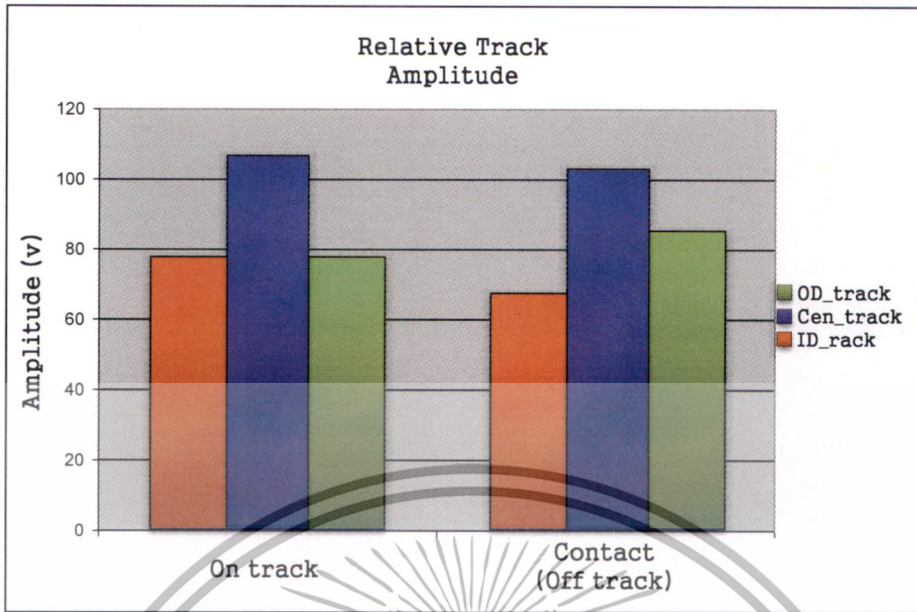
รูปที่ 2.7 รูปแบบการเขียนแทร็กอ้างอิงลงบนแผ่นบันทึก



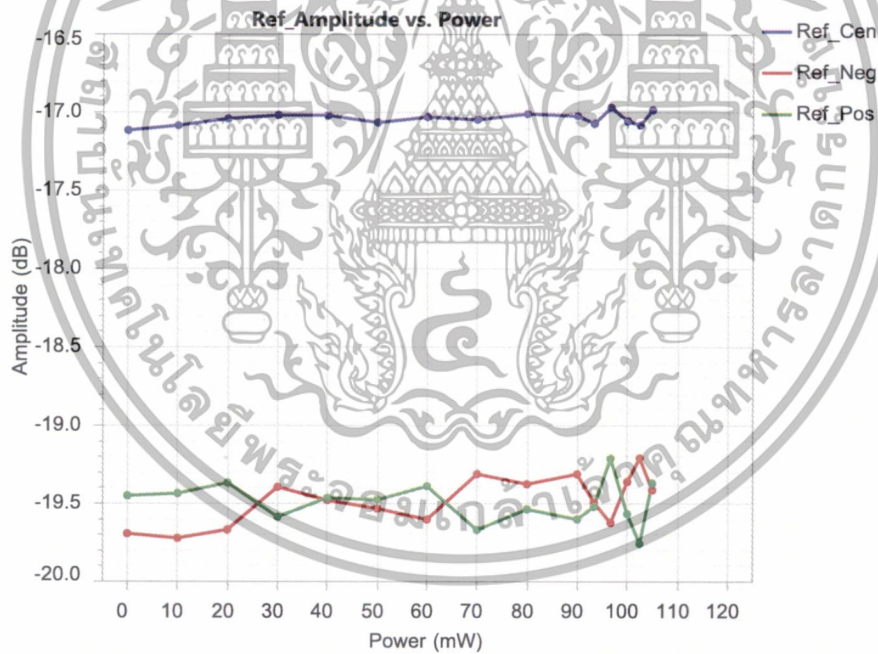
รูปที่ 2.8 การวางตัวของแทร็กข้อมูลเพื่อใช้ในการตรวจหาการสัมผัส

หลังจากนั้นจะใช้หัวอ่านทำการอ่านแอมพลิจูด (Amplitude) ของสัญญาณที่เขียนลงไปโดยค่อยๆ เพิ่มความร้อนเข้าไปที่ขดลวดความร้อนเพื่อทำให้หัวอ่านเกิดการยึดตัว โดยสมมติฐานคือ ณ ขณะที่ยังไม่มีการป้อนความร้อน ตำแหน่งกลางแทร็กควรจะได้แอมพลิจูดที่สูงที่สุดและแอมพลิจูดของแทร็กด้านข้างทั้งสองต้องต่ำกว่าและมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังที่แสดงในรูปที่ 2.9 และรูปที่ 2.10 และเมื่อมีการป้อนความร้อนเพื่อให้หัวอ่านยึดตัวเข้าใกล้แผ่นบันทึกข้อมูลมากขึ้นค่าแอมพลิจูดที่อ่านได้ก็ควรจะสูงขึ้นเรื่อยๆ ทั้งสามแทร็กตามระยะการยึดของหัวอ่าน ซึ่งการอ่านสัญญาณจะทำได้ดีขึ้นเมื่อหัวอ่านเข้าใกล้ข้อมูลที่ถูกรวบรวมไว้บนแผ่นบันทึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

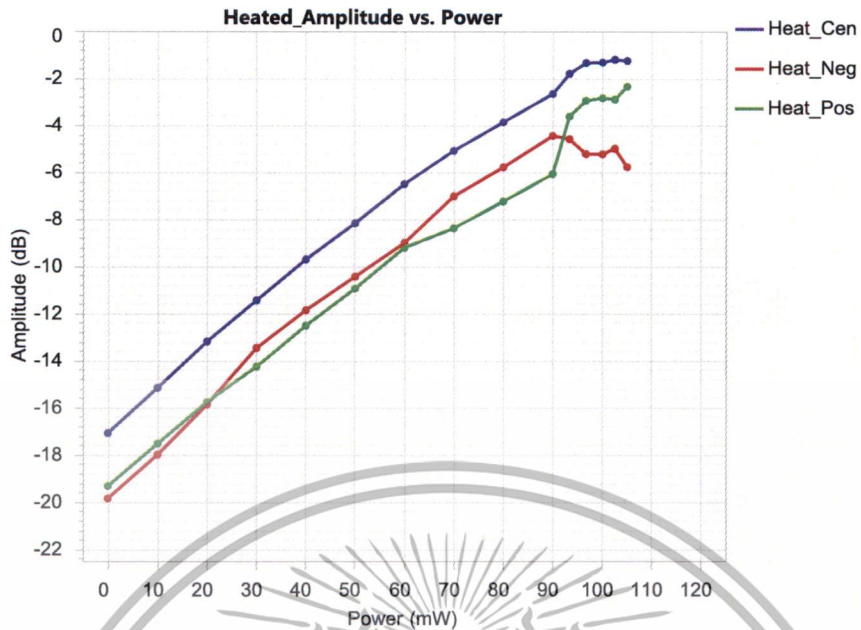


รูปที่ 2.9 ลักษณะของค่าแอมพลิจูดของสัญญาณที่อ่านได้จากแทร็ก



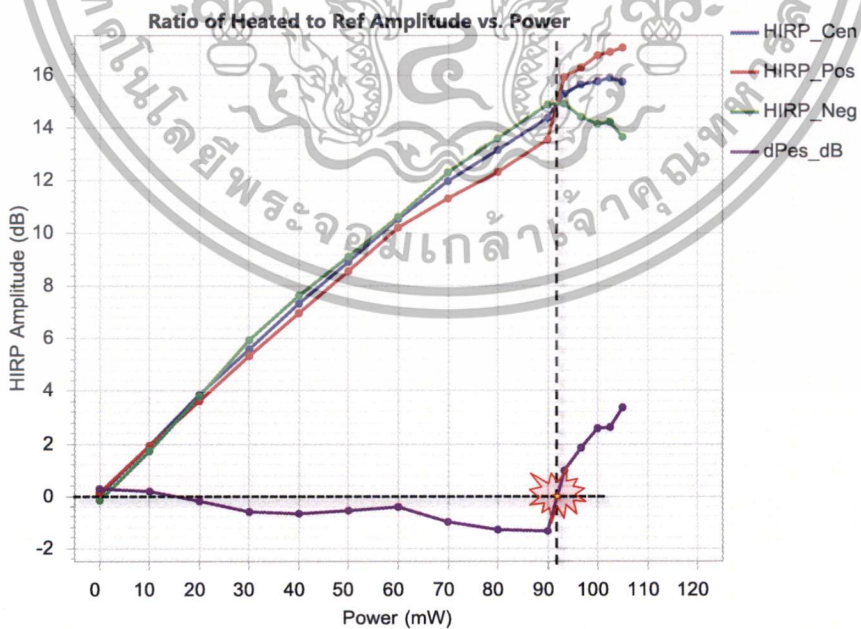
รูปที่ 2.10 ค่าแอมพลิจูดของแทร็กอ้างอิงขณะยังไม่ป้อนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณที่อ่านได้ขณะที่หัวอ่านยึดตัวเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความร้อน

จากรูปที่ 2.11 เมื่อเกิดการสัมผัส จะส่งผลให้เกิดแรงดึงจากด้านข้างดึงหัวอ่านให้ออกจากแทร็ก (Off-Track) ทำให้ค่าแอมพลิจูดของแทร็กทั้งสองข้างไม่เท่ากันโดยค่าแอมพลิจูดของแทร็กด้านที่หัวอ่านถูกดึงหัวอ่านให้ออกจากแทร็กจะมีค่าแอมพลิจูดของแทร็กสูงขึ้นเนื่องจากหัวอ่านไปอยู่บนแทร็กนั้นมากกว่าทำให้อ่านสัญญาณได้ดีขึ้น ในขณะที่อีกด้านค่าแอมพลิจูดก็จะลดลง



รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ของความร้อนขณะป้อนกับระยะที่เกิดการยึดตัวจนเกิดการสัมผัสระหว่างหัวบันทึกกับแผ่นบันทึกข้อมูล

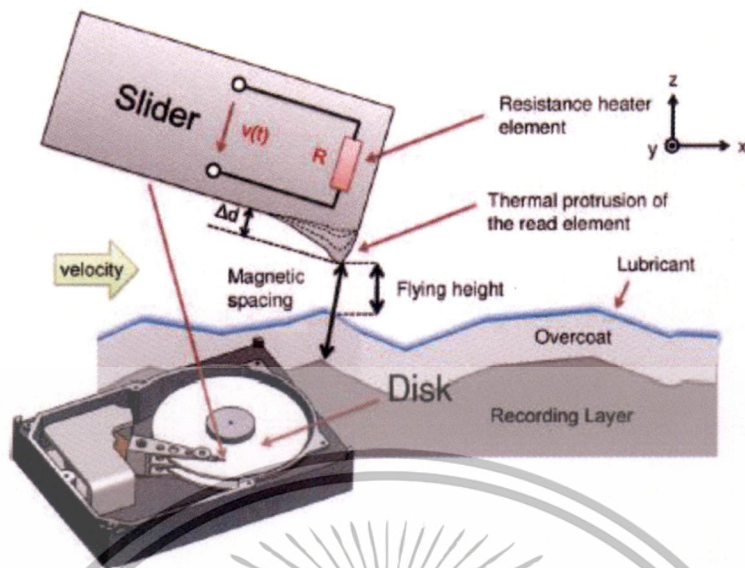
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการตรวจสอบว่าเกิดการสัมผัสขึ้นระหว่างหัวบันทึกกับแผ่นบันทึกข้อมูลเมื่อใด จะดูจากการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณของแอมพลิจูดของทั้งสามแตรีกซึ่งจะถูกพลอท (Plot) ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ป้อนกับผลต่างของแอมพลิจูด ณ ค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้นโดยจุดที่เกิดการสัมผัสจะระบุได้จากจุดที่ความชันของเส้นกราฟ dPES (Delta Positioning Error Signal) เกิดการเปลี่ยนแปลงจนตัดกับเส้นอ้างอิงที่ 0 เดซิเบล ดังที่แสดงในรูปที่ 2.12

2.4 เทคนิคการให้ความร้อนเพื่อให้เกิดการยึดตัวของหัวบันทึก

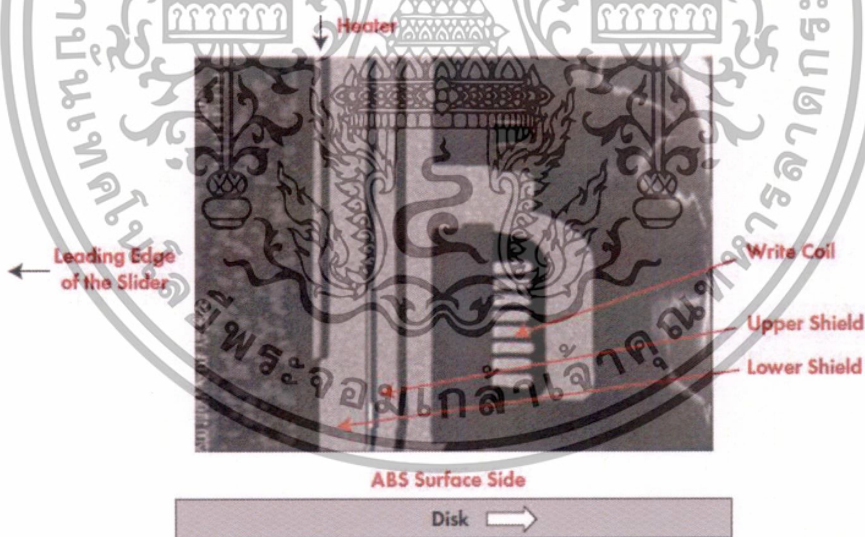
สำหรับวิธีการในการควบคุมระยะห่างของหัวบันทึกข้อมูล (หัวเขียนและหัวอ่าน) กับแผ่นบันทึกข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาและทดลองนั้นจะใช้หลักการของการขยายตัวของวัสดุด้วยการให้ความร้อน โดยอาศัยตัวทำความร้อนที่มีการติดตั้งไว้ใกล้กับหัวเขียนและหัวอ่าน ซึ่งการยึดตัวของหัวบันทึกข้อมูลดังกล่าวออกมาจากสไลเดอร์นั้น มีความซับซ้อนและมีองค์ประกอบหลายอย่างที่เกี่ยวข้อ ทั้งคุณลักษณะทางกายภาพของวัสดุ รวมถึงคุณสมบัติเกี่ยวกับความเป็นตัวนำและความต้านทานทางไฟฟ้า คุณสมบัติเกี่ยวกับการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า การนำความร้อนและการพาความร้อน และการสูญเสียรูปแบบยืดหยุ่นของของแข็ง นอกจากนั้นแล้วอุณหภูมิของบริเวณที่ล้อมรอบหัวบันทึกขณะทำการบันทึกข้อมูลก็มีผลกับการยึดตัวดังกล่าวด้วยกล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิที่ล้อมรอบมีการเปลี่ยนแปลง ระยะห่างของหัวบันทึกกับแผ่นบันทึกข้อมูลจะมีการเปลี่ยนแปลงด้วย เนื่องจาก ในการยึดตัวออกมาของหัวบันทึกอันเนื่องมาจากการควบคุมอุณหภูมิ (Temperature-Induced Head Protrusion: T-IHP) นั้น จะมีสาเหตุมาจากความแตกต่างของอัตราการขยายตัวของวัสดุแต่ละชนิดของหัวบันทึกเมื่อได้รับความร้อนค่าหนึ่งๆ ซึ่งจะทำให้เกิดการโก่งตัวดันให้ส่วนของหัวบันทึกยึดออกมาจากสภาวะปกติ นอกจากนั้นแล้ว กระแสไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเขียนข้อมูล (Write Current) ในกระบวนการการเขียนข้อมูลเองก็มีส่วนในการทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่บริเวณล้อมรอบหัวบันทึกด้วยเช่นกัน ซึ่งจะทำให้เกิดการยึดตัวของหัวอ่านเขียนอันเนื่องการมาจากเขียนข้อมูล (Write-Induced Head Protrusion: W-IHP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ส่วน trailing edge ของสไลเดอร์และชั้นบนสุดของแผ่นบันทึก [21]

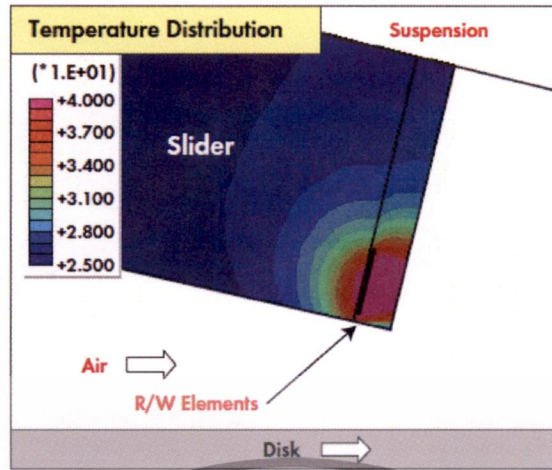
จากรูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นถึงการยืดตัวของหัวบันทึกในส่วนของหัวอ่านข้อมูลซึ่งเกิดจากการเหนี่ยวนำของความร้อน (Thermal Protrusion of Read Element)



รูปที่ 2.14 ภาคตัดขวางของโครงสร้างของหัวบันทึก [22]

รูปที่ 2.14 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของหัวบันทึกในส่วนของการวางตัวของหัวเขียนและวัสดุความร้อน (Heater) รูปที่ 2.15 แสดงถึงการกระจายตัวของความร้อนเมื่อมีการป้อนความร้อนให้กับวัสดุความร้อน

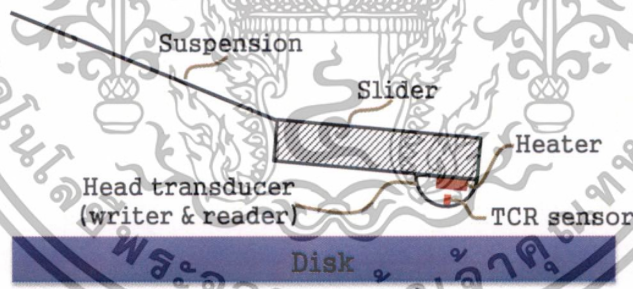
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



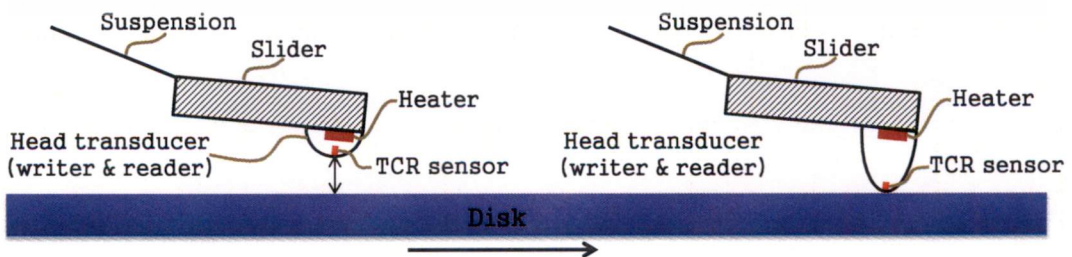
รูปที่ 2.15 การกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อมีการป้อนความร้อน [22]

2.5 เทคนิคการตรวจจับการสัมผัสโดยใช้ TCR sensor

TCR sensor คือ เซ็นเซอร์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับอุณหภูมิซึ่งถูกวางตัวไว้ในส่วนของหัวบันทึก โดยจะทำการตรวจจับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบริเวณระหว่างหัวบันทึกกับแผ่นบันทึกข้อมูล โดยจากรูปที่ 2.16 และ 2.17 เป็นแบบจำลองให้เห็นถึงตำแหน่งของ TCR sensor ที่ถูกติดตั้งเข้าไปในส่วนของหัวบันทึก และสามารถเปลี่ยนตำแหน่งในแนวเข้าใกล้แผ่นบันทึกข้อมูลได้เมื่อหัวบันทึกถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการยึดตัวจากความร้อน



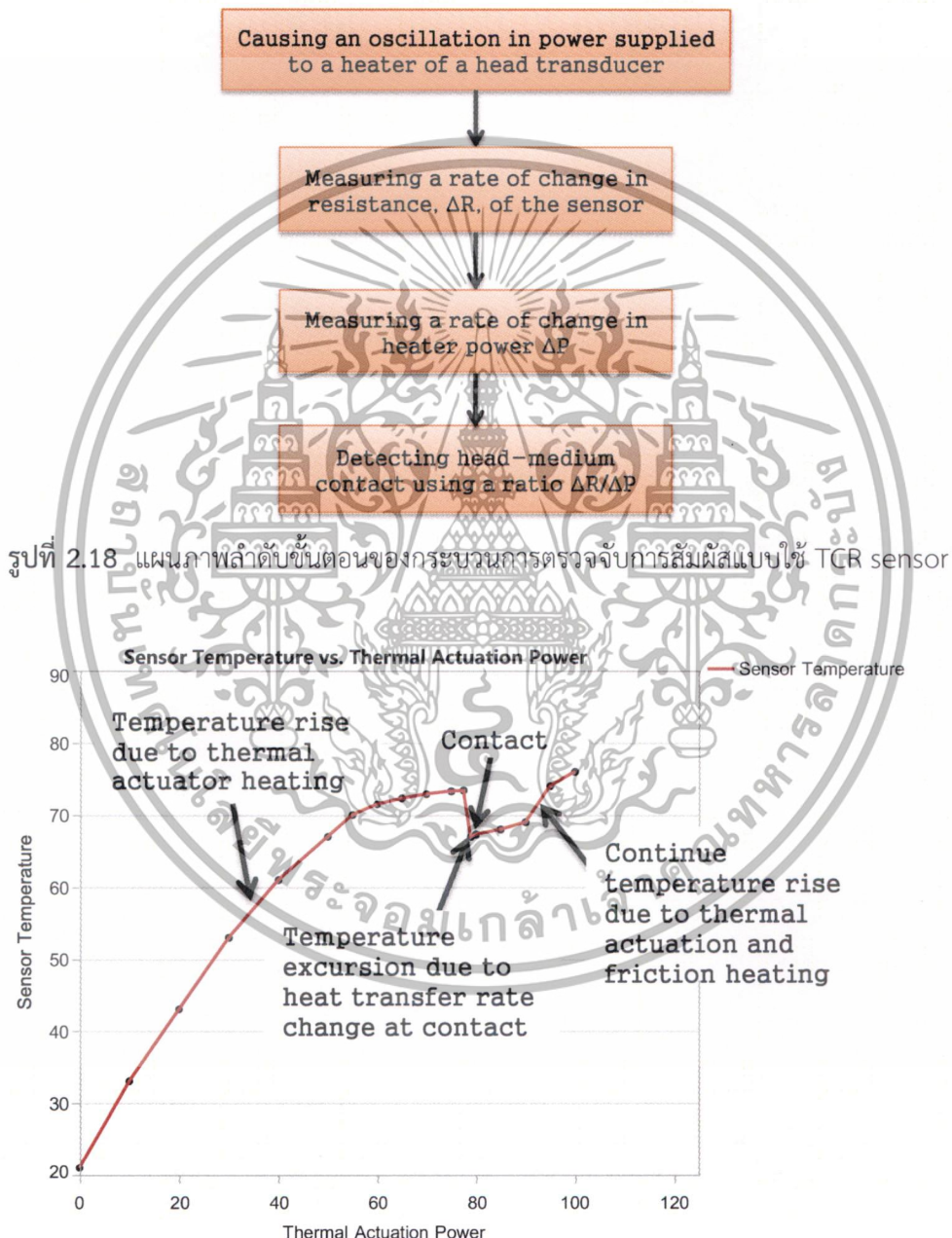
รูปที่ 2.16 มุมมองจากด้านข้างของชุดประกอบหัวบันทึกขณะบินอยู่เหนือแผ่นบันทึกข้อมูล [23]



รูปที่ 2.17 หัวบันทึกและเซ็นเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิในสภาวะก่อนมีการเหนี่ยวนำจากความร้อน และขณะเกิดการเหนี่ยวนำจากความร้อนจนเกิดการสัมผัส [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

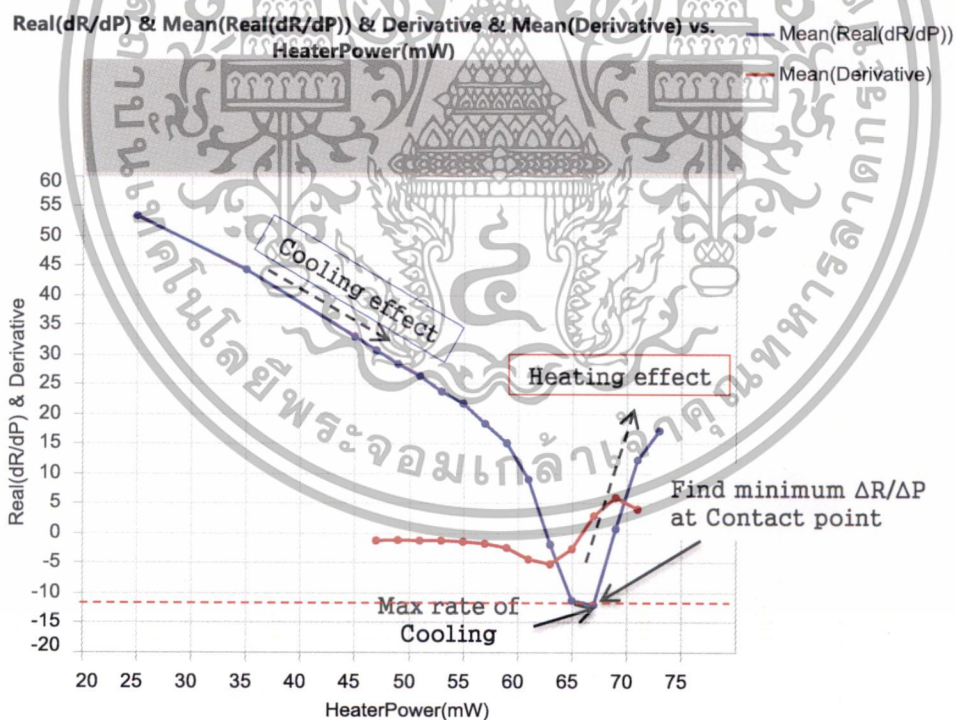
คุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของการใช้เทคนิคการตรวจจับการสัมผัสแบบใช้ TCR sensor คือสามารถตรวจจับการสัมผัสได้ที่ตำแหน่งทำมุม 0 องศาหรือในมุมที่หัวบันทึกชนานกับแท่งข้อมูล เพราะวิธีดังกล่าวนี้ไม่จำเป็นต้องใช้แรงดึงออกจากแท่งจากการสัมผัสกันของหัวบันทึกกับแผ่นบันทึกข้อมูล ซึ่งถือเป็นปัญหาที่ทำให้เกิดการตรวจหาการสัมผัสที่ไม่แม่นยำอีกหนึ่งข้อของเทคนิคที่มีการใช้หัวอ่านตรวจจับสัญญาณจากการเบี่ยงเบนของตำแหน่ง (Positioning Error Signal: PES)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TCR sensor จะใช้การชี้วัดจุดที่เกิดการสัมผัสจากอัตราส่วนระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทาน (ΔR) ที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิเมื่อเกิดการยึดตัวเข้าใกล้แผ่นบันทึกข้อมูล เทียบกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของพลังงานความร้อน (ΔP) ที่ป้อนเพื่อให้เกิดการยึดตัว ซึ่งขั้นตอนการตรวจจับจะแสดงในรูปที่ 2.18

จากรูปที่ 2.19 แสดงรายละเอียดอุณหภูมิของหัวบันทึก ในสถานะก่อน ระหว่าง และหลังการสัมผัสระหว่างหัวบันทึกกับพื้นผิวของแผ่นบันทึกข้อมูล ในตัวอย่างที่อธิบายรายละเอียดอุณหภูมินี้จะแสดงเป็นสัญญาณกระแสตรง (Direct Current: DC) แบบคงที่ เมื่อหัวบันทึกถูกเหนี่ยวนำโดยความร้อน อุณหภูมิที่พื้นผิวของหัวบันทึกจะเพิ่มขึ้นพร้อมกับการเหนี่ยวนำเนื่องจากความร้อนที่เกิดจากขดลวดความร้อนและจะสูงกว่าอุณหภูมิของแผ่นบันทึกข้อมูล ซึ่งในสถานการณ์นี้ แผ่นบันทึกข้อมูลจะทำหน้าที่คล้ายเป็นตัวระบายความร้อน เมื่อหัวบันทึกสัมผัสกับกับแผ่นบันทึกข้อมูล อุณหภูมิพื้นผิวของหัวบันทึกจะลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการสัมผัส (Cooling Effect) แต่หลังการสัมผัสอุณหภูมิดังกล่าวจะยังคงเพิ่มขึ้นเนื่องจากความร้อน (Heating Effect) จากการเหนี่ยวนำของขดลวดความร้อน (Thermal Actuation) และความร้อนจากการเสียดสี (Friction Heating) ขณะเกิดการสัมผัส



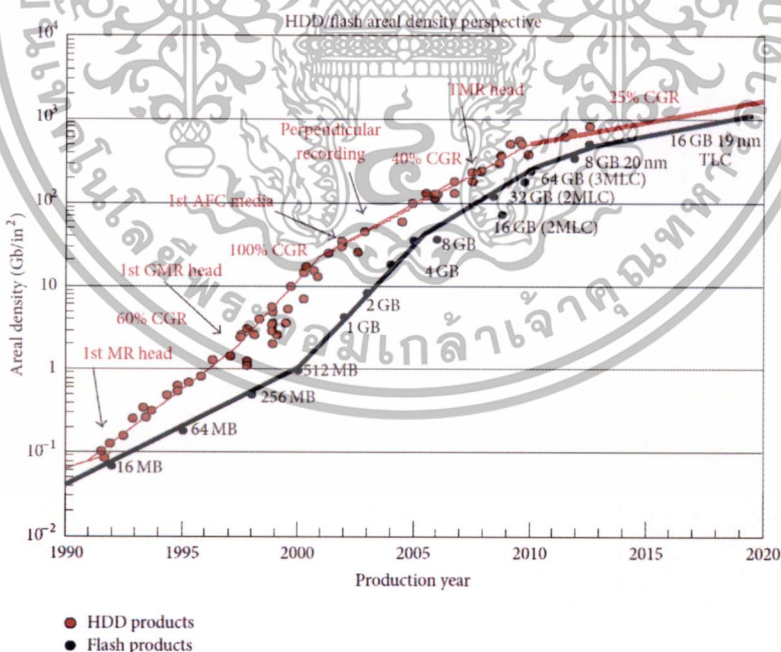
รูปที่ 2.20 การพิจารณาจุดที่เกิดการสัมผัสและค่าความร้อนที่เหนี่ยวนำจนเกิดการสัมผัส จากผลของการตรวจจับการสัมผัสแบบใช้ TCR sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การชี้วัดจุดที่เกิดการสัมผัสจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานเทียบกับอัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนที่ป้อนเพื่อให้เกิดการยึดตัวของหัวบันทึก ($\Delta R/\Delta P$) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.20 นั้นโดยระบุจุดที่เกิดการสัมผัสจากจุดต่ำสุดของอัตราการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว

2.6 ระยะห่างระหว่างพื้นผิวของส่วนหัวบันทึกกับพื้นผิวชั้นแม่เหล็กของแผ่นบันทึกข้อมูล (HMS)

สำหรับเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับหน้าสัมผัสระหว่างหัวบันทึกกับแผ่นบันทึกข้อมูล (HDI) และโดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องของระยะห่างระหว่างพื้นผิวของส่วนหัวบันทึกกับพื้นผิวชั้นแม่เหล็กของแผ่นบันทึกข้อมูล (HMS) สำหรับฮาร์ดดิสก์ในปัจจุบันและอนาคตนั้น ปัจจุบันนี้เนื่องจากความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ของการจัดเก็บข้อมูลแบบบนพื้นผิวแผ่นบันทึกข้อมูลนั้น มีความใกล้เคียงที่จะถึงจุดที่ตั้งไว้ที่ 1 เทระบิตต่อตารางนิ้วแล้วอย่างรวดเร็ว แต่ในทางกลับกัน หากพิจารณาจากอัตราการเติบโตต่อปีกลับลดลงอย่างมากจากที่อยู่ประมาณ 100% ต่อปี ในช่วงปลายของปี 1990 มาเป็น 20-30% ในทุกวันนี้ ซึ่งอัตราการเติบโตดังกล่าวนี้ถือว่าต่ำกว่าในอดีตที่ผ่านมาๆ มาตามกฎของมัวร์ซึ่งมีการประมาณการไว้ที่ 40% ต่อปี ดังนั้น ตัวแปรที่สำคัญอย่างหนึ่งที่จะทำให้ได้ความหนาแน่นเชิงพื้นที่สูงขึ้นคือ การลด HMS ลงเพื่อที่จะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูลได้ดีขึ้น

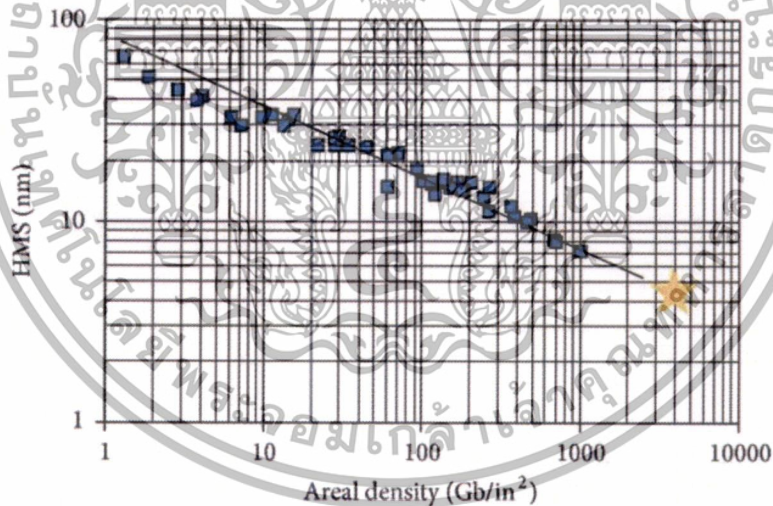


รูปที่ 2.21 วิวัฒนาการของความหนาแน่นเชิงพื้นที่ของฮาร์ดดิสก์และหน่วยความจำแบบแฟลชเมมโมรี [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

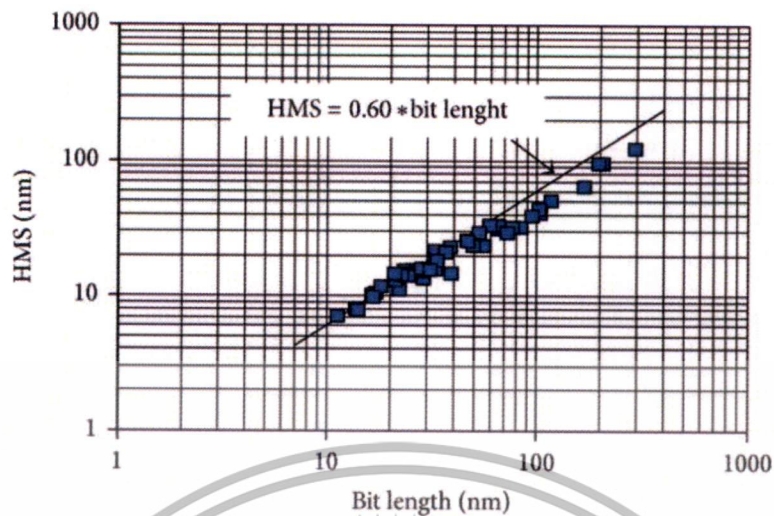
จากที่ความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ของฮาร์ดดิสก์ไทรฟ์ในเชิงพาณิชย์ใกล้จะถึงระดับเทระบิตต่อตารางนิ้วอย่างรวดเร็วนั้น [24-28] (รูปที่ 2.21) ความจำเป็นในการที่ต้องปรับปรุงความน่าเชื่อถือของเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับหน้าสัมผัสระหว่างหัวบันทึกกับแผ่นบันทึกข้อมูลและความต้องการที่จะลดระยะห่างระหว่างหัวบันทึกกับชั้นบันทึกลงอย่างต่อเนื่องจึงสำคัญมากขึ้น [26, 29, 30] ทั้งนี้เนื่องจากว่า HMS ที่ต่ำ จะเป็นหนึ่งปัจจัยที่ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของการเขียนสัญญาณได้ดีขึ้น รวมถึงความถูกต้องและสมบูรณ์ของสัญญาณจากการอ่านกลับด้วย [31, 32] ซึ่งมีการคาดการณ์ว่ามีแนวโน้มที่ค่า HMS จะต่ำกว่า 7 นาโนเมตร เพื่อให้สามารถไปถึงจุดที่มีความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีค่าเทระบิตต่อตารางนิ้ว [25, 29] ซึ่งจากการทดลองพบว่าอัตราความผิดพลาดของสัญญาณดิจิทัลจากการเขียนและอ่านกลับจะดีขึ้นประมาณ 2 เท่าสำหรับทุกๆ 0.3-0.5 นาโนเมตรของการลด HMS ลง

จากการวิเคราะห์แนวโน้มในระยะยาวแสดงให้เห็นว่า HMS ได้ลดลงเรื่อยๆ ตามช่วงเวลา (รูปที่ 2.22) โดยแนวโน้มที่ผ่านมาระบุว่า HMS ของผลิตภัณฑ์ล่าสุดอยู่ที่ ประมาณ 60% ของความยาวบิต (รูปที่ 2.23) ในขณะที่ HMS ของการบันทึกข้อมูลที่ได้จากกระบวนการทดลองจะอยู่ที่ประมาณ 50% ของความยาวบิต



รูปที่ 2.22 การเปลี่ยนแปลงของ HMS เทียบกับความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ [29]

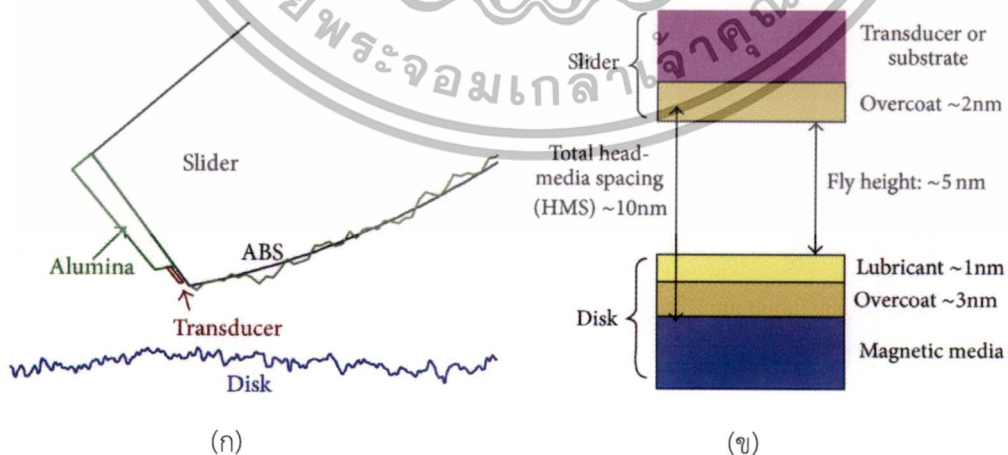
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 การเปลี่ยนแปลงของ HMS เทียบกับความยาวบิต (Bit Length) [29]

2.7 คำจำกัดความขององค์ประกอบต่างๆ ของ HMS

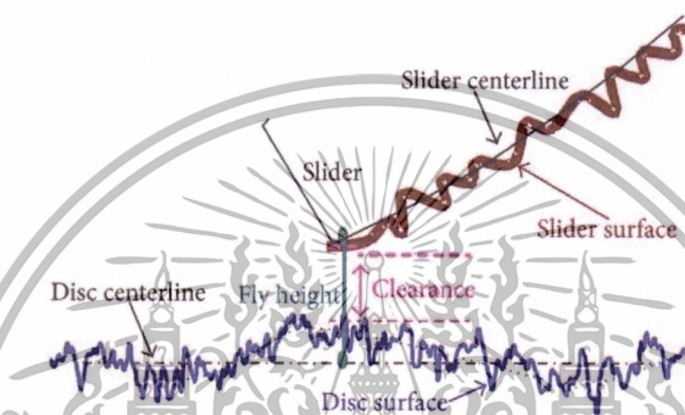
เนื่องจากความจุและประสิทธิภาพการทำงานของฮาร์ดดิสก์ได้มีการถูกปรับปรุง ระยะห่างระหว่างหัวบันทึกและชั้นบันทึกของแผ่นบันทึกข้อมูล ก็ได้รับการพัฒนาให้ระยะดังกล่าวลดลงอย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองต่อการพัฒนาในเรื่องของความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่สำเร็จอย่างรวดเร็ว ซึ่งจากรูปที่ 2.24(ก) เป็นแผนภาพที่แสดงให้เห็นถึงระยะห่างระหว่างหัวบันทึกและชั้นบันทึกและรูปที่ 2.24(ข) เป็นภาพจำลองเพื่อแสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบของ HMS ซึ่งประกอบด้วยระยะความสูงของการบินและความหนาของชั้นการเคลือบ (การเคลือบที่บนหัวบันทึกและด้านบนของแผ่นบันทึกข้อมูล ชั้นของสารหล่อลื่นของแผ่นบันทึกข้อมูล)



รูปที่ 2.24 ส่วนประกอบของ HMS (ก) ส่วนปลายของหัวบันทึกขณะบินเหนือแผ่นบันทึกข้อมูล (ข) ภาพจำลองส่วนประกอบของ HMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.24(ข) หากพิจารณาให้ส่วนของพื้นผิวของสไลเดอร์และแผ่นบันทึกข้อมูลให้เป็นแบบเรียบ โดยจะไม่พิจารณาในส่วนของปัจจัยอื่นๆ เช่น ลักษณะของพื้นผิวและความแปรปรวนของความสูงของการบิน ซึ่งความสูงของการบินหมายถึงระยะห่างระหว่างแนวตรงกลางของพื้นผิวของหัวบันทึกและแผ่นบันทึกข้อมูลแล้ว ส่วน Clearance จะหมายถึงระยะห่างระหว่างจุดที่ใกล้ที่สุดระหว่างพื้นผิวส่วนในรูปที่ 2.25 จะแสดงให้เห็นในส่วนของความแตกต่างระหว่างความสูงของการบินและระยะที่เรียกว่า Clearance



รูปที่ 2.25 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับระยะห่างที่ใกล้ที่สุดระหว่างหัวบันทึกกับแผ่นบันทึกข้อมูล และความสูงของการบิน

สำหรับคำจำกัดความของค่าบางค่าที่ใช้กันทั่วไปโดยกลุ่มของ HDI มีดังนี้

- 1 Head to Media Spacing: ระยะห่างระหว่างด้านบนสุดของชั้นแม่เหล็กของแผ่นบันทึกข้อมูลกับพื้นผิวของวัสดุตัวนำ (หัวบันทึก)
- 2 Flying Clearance: ความแตกต่างหรือระยะขอบของความสูงของการบินระหว่างสภาวะปกติจนถึงสภาวะที่เกิดการสัมผัสระหว่างหัวบันทึกกับแผ่นบันทึกข้อมูล
- 3 Glide Avalanche/Touch Down Height (TDH): ความสูงต่ำสุดของสไลเดอร์ขณะบินเหนือระดับความขรุขระเฉลี่ยโดยปราศจากการสัมผัสกันของสไลเดอร์กับแผ่นบันทึกข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ
- 4 Flying Height = ระยะห่างที่จุดใกล้ที่สุดขณะบิน + ระยะความสูงของการสัมผัส
- 5 Media Lubricant Thickness: ความหนาเฉลี่ยของสารหล่อลื่น ที่อยู่ด้านบนของชั้นเคลือบทับของชั้นบันทึก
- 6 Media Overcoat Thickness: ความหนาเฉลี่ยของชั้นเคลือบทับของชั้นบันทึก ที่สันนิษฐานว่าจะเป็นไปตามลักษณะของพื้นผิวพื้นฐาน
- 7 Head Overcoat: ชั้นเคลือบทับของหัวบันทึก (เช่นซิลิกอน) + โดม่อนไลค์คาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$HMS = \text{Head Overcoat} + TDH + \text{Clearance} + \text{Media Lubricant} + \text{Media Overcoat} \quad (2.1)$$

สำหรับความสำเร็จที่เกิดขึ้นในการลดระยะ HMS ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในปัจจุบันลงนั้นส่วนใหญ่ใช้วิธีการลดระยะการบินของหัวบันทึกและกระบวนการในการเคลือบทับของแผ่นบันทึกข้อมูลและหัวบันทึก ในขณะที่แนวโน้มของกระบวนการทั้งสองดังกล่าวนี้ยังสามารถดำเนินต่อไปในอนาคตได้อีก ซึ่งการลด HMS ลงไปอีกนั้น ในอนาคตอันใกล้นี้อาจจะไม่มีคามจำเป็นที่ต้องใช้การออกแบบของเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับหน้าสัมผัสระหว่างหัวบันทึกกับแผ่นบันทึกข้อมูลแบบเดิมเพื่อตอบสนองความต้องการในการบันทึกข้อมูลเพื่อให้ได้ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ที่เกิน 1 เทระบิตต่อตารางนิ้ว

ในการออกแบบไดรฟ์รุ่นเก่านั้น การออกแบบ ABS และลักษณะของสไลเดอร์จะเป็นตัวกำหนดความสูงของการบินและระยะห่างระหว่างหัวบันทึกและแผ่นบันทึกข้อมูล แต่ในการออกแบบไดรฟ์รุ่นใหม่ ความสูงของการบินจะถูกควบคุมโดยใช้สัญญาณอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของส่วนของหัวบันทึกที่ติดตั้งอยู่กับตัวสไลเดอร์ ซึ่งวิธีที่ใช้กันมากที่สุดสำหรับการควบคุมนี้คือ การฝังตัวต้านทานความร้อนทางไฟฟ้าเข้าไปในสไลเดอร์ ซึ่งจะช่วยให้บางส่วนของพื้นที่ของชุดหัวบันทึกข้อมูลเกิดการยืดตัวออกมาใกล้กับแผ่นบันทึกข้อมูลได้ ตามที่แสดงในรูปที่ 2.25 [32-34] ในบางจุดระหว่างพื้นผิวทั้งสอง อาจจะต้องได้รับการออกแบบให้ทนต่อการสัมผัสทั้งแบบไม่ต่อเนื่องและแบบต่อเนื่อง [33-40]

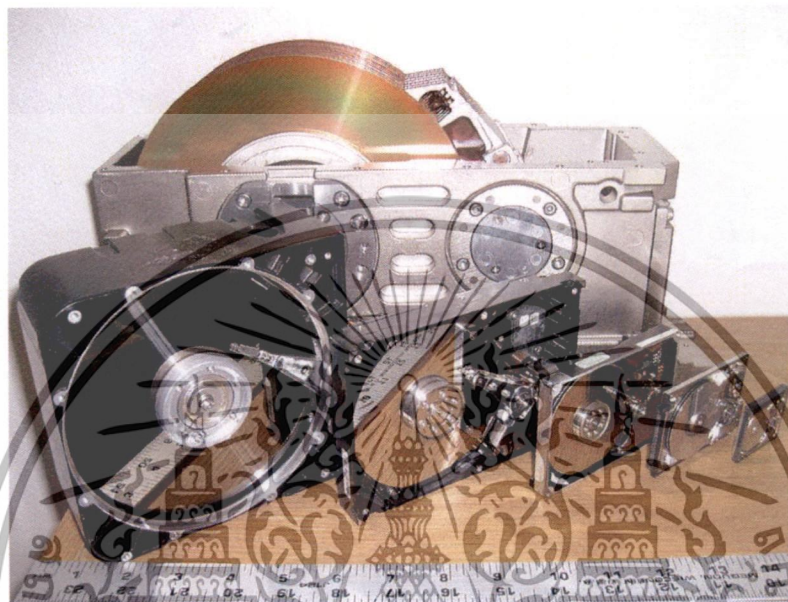
สำหรับผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันนั้นจะมีค่า HMS อยู่ในระดับ 10 นาโนเมตรหรือต่ำกว่าเล็กน้อย ซึ่งในผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ที่มีความหนาแน่นเชิงพื้นที่ 1 เทระบิตต่อตารางนิ้วนั้น มีแนวโน้มที่จะไม่สามารถพัฒนาต่อไปได้อีก ดังนั้นช่วงของค่าสูง-ต่ำของ HMS จะยังคงอยู่ในระยะข้างต้นดังที่กล่าวไป แต่สำหรับความหนาแน่นเชิงพื้นที่ 1 เทระบิตต่อตารางนิ้วซึ่งข้อมูลจากการประเมินชี้ให้เห็นว่ามีสัญญาณที่ HMS จะลดลงไปที่ 4-6 นาโนเมตรในระยะยาว ขณะที่ความก้าวหน้าในการออกแบบเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับหน้าสัมผัสระหว่างหัวบันทึกกับแผ่นบันทึกข้อมูลก็จะมีส่วนสำคัญที่จะสามารถช่วยให้ HMS ลดลงได้อย่างมีนัยสำคัญในขณะเดียวกันการพัฒนาเทคโนโลยีในการบันทึกข้อมูลรูปแบบใหม่ๆ เพื่อให้ได้ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ของการบันทึกข้อมูลที่สูงขึ้นนั้น ก็ถือได้ว่าเป็นอุปสรรคอย่างหนึ่งที่เพิ่มเติมเข้ามาและมีผลต่อการพัฒนาดังกล่าวอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

2.8 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้จัดเก็บข้อมูลในเครื่องคอมพิวเตอร์โดยอาศัยหลักการทางแม่เหล็ก ซึ่งได้มีการวิวัฒนาการอย่างต่อเนื่องมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1955 ของบริษัท ไอบีเอ็ม เพื่อให้เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเข้าหาข้อมูลได้โดยการสุ่ม (Random Access System) ทั้งนี้เนื่องจากในสมัยก่อนหน้านั้น ข้อมูลจะจัดเก็บในรูปของเทปบันทึกข้อมูล ซึ่งมีข้อจำกัดในการเข้าหาข้อมูลที่อยู่ส่วนหลังของเทป เช่น หากต้องการดูข้อมูลที่อยู่บริเวณตรงกลางของเทปบันทึกข้อมูล ต้องทำการอ่านข้อมูลตั้งแต่ตอนต้นทุกๆ ครั้ง ซึ่งใช้เวลาค่อนข้างนาน ดังนั้นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จึงเป็นการแก้ปัญหานี้ได้ เพราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเข้าหาข้อมูลได้ในทุกตำแหน่งโดยไม่ต้องเริ่มจากตำแหน่งเริ่มต้น [40] นอกจากนี้ จากยุคเริ่มแรกจนถึงปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ก็ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งในส่วนของขนาดให้มีขนาดเล็กลง ความจุของข้อมูลที่เพิ่มขึ้น รวมถึงราคาที่ต่ำลง ทั้งนี้ก็เพื่อเป็นการขยายตลาดของผลิตภัณฑ์และเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของตลาดที่เพิ่มมากขึ้นด้วย



รูปที่ 2.26 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาด 8 5.25 3.5 2.5 1.8 และ 1 นิ้วโดยอ้างอิงจากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นบันทึกข้อมูล [41]

รูปที่ 2.26 เป็นภาพการเปรียบเทียบให้เห็นถึงขนาดของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ขนาดต่างๆ ซึ่งแต่ละขนาดนั้นจะใช้วิธีอ้างอิงจากขนาดของแผ่นบันทึกข้อมูลที่ใช้ในผลิตภัณฑ์นั้นๆ

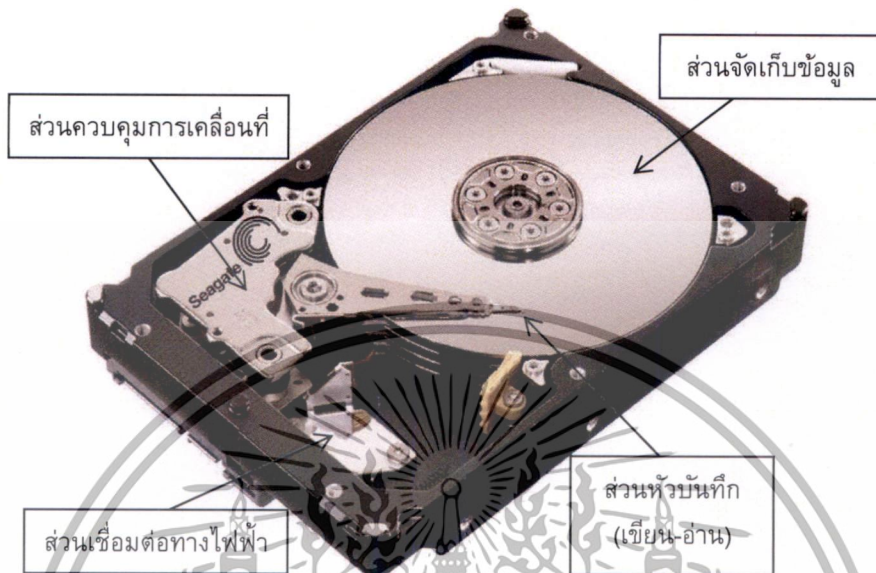
หากจะแบ่งส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยใช้เกณฑ์จากหน้าที่การงานนั้น จะมีส่วนหลักๆ สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วนหลัก ดังรูปที่ 2.27 ได้แก่

- 1 ส่วนหัวบันทึก (เขียน-อ่าน)
- 2 ส่วนจัดเก็บข้อมูล
- 3 ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่
- 4 ส่วนเชื่อมต่อทางไฟฟ้า

สำหรับหลักการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้น จะแยกออกเป็นสองส่วนใหญ่ๆ คือ กระบวนการเขียนข้อมูลลงบนส่วนจัดเก็บข้อมูลและกระบวนการอ่านข้อมูลกลับโดยหัวอ่านจะเป็นตัวจับสัญญาณ (Sensor) จากส่วนจัดเก็บข้อมูลถ้าทิศทางของแมกเนไทเซชัน (Magnetization) ในส่วนจัดเก็บข้อมูลนั้นมีทิศทางเข้าหากัน สัญญาณที่อ่านได้จะมีค่าเป็นบวก ซึ่งสามารถแปลงเป็นสัญญาณในรูปของลอจิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต “1” แต่ถ้าทิศทางของแมกเนโตเซชันนั้น มีทิศพุ่งออก สัญญาณที่อ่านจะมีค่าเป็นลบ ซึ่งสามารถแปลงสัญญาณในรูปของลอจิกบิต “0” ได้



รูปที่ 2.27 โครงสร้างของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

แต่สำหรับส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการบันทึกข้อมูลที่อยู่ในตัวฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และที่ใช้บนเครื่อง Spin-Stand ที่จะกล่าวถึงจะแยกออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ

- 1 ส่วนหัวบันทึก (หัวเขียนและหัวอ่าน)
- 2 ส่วนจัดเก็บข้อมูล (แผ่นบันทึกข้อมูล)

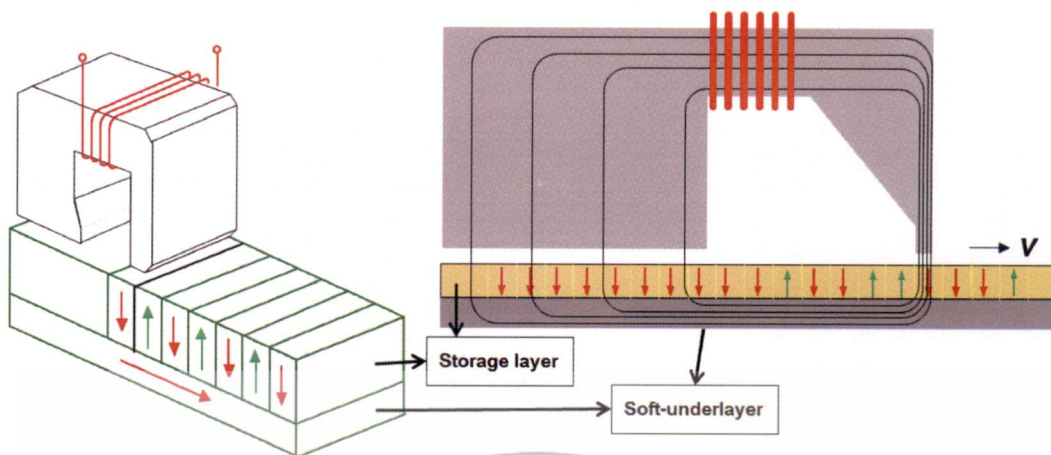
โดยในช่วงแรกนั้น หัวเขียนและหัวอ่านของฮาร์ดดิสก์ อาศัยขดลวดที่พันรอบแกนเหล็ก ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการเพิ่มความจุของฮาร์ดดิสก์ เนื่องจากในการที่จะเพิ่มความจุนั้น ต้องเพิ่มความหนาแน่นของบิตและแทร็ค นั่นก็คือ ต้องทำให้บิตและแทร็คมีขนาดเล็ก

2.8.1 หัวเขียน

หัวเขียน ทำหน้าที่เขียนข้อมูลลงไปบนแผ่นบันทึกข้อมูล โดยทำให้คุณสมบัติของแผ่นบันทึกข้อมูลตรงบริเวณที่ต้องการเปลี่ยนแปลงซึ่งจะจ่ายกระแสไบอัสให้กับหัวเขียนผ่านสายสัญญาณ 2 เส้นที่เป็นขดลวดที่พันรอบแกนเฟอร์ไรต์ เพื่อให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างของหัวบันทึกเพื่อบังคับทิศทางของแมกเนโตเซชัน ทำให้บริเวณพื้นผิวของส่วนจัดเก็บข้อมูลเกิดมีเส้นแรงแม่เหล็กพื้นผิวขึ้นและมีทิศทางตามขั้วแม่เหล็กที่ต้องการ ตามทิศทางของกระแสที่ป้อนเข้ามาดังแสดงในรูปที่

2.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 จำลองการทำงานของหัวเขียน (การเขียนแนวตั้ง)

2.8.2 หัวอ่าน

หัวอ่าน ทำหน้าที่อ่านข้อมูลบนแผ่นบันทึกข้อมูล ซึ่งใช้หลักการการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติความต้านทานของวัสดุที่นำมาทำหัวอ่านเมื่อสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงทิศทาง (Transition) โดยหัวอ่านนั้น จะได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจนถึงในปัจจุบันที่เป็นแผ่นฟิล์มแบบทีเอ็มอาร์ (Tunneling Magneto-resistance: TMR) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้สามารถอ่านข้อมูลที่มีขนาดของบิตเล็กลงได้ ซึ่งหัวอ่านแบบทีเอ็มอาร์ จะมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบางทางแม่เหล็กที่มีความหนาในระดับนาโนเมตร และมีการให้นิยามของหัวอ่านที่เป็นแผ่นฟิล์มบางทางแม่เหล็กนี้ โดยรวมๆ ว่าเป็นหัวบันทึกชนิดเอ็มอาร์ (Magneto-Resistance: MR)

ปัญหาของการอ่านข้อมูล การอ่านข้อมูลด้วยวิธีที่กล่าวมาข้างต้นอาจมีการรบกวนกันของสนามแม่เหล็กจากบิตที่อยู่ข้างเคียงทำให้เกิดการอ่านข้อมูลผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงมีการติดตั้งส่วนป้องกันสนามแม่เหล็ก (Shield) เพื่อลดการรบกวนของสนามแม่เหล็กดังกล่าว

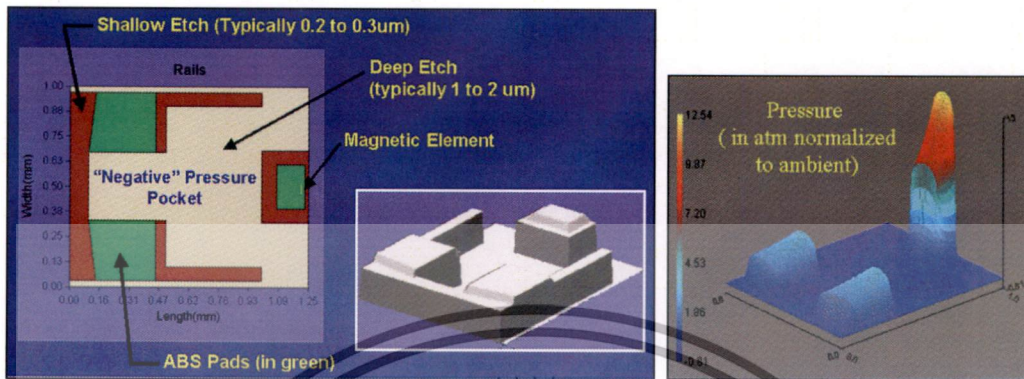
2.8.3 สไลเดอร์

หัวอ่านแบบจีเอ็มอาร์ (Giant Magneto-Resistance: GMR) และ ทีจีเอ็มอาร์ (Tunneling Giant Magneto-Resistance: TGMR) ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เป็นส่วนหนึ่งของหัวบันทึกที่ติดตั้งบนสไลเดอร์ก่อนติดเข้ากับส่วนที่เรียกว่า ซัสเพนชั่น (Suspension) เพื่อประกอบเป็นชุดประกอบหัวบันทึก

ในขณะที่ทำการบันทึกข้อมูลนั้น สไลเดอร์จะมีการบินและเคลื่อนที่เหนือแผ่นบันทึกข้อมูลในขณะทำการหมุนด้วยความเร็วรอบหนึ่งซึ่งอาจจะมีความเร็วรอบอยู่ที่ 5400 ถึง 15000 รอบต่อนาที ขึ้นอยู่กับมาตรฐานของแต่ละผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในส่วนของสไลเดอร์จึงจำเป็นต้องได้รับการออกแบบเพื่อให้เคลื่อนที่โดยไม่ให้เกิดการขูดขีดกับแผ่นบันทึกข้อมูล และสามารถระบายความร้อนที่เกิดขึ้นได้นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงแรงดันอากาศที่เกิดจากอากาศที่ไหลใต้สไลเดอร์อีกด้วย โดยจะมีการออกแบบพื้นผิวของสไลเดอร์ด้านที่อยู่ใกล้กับแผ่นบันทึกข้อมูลที่เรียกว่า การออกแบบเอบีเอส (ABS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อคอยพุงหัวบันทึกให้เคลื่อนที่โดยอาศัยอากาศที่ไหลใต้พื้นผิวนี้ดังรูปที่ 2.29 ที่แสดงการออกแบบพื้นผิวเอบีเอส (ABS) โดยต้องคำนึงถึงแรงดันอากาศที่เกิดขึ้นด้วย



รูปที่ 2.29 การออกแบบพื้นผิวเอบีเอส (ABS) [42]

2.8.4 ปัจจัยที่มีผลกับความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่

ดังที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ที่ว่า วัตถุประสงค์หลักของการพัฒนาของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ นั้นก็เพื่อเพิ่มความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ที่สูงขึ้น ในขณะที่ความต้องการของตลาดที่ต้องการนำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเพื่อนำไปติดตั้งในอุปกรณ์เพื่อจัดเก็บข้อมูลนั้นกลับต้องการขนาดที่บางลง ดังนั้น การลดจำนวนแผ่นบันทึกข้อมูลและหัวบันทึกในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ลงจึงกลายเป็นสิ่งจำเป็นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้สำหรับผลิตภัณฑ์รุ่นใหม่ ๆ โดยในส่วนของ การเพิ่มความหนาแน่นของข้อมูลดังกล่าวนั้นก็ประกอบด้วยดังนั้นการเพิ่มขนาดความจุของการบันทึกข้อมูลจึงสามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนแทร็กข้อมูลและจำนวนบิตข้อมูลนั่นเอง ซึ่งความหนาแน่นข้อมูลในหนึ่งตารางนิ้วจะมีการจำลองให้เห็นส่วนประกอบต่างๆ ในรูปที่ 2.30

การบันทึกข้อมูลจะทำได้โดยการเหนี่ยวนำวัสดุตัวกลางให้มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กเปลี่ยนไป ซึ่งข้อมูลจะถูกเก็บในรูปแบบเลขฐาน 2 โดย

1 เท่ากับ เมื่อคุณสมบัติทางแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลง

0 เท่ากับ เมื่อคุณสมบัติทางแม่เหล็กไม่มีการเปลี่ยนแปลง

2.8.4.1 แทร็กข้อมูล

ด้วยวิธีการบันทึกข้อมูลดังกล่าว จะเกิดแถวหรือแนวของข้อมูลบนสารตัวกลาง (magnetic film) เรียกว่า “Track” และมีค่าที่ควรรู้จักเกี่ยวกับแทร็กดังนี้

Track Width = ความกว้างของแทร็กข้อมูล

Track Pitch = ระยะห่างระหว่างแทร็กโดยวัดจากกึ่งกลางระหว่างแทร็ก

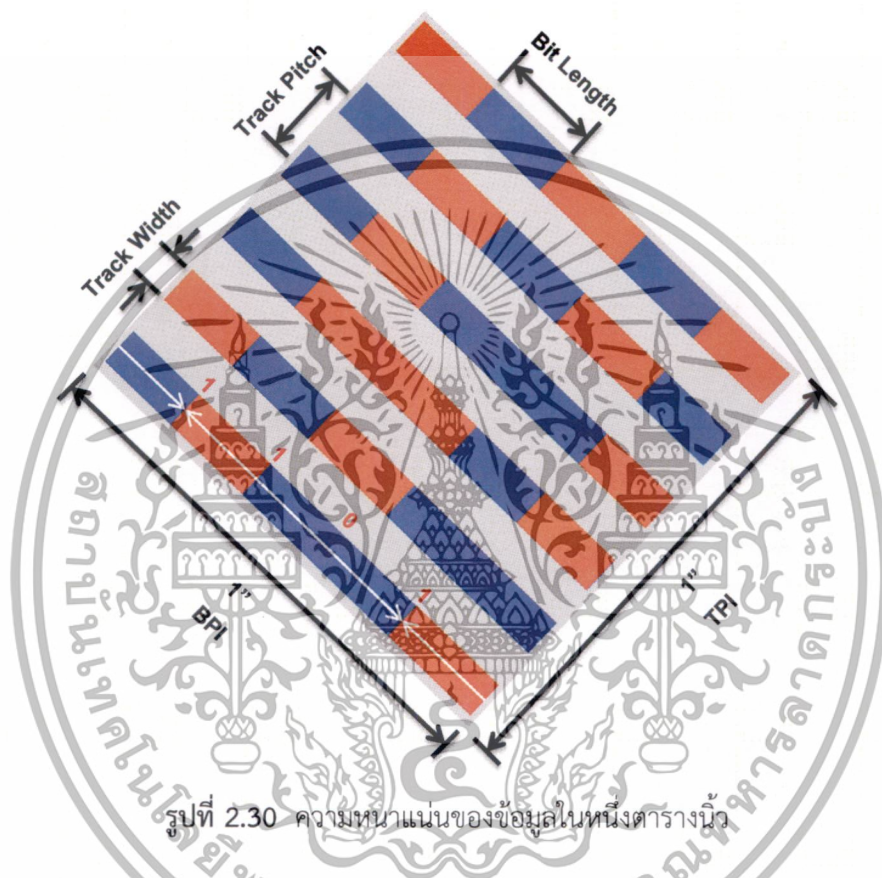
Track Density = จำนวนแทร็กต่อหนึ่งนิ้วมีหน่วยเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.4.2 บิตข้อมูล

บิตข้อมูล คือ หน่วยที่เล็กที่สุดของการบันทึกข้อมูล ซึ่งบันทึกในลักษณะเลขฐาน 2 โดยมีค่าเป็น 1 เมื่อคุณสมบัติทางแม่เหล็กเปลี่ยนแปลง เป็น 0 เมื่อคุณสมบัติทางแม่เหล็กไม่เปลี่ยนแปลง และมีศัพท์ที่ควรรู้เกี่ยวกับบิตดังนี้

ความยาวบิต (Bit Length) = ระยะระหว่างบิตที่น้อยที่สุดหรือ 1 Sampling Period



รูปที่ 2.30 ความหนาแน่นของข้อมูลในหนึ่งตารางนิ้ว

2.8.4.3 ความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่

ความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ หรือ Areal Density (AD) คือจำนวนข้อมูลหรือจำนวนบิตต่อหนึ่งตารางนิ้ว ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$AD = TPI \times BPI \quad (2.2)$$

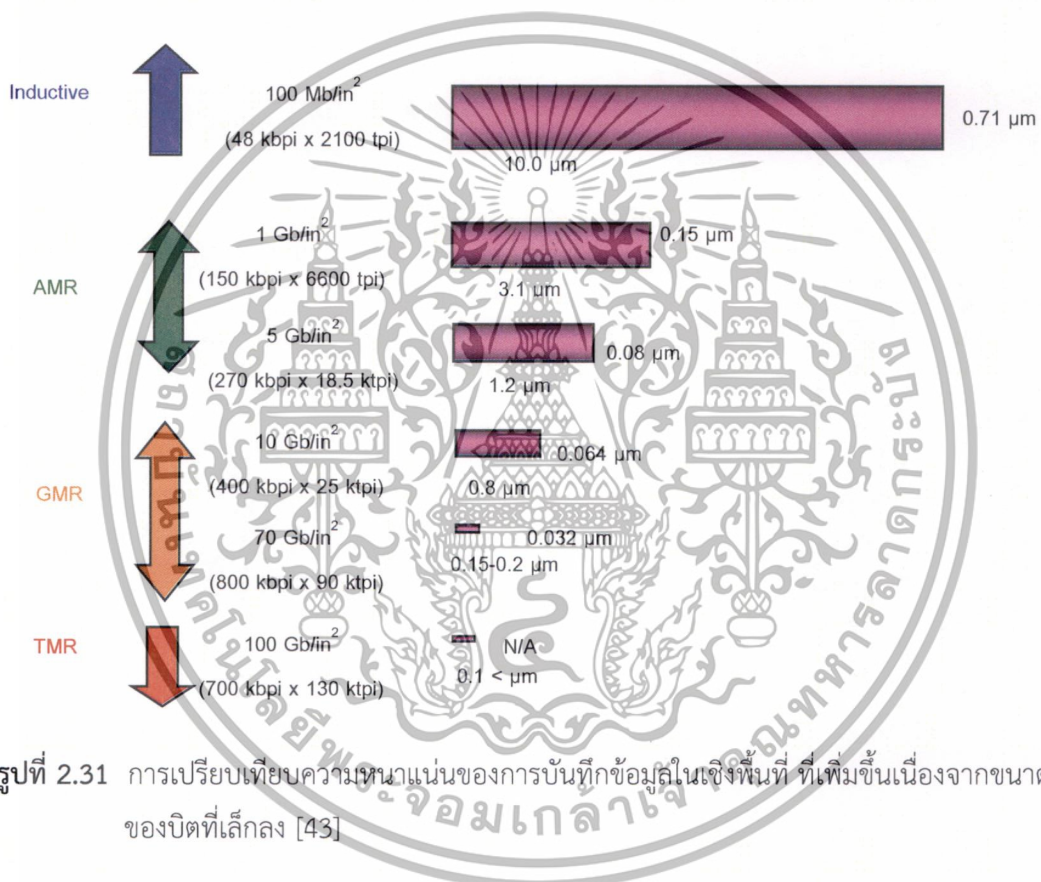
2.8.4.4 อัตราการส่งผ่านข้อมูล

อัตราการส่งผ่านข้อมูล หรือ Data Rate เป็นความเร็วในการเขียนหรืออ่านข้อมูลผ่านหัวอ่านมีหน่วยเป็น Mega Bit Per Second (Mbps) สามารถคำนวณได้จากความหนาแน่นของบิตต่อนิ้ว (BPI) กับความเร็วเชิงเส้นของแผ่นบันทึกข้อมูล (inch/sec)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{Data Rate} &= \text{Bit Density} \times \text{Velocity} \\
 &= \text{BPI} \times \text{IPS} \\
 &= \text{BPI} \times (2\pi r \times (\text{rpm}/60))
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

หัวบันทึกในปัจจุบันได้เปลี่ยนแปลงทางด้านเทคโนโลยีและวัสดุไปเป็นอย่างมากเพื่อให้บิตมีขนาดเล็กลงส่วนในรูปที่ 2.31 แสดงการเปรียบเทียบความหนาแน่นของการบันทึกข้อมูลในเชิงพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของบิตที่เล็กลง



รูปที่ 2.31 การเปรียบเทียบความหนาแน่นของการบันทึกข้อมูลในเชิงพื้นที่ ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากขนาดของบิตที่เล็กลง [43]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

หากจะให้สามารถปรับระยะการบินไปที่ตำแหน่งที่จะทำการบันทึกข้อมูลจริงได้ (Clearance Target) สามารถใช้วิธีการตรวจหาการสัมผัสระหว่างหัวบันทึกและชั้นบันทึกข้อมูลก่อน เพื่อที่จะได้รู้ถึงระยะห่างระหว่างหัวบันทึกและชั้นบันทึกข้อมูล (HMS) ก่อนที่จะทำการบันทึกข้อมูล ซึ่งจะได้จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ป้อนเข้าไปเทียบกับระยะที่มีการยืดออกของหัวบันทึกในแนวเข้าหาแผ่นบันทึก และจากความสัมพันธ์และระยะดังกล่าวก็จะทำให้สามารถควบคุมการบินของหัวบันทึกขณะทำการเขียนและอ่านได้ว่าหากต้องไปที่ระยะนั้นๆ จะต้องป้อนความร้อนเท่าใดเพื่อให้เกิดการยืดตัวของบันทึก

จากแผนการทำงานที่วางไว้ในช่วงหกเดือนแรกตามตารางที่ 3.1 นั้น จะเป็นการศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อวิจัย เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางกล (การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง การสั่น และการเคลื่อนที่ออกนอกแนวแทร็ค) ของหัวบันทึกเมื่อระยะการบินลดลงจนเกิดสัมผัสของหัวบันทึกและแผ่นบันทึก รวมถึงศึกษาเทคนิคต่างๆ ที่มีการนำเสนอก่อนหน้านี้เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์และพัฒนาต่อไป นอกจากนี้ยังทำการทดลองเพื่อพิสูจน์ข้อสมมติฐานที่ว่า หากการตรวจจับการสัมผัสระหว่างหัวบันทึก (Head Transducer) กับแผ่นบันทึกข้อมูลไม่แม่นยำ จะส่งผลอย่างไรต่อระบบการบินข้อมูล

ในการทดลอง จะใช้วิธีการป้อนค่าพลังงานความร้อน (Heater Power) ให้กับขดลวดความร้อน (Heater Coil) ที่ทำหน้าที่ช่วยให้หัวเขียนและหัวอ่านเกิดการยืดตัว (Protrusion) เพื่อให้เข้าใกล้แผ่นบันทึกข้อมูลไปยังตำแหน่งระยะบินเป้าหมาย (Read/Write Clearance Target) ในระดับที่ต่างกัน 5 ระดับ โดยในแต่ละระดับจะทำการวัดประสิทธิภาพการบินข้อมูลผ่านพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดของกระบวนการทดสอบหัวบันทึกบนเครื่อง Spin-Stand ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ แล้วนำผลดังกล่าวมาเปรียบเทียบเพื่อการวิเคราะห์ผลต่อไป โดยมีสมมติฐานของการทดลองที่ว่า “ระยะการบินเป้าหมายที่สูงกว่า (หัวบันทึกห่างจากแผ่นบันทึกมากกว่า) จะให้ประสิทธิภาพในการบันทึกที่แย่งลง”

ในการทดลอง เป็นการใช้หัวบันทึกกับแผ่นบันทึกจริงที่ใช้ในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ มาทำการทดลองบนเครื่อง Spin-Stand เพื่อหาลักษณะความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของ HMS (Distance: Δy) และการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูด (Δv (in dB)) ด้วยสมการ Wallace Equation

$$\Delta y = (\lambda / 56.4) \Delta v \quad (\text{in dB}) \quad (3.1)$$

เมื่อ $\Delta v = 20 \log (\text{Heat Amplitude Center track} / \text{Head Amplitude Center track})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

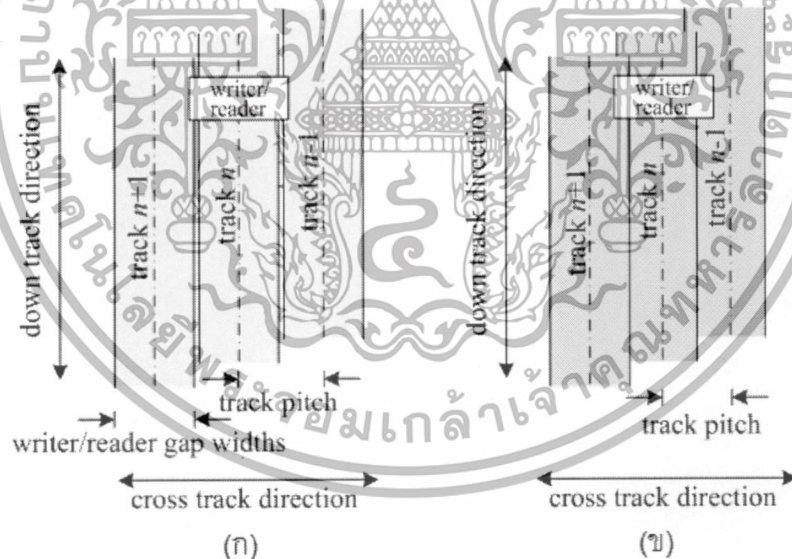
ตารางที่ 3.1 แผนการทำงาน (18 เดือน ตั้งแต่ 1 สิงหาคม 2557-31 มกราคม 2559)

ขั้นตอนการทำงาน	ระยะเวลาดำเนินการ (เดือน)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1. ศึกษาพฤติกรรมทางกล (การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง การสั่น และการเคลื่อนที่ออกนอกแนวทริก) ของหัวบันทึกเมื่อระยะการบีบลดลงจนเกิดสัมผัสของหัวบันทึกและแผ่นบันทึก																		
2. ศึกษาเทคนิคต่างๆที่มีการนำเสนอ ก่อนหน้าเพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์และพัฒนาต่อไป																		
3. พัฒนาและออกแบบรวมทั้งการปรับละเอียด ด้วยเทคนิคการตรวจปรับสัมผัสที่มีความแม่นยำสูงเพื่อใช้สำหรับการบินในระยะต่ำในอากาศ																		
4. จัดทำบทความทางวิชาการเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ และนำเสนอผลงาน																		
5. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์																		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกหนึ่งการทดลองที่จะเป็นการทดลองเพื่อศึกษาถึงลักษณะผลตอบสนองของระยะห่างของหัวบันทึกกับชั้นบันทึกข้อมูลบนแผ่นบันทึกข้อมูลที่มีต่อหัวเขียนและหัวอ่านแยกออกจากกัน โดยเพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงนั้นเป็นผลมาจากประสิทธิภาพจากการเขียนสัญญาณได้ดีขึ้นของหัวเขียนหรือการอ่านสัญญาณได้ดีขึ้นของหัวอ่าน ซึ่งเป็นการทดลองเพื่อเจาะลึกขึ้นเพื่อให้ขยายผลที่ได้จากการทดลองครั้งแรกว่า ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากระยะการบินที่ลดลง (เข้าใกล้แผ่นบันทึกมากขึ้น) ในขณะที่ทำการบันทึกข้อมูลนั้น เป็นผลมาจากหัวเขียนหรือหัวอ่าน หรือทั้งคู่ และมากน้อยต่างกันอย่างไร ซึ่งจะแยกเงื่อนไขการทดลองเป็นแบบ Write_HMS และ Read_HMS ออกจากกัน โดยจะใช้การวัดผลผ่านพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับวัดความหนาแน่นของข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

สำหรับหัวบันทึกในเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลแนวตั้งเองนั้น ในปัจจุบันก็ได้มีการพัฒนารูปแบบของการบันทึกข้อมูลเพื่อวัตถุประสงค์ในการเพิ่มความหนาแน่นเชิงพื้นที่ขึ้นไปอีกโดยที่ยังมีการใช้หัวบันทึกแบบเดิมเพียงแต่เปลี่ยนรูปแบบของการเขียนแตร็กข้อมูลเพื่อให้ได้ความหนาแน่นของแตร็กมากขึ้น โดยเปลี่ยนมาใช้การเขียนแตร็กแบบซ้อนทับ ซึ่งเรียกว่าการบันทึกข้อมูลแบบซ้อนทับ หรือที่เรียกว่า SMR แทนการเขียนแบบแตร็กต่อแตร็กทั่วไป หรือที่เรียกว่า CMR โดยความแตกต่างของรูปแบบทั้งสองจะแสดงในรูปที่ 3.1(ก) และรูปที่ 3.1(ข)



รูปที่ 3.1 รูปแบบของแตร็กการบันทึก (ก) แบบ CMR และ (ข) แบบ SMR

ซึ่งในส่วนของการทดลองเพิ่มเติมที่น่าเสนอในรายงานเล่มนี้นั้น เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลตอบสนองของ HMS บนเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลแบบแนวตั้งที่มีรูปแบบการเขียนแตร็ก (track) ข้อมูลแบบซ้อนทับกันเพื่อเพิ่มความหนาแน่นของแตร็กต่อหนึ่งนิ้ว (Track Per Inch - TPI) ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความหนาแน่นเชิงพื้นที่ (Areal Density - AD) ของการบันทึกข้อมูลอีกวิธีหนึ่ง และรูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

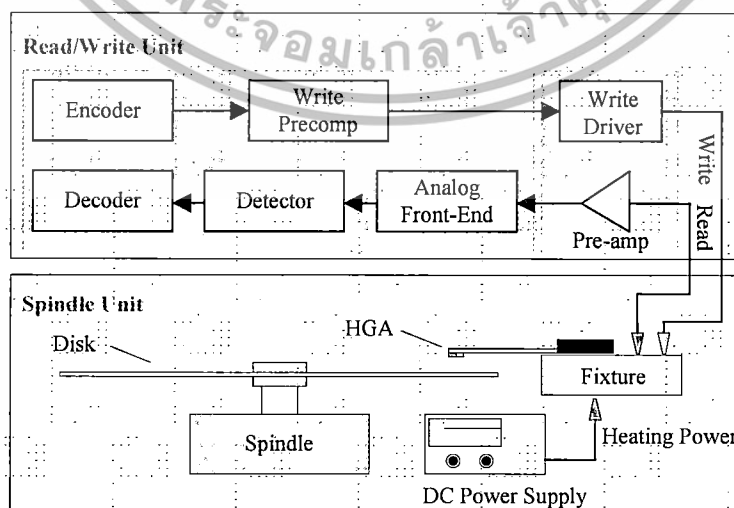
การทดลองนี้ก็จะ เป็นแบบแยกวัดประสิทธิภาพระหว่างหัวเขียนและหัวอ่าน เมื่อมีการปรับระยะ HMS ยังตำแหน่งต่างๆ

3.1 การออกแบบการทดลอง

รูปแบบของการทดลอง จะทำการทดลองบนเครื่อง Spin-Stand โดยทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลกระทบของ HMS ที่มีต่อประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูล จะแยกการทดลองเป็นสองการทดลอง คือ การทดลองเพื่อเก็บข้อมูลของผลตอบสนองของ HMS ที่มีต่อประสิทธิภาพของหัวเขียนและหัวอ่าน โดยใช้พารามิเตอร์ที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะสำหรับการวัดผลของการบันทึกข้อมูลแบบ CMR และการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลของผลตอบสนองของ HMS ที่มีต่อประสิทธิภาพของหัวเขียนและหัวอ่าน โดยใช้การวัดผลในรูปแบบของความหนาแน่นของข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของการบันทึกข้อมูลทั้งแบบ CMR และ SMR (แสดงในหัวข้อ 3.3 และ 3.4) ซึ่งการเขียนแทร็กข้อมูลแบบ CMR และ SMR จะมีรูปแบบการวางตัวของแทร็กข้อมูลต่างกัน

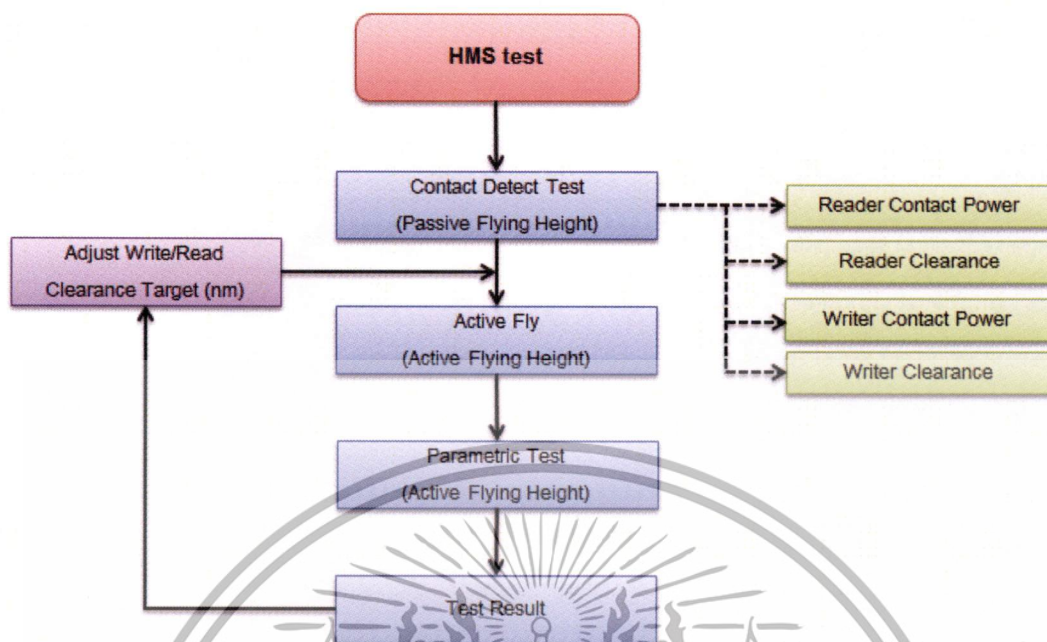
3.1.1 รูปแบบการทดลอง

สำหรับขั้นตอนการทดลองนั้น ทั้งสองการทดลองจะทำการทดลองบนเครื่อง Spin-Stand เพื่อศึกษาผลตอบสนองของระบบขณะบันทึกข้อมูลนั้น จะใช้กระบวนการทดสอบที่เรียกว่า HMS test ซึ่งได้ออกแบบมาสำหรับการทดลองทั้งสองดังกล่าว โดยจะเป็นการวัดประสิทธิภาพจากชิ้นส่วนประกอบ หัวบันทึกข้อมูล ชนิดสไลเดอร์สามารถปรับระยะการบินได้ด้วยการใช้ความร้อนจำนวน 20 ชิ้นส่วนที่ใช้ทำงานบนแผ่นบันทึกข้อมูลขนาด 2.5 นิ้ว ที่หมุนด้วยความเร็ว 5400 รอบต่อนาที บนเครื่องทดสอบ หัวบันทึกแบบ Spin-Stand โดยที่หัวบันทึกที่นำมาใช้ในทดสอบมีความสามารถในการบันทึกข้อมูลลงบนแผ่นบันทึกข้อมูลด้วยความจุแทร็ก 370,000 และ 450,000 แทร็กข้อมูลต่อนิ้ว สำหรับการบันทึกข้อมูลแบบ CMR และ SMR ตามลำดับ



รูปที่ 3.2 รูปแบบการทดสอบของเครื่องทดสอบแบบ Spin-Stand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้



รูปที่ 3.3 รูปแบบการทดลองเพื่อวัดผลตอบสนองของ HMS ต่อประสิทธิภาพการบันทึกข้อมูล

ซึ่งมีกระบวนการและลำดับขั้นการทดลองดังที่แสดงในรูปที่ 3.3 โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1.1 การตรวจสอบการสัมผัส (Contact Detect Test)

ขั้นตอนการทดลองจะเริ่มจากการทำการตรวจหาการสัมผัส เพื่อหาค่าพลังงานความร้อนที่ต้องป้อนจนเกิดการสัมผัส (Contact Power) ของหัวเขียน (Writer Contact Power) และของหัวอ่าน (Reader Contact Power) ซึ่งจะได้จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ป้อนเข้าไปเทียบกับระยะที่มีการยืดออกของหัวบันทึกในแนวเข้าหาแผ่นบันทึกจนเกิดการสัมผัส ซึ่งจะทำการวัดผลจากการยืดตัวผ่านทางค่าแอมพลิจูดของสัญญาณที่อ่านได้จากการป้อนพลังงานทีละขั้น และจากขั้นตอนนี้จะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ป้อนกับระยะที่เกิดการยืดตัวของหัวเขียนและหัวอ่าน ซึ่งจะทำให้สามารถนำไปใช้สำหรับการทดสอบในขั้นตอนของการป้อนพลังงานความร้อนเพื่อให้บินในระยะการบินเป้าหมาย ซึ่งเรียกว่า การทำ Active Fly ต่อไป ดังนี้

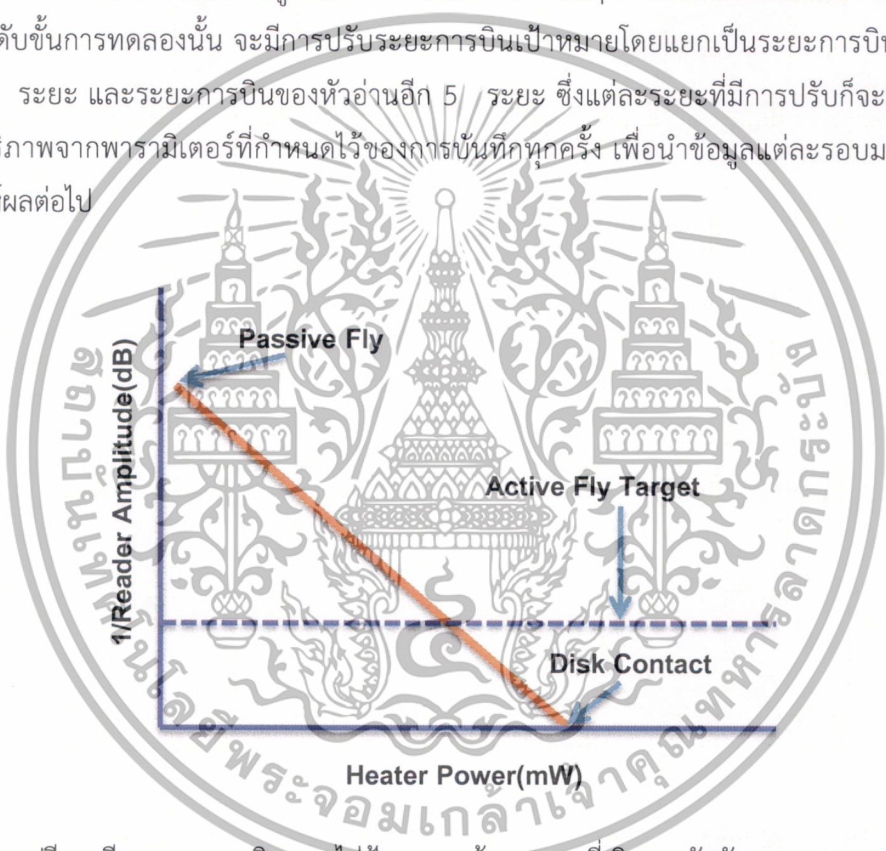
- 1 Reader Contact Power หรือ ค่าพลังงานความร้อนที่ต้องป้อนให้ขดลวดความร้อนเพื่อให้หัวอ่านยืดตัวจนเกิดการสัมผัส
- 2 Reader Clearance หรือ ระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นบันทึกขณะบินโดยยังไม่มี การป้อนพลังงานความร้อนใดๆ
- 3 Writer Contact Power หรือ ค่าพลังงานความร้อนที่ต้องป้อนให้ขดลวดความร้อน เพื่อให้หัวเขียนยืดตัวจนเกิดการสัมผัส
- 4 Writer Clearance หรือ ระยะห่างระหว่างหัวเขียนกับแผ่นบันทึกขณะบินโดยยังไม่มี การป้อนพลังงานความร้อนใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะให้นิยามสำหรับ Writer Clearance และ Reader Clearance ว่าเป็นระยะ Passive Flying Height (PFH) ของหัวเขียนและหัวอ่าน

3.1.1.2 การปรับระยะบินไปยังตำแหน่งเป้าหมาย (Active Fly)

เป็นขั้นตอนที่นำผลจากการตรวจหาระยะ PFH ซึ่งจะทำให้เรารู้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าไปให้กับขดลวดความร้อนเพื่อช่วยให้หัวบันทึกเกิดการยึดตัว กับระยะที่มีการยึดออกของหัวบันทึกในแนวเข้าหาแผ่นบันทึกข้อมูล เพื่อที่จะสามารถกำหนดได้ว่าหากต้องการให้หัวเขียนและหัวอ่านบินไปที่ระยะเป้าหมาย (Clearance Target) ไต จะต้องป้อนค่าพลังงานความร้อนเท่าใด เพื่อให้เกิดการยึดตัวเข้าไปอยู่ในระยะการบินเป้าหมายนั้นๆ เพื่อทำการเขียนและอ่านสัญญาณ ซึ่งในลำดับขั้นการทดลองนั้น จะมีการปรับระยะการบินเป้าหมายโดยแยกเป็นระยะการบินของหัวเขียน 5 ระยะ และระยะการบินของหัวอ่านอีก 5 ระยะ ซึ่งแต่ละระยะที่มีการปรับก็จะมีการวัดประสิทธิภาพจากพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ของการบันทึกทุกครั้ง เพื่อนำข้อมูลแต่ละรอบมาทำการวิเคราะห์ผลต่อไป



รูปที่ 3.4 เปรียบเทียบระยะการบินขณะไม่ป้อนความร้อน ระยะที่เกิดการสัมผัส และระยะการบินเป้าหมาย

จากรูปที่ 3.4 เป็นการเปรียบเทียบให้เห็นถึงความแตกต่างของระยะการบินขณะบินอยู่เหนือแผ่นบันทึกข้อมูลโดยที่ยังไม่มีการป้อนพลังงานความร้อน ระยะที่เกิดการสัมผัสระหว่างหัวบันทึกกับแผ่นบันทึกข้อมูลในกระบวนการตรวจจับการสัมผัส และระยะการบินเป้าหมายในกระบวนการปรับระยะบินที่ตำแหน่งเป้าหมาย (Active Flying Height) เพื่อทำการบันทึกข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.3 พารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพในการทดสอบ (Parametric Test)

Parametric Test เป็นขั้นตอนการวัดประสิทธิภาพของหัวบันทึก ในพารามิเตอร์แบบต่างๆ ซึ่งอาจจะแยกได้จากสมรรถนะของสองส่วนหลักๆ คือ จากประสิทธิภาพการเขียนสัญญาณของหัวเขียน และจากประสิทธิภาพในการอ่านสัญญาณของหัวอ่าน แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น การวัดประสิทธิภาพของหัวบันทึก ทั้งสองส่วนนี้ต่างก็ขึ้นอยู่กับระยะในการเขียนและอ่านสัญญาณจากแผ่นบันทึกเช่นเดียวกัน

กล่าวคือ หากมีระยะบินในการเขียนและอ่านสัญญาณกับแผ่นบันทึกห่างกันมากเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพในการเขียนและอ่านสัญญาณแยกลงไปด้วย และหากระยะดังกล่าวใกล้กันมากเกินไปก็อาจจะทำให้เกิดการรบกวนต่อแตร็กข้อมูลข้างเคียงได้เมื่อมีการเขียนสัญญาณลงไปบนแผ่นบันทึกข้อมูล

สำหรับพารามิเตอร์สำหรับการวัดผลที่ใช้ในการทดลองแรก จะเป็นพารามิเตอร์ที่มีคุณลักษณะเฉพาะที่ใช้สำหรับการวัดประสิทธิภาพของหัวเขียนและหัวอ่าน โดยพารามิเตอร์ที่นำมาใช้สำหรับการวัดคือ การวัดประสิทธิภาพการเขียนทับของหัวเขียน (Over write: OWW) การวัดความกว้างของขนาดหัวอ่าน (Magnetic Read Width: MRW) และการวัดอัตราส่วนของสัญญาณข้อมูลเทียบกับสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio: SNR) ส่วนในการทดลองที่สองนั้นจะใช้พารามิเตอร์สำหรับการวัดผลในรูปแบบของความหนาแน่นของข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่คือ ความหนาแน่นของแตร็กข้อมูลต่อหนึ่งนิ้ว (TPI) ความหนาแน่นของบิตข้อมูลต่อหนึ่งนิ้ว (BPI) ความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่หนึ่งตารางนิ้ว (ADC) และการวัดอัตราส่วนของสัญญาณข้อมูลเทียบกับสัญญาณรบกวน และนอกจากนี้ยังมีการวัดประสิทธิภาพและแสดงผลของอัตราบิตผิดพลาด (BER) ด้วย เนื่องจากกระบวนการวัดผลในรูปแบบของความหนาแน่นของข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่นั้น จะมีการใช้ประสิทธิภาพอัตราบิตผิดพลาดเป็นตัวแปรพื้นฐานสำคัญในกระบวนการวัดผล

3.1.1.4 การเก็บผลการทดลอง (Test Result)

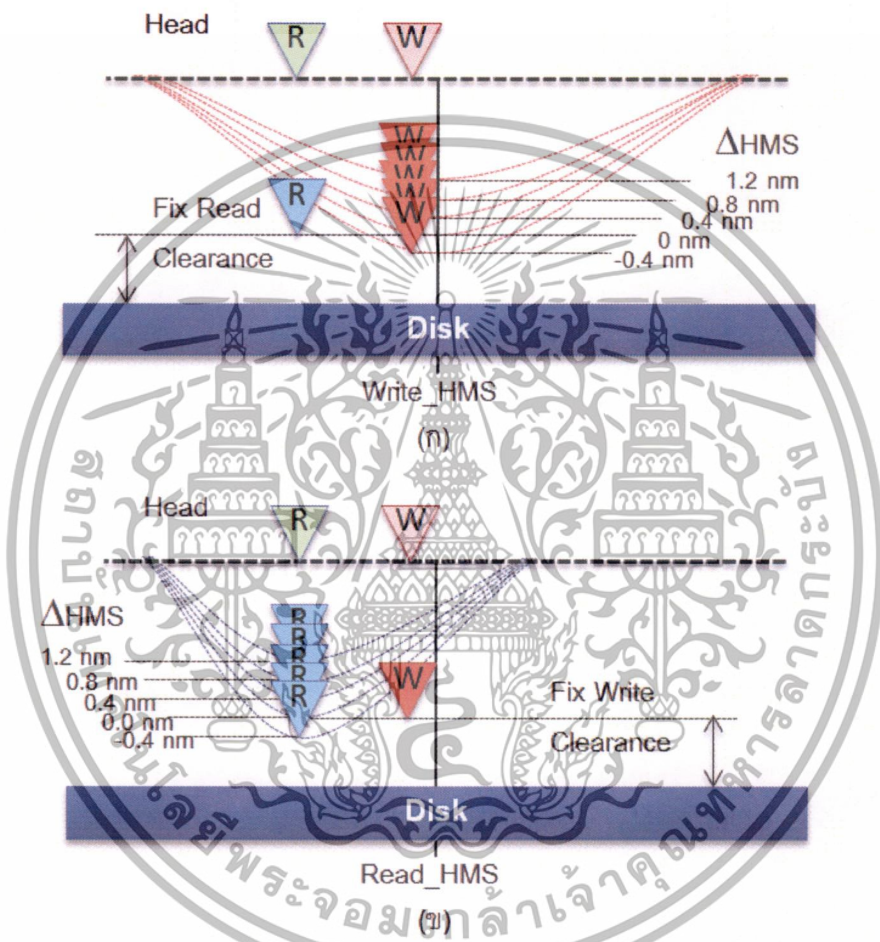
จะเป็นขั้นตอนการเก็บผลที่ได้จากการวัดผลผ่านแต่ละพารามิเตอร์ในแต่ละระยะการบิน โดยแยกออกเป็นรอบๆ ของการทดสอบผ่านโปรแกรมเฉพาะที่ใช้บนเครื่องทดสอบแบบ Spin-Stand ก่อนจะรวบรวมผลทั้งหมดไปทำการวิเคราะห์ผลทั้งหมดผ่านโปรแกรมทางสถิติต่อไป

3.2 รูปแบบและเงื่อนไขในการทดลองเพื่อศึกษาผลตอบสนองของระยะบินขณะบันทึกข้อมูล

เงื่อนไขในการทดลองที่ได้ออกแบบมาสำหรับการทดลองทั้งสองการทดลองนั้น จะมีเงื่อนไขในการปรับระยะของ HMS ออกเป็นสองส่วน โดยจะเริ่มจากการวัดประสิทธิภาพของการบันทึกข้อมูลโดยใช้เงื่อนไขแบบ Write_HMS ซึ่งเป็นการวัดประสิทธิภาพของการบันทึกข้อมูลในขณะที่มีการปรับระยะการบินในการเขียนข้อมูล (Write Clearance) ของหัวเขียน ไปที่ระดับต่างๆ 5 ระดับแต่ละระดับของระยะการบินของการอ่านของหัวอ่านไว้เพียงระดับเดียว ดังที่แสดงในรูปที่ 3.5(ก) ทั้งนี้ก็เพื่อวัตถุประสงค์ในการวัดประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพของการเขียนข้อมูลของหัวเขียนเพียงอย่างเดียว โดยจะเริ่มจากการวัดประสิทธิภาพที่ระยะการบินที่จุดอ้างอิง แล้วจึงปรับระดับการบินขณะเขียนข้อมูลของหัวเขียนไปที่ระยะต่างๆ ครึ่งละ 0.4 นาโนเมตร แต่จะคงระยะการบินของหัวอ่านขณะอ่านข้อมูลไว้ที่ระยะอ้างอิงระยะเดียว ซึ่งในการทดลองนี้จะแสดงระยะอ้างอิงเป็น 0 นาโนเมตร ระยะที่บินเข้าไปใกล้กว่าระยะอ้างอิงเป็น -0.4 นาโนเมตร และระยะที่อยู่ไกลกว่าระยะอ้างอิงเป็น 0.4 0.8 และ 1.2 นาโนเมตร



รูปที่ 3.5 เงื่อนไขในการทดลอง (ก) แบบ Write_HMS (ข) แบบ Read_HMS

จากรูปที่ 3.5(ข) แสดงให้เห็นถึงเงื่อนไขของการวัดประสิทธิภาพแบบ Read_HMS ก็จะใช้หลักการในการปรับระดับการบินแบบเดียวกับ Write_HMS เพียงแต่จะเปลี่ยนมาเป็นการปรับระดับการบินของหัวอ่าน และคงระดับการบินของหัวเขียนไว้แทน ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อวัดประสิทธิภาพของหัวอ่านเป็นหลักเมื่อทำการอ่านข้อมูลที่ระยะบินต่างกัน หลักการคือ จะใช้หัวเขียนทำการเขียนข้อมูลที่ระยะการบินอ้างอิงระยะหนึ่ง แล้วใช้หัวอ่านในการอ่านข้อมูลที่ระดับการบินที่ต่างกันแทน

โดยมีนิยามของตัวแปรที่เกี่ยวข้องในเงื่อนไขแบบ Write_HMS และ Read_HMS ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1 Write_HMS คือ การปรับระยะห่างของหัวเขียนหลายระยะ แต่คงระยะของหัวอ่านไว้ที่ระยะอ้างอิง
- 2 Read_HMS คือ การปรับระยะห่างของหัวอ่านหลายระยะ แต่คงระยะของหัวเขียนไว้ที่ระยะอ้างอิง
- 3 Delta HMS คือ ระยะห่างของหัวบันทึกกับแผ่นบันทึกจากระยะอ้างอิง (กำหนดระยะอ้างอิงคือระยะ 0 นาโนเมตร)

3.3 ทดลองเพื่อเก็บข้อมูลของผลตอบสนองของ HMS ที่มีต่อประสิทธิภาพของหัวเขียนและหัวอ่าน โดยใช้พารามิเตอร์ที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะสำหรับการวัดผลของการบันทึกข้อมูลแบบ CMR

3.3.1 วัสดุและการตั้งค่าการวัดบนเครื่อง Spin-Stand

- 1 แผ่นบันทึกข้อมูลขนาด 2.5 นิ้ว
- 2 ชั้นส่วนประกอบหัวบันทึก HGA ชนิดสไลด์เตอร์สามารถปรับระยะการบินได้ด้วยการใช้ความร้อน 20 ชั้นส่วน
- 3 ความเร็วรอบการหมุนของดิสก์ 5400 รอบต่อนาที
- 4 อัตราการส่งผ่านข้อมูลเท่ากับ 645.5 เมกะบิตต่อวินาที (Mbps)
- 5 ความกว้างเริ่มต้นของแทร็กข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการวัด แบบ CMR เท่ากับ 68.58 นาโนเมตร

3.3.2 พารามิเตอร์ที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะที่ใช้สำหรับการวัดผลของการบันทึกข้อมูล

ในขั้นตอนการวัดประสิทธิภาพโดยใช้พารามิเตอร์ที่มีคุณลักษณะเฉพาะที่ใช้สำหรับการวัดผล (Parametric Test) ของหัวบันทึกนั้น ประกอบด้วย

- 1 ประสิทธิภาพการเขียนทับ หรือ Overwrite (OW) ใช้เพื่อวัดประสิทธิภาพการเขียนทับของหัวเขียน ซึ่งมีหน่วยการวัดเป็นเดซิเบล (dB)
- 2 ความกว้างของหัวอ่าน หรือ Magnetic Read Width (MRW) ใช้เพื่อวัดการตอบสนองของหัวอ่าน ซึ่งผลจากการวัดจะให้ค่าความกว้างของหัวอ่าน โดยกำหนดจากความสูงที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของแอมพลิจูดที่อ่านได้จากกระบวนการวัดแบบไมโครแทร็กโปรไฟล์ซึ่งจะแสดงออกมาในรูปของพัลส์สัญญาณ (Pulse) ซึ่งมีหน่วยการวัดเป็นนาโนเมตร (nm)
- 3 อัตราส่วนของสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวน หรือ Signal to Noise Ratio (SNR) ใช้เพื่อวัดประสิทธิภาพการเขียนและการอ่านสัญญาณ ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าของสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวนในระบบซึ่งมีหน่วยการวัดเป็นเดซิเบล (dB)

3.3.3 ขั้นตอนการทดลอง

- 1 สั่งหมุนแผ่นบันทึกข้อมูล ด้วยความเร็วรอบ 5400 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 ทำการโหลด HGA ไปยังตำแหน่งวางงานที่ติดตั้งอยู่บนชุดควบคุมระยะเคลื่อนที่ของเครื่องทดสอบแบบ Spin-Stand

3 ส่ง HGA เข้าไปบินอยู่บนแผ่นบันทึกข้อมูลที่กำลังหมุน โดยมีมุมระหว่างหัวบันทึกกับแพร์กสำหรับการทดสอบที่ -13.5 องศา และรัศมีจากจุดศูนย์กลางของแผ่นบันทึกข้อมูล 0.7 นิ้ว

4 เริ่มทดสอบกระบวนการตรวจหาการสัมผัส โดยป้อนพลังงานความร้อนให้กับขดลวดความร้อนเพื่อให้เกิดการยึดตัวของหัวบันทึก ซึ่งจะเริ่มจากค่าต่ำสุดที่ 20 มิลลิวัตต์ และเพิ่มขึ้นครึ่งละ 2 มิลลิวัตต์ จนเกิดการสัมผัส ซึ่งจากขั้นตอนนี้จะทำให้ได้ผลการวัดที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ป้อนกับระยะที่เกิดการยึดตัวของทั้งหัวเขียนและหัวอ่าน รวมทั้งจะทำให้ทราบด้วยว่า ในสภาวะที่ยังไม่มีการป้อนพลังงานความร้อนใดๆ นั้น หัวบันทึกบินอยู่ห่างจากแผ่นบันทึกข้อมูลด้วยระยะห่างเท่าใด

5 เริ่มขั้นตอนการปรับระยะการบินไปยังตำแหน่งเป้าหมายของหัวบันทึก โดยใช้ผลจากความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความร้อนที่ป้อนกับระยะการยึดตัว และระยะการบินก่อนป้อนพลังงานความร้อน มาทำการประมวลผล (ทำงานผ่านโปรแกรมทดสอบบนเครื่อง Spin-Stand) ซึ่งจะ ทำให้ทราบว่าต้องป้อนพลังงานความร้อนเท่าใดที่จะทำให้ได้ระยะการยึดตัวเพื่อให้ได้ระยะห่างระหว่างหัวบันทึกกับดิสก์ตามระยะการบินเป้าหมาย

6 เมื่อหัวอ่านบินที่ตำแหน่งระยะการบินเป้าหมายแล้วก็เริ่มทำการวัดประสิทธิภาพของการเขียนและการอ่านสัญญาณผ่านพารามิเตอร์ที่ต้องการ โดยจะมีระยะการปรับตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ และจะทำการเก็บผลการวัดประสิทธิภาพของแต่ละระยะเพื่อนำมาทำการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลหลังจากทำการทดสอบครบทั้ง 20 ชุดของชิ้นส่วนประกอบหัวบันทึก

7 หลังจากการวัดประสิทธิภาพเสร็จก็จะส่งชุดควบคุมระยะเคลื่อนที่ทำงานนำหัวชุดหัวบันทึกออกจากแผ่นบันทึกข้อมูล ก่อนจะวนรอบการทดสอบของหัวบันทึกชุดต่อไป

3.4 ทดลองเพื่อเก็บข้อมูลของผลตอบสนองของ HMS ที่มีต่อประสิทธิภาพของหัวเขียนและหัวอ่าน โดยใช้การวัดผลในรูปแบบของความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ของการบันทึกข้อมูลแบบ CMR และ SMR

3.4.1 วัสดุและการตั้งค่าการวัดบนเครื่อง Spin-Stand

- 1 แผ่นบันทึกข้อมูลขนาด 2.5 นิ้ว
- 2 ชิ้นส่วนประกอบหัวบันทึก ชนิดสไลเดอร์สามารถปรับระยะการบินได้ด้วยการใช้ความร้อน 20 ชิ้นส่วน
- 3 ความเร็วรอบการหมุนของดิสก์ 5400 รอบต่อนาที
- 4 อัตราการส่งผ่านข้อมูลเท่ากับ 645.5 เมกะบิตต่อวินาที (Mbps)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 ความกว้างเริ่มต้นของแตร็กข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการวัด แบบ CMR เท่ากับ 68.58 นาโนเมตร และแบบ SMR เท่ากับ 52.85 นาโนเมตร

3.4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการวัดผลในรูปแบบของความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่

พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการวัดผลในรูปแบบของความหนาแน่นของข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ประกอบด้วย

1 อัตราบิตผิดพลาด (BER) ใช้เพื่อวัดอัตราบิตผิดพลาดจากการเขียนและอ่านกลับ ซึ่งมีหน่วยการวัดเป็นเดคเคด (decade)

2 ความหนาแน่นของบิตต่อนิ้ว หรือ Bit Per Inch (BPI) ใช้เพื่อวัดความหนาแน่นของบิตข้อมูลต่อความยาว 1 นิ้วในแนวตามแตร็ก ซึ่งมีหน่วยการวัดเป็นกิโลบิตต่อนิ้ว (kilo Bit Per Inch: kBPI)

3 ความหนาแน่นของแตร็กต่อนิ้ว หรือ Track Per Inch (TPI) ใช้เพื่อวัดความหนาแน่นของแตร็กข้อมูลต่อความกว้าง 1 นิ้วในแนวตัดขวางกับแตร็ก ซึ่งมีหน่วยการวัดเป็นกิโลแตร็กต่อนิ้ว (kilo Track Per Inch: kTPI)

4 ความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ หรือ Areal Density Capability (ADC) ใช้เพื่อวัดความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ต่อหน่วย 1 ตารางนิ้ว ซึ่งมีหน่วยการวัดเป็นกิกะบิตต่อตารางนิ้ว (Giga Bit Per Square Inch: Gbit/in²)

5 อัตราส่วนของสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวน (SNR) ใช้เพื่อวัดประสิทธิภาพการเขียนและการอ่าน ซึ่งจะได้ค่าของสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวนในระบบ

3.4.3 ขั้นตอนการทดลอง

สำหรับขั้นตอนการทดลองในการทดลองนี้ จะมีขั้นตอนการทดลองแบบเดียวกันกับการทดลองในหัวข้อ 3.4 แต่จะมีเพิ่มเติมในส่วนของการรายละเอียดการวัดผลที่จะมีการเพิ่มรูปแบบการเขียนทรักแบบซ้อนทับเพิ่มเข้ามาในกระบวนการทดลองบันทึกข้อมูล

3.5 การตรวจสอบประสิทธิภาพในการตรวจจับการสัมผัสแบบใช้ TCR sensor

3.5.1 วัสดุและการตั้งค่าการวัดบนเครื่อง Spin-Stand

- 1 แผ่นบันทึกข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว
- 2 ชิ้นส่วนประกอบหัวบันทึก ชนิดสไลเดอร์สามารถปรับระยะการบินได้ด้วยการใช้ความร้อน 5 ชิ้นส่วน
- 3 ความเร็วรอบการหมุนของดิสก์ 5400 รอบต่อนาที
- 4 อัตราการส่งผ่านข้อมูลเท่ากับ 645.5 เมกะบิตต่อวินาที (Mbps)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 ขั้นตอนการทดลอง

สำหรับขั้นตอนการทดลองในการทดลองนี้ จะมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

- 1 ทำการทดสอบชิ้นส่วนประกอบหัวบันทึกในเงื่อนไขการทดลองที่มีการใช้วิธีตรวจจับการสัมผัสแบบใช้ TCR sensor เพื่อคัดชิ้นงานที่มีปัญหาในการตรวจจับการสัมผัส
- 2 วิเคราะห์ผลจากการตรวจจับการสัมผัสของชิ้นงานที่มีปัญหาในกระบวนการตรวจจับได้ไม่สมบูรณ์
- 3 นำชิ้นงานดังกล่าวกลับมาทดสอบซ้ำด้วยการปรับปรุงเงื่อนไขในขั้นตอนการตรวจจับการสัมผัสแบบใช้ TCR sensor



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอผลที่ได้จากการทดลองรวมไปถึงการอธิบายถึงคุณลักษณะของแต่ละพารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการวัดผลการตอบสนองของ HMS ต่อประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูลของหัวบันทึกซึ่งได้แก่

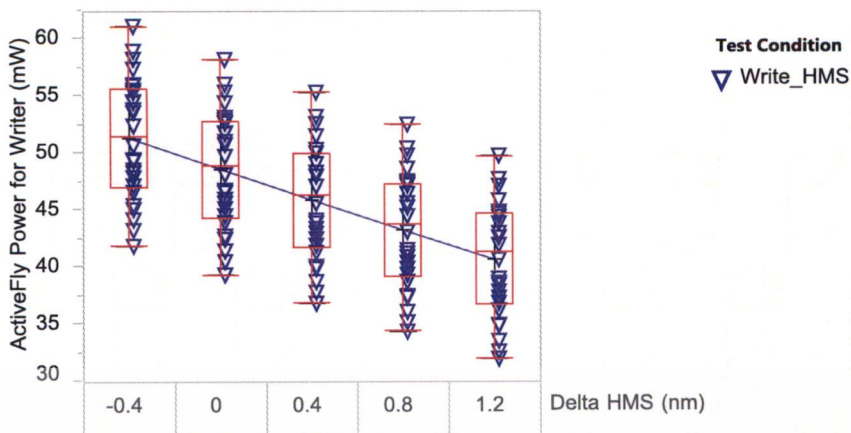
4.1 ความสัมพันธ์ของระยะการยัดตัวของหัวบันทึกกับพลังงานความร้อนที่ป้อน

ตามที่ได้มีการกล่าวไปแล้วถึงหลักการและกระบวนการวัด HMS นั้น หลังการตรวจสอบการสัมผัสของหัวบันทึกกับแผ่นบันทึกเพื่อหาระยะการบินเหนือแผ่นบันทึกขณะหมุนในสถานะที่ยังไม่มีการเขียนหรืออ่านข้อมูลหรือระยะที่ยังไม่มีการป้อนพลังงานความร้อนใดๆเพื่อให้เกิดการยัดตัวนั้น ถือเป็นกระบวนการที่สำคัญที่สุดที่จะกำหนดความถูกต้องของระยะการเขียนและอ่านข้อมูลของหัวบันทึกยังตำแหน่งเป้าหมาย ของหัวบันทึก เพราะต้องใช้ผลจากอัตราส่วนของความร้อนที่ป้อนเพื่อให้เกิดการยัดตัวเทียบกับระยะที่เกิดการยัดตัวของทั้งหัวเขียนและหัวอ่านจากกระบวนการตรวจจับการสัมผัส จากนั้นจะทำให้ได้ค่าพลังงานความร้อนที่ต้องป้อนเพื่อให้ยัดตัวไปยังระยะเป้าหมาย ซึ่งจะเรียกว่า Active Fly Power เพื่อทำการเขียนและอ่านข้อมูลในแต่ละเงื่อนไขของการทดลองทั้งแบบ Write_HMS และ Read_HMS

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยของพลังงานความร้อนที่ใช้ในแต่ละระยะของการยัดตัวของหัวเขียนไปยังตำแหน่งระยะบินเป้าหมาย จากการทดลองแบบ Write_HMS

	ระยะของการยัดตัวเทียบจากรยะอ้างอิง (nm)		Active Fly Power (mW)	
	Delta Write_HMS	Delta Read_HMS	Writer Power	Reader Power
Write_HMS	1.2	0	40.7	67.81
	0.8	0	43.29	67.81
	0.4	0	45.94	67.81
	0	0	48.64	67.81
	-0.4	0	51.4	67.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยของพลังงานความร้อนที่ใช้ในการยัดตัวไปยังตำแหน่งเป้าหมายในแต่ละระยะ HMS ของหัวเขียน

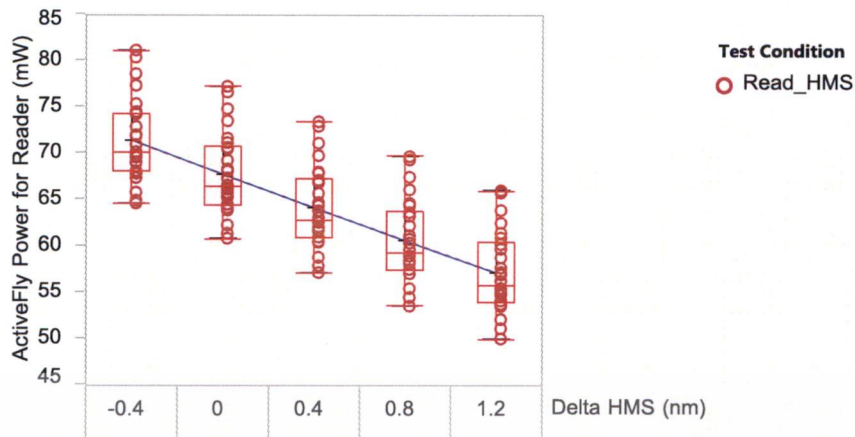
Write_HMS ผลที่ได้ $ActiveFly\ Power\ Writer\ (mW) = 48.67 - 6.69 \times Delta\ HMS\ (nm)$

จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 นั้น เป็นค่าพลังงานความร้อนที่ต้องป้อนให้กับหัวเขียนสำหรับการทดลองแบบ Write_HMS เพื่อปรับหัวเขียนขณะเขียนข้อมูลไปที่ระยะต่างๆ แต่จะคงระยะการอ่านข้อมูลของหัวอ่านไว้ที่ตำแหน่งอ้างอิงที่ delta HMS เท่ากับ 0 นาโนเมตร ซึ่งจะใช้พลังงานความร้อนเพื่อให้เกิดการยัดตัวที่ระยะดังกล่าว ที่ 67.81 มิลลิวัตต์ ในขณะที่การยัดตัวของหัวเขียนนั้นจะมีการใช้พลังงานความร้อนอยู่ที่ 6.69 มิลลิวัตต์ต่อระยะการยัดตัว 1 นาโนเมตร

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของพลังงานความร้อนที่ใช้ในแต่ละระยะของการยัดตัวของหัวอ่านไปยังตำแหน่งระยะบินเป้าหมาย จากการทดลองแบบ Read_HMS

	ระยะของการยัดตัวเทียบจากระยะอ้างอิง (nm)		Active Fly Power (mW)	
	Delta Write_HMS	Delta Read_HMS	Writer Power	Reader Power
Read_HMS	0	1.2	48.64	57.21
	0	0.8	48.64	60.68
	0	0.4	48.64	64.21
	0	0	48.64	67.87
	0	-0.4	48.64	71.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของพลังงานความร้อนที่ใช้ในการยัดตัวไปยังตำแหน่งเป้าหมายในแต่ละระยะ HMS ของหัวอ่าน

Read_HMS ผลที่ได้ $\text{ActiveFly Power_Reader (mW)} = 67.84 - 8.92 \times \text{Delta HMS (nm)}$

ในส่วนของตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 นั้น เป็นค่าพลังงานความร้อนที่ต้องป้อนให้กับหัวอ่าน สำหรับการทดลองแบบ Read_HMS เพื่อปรับหัวอ่านขณะอ่านข้อมูลไปที่ระยะต่างๆ แต่จะคงระยะการเขียนข้อมูลของหัวเขียนไว้ที่ตำแหน่งอ้างอิงที่ delta HMS เท่ากับ 0 นาโนเมตร ซึ่งจะใช้พลังงานความร้อนเพื่อให้เกิดการยัดตัวที่ระยะดังกล่าว ที่ 48.64 มิลลิวัตต์ ในขณะที่การยัดตัวของหัวอ่านนั้น จะมีการใช้พลังงานความร้อนอยู่ที่ 8.97 มิลลิวัตต์ต่อระยะการยัดตัว 1 นาโนเมตร

4.2 ผลการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลของผลตอบสนองของ HMS ที่มีต่อประสิทธิภาพของหัวเขียนและหัวอ่าน โดยใช้พารามิเตอร์ที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะสำหรับการวัดผลของการบันทึกข้อมูลแบบ CMR

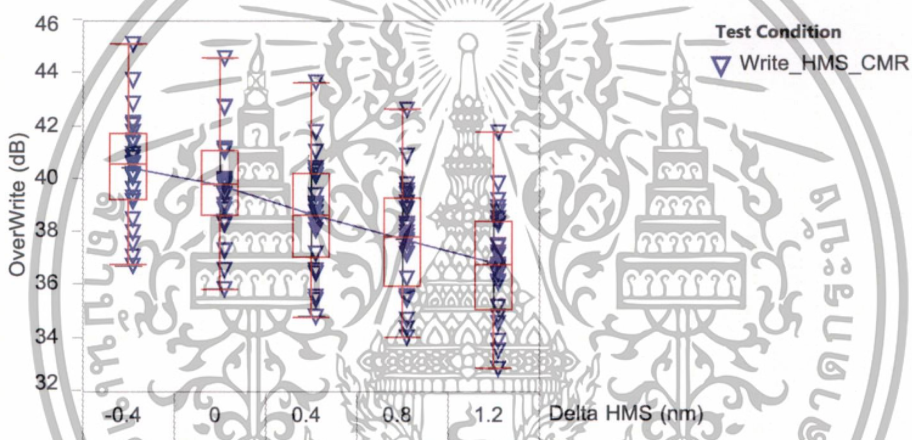
สำหรับพารามิเตอร์ที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะที่นำมาใช้ในการวัดผลตอบสนองของ HMS ในการทดลองนี้จะมีอยู่ 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ ประสิทธิภาพการเขียนทับ ความกว้างของหัวอ่าน และอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน ซึ่งจะมีลักษณะเฉพาะของแต่ละพารามิเตอร์ รวมถึงกระบวนการและขั้นตอนในการทดสอบที่ต่างกัน โดยจะได้ทำการอธิบายถึงลักษณะการทดสอบดังกล่าวรวมถึงอธิบายผลของแต่ละพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลอง โดยเป็นผลที่ได้จากการวัดจากชุดประกอบหัวบันทึกจำนวน 20 ชุดดังนี้

ผลของค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะที่วัดจากทดลองแบบ Write_HMS ดังที่แสดงในตารางที่ 4.3 จะถูกนำมาพล็อตแยกเพื่อเทียบให้เห็นผลของแต่ละพารามิเตอร์ที่เกิดจากผลตอบสนองของ HMS ในแต่ละจุดตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ ดังรูปที่ 4.3-4.5

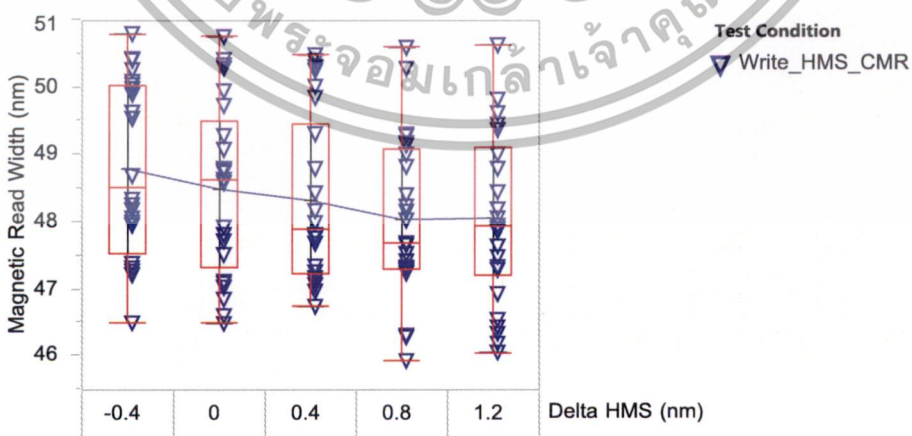
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะจากการทดลองแบบ Write_HMS

	ระยะของการยืตัวเทียบจากระยะอ้างอิง (nm)		ผลการวัดผ่านพารามิเตอร์ (ค่าเฉลี่ย)		
	Delta Write_HMS	Delta Read_HMS	OVW (dB)	MRW (nm)	SNR (dB)
Write_HMS	1.2	0	36.86	48.07	14.08
	0.8	0	37.74	48.03	14.27
	0.4	0	38.69	48.33	14.47
	0	0	39.67	48.45	14.65
	-0.4	0	40.50	48.77	14.79

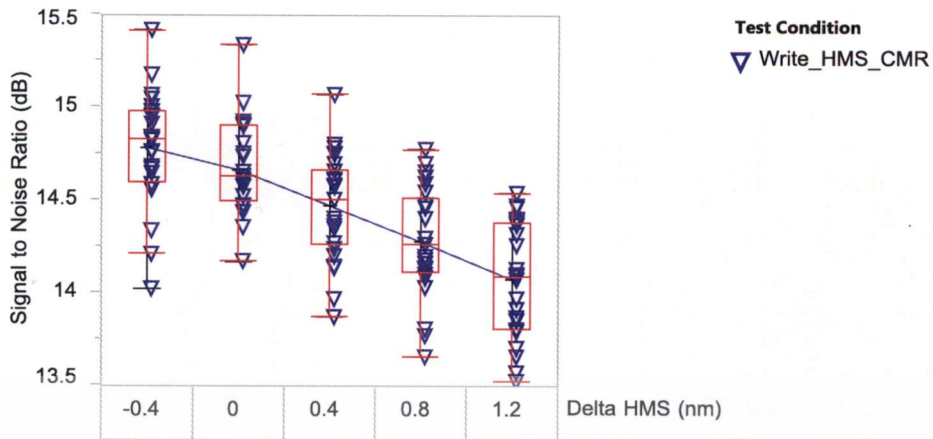


รูปที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของ OVW ในแต่ละระยะ HMS จากการทดลอง Write_HMS



รูปที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยของ MRW ในแต่ละระยะ HMS จากการทดลอง Write_HMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



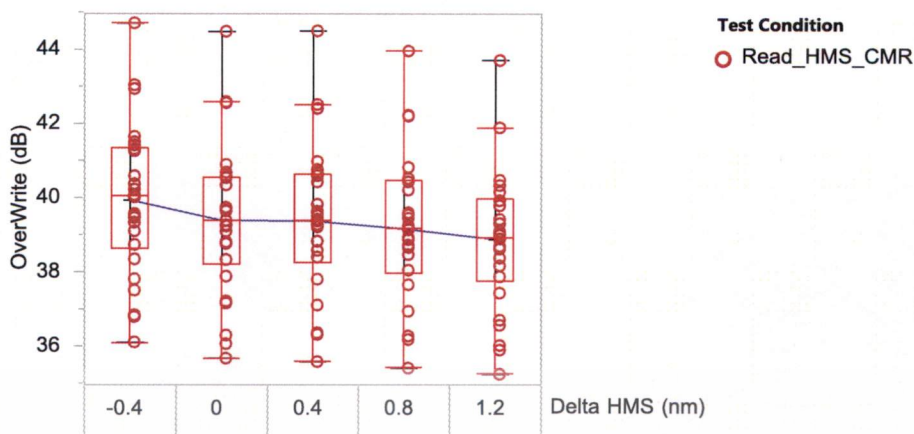
รูปที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของ SNR ในแต่ละระยะ HMS จากการทดลอง Write_HMS

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะจากการทดลองแบบ Read_HMS

	ระยะของการยัดตัวเทียบจากระยะอ้างอิง (nm)		ผลการวัดผ่านพารามิเตอร์ (ค่าเฉลี่ย)		
	Delta Write_HMS	Delta Read_HMS	OVW (dB)	MRW (nm)	SNR (dB)
	Read_HMS	0	1.2	38.91	50.34
	0	0.8	39.20	49.60	14.70
	0	0.4	39.40	49.04	14.69
	0	0	39.42	48.60	14.60
	0	-0.4	39.97	48.04	14.58

ตารางที่ 4.4 จะเป็นการแสดงในส่วนของผลของค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะที่วัดจากทดลองแบบ Read_HMS และนำมาพล็อตแยกโดยเทียบให้เห็นผลผลของแต่ละพารามิเตอร์ที่เกิดจากผลตอบสนองของ HMS ในแต่ละจุดตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ (รูปที่ 4.6-4.8)

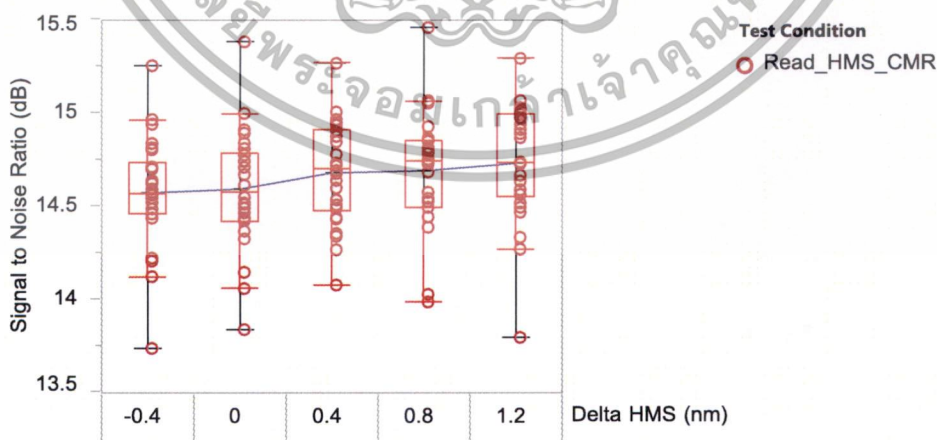
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยของ OVV ในแต่ละระยะ HMS จากการทดลองแบบ Read_HMS



รูปที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยของ MRW ในแต่ละระยะ HMS จากการทดลองแบบ Read_HMS



รูปที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยของ SNR ในแต่ละระยะ HMS จากการทดลองแบบ Read_HMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ประสิทธิภาพการเขียนทับ (OWW)

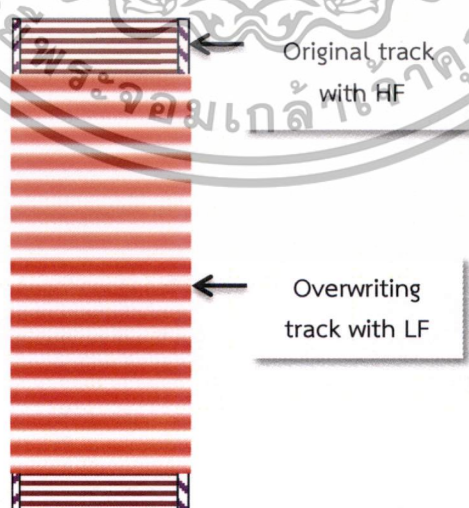
ใช้เพื่อวัดประสิทธิภาพการเขียนทับของหัวเขียน เนื่องจากการทำงานจริงของฮาร์ดดิสก์นั้นจะใช้วิธีการเขียนข้อมูลใหม่ทับข้อมูลเก่าโดยจะไม่มีการลบข้อมูลเก่าในบริเวณที่จะทำการเขียนข้อมูลลงไป โดยการทดสอบการเขียนทับนั้นจะประกอบด้วย การวัดแอมพลิจูดผ่านตัวกรองสัญญาณย่านความถี่แคบๆ สองย่านของฮาร์โมนิคพื้นฐานลำดับที่หนึ่ง และลำดับที่สามของสัญญาณความถี่สูง (High Frequency: HF) ก่อน และจากนั้นก็ทำการวัดแอมพลิจูดของสัญญาณดังกล่าวที่เหลือจากการถูกเขียนทับโดยสัญญาณความถี่ต่ำ (Low Frequency: LF) นี้อีกครั้ง โดยค่า OWW สามารถคำนวณได้จาก

$$OWW = 20 \log\left(\frac{V_o}{V_R}\right) \tag{4.1}$$

เมื่อ V_R = Residual HF fundamental, V_o = Original HF fundamental

ซึ่งโดยทั่วไปนั้น ค่าของพารามิเตอร์ OWW ในกระบวนการทดสอบหัวบันทึก จะอยู่ในช่วง 20 ถึง 40 เดซิเบล ทั้งนี้ทั้งนั้นก็ขึ้นอยู่กับขนาดความกว้างของหัวเขียนและค่าความต้านทานสนามแม่เหล็กของแผ่นบันทึกด้วย ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการเขียนสัญญาณลงบนแผ่นบันทึก ซึ่งมีขั้นตอนในการวัด OWW ดังนี้

- 1 ทำการลบสัญญาณที่อาจตกค้างอยู่บนแผ่นบันทึก
- 2 เขียนสัญญาณความถี่สูงลงบนแผ่นบันทึก
- 3 ทำการวัดและบันทึกค่าแอมพลิจูดของสัญญาณความถี่สูงที่เขียนลงไปจากสัญญาณอ่านกลับผ่านตัวกรองย่านความถี่แบบแคบ (V_o)
- 4 ทำการเขียนข้อมูลซ้ำที่แทร็กเดิมด้วยสัญญาณความถี่ต่ำ (ดังแสดงในรูปที่ 4.9)

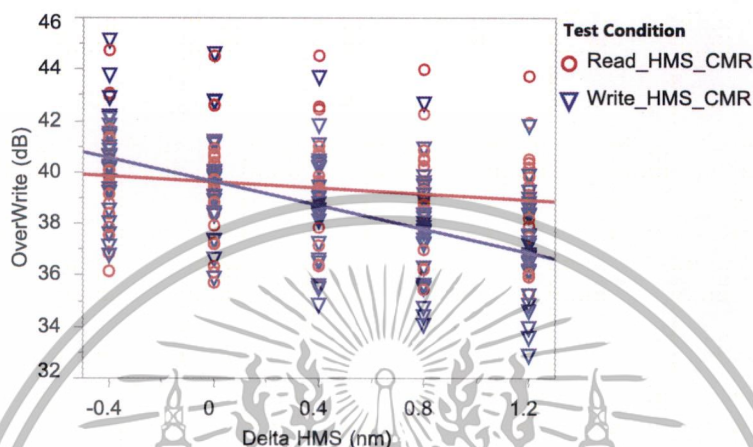


รูปที่ 4.9 การเขียนสัญญาณความถี่ต่ำทับสัญญาณความถี่สูงในการวัดประสิทธิภาพการเขียนทับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 ทำการวัดและบันทึกค่าแอมพลิจูดของสัญญาณความถี่สูงที่เขียนลงไปครั้งแรกจากสัญญาณอ่านกลับที่เหลืออยู่จากการเขียนทับของสัญญาณความถี่ต่ำ ผ่านตัวกรองย่านความถี่แบบแคบ (V_R)

6 ทำการคำนวณค่า OVV จากสัญญาณ V_O และ V_R ตามสมการการหาค่าที่ 4.1



รูปที่ 4.10 ผลเปรียบเทียบของ OVV เมื่อมีการปรับระยะ HMS

Read_HMS ผลที่ได้ $\text{OverWrite (dB)} = 39.61 - 0.58 \times \text{Delta HMS (nm)}$

Write_HMS ผลที่ได้ $\text{OverWrite (dB)} = 39.63 - 2.31 \times \text{Delta HMS (nm)}$

ผลจากการทดลองในรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่า ผลจากการทดลองแบบ Read_HMS มีผลต่อ OVV เพียงเล็กน้อย โดยจะมีการเพิ่มขึ้นของ OVV เพียง 0.58 เดซิเบล ต่อการลดระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นบันทึกลง 1 นาโนเมตรเท่านั้น ในขณะที่ผลของ Write_HMS หรือการลดระยะห่างของหัวเขียนขณะทำการเขียนข้อมูลนั้นส่งผลชัดเจนต่อการเพิ่มขึ้นของ OVV โดยจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของ OVV ที่ 2.31 เดซิเบล ต่อการลดระยะห่างระหว่างหัวเขียนกับแผ่นบันทึกลง 1 นาโนเมตร ซึ่งน่าจะสเป็นผลมาจาก เมื่อหัวเขียนอยู่ใกล้แผ่นบันทึกมากขึ้น ระยะห่างที่แคบลงมีส่วนทำให้ความต้านทานในกระบวนการเขียนลดลงไปด้วย นั่นจึงส่งผลโดยตรงให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นขณะเขียนข้อมูลของหัวเขียนมีความแรงเพิ่มขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพในการเขียนสัญญาณของหัวเขียนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

4.2.2 ความกว้างของหัวอ่าน (MRW)

การทดสอบไมโครแทรกเป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการอธิบายลักษณะความกว้างของหัวอ่านทางไฟฟ้าในการบันทึกข้อมูลแบบตั้งฉาก การทดสอบจะขึ้นอยู่กับการตัดทั้งสองด้านของแทร็คข้อมูลหลักที่เขียนด้วยความถี่แบบความถี่เดียว และหลังจากนั้นจะทำการสแกนหัวอ่านผ่านไมโครแทรกที่เหลือจากการลบด้านข้างออกในแนวตัดขวางกับแทร็ค โปรไฟล์จากการสแกนในแนวตัดขวางกับแทร็คของหัวอ่านหรือฟังก์ชันผลตอบสนองของการอ่านซึ่งเรียกว่าไมโครแทรกโปรไฟล์ จะหาได้จากการวัดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณผ่านย่านความถี่แคบๆ ของสัญญาณอ่านกลับ มาเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งในแนวตัดขวางกับแทร็ก



รูปที่ 4.11 ลักษณะของแทร็กข้อมูลและการลบแทร็กในกระบวนการวัดไมโครแทร็กโปรไฟล์

โดยโปรไฟล์ของไมโครแทร็กหาได้จาก

$$F(x) = \int R(y) M(x-y) dy \quad (4.2)$$

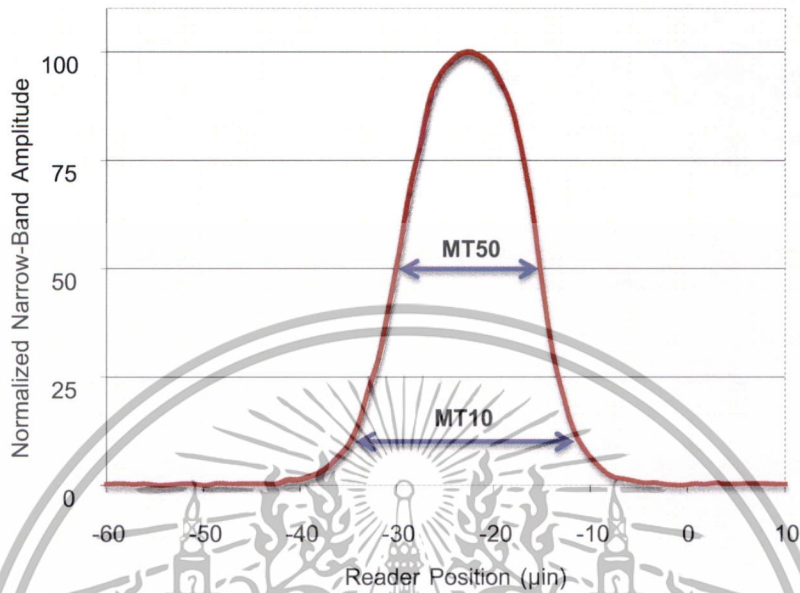
เมื่อ $R(y)$ คือ ฟังก์ชันการตอบสนองของหัวอ่าน และ $M(x)$ คือ ความเข้มสนามแม่เหล็กของข้อมูลบนไมโครแทร็กในแนวขวางกับแทร็ก ซึ่งมีขั้นตอนในการวัด MRW ดังนี้

- 1 เขียนข้อมูลด้วยสัญญาณความถี่แบบความถี่เดี่ยว
- 2 ทำการอ่านและบันทึกค่าแอมพลิจูดของแทร็กเริ่มต้น
- 3 เคลื่อนหัวเขียนออกนอกแทร็กและเริ่มทำการลบข้อมูลจากด้านข้างของแทร็กทั้ง 2 ด้าน
- 4 เคลื่อนหัวอ่านเข้ามาที่ตรงกลางของแทร็กเพื่ออ่านค่าแอมพลิจูดของสัญญาณหลังจากมีการลบแทร็กทั้ง 2 ด้าน

5 ทำซ้ำในขั้นตอนการลบแทร็กทั้ง 2 ด้าน โดยการค่อยๆ เพิ่มระยะการลบแทร็กข้อมูลเข้าหาตรงกลางแทร็กและทำการอ่านแอมพลิจูดของแทร็กที่เหลือจนค่าแอมพลิจูดลดลงจนถึงเกณฑ์ที่ตั้งไว้ (เทียบกับค่าแอมพลิจูดของแทร็กเริ่มต้น) จะทำให้ได้ระยะของไมโครแทร็ก (แสดงในรูปที่ 4.11)

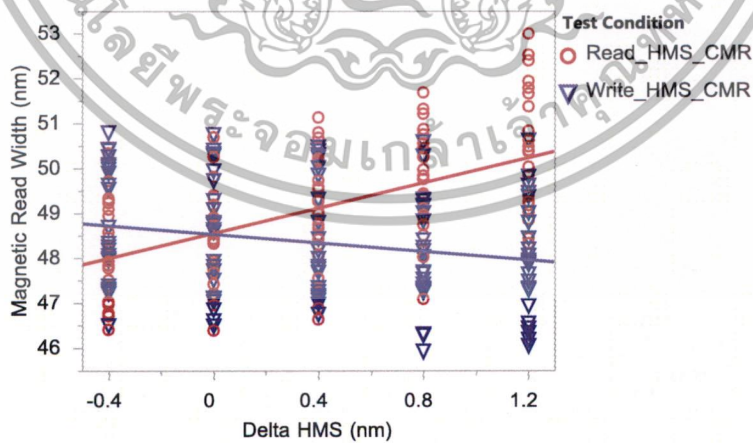
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6 ทำการสแกนหัวอ่านผ่านไมโครแทร็กโดยการเคลื่อนหัวอ่านผ่านแทร็กที่เหลืออยู่เพื่อหาโปรไฟล์ของแทร็ก (แสดงในรูปที่ 4.12)



รูปที่ 4.12 โปรไฟล์จากการสแกนของหัวอ่านในแนวตัดขวางกับแทร็ก ผ่านไมโครแทร็ก

จากโปรไฟล์ที่ได้หลังการทำ normalize ในกระบวนการวัดไมโครแทร็กโปรไฟล์ ความกว้างของพัลส์ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ หรือ MT10 จะถูกกำหนดให้แทนความกว้างของหัวอ่านหรือที่เรียกว่า MRW (Magnetic Read Width)



รูปที่ 4.13 ผลเปรียบเทียบของ MRW เมื่อมีการปรับระยะ HMS

Read_HMS ผลที่ได้ MRW (nm) = 48.56 + 1.40 × Delta HMS (nm)

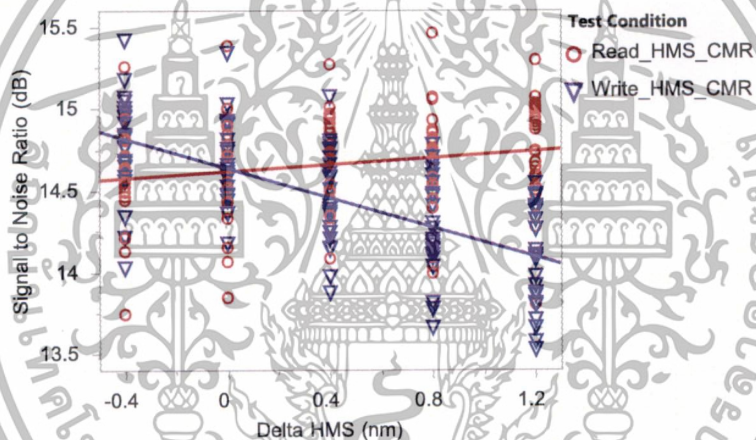
Write_HMS ผลที่ได้ MRW (nm) = 48.55 - 0.48 × Delta HMS (nm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการทดลองในรูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่า ผลจากการทดลองแบบ Read_HMS นั้นมีผลต่อ ความกว้างของหัวอ่านที่วัดได้อย่างชัดเจน โดยจะพบว่าขนาดของความกว้างของหัวอ่านที่วัดได้มีขนาดที่แคบลงเมื่อเข้าใกล้แผ่นบันทึกมากขึ้น โดยมีค่าประมาณ 1.40 นาโนเมตร ต่อการลดระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นบันทึกลง 1 นาโนเมตร ในขณะที่ผลของ Write_HMS นั้นกลับให้ผลในทางตรงข้าม กล่าวคือ ขนาดของ MRW มีขนาดกว้างขึ้นเล็กน้อย ประมาณ 0.48 นาโนเมตร ต่อการลดระยะห่างระหว่างหัวเขียนกับแผ่นบันทึกลง 1 นาโนเมตร

4.2.3 อัตราส่วนของสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวน (SNR)

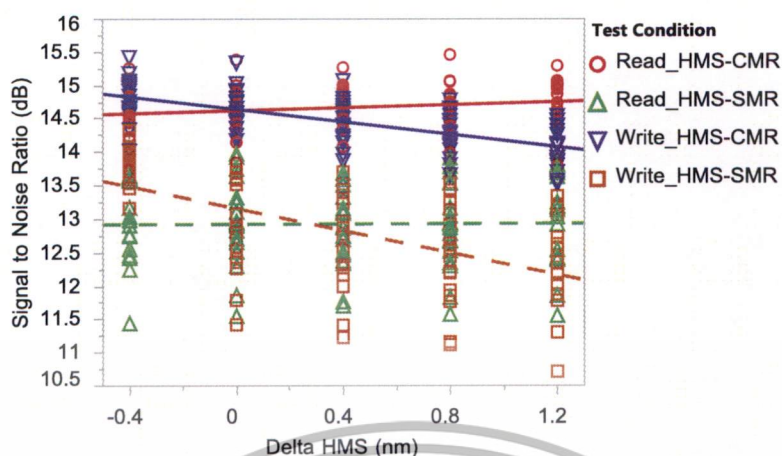
การวัดอัตราส่วนของสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวนในกระบวนการบันทึกข้อมูลนั้นมีความสำคัญอย่างมากในกระบวนการวัดประสิทธิภาพของการบันทึกข้อมูล โดยสัญญาณข้อมูลที่นำมาเทียบกับสัญญาณรบกวนนี้ เป็นสัญญาณโดยรวมเทียบกับสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากกระบวนการเขียนและการอ่าน



รูปที่ 4.14 ผลเปรียบเทียบของ SNR เมื่อมีการปรับระยะ HMS

จากรูปที่ 4.14 เป็นผลของการวัดอัตราส่วนของสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวน เมื่อมีการปรับระยะ HMS ซึ่งจะเห็นว่าอัตราส่วนดังกล่าวในการทดสอบ Read_HMS จะมีค่าลดลงเล็กน้อยประมาณ 0.10 เดซิเบลเมื่อมีการลดระยะ HMS ลง 1 นาโนเมตร ในขณะที่ผลที่ได้จากการทดสอบ Write_HMS กลับเห็นการเพิ่มขึ้นของ SNR โดยมีค่าอยู่ที่ 0.45 เดซิเบล ต่อการลดระยะ HMS ลง 1 นาโนเมตร ซึ่งจากผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า Write_HMS นั้นให้ผลตอบสนองที่ชัดเจน และเป็นไปในทิศทางที่ช่วยชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูลที่ดีขึ้น อันเป็นผลมาจาก HMS ที่ต่ำในกระบวนการเขียนข้อมูลนั้น สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเขียนได้ดีขึ้น โดยประสิทธิภาพดังกล่าวมีส่วนทำให้สัญญาณรบกวนในกระบวนการเขียนลดลง โดยเฉพาะทำให้สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นระหว่างรอยต่อของบิตในขณะที่เขียนลดต่ำลง ดังนั้นเมื่อนำมาเทียบกับสัญญาณที่ได้จากการเขียนและอ่านกลับในกระบวนการบันทึกข้อมูลซึ่งไม่ได้ลดลงจึงทำให้ได้อัตราส่วนของสัญญาณข้อมูลเทียบกับสัญญาณรบกวนสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ผลเปรียบเทียบของ SNR เมื่อมีการปรับระยะ HMS บน CMR เทียบกับ SMR

Read_HMS_CMR ผลที่ได้ SNR (dB.) = $14.62 + 0.11 \times \text{Delta HMS (nm)}$

Write_HMS_CMR ผลที่ได้ SNR (dB.) = $14.64 + 0.47 \times \text{Delta HMS (nm)}$

Read_HMS_SMR ผลที่ได้ SNR (dB.) = $12.93 + 0.01 \times \text{Delta HMS (nm)}$

Write_HMS_SMR ผลที่ได้ SNR (dB.) = $13.16 + 0.82 \times \text{Delta HMS (nm)}$

จากรูปที่ 4.15 เป็นการนำผลจากการวัด SNR การบันทึกข้อมูลที่มีรูปแบบการเขียนแตรีกต่างกันคือ CMR และ SMR โดยผลของ SNR จากผลตอบสนองต่อ HMS นั้น มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือ SNR มีอัตราที่สูงขึ้นเมื่อมีการปรับลดระยะ HMS ของหัวเขียนลง โดยเฉพาะ Write_HMS ที่เห็นผลได้อย่างชัดเจน และเนื่องจากขนาดของแตรีกที่แคบกว่าบน SMR ทำให้ได้ขนาดของสัญญาณที่ต่ำกว่าจากระบบการเขียน จึงเห็นได้ชัดว่า SNR บน SMR จึงต่ำกว่า SNR บน CMR ทั้งการทดสอบแบบ Read_HMS และ Write_HMS

4.3 ผลการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลของผลตอบสนองของ HMS ที่มีต่อประสิทธิภาพของหัวเขียนและหัวอ่าน โดยใช้การวัดผลในรูปแบบของความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ของการบันทึกข้อมูลแบบ CMR และ SMR

สำหรับการวัดผลในรูปแบบของความหนาแน่นของข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่นำมาใช้ในการวัดผลตอบสนองของ HMS ของการบันทึกข้อมูลที่มีรูปแบบการเขียนแตรีกแบบซ้อนทับ ในการทดลองนี้จะมีการวัดผลตอบสนองของ HMS ผ่าน 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ อัตราบิดผิดพลาด ความหนาแน่นของบิตข้อมูล ความหนาแน่นของแตรีกข้อมูล และความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ ซึ่งในกระบวนการวัดความหนาแน่นของบิตข้อมูลและความหนาแน่นของแตรีกข้อมูลนั้น จะใช้ผลของอัตราบิดผิดพลาดเป็นพื้นฐานในการวัด ซึ่งอาจสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพในการวัดและผลของอัตราบิดผิดพลาดนั้นจะส่งผลโดยตรงต่อพารามิเตอร์ดังกล่าว และนอกจากนั้นยังส่งผลต่อความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ที่

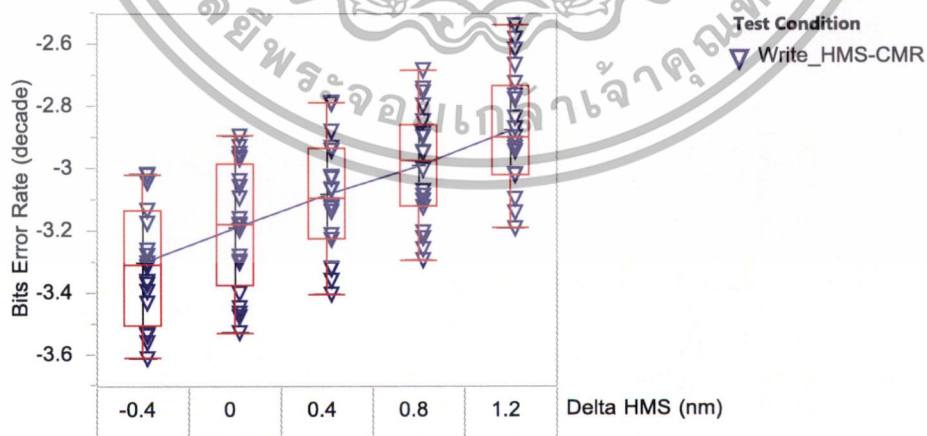
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการคำนวณจากผลของความหนาแน่นของบิตข้อมูลและความหนาแน่นของแทร็กข้อมูลอีกด้วย ดังนั้นในการทดลองนี้จึงจะมีการนำผลตอบสนองของ HMS ที่มีต่ออัตราบิตผิดพลาดมานำเสนอร่วมด้วย โดยจะแสดงและอธิบายผลของแต่ละพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้การวัดผลในรูปแบบของความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ ที่วัดจาก Write_HMS-CMR

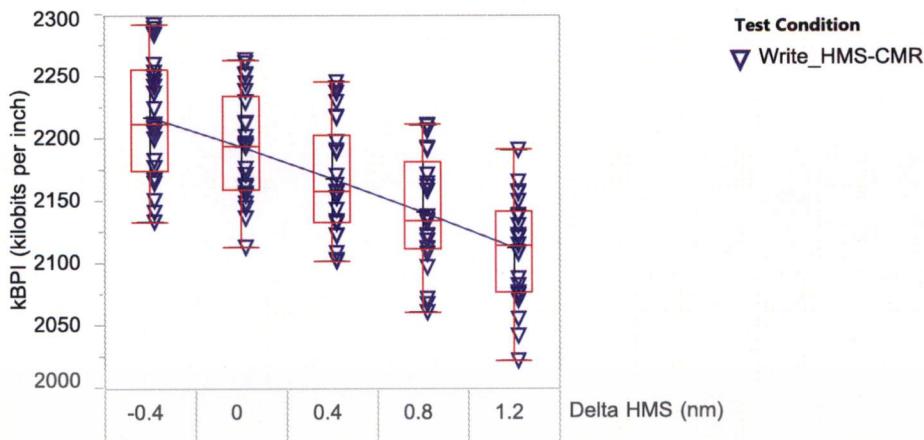
	ระยะของการยัดตัวเทียบ จากระยะอ้างอิง (nm)		ผลการวัดผ่านพารามิเตอร์ (ค่าเฉลี่ย)			
	Delta Write_HMS	Delta Read_HMS	BER (decade)	BPI (kBPI)	TPI (kTPI)	ADC (Gb/in ²)
	Write_HMS-CMR	1.2	0	-2.87	211.60	400.87
	0.8	0	-2.99	2140.95	396.82	849.57
	0.4	0	-3.08	2168.97	393.36	853.19
	0	0	-3.19	2191.33	386.04	845.94
	-0.4	0	-3.30	2218.10	385.78	855.70

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้การวัดผลในรูปแบบของความหนาแน่นของข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่วัดจากทดลองแบบ Write_HMS-CMR และนำมาพล็อตแยกโดยเทียบให้เห็นผลของแต่ละพารามิเตอร์ที่เกิดจากผลตอบสนองของ HMS ในแต่ละจุดตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ (รูปที่ 4.16-4.19)

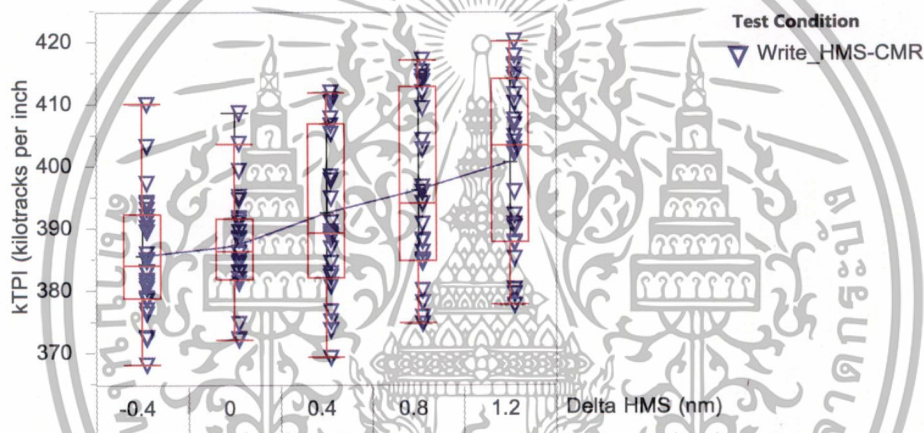


รูปที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยของ BER ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Write_HMS-CMR

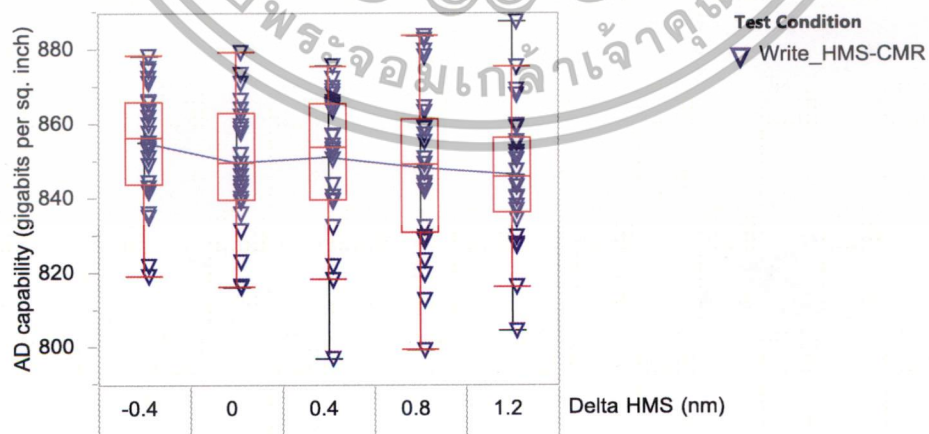
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยของ BPI ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Write_HMS-CMR



รูปที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยของ TPI ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Write_HMS-CMR



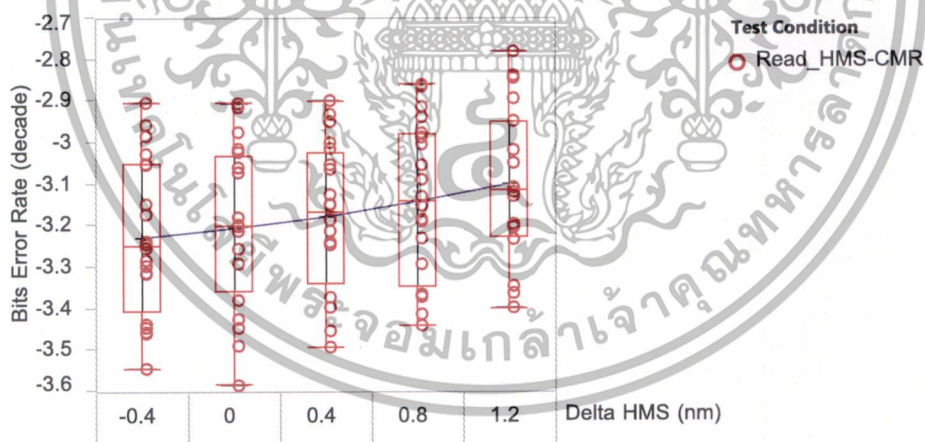
รูปที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยของ ADC ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Write_HMS-CMR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้การวัดผลในรูปแบบของความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ที่วัดจาก Read_HMS-CMR

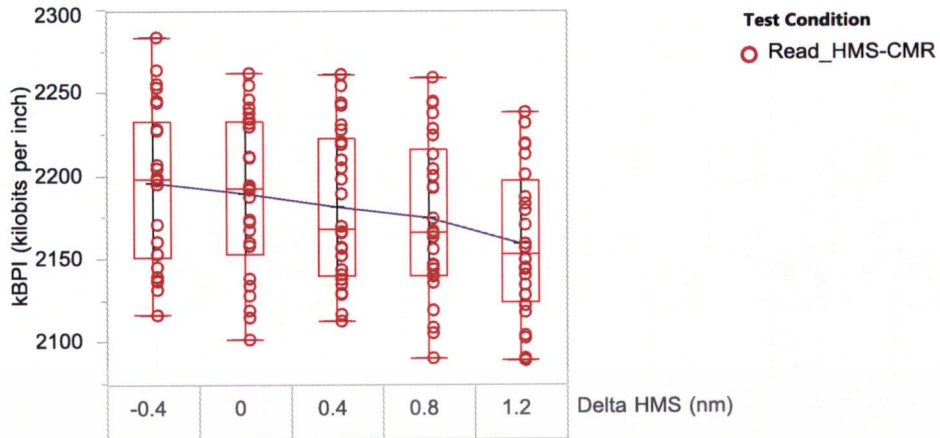
	ระยะของการยัดตัวเทียบ จากระยะอ้างอิง (nm)		ผลการวัดผ่านพารามิเตอร์ (ค่าเฉลี่ย)			
	Delta Write_HMS	Delta Read_HMS	BER (decade)	BPI (kBPI)	TPI (kTPI)	ADC (Gb/in ²)
Read_HMS-CMR	0	1.2	-3.10	2157.61	390.54	842.63
	0	0.8	-3.14	2175.59	388.52	845.26
	0	0.4	-3.18	2182.13	389.37	849.66
	0	0	-3.20	2190.14	390.14	854.46
	0	-0.4	-3.23	2196.68	389.14	855.56

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้การวัดผลในรูปแบบของความหนาแน่นของข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่วัดจากทดลองแบบ Read_HMS-CMR และนำมาพล็อตแยกโดยเทียบให้เห็นผลของแต่ละพารามิเตอร์ที่เกิดจากผลตอบสนองของ HMS ในแต่ละจุดตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ (รูปที่ 4.20-4.23)

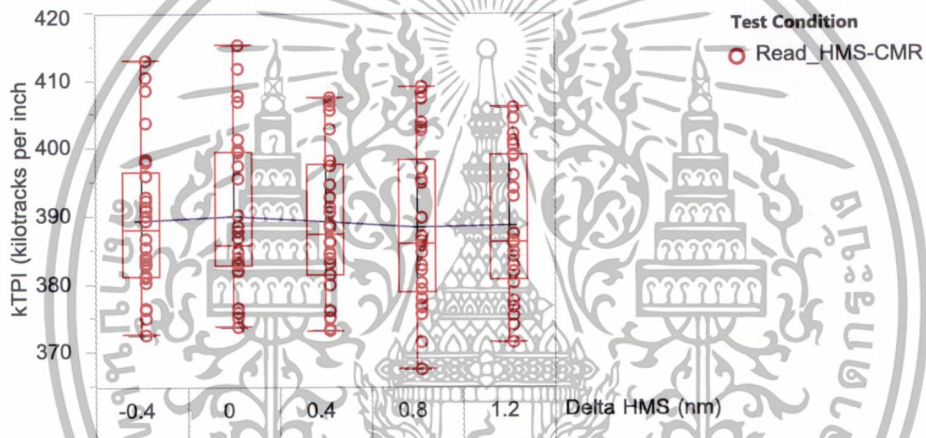


รูปที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยของ BER ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Read_HMS-CMR

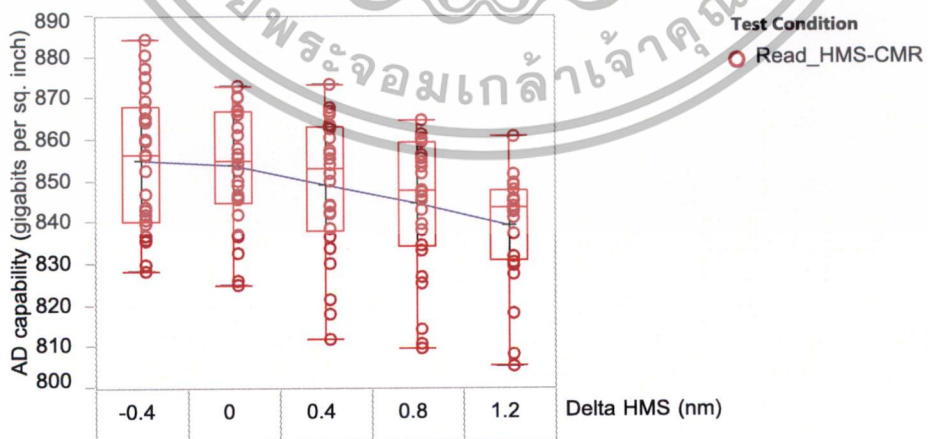
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 ค่าเฉลี่ยของ BPI ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Read_HMS-CMR



รูปที่ 4.22 ค่าเฉลี่ยของ TPI ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Read_HMS-CMR



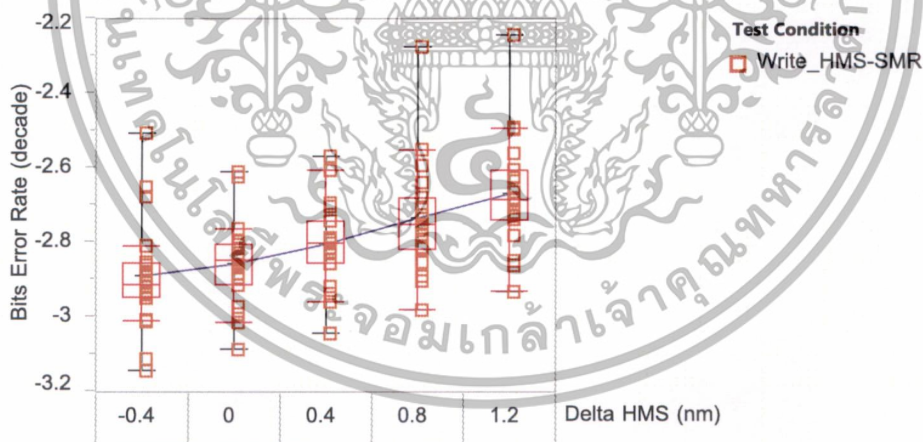
รูปที่ 4.23 ค่าเฉลี่ยของ ADC ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Read_HMS-CMR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้การวัดผลในรูปแบบของความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ที่วัดจาก Write_HMS-SMR

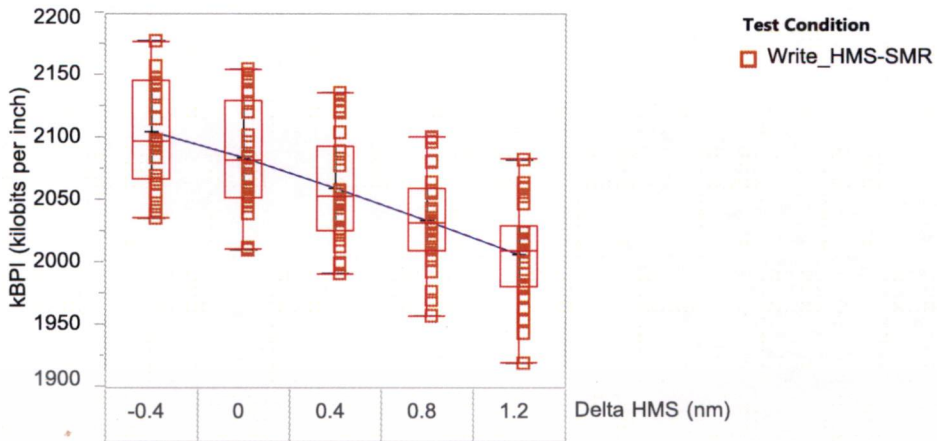
	ระยะของการยัดตัวเทียบ จากระยะอ้างอิง (nm)		ผลการวัดผ่านพารามิเตอร์ (ค่าเฉลี่ย)			
	Delta Write_HMS	Delta Read_HMS	BER (decade)	BPI (kBPI)	TPI (kTPI)	ADC (Gb/in ²)
Write_HMS-SMR	1.2	0	-2.67	2007.02	465.89	935.06
	0.8	0	-2.71	2034.25	465.14	946.21
	0.4	0	-2.78	2060.28	464.84	957.70
	0	0	-2.83	2084.75	460.30	959.61
	-0.4	0	-2.89	2106.03	454.22	956.60

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้การวัดผลในรูปแบบของความหนาแน่นของข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่วัดจากทดลองแบบ Write_HMS-SMR และนำมาพล็อตแยกโดยเทียบให้เห็นผลผลของแต่ละพารามิเตอร์ที่เกิดจากผลตอบสนองของ HMS ในแต่ละจุดตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ (รูปที่ 4.24-4.27)

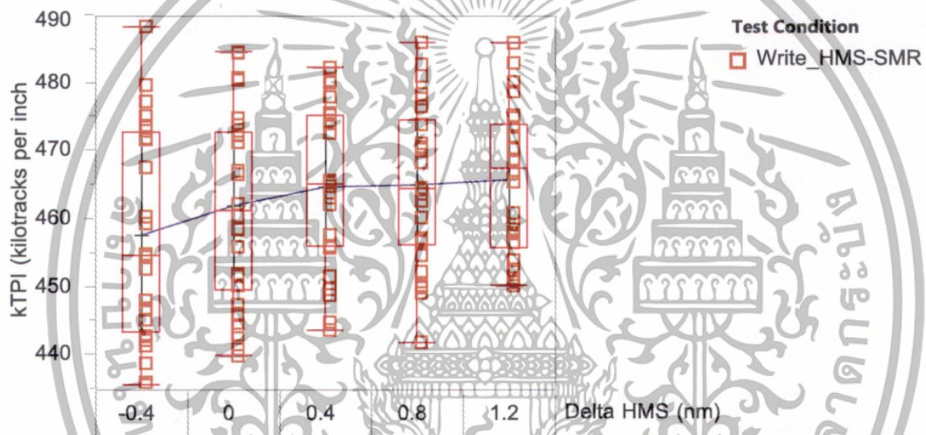


รูปที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยของ BER ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Write_HMS-SMR

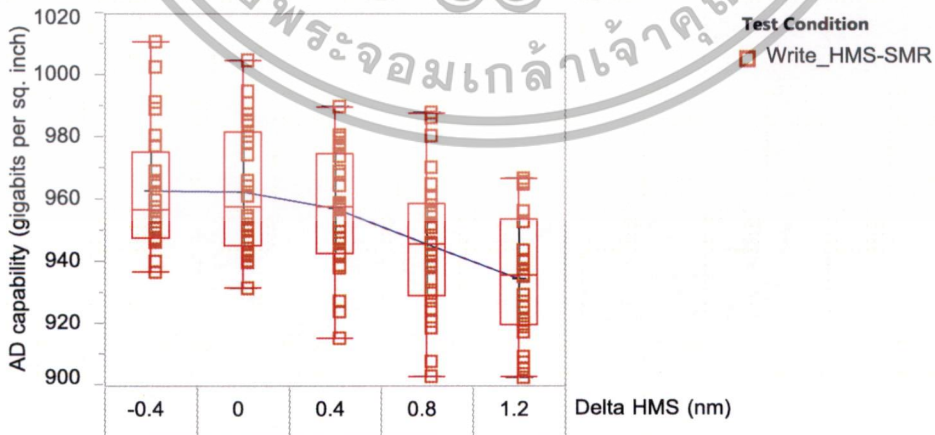
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 ค่าเฉลี่ยของ BPI ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Write_HMS-SMR



รูปที่ 4.26 ค่าเฉลี่ยของ TPI ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Write_HMS-SMR



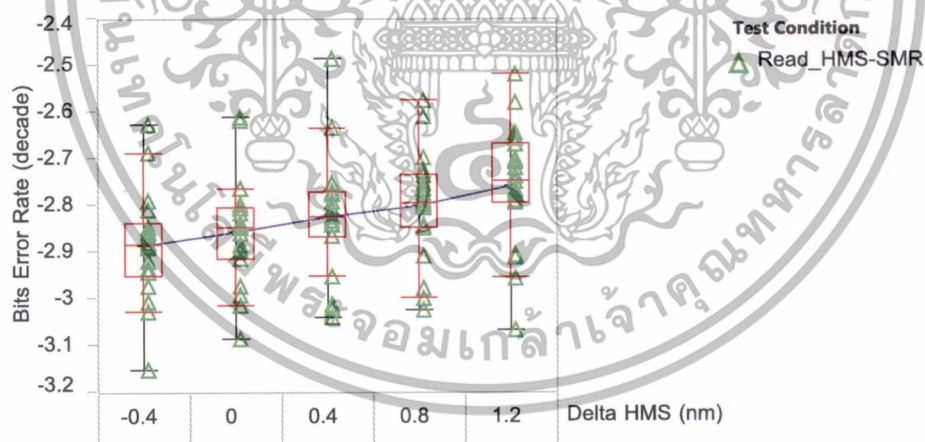
รูปที่ 4.27 ค่าเฉลี่ยของ ADC ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Write_HMS-SMR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้การวัดผลในรูปแบบของความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ที่วัดจาก Read_HMS-SMR

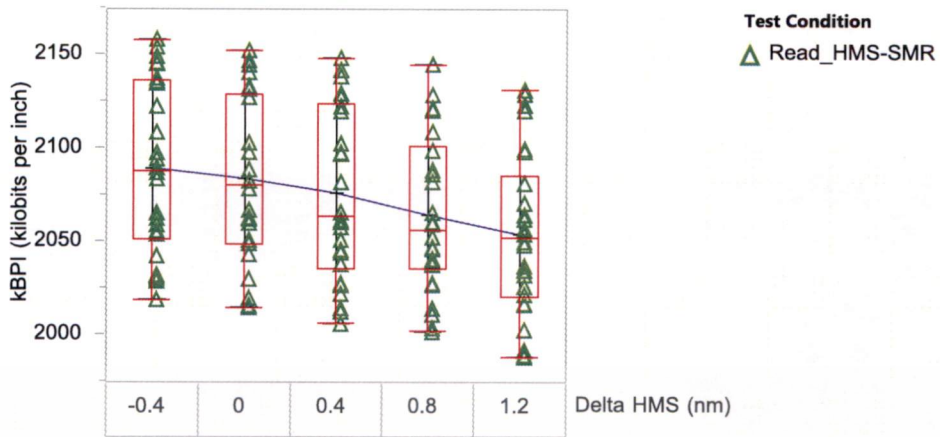
	ระยะของการยัดตัวเทียบ จากระยะอ้างอิง (nm)		ผลการวัดผ่านพารามิเตอร์ (ค่าเฉลี่ย)			
	Delta Write_HMS	Delta Read_HMS	BER (decade)	BPI (kBPI)	TPI (kTPI)	ADC (Gb/in ²)
Read_HMS-SMR	0	1.2	-2.74	2054.41	457.00	938.87
	0	0.8	-2.78	264.90	457.96	945.64
	0	0.4	-2.8	2076.58	458.81	952.76
	0	0	-2.83	284.37	458.94	956.60
	0	-0.4	-2.86	2089.79	462.05	965.59

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้การวัดผลในรูปแบบของความหนาแน่นของข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่วัดจากทดลองแบบ Write_HMS-SMR และนำมาพล็อตแยกโดยเทียบให้เห็นผลผลของแต่ละพารามิเตอร์ที่เกิดจากผลตอบสนองของ HMS ในแต่ละจุดตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ (รูปที่ 4.28-4.31)

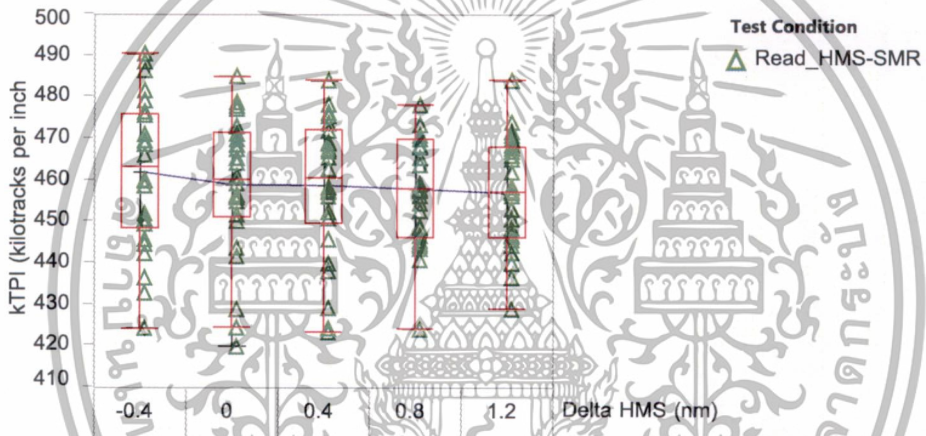


รูปที่ 4.28 ค่าเฉลี่ยของ BER ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Read_HMS-SMR

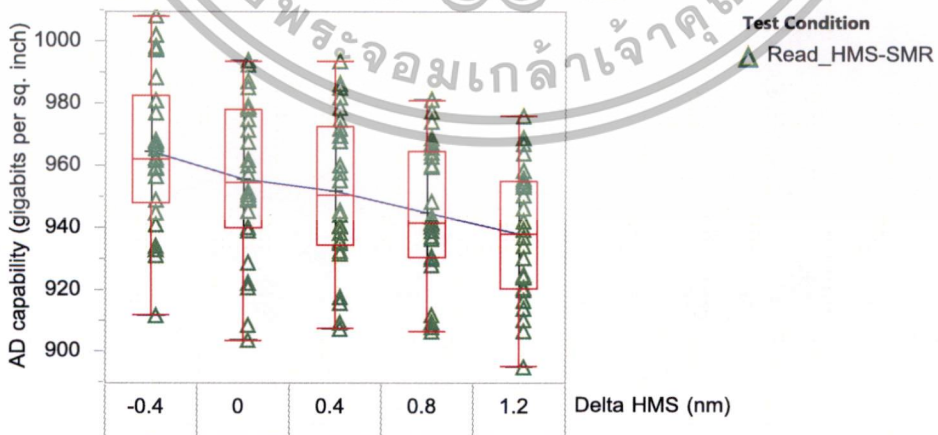
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 ค่าเฉลี่ยของ BPI ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Read_HMS-SMR



รูปที่ 4.30 ค่าเฉลี่ยของ TPI ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Read_HMS-SMR



รูปที่ 4.31 ค่าเฉลี่ยของ ADC ในแต่ละระยะ HMS จากการทดสอบ Read_HMS-SMR

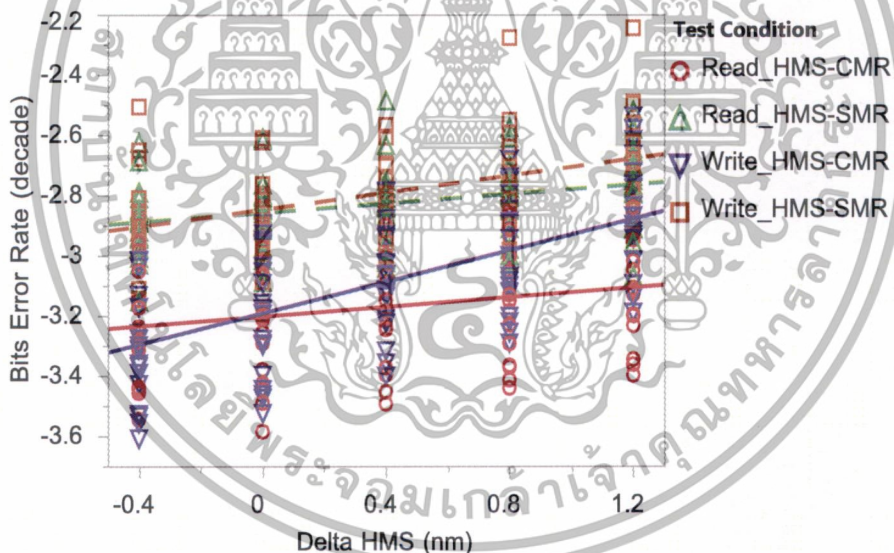
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 อัตราบิตผิดพลาด (BER)

สำหรับในระบบของการทดสอบวัดประสิทธิภาพของการบันทึกข้อมูลนั้น การวัดอัตราบิตผิดพลาด ถือว่าเป็นตัวชี้วัดระดับสูงที่สุดของประสิทธิภาพของระบบการบันทึกข้อมูล ซึ่งกระบวนการในการวัดอัตราบิตผิดพลาดของบิตนั้น จะเริ่มจากการเขียนข้อมูลในรูปแบบๆหนึ่งซึ่งเรากำหนดได้ แต่จะถูกเขียนลงไปบนแผ่นบันทึกข้อมูลในแบบสุ่มลำดับการเขียน จากนั้นจะทำการอ่านข้อมูลที่ถูกรับเขียนไว้กลับมาและบิตของข้อมูลจากการเขียนและการอ่านกลับจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับกันเพื่อดูว่ามีการผิดพลาดของบิตหรือไม่และนำมาคิดเป็นอัตราส่วนความผิดพลาดของบิตต่อไป ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$BER = \text{Log}\left(\frac{\# \text{ error detected} + 0.67}{\text{total} \# \text{ bits passed}}\right) \quad (4.3)$$

และในการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของ HMS ในกระบวนการบันทึกข้อมูลนี้ ได้นำการวัดอัตราบิตผิดพลาดของบิตมาใช้ในการวัดประสิทธิภาพดังกล่าวด้วย ซึ่งจะใช้การวัด อัตราบิตผิดพลาด โดยที่ไม่มีการแก้ไขผิดพลาดของบิตที่ในกระบวนการถอดรหัสจากข้อมูลที่ได้จากการอ่านกลับมา



รูปที่ 4.32 ผลเปรียบเทียบของ BER เมื่อมีการปรับระยะ HMS บนการทดลองที่มีการเขียนแทร็กแบบ CMR เทียบกับ SMR

Read_HMS-CMR ผลที่ได้ BER (decade) = $-3.20 + 0.08 \times \text{Delta HMS (nm)}$

Write_HMS-CMR ผลที่ได้ BER (decade) = $-3.19 + 0.26 \times \text{Delta HMS (nm)}$

Read_HMS-SMR ผลที่ได้ BER (decade) = $-2.86 + 0.08 \times \text{Delta HMS (nm)}$

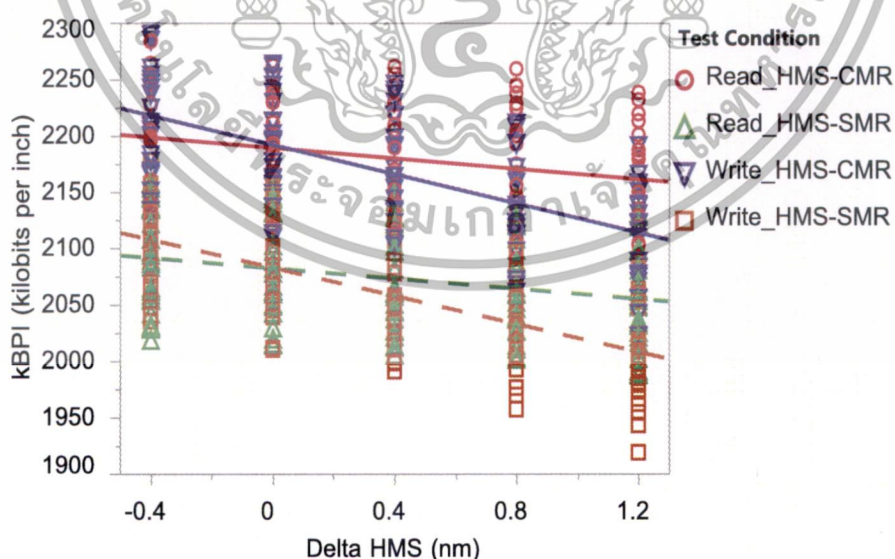
Write_HMS-SMR ผลที่ได้ BER (decade) = $-2.85 + 0.14 \times \text{Delta HMS (nm)}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.32 จะเห็นว่าอัตราการผิดพลาดของบิตในการทดลองแบบ Read_HMS นั้นมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อหัวอ่านเข้าใกล้มีแผ่นบันทึกมากขึ้นขณะทำการอ่านข้อมูล โดยมีค่าความเปลี่ยนแปลงในทางที่ให้อัตราผิดพลาดต่ำลงที่ 0.08 decade และ 0.08 decade สำหรับการทดลองบน SMR และ CMR ตามลำดับ ขณะที่ในส่วนของการทดลองแบบ Write_HMS นั้น จะให้ผลตอบสนองที่สูงกว่าคือ 0.14 decade และ 0.26 decade สำหรับการทดลองบน SMR และ CMR ตามลำดับ โดยผลทั้งหมดเป็นการเปรียบเทียบต่อการปรับลดระยะ HMS ลง 1 นาโนเมตร ซึ่งปัจจัยหลักคือ HMS ที่ลดลงในกระบวนการเขียนจะสามารถเพิ่มความแรงของสนามแม่เหล็กขณะเขียนได้สูงขึ้นทำให้ข้อมูลเขียนได้ดีขึ้น ดังนั้นเมื่อทำการอ่านกลับจึงทำให้เกิดข้อผิดพลาดของบิตน้อยลง

4.3.2 ความหนาแน่นของบิตต่อนิ้ว (BPI)

ในการทดลองนี้ ผลของ BPI นั้นจะถูกวัดออกมาในหน่วยของกิโลบิตต่อนิ้ว (kBPI) ซึ่งเป็นการวัดความหนาแน่นของบิตต่อความยาวหนึ่งนิ้วในแนวตรมแทริก (ดูคำอธิบายในหัวข้อ 2.8.4) ซึ่งในกระบวนการวัดนั้น จะใช้หลักการในการเพิ่มความยาวของบิตข้อมูล (การปรับอัตราส่งผ่านข้อมูล: Data Rate) ในการเขียนข้อมูล และทำการวัดผลจากการปรับดังกล่าวผ่านประสิทธิภาพของอัตราผิดพลาดโดยจะค่อยๆ ปรับเป็นขั้นๆ และทำการวัดอัตราผิดพลาดจากการปรับแต่ละครั้ง เพื่อเลือกจุดที่มีอัตราส่งผ่านข้อมูลให้อัตราผิดพลาดตรงตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ หลังจากนั้นจะนำอัตราการส่งผ่านข้อมูลที่จุดดังกล่าวมาทำการคำนวณหาความยาวของบิต และนำมาคำนวณหาความหนาแน่นของบิตต่อหนึ่งนิ้วเป็นลำดับถัดไป



รูปที่ 4.33 ผลเปรียบเทียบของ BPI เมื่อมีการปรับระยะ HMS บนการทดลองที่มีการเขียนแทริกแบบ CMR เทียบกับ SMR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Read_HMS-CMR ผลที่ได้ kBPI (kilobits per inch) = $2189.69 - 23.17 \times \Delta \text{HMS (nm)}$

Write_HMS-CMR ผลที่ได้ kBPI (kilobits per inch) = $2192.53 - 64.84 \times \Delta \text{HMS (nm)}$

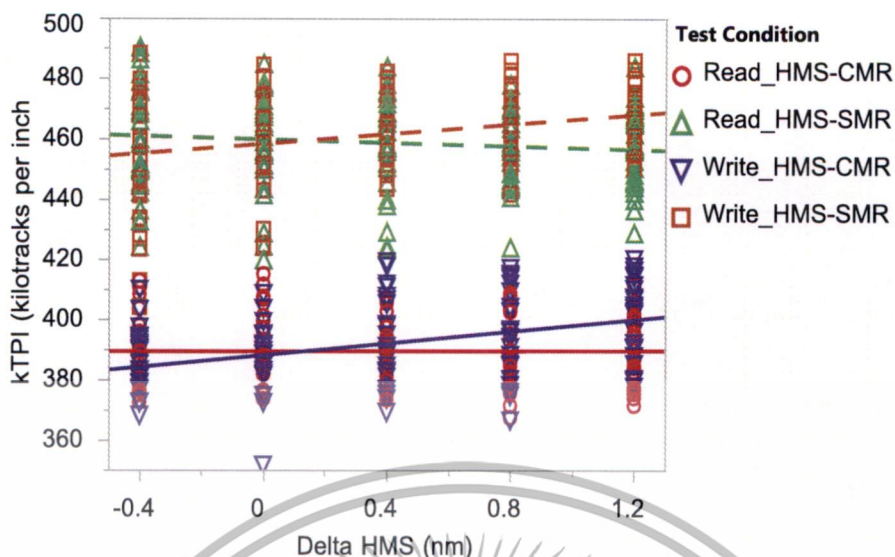
Read_HMS-SMR ผลที่ได้ kBPI (kilobits per inch) = $2083.04 - 22.56 \times \Delta \text{HMS (nm)}$

Write_HMS-SMR ผลที่ได้ kBPI (kilobits per inch) = $2083.32 - 62.14 \times \Delta \text{HMS (nm)}$

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.33 จะเห็นว่า HMS ของหัวเขียนขณะเขียนข้อมูลนั้นมีผลตอบสนองที่มากกว่า HMS ของหัวอ่านทั้งบน CMR และ SMR ต่างก็ให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งก็สอดคล้องกับผลของการวัดอัตราความผิดของบิตข้อมูลที่ชี้ให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการเขียนนั้นมีผลอย่างมากในกระบวนการบันทึกข้อมูล โดยผลจากการทดลองจะเห็นว่า ในส่วนของ Read_HMS-CMR และ Read_HMS-SMR มีความหนาแน่นของบิตข้อมูลเพิ่มขึ้น 23.17 kBPI และ 22.56 kBPI ต่อการลด HMS ของหัวอ่านลง 1 นาโนเมตรตามลำดับ แต่ในส่วนของ Write_HMS-CMR และ Write_HMS-SMR ให้ความหนาแน่นของบิตข้อมูลเพิ่มขึ้น 64.84 kBPI และ 62.14 kBPI ต่อการลด HMS ของหัวเขียนลง 1 นาโนเมตร ตามลำดับ และถ้าหากเปรียบเทียบผลระหว่างบน CMR และ SMR จะพบว่าบน CMR ให้ความหนาแน่นของบิตข้อมูลที่สูงกว่าเล็กน้อยจากประสิทธิภาพของอัตราบิตผิดพลาดที่ต่ำลงในการเขียนบนขนาดแทร็กที่กว้างกว่า โดยที่ CMR จะสูงกว่าประมาณ 0.6 kBPI สำหรับการปรับระยะของหัวอ่านลง 1 นาโนเมตร และ 2.7 kBPI สำหรับการปรับระยะของหัวเขียนลง 1 นาโนเมตร

4.3.3 ความหนาแน่นของแทร็กต่อนิ้ว (TPI)

ในการทดลองนี้ ผลของความหนาแน่นของแทร็กข้อมูลนั้นก็จะถูกวัดออกมาในหน่วยการวัดเป็นกิโลแทร็กต่อนิ้ว (kTPI) ซึ่งเป็นการวัดความหนาแน่นของแทร็กต่อความกว้างหนึ่งนิ้วในแนวตัดขวางกับแทร็ก ซึ่งการวัดจะเริ่มจากการเขียนแทร็กข้อมูลแล้ววัดค่าความกว้างของแทร็กและวัดค่าอัตราบิตผิดพลาดเพื่อเก็บเป็นค่าเริ่มต้น จากนั้นจะทำการลดขนาดแทร็กลงโดยการลดด้านข้างของแทร็กแล้วก็กลับมาวัดค่า BER ที่ตำแหน่งตรงกลางแทร็ก ซึ่งจะทำการวัดค่าดังกล่าวโดยจะขยับระยะในการลดด้านข้างของแทร็กเข้ามาทีละชั้นจนกระทั่งได้ค่าอัตราบิตผิดพลาดของแทร็กตามค่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ จากนั้นจะทำการคำนวณค่าความกว้างของแทร็กข้อมูลโดยใช้ค่าแทร็กเริ่มต้นลบด้วยระยะที่มีการลบแทร็กข้อมูลจากขอบสุดเข้ามาหาตรงกลางแทร็กและเมื่อได้ความกว้างของแทร็กที่ตำแหน่งที่มีอัตราบิตผิดพลาดตรงตามเกณฑ์แล้วก็จะนำไปคำนวณหาความหนาแน่นของแทร็กต่อความกว้างหนึ่งนิ้วต่อไป



รูปที่ 4.34 ผลเปรียบเทียบของ TPI เมื่อมีการปรับระยะ HMS บนการทดลองที่มีการเขียนแทร็กแบบ CMR เทียบกับ SMR

Read_HMS-CMR ผลที่ได้ kTPI (kilotracks per inch) = $389.56 + 0.12 \times \text{Delta_HMS (nm)}$

Write_HMS-CMR ผลที่ได้ kTPI (kilotracks per inch) = $388.32 + 9.85 \times \text{Delta_HMS (nm)}$

Read_HMS-SMR ผลที่ได้ kTPI (kilotracks per inch) = $460.06 - 2.77 \times \text{Delta_HMS (nm)}$

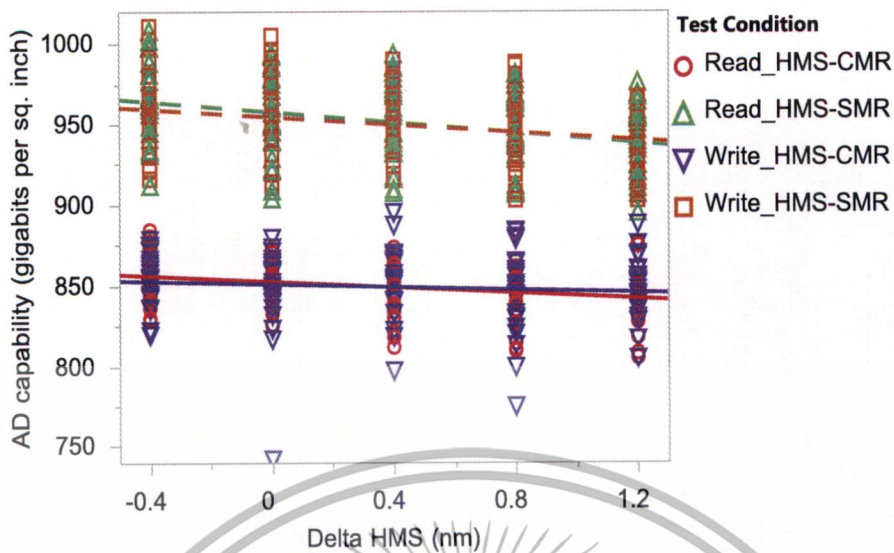
Write_HMS-SMR ผลที่ได้ kTPI (kilotracks per inch) = $458.52 + 7.97 \times \text{Delta_HMS (nm)}$

ผลจากการทดลองในรูปที่ 4.34 ในส่วนของ Read_HMS นั้น มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยผลจากการลดระยะหัวอ่านลง 1 นาโนเมตรนั้น Read_HMS-CMR มีการเปลี่ยนแปลงลดลงประมาณ 0.12 kTPI ส่วน Read_HMS-SMR มีการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นประมาณ 2.77 kTPI แต่ในส่วนของผลตอบสนองของ Write_HMS เมื่อมีการลดระยะ HMS ลงทุกๆ 1 นาโนเมตรนั้นให้ผลไปในทิศทางเดียวกันคือ ให้ความหนาแน่นของแทร็กข้อมูลต่ำลง โดย Write_HMS-CMR ต่ำลง 9.85 kTPI และ Write_HMS-SMR ต่ำลง 7.97 kTPI ซึ่งถือเป็นตัวเลขที่ค่อนข้างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากขนาดของแทร็กที่กว้างขึ้นเนื่องจากสนามแม่เหล็กจากหัวเขียนขณะเขียนข้อมูลลงบนแผ่นบันทึกมีความแรงมากขึ้นเมื่อหัวเขียนอยู่ใกล้แผ่นบันทึกมากขึ้น

4.3.4 ความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ (ADC)

จากสมการที่ 2.2 เป็นการนำเสนอถึงวิธีในการคำนวณหาความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ ที่ทำได้จากผลคูณระหว่างความหนาแน่นของแทร็กต่อหนึ่งนิ้วและความหนาแน่นของบิตต่อหนึ่งนิ้ว ซึ่งในผลการทดลองนี้จะแสดงผลดังกล่าวจากการทดลองที่อ้างอิงสมการดังกล่าวในการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 ผลเปรียบเทียบของ ADC เมื่อมีการปรับระยะ HMS บนการทดลองที่มีการเขียน แทร็กแบบ CMR เทียบกับ SMR

Read_HMS-CMR ผลที่ได้ AD capability (Gb/sq. inch) = $852.65 - 8.79 \times \text{Delta HMS (nm)}$

Write_HMS-CMR ผลที่ได้ AD capability (Gb/sq. inch) = $851.02 - 4.27 \times \text{Delta HMS (nm)}$

Read_HMS-SMR ผลที่ได้ AD capability (Gb/sq. inch) = $957.78 - 15.92 \times \text{Delta HMS (nm)}$

Write_HMS-SMR ผลที่ได้ AD capability (Gb/sq. inch) = $954.65 - 11.92 \times \text{Delta HMS (nm)}$

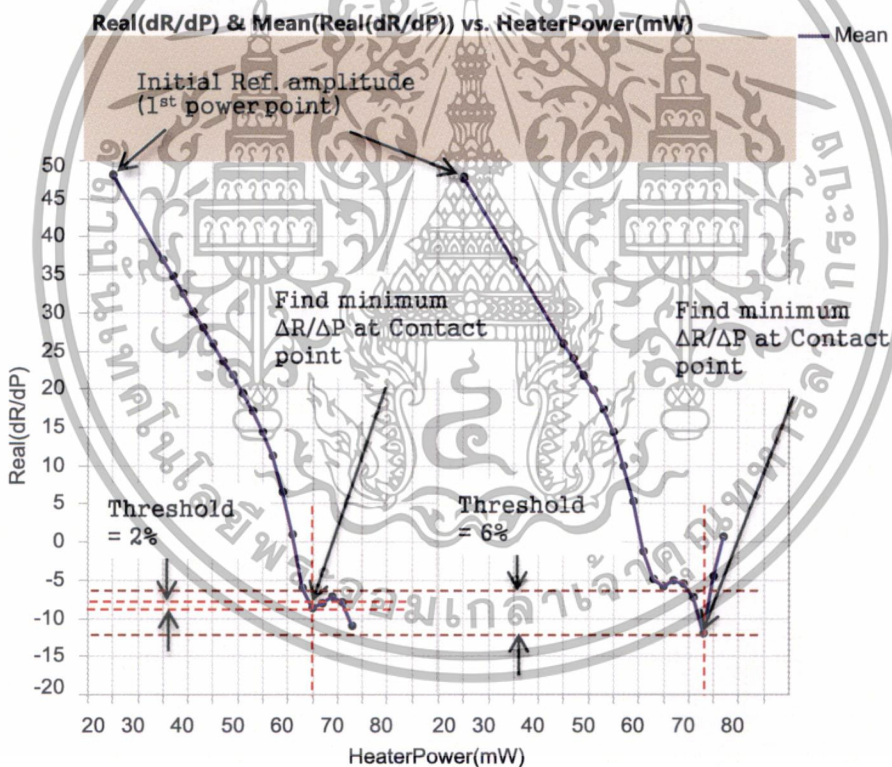
ในส่วนผลของความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่จากการทดลองดังที่แสดงในรูปที่ 4.35 นั้นจะเห็นว่า ผลตอบสนองต่อ HMS ของทั้งหัวเขียนและหัวอ่านให้ผลในทิศทางที่ช่วยทำให้ได้ความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่สูงขึ้นเมื่อระยะ HMS ลดต่ำลง โดยเฉพาะการทดลองบน SMR ที่ปรับสูงขึ้นเนื่องจากความหนาแน่นของแตร็กข้อมูลที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับ CMR แต่หากเทียบในส่วนของผลตอบสนองต่อ HMS แล้วนั้นก็เป็ผลต่อเนื่องมาจากผลของความหนาแน่นของบิตข้อมูลและความหนาแน่นของแตร็กข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยตรง โดย Read_HMS-CMR ให้ผลของความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่สูงขึ้น 8.79 Gbits/in^2 และ Read_HMS-SMR ให้ผลเพิ่มขึ้น 15.92 Gbits/in^2 ต่อการลดลงของระยะ HMS ของหัวอ่านทุกๆ 1 นาโนเมตร ในส่วนของ Write_HMS-CMR นั้นก็ให้ผลไปในทางเดียวกันคือ ความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่สูงขึ้น 4.27 Gbits/in^2 และ Write_HMS-SMR ให้ผลเพิ่มขึ้น 11.92 Gbits/in^2 ต่อการลดลงของระยะ HMS ของหัวเขียนทุกๆ 1 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพในการตรวจจับการสัมผัสแบบใช้ TCR sensor

สำหรับเงื่อนไขที่ใช้ในการพิจารณาจากจุดต่ำสุดของ $\Delta R/\Delta P$ ว่าจุดใดคือจุดที่เกิดการสัมผัสนั้น ยังมีรายละเอียดและเงื่อนไขปลีกย่อยเพื่อใช้ในการควบคุมการป้องกันพลังงานความร้อนในกระบวนการตรวจจับการสัมผัสรวมถึงเงื่อนไขในการพิจารณาอัตราความเปลี่ยนแปลงดังกล่าวด้วย ซึ่งผลจากการทดลองที่ได้ปรับเปลี่ยนเงื่อนไขในกระบวนการตรวจจับการสัมผัสแบบใช้ TCR sensor ให้ผลดังนี้

ผลจากการกำหนดเกณฑ์การเปลี่ยนแปลงของ $\Delta R/\Delta P$ เมื่อตรวจพบจุดต่ำสุด ซึ่งโดยปกติจะกำหนดเป็นจำนวนร้อยละของค่าแอมพลิจูดของจุดเริ่มต้น โดยจะใช้การวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงเทียบกับแบบจุดต่อจุด (ของการเพิ่มพลังงานความร้อน) ถ้ามีการตรวจสอบพบว่าเมื่อมีการเพิ่มพลังงานความร้อนแล้วจุดถัดไปให้ขนาดของแอมพลิจูดสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ให้ถือว่าจุดก่อนหน้านั้นเป็นจุดต่ำสุดและเป็นจุดที่เกิดการสัมผัส



รูปที่ 4.36 โปรไฟล์จากการวัดผล $\Delta R/\Delta P$ เมื่อปรับเปลี่ยนเกณฑ์ที่ใช้ในการชี้วัดจุดสัมผัส

จากรูปที่ 4.36 และตารางที่ 4.9 คือลักษณะของโปรไฟล์ของ $\Delta R/\Delta P$ และผลการวัดประสิทธิภาพการบันทึกข้อมูลจากการทำการบินที่ระยะเป้าหมายของงานตัวเดียวกันแต่มีการตรวจพบจุดที่เกิดการสัมผัสต่างกันเนื่องจากใช้เกณฑ์ในการกำหนดจุดต่ำสุดต่างกัน และจากผลการวัดประสิทธิภาพแสดงให้เห็นว่า การตรวจพบจุดที่เกิดการสัมผัสจากการวัดครั้งแรกโดยใช้เกณฑ์ที่ร้อยละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 นั้นจะใช้พลังงานความร้อนในการยึดตัวต่ำกว่าจุดที่ใช้เกณฑ์ที่ร้อยละ 6 (หลังมีการปรับเพิ่ม) ในการวัดครั้งที่ 2 นั้นหมายความว่าถ้าหัวบันทึกบินในระยะ PFH เดียวกันก่อนกระบวนการเขียนและอ่านข้อมูล เมื่อมีการป้อนพลังงานความร้อนเพื่อให้หัวบันทึกยึดตัวไปยังระยะบินเป้าหมายเดียวกัน (AFH) หัวบันทึกในการวัดครั้งแรกจะใช้ความร้อนเพื่อให้เกิดการยึดตัวต่ำกว่า ซึ่งอาจจะทำให้หัวบันทึกไม่อยู่ในระยะบินเป้าหมายจริง และเมื่อเทียบจากผลของพารามิเตอร์จากการวัดประสิทธิภาพการบันทึกผ่าน OVW และ BER นั้น ก็ชี้ให้เห็นว่าให้ประสิทธิภาพของทั้ง 2 พารามิเตอร์ที่แยกว่า

ตารางที่ 4.9 ผลเปรียบเทียบจากการทดลองปรับเงื่อนไขในกระบวนการตรวจจัดการสัมผัสแบบใช้

TCR sensor

Test Cycle	Threshold (%)	Contact Power (mW)	Active Fly Power (mW)	OVW (dB)	BER (decade)
1 st . test	2	66.15	24.29	29.11	-2.24
2 nd . test	6	73.27	33.44	32.99	-2.73

4.5 สรุป

ผลของการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลของผลตอบสนองของ HMS ที่มีต่อประสิทธิภาพของหัวเขียนและหัวอ่าน โดยใช้พารามิเตอร์ที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะสำหรับการวัดผลของการบันทึกข้อมูลแบบ CMR นั้น ชี้ให้เห็นถึงผลตอบสนองของระยะ HMS ของหัวเขียนที่วัดผ่านประสิทธิภาพการเขียนทับที่สามารถบอกได้อย่างชัดเจนถึงประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากการเขียนข้อมูลในระยะที่ใกล้กับแผ่นบันทึกมากขึ้นเมื่อเทียบกับการปรับ HMS ของหัวอ่านลงในแต่ละจุดของระยะ HMS เดียวกัน ในขณะที่ผลของการวัด ความกว้างของหัวอ่านทำให้เห็นถึงผลตอบสนองของ HMS ที่มีต่อหัวอ่านมีมากกว่าหัวเขียนได้อย่างชัดเจน ซึ่งค่าความกว้างของหัวอ่านที่ได้จากการวัดแคบลงเมื่อ HMS ขณะทำการอ่านของหัวอ่านลดต่ำลงซึ่งความกว้างของหัวอ่านนี้จะมีผลต่อการอ่านข้อมูลจากแตรีกข้างเคียงลดต่ำลงได้ และผลของ SNR ก็ชี้ให้เห็นว่า HMS ขณะทำการเขียนของหัวเขียนที่ลดต่ำลง สามารถเพิ่ม SNR ให้สูงขึ้นได้เนื่องจากประสิทธิภาพจากการเขียนที่เพิ่มขึ้นมีส่วนทำให้สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นระหว่างรอยต่อของบิตในขณะที่เขียนลดต่ำลง เมื่อเทียบระหว่างสัญญาณทั้งสองจึงทำให้ได้อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่สูงขึ้น

ในส่วนผลของการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลของผลตอบสนองของ HMS ที่มีต่อประสิทธิภาพของหัวเขียนและหัวอ่าน โดยใช้การวัดผลในรูปแบบของความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ของการบันทึกข้อมูลที่รูปแบบการเขียนแตรีกข้อมูลแบบ CMR และ SMR นั้น ผลจากการวัดความหนาแน่นของบิตข้อมูลที่ความหนาแน่นของแตรีกข้อมูล และความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ต่างกันให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน โดยสอดคล้องกับผลของการวัดอัตราความผิดของบิตข้อมูลที่ชี้ให้เห็นว่า HMS ที่ลดลงนั้นมีผลต่อประสิทธิภาพของการเขียนอย่างมากในกระบวนการบันทึกข้อมูลเมื่อเทียบกับผลตอบสนองของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HMS ต่อประสิทธิภาพของหัวอ่าน ในส่วนผลของความหนาแน่นของแตรีกข้อมูลนั้น ถึงแม้ว่าจะมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากขนาดของแตรีกที่กว้างขึ้นเมื่อ HMS ขณะเขียนต่ำลง แต่ก็สามารถชดเชยประสิทธิภาพในส่วนของอัตราความผิดของบิตข้อมูลและความหนาแน่นของบิตข้อมูลที่สูงขึ้นได้ ดังนั้นเมื่อนำมาคำนวณหาความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่แล้วจึงยังทำให้ได้ผลรวมของความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่เป็นไปในทิศทางที่สูงขึ้น

จากการทดลองในการตรวจจัดการสัมผัสแบบใช้ TCR sensor โดยการปรับเปลี่ยนเกณฑ์ในการกำหนดจุดที่เกิดการสัมผัสจากเกณฑ์ที่ร้อยละ 2 เป็นร้อยละ 6 สำหรับชุดประกอบหัวบันทึกบางชั้นที่เกิดความผิดพลาดในกระบวนการตรวจจัดการสัมผัสด้วยวิธีดังกล่าว เพื่อแก้ปัญหาในกรณีที่มีการตรวจพบจุดสัมผัสก่อนระยะสัมผัสจริง สามารถชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูลที่ดีขึ้นเมื่อตรวจพบจุดที่เกิดการสัมผัสได้อย่างถูกต้อง ซึ่งผลจากการวัดประสิทธิภาพก็สอดคล้องกับผลการทดลองจากการวัดผลตอบสนองของ HMS ที่มีต่อประสิทธิภาพการบันทึกข้อมูลก่อนหน้านี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาเทคนิคการตรวจจับการสัมผัสระหว่างหัวบันทึกกับดิสก์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันอย่างละเอียดและเน้นศึกษาถึงผลตอบสนองของระยะห่างของหัวบันทึกกับแผ่นบันทึกขณะทำการบันทึกข้อมูลที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการบันทึกข้อมูล โดยใช้การวัดประสิทธิภาพของการบันทึกผ่านพารามิเตอร์ที่มีคุณลักษณะเฉพาะที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตหัวบันทึกสำหรับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยใช้การวัดผลในรูปแบบของความหนาแน่นเชิงพื้นที่ข้อมูล ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้วัดผลแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพจากการเขียน การอ่านข้อมูลและสามารถชี้วัดประสิทธิภาพได้อย่างชัดเจน

จากวิธีการตรวจจับการสัมผัสที่ได้ทำการศึกษาและนำมาใช้ในการทดลองในงานวิจัยนี้ จะเป็นการตรวจจับการสัมผัสโดยใช้หลักการเหนี่ยวนำซึ่งทำให้เกิดการยืดและหดตัวด้วยความร้อนเพื่อที่จะสามารถควบคุมระยะห่างระหว่างหัวบันทึกกับสื่อบันทึกซึ่งประกอบด้วยส่วนหัวเขียนและหัวอ่านกับแผ่นบันทึกข้อมูลได้ โดยการใช้เทคนิคการให้ความร้อนผ่านขดลวดความร้อนที่วางตัวอยู่ใกล้กับส่วนหัวเขียนและหัวอ่านในหัวบันทึก เพื่อให้บริเวณดังกล่าวเกิดการยืดตัวไปยังระยะที่จะทำการเขียนหรืออ่านข้อมูลขณะทำการบันทึกหรือทำการอ่านข้อมูล

เมื่อพิจารณาในส่วนของผลจากการทดลองในงานวิจัยขั้นนี้ ซึ่งเน้นทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลตอบสนองของ HMS ต่อประสิทธิภาพในการเขียนและอ่านข้อมูลได้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของระยะห่างของทั้งหัวเขียนและหัวอ่านกับแผ่นบันทึกข้อมูลขณะทำการบันทึกข้อมูลที่มีต่อประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูล ดังนั้นการควบคุมการบิดที่แม่นยำขณะบันทึกข้อมูลเพื่อให้ได้ระยะ HMS หรือระยะการเขียนและอ่านที่ถูกต้องจึงมีความสำคัญอย่างมากในการทดสอบหัวบันทึกบนเครื่อง Spin-Stand และอาจรวมถึงในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วย ซึ่งระยะห่างดังกล่าวเองก็เป็นผลมาจากการตรวจจับการสัมผัสระหว่างหัวบันทึกกับแผ่นบันทึกซึ่งถือว่าเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในขั้นตอนเริ่มต้นของการทดสอบหัวบันทึกบนเครื่อง Spin-Stand โดยจะเห็นได้จากผลการทดลองทั้งสองที่ได้ทำการออกแบบ ทดลอง และวัดผลออกมาเพื่อให้เห็นประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูล โดยจากผลจากการศึกษาและทดลองดังกล่าวก็ทำให้สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1 หากกระบวนการตรวจจับการสัมผัสไม่ถูกต้องและแม่นยำในการวัดระยะบินเหนือแผ่นบันทึกขณะหมุนในสถานะที่ยังไม่มีการป้อนความร้อน ก็จะทำให้เกิดความผิดพลาดในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ป้อนกับระยะที่เกิดการยืดตัวของส่วนบันทึกข้อมูลของหัวบันทึก ดังนั้นเมื่อความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่ถูกต้อง การป้อนความร้อนเพื่อให้เกิดการยืดตัวของส่วนบันทึกข้อมูลไปยังระยะห่างเป้าหมายในการเขียนหรืออ่านข้อมูลขณะทำการบันทึกก็จะผิดพลาดตามไปด้วย โดยความผิดพลาดดังกล่าวนี้จะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพทั้งการเขียนและการอ่านข้อมูล นอกจากนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วอาจส่งผลกระทบรุนแรงถึงขั้นทำให้เกิดการชนของหัวบันทึกับแผ่นบันทึกจนเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงต่อทั้งหัวบันทึกและแผ่นบันทึกจนไม่สามารถใช้งานได้

2 จากผลการทดลองผลตอบสนองของระยะห่างของหัวบันทึกกับแผ่นบันทึกขณะทำการบันทึกข้อมูลมีผลต่อประสิทธิภาพของการบันทึกข้อมูล ซึ่งชี้ให้เห็นว่า HMS มีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูล โดยเฉพาะ HMS ขณะทำการเขียนของหัวเขียนซึ่งจะมีผลมากกว่า HMS ขณะอ่านข้อมูลของหัวอ่าน ซึ่งเป็นผลมาจากความแรงของสนามแม่เหล็กจากหัวเขียนที่เพิ่มขึ้น เมื่อทำการลดระยะ HMS ลง นอกจากนั้นแล้วผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่าผลตอบสนองของ HMS ที่มีรูปแบบการเขียนแตร็กข้อมูลแบบ CMR และ SMR ยังคงให้ผลการทดลองไปในแนวทางเดียวกัน คือ HMS ที่ลดลง ขณะทำการเขียนข้อมูลของหัวเขียนจะมีผลต่อ ประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูล มากกว่าการลด HMS ขณะอ่านข้อมูลของหัวอ่านลง นั้นหมายความว่า การเขียนแตร็กแบบ SMR นอกจากจะได้ TPI และ ADC เพิ่มขึ้นแล้ว ในส่วนประสิทธิภาพจากการวัดผลตอบสนองของ HMS โดยใช้กระบวนการและวิธีการวัดแบบเดียวกับ CMR ได้โดยที่ยังให้ผลไปในแนวทางเดียวกัน

ผลจากการทดลองโดยรวมจึงสรุปได้ว่า HMS ขณะทำการเขียนของหัวเขียน (Write_HMS) มีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูล โดย HMS ที่ผิดพลาดเพียง 1 นาโนเมตร (ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการควบคุม AFH ที่ผิดพลาด จากค่าความสัมพันธ์จาก H-IHP ในการควบคุมพลังงานความร้อนที่ทำให้เกิดการยืดตัวของหัวบันทึกที่ทำได้จากกระบวนการตรวจจับการสัมผัสที่ไม่แม่นยำ) นั้น มีผลต่ออัตราบิดผิดพลาดถึง 0.26 decade ซึ่งส่งผลกระทบต่อเนื่องถึงการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของจำนวนบิตต่อนิวประมาณ 64.84 kBPI นอกจากนั้นยังมีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของ SNR ประมาณ 0.45 dB อีกด้วย ซึ่งทั้งหมดถือว่าการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญสำหรับการวัดประสิทธิภาพที่มีรูปแบบการเขียนแตร็กแบบ CMR

3 การปรับปรุงประสิทธิภาพในการตรวจจับการสัมผัสแบบใช้ TCR sensor โดยการปรับเปลี่ยนเกณฑ์ในการกำหนดจุดที่เกิดการสัมผัสเพื่อแก้ปัญหการตรวจพบจุดสัมผัสก่อนระยะสัมผัสจริงนั้น สามารถชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูลที่ดีขึ้นเมื่อตรวจพบจุดที่เกิดการสัมผัสได้อย่างถูกต้อง ซึ่งผลจากการวัดประสิทธิภาพก็สอดคล้องกับผลการทดลองจากการวัดผลตอบสนองของ HMS ที่มีต่อประสิทธิภาพการบันทึกข้อมูลก่อนหน้านี้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ถึงแม้การทดลองในงานวิจัยชิ้นนี้จะชี้ให้เห็นถึงระยะ HMS ที่สามารถให้ค่าความหนาแน่นเชิงพื้นที่สูงขึ้นเมื่อทำการบันทึกข้อมูลในระยะที่ใกล้แผ่นบันทึกมากขึ้น แต่ในความเป็นจริงแล้วเรายังไม่สามารถตัดสินใจด้วยเงื่อนไขดังกล่าวสำหรับการใช้งานจริงของหัวบันทึกในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ทั้งนี้เนื่องจากมีอีกหลายปัจจัยที่ต้องพิจารณา ทั้งในเรื่องของความเสี่ยงที่อาจทำให้เกิดการชนกันจนทำให้หัวบันทึกหรือแผ่นบันทึกเกิดความเสียหายหากทำการบินขณะทำการบันทึกข้อมูลเป็นระยะเวลาหลายๆ รวมทั้งอาจจะส่งผลต่อแทรกข้างเคียงได้

อย่างไรก็ตาม กระบวนการและขั้นตอนในการทดลองที่ได้นำเสนอในงานวิจัยชิ้นนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือในการทดสอบประสิทธิภาพของหัวเขียนและหัวอ่านเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบหรือวัดผลในแง่ของการออกแบบที่มีความแตกต่างกันได้อีกด้วย ถึงแม้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของการออกแบบ ABS ของสไลเดอร์สำหรับเทคนิคการตรวจจับการสัมผัสด้วยวิธีนี้ กล่าวคือ หากชุดประกอบหัวบันทึกมีรูปแบบ ABS ต่างกันออกไป ก็จำเป็นต้องใช้การปรับละเอียดบางจุดเพื่อให้เหมาะสมกับแต่ละการออกแบบของ ABS ด้วย



เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, มองไปข้างหน้ากับอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์, เข้าถึงได้จาก [http://www.nstda.or.th/nac2012/download/Session%20Summary_26_306\(B\) HDD.doc](http://www.nstda.or.th/nac2012/download/Session%20Summary_26_306(B) HDD.doc) สืบค้นเมื่อ 13 สิงหาคม 2555
- [2] S. Nabavi, "Signal Processing for Bit-Patterned Media Channel with Inter-Track Interference," Ph.D thesis, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, USA, 2008.
- [3] Y. Ng, et al., "Picket-Shift Codes for Bit-Patterned Media Recording with Insertion/Deletion Errors," IEEE Trans. Magn., vol. 46, no. 6, pp. 2268–2271, Jun. 2010.
- [4] E. Grochowski. 2005. HDD Roadmap. [online]. Available: <http://www.hitachigst.com>
- [5] Shiroishi et al., "Future Options for HDD Storage," IEEE Trans. Magn., Vol. 45, pp. 3816, 2009.
- [6] T. Shiramatsu, M. Kurita, K. Miyake, M. Suk, S. Ohki, H. Tanaka, and S. Saegusa, "Development of HDD with Integration of Active Flying height Control Slider Using Micro Thermal Actuator," Trans. Jpn. Soc. Mech. Eng., Part C, vol. 72, pp. 1936–1942, 2006.
- [7] K. Miyake, T. Shiramatsu, M. Kurita, H. Tanaka, M. Suk, and S. Saegusa, "Optimized Design of Heaters for Flying Height Adjustment to Preserve Performance and Reliability," IEEE Trans. Magn., vol. 43, pp. 2235–2237, 2007.
- [8] Y. Tang, S. Y. Hong, N. Y. Kim, and X. Che, "Overview of Fly Height Control Applications in Perpendicular Magnetic Recording," IEEE Trans. Magn., vol. 43, no. 2, pp. 709-714, Feb. 2007.
- [9] H. Tanaka, S. Yonemura, and H. Tokisue, "Slider Dynamics During Continuous Contact with Textured and Smooth Disks in Ultra Low Flying Height," IEEE Trans. Magn., vol. 37, pp. 906–911, Mar. 2001.
- [10] A. Vakis, S. Lee, and A. Polycarpou, "Dynamic Head-Disk Interface Instabilities with Friction for Light Contact (surfing) Recording," IEEE Trans. Magn., vol. 45, pp. 4966–4971, 2009.
- [11] B. Liu, "Head Disk Interface Technology: Challenges and Approaches," JSME Int. J., ser. C, vol. 48, pp. 325–328, 2005.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] L. Su, "Active Control of Friction Between Head-Slider and Disk for Magnetic Memory Devices," Ph.D. dissertation, Tohoku University, Tohoku, Japan, 2002.
- [13] S. Canchi and B. Bogy, "Slider Dynamics in the Lubricant-Contact Regime," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 46, pp. 764–769, 2010.
- [14] Z. Deng, L. Su, E. Lam, and M. Kubota, "Observation of Head Touch Down Using AE sensor," in *Dig.Asia-Pacific Magnetic Recording Conf.*, p. BP-05, 2009.
- [15] L. Su et. al., "Tribological and Dynamic Study of Head Disk Interface at Sub-1-nm Clearance," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 47, no. 1, Jan 2011.
- [16] Yuki Shimizu, Junguo Xu, Hidekazu Kohira, Kenji Kuroki, and Kyosuke Ono, "Experimental Study on Slider Dynamics During Touchdown by Using Thermal Flying-Height Control," *Microsyst Technol*, p. 897–902, 2011.
- [17] Z. Mingsheng, B. Liu, Y. Shengkai, and O. Chun Lian, "Contact Warning by Monitoring Slider Harmonic Vibration in Head Disk Interface," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 49, no. 6, Jun. 2013.
- [18] L. Ning, M. Yonggang, and B. Bogy David, "Experimental Study of the Slider-Lube/Disk Contact State and its Effect on Head-Disk Interface Stability," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 48, no. 8, Aug. 2012.
- [19] B. Liu, "Head disk interface technology: Challenges and Approaches," *JSME Int. J.*, ser. C, vol. 48, pp. 325–328, 2005.
- [20] L. Su, "Active Control of Friction Between Head-Slider and Disk for Magnetic Memory Devices," Ph.D. dissertation, Tohoku University, Tohoku, Japan, 2002.
- [21] B. Uwe, L. Hui, A. de Callafon Raymond, E. Takle Frank "Dynamic Flying Height Adjustment in HDD Through Feedforward Control" *IEEE Trans. Magn.*, vol. 47, no.7, pp. 1823, Jun 2011.
- [22] E. Schultz Brian. 2007. Thermal Fly-height Control (TFC) Technology in Hitachi Hard Disk Drives. [online]. Available : www.hitachigst.com.
- [23] Liu et al., "Head-Medium Contact Detection Using Introduced Heat Oscillation" U.S patent no. US 8,638,349 B1, January 2014.
- [24] R. Wood, J. Miles, and T. Olson, "Recording technologies for terabit per square inch systems," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 38, no. 4, pp. 1711–1718, 2002.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [25] R. Wood, "The feasibility of magnetic recording at 1 Terabit per square inch," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 36, no. 1, pp. 36–42, 2000.
- [26] C. M. Mate, Q. Dai, R. N. Payne, B. E. Knigge, and P. Baumgart, "Will the numbers add up for sub-7-nm magnetic spacings Future metrology issues for disk drive lubricants, overcoats, and topographies," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 41, no. 2, pp. 626–631, 2005.
- [27] M. E. Schabes, "Micromagnetic Simulations for Terabit/in² Head/Media Systems," Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. 320, no. 22, pp. 2880–2884, 2008.
- [28] M. Mallary, A. Torabi, and M. Benakli, "One Terabit Per Square Inch Perpendicular Recording Conceptual Design," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 38, no. 4, pp. 1719–1724, 2002.
- [29] B. Marchon and T. Olson, "Magnetic Spacing Trends: from LMR to PMR and Beyond," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 45, no. 10, pp. 3608–3611, 2009.
- [30] J. Gui, "Tribology Challenges for Head-Disk Interface Toward 1 Tb/in²," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 39, no. 2, pp. 716–721, 2003.
- [31] R. L. Wallace, "The Reproduction of Magnetically Recorded Signals," Bell System Technical Journal, vol. 30, pp. 1145–1173, 1951.
- [32] B. Marchon, K. Saito, B. Wilson, and R. Wood, "The Limits of The Wallace Approximation for PMR Recording at High Areal Density," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 47, pp. 3422–3425, 2012.
- [33] M. H. Kryder, E. C. Gage, T. W. Mcdaniel et al., "Heat Assisted Magnetic Recording," Proceedings of the IEEE, vol. 96, no. 11, pp. 1810–1835, 2008.
- [34] B. C. Stipe, T. C. Strand, C. C. Poon et al., "Magnetic Recording at 1.5 Pbm-2 Using an Integrated Plasmonic Antenna," Nature Photonics, vol. 4, no. 7, pp. 484–488, 2010.
- [35] W. A. Challener, C. Peng, A. V. Itagi et al., "Heat-Assisted Magnetic Recording by a Near-Field Transducer with Efficient Optical Energy Transfer," Nature Photonics, vol. 3, pp. 220–224, 2009.
- [36] E. A. Dobisz, Z. Z. Bandić, T. W. Wu, and T. Albrecht, "Patterned Media : Nanofabrication Challenges of Future Disk Drives," Proceedings of the IEEE, vol. 96, no. 11, pp. 1836–1846, 2008.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [37] B. D. Terris, T. Thomson, and G. Hu, "Patterned Media for Future Magnetic Data," *Microsystem Technologies*, vol. 13, no. 2, pp. 189–196, 2007.
- [38] X. Yang, S. Xiao, W. Wu et al., "Challenges in 1 Teradot. 2 dot patterning using electron beam lithography for bit-patterned media," *Journal of Vacuum Science & Technology B*, vol. 25, no. 6, pp. 2202–2209, 2007.
- [39] A. Kikitsu, "Prospects for bit patterned media for high-density magnetic recording," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 321, no. 6, pp. 526–530, 2009.
- [40] E. Grochowski, "Future Technology Challenges for NAND Flash and HDD Products," *Flash Memory Summit*, 2012.
- [41] R. White, editor 1985. *Introduction to Magnetic Recording*. New York : IEEE Press.
- [42] Paul R. Potter. 2008. Hard Disk. [online]. Available : <https://th.wikipedia.org/wiki/ฮาร์ดดิสก์>
- [43] Hitachi Global Storage Technologies. 2005. Overview: Hitachi San Jose Research Center. [online]. Available : <http://www.hitachigst.com>
- [44] C. Puprichitkul, "Introduction to Recording Head Technology." in Siritratiwat A, compiler. *Recording Head Technology*. Khon Kaen: Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University. p. 1-34. 2002.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

- 1 P. Nhunork, C. Warisarn, and D. Tongsomporn, "A Study and Improvement of High Precision Contact Detection for High Areal Density Magnetic Recording," *Procedia Computer Science*, vol. 86, pp.168-171, 2016.
- 2 P. Nhunork, C. Warisarn, and D. Tongsomporn, "A Spin Stand Study of Head-to-Media Spacing Sensitivity for Shingled Magnetic Recording," in *Proc. of ICEIC 2017*, pp. 298-301, Phuket, Thailand, 11-14 January 2017,



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

Procedia Computer Science 86 (2016) 168 – 171

Procedia
Computer Science

2016 International Electrical Engineering Congress, IEECON2016, 2-4 March 2016, Chiang Mai, Thailand

An experiment study of head-to-media spacing sensitivity in ultra-high density magnetic recording systems

Pichet Nhunork^{a,b}, Chanon Warisarn^{a,*}, and Damrongsak Tongsoomporn^b

^aCollege of Data Storage Innovation, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
No. 1 Chalalongkrong Rd., Ladkrabang Bangkok 10520 Thailand

^bSeagate Technology (Thailand)
No. 1627 Moo 7, Teparuk Rd., Tambol Teparuk, Amphur Muang, Samutprakarn 10270 Thailand

Abstract

The decrease in flying height due to the higher recording areal density of hard disk drives (HDDs) has had a huge impact on data storage technology. The head protrusion that induced by ambient temperature can further reduce flying clearance by a few nanometers. However, the head-disk interface reliability should be also emphasized; since when the head flies too close to the media, the recording head may be burished. To investigate the head-to-media spacing sensitivity, we use the spin stand tester and analyze the sensitivity through the measurement of overwrite (OVW), micro-track profile (MTP), and signal-to-noise ratio (SNR). The experiment results imply the significant relationship between the OVW and the heater-induced writer protrusion (HIWP). Furthermore, we verify that the properly reduction of head-to-media spacing can also enhance the both of writability and readability.

© 2016 The Authors. Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Peer-review under responsibility of the Organizing Committee of IEECON2016

Keywords: Flying height, magnetic head slider, temperature-induced head protrusion (T-IHP), readability, writability

1. Introduction

Currently, the rapid growth of recording areal density of hard disk drives (HDDs) absolutely requires a reduction in the flying height of magnetic-head sliders (a spacing between head and disk), which is approximately 2 nm. At a

* Corresponding author. Tel.: +668-6887-1001, fax: +662-328-8263.
E-mail address: chanon.wa@kmitl.ac.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

very low head-disk clearance, variations of the flying height for a half nanometer have an influential effect on the magnetic recording performance [1-2]. Practically, the flying height variations can be produced from many parameters such as a tolerance stack-up in manufacturing processes, the head protrusion that induced by ambient temperature, and write current in the writing process. Due to the ambient temperature directly affects to the head-disk clearance; therefore, when the ambient temperature was varied, the clearance will be also changed. Moreover, the head-disk clearance alternation is due to temperature-induced head protrusion (T-IHP), which induced by differences in the rate of thermal expansion of head materials as explained in [1-2].

To achieve the accurately target head-media clearance during writing and reading processes, a slider that consists of a heater near the read/write elements should be adjustable to achieve the appropriate head-media clearance [3]. The head deformation can be induced with the heating from the heater, which can move the read/write elements closer to the media. It is called heater-induced head protrusion (H-IHP), which consists of heater-induced writer protrusion (H-IWP) that used for varying heater during write i.e., the read clearance target is fixed, and heater-induced reader protrusion (H-IRP) on during read i.e., the write clearance target is fixed. This protrusion can significantly improve the potentiality in both of writing and reading processes of the perpendicular magnetic recording (PMR) system, especially at high density recording.

In magnetic recording system; however, there is a tradeoff between read/write performance and head-disk interface reliability. If the head flies too close to the media, the recording head may be burnished. Then, the active fly-height (AFH) control and contact detection measurement needs to be highly accurate. In this study; therefore, we have investigated the sensitivity of head-to-media spacing to the electrical performance of recording subsystem using the spin stand tester through the measurement of overwrite (OVW), micro-track profile (MTP), and signal-to-noise ratio (SNR).

2. Experimental Setup

The spin stand tester is used for this studying. The samples are tunneling magneto-resistance (TMR) heads were selected for testing. It is important to note that the heads used in this experiment are built in a form of head gimbal assembly (HGA). The 20 TMR example heads was selected to study. Here, an inner diameter (ID) radius with 5400 rpm was used for measuring all parameters at spin stand tester, the skew angle was fixed at -13.5 degrees, and the linear velocity is 317 inches/s. The nominal linear density is 2036 kfc/in corresponding to an areal density of 750 Gbit/in². Then, a head-to-media spacing (HMS) versus applied heater power were measured using the spin stand tester. The testing results can lead to calculate a head protrusion rate (ΔHMS) and the head-media clearance without AFH. In this paper, we measure the head protrusion or H-IHP relied on Wallace spacing loss method with harmonic ratio technique given as

$$\Delta HMS = -\frac{v}{109.2 f_0} (\Delta dB_3 - \Delta dB_1), \quad (1)$$

here v is the velocity of the written track, f_0 is the fundamental frequency of the written signal, and ΔdB_1 and ΔdB_3 are the spectral amplitude of the 1st and 3rd harmonic, respectively [4].

In this experiment, we define head-media contact by using the off-track behavior observation. First, we determine the close proximity of head and media from the position error signal (PES). Then, the positive PES (PES_p) and negative PES (PES_N) are measured when the head began moving from its center track to the right or left for 25% of a track width, respectively. At a very small clearance between the head and media (i.e., the head almost contact with the media), the difference between the PES_p and PES_N , ΔPES , is defined as

$$\Delta PES = PES_p - PES_N, \quad (2)$$

which is significantly different because the head is off the track due to a sideways-contact force. When its difference is above the threshold, the head-media contact will be defined. In addition, the flying height of each individual head at zero heater power is determined from ΔHMS when the head contacts to the media. Finally, the electrical performance i.e., OVW, MTP, and SNR are measured at different HMS to calculate the HMS sensitivity in both during writing and reading processes, separately.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Results and Discussion

The overwrite test is one of the most important parameter for examining the writability of the writer head and recording media. The purpose of the overwrite test is to determine the amount of residual signal remaining from the previous write when new data is written over it [2]. In this experimental case, the medium properties are constant and only the head field is varied due to head protrusion. To investigate the dependence of the overwrite on head protrusion, a high frequency (HF) pattern with flux changes of 322.745 Mflux/s (or 161.3725 MHz) is written fully the track at certain heater power. Subsequently, the HF signal amplitude, V_o is read back through the narrow-band filter. After that, the data track is overwritten by low frequency (LF) pattern with flux changes of 49.65 Mflux/s (or 24.825 MHz). Then, the residual HF signal amplitude, V_r is read back through the narrow band filter. Therefore, the overwrite value can be defined as

$$OVW = 20 \log_{10}(V_o/V_r) \text{ in dB.} \tag{3}$$

Fig. 1 and Fig. 2 show the electrical performances of the OVW versus with the H-IWP and H-IRP, respectively. For the writing process, we can see that the OVW can improve for about 3.7 dB when the HMS was decreased by 1.6 nm, while the OVW can improve for only about 0.8 dB in reading process. That means the head protrusion during writing process is very sensitive to the recording performance and the lower flying can enhance both of writability and readability. The reason is when the head was protruded; the gap between the main pole and soft-underlayer is decreased, which the magnetic flux at the recording layer will be also increased. Therefore, it leads to have more efficient writing the LF pattern over the HF pattern. Microtrack test is a useful tool used for characterizing a sensitivity profile of the reader in PMR system. The test is based on duple-side balance trimming of the written track with a single tone and followed by a cross-track scan of the remaining track. Here, the trimming is repeated until the readback amplitude of the track is reduced to about 10% of its original value, which reported as the magnetic read width (MRW) value. Fig. 3 and Fig. 4 show the MRW versus the H-IWP and H-IRP, respectively.

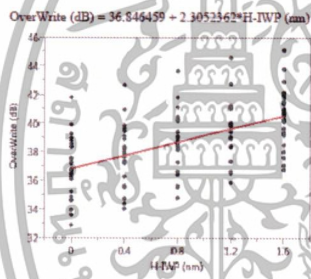


Fig. 1. Electrical performance of the OVW versus with the H-IWP.

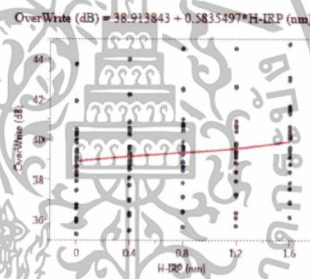


Fig. 2. Electrical performance of the OVW versus with the H-IRP.

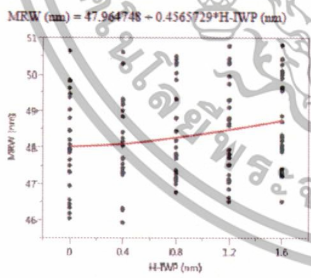


Fig. 3. Electrical performance of MRW versus with the H-IWP.

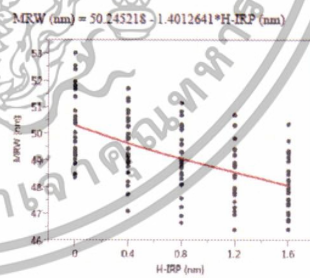


Fig. 4. Electrical performance of MRW versus with the H-IRP.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

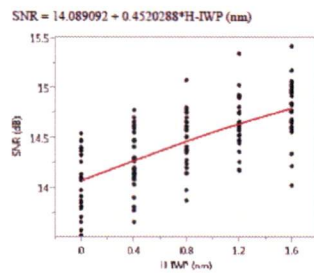


Fig. 5. Electrical performance of SNR versus with the H-IWP.

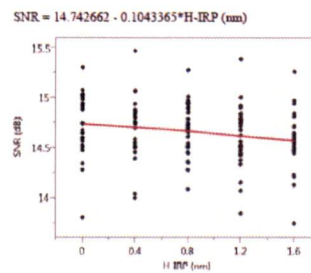


Fig. 6. Electrical performance of SNR versus with the H-IRP.

We found that the head protrusion during write and read has the MRW slopes of about 0.457 and -1.401, respectively. It implies that the reduction of head-media spacing during reading process much affects to MRW. That means if we need to reduce the adjacent track interference effect, the head-media spacing must be accordingly decreased with the head-to-media spacing sensitivity.

In this experiment, the SNR is calculated from the readback signal after the preamplifier. It is very important to note that this SNR is the total SNR, which are measured from the recording system. The experiment result indicates that the SNR can be improved for about 0.55 dB when the HMS was decreased by 1.6 nm for writing process as illustrated in Fig. 5. The reason may be because, when the writer head moves closer to media directly to have more efficient for writing, which also leads to the reduction of the transition noise. In addition, noise can also be decreased from writability to saturate the media. Although, we can obtain the higher readback signal power when the head was protruded during reading process; however, it concludes with a signal and noise power increasing at near equal rates. Therefore, the SNR should be constant for all HMS changing. It is clear that the SNR decreases just for about 0.1 dB when H-IRP was varied by 1.6 nm as shown in Fig. 6.

4. Conclusion

In this paper, we study the sensitivity of head-to-media spacing to the electrical performances of PMR using the spin stand tester through the measurement of overwrite (OVW), micro-track profile (MTP), and signal-to-noise ratio (SNR). The relation between the OVW and the heater-induced writer protrusion (H-IWP) implies that the head protrusion during writing process can improve the recording performance. In addition, the properly reduction of head-to-media spacing can increase the SNR and also enhance both of writability and readability.

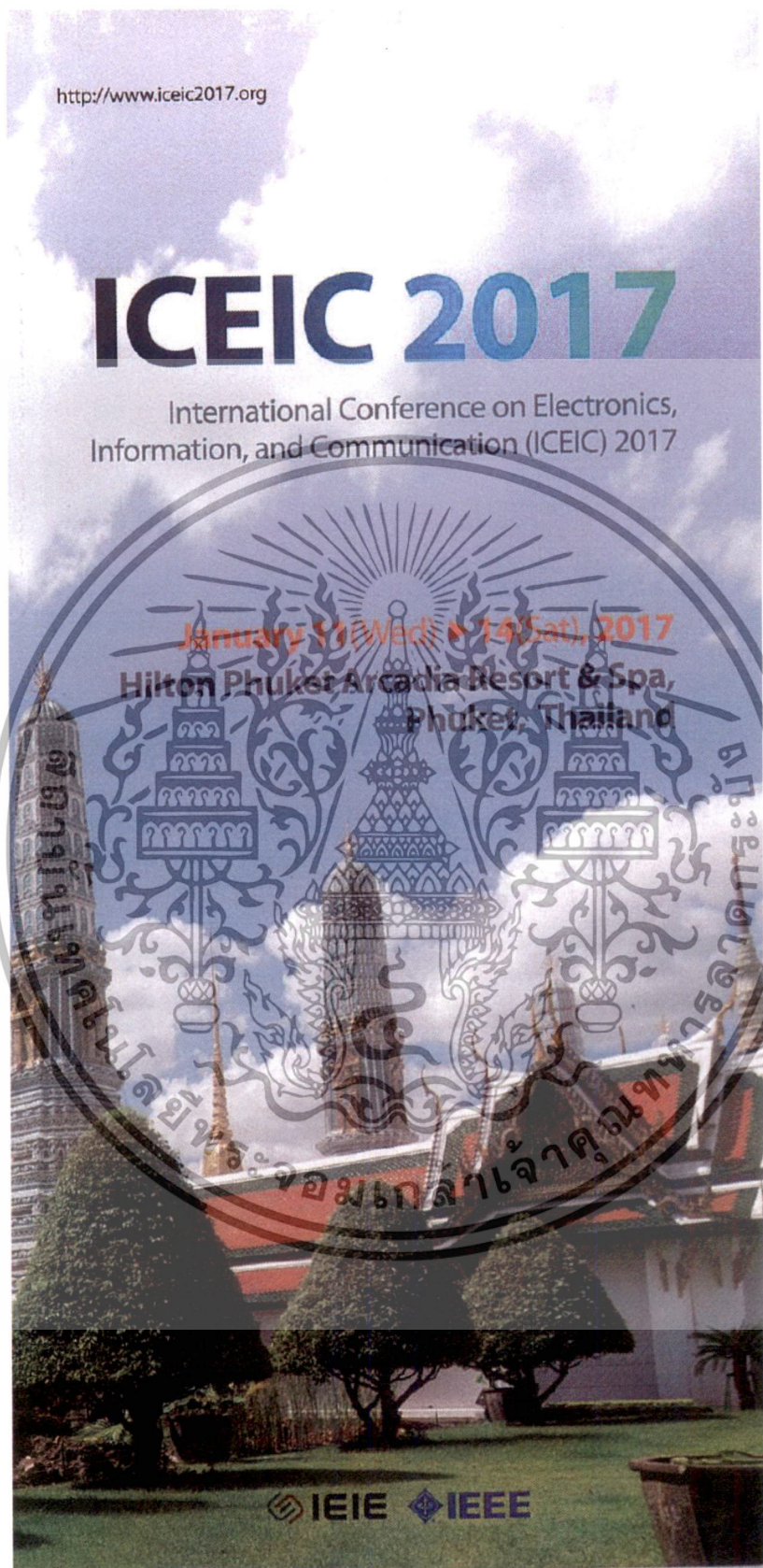
Acknowledgements

This work was supported by Thailand Research Fund (TRF), Research and Researcher for Industry (RRi) and Seagate Technology (Thailand) under grant number MSD57I0063.

References

1. K. Aoki, et al., "Thermal pole-tip protrusion analysis of magnetic heads for hard disk drives," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 41, no. 10, pp. 3043-3045, 2005.
2. D. Tongsoptom, et al., "An experimental study of head instabilities in TMR sensors for magnetic recording heads with adaptive flying height," *IEICE Trans. Electron.*, vol. E91-C, no. 12, pp. 1958-1965, 2008.
3. K. Miyake, et al., "Optimized design of heaters for flying height adjustment to preserve performance and reliability," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 43, no. 6, pp. 2235-2237, 2007.
4. Y. Li, "Write-induced pole-tip-protrusion and its effect on head-disk interface clearance," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 40, no. 4, pp. 3145-3147, 2004.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Implementing Lane Departure Warning System on Raspberry Pi	287
Winseng Chee ¹ , Phooi Yee Lau ¹ , and Sung-Kwon Park ² <i>Universiti Tunku Abdul Rahman, Malaysia¹, Hanyang University, Korea²</i>	
A PiFrame Home Automation in Action: Case Study on Distributed Access Control Solution	291
Pasd Putthapipat, Thanwarin Pisanprechatam, and Wanchat Chesdavanijikul <i>Assumption University, Thailand</i>	

S14 Systems and Control

Mixed-Mode Oscillation and MIMO-incrementing bifurcations in a forced Bonhoeffer-van der Pol Oscillator	296
Dai-ki Ogusu ¹ , Tetsuro Endo ¹ , Naohiko Inaba ¹ , and Kuniyasu Shimizu ² <i>Meiji University, Japan¹, Chiba Institute of Technology, Japan²</i>	
A Spin Stand Study of Head-to-Media Spacing Sensitivity for Shingled Magnetic Recording)	298
Pichet Niamork ¹ , Chanon Warisam ¹ , and Damrongsak Tongsomporn ¹ <i>King Mongkuan's Institute of Technology Ladkrabang (KMUTL), Thailand¹, Seagate Technology, Thailand²</i>	
A Valley-Fill Single-Stage Electrolytic Capacitorless AC-DC LED Driver	302
Xiangjie Chen ¹ , Weiyin Wang ¹ , and Hei Wong ^{1,2} <i>Zhejiang University, China¹, City University of Hong Kong, China²</i>	
Improvement of Magnetic Guidance System using 2-Axis Magnet Sensor Array	306
Sang-Ho Park, Hansol Kim, and Kwang-Ryul Beak <i>Pusan National University, Korea</i>	
1.5 GHz Sigma-delta Fractional-N Ring-based PLL Realized using 40 nm CMOS Technology for SoC Applications	310
Weiyin Wang, Xiangjie Chen, and Hei Wong <i>Zhejiang University, China</i>	
Design, Control & Performance Analysis of Baby Bot	314
: An Android & transmitter Controlled Multipurpose Robot Hasan U. Zaman ¹ , Sharmina Zaman ¹ , Baized ¹ , Chowdhury ¹ , Uddin ¹ , Ishaque ¹ , Tamim ¹ , S. M. Hasibul Hoq ² , Saad Akash ¹ , Saifullah Basher Shohel ¹ , Swapnil Sayan Saha ² , and Nazia Nawar Hassan ³ <i>North South University, Bangladesh¹, University of Dhaka, Bangladesh², Leading University, Bangladesh³</i>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Spin Stand Study of Head-to-Media Spacing Sensitivity for Shingled Magnetic Recording

Pichet Nhunork¹, Chanon Warisarn¹, Damrongsak Tongsonporm²

¹College of Advanced Manufacturing Innovation, KMITL, Bangkok-10520, Thailand

²Seagate Technology (Thailand), Samutprakarn – 10270 Thailand

57609009@kmitl.ac.th¹, chanon.wa@kmitl.ac.th¹, damrongsak.tongsonporm@seagate.com²

Abstract

Shingled magnetic recording (SMR) is a new hard drive technology that allows the tracks on a platter to be layered on top of each other, just like roof shingles on a house, to increase the platter density or tracks per inch (TPI), which leads to achieve the higher areal density (AD). At high AD, however, head-to-media spacing (HMS) must be investigated due to it directly affects to write and read performance in the writing and reading processes. Therefore, this paper presents the HMS sensitivity for both of conventional magnetic recording (CMR) and SMR on the spin stand tester. The experimental results indicate that the HMS characteristics of SMR have almost the same trend as for CMR, which reveals that shingled writing technique can be adopted to extend the AD of the currently magnetic recording technology.

Keywords: Shingled magnetic recording (SMR); Head-to-media spacing (HMS); Heater-induced head protrusion (H-IHP)

1. Introduction

Perpendicular magnetic recording (PMR) technology has been used for a decade and now is approaching its limitations due to the superparamagnetic effect [1]. Thus, the advanced recording technologies are needed for achieving the areal density (AD) beyond the current limit imposed by hard disk drive (HDD) design. Currently, conventional magnetic recording (CMR), shown schematically in Fig. 1(a), uses a track pitch that is sized to match the writer gap width such that tracks do not overlap, and the reader gap width is sized such that the signal from only one track is read. To increase the AD, shingled magnetic recording (SMR) was proposed [1]. SMR is one of a new HDD technology that allows the tracks on a magnetic disk to be layered on top of each other as shown schematically in Fig. 1(b) for increasing the tracks per inch (TPI), which lead to extend AD beyond 1 terabit per inch square (Tb/in^2).

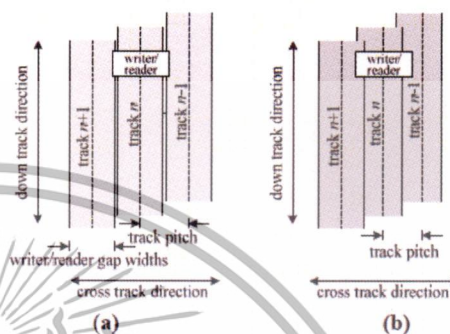


Fig. 1. Schematic of (a) conventional magnetic recording (CMR) and (b) shingled magnetic recording (SMR).

Generally, the overlapping track pitch (TP) can imply the performance of SMR, which also determines the AD capability [2]. As we know, one of the factors that affect the on-track performance on the high AD is head-to-media spacing (HMS), which directly affects to write and read performance in the writing and reading processes [3]. Therefore, the needs to improve the reliability of the head-disk interface (HDI) and to further decrease the HMS are becoming always critical [4-5]. Low HMS is a necessary enabler to good writability as well as strong readback signal integrity [6]. In this study, therefore, we have investigated the HMS sensitivity for both of CMR and SMR using the spin stand tester. Then, the HMS characteristics for both of them are analyzed and also compared through the bit-error rate (BER), kilo bit per inch (kBPI), kilo track per inch (kTPI), AD capability, and signal to noise ratio (SNR). The experimental results indicate that the HMS characteristics have almost the same trend as for CMR. Therefore, we can confirm that shingled writing technique can be adopted to extend the AD of the currently magnetic recording technology.

The rest of this paper is organized as follows. Section 2 briefly describes an experimental methodology. Experimental results and discussion are given in Section 3. Finally, Section 4 concludes this paper.

2. Experiment methodology

The spin stand tester is used for this studying. The disk and head are set in the spin stand tester, which consist of the spindle unit, the read/write unit, and a fly-height adjustment unit as shown in Fig. 2. The tunneling magneto-resistance (TMR) heads in a form of head gimbals assembly (HGA) are selected for this testing. All parameters of the spin stand tester are measured at an inner diameter (ID) radius with 5400 rpm, skew angle of -13.5 degrees and the linear velocity of 317 inches/s. The nominal track densities are 370 (fixed TP of 68.58 nm) and 485 (fixed TP of 52.58 nm) kTPI for CMR and SMR, respectively. The nominal linear density is 2036 of kilo flux change per inch (kFCI).

First, the spin stand tester is used to measure a HMS versus an applied heater power. The test result leads to the calculation of a head protrusion rate (ΔHMS) and the head-media clearance without the active fly-height (AFH). The head protrusion or heater-induced head protrusion (H-IHP) is relied on Wallace spacing loss method with harmonic ratio technique given as [7]

$$\Delta HMS = -\frac{v}{109.2 f_0} (\Delta dB_3 - \Delta dB_1) \quad (1)$$

where v is the velocity of the written track, f_0 is the fundamental frequency of the written signal, ΔdB_1 and ΔdB_3 are the spectral amplitude of the 1st and 3rd harmonics, respectively.

In this experiment, we separate the experiment into two different processes consisting of during write and during read processes. A test sequence is started with the during write process, which first fixes the read clearance at the ordinary position while the write clearance is varied by 0.4 nm until reach 1.6 nm protrusions as shown in Fig. 3(a). While, the during read process, the read head will be protruded with fix write clearance and instead varies read clearance as illustrated in Fig. 3(b).

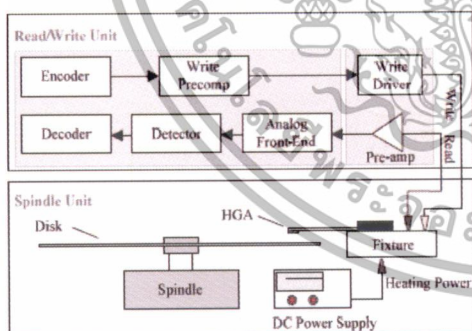


Fig. 2. The schematic view of apparatus on the spin stand tester, which consist of the spindle unit, the read/write unit, and a fly-height adjustment unit.

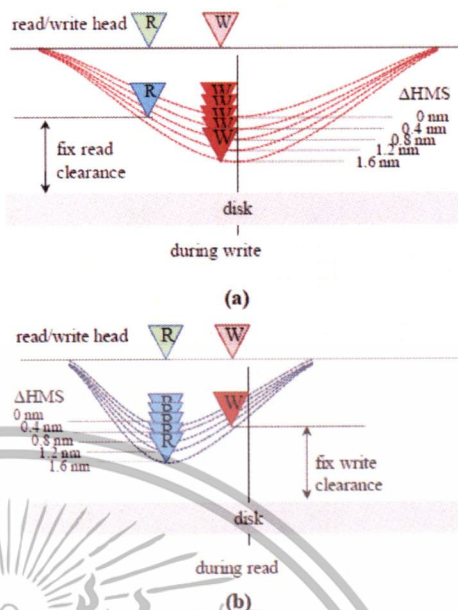


Fig. 3. The protrusion of recording head in (a) during write and (b) during read processes.

We define head-media contact by using the off-track behavior observation. We determine close proximity of head and media from the position error signal (PES). Here, the positive PES (PES_p) and negative PES (PES_n) are measured when the head began moving from its center track to the right or left for 25% of a track width, respectively. Then, the electrical performance i.e., BER, kBPI, kTPI, AD capability, and SNR are measured at the different HMS to calculate the HMS sensitivity in both during writing and reading processes, separately.

3. Result and discussion

As we have mentioned above, the spin stand tester is used for testing the characteristic of HMS sensitivity. The BER, kBPI, kTPI, AD capability, and SNR in CMR and SMR versus ΔHMS have been studied. Each of them can be explicitly described as follows.

A. BER

BER test provides the highest-level performance feedback from the recording system. The procedure for measuring BER is to write the data of a known pattern in random sequence onto the medium. Then, the data is readback from the written track. The number of error bits is given by comparing the readback data with the written data. In this work, we define the BER as $BER = \log_{10}(NE/NT)$, where NE and NT are the number of all detected error bits and the total number of written bits, respectively. Fig. 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

shows the BER performance of during write and during read processes. It is clear that the performance can be improved of about 0.26 decade for SMR when the HMS was decreased by 1.6 nm in the during write process. The reason is when the head was protruded, the gap between the main pole and soft-under layer will be decreased which lead to have more magnetic flux at the recording layer. Therefore, it also leads to have more efficient on writing data. While during read process, BER performance can be improved of about 0.12 decade. For CMR, the BER performance improvements are round 0.43 and 0.13 decade for during write and during read processes, respectively.

B. kBPI, kTPI, and AD Capability

AD is the measurement of data density given as $AD = kBPI \times kTPI$ in Gigabit per inch square (Gb/in^2). Therefore, the key factors of AD improvement are the increase of kTPI, kBPI, or both of them. Here, kBPI test starts from measuring the initial BER with the nominal data rate at single track. Next, we reduce the bit length by step increasing the data rate and repeat the write and read processes again until the BER reaches to the threshold. After that, we calculate back the data rate from this point to achieve the bit length or kBPI.

For the kTPI testing, we squeeze the adjacent tracks to the center track until the BER on the center track degrades to the threshold. Then, we pick the remaining of TP from this point to push the kTPI. Finally, kBPI and kTPI will be used for calculation to achieve the AD capability. This strategy is used for all heads and on each point of HMS, which stepped by 0.4 nm until reach 1.6 nm protrusions. In terms of sensitivity, Fig. 5 shows the increase of kBPI to the decrease of HMS for both of CMR and SMR. It shows that SMR yields for about 62.4 and 22.5 kBPI/nm during the writing and reading processes, respectively.

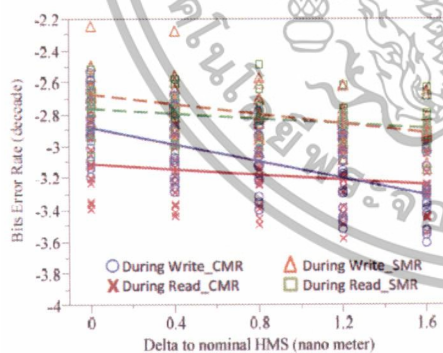


Fig. 4. Bit-error rate (BER) vs. Head-to-media spacing (HMS).

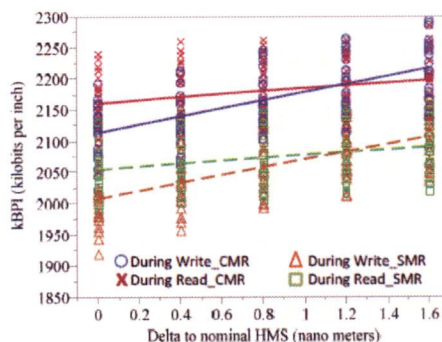


Fig. 5. Kilo bit per inch (kBPI) vs. Head-to-media spacing (HMS).

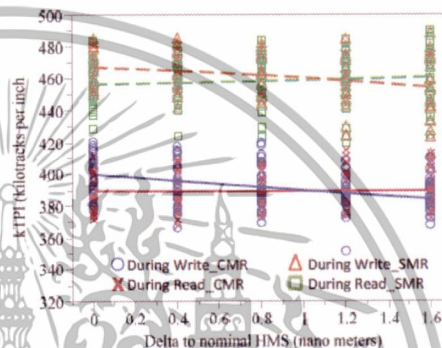


Fig. 6. Kilo track per inch (kTPI) vs. Head-to-media spacing (HMS).

Moreover, we found that CMR provides the higher kBPI more than SMR, due to the wider TP will provide more efficient on writing and reading, which leads to have lower BER. Therefore, the kBPI that measured based on BER performance has higher kBPI of about 108.13 kBPI over the SMR as shown in Fig. 5. However, if we consider the kBPI versus HMS in the terms of increasing relationship between CMR and SMR, the results give the similar increasing ratios for both of during writing and reading processes.

Fig. 6 illustrates the increase of kTPI versus the decrease of HMS for both of CMR and SMR. It shows that the SMR provides for about -8 and 2.77 kTPI/nm during the writing and reading processes, respectively. By the way, the wider TP on CMR is the cause of lower kTPI relative to SMR of about 69 kTPI for both of during the writing and reading processes.

In addition, we also illustrate the AD capability improvement of SMR over CMR as shown in Fig. 7. SMR provides for about 102 Gb/in^2 relative to CMR for both of during the writing and reading processes, which is driven by increasing the kTPI. This result can confirm that shingled writing technique can be adopted to extend the AD of the currently magnetic recording technology.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

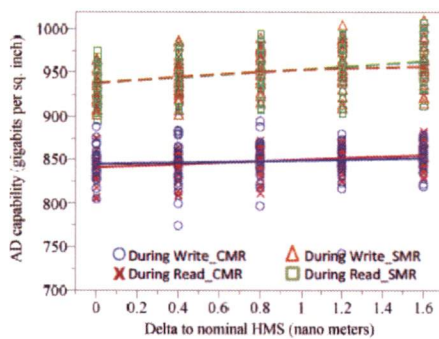


Fig. 7. Areal density (AD) capability vs. Head-to-media spacing (HMS).

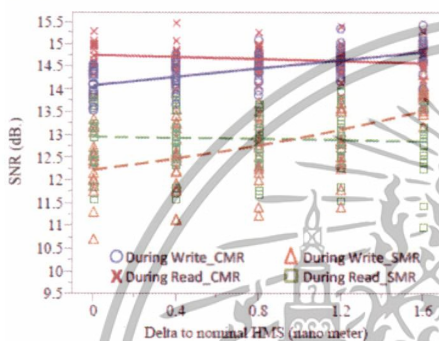


Fig. 8. Signal-to-noise ratio (SNR) vs. Head-to-media spacing (HMS).

C. SNR

In this experiment, the SNR is calculated from the readback signal after the preamplifier. It is very important to note that this SNR is the total SNR, which measured from the recording system. The experiment result indicates that the SNR on SMR can be improved for about 1.26 dB when the HMS was decreased by 1.6 nm for the writing process as illustrated in Fig. 8. The reason may be because when the writer head moves closer to media, which directs to have more efficient for writing and also leads to the reduction of the transition noise. In addition, noise can also be decreased from writability to saturate the media. Although, we can obtain the higher readback signal power when the head was protruded during the reading process; however, it is also mixed with a noise power in the same increasing rate of the power signal. Therefore, the SNR is almost constant for all HMS varying. It is clear that the SNR is loss just for about 0.13 dB when the read clearance was varied by 1.6 nm. If we consider in CMR, the result shows the improvement of about 0.77 and 0.21 dB during the writing and reading processes, respectively, as shown in Fig. 8.

5. Conclusion

HMS sensitivity for both of CMR and SMR are conducted on the spin stand tester. The experimental results indicate that the increases of BER performance, kBPI, kTPI, and AD capability have almost the same trend as for the conventional recording with the reduction of HMS. The results of BER also show that the write clearance has more sensitive to the decrease of HMS than the read clearance for both of CMR and SMR. We also found that the increase of kTPI from reduction the TP to be the narrower track on SMR results to improve the AD capability. Apparently, this spin stand study of HMS sensitivity reveals that shingled writing technique can be adopted to extend the AD of the currently magnetic recording technology.

Acknowledgment

This work was supported partly by College of Advanced Manufacturing Innovation, KMITL, and partly by the Thailand Research Fund (TRF), Research and Researcher for Industry (RRi), and Seagate Technology (Thailand) under grant number MSD5710063.

References

- [1] R. Wood, M. Williams, A. Kavcic, and J. Miles, "The feasibility of magnetic recording at 10 terabits per square inch on conventional media," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 45, no. 2, pp. 917-923, 2009.
- [2] H. Kiyono, O. Nakada, T. Mori, and T. Oike, "Single magnetic recording assessment with spinstand measurement" *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 324, pp. 321-326, 2012.
- [3] B. Marchon, T. Pitchford, Y. His, and S. Gangopadhyay, "The head-disk interface roadmap to an areal density of 4 Tbit/in²," *Advances in Tribology*, vol. 2013, article ID 521086, 3 pages.
- [4] C. M. Mate, Q. Dai, R. N. Payne, B. E. Knigge, and P. Baumgart, "Will the numbers add up for sub-7-nm magnetic spacings? Future metrology issues for disk drive lubricants, overcoats, and topographies," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 41, no. 2, pp. 626-631, 2005.
- [5] J. Gui, "Tribology challenges for head-disk interface toward 1 Tb/in²," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 39, no. 2, pp. 716-721, 2003.
- [6] B. Marchon, K. Saito, B. Wilson, and R. Wood, "The limits of the Wallace approximation for PMR recording at high areal density," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 47, pp. 3422-3425, 2012.
- [7] Y. Li, "Write-induced pole-tip-protrusion and its effect on head-disk interface clearance," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 40, no. 4, pp. 3145-3147, 2004.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายพิเชษฐ หนูนอก

วัน เดือน ปีเกิด 19 ตุลาคม 2521 ที่จังหวัดนครราชสีมา

ที่อยู่ 15/4 ซอย ปิ่นทอง ถนน เทศบาล38 ตำบล หนองสาหร่าย
อำเภอ ปากช่อง จังหวัด นครราชสีมา 30130 โทร.0-856-828-449

ประวัติการศึกษา 2551 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (เทคโนโลยี-
อิเล็กทรอนิกส์) มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

ประวัติการทำงาน 2543-ปัจจุบัน บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้