

พฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านชนิดฟิล์มบางมาก
ในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า

FLYING CHARACTERISTICS OF ULTRA THIN FILM HEAD SLIDERS
IN A MAGNETIC STORAGE SYSTEM

วดีพรรณ กั้นเนื่อง
WALEEPHAN GUNNUANG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-527-8

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

พฤติกรรมการณ์ลอยตัวของหัวอ่านชนิดฟิล์มบางมาก
ในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า

FLYING CHARACTERISTICS OF ULTRA THIN FILM HEAD SLIDERS
IN A MAGNETIC STORAGE SYSTEM



วดีพรรณ กันเนื่อง

WALEEPHAN GUNNUANG

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 49535
วัน, เดือน, ปี 24 ก.พ. 2547

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-527-8

**FLYING CHARACTERISTICS OF ULTRA THIN FILM HEAD SLIDERS
IN A MAGNETIC STORAGE SYSTEM**

WALEEPHAN GUNNUANG

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2003

ISBN 974-324-527-8

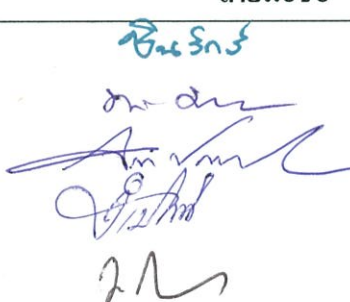
COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ พหุติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านชนิดฟิล์มบางมากในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า
FLYING CHARACTERISTICS OF ULTRA THIN FILM HEAD SLIDERS IN A MAGNETIC STORAGE SYSTEM
ชื่อนักศึกษา นางสาวลีพรรณ กันเนื่อง
รหัสประจำตัว 42062036
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชินรักษ์	เชียรพงษ์	
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงศ์	
ดร.จินดา	เจริญพรพาณิชย์	
ผศ.จำลอง	ปราบแก้ว	
รศ.ดร.มงคล	มงคลวงศ์โรจน์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 21 พฤษภาคม 2546 เวลา 10.30-12.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-404)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัทธู)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 29 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2546

หัวข้อวิทยานิพนธ์	พฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านชนิดฟิล์มบางมากในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า
นักศึกษา	นางสาววลีพรรณ กันเนื่อง
รหัสประจำตัว	42062036
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2546
อาจารย์ผู้ควบคุม	รศ. ดร. มงคล มงคลวงโรจน์

บทคัดย่อ

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์นี้เป็นการวิเคราะห์เชิงตัวเลขซึ่งใช้วิธีทางไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ในการแก้ลักษณะการลอยตัวในช่วงคงตัวและไม่คงตัวของหัวอ่านชนิดฟิล์มบางมากในอุปกรณ์การจัดเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งใช้สมการควบคุมเชิงปริมาตรของ สมการเรย์โนลด์ ผลการคำนวณเชิงตัวเลขที่ได้คือการกระจายของความดัน และ ความสูงที่ความเร็วต่าง ๆ ที่สภาวะคงตัว ในการจำลองทางไดนามิกที่ใช้สมการเรย์โนลด์ซึ่งมีตัวแปรเป็น 2 มิติ และสมการการเคลื่อนที่ของหัวอ่านที่มีการเคลื่อนที่อิสระสองทิศทางในการหา ซึ่งจะได้ค่าคงที่ของสปริง และสัมประสิทธิ์แดมปีง จากการคำนวณเชิงตัวเลข

Thesis Title	Flying Characteristics of Ultra Thin Film Head Sliders in a Magnetic Storage System
Student	Miss Waleephan Gunnuang
Student ID.	42062036
Degree	Master degree of Engineering
Programme	Mechanical Engineering
Year	2003
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Mongkol Mongkolwongrojn

ABSTRACT

In this thesis, the numerical scheme based on the finite difference is developed to simulate the transient and steady state flying characteristic of Ultra-Thin head slider in magnetic storage devices. The control volume formulation of the linearized generalized Reynold equation is utilized. The numerical calculation results are pressure distribution and flying height at varying disk speed at steady state conditions. In dynamic simulation, two dimensional Reynolds equation and equation of motion of the slider with two degree of freedom is formulated. The spring constant and damping coefficient are obtained numerically.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก ร.ศ ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ คุณพ่อ ส.อ.ประสิทธิ์ กันเนื่อง คุณแม่วาริ กันเนื่อง นายสามารถ กันเนื่อง นางเยาวภา อักษรดี และนางคณาพร ทือเกาะ ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และเป็นกำลังใจต่อผู้วิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆนักศึกษาทุกคนที่คอยช่วยเหลือให้คำแนะนำต่าง ๆ และขอขอบคุณบุคคลที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ซึ่งผู้วิจัยรู้สึกขอบคุณในกำลังใจนั้น

สุดท้ายขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยครั้งนี้

คุณค่า และประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วลีพรรณ กันเนื่อง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป	VIII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XIV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์.....	3
2.1 บทนำ	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.2.1 งานวิจัยภายในประเทศ	3
2.2.2 งานวิจัยในต่างประเทศ	3
บทที่ 3 ทฤษฎี.....	8
3.1 บทนำ.....	8
3.2 ระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า.....	8
3.3 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์.....	11

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3.1 คิสก์บันทึกข้อมูล	12
3.3.2 หัวอ่าน/เขียนของฮาร์ดดิสก์.....	12
3.3.2.1 หัวอ่านเฟอร์ไรท์	12
3.3.2.2 Metal in Gap Head.....	13
3.3.2.3 Thin Film Head.....	13
3.3.2.4 Magneto-Resistive Head.....	14
3.3.3 แขนที่ใช้ขับเคลื่อนหัวอ่าน.....	15
3.3.4 มอเตอร์ที่ใช้หมุน.....	15
3.3.4.1 สปินเดิลมอเตอร์	15
3.3.4.2 สปินเดิลกราวด์สแตป.....	16
3.3.5 แผงวงจรควบคุม.....	16
3.3.6 ระบบกรองอากาศ.....	17
3.3.7 เคเบิลกับคอนเนคเตอร์ หรือสายแพขนานเล็กเชื่อมจุดต่าง ๆ.....	17
3.3.8 กลไกที่ใช้ขับเคลื่อนหัวอ่าน (Head actuator Mechanism).....	18
3.3.8.1 สเตปเปอร์มอเตอร์.....	18
3.3.8.2 วอยซ์คอยล์แอกทูเอเตอร์.....	19
3.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	22
3.4.1 สมการเรย์โนลด์.....	24
3.4.2 สมการการเคลื่อนที่.....	25
บทที่ 4 การคำนวณวิเคราะห์เชิงตัวเลข.....	28
4.1 การคำนวณพฤติกรรมของหัวอ่าน.....	28
4.1.1 การคำนวณด้านสถิต.....	31
4.1.2 การคำนวณในด้านพลวัต.....	34
4.1.3 การคำนวณหาสัมประสิทธิ์สปริงและแดมป์ของหัวอ่าน.....	36

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข.....	38
5.1 ผลการคำนวณทางสถิติ.....	39
5.2 ผลการคำนวณทางพลวัต.....	46
บทที่ 6 บทสรุป.....	74
6.1 การคำนวณทางสถิติ.....	74
6.2 การคำนวณทางพลวัต.....	75
6.3 ข้อเสนอแนะ.....	76
เอกสารอ้างอิง.....	77
ภาคผนวก.....	81
ภาคผนวก ก. แสดงแผนผังโคอะแกรมของการคำนวณ.....	82
ภาคผนวก ข. ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์	85
ประวัติผู้เขียน.....	100

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1 แสดงขนาดและค่าต่างๆของหัวอ่านชนิด IBM 3380 ที่ใช้ในการคำนวณ.....	39

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 แสดงดิสก์ไดรฟ์คอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นโดยไอบีเอ็มในปีพ.ศ. 2508 ใน RAMAC ด้านขวาของรูปที่เห็นคือแผ่นจานจำนวน 50 แผ่นซึ่งตรงกลางของรูปคือ Pneumatically controlled access mechanism.....	9
3.2 แสดงการพัฒนาของระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าของไอบีเอ็มตั้งแต่ปีพ.ศ.2527 ถึงปัจจุบัน.....	9
3.3 แสดงการลดขนาดคือ 1.ลดทุกอย่างรวมทั้งขนาดโดยใช้เสกสแฟกเตอร์เท่ากับ s (ซึ่งต้องการการปรับปรุงกระบวนการผลิต) 2. ให้ระบบการบันทึกข้อมูลทำงาน ที่ค่าพื้นที่ความหนาแน่นสูงขึ้น(1/s) (ซึ่งต้องการการปรับปรุงดิสก์ หัวอ่าน และส่วนที่เป็นวัสดุไฟฟ้า)3.ให้อัตราส่วนของความคลาดเคลื่อนของสัญญาณรบกวน ลดน้อยลง.....	10
3.4 แสดงโครงสร้างภายในของฮาร์ดดิสก์.....	11
3.5 แสดงลักษณะของหัวอ่านแบบเฟอร์ไรท์.....	13
3.6 แสดงลักษณะของหัวฮาร์ดดิสก์แบบ Thin Film.....	14
3.7 ลักษณะของหัวฮาร์ดดิสก์ แบบ Magnetic Resistance.....	15
3.8 แสดงลักษณะของแขนกลที่ใช้ขับเคลื่อนหัวอ่าน.....	15
3.9 แสดงลักษณะของสปินเดิลมอเตอร์	16
3.10 แสดงลักษณะของแผงวงจรควบคุมที่ใช้ควบคุมการทำงานของฮาร์ดดิสก์.....	15
3.11 แสดงระบบกรองอากาศสำหรับฮาร์ดดิสก์แบบบารอเมตริก ฟิลเตอร์ (Barometric Filter)	17
3.12 แสดงลักษณะของคอนเนคเตอร์ของฮาร์ดดิสก์.....	18
3.13 แสดงลักษณะของเสตปเปอร์มอเตอร์.....	18
3.14 แสดงโครงสร้างการทำงานของ Voice Coil.....	19
3.15 แสดงกลไกการทำงานของแขนที่ขับเคลื่อนโดย Voice oil.....	20
3.16 แสดงส่วนประกอบของ HGA(Head Gimble Assembly) และหัวอ่าน.....	21
3.17 รูปแสดงขนาดสัญญาณแบบ ไร้มิติที่ส่งกลับระหว่างหัวอ่านและดิสก์.....	23
3.18 แสดงแกนและมิตติของ Slider bearing.....	24
3.19 แสดงพิกัดของหัวอ่านในขณะที่เคลื่อนที่.....	26

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 แสดงรูปร่างของหัวอ่านชนิด IBM 3380.....	28
4.2 แสดงการแบ่งปริมาตรควบคุมของกริด.....	29
4.3 แสดงการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สปริง.....	36
5.1 แสดงรูปร่างของหัวอ่านชนิด IBM 3380.....	38
5.2 แสดงการกระจายความดันบนพื้นผิวของหัวอ่านที่กึ่งกลางรางตามแนวความยาว ของหัวอ่านเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์.....	40
5.3 แสดงผลของความเร็วแผ่นดิสก์ที่มีต่อระยะการลอยตัวต่ำสุดหรือที่บริเวณขอบท้าย ของหัวอ่านเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์.....	41
5.4 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อเปลี่ยนแปลงความกว้างของรางเปรียบเทียบกับ ผลที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์.....	41
5.5 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อเปลี่ยนแปลงความยาวของส่วนราบเอียงของ รางหัวอ่านเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์.....	42
5.6 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของมุมหรือ ความชันของส่วนราบเอียงของหัวอ่าน เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์.....	43
5.7 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อเปลี่ยนแปลงตำแหน่งยึดจับหัวอ่าน เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์.....	44
5.8 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเมื่อเปลี่ยนแปลงที่กระทำบนหัวอ่าน เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์.....	44
5.9 แสดงความดันกระจายบนพื้นผิวของหัวอ่านที่ความเร็วของผิวดิสก์ 40 เมตรต่อวินาที....	45
5.10 แสดงผลของความดันกระจายที่กึ่งกลางของรางหัวอ่านตามแนวยาวเนื่องจาก การรักษาสมดุลตำแหน่งยึดจับหัวอ่านและแรงกระทำบนหัวอ่านเพื่อให้เกิด พฤติกรรมสถิตเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยน.....	45
5.11 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง $K_{//}$ และความถี่ในรูปไร้มิติของการคำนวณ เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์.....	46

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{22} และความถี่ในรูปไร้มิติของการคำนวณ เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์.....	47
5.13 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{12} และความถี่ในรูปไร้มิติของการคำนวณ เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์.....	47
5.14 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{21} และความถี่ในรูปไร้มิติของการคำนวณ เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์.....	48
5.15 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{11} และความถี่ในรูปไร้มิติของการคำนวณ เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์.....	48
5.16 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{22} และความถี่ในรูปไร้มิติของการคำนวณ เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์.....	49
5.17 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{12} และความถี่ในรูปไร้มิติของการคำนวณ เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์.....	49
5.18 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{21} และความถี่ในรูปไร้มิติของการคำนวณ เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์.....	50
5.19 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{11} และความถี่ในรูปไร้มิติ เมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด.....	52
5.20 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{22} และความถี่ในรูปไร้มิติ เมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด.....	52
5.21 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{12} และความถี่ในรูปไร้มิติ เมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด.....	53
5.22 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{21} และความถี่ในรูปไร้มิติ เมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด.....	53
5.23 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{11} และความถี่ในรูปไร้มิติ เมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด.....	54
5.24 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{22} และความถี่ในรูปไร้มิติ เมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด.....	54

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.45 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{12} และความถี่ในรูปไร้มิติ เมื่อเปลี่ยนความหนาของฟิล์มต่ำสุดของหัวอ่านชนิด IBM3380 และหัวอ่านชนิดที่มีขนาดที่เหมาะสม.....	66
5.46 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{21} และความถี่ในรูปไร้มิติ เมื่อเปลี่ยนความหนาของฟิล์มต่ำสุดของหัวอ่านชนิด IBM3380 และหัวอ่านชนิดที่มีขนาดที่เหมาะสม.....	66
5.47 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{11} และความถี่ในรูปไร้มิติ เมื่อเปลี่ยนความหนาของฟิล์มต่ำสุดของหัวอ่านชนิด IBM3380 และหัวอ่านชนิดที่มีขนาดที่เหมาะสม.....	67
5.48 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{22} และความถี่ในรูปไร้มิติ เมื่อเปลี่ยนความหนาของฟิล์มต่ำสุดของหัวอ่านชนิด IBM3380 และหัวอ่านชนิดที่มีขนาดที่เหมาะสม.....	67
5.49 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{12} และความถี่ในรูปไร้มิติ เมื่อเปลี่ยนความหนาของฟิล์มต่ำสุดของหัวอ่านชนิด IBM3380 และหัวอ่านชนิดที่มีขนาดที่เหมาะสม.....	68
5.50 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{21} และความถี่ในรูปไร้มิติ เมื่อเปลี่ยนความหนาของฟิล์มต่ำสุดของหัวอ่านชนิด IBM3380 และหัวอ่านชนิดที่มีขนาดที่เหมาะสม.....	68
5.51 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{11} และความถี่ในรูปไร้มิติ เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนของหัวอ่านชนิด IBM3380 เปรียบเทียบกับวิธีใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์.....	69
5.52 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{22} และความถี่ในรูปไร้มิติ เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนของหัวอ่านชนิด IBM3380 เปรียบเทียบกับวิธีใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์.....	70
5.53 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{12} และความถี่ในรูปไร้มิติ เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนของหัวอ่านชนิด IBM3380 เปรียบเทียบกับวิธีใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์.....	70

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.54 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{21} และความถี่ในรูปไร้มิติ เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนของหัวอ่านชนิด IBM3380 เปรียบเทียบกับวิธีใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์.....	71
5.55 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{11} และความถี่ในรูปไร้มิติ เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนของหัวอ่านชนิด IBM3380 เปรียบเทียบกับวิธีใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์	71
5.56 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{22} และความถี่ในรูปไร้มิติ เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนของหัวอ่านชนิด IBM3380 เปรียบเทียบกับวิธีใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์.....	72
5.57 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{12} และความถี่ในรูปไร้มิติ เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนของหัวอ่านชนิด IBM3380 เปรียบเทียบกับวิธีใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์.....	72
5.58 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{21} และความถี่ในรูปไร้มิติ เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนของหัวอ่านชนิด IBM3380 เปรียบเทียบกับวิธีใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์.....	73

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

B	ความกว้างรางของหัวอ่านหนึ่งราง (slider rail width)
C_z	สัมประสิทธิ์แดมป์ของการยึดจับหัวอ่านในแนวการเคลื่อนที่ขึ้นลงตั้งฉากกับหัวอ่านในรูปไร้มิติ (Normalized translation damping coefficient of suspension = $c_z h_a \omega_0 / p_a L B$)
C_θ	สัมประสิทธิ์แดมป์ของการยึดจับหัวอ่านในแนวการเคลื่อนที่หมุนรอบแกนตามขวางของหัวอ่านในรูปไร้มิติ (Normalized pitch torsional damping coefficient of suspension = $c_\theta h_a \omega_0 / p_a L B$)
f_0	แรงที่กระทำต่อหัวอ่าน
F_0	แรงที่กระทำต่อหัวอ่านในรูปไร้มิติ ($f_0 / p_a L B$)
g	ค่าคงที่ของแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravitational constant)
h_a	ค่าความหนาฟิล์มอ้างอิง (โดยปกติมีค่าเฉลี่ยความหนาฟิล์มต่ำสุด)
H	ค่าความหนาของฟิล์มอากาศในรูปไร้มิติ (h / h_a)
h_{LD}	ค่าความหนาของฟิล์มอากาศที่บริเวณขอบนำ (Leading edge spacing) หรือขอบด้านหน้าของหัวอ่าน
h_{TR}	ค่าความหนาของฟิล์มอากาศที่บริเวณขอบท้าย (Trailing edge spacing) หรือขอบด้านหลังของหัวอ่าน
I_θ	โมเมนต์ความเฉื่อยในการเคลื่อนที่ของหัวอ่านในแนวหมุนรอบแกนตามขวางของหัวอ่าน (Normalized slider moment of inertia about the pitch axis = $i_\theta h_a \omega_0^2 / p_a L^3 B$)
j	ค่าจำนวนจินตภาพ (Imaginary unit = $\sqrt{-1}$)
K_z	ค่าสัมประสิทธิ์สปริงของการกดยึดหัวอ่านในทิศการเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวที่ตั้งฉากกับแผ่นดิสก์ในรูปไร้มิติ ($k_z h_a / p_a L B$)
K_θ	ค่าสัมประสิทธิ์สปริงของการกดยึดหัวอ่านในทิศทางการเคลื่อนที่หมุนรอบแนวแกนตามขวางของแผ่นดิสก์ในรูปไร้มิติ ($k_\theta h_a / p_a L^3 B$)
K_n	ค่าเลขคูนเซนัมเบอร์ (Knudsen number) (λ_a / h_a)
L	ค่าความยาวของหัวอ่าน (Slider length)
L_{TP}	ระยะความยาวของส่วนราบเอียงในรูปไร้มิติ (Normalized taper length = L_{TP} / L)
m	น้ำหนักของหัวอ่าน
M_0	โมเมนต์เริ่มต้นของค้วจับยึด ($m_0 / p_a L^2 B$)

M_z	น้ำหนักของหัวอ่านในรูปแบบไร้มิติ ($mh_a \omega_0^2 / p_a LB$)
p_a	ความดันบรรยากาศ
P	ความดันฟิล์มอากาศในรูปแบบไร้มิติ (p / p_a)
Q	ตัวประกอบกรไหล (Poiseuille flow factor)
R	อัตราส่วนของความยาวของหัวอ่านและความกว้างของรางของหัวอ่าน (L / B)
s	ตัวแปรในการแปลงลาปลาซ (Laplace transform variable)
t_m	อุณหภูมิของแก๊ส
t	เวลา (time)
T	เวลาในรูปแบบไร้มิติ ($\omega_0 t$)
U	ความเร็วในการหมุนของดิสก์ (Velocity of disk = $r\omega_0$)
X_G	ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของหัวอ่านในรูปแบบไร้มิติ (Normalized location of the center of gravity = x_G / L)
X_{GS}	ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางมวลและจุดจับยึดหัวอ่านในรูปแบบไร้มิติ (Normalized distance between the center of gravity and support position = x_{GS} / L)
X_S	ระยะจับยึดของหัวอ่านในรูปแบบไร้มิติ (Normalized location of the support position = x_S / L)
X	ตัวแปรแนวแกน X ในรูปแบบไร้มิติ (Normalized spatial variables $X = x/L$)
Y	ตัวแปรแนวแกน Y ในรูปแบบไร้มิติ (Normalized spatial variables $Y = y/B$)
Z	ระยะการเคลื่อนที่ขึ้นลงของหัวอ่าน (z / h_a)
θ	มุมพิทช์ของหัวอ่านในรูปแบบไร้มิติ (Normalized pitch angle of slider = $\theta L / h_a$)
θ_{TP}	มุมเอียงของหัวอ่าน (Taper angle)
λ_a	ระยะเส้นทางการเคลื่อนที่อิสระโดยเฉลี่ยของโมเลกุลอากาศที่ความดันบรรยากาศ
A	ค่าตัวเลขการรองรับ (Bearing number) ($6\eta_a UL / p_a h_a^2$)
σ	ค่าตัวเลขการกดอัด (Squeeze number) ($12\eta_a \omega_0 L^2 / p_a h_a^2$)
η_a	ค่าความหนืดสมบูรณ์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ
ω_0	ค่าความถี่เหมาะสมของการเคลื่อนที่ของแผ่นดิสก์
Ω	ค่าความถี่แบบไร้มิติ (nondimensional angular frequency ω / ω_0)
nm	นาโนเมตร
mN	มิลลินิวตัน
um	ไมโครเมตร

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและปัญหา

เทคโนโลยีการสื่อสารและเก็บบันทึกข้อมูลมีการพัฒนาและมีบทบาทต่อการทำงานในปัจจุบัน ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของหัวอ่านในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์การทำงานเพื่อให้การเก็บข้อมูลมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ในการศึกษาถึงพฤติกรรมของหัวอ่านในระบบจัดเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าโดยวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขนั้นในประเทศไทยยังมีการศึกษาทางด้านนี้ไม่มากนัก ซึ่งการศึกษาวิจัยปัญหาที่นำมาเป็นการศึกษาโดยใช้สมการควบคุมเชิงปริมาตร โดยเปรียบเทียบกับหลักการที่มีอยู่เดิมซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาลักษณะการลอยตัวของหัวอ่านในสภาวะสถิตและในสภาวะพลวัตของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดฟิล์มบางมาก โดยใช้สมการควบคุมเชิงปริมาตร

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ในสมการเรย์โนลด์สแบบอัดตัวได้ และเนื่องจากระยะการลอยตัวของหัวอ่านที่ศึกษานี้กำหนดให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านต่ำมาก ดังนั้น สมมติฐานในทฤษฎีการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกที่ไม่พิจารณาผลของการลื่นไถลบริเวณขอบจึงไม่เหมาะสม ดังนั้นจึงต้องพิจารณาผลการลื่นไถลด้วย ซึ่งในวิทยานิพนธ์ได้มีสมมติฐานดังนี้

1. พื้นผิวเรียบ
2. ของไหลเป็นของไหลแบบนิวโตเนียนและการไหลเป็นแบบราบเรียบ
3. ความหนืดคงที่
4. อุณหภูมิขณะทำงานคงที่
5. ผลของแรงเฉื่อยจากความเร่งของของเหลวเล็กน้อยมากเมื่อเทียบกับแรงเฉือนเนื่องจากความหนืดจึงตัดทิ้งได้
6. ไม่คิดผลจากแรงตึงผิว
7. ความหนาของฟิล์มของไหลน้อยมาก
8. ไม่มีการลื่นไถลบริเวณขอบ

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

สมการที่ใช้เป็นสมการที่เกิดจากความดันในฟิล์มของไหลซึ่งเราเรียกว่าสมการเรย์โนลด์ เป็นสมการดิฟเฟอเรนเชียลซึ่งสัมพันธ์กับความดัน ความหนา ความเร็วที่ผิวและความหนาของฟิล์ม ซึ่งเป็นการสร้างจากพื้นฐานของทฤษฎีการไหลแบบไฮโดรไดนามิก โดยได้มาจาก สมการ นาเวียร์-สโตกส์และสมการความต่อเนื่อง โดยสมการที่ใช้นี้เป็นสมการแบบไม่เชิงเส้นจึงนำการควบคุมเชิงปริมาตรมาใช้ เพื่อแก้ไขให้เป็นสมการแบบเชิงเส้น เพื่อหาพฤติกรรมทางสถิติ พร้อมทั้ง วิเคราะห์ลาซทรานสฟอร์ม เพื่อหาพฤติกรรมพลวัตในขณะที่ความถี่เปลี่ยนแปลงไป

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาพฤติกรรมของหัวอ่านในระบบจัดเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะทำการพิจารณาลักษณะของหัวอ่านชนิด IBM3380 ดังต่อไปนี้

1. การกระจายความดันของหัวอ่านบนแผ่นดิสก์ในสภาวะสถิต
2. ความสูงของการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อเปลี่ยนความเร็ว ความกว้างของราง ความยาวของส่วนรابعียง มุมเทเปอร์ ตำแหน่งของจุดจับยึดหัวอ่าน
3. ค่าสัมประสิทธิ์สปริง และแดมปีงของหัวอ่าน

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาบทความที่เกี่ยวข้องเพื่อหาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการศึกษาพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านที่สภาวะสถิตย์และที่สภาวะพลวัต
2. ทำการแก้สมการ และเขียนแผนภาพขั้นตอนในการเขียนโปรแกรม
3. เขียนโปรแกรมคำนวณพฤติกรรมของหัวอ่าน
4. วิเคราะห์ผลที่ได้ และเปรียบเทียบกับผลงานที่เคยทำมาดั้งเดิม

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์และคุณค่าของงานวิจัยนี้คือได้มีการนำเอาวิธีปริมาตรควบคุมมาใช้ ซึ่งงานวิจัยที่มีแต่ก่อนเป็นการคำนวณ โดยใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ เพื่อช่วยปรับปรุงให้สามารถใช้กับหัวอ่านแบบใหม่ต่อไป และเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาในด้านนี้ต่อไป

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทรรศน์

2.1 บทนำ

เทคโนโลยีทางด้านระบบการเก็บบันทึกข้อมูลในปัจจุบันมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว และเน้นในการออกแบบหัวอ่านให้มีประสิทธิภาพเพื่อเพิ่มความสามารถให้ระบบเก็บข้อมูลสามารถเก็บข้อมูลได้มากขึ้น ในการวิจัยและวิเคราะห์เชิงตัวเลขทางด้านนี้มีการศึกษามากกว่า 3 ทศวรรษและในประเทศไทยยังมีการศึกษาทางด้านนี้ไม่มากนักโดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังนี้ คือ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 งานวิจัยภายในประเทศ

มิ่ง โลกกิจแสงทอง และ มงคล มงคลวงศ์โรจน์ ในปี ค.ศ. 2543 [1] ทำการศึกษาหัวอ่านที่มีขนาดเหมาะสมที่สุดโดยใช้วิธี ใช้วิธีโบรเดน-เฟลทเซอร์-โกลด์เฟรบ-เซนโน(BFGS) และ วิธีค้นหาเชิงเส้น เพื่อให้ได้หัวอ่านที่มีระยะการลอยตัวต่ำที่สุดที่สภาวะสถิต

มงคล มงคลวงศ์โรจน์ และ สุदारัตน์ แคว้นเขามัง ในปี พ.ศ.2543 [2] [3] ศึกษาถึงผลของการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศและอุณหภูมิโดยใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์

มงคล มงคลวงศ์โรจน์ และ เมษา มนธิราลัยพร ในปี ค.ศ. 2544 [4] ศึกษาแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้า

มงคล มงคลวงศ์โรจน์ และ ขนิษฐา วงษ์สีดาแก้ว [5] [6] ในปีค.ศ. 2544 แสดงการหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าชนิด Truncated Cycloidal โดยใช้วิธีโบรเดน-เฟลทเซอร์-โกลด์เฟรบ-เซนโน(BFGS) และวิธีค้นหาเชิงเส้น

2.2.2 งานวิจัยในต่างประเทศ

แบคซี่และสิงห์ (Bagci and Singh) [7] ในปี ค.ศ. 1983 ได้ทำการศึกษาการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกของกาบรองลินโดยพิจารณารูปร่างของฟิล์มหล่อลื่นเพียงหนึ่งมิติพร้อมทั้งนำเอาวิธีคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด สมการเรย์โนลด์ที่ใช้เป็นสมการสำหรับการไหลแบบอัดตัวไม่ได้สองมิติไม่ขึ้นต่อเวลาซึ่งคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ ทำการวิเคราะห์ผลของรูปร่างของฟิล์มมีผลต่อการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิก และพฤติกรรมของหัวอ่าน เพื่อทำการหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของหัวอ่านแต่ละแบบตามรูปร่างของฟิล์มหล่อลื่น

ไวท์ (James W. White) [8] ปี ค.ศ. 1983 ได้แสดงผลการคำนวณเชิงตัวเลขเพื่อจำลองพฤติกรรมทั้งแบบสถิตย์และแบบพลวัตของหัวอ่านชนิด Zero-Load ซึ่งเป็น หัวอ่านที่ได้รับความนิยมมากในขณะนั้นเพราะมีการทำงานเป็นที่น่าพอใจในเดือนสิงหาคมในปีเดียวกันได้นำเสนอการคำนวณผลจำลองพฤติกรรมการเคลื่อนที่แบบพลวัตของหัวอ่านชนิด Zero-Load โดยนำเสนอสมการเรย์โนลด์ส์ซึ่งพิจารณาให้การหล่อลื่นเป็นแบบอัดตัวได้ และไม่มีสัมผัสกันระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์และอุณหภูมิคงที่ขณะทำงาน

โคกูรี (Kogure K) และคณะ [9] ในปี ค.ศ. 1983 ได้แสดงงานวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบหัวอ่านชนิด Negative Pressure ในระบบบันทึกทางแม่เหล็กโดยนำเสนอสมการเรย์โนลด์ส์ดัดแปลงแบบอัดตัวได้ และคิดผลการสิ้นเปลืองมาใช้คำนวณเชิงตัวเลขด้วยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์หาพฤติกรรมทั้งแบบสถิตย์ และแบบพลวัตพร้อมด้วยผลการทดลอง

มิยู (Miu D.K.) และ โบยี (Bogy D.B.) [10] ในปี ค.ศ. 1986 ได้แสดงทั้งผลการทดลองและผลการคำนวณเชิงตัวเลขของหัวอ่านชนิด Seft – Acting โดยแบ่งผลการแสดงสองส่วนในส่วนแรกแสดงผลการทดลองการทำงานของหัวอ่านด้วยเครื่อง Laser Doppler Vibrometer (LDV) และส่วนที่สองเป็นการแสดงผลการคำนวณเชิงตัวเลขที่อาศัยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ในการแก้สมการเรย์โนลด์ส์ดัดแปลงที่คิดผลการสิ้นเปลือง และเปรียบเทียบกับผลการทดลองซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกัน

มิซุยะ (Mitsuya Y.) และ โอ๊ะกุโบ้ (Ohkubo) [11] ในปี ค.ศ. 1986 ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับปรากฏการณ์ Molecular Rarefaction ที่เกิดขึ้นในขณะหล่อลื่นด้วยก๊าซที่ค่า Knudsen Number สูงหรือการหล่อลื่นด้วยก๊าซซึ่งสามารถอัดตัวได้โดยมีความหนาฟิล์มน้อยมากเพียง 25 นาโนเมตร พร้อมทั้งผลการทดลองที่มีก๊าซฮีเลียมเป็นสารหล่อลื่นในขณะทำการทดลองเปรียบเทียบกับผลการคำนวณเชิงตัวเลขด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการแก้สมการเรย์โนลด์ส์ดัดแปลงที่คิดผลการสิ้นเปลือง และเปรียบเทียบกับผลการทดลองซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกัน

ฮายาชิ (Hayashi T.) และคณะ [12] ในปี ค.ศ. 1990 ได้แสดงพฤติกรรมพลวัตของหัวอ่านชนิด Plane Wedge ในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่สภาวะค่า Knudsen Number สูงโดยประกอบด้วยวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข และทำการแก้สมการการหล่อลื่นที่พิจารณาสมการ โบลทซ์แมนน์ (Boltzmann) ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการหล่อลื่นทั้งในรูปโดเมนความถี่ และโดเมนเวลาพร้อมทั้งคิดผลของผลวิฤตการณ์ที่มีสิ่งแปลกปลอมปนเข้ามาขณะหล่อลื่น

ฟูกูอิ (Fugui S.) และคานะโกะ (Kaneko R.) [13] ในปี ค.ศ. 1990 แสดงการคำนวณสมการการหล่อลื่นอย่างรวดเร็วที่สภาวะค่า Knudsen Number สูงโดยใช้ข้อมูลตัวประกอบการไหลของ Poiseuille โดยนำเสนอวิธีประมาณเชิงเส้น (Interpolation method) แก้สมการ โบลทซ์แมนน์ Boltzmann เพื่อช่วยลดเวลาในการคำนวณพร้อมให้ความถูกต้องแม่นยำด้วย ซึ่งเป็นประโยชน์มากต่อการนำข้อมูลสัมประสิทธิ์ตัวประกอบการไหลของ Poiseuille ที่ได้มาใช้ในการคำนวณ

รูอิซ(Ruiz O.J.)และ โบจี(Bogy D.B.) [14] ในปี ค.ศ. 1990 ได้ทำการศึกษาในส่วนแรก แสดงผลการคำนวณเชิงตัวเลขของอุปกรณ์จับยึดหัวอ่านในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อความเข้าใจถึงสภาพการทำงานที่สภาวะต่าง ๆ เช่น ความถี่ที่ป้อน และความสั้นสะท้อนเพื่อให้มีเสถียรภาพในขณะที่ทำงานที่ดี โดยนำเอาวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการวิเคราะห์คำนวณ พร้อมทั้งพิจารณากลไกของแควมปีง การสัมผัสระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ และสมการเรย์โนลด์ส์ดัดแปลง ในกรณีที่มีระยะห่างระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์เป็นศูนย์ ส่วนที่สองได้วิเคราะห์ปัญหาควบคู่กับผลการคำนวณ

โครม(Crome R.M.) และคณะ [15] ในปี ค.ศ. 1993 ได้แสดงพฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านที่มีพื้นผิวหยาบขรุขระบนผิวแผ่นดิสก์ที่หยาบขรุขระด้วยเช่นกัน โดยนำเอาวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลข พร้อมทั้งคิดผลเนื่องจากขนาด ทิศทาง รูปร่าง และตำแหน่งของพื้นผิวหยาบในกรณีที่พฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านเป็นแบบคงตัว

ซิมิง (Zheming Z.) และ เวนกาง (Wenkang S.) [16] ในปี ค.ศ. 2536 ได้แสดงวิธีเชิงตัวเลขใหม่ในการแก้สมการเรย์โนลด์ส์ที่ระยะลอยตัวของหัวอ่านชนิด taper flat บนผิวดิสก์ต่ำ โดยอาศัยวิธี Patankar-Spalding และวิธี implicit scheme มาใช้ในการสมการเรย์โนลด์ส์แบบอัดตัวได้พร้อมทั้งผลการลื่นไหลด้วยเพื่อแก้ปัญหาความไม่เสถียรที่เกิดขึ้นในการคำนวณ

จีออง (Jeong T.G.) และ โบจี(Bogy D.B.) [17] ในปี ค.ศ. 1993 ได้แสดงผลการคำนวณเชิงตัวเลขเพื่อจำลองขบวนการทำงานในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ โดยพิจารณาผลเนื่องจากความเร็วที่ป้อนภาระแรง และมุมพิทซ์ มุมรอลล์ในตอนเริ่มต้น ที่มีผลต่อพฤติกรรมขณะเคลื่อนที่

แฟรงค์ (Frank A.) และ โบจี (Bogy D.B.) [18] ในปี ค.ศ. 1994 ได้แสดงผลการคำนวณเชิงตัวเลขเพื่อจำลองพฤติกรรมการหล่อลื่นขณะที่หัวอ่านอินเตอร์เฟซกับแผ่นดิสก์เมื่อสารหล่อลื่นเป็นด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์

เลลลิช ชา (Ellis Cha) และ โบจี (Bogy D.B.) ในปี ค.ศ. 1995 [19] แสดงผลการคำนวณเชิงตัวเลขเพื่อจำลองพฤติกรรมสถิตและไดนามิกของหัวอ่านชนิด Subambient Pressure Shaped Rail Slider ด้วยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ และวิธีปริมาตรควบคุม (Control Volume Formulation) มาใช้ในการทำให้สมการเป็นแบบเชิงเส้น

เพ็ง (Peng J.P.) และ ฮาร์ดไค(Hardie C.E.) ในปี ค.ศ. 1995 [20] แสดงการนำเอาวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการคำนวณรูปร่างของรางของหัวอ่านเพื่อหาลักษณะการลอยตัวของหัวอ่านพร้อมยืนยันด้วยผลการทดลองและต่อมาในปี ค.ศ. 1996 [21] ได้แสดงลักษณะของแรงคูดของหัวอ่านในขณะที่ทำการบันทึกข้อมูลลงในแผ่นดิสก์ โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการคำนวณเพื่อหาความลึกของบริเวณร่องหัวอ่านที่เหมาะสมที่สุด พร้อมทั้งวิเคราะห์ในกรณีที่ความเร็วของแผ่นดิสก์ต่างกัน

ฮู (Hu Y.) และ โบจี (Bogy D.B.) [22] ในปี ค.ศ. 1996 แสดงความเสถียรภาพในสภาวะพลวัต และสภาพการลอบตัวของหัวอ่านที่ต่ำกว่า 25 นาโนเมตร โดยพิจารณาผลต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในขณะทำงานเช่น ความหยาบ ปุ่มนูนบนผิวดิสก์ที่เกิดจากฝุ่นละออง พร้อมทั้งวิเคราะห์อุปกรณัจับยึดหัวอ่านและต่อมาในปี ค.ศ. 1998 [23] ได้แสดงวิธีปริมาตรควบคุมแบบหลายกริด (Multigrid Control Volume Method) มาใช้ในการคำนวณสมการการหล่อลื่นในกรณีที่มีค่า Bearing Number สูงมากและรูปร่างอันซับซ้อนของหัวอ่านที่พิจารณาเช่น หัวอ่านชนิด AAB

ฉาง (Zhang . S) และ โบจี (Bogy D.B.) [24] ในปี ค.ศ. 1998 ทำการศึกษาโมเดลการถ่ายเทความร้อนของฟิล์มอากาศบางหัวอ่าน และดิสก์ ที่เกิดจาก MR ทรานส์ดิวเซอร์เมื่อหัวอ่านลอบตัวอยู่ใกล้กับดิสก์ ซึ่งพบว่าผลของการนำความร้อนมีผลต่อการลอบตัวของหัวอ่าน

ฮู (Hu Y.) และคณะ [25] ในปี ค.ศ. 1999 แสดงพฤติกรรมพลวัตของอากาศที่ร่องลื่นหัวอ่านชนิด Sub – Ambient Pressure ในขณะที่ไม่มีการป้อนภาระแรงกระทำ พร้อมทั้งผลการทดลอง

ฮาชิโมโต (Hashimoto H.) และ ฮัทโตรี (Hattori Y.) [26] ในปี ค.ศ. 2000 แสดงการนำวิธีการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด (Optimum design) มาใช้ในการปรับปรุงพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านชนิด IBM 3380 ทั้งที่สภาวะการเคลื่อนที่แบบสถิต และแบบพลวัตโดยใช้วิธีไฟไนต์ คิฟเฟอร์เรนซ์มาใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลขพร้อมทั้งวิธี Successive Quadratic Programing ร่วมกับวิธี Hybrid Optimum Technique เพื่อคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านเพื่อให้มีการทำงานที่มีประสิทธิภาพ

คิโยชิ ฮาชิโมโต (Kiyoshi Hashimoto) ฮิเดคาซุ โคฮิระ(Hidekazu Kohira) และ มาซากิ มัทซุโมโต(Masaaki Matsumoto) [27] ปี ค.ศ. 2000 ทำการศึกษาลักษณะการลอบตัวของหัวอ่านแบบ Advanced step เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงของความสูงของการลอบตัวของหัวอ่านซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงมุมและความเร็ว

ยูเฟย์ ฮาน(Yufei Han) และคณะ [28] ในปี ค.ศ. 2002 ทำการศึกษาค่าผลของความร้อนต่อความเสถียรของการลอบตัวในระหว่างกระบวนการเขียนข้อมูล เป็นการทดลองเพื่อหาผลของการเปลี่ยนแปลงกระแสเหนี่ยวนำตั้งแต่ 0 mA ถึง 50 mA ที่มีต่อความสูงของการลอบตัวของหัวอ่านที่ความเร็วของดิสก์ 4400 รอบ/นาที 5400 รอบ/นาที และ 7200 รอบ/นาที

เวย์มิน เคียน (Weimin Qian) และคณะ [29] ในปี ค.ศ. 2003 ทำการศึกษารูปร่างของดิสก์ที่มีผลต่อการลอบตัว ซึ่งศึกษาเน้นในด้านผลของรูปร่างของแผ่นดิสก์กับการสูญเสียความสูงของการลอบตัวทางสถิต โดยการใช้ Optiflat Interferometer ในการวัดความหนาของดิสก์

สรุปงานที่วิจัยที่ผ่านมา นั้น เริ่มแรกจะทำการศึกษาวิเคราะห์โดยใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ และต่อมาได้มีการนำเอาวิธีปริมาตรควบคุมมาใช้ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการศึกษาลักษณะการลอบตัวของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้วิธี ปริมาตรควบคุมโดยใช้วิธีที่เรียกว่า DF Method (Divergence Formulation Method) มาวิเคราะห์หัวอ่านชนิด IBM3380 และหัวอ่านชนิดที่มีขนาดที่เหมาะสม [5],[6] เพื่อใช้วิเคราะห์หัวอ่านชนิดใหม่ และใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาในด้านนี้ต่อไป

บทที่ 3

ทฤษฎี

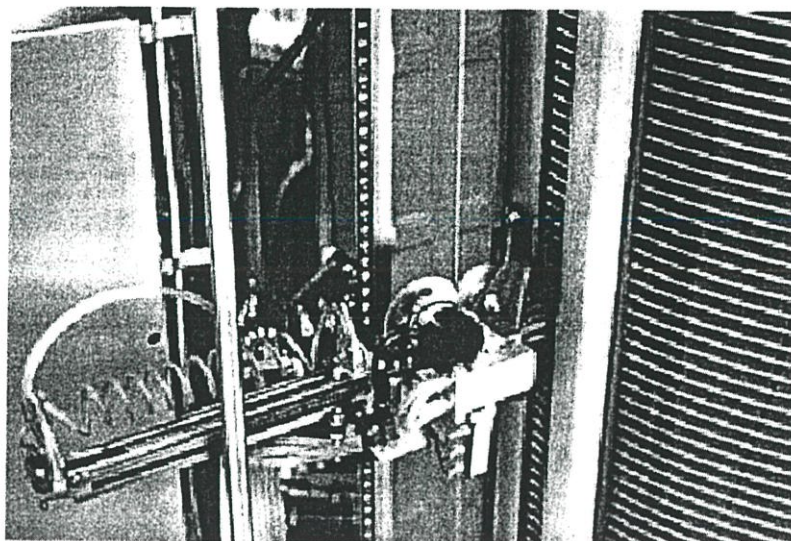
3.1 บทนำ

อุปกรณ์ที่อาศัยระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าในปัจจุบันมีหลายรูปแบบ เช่น เครื่องฟลอปปีดิสก์ เครื่องรีจิสเตอร์ วิดีโอ และในเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ เป็นต้น ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงฮาร์ดดิสก์

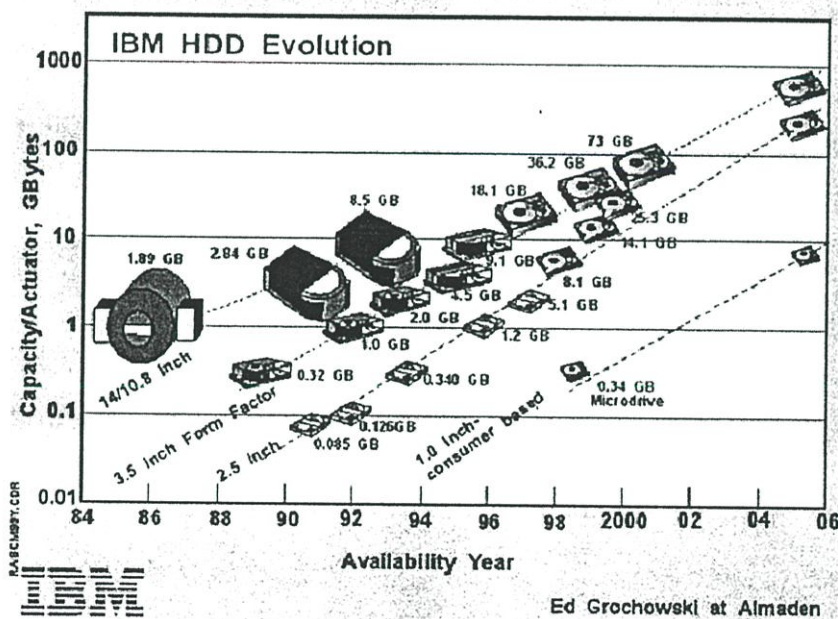
3.2 ระบบจัดเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า

ระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้ามีการพัฒนามากขึ้นเรื่อยๆ นับตั้งแต่ฮาร์ดดิสก์ตัวแรก ได้ถูกสร้างขึ้นในปี.ศ. 2508 [30] ซึ่งฮาร์ดดิสก์นี้ถูกสร้างขึ้นโดย ไอบีเอ็ม และถูกใช้ใน RAMAC (Random Access Method of Accounting and Control) ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งมีขนาดใหญ่ ถูกห่อหุ้มด้วยเคสที่มีขนาดใหญ่ และระบบเก็บข้อมูลถูกสร้างบนแผ่นจานอลูมิเนียม (Platter) 50 แผ่น แต่ละแผ่นจานมีรัศมีขนาด 2 ฟุต ซึ่งจะเรียงกันเป็นชั้นๆ ซึ่งแผ่นจานเหล่านี้จะถูกเคลื่อนด้วยการทาสีเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดปฏิกิริยาฝุ่นของไอออนออกไซด์ โดยเทคโนโลยีในการใช้ออกไซด์นี้ได้มีการพัฒนาขึ้นมาเรื่อยๆ ซึ่งสามารถเห็นได้ในฮาร์ดดิสก์รุ่นเก่า ๆ โดยจะเห็นลักษณะของสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นบนแผ่นจานซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาออกไซด์

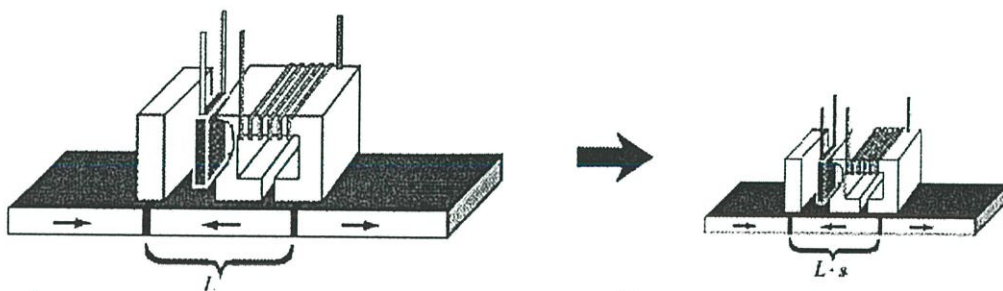
ระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าทำงานโดยหัวอ่านซึ่งจะตรวจหาการเปลี่ยนแปลงของขั้วแม่เหล็ก ซึ่งมีทั้งขั้วบวกและขั้วลบซึ่งแทนโดย 0s และ 1s โดยที่ 1s แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของขั้วแม่เหล็ก และ 0s แสดงถึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงของขั้วแม่เหล็ก ซึ่งการพัฒนาในช่วงแรกๆ จะมีการพัฒนาเน้นในด้านการเพิ่มปริมาณการเก็บข้อมูลดังแสดงดังรูปที่ 3.2 ซึ่งหัวอ่าน RAMAC มีความสูงเหนือแผ่นจานเพียง 25 ไมโครเมตร โดยที่ความสูงนั้นเกิดจากชั้นของอากาศที่ถูกอัด (compressed air) ซึ่งระบบเก็บข้อมูลที่มีการพัฒนาหลังจาก RAMAC นั้นจะใช้หลักการทางอากาศพลศาสตร์ซึ่งเกิดจากความเร็วของการหมุนของแผ่นจานซึ่งทำให้หัวอ่านอยู่สูงเหนือแผ่นจานประมาณ 15 ถึง 20 นาโนเมตร



รูปที่ 3.1 แสดงคิส์ก์ไควร์ฟคอมพิวเตอรืท่ีสร้างขึ้นโดยไอบีเอ็มในปีพ.ศ. 2508 ใน RAMAC ด้านขวาของรูปที่เห็นคือแผ่นจานจำนวน 50 แผ่นซึ่งตรงกลางของรูปคือ Pneumatically controlled access mechanism [30]



รูปที่ 3.2 แสดงการพัฒนาของระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าของไอบีเอ็มตั้งแต่ปีพ.ศ.2527 ถึงปัจจุบัน [31] โดยการลดขนาดนี้เป็นการลดขนาดเชิงเส้น โดยการใช้ ตัวแปร s ซึ่งผลที่ได้จะให้ความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นเท่ากับ s^2 [32] ซึ่งแสดงภาพของการลดขนาดได้ดังรูปที่ 3.3



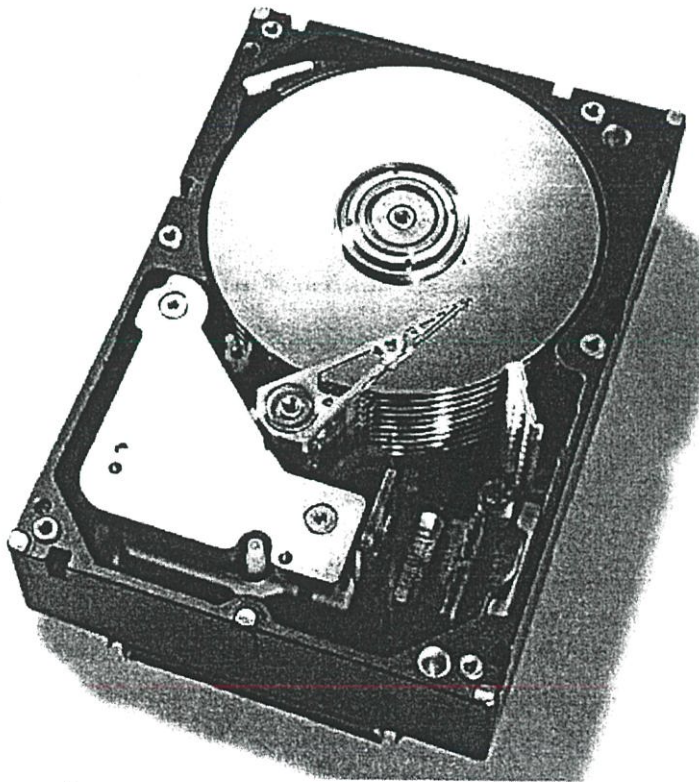
รูปที่ 3.3 แสดงการลดขนาดมี 3 แบบคือ 1. ลดทุกอย่างรวมทั้งขนาดโดยใช้สเกลแฟคเตอร์เท่ากับ s (ซึ่งต้องการในด้านการปรับปรุงกระบวนการผลิต) 2. ให้ระบบการบันทึกข้อมูลทำงานที่ค่าพื้นที่ความหนาแน่นสูงขึ้น ($1/s$) (ซึ่งต้องการในด้านการปรับปรุงดิสก์ หัวอ่าน และส่วนที่เป็นวัสดุไฟฟ้า) 3. ให้อัตราส่วนของความคลาดเคลื่อนของสัญญาณรบกวนลดน้อยลง

วิวัฒนาการของฮาร์ดดิสก์มีมายาวนาน โดยเริ่มจากการพัฒนาหน่วยความจำสำรองที่ใช้กับระบบเมนเฟรมคอมพิวเตอร์ โดยในระยะแรกจะใช้แผ่นจากแม่เหล็กขนาดใหญ่หลาย ๆ แผ่นซ้อนกัน เพื่อให้มีความจุเพิ่มมากขึ้น ปัจจุบันเทคโนโลยีของการบรรจุข้อมูลบนแผ่นสารแม่เหล็กทำได้ดีขึ้นมาก โดยเฉพาะหน่วยเก็บข้อมูลที่เรียกว่าฮาร์ดดิสก์ มีขนาดเล็กกะทัดรัด มีความจุได้มากและมีขนาดเล็กมาก ซึ่งระบบฮาร์ดดิสก์แตกต่างกับดิสก์เกตต์คือ โดยทั่วไปแล้วจะมีจำนวนหน้าสำหรับเก็บข้อมูลมากกว่าสองหน้า แผ่นจานแม่เหล็กของฮาร์ดดิสก์ จะมีความหนาแน่นของการจุข้อมูลบนผิวหน้าได้สูงกว่าแผ่นดิสก์เกตต์มาก กรณีของฮาร์ดดิสก์ขนาดเดียวกันจะมีจำนวนวงรอบสูงมากกว่า 1000 แทร็กขึ้นไป ขณะเดียวกันความจุในแต่ละแทร็กของฮาร์ดดิสก์ก็จะสูงกว่าซึ่งประมาณได้ถึง 5 เท่าของความจุในแต่ละแทร็กของแผ่นดิสก์เกตต์และเนื่องจากความหนาแน่นของการบันทึกข้อมูลบนผิวแผ่นจานแม่เหล็กของฮาร์ดดิสก์มีค่าสูงมาก ทำให้หัวอ่านและเขียนบันทึกต้องมีขนาดเล็กและตำแหน่งของหัวอ่านต้องอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้ชิดกับผิวหน้าจานมากจึงมีโอกาสที่ผิวหน้าและหัวอ่านอาจกระทบกันได้ ดังนั้นแผ่นจานจึงควรเป็นแผ่นอลูมิเนียมแข็งที่ได้มีการขัดผิวและเคลือบด้วยออกไซด์โดยที่การหดยาขยตัวเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเป็นไปได้น้อย จึงมีการกำหนดแทร็กและเซ็กเตอร์ได้มาก ทำให้มีความจุข้อมูลได้สูงกว่า และฮาร์ดดิสก์จะบรรจุในกล่องโลหะปิดสนิท เพื่อป้องกันสิ่งสกปรกเข้าไปภายใน ซึ่งถ้าต้องการเปิดออกจะต้องเปิดในห้องเรียกว่าห้องสะอาดที่มีการกรองฝุ่นละอองออกจากอากาศเข้าไปในห้องออกแล้ว ซึ่งฮาร์ดดิสก์ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยแผ่นจานแม่เหล็ก 2 แผ่นหรือมากกว่ามาจัดเรียงอยู่บนแกนเดียวกันเรียกว่า สปินเดิล ทำให้แผ่นแม่เหล็กหมุนไปพร้อม ๆ กันจากการขับเคลื่อนของมอเตอร์ โดยแต่ละหน้าของแผ่นจานจะมีหัวอ่านประจำเฉพาะ โดยหัวอ่านทุกหัวจะเชื่อมติดกันคล้ายหวี และสามารถเคลื่อนเข้าออกระหว่างแทร็กต่าง ๆ อย่างรวดเร็ว ซึ่งในการอ่านเขียนข้อมูลฮาร์ดดิสก์จะต้องหมุนรอบตัวเองและ

หัวอ่าน/เขียนจะต้องเคลื่อนที่มา ค้างนั้นจึงต้องอาศัยกลไกไครฟ์ (Drive) เพื่อทำงานเหล่านี้และด้วยเหตุนี้เอง ชื่ออย่างเป็นทางการของฮาร์ดดิสก์จึงได้แก่ ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ (Hard Disk Drive) หรือ HDD

3.3 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ [33] แสดงดังรูปที่ 3.4 คือ

1. ดิสก์บันทึกข้อมูลหรือเพล็ตเตอร์
2. หัวอ่าน/เขียนของฮาร์ดดิสก์
3. แขนที่ใช้ขับเคลื่อนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์
4. มอเตอร์ที่ใช้หมุนเพล็ตเตอร์
5. แผงวงจรควบคุมการทำงานของฮาร์ดดิสก์
6. ระบบกรองอากาศ
7. สายสัญญาณและตัวเชื่อมต่อ
8. กลไกที่ใช้ขับเคลื่อนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์



รูปที่ 3.4 แสดงโครงสร้างภายในของฮาร์ดดิสก์

3.3.1 ดิสก์บันทึกข้อมูล

มีชื่อเรียกเฉพาะว่า แพล็ตเตอร์ (platter) เป็นจานโลหะแข็งมีลักษณะแบนวางซ้อนกัน ทำจากโลหะสารผสมอลูมิเนียมอัลลอยด์ หรือส่วนผสมของแก้วและเซรามิก ซึ่งส่วนผสมของแก้วและเซรามิกเป็นวัสดุที่มีข้อดีมากกว่าอะลูมิเนียมอัลลอยด์ตรงที่ไม่เกิดความร้อนได้ง่าย และสามารถทำให้มีความบางได้มากกว่าการใช้โลหะผสมของอลูมิเนียมอัลลอยด์ พื้นผิวทั้งสองด้านถูกเคลือบด้วยชั้นของแผ่นฟิล์มบางๆของสารพวกแมกเนติกออกไซด์ โดยตัวแผ่นฟิล์มนี้เองจะเป็นส่วนของเนื้อฮาร์ดดิสก์ที่ทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูล โดยการปรับลักษณะการจัดเรียงตัวของอนุภาคของแมกเนติกออกไซด์ตามลักษณะของข้อมูลที่ถูกบันทึก ซึ่งโดยทั่วไปจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2 ถึง 5.25 นิ้ว ซึ่งหัวอ่านจะบอกถึงจำนวนของแพล็ตเตอร์ในฮาร์ดดิสก์ เช่น ฮาร์ดดิสก์ 16 หัว ก็จะมี 8 แพล็ตเตอร์

สารที่ใช้เคลือบจานมี 2 แบบที่นิยมใช้กัน ได้แก่ สารประเภทไอออนออกไซด์และสารประเภท Thin Film media สารประเภทไอออนออกไซด์นี้ถูกเคลือบลงบนจานด้วยความหนาประมาณ 30 ไมโครนิ้ว ข้อเสียของการเคลือบสารนี้คือความเปราะบางต่อการแตกหัก และชำรุดเมื่อเกิดการกระแทกลงบนผิวของมัน สารไอออนออกไซด์มีข้อเสียตรงที่มีปัญหาเรื่องความสึกกร่อนและจะหลุดออกเป็นผง เมื่อหัวฮาร์ดดิสก์ได้กระทบกระแทกโดยตรงและทางอ้อมต่อพื้นผิว โดยผงนี้จะมีลักษณะสีน้ำตาล สารประเภท Thin Film Media เป็นการเคลือบของสารประกอบประเภท Thin Film ที่มีความบางประมาณ 12 ไมโครนิ้ว ด้วยความหนานานี้ ทำให้หัวฮาร์ดดิสก์มีความใกล้ชิดกับจานมากขึ้น เป็นผลให้ความแม่นยำในการอ่านและเขียนข้อมูลลงบนจานมีมากยิ่งขึ้น และมีความสามารถในการทนแรงขีดข่วนของพื้นผิวที่เคลือบและสามารถป้องกันข้อมูลได้ดีกว่า

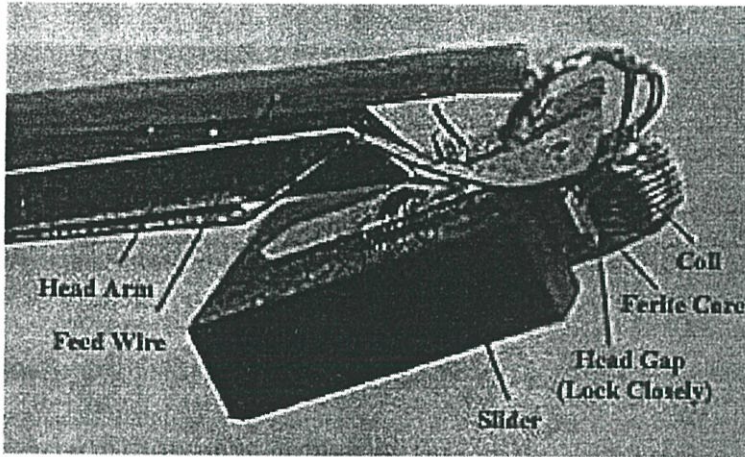
3.3.2 หัวอ่าน/เขียนของฮาร์ดดิสก์

หัวอ่าน/เขียนของฮาร์ดดิสก์มีหน้าที่ในการอ่านและเขียนข้อมูลลงบนแพล็ตเตอร์ โดยปกติแล้วหัวอ่านจะต้องไม่แตะกับแพล็ตเตอร์ขณะที่มีการทำงานปกติ แต่เมื่อใดที่ฮาร์ดดิสก์หยุดการทำงาน หัวฮาร์ดดิสก์นี้ก็จะมีสัมผัสกับจาน สาเหตุที่หัวฮาร์ดดิสก์สามารถลอยตัวอยู่เหนือจานได้เนื่องจากแรงของลมที่อยู่ภายในตัวฮาร์ดดิสก์ในขณะที่งานหมุนซึ่งจะช่วยยกหัวอ่านให้ลอยตัวขึ้น หัวอ่านฮาร์ดดิสก์มีอยู่หลายแบบได้แก่

3.3.2.1 หัวอ่านเฟอร์ไรท์ (Ferrite)

เป็นหัวอ่านแบบดั้งเดิมที่คิดค้นโดย IBM หัวอ่านประเภทนี้ทำมาจาก Iron-Oxide Core และพันด้วย Electromagnetic Coils หรือขดลวดที่พันแกนแม่เหล็ก แล้วจ่ายกระแสไฟเข้าไปที่ขดลวดที่หัวอ่านเฟอร์ไรท์ซึ่งกระแสไฟที่จ่ายเข้าไปนี้จะทำให้หัวฮาร์ดดิสก์มีสถานะเป็นแม่เหล็กไฟฟ้าชั่วคราว ส่งผลให้เส้นทางที่หัวฮาร์ดดิสก์นี้วิ่งผ่านมีสถานะเป็นแม่เหล็กอ่อน ๆ ไปด้วย ข้อเสียของ

หัวอ่านชนิดนี้คือไม่สามารถบันทึกข้อมูลที่มีขนาดความหนาแน่นสูงได้ เนื่องจากขนาดของหัวอ่านชนิดนี้มีความหนาแน่นมาก



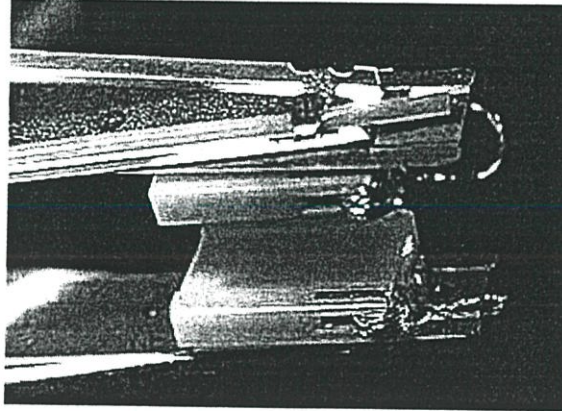
รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของหัวอ่านแบบเฟอร์ไรท์

3.3.2.2 Metal in Gap Head

หัวอ่านชนิดนี้มีลักษณะคล้ายกับหัวอ่านเฟอร์ไรท์ตรงที่มีการใส่เมทัลลอลอยลงบริเวณช่องว่างระหว่างหัวอ่านกับดิสก์ ซึ่งจะมีแนวแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นเพื่อใช้ในการบันทึกข้อมูลที่ขอบด้านปลายของหัวอ่านชนิดนี้จะมีการวางแผ่นโลหะชนิดนี้ทำได้โดยการใชขบวนการทางสุญญากาศที่เรียกว่า Sputtering Process ซึ่งหัวอ่านชนิดนี้ สามารถอ่านข้อมูลจากแผ่นจานแบบ Thin Film ได้เป็นอย่างดี แต่ใช้หัวอ่านแบบ Thin Film คือกว่า

3.3.2.3 Thin Film Head

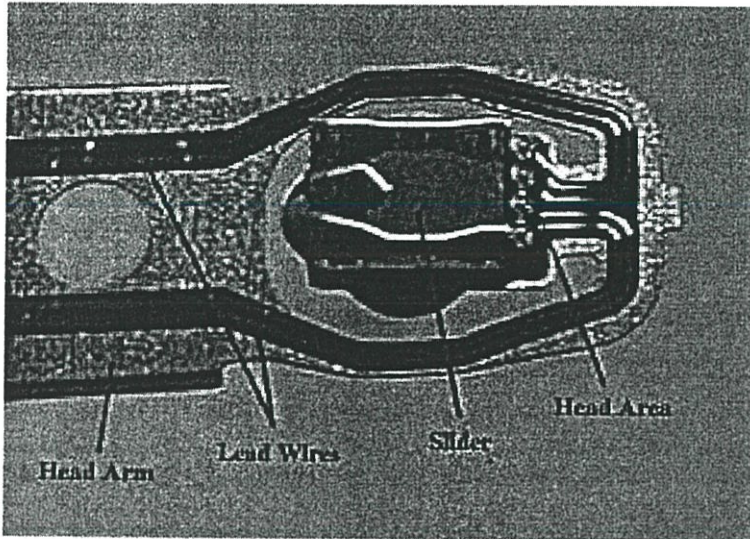
เป็นหัวอ่านที่มีขนาดเล็ก และเบาที่สุด หัวอ่านนี้จะใช้กรรมวิธีที่เรียกว่า Photo-Lithographics ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่คล้ายกับการผลิต IC Chip แทนที่จะใช้สาร Iron Oxide Core กลับใช้ไอออนนิเกิลอัลลอยเป็นแกนหลัก ซึ่งทำให้มีน้ำหนักเบาและให้อ่านแรงแม่เหล็กที่ทรงพลังเหนือกว่าระบบเก่าถึง 4 เท่า และที่ช่องว่างระหว่างหัวอ่านและจาน จะมีขนาดเล็กและแคบมากและเคลือบด้วยสารอลูมิเนียม เพื่อเพิ่มความแข็งแรงซึ่งสามารถป้องกันการเกิดกระทบกันระหว่างหัวอ่านกับจาน



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของหัวฮาร์ดดิสก์แบบ Thin Film

3.3.2. 4 Magneto-Resistive Head

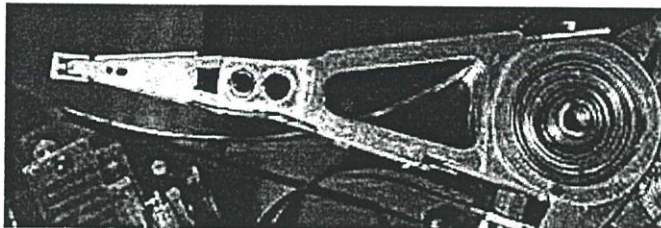
เป็นหัวฮาร์ดดิสก์ ระบบใหม่ที่คิดค้นโดย IBM เป็นหัวฮาร์ดดิสก์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด หลักการทำงานของหัวฮาร์ดดิสก์ประเภทนี้คือ โดยทั่วไปแล้วการที่จะบันทึกข้อมูลลงบนแพลลิตเตอร์นั้น เราจะต้องปล่อยกระแสไฟฟ้าไปที่ขดลวดของหัวฮาร์ดดิสก์ ที่พันแกนเฟอร์ไรท์อีกทีหนึ่ง เพื่อให้เกิดอำนาจแม่เหล็กที่หัวของฮาร์ดดิสก์ และทำการบันทึกอำนาจแม่เหล็กลงบนแพลลิตเตอร์ สำหรับระบบ Magneto Resistive Head นั้นทำงานเมื่อมีอำนาจแม่เหล็กเกิดขึ้น โดยรอบบริเวณใกล้กับตัวเหนี่ยวนำก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานที่ตัวเหนี่ยวนำในการอ่านข้อมูลที่เก็บอยู่บนพื้นผิวของแพลลิตเตอร์นั้น จะมีกระแสไฟอ่อน ๆ ไหลผ่านไปที่หัวอ่าน และค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงตัวเหนี่ยวนำจะถูกวัดโดยระบบที่เรียกว่า เซนส์ เกจเรนท์ (Sense Current) ทำให้มีประสิทธิภาพการทำงานเหนือกว่า หัวฮาร์ดดิสก์ แบบอื่น ๆ 3-4 เท่า อย่างไรก็ตามหัวอ่านประเภทนี้ถูกออกแบบมาให้ใช้เพื่อการอ่านฮาร์ดดิสก์เท่านั้น แต่ถ้าต้องการจะบันทึกข้อมูลลงบนฮาร์ดดิสก์นั้นจะต้องใช้หัวฮาร์ดดิสก์อีกหัวหนึ่งซึ่งอยู่ใกล้กัน เป็นลักษณะฮาร์ดดิสก์ 2 หัว โดยมีหัวหนึ่งใช้อ่านและอีกหัวหนึ่งใช้เพื่อการเขียนโดยเฉพาะฮาร์ดดิสก์ที่มี 2 หัวก็มีจุดด้อยเช่นกัน แต่ในแง่ของการทำงานแล้วกลับมีประโยชน์มากกว่าหัวอ่านเดี่ยวที่ใช้ทั้งการอ่านและเขียน ซึ่งอาจประสบกับปัญหาการรบกวนกันของสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 3.7 ลักษณะของหัวฮาร์ดดิสก์ แบบ Magnetic Resistance

3.3.3 แขนที่ใช้ขับเคลื่อนหัวอ่าน

แขนกลที่ติดตั้งที่หัวอ่านนั้นมีรูปร่างคล้ายกันกับยอดแหลมของเรือใบ โดยบริเวณจุดกึ่งกลางของมันมีไว้ใช้เป็นตัวนำพา หัวอ่าน/เขียนของฮาร์ดดิสก์ ให้วิ่งไปมาเหนือแผ่นดิสก์

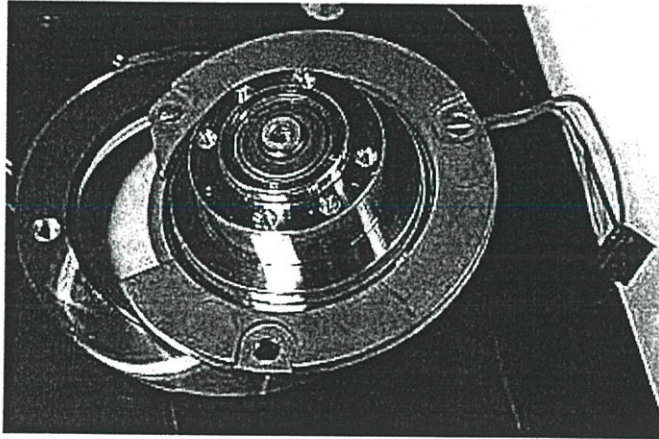


รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะของแขนกลที่ใช้ขับเคลื่อนหัวอ่าน

3.3.4 มอเตอร์ที่ใช้หมุนแผ่นดิสก์

3.3.4.1 สปินเดิลมอเตอร์

สปินเดิลมอเตอร์ เป็นมอเตอร์หลักที่หมุนตัวแผ่นดิสก์สาเหตุที่เรียกว่าสปินเดิลมอเตอร์ ก็เนื่องจากการที่มันเชื่อมต่อกับแผ่นดิสก์โดยตรงและหมุนเป็นวงกลม การทำงานของมอเตอร์ชนิดนี้เป็นแบบลู่วิ่งไปกลับเพื่อการปรับอัตราความเร็วในการหมุนของมันโดยอัตโนมัติ และโดยทั่วไปแล้วอัตราความเร็วในการหมุนมีตั้งแต่ 3600 รอบ ไปจนถึง 10,700 รอบ อัตราความเร็วในการหมุนของแผ่นดิสก์นี้มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของฮาร์ดดิสก์ โดยฮาร์ดดิสก์ที่มีความเร็วในการหมุนเร็วขึ้นจะมีประสิทธิภาพการทำงานมากขึ้น



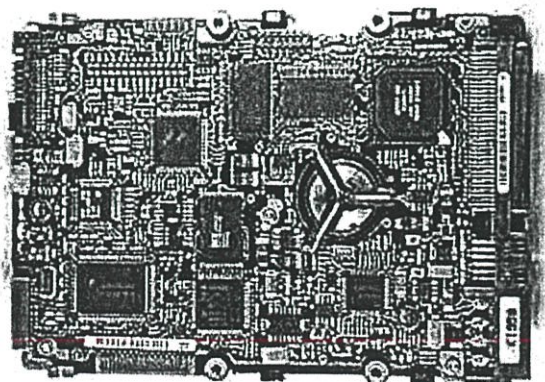
รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะของ สปีนเดิลมอเตอร์

3.3.4.2 สปีนเดิลกราวด์สแตป

สปีนเดิลกราวด์สแตป เป็นตัวคักจับไฟฟ้าสถิตย์ ที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากมีประจุไฟฟ้าที่เกาะบนพื้นผิวงานแล้วหมุนด้วยความเร็วสูง จนอาจเกิดปรากฏการณ์ไดนาโมขึ้น ซึ่งตัวคักจับไฟฟ้าสถิตย์นี้จะอยู่ที่ด้านล่างของมอเตอร์

3.3.5 แผงวงจรควบคุมการทำงานของฮาร์ดดิสก์

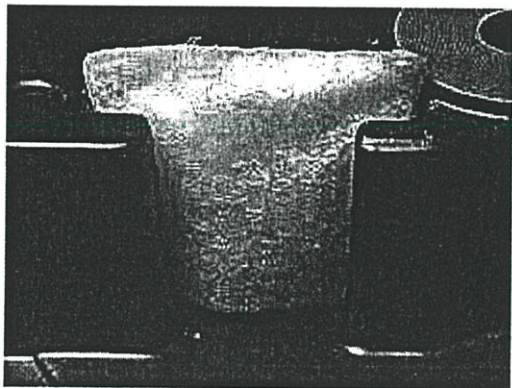
แผงวงจรควบคุม เป็นส่วนสำคัญที่สุดของตัวฮาร์ดดิสก์เนื่องจากเป็นศูนย์กลางที่ควบคุมการทำงานของฮาร์ดดิสก์ ซึ่งบนแผงวงจรควบคุมนี้ ประกอบไปด้วยชิปประมวลผลและหน่วยความจำทั้งแบบแฟลช รวมทั้งเรอัมบ์เฟอ์และเซอโว โพรเซสเซอร์ที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ด้วย



รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะของแผงวงจรควบคุมที่ใช้ควบคุมการทำงานของฮาร์ดดิสก์

3.3.6 ระบบกรองอากาศ

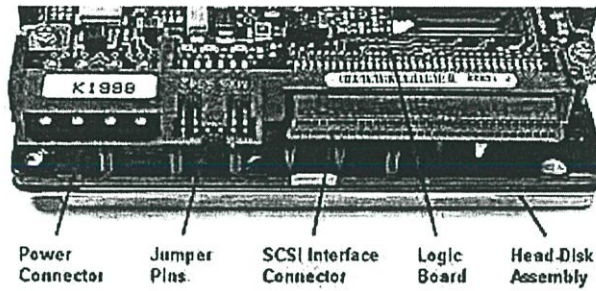
ภายในฮาร์ดดิสก์ไม่ได้เป็นแบบสุญญากาศ เพราะฮาร์ดดิสก์นั้นจะไม่มีวันทำงานภายใต้เงื่อนไขสุญญากาศอย่างแน่นอนเนื่องจากหัวอ่าน/เขียนของฮาร์ดดิสก์ต้องการอากาศที่จะยกหัวของมันให้ลอยเหนือจาน ฮาร์ดดิสก์ส่วนใหญ่เมื่อถูกนำมาทำงานที่ระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเล เช่น บนภูเขาหรือบนเครื่องบิน เมื่อแรงดันอากาศต่ำมากฮาร์ดดิสก์เหล่านี้มักจะไม่ว่างทำงาน ด้วยเหตุนี้ฮาร์ดดิสก์จึงต้องการซีลที่ดี เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศจากภายในฮาร์ดดิสก์รั่วไหลออกไป ฮาร์ดดิสก์ส่วนใหญ่จะมีฟิลเตอร์ 2 ชุด ชุดหนึ่งเรียกว่าฟิลเตอร์การไหลเวียนของอากาศ และอีกชุดหนึ่งเรียกว่า เบรทเธอร์ ฟิลเตอร์ (Breather Filter) หรือบารอเมตริก ฟิลเตอร์ (Barometric Filter) ระบบกรองการไหลเวียนของอากาศมีไว้เพื่อการกรองเอาอนุภาคฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการกร่อนของออกไซด์ ที่เคลือบบนแผ่นดิสก์เนื่องจากการครูดของหัวฮาร์ดดิสก์กับแผ่นดิสก์ ซึ่งฟิลเตอร์ตัวนี้จะไม่กรองอากาศจากภายนอกเข้ามา และระบบฟิลเตอร์อีกแบบหนึ่งคือ เบรทเธอร์ ฟิลเตอร์ (Breather Filter) นั้นเป็นฟิลเตอร์ที่เชื่อมภายในของฮาร์ดดิสก์กับภายนอกของฮาร์ดดิสก์ โดยทำหน้าที่เป็นตัวสร้างความสมดุลของอากาศภายนอกกับภายใน เมื่อความกดอากาศภายนอกเพิ่มสูงขึ้นตัวฟิลเตอร์จะยอมให้อากาศจากภายนอกเคลื่อนตัวเข้าสู่ภายในฮาร์ดดิสก์ได้ และเมื่อความดันอากาศลดลงระบบกรองอากาศก็จะยอมให้อากาศจากภายในสามารถระบายออกไปที่ภายนอกฮาร์ดดิสก์ได้เช่นกันและสามารถป้องกันมิให้อนุภาคที่มีขนาดใหญ่เกินกว่า 10 ไมโครนิวสามารถเข้าฮาร์ดดิสก์มาได้



รูปที่ 3.11 แสดงระบบกรองอากาศสำหรับฮาร์ดดิสก์แบบบารอเมตริก ฟิลเตอร์ (Barometric Filter)

3.3.7 เคเบิลกับคอนเนคเตอร์ หรือสายแพขนาดเล็กร่วมจุดต่างๆ

เคเบิลกับคอนเนคเตอร์มีไว้เพื่อการเชื่อมต่อระหว่างฮาร์ดดิสก์กับคอมพิวเตอร์หลัก จุดประสงค์ก็เพื่อการถ่ายเทข้อมูลไปมาระหว่างฮาร์ดดิสก์กับคอมพิวเตอร์ ขนาดของคอนเนคเตอร์ขึ้นอยู่กับชนิดของฮาร์ดดิสก์



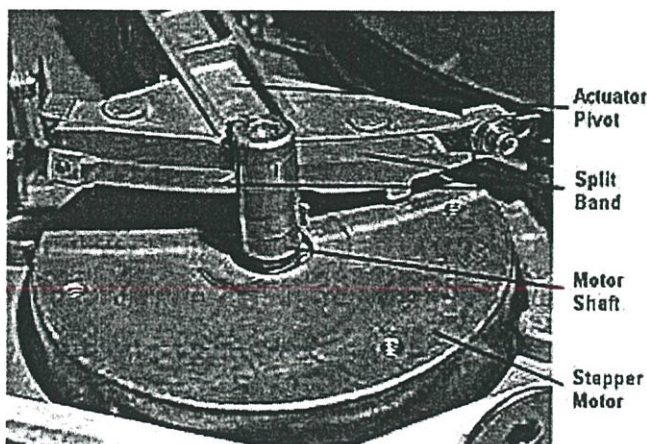
รูปที่ 3.12 แสดงลักษณะของคอนเนคเตอร์ของฮาร์ดดิสก์

สายแพพาวเวอร์เป็นที่เราใช้เพื่อป้อนแรงดันไฟเลี้ยงฮาร์ดดิสก์ ซึ่งคอนเนคเตอร์ซึ่งใช้สายไฟ 4 เส้น ได้แก่ สีแดงสำหรับไฟ +5V สีเหลืองสำหรับไฟ +12V ส่วนสีดำจะเป็นกราวด์ (ground) แรงดันไฟที่ใช้เลี้ยงฮาร์ดดิสก์นี้หากมีความคลาดเคลื่อนก็ต้องไม่เกิน $\pm 0.5V$

3.3.8 กลไกที่ใช้ขับเคลื่อนหัวอ่าน (Head actuator Mechanism)

3.3.8.1 สเตปเปอร์มอเตอร์

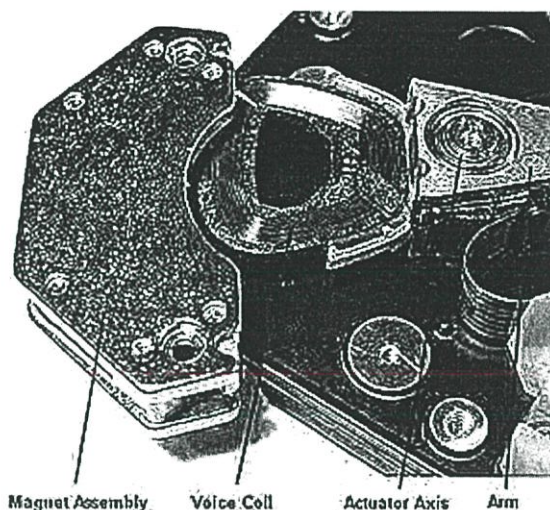
สเตปเปอร์มอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่มีการหมุนแบบเป็นขั้นๆ เป็นแบบมุมที่ตายตัว สเตปเปอร์มอเตอร์ตัวหนึ่งอาจมีขั้นเป็นจำนวนตั้งแต่หลายสิบขั้นไปจนถึงร้อยๆ ขั้นก็มี ตัวอย่างเช่น สเตปเปอร์มอเตอร์ที่มีจำนวน 36 ขั้น เพื่อหมุนรอบตัวมันเอง เมื่อมีการจ่ายไฟไปที่ตัวมันจะหมุนขั้นละ 10 องศาเท่านั้น ตัวสเตปเปอร์มอเตอร์เชื่อมต่อกับส่วนของแขนกลควบคุมหัวอ่านซึ่งจะมีกลไกต่างๆ เพื่อการแปลงการหมุนของสเตปเปอร์มอเตอร์ ให้เป็นไปในรูปแบบการหมุนเข้าและหมุนออกของมอเตอร์เพื่อการขับเคลื่อนหัวฮาร์ดดิสก์ไปมา



รูปที่ 3.13 แสดงลักษณะของสเตปเปอร์มอเตอร์

3.3.8.2 วอยซ์คอยล์แอกทูเอเตอร์ (Voice Coil Actuator)

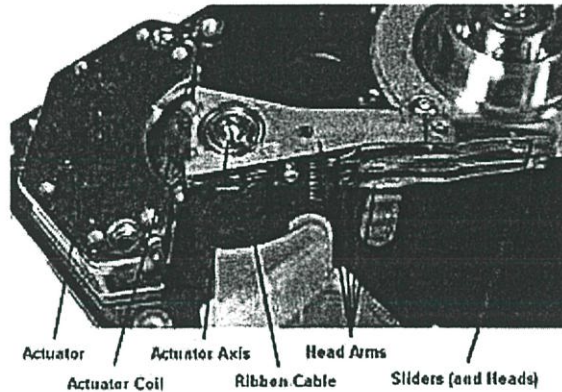
วอยซ์คอยล์แอกทูเอเตอร์ถูกออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาที่เกี่ยวกับเสตปเปอร์ซึ่งระบบใหม่ๆจะใช้ระบบวอยซ์คอยล์แทน



รูปที่ 3.14 แสดงโครงสร้างการทำงานของ Voice Coil Actuator

รูปที่ 3.14 เป็นการแสดงให้เห็นส่วนประกอบภายในของระบบวอยซ์คอยล์แอกทูเอเตอร์ จากภาพเราจะเห็นกลไกการทำงานที่ประกอบไปด้วย แม่เหล็กถาวรที่อยู่กับที่ และวอยซ์คอยล์ที่สามารถเคลื่อนไหวไปมาได้ หัวอ่าน/เขียนของฮาร์ดดิสก์จะอยู่ที่ด้านปลายสุดของแอกทูเอเตอร์ (Actuator Arm หรือแขนกลที่ควบคุมหัวอ่านซึ่งจะถูกควบคุมโดยคอนโทรลเลอร์ชิปบนแผงวงจรลอจิกบอร์ด) เมื่อมีการจ่ายกระแสไฟเข้าไปที่ขดลวด จะเกิดการเคลื่อนที่ที่สัมพันธ์กับแม่เหล็ก เมื่อคอยล์มีการเคลื่อนไหวมันก็จะเคลื่อนหัวอ่าน/เขียนไปมาเหนือจานด้วย การทำงานของระบบวอยซ์คอยล์ซึ่งใช้หลักการเดียวกับวอยซ์คอยล์ของลำโพง ในภาพจะเห็นว่าวอยซ์คอยล์เมื่อมีการป้อนความถี่เสียง (Audio) แบบกระแสสลับผ่านเข้ามาที่วอยซ์คอยล์แห่งนี้ คลื่นความถี่นี้จะวิ่งเข้าวิ่งออกที่ขั้วแม่เหล็กถาวร (ขึ้นอยู่กับทิศทางและความแรงของกระแสไฟสลับ) การเคลื่อนที่เช่นนี้จะทำให้กรวยกระดาษที่ติดกับคอยล์เกิดการสั่นสะเทือน และเกิดเสียงขึ้นในอากาศ การเคลื่อนที่ของวอยซ์คอยล์เป็นผลมาจากปฏิกิริยาของสนามแม่เหล็กที่ผลิตขึ้นในคอยล์เอง (เกิดจากกระแสไฟฟ้าแบบสลับ) และแม่เหล็กถาวรถูกนำมาใช้ภายในฮาร์ดดิสก์เพื่อการขับเคลื่อนหัวอ่าน/เขียนของลำโพงสำหรับฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ระบบวอยซ์คอยล์นั้นจะมีขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าเชื่อมต่อกับ Head rack และวางไว้ใกล้กันกับแม่เหล็กถาวรที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ไม่มีการเชื่อมต่อสัมผัสโดยตรงระหว่างแม่เหล็กกับขดลวด เมื่อมีการจ่ายกระแสไฟไปที่ขดลวดก็จะเกิดสนามแม่เหล็กที่ขดลวด แรงแม่เหล็กนี้จะทำให้ขดลวดเคลื่อนออกจากหรือไม่ก็เคลื่อนเข้าหาแม่เหล็กถาวร และเมื่อขดลวดนั้นเคลื่อน

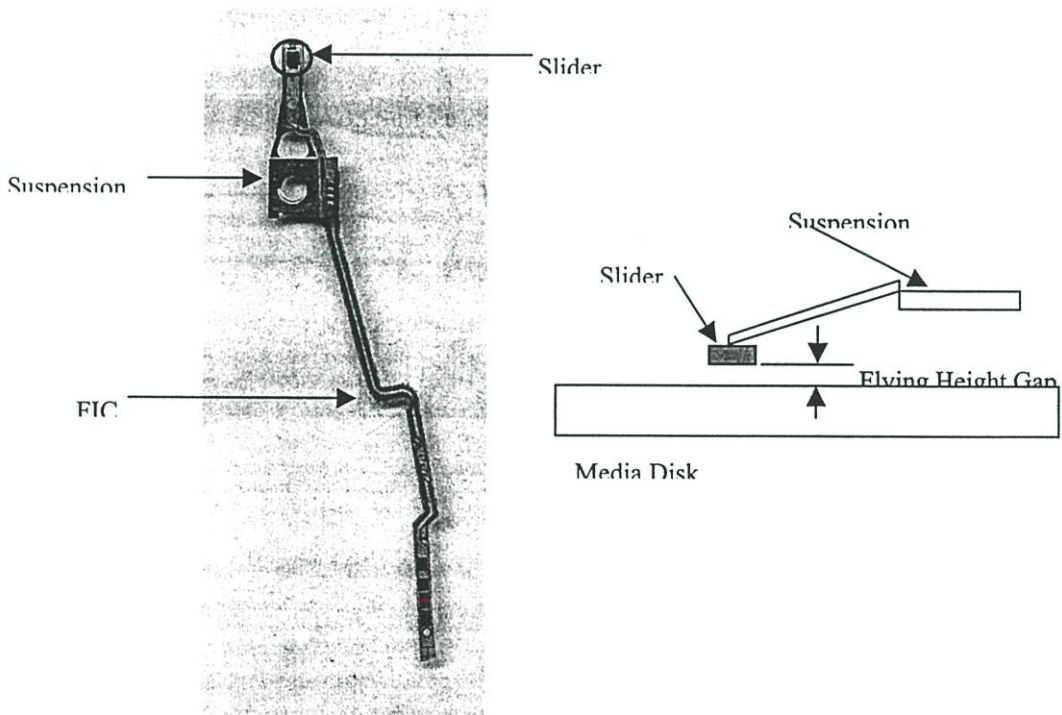
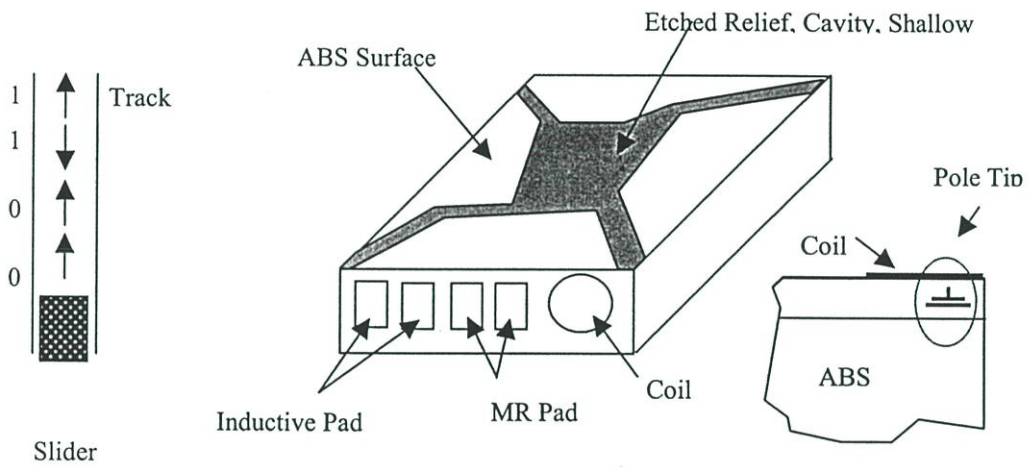
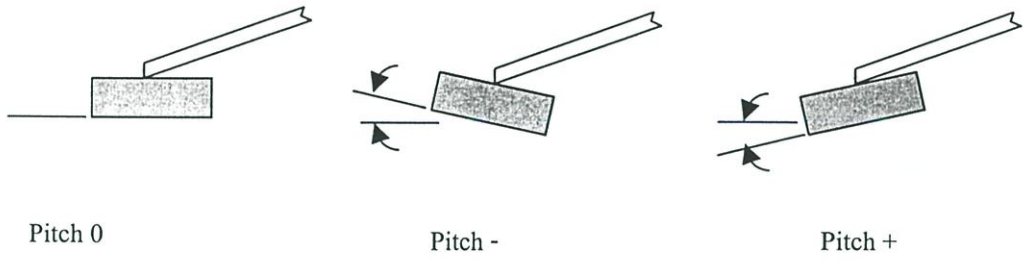
ไหวก็จะส่งผลให้ Head rack เคลื่อนไหวตามไปด้วย ระบบนี้ดีกว่าการใช้สเตปเปอร์มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน การทำงานของกลไกแอกทูเอเตอร์ที่สมบูรณ์แบบนี้มีความเบาและคล่องตัวรวมทั้งรวดเร็วมาก ข้อดีหลักๆของระบบนี้คือการจำกัดขนาดจำนวนของพื้นผิวที่ใช้เก็บข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ เมื่อหัวเคลื่อนที่จากด้านนอกสุดไปที่ด้านในของฮาร์ดดิสก์แล้วหัวอ่านจะหมุนเบาบางลง ปัญหาที่เรียกว่า Azimuth Error หากการเคลื่อนที่ของหัวเกินข้อจำกัดของมันจะทำให้ไม่สามารถอ่านข้อมูลจากฮาร์ดดิสก์บริเวณนั้น ๆ ได้



รูปที่ 3.15 แสดงกลไกการทำงานของแขนที่ขับเคลื่อนโดย Voice Coil

ระบบ Voice Coil ที่ใช้แขนแบบ Rotary เพื่อขับเคลื่อนหัวอ่าน/เขียน ฮาร์ดดิสก์ เราเรียกว่า Rotary Voice Actuator โดยก่อนที่จะมีระบบ วอยซ์คอยล์ชนิดนี้ ได้มีการนำเอาระบบวอยซ์คอยล์แอกทูเอเตอร์แบบเชิงเส้น (Linear Voice Coil Actuator) มาใช้กับ ฮาร์ดดิสก์ ในระบบวอยซ์คอยล์แอกทูเอเตอร์แบบเชิงเส้น หัวฮาร์ดดิสก์จะมีการเคลื่อนที่เข้า และออกเป็นแบบเชิงเส้น ซึ่งระบบแบบนี้ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับ Azimute Error แต่ระบบนี้มีข้อเสียตรงที่มีน้ำหนักมาก ทำให้มีปัญหาเกี่ยวกับการเคลื่อนหัวฮาร์ดดิสก์ อย่างไรก็ตามก็คิดว่าระบบที่ใช้ในปัจจุบันล้วนแต่เป็นระบบ Rotary Actuator

ส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องกับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ หัวอ่านในวงการฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะเรียกว่าสไลเดอร์ (Slider) ซึ่งข้างในประกอบไปด้วยขดลวดคอยล์ซึ่งจะเรียงกันอยู่เป็นชั้นๆ และจะประกอบด้วยขั้ว 2 ชนิด คือ ขั้วอินดักทีฟ (Inductive) และขั้วเอ็มอาร์ (MR) ขั้วอินดักทีฟจะทำหน้าที่อ่านข้อมูลจากแผ่น โดยการจับทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่อยู่บนแผ่น ถ้าสนามแม่เหล็กมีทิศทางการเดียวกันจะอ่านค่าได้ 0 และถ้าสนามแม่เหล็กมีทิศตรงข้ามกันจะอ่านค่าได้ 1 ดังรูปที่ 3.16 แสดงลักษณะของหัวอ่านและมุมพิทช์ ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้น ชัสเพนชัน (Suspension) จะเป็นตัวรองรับหัวอ่านและจะทำหน้าที่รักษาระยะการลอยตัวให้คงที่ PSA (Static Pitch Altitude) เป็นมุมก้ม-เงย ของ Slider



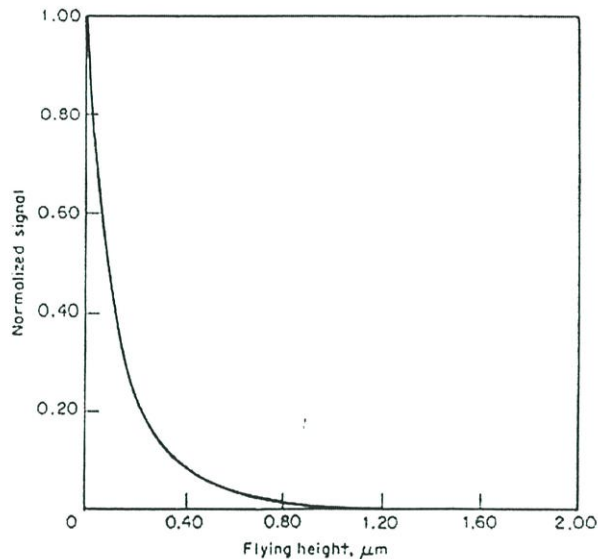
รูปที่ 3.16 แสดงส่วนประกอบของ HGA (Head Gimbal Assembly) และหัวอ่าน

หัวอ่านจะประกอบอยู่บนซัสเพนชัน(Suspension) และจะมี FIC (Flex Interconnected Circuit) เมื่อประกอบชิ้นส่วนทั้ง 3 นี้เข้าด้วยกันแล้ว จะเรียกรวมๆ ว่า HGA (Head Gimbals Assembly) ส่วนประกอบของ HGA คือ

- ABS (Air Bearing Surface) จะเป็นหน้าที่หันเข้าหาแผ่น จะออกแบบให้เป็นรูปร่างต่างๆซึ่งจะมีผลต่อแรงยกตัวเวลาที่แผ่นหมุน
- Etched Relief เป็นส่วนที่เป็นร่องลึกลงไปจาก ABS
- คอยล์ จะเป็นที่อยู่ของ Pole tip ซึ่งจะเป็นตำแหน่งที่ใช้ในการ อ่าน-เขียน ข้อมูลบนแผ่น
- อินดักทีฟและแผ่นเอ็มอาร์ (Inductive Pad and MRPad) เป็นหน้าสัมผัสที่ใช้เชื่อมต่อขั้วอินดักทีฟ และขั้วเอ็มอาร์ไปยังแผงวงจรควบคุม

3.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ความสำคัญในด้านของการพัฒนาในระบบจัดเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้านั้น สิ่งที่สำคัญอย่างแรกคือการพัฒนาในด้านการอ่านเขียนข้อมูลซึ่งให้อยู่ใกล้กับแผ่นจานให้ได้มากที่สุด โดยส่วนที่อ่านเขียนข้อมูลนี้จะถูกรองรับโดยฟิล์มของอากาศซึ่งบางมาก อย่างที่สองคือพัฒนาทางด้านส่วนที่เป็นอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้สารชนิดที่ทำให้ตำแหน่งของหัวอ่านอยู่ใกล้กับแผ่นจานได้โดยไม่เกิดการสึกหรอ ตัวแปรที่สำคัญที่สุดในระบบจัดเก็บข้อมูลคือความสูงระหว่างชิ้นส่วนที่บันทึกกับชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่เขียนอ่านข้อมูล[34] ซึ่งตัวแปรนี้มีผลต่อสัญญาณข้อมูลมาก ดังรูปที่ 3.17 คือ รูปความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณส่งออกของส่วนที่อ่านเขียนข้อมูล(Talke and Tseng:1973) จะเห็นว่าเมื่อความสูงน้อยลงจะทำให้มีสัญญาณส่งออกสูงขึ้น ยิ่งความสูงน้อยๆ ยิ่งดี แต่ปัญหาที่ตามมาคือเมื่อมีความสูงน้อยมากอาจจะทำให้เกิดการสึกหรอของการสัมผัสกันซึ่งเป็นเหตุให้ประสิทธิภาพของระบบการบันทึกข้อมูลลดลงอย่างมาก ในการหลีกเลี่ยงการสึกหรอระหว่างการอินเทอร์เฟสนั้นคือต้องออกแบบให้หัวอ่านแยกห่างจากดิสก์ด้วยฟิล์มอากาศบาง (Harker et al:1981) ซึ่งฟิล์มอากาศนี้ต้องมีความหนาเพียงพอที่จะป้องกันการเกิดการกระแทกหรือสัมผัสกันและต้องให้มีความหนาเพียงพอที่จะให้ขนาดสัญญาณของการบันทึกข้อมูลใหญ่เพียงพอด้วย ดังนั้นในการออกแบบการอินเทอร์เฟสระหว่างหัวอ่านและดิสก์ต้องมีความเหมาะสม ซึ่งต้องมีความเข้าใจทั้งในเรื่องของทฤษฎีการหล่อลื่นด้วยอากาศ ไตรโบโลยี ไฟฟ้า และกลศาสตร์



รูปที่ 3.17 รูปแสดงขนาดสัญญาณแบบไร้มิติที่ส่งกลับระหว่างหัวอ่านและดิสก์ [34]

หัวอ่านที่ทำออกมาขายเป็นธุรกิจครั้งแรกนั้นทำในปี พ.ศ. 2500 โดยหัวอ่านชนิดนี้จะใช้อากาศกันไว้ ซึ่งมีระยะความสูงระหว่างส่วนที่เป็นไฟฟ้ากับดิสก์ประมาณ 20 ไมโครเมตร (Harker et al:1981) และในปี 2505 ได้เกิดแนวความคิดใหม่คือมีการใช้ทฤษฎีการหล่อลื่นด้วยอากาศแบบไฮโดรไดนามิก ซึ่งทำให้ระยะความสูงมีค่าประมาณ 6 ไมโครเมตร และมีความก้าวหน้าในการพัฒนาเทคโนโลยีของการหล่อลื่นด้วยอากาศจนกระทั่งได้ค่าของความสูงประมาณ 0.3 ไมโครเมตร

ในการวิเคราะห์ทางทฤษฎีของการอินเทอร์เฟสกันระหว่างหัวอ่านและดิสก์เพื่อให้ได้ความสูงนั้นต้องใช้ทฤษฎีการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิก หรือทฤษฎีของการหล่อลื่นด้วยก๊าซ ในการวิเคราะห์นี้ต้องใช้สมการเรย์โนลด์เป็นสมการพื้นฐานซึ่งเป็นสมการดิฟเฟอเรนเชียลที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความสูงของฟิล์มหล่อลื่น

เมื่อมีการเคลื่อนที่ระหว่างผิวที่สัมผัสโดยมีฟิล์มสารหล่อลื่นที่บางจะมีกระบวนการเกิดขึ้นสองแบบคือ กระบวนการแรกคือมีการสัมผัสกันของส่วนที่ไม่ต่อเนื่องหรือขรุขระซึ่งอาจจะทำให้เกิดการสึกหรอ กระบวนการที่สองคือไม่มีการสัมผัสกันและแรงระหว่างผิวเกิดจากฟิล์มหล่อลื่น ซึ่งในกรณีนี้คุณสมบัติของสารหล่อลื่นจะมีความสำคัญมากกว่าคุณสมบัติของผิวที่สัมผัส กรณีแรกจะเป็นการหล่อลื่นที่เรียกว่า การหล่อลื่นแบบบาวน์คาร์ (boundary lubrication) ซึ่งอาจเกิดการสัมผัสกัน และในกรณีที่สองเราเรียกว่าการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิก ซึ่งการหล่อลื่นในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าอาศัยฟิล์มอากาศแบบไฮโดรไดนามิก เพื่อหลีกเลี่ยงการสึกหรอขณะที่หัวอ่านอินเทอร์เฟสกับสื่อบันทึก โดยหลังจากที่เริ่มทำการอ่านหรือบันทึกข้อมูล ฟิล์มอากาศ

สมการเรย์โนลด์

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{ph^3}{\eta} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{ph^3}{\eta} \left(\frac{\partial p}{\partial y} \right) \right] = 6 \frac{\partial}{\partial x} [Uph] + 6 \frac{\partial}{\partial y} [Vph] + 12 \frac{\partial}{\partial t} [ph] \quad (3.1)$$

เมื่อ X และ Y คือพิกัดแนวแกน โดย X อยู่ในทิศทางการเคลื่อนไหลของหัวอ่าน สมการเรย์โนลด์แบบไร้มิติ[26]

$$\frac{\partial}{\partial X} \left[QPH^3 \left(\frac{\partial P}{\partial X} \right) \right] + \left(\frac{L}{B} \right) \frac{\partial}{\partial Y} \left[QPH^3 \left(\frac{\partial P}{\partial Y} \right) \right] - A \frac{\partial(PH)}{\partial X} - \sigma \frac{\partial(PH)}{\partial T} = 0 \quad (3.2)$$

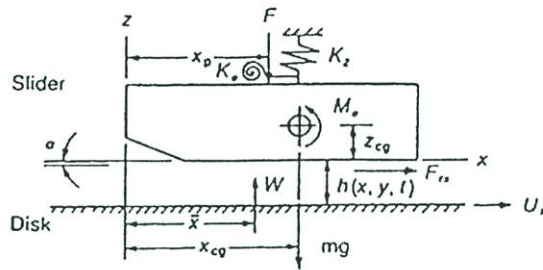
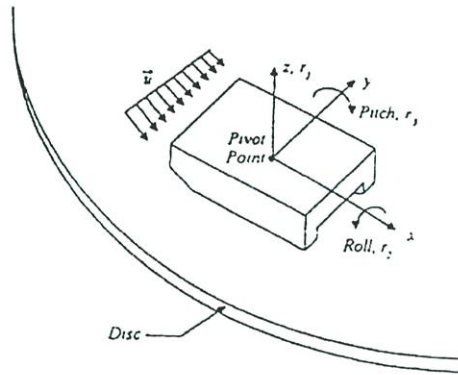
- A คือค่าตัวเลขการรองรับ (bearing number) $= 6 \eta_a UL / p_a h_m^2$
- σ คือค่าตัวเลขการกดอัด (squeeze number) $= 12 \eta_a \omega L^2 / h_m^2 p_a$
- L คือความยาวของหัวอ่านตามแนวแกน X
- B ความกว้างของหัวอ่านตามแนวแกน Y
- h_m คือความหนาฟิล์มอากาศอ้างอิงเริ่มต้น
- ω คือความถี่

โดย $Q(P,H) = \phi(P,H)PH^3$ โดยที่ $\phi(P,H)$ คือตัวประกอบการไหล (Poiseuille flow factor)[13]

$$\phi(P,H) = a_0 + a_1 \left(\frac{Kn}{PH} \right) + a_2 \left(\frac{Kn}{PH} \right)^2 + a_3 \left(\frac{Kn}{PH} \right)^3 \quad (3.3)$$

3.4.2 สมการการเคลื่อนที่

การวิเคราะห์พฤติกรรมพลวัตของหัวอ่าน กำหนดให้หัวอ่านมีการเคลื่อนที่ได้โดยอิสระสองทิศทาง โดยพิจารณาให้หัวอ่านมีการเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวตั้งฉากกับผิวแผ่นดิสก์ และแนวการเคลื่อนที่ของหัวอ่านตามแนวความยาวของหัวอ่านที่เคลื่อนที่ตามแนวเส้นรอบวงของแผ่นดิสก์ ดังรูปที่



รูปที่ 3.19 แสดงพิกัดของหัวอ่านในขณะที่เคลื่อนที่

สมการสมดุลแรงที่กระทำต่อหัวอ่าน

$$m \frac{d^2 Z}{dt^2} + C_z \frac{dZ}{dt} + K_z Z + mg + F = W(t) \tag{3.4}$$

สมการสมดุลโมเมนต์

$$I_\theta \frac{d^2 \theta}{dt^2} + C_\theta \frac{d\theta}{dt} + K_\theta \theta + M_\theta + (F + K_\theta Z)(x_{cg} - x_p) + F_{rx} Z_{cg} = (x_{cg} - \bar{x}_p) W_t \tag{3.5}$$

ภาระการรองรับคือ

$$W(t) = \int_0^B \int_0^L (P - I) dx dy \tag{3.6}$$

สมการในรูปไว้มีดังนี้คือ

$$M_z \ddot{Z} + F_0 = \iint_{00}^{11} (P-l) dXdY \quad (3.7)$$

$$I_\theta \ddot{\theta} + M_s - F_s X_{GS} = 2 \iint_{00}^{11} (P-l) (X_{CG} - \bar{X}) dXdY \quad (3.8)$$

เมื่อ

$$F_s = F + K_z (Z - X_{GS} \theta) + C_z (\dot{Z} - X_{GS} \dot{\theta}) \quad (3.9)$$

$$M_s = M_0 + K_\theta \theta + C_\theta \dot{\theta} \quad (3.10)$$

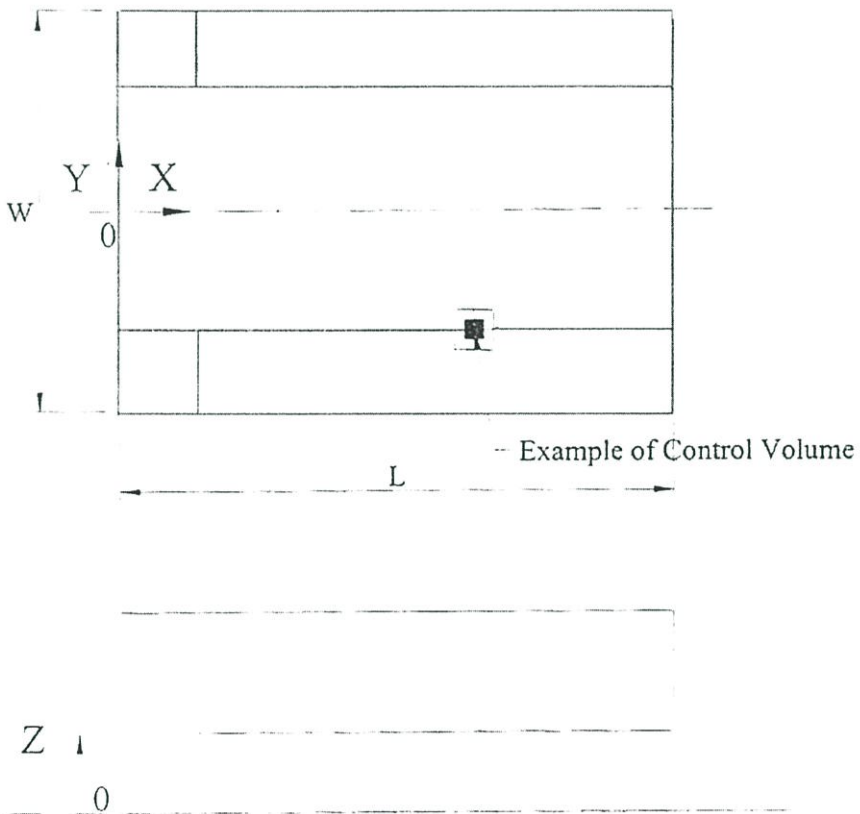
$$X_{GS} = X_{CG} - X_P \quad (3.11)$$

บทที่ 4

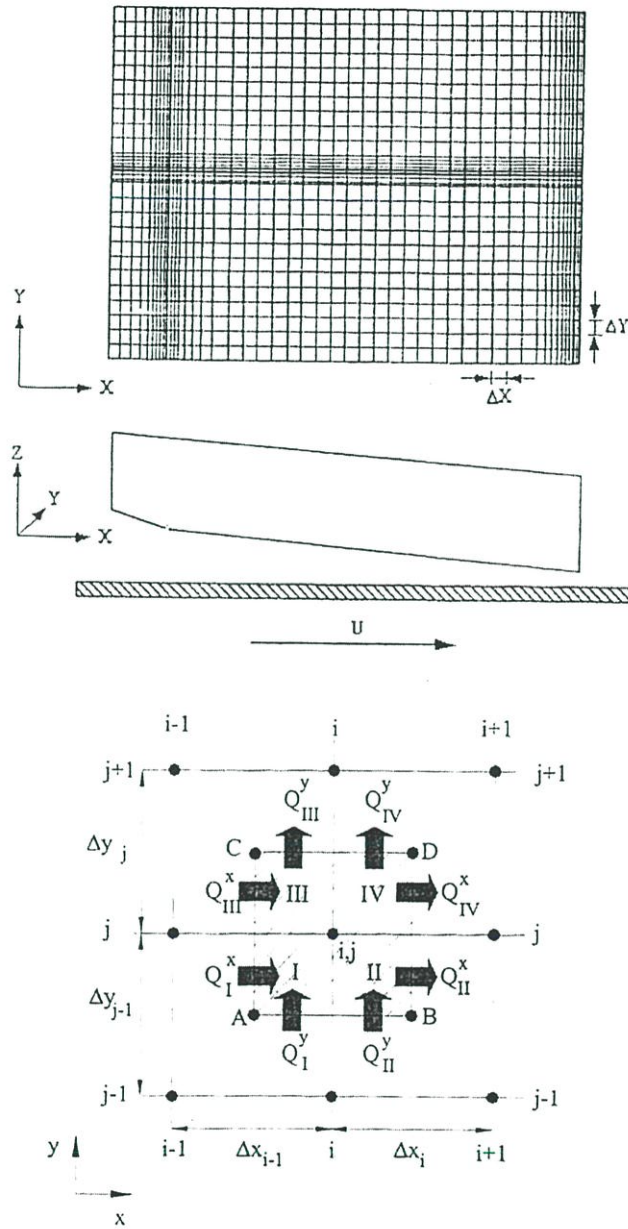
การคำนวณวิเคราะห์เชิงตัวเลข

4.1 การคำนวณพฤติกรรมของหัวอ่าน

การคำนวณเราทำการพิจารณาปริมาตรควบคุมในแต่ละกริดดังรูปที่ 4.1 เป็นตัวอย่างของกริดในหัวอ่านชนิด IBM3380 โดยในการคำนวณจะทำการคำนวณที่กึ่งกลางของหัวอ่าน แต่เนื่องจากหัวอ่าน IBM3380 รางสมมาตรกันจึงคำนวณเพียงครึ่งร่างดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ปรุปร่างของหัวอ่านชนิด IBM 3380



รูปที่ 4.2 แสดงการแบ่งปริมาตรควบคุมของกริด

พิจารณา mass flow balance ในปริมาตรควบคุมดังรูปจะได้สมการดังนี้ คือ

$$Q_I^X + Q_{III}^x - Q_{II}^x - Q_{IV}^x + Q_I^y + Q_{II}^y - Q_{III}^y - Q_{IV}^y = Q_{Ij}^V \quad (4.1)$$

โดยที่

$$Q^X = \int_{y_1}^{y_2} \left(\phi_{PH}^3 \frac{\partial P}{\partial X} - \Lambda(PH) \right) dY \quad (4.2)$$

$$Q^Y = \int_{x_1}^{x_2} R^2 \left(\phi_{PH}^3 \frac{\partial P}{\partial X} \right) dX \quad (4.3)$$

$$Q^V = \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \sigma \frac{(\partial P)}{\partial T} dXdY \quad (4.4)$$

โดยที่

$$\phi = \phi(K_n, P, H) \quad (4.5)$$

$$H = H_o + \Delta H(T), P = P_o + \Delta P(T) \quad (4.6)$$

ซึ่ง

$$\left| \frac{\Delta H}{H_o} \right| \ll 1, \left| \frac{\Delta P}{P_o} \right| \ll 1 \quad (4.7)$$

ทำการแทนค่าต่างๆลงในสมการ จะได้อีตราการไหลทางสถิติคือ

$$Q_o^X = \int_{y_1}^{y_2} \left(\phi_{P_o H_o}^3 \frac{\partial P_o}{\partial X} - \Lambda(P_o H_o) \right) dY, \quad (4.8)$$

$$Q_o^Y = \int_{x_1}^{x_2} R^2 \left(\phi_{P_o H_o}^3 \frac{\partial P_o}{\partial Y} \right) dX \quad (4.9)$$

4.1.1 การคำนวณด้านสถิติ

แทนสมการที่ 4.6 ลงในสมการที่ 4.2 4.3 4.4 และ 4.1 ได้ดังนี้

$$F(P_o) = Q_{I0}^x + Q_{III0}^x - Q_{II0}^x - Q_{IV0}^x + Q_{I0}^y + Q_{III0}^y - Q_{II0}^y - Q_{IV0}^y = 0 \quad (4.10)$$

$$G(P_T) = Q_{IT}^x + Q_{IIIT}^x - Q_{IIT}^x - Q_{IVT}^x + Q_{IT}^y + Q_{IIIT}^y - Q_{IIT}^y - Q_{IVT}^y - Q_{iJT}^y = 0 \quad (4.11)$$

ทำการ linearized และไม่คิดเทอมอันดับสอง

$$F(P_o^{(k)}) + \left. \frac{\partial F(P_o^{(k)})}{\partial P_o} \right|_{P_o=P_o^{(k)}} \delta P_o = 0 \quad (4.12)$$

แทนค่าลงในสมการ จากนั้นทำการจัดรูป จะได้เทอมที่สภาวะคงตัวดังนี้ คือ

$$\begin{aligned} A_0 \Delta P_{i,j} + A_1 \Delta P_{i-1,j} + A_2 \Delta P_{i+1,j} + A_3 \Delta P_{i,j-1} + A_4 \Delta P_{i,j+1} \\ + A_5 \Delta P_{i-1,j-1} + A_6 \Delta P_{i+1,j-1} + A_7 \Delta P_{i-1,j+1} + A_8 \Delta P_{i+1,j+1} + A_9 = 0 \end{aligned} \quad (4.13)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} A_0 &= \frac{\Delta Y_{j-1}}{8} \left(A_{X2} + \frac{2A_{X3}}{\Delta X_{i-1}} - AX_5 \right) + \frac{\Delta Y_j}{8} \left(C_{X2} + \frac{2C_{X3}}{\Delta X_{i-1}} - CX_5 \right) \\ &\quad - \frac{\Delta Y_{j-1}}{8} \left(B_{X2} - \frac{2B_{X3}}{\Delta X_{i-1}} - BX_5 \right) - \frac{\Delta Y_j}{8} \left(D_{X2} - \frac{2D_{X3}}{\Delta X_{i-1}} - DX_5 \right) \\ &\quad + \frac{\Delta X_{i-1}}{8} \left(A_{Y2} + \frac{2A_{Y3}}{\Delta Y_{j-1}} - AY_5 \right) + \frac{\Delta X_i}{8} \left(B_{Y2} + \frac{2B_{Y3}}{\Delta Y_{j-1}} \right) \\ &\quad - \frac{\Delta X_{i-1}}{8} \left(C_{Y2} - \frac{2C_{Y3}}{\Delta Y_j} \right) - \frac{\Delta X_i}{8} \left(D_{Y2} - \frac{2D_{Y3}}{\Delta Y_j} \right) \end{aligned}$$

$$A_1 = \frac{\Delta Y_{j-1}}{8} \left(A_{X2} - \frac{2A_{X3}}{\Delta X_{i-1}} - AX_5 \right) + \frac{\Delta Y_j}{8} \left(C_{X2} - \frac{2C_{X3}}{\Delta X_{i-1}} - CX_5 \right)$$

$$+\frac{\Delta X_{i-1}}{8}\left(A_{Y_2}+\frac{2A_{Y_3}}{\Delta Y_{j-1}}\right)-\frac{\Delta X_{i-1}}{8}\left(C_{Y_2}-\frac{2C_{Y_3}}{\Delta Y_j}\right)$$

$$A_2 = -\frac{\Delta Y_{j-1}}{8}\left(B_{X_2}+\frac{2B_{X_3}}{\Delta X_i}-BX_5\right)-\frac{\Delta Y_j}{8}\left(D_{X_2}-\frac{2D_{X_3}}{\Delta X_i}-DX_5\right) \\ +\frac{\Delta X_i}{8}\left(B_{Y_2}+\frac{2B_{Y_3}}{\Delta Y_{j-1}}\right)-\frac{\Delta X_i}{8}\left(D_{Y_2}-\frac{2D_{Y_3}}{\Delta Y_j}\right)$$

$$A_3 = \frac{\Delta Y_{j-1}}{8}\left(A_{X_2}+\frac{2A_{X_3}}{\Delta X_{i-1}}-AX_5\right)-\frac{\Delta Y_{j-1}}{8}\left(B_{X_2}-\frac{2B_{X_3}}{\Delta X_{i-1}}-BX_5\right) \\ +\frac{\Delta X_{i-1}}{8}\left(A_{Y_2}-\frac{2A_{Y_3}}{\Delta Y_{j-1}}\right)+\frac{\Delta X_i}{8}\left(B_{Y_2}-\frac{2B_{Y_3}}{\Delta Y_{j-1}}\right)$$

$$A_4 = \frac{\Delta Y_j}{8}\left(C_{X_2}+\frac{2C_{X_3}}{\Delta X_{i-1}}-CX_5\right)-\frac{\Delta Y_j}{8}\left(D_{X_2}-\frac{2D_{X_3}}{\Delta X_{i-1}}-DX_5\right) \\ -\frac{\Delta X_{i-1}}{8}\left(C_{Y_2}-\frac{2C_{Y_3}}{\Delta Y_j}\right)-\frac{\Delta X_i}{8}\left(D_{Y_2}+\frac{2D_{Y_3}}{\Delta Y_j}\right)$$

$$A_5 = \frac{\Delta Y_{j-1}}{8}\left(A_{X_2}-\frac{2A_{X_3}}{\Delta X_{i-1}}-AX_5\right)+\frac{\Delta X_{i-1}}{8}\left(A_{Y_2}-\frac{2A_{Y_3}}{\Delta Y_{j-1}}\right)$$

$$A_6 = -\frac{\Delta Y_{j-1}}{8}\left(A_{X_2}+\frac{2B_{X_3}}{\Delta X_{i-1}}-BX_5\right)+\frac{\Delta X_i}{8}\left(B_{Y_2}-\frac{2B_{Y_3}}{\Delta Y_{j-1}}\right)$$

$$A_7 = \frac{\Delta Y_j}{8}\left(C_{X_2}-\frac{2C_{X_3}}{\Delta X_{i-1}}-CX_5\right)-\frac{\Delta X_{i-1}}{8}\left(C_{Y_2}+\frac{2C_{Y_3}}{\Delta Y_j}\right)$$

$$A_8 = -\frac{\Delta Y_j}{8}\left(D_{X_2}+\frac{2D_{X_3}}{\Delta X_{i-1}}-DX_5\right)-\frac{\Delta X_i}{8}\left(D_{Y_2}+\frac{2D_{Y_3}}{\Delta Y_j}\right)$$

$$\begin{aligned}
A_{y_j} &= \frac{\Delta Y_{j-1}}{2} (A_{x_{j-1}} - A_{x_j}) + \frac{\Delta Y_j}{2} (C_{x_{j-1}} - C_{x_j}) - \frac{\Delta Y_{j-1}}{2} (B_{x_{j-1}} - B_{x_j}) \\
&\quad - \frac{\Delta Y_j}{2} (D_{x_{j-1}} - D_{x_j}) + \frac{\Delta X_{j-1}}{2} A_{y_j} + \frac{\Delta X_j}{2} B_{y_j} - \frac{\Delta X_{j-1}}{2} C_{y_j} - \frac{\Delta X_j}{2} D_{y_j}
\end{aligned} \tag{4.14}$$

$$A_{x_1} = (\phi_0 P_0 H_0^3)_A \frac{\partial P}{\partial X} \Big|_A \quad A_{x_2} = \left\{ \frac{\partial}{\partial P_0} (\phi_0 P_0 H_0^3) \right\} \frac{\partial P}{\partial X} \Big|_A \quad A_{x_3} = (\phi_0 P_0 H_0^3)_A$$

$$A_{x_4} = \Lambda(H_0 P_0)_A \quad A_{x_5} = \Lambda H_0 \Big|_A$$

$$B_{x_1} = (\phi_0 P_0 H_0^3)_B \frac{\partial P}{\partial X} \Big|_B \quad B_{x_2} = \left\{ \frac{\partial}{\partial P_0} (\phi_0 P_0 H_0^3) \right\} \frac{\partial P}{\partial X} \Big|_B \quad B_{x_3} = (\phi_0 P_0 H_0^3)_B$$

$$B_{x_4} = \Lambda(H_0 P_0)_B \quad B_{x_5} = \Lambda H_0 \Big|_B$$

$$C_{x_1} = (\phi_0 P_0 H_0^3)_C \frac{\partial P}{\partial X} \Big|_C \quad C_{x_2} = \left\{ \frac{\partial}{\partial P_0} (\phi_0 P_0 H_0^3) \right\} \frac{\partial P}{\partial X} \Big|_C \quad C_{x_3} = (\phi_0 P_0 H_0^3)_C$$

$$C_{x_4} = \Lambda(H_0 P_0)_C \quad C_{x_5} = \Lambda H_0 \Big|_C$$

$$D_{x_1} = (\phi_0 P_0 H_0^3)_D \frac{\partial P}{\partial X} \Big|_D \quad D_{x_2} = \left\{ \frac{\partial}{\partial P_0} (\phi_0 P_0 H_0^3) \right\} \frac{\partial P}{\partial X} \Big|_D \quad D_{x_3} = (\phi_0 P_0 H_0^3)_D$$

$$D_{x_4} = \Lambda(H_0 P_0)_D \quad D_{x_5} = \Lambda H_0 \Big|_D$$

$$A_{y_1} = R^2 (\phi_0 P_0 H_0^3)_A \frac{\partial P}{\partial Y} \Big|_A \quad A_{y_2} = R^2 \left\{ \frac{\partial}{\partial P_0} (\phi_0 P_0 H_0^3) \right\} \frac{\partial P}{\partial Y} \Big|_A \quad A_{y_3} = R^2 (\phi_0 P_0 H_0^3)_A$$

$$B_{y_1} = R^2 (\phi_0 P_0 H_0^3)_B \frac{\partial P}{\partial Y} \Big|_B \quad B_{y_2} = R^2 \left\{ \frac{\partial}{\partial P_0} (\phi_0 P_0 H_0^3) \right\} \frac{\partial P}{\partial Y} \Big|_B \quad B_{y_3} = R^2 (\phi_0 P_0 H_0^3)_B$$

$$\begin{aligned}
C_{Y1} &= R^2 (\phi_0 P_0 H_0^3)_c \frac{\partial P}{\partial Y} \Big|_c & C_{Y2} &= R^2 \left\{ \frac{\partial}{\partial P_0} (\phi_0 P_0 H_0^3) \right\}_c \frac{\partial P}{\partial Y} \Big|_c & C_{Y3} &= R^2 (\phi_0 P_0 H_0^3)_c \\
D_{Y1} &= R^2 (\phi_0 P_0 H_0^3)_D \frac{\partial P}{\partial Y} \Big|_D & D_{Y2} &= R^2 \left\{ \frac{\partial}{\partial P_0} (\phi_0 P_0 H_0^3) \right\}_D \frac{\partial P}{\partial Y} \Big|_D & D_{Y3} &= R^2 (\phi_0 P_0 H_0^3)_D
\end{aligned}
\tag{4.15}$$

4.1.2 การคำนวณในด้านพลวัต

จากสมการเรย์โนลด์

$$\frac{\partial}{\partial X} \left[QPH^3 \left(\frac{\partial P}{\partial X} \right) \right] + \left(\frac{L}{B} \right) \frac{\partial}{\partial Y} \left[QPH^3 \left(\frac{\partial P}{\partial Y} \right) \right] - \Lambda \frac{\partial(PH)}{\partial X} - \sigma \frac{\partial(PH)}{\partial T} = 0
\tag{4.16}$$

โดยมีเงื่อนไขความดันที่บริเวณขอบคือ

$$P(0, Y, T) = P(1, Y, T) = P(X, 0, T) = P(X, 1, T) = 1
\tag{4.17}$$

ให้

$$\begin{aligned}
H &= H_0 + \Delta H(T) \\
P &= P_0 + \Delta P(T)
\end{aligned}
\tag{4.18}$$

$$\Delta H(T) = z(T) + \theta(T)(x_G - x) + A_\Omega \sin(\Omega T)
\tag{4.19}$$

แปลงลาปลาซได้เป็น

$$\Delta \bar{H} = \bar{z} + \bar{\theta}(x - x_G) + A_\Omega \frac{\Omega}{(s^2 + \Omega^2)}
\tag{4.20}$$

$$\Delta \bar{P} = \Lambda \bar{P}_1 \bar{z} + \Lambda \bar{P}_2 \bar{\theta} + \Lambda \bar{P}_3 A_\Omega \frac{\Omega}{(s^2 + \Omega^2)}
\tag{4.21}$$

จากสมการเรย์โนลด์ทำให้เป็นสมการเชิงเส้น

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial}{\partial X} \left\{ Q_{X_0} \frac{\partial \Delta P}{\partial X} + \left(Q_{X P_0} \frac{\partial P_0}{\partial X} - \Lambda H_0 \right) \Delta P \right\} \\
& + R^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left\{ Q_{Y_0} \frac{\partial \Delta P}{\partial Y} + Q_{Y P_0} \frac{\partial P_0}{\partial Y} \Delta P \right\} - \sigma H_0 \frac{\partial \Delta P}{\partial T} \\
& = - \frac{\partial}{\partial X} \left(Q_{X H_0} \frac{\partial P_0}{\partial X} - \Lambda P_0 \right) \Delta H - R^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left(Q_{Y H_0} \frac{\partial P_0}{\partial Y} \Delta H \right) + \sigma P_0 \frac{\partial \Delta H}{\partial T} \quad (4.22)
\end{aligned}$$

โดยที่ $Q_{X_0} = Q_X(P_0, H_0)$; $Q_{Y_0} = Q_Y(P_0, H_0)$

$$Q_{X P_0} = \left. \frac{\partial Q_X}{\partial P} \right|_{(P_0, H_0)} ; Q_{Y P_0} = \left. \frac{\partial Q_Y}{\partial P} \right|_{(P_0, H_0)}$$

$$Q_{X H_0} = \left. \frac{\partial Q_X}{\partial H} \right|_{(P_0, H_0)} ; Q_{Y H_0} = \left. \frac{\partial Q_Y}{\partial H} \right|_{(P_0, H_0)}$$

ใช้ลาปลาซทรานส์ฟอร์มจากสมการที่ 4.20 4.21 และ 4.22 แทนค่าและจัดรูปจะได้

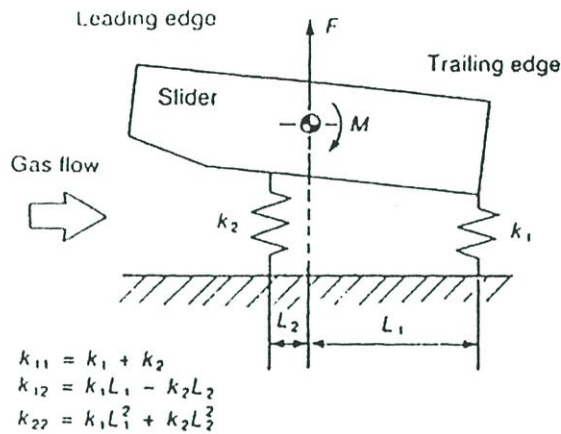
$$\begin{aligned}
& \frac{\partial}{\partial X} \left\{ Q_{X_0} \frac{\partial \Delta P_1}{\partial X} + \left(Q_{X P_0} \frac{\partial P_0}{\partial X} - \Lambda H_0 \right) \Delta P_1 \right\} \\
& + R^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left\{ Q_{Y_0} \frac{\partial \Delta P_1}{\partial Y} + Q_{Y P_0} \frac{\partial P_0}{\partial Y} \Delta P_1 \right\} - \sigma_{s H_0} \Delta P_1 \\
& = - \frac{\partial}{\partial X} \left(Q_{X H_0} \frac{\partial P_0}{\partial X} - \Lambda P_0 \right) - R^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left(Q_{Y H_0} \frac{\partial P_0}{\partial Y} \right) + s \sigma P_0 \quad (4.23)
\end{aligned}$$

และ

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial}{\partial X} \left\{ Q_{X_0} \frac{\partial \Delta P_2}{\partial X} + \left(Q_{X P_0} \frac{\partial P_0}{\partial X} - \Lambda H_0 \right) \Delta P_2 \right\} \\
& + R^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left\{ Q_{Y_0} \frac{\partial \Delta P_2}{\partial Y} + Q_{Y P_0} \frac{\partial P_0}{\partial Y} \Delta P_2 \right\} - \sigma_{s H_0} \Delta P_2
\end{aligned}$$

$$= -\frac{\partial}{\partial X} \left\{ (X_G - X) \left(\rho_{yH_0} \frac{\partial P_0}{\partial X} - \Delta P_0 \right) \right\} - R^2 (X_G - X) \frac{\partial}{\partial Y} \left(\rho_{yH_0} \frac{\partial P_0}{\partial Y} \right) + s \sigma (X_G - X) P_0 \quad (4.24)$$

4.1.3 การคำนวณหาสัมประสิทธิ์สปริงและเดมปีงของหัวอ่าน



รูปที่ 4.3 แสดงการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สปริง[28]

พื้นฐานในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สปริงแสดงในรูปเมตริกซ์คือ

$$\begin{bmatrix} F \\ M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z \\ \theta \end{bmatrix} \quad (4.25)$$

ซึ่งครรชนีล่างเลขหนึ่งแสดงถึงทิศทางในแนวตั้งฉากกับผิวดิस्क และครรชนีล่างเลขสองแสดงทิศทางหมุนรอบแกนตามขวางของหัวอ่าน จากความสัมพันธ์ของแรงและโมเมนต์จะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ของสปริงได้คือ

$$K_{11} = -\iint_{00}^{11} \text{Re}(\Delta P_1) dXdY \quad (4.26)$$

$$K_{12} = -\iint_{00}^{11} \text{Re}(\Delta P_2) dXdY \quad (4.27)$$

$$K_{21} = -\int_0^1 \int_0^1 \operatorname{Re}(\Delta P_1)(X_G - X) dXdY \quad (4.28)$$

$$K_{22} = -\int_0^1 \int_0^1 \operatorname{Re}(\Delta P_2)(X_G - X) dXdY \quad (4.29)$$

โดยที่สัมประสิทธิ์ของสปริงเป็นค่าจริงและสัมประสิทธิ์ของแดมปีงเป็นค่าจินตภาพ

$$C_{11} = -\int_0^1 \int_0^1 \operatorname{Im} g(\Delta P_1) dXdY \quad (4.30)$$

$$C_{12} = -\int_0^1 \int_0^1 \operatorname{Im} g(\Delta P_2) dXdY \quad (4.31)$$

$$C_{21} = -\int_0^1 \int_0^1 \operatorname{Im} g(\Delta P_1)(X_G - X) dXdY \quad (4.32)$$

$$C_{22} = -\int_0^1 \int_0^1 \operatorname{Im} g(\Delta P_2)(X_G - X) dXdY \quad (4.33)$$

ตารางที่ 5.1 แสดงขนาดและค่าต่างๆของหัวอ่านชนิด IBM 3380 ที่ใช้ในการคำนวณ

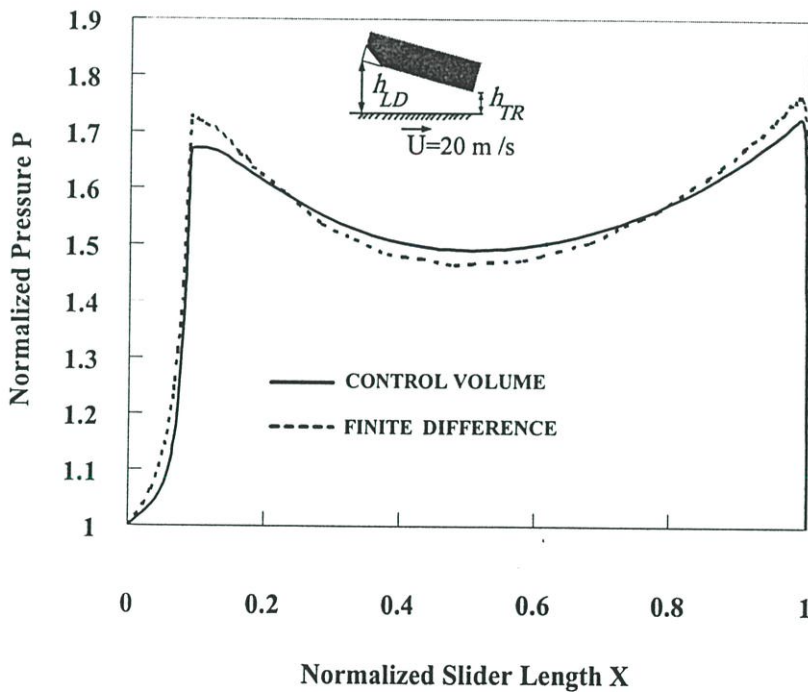
สัญลักษณ์	ขนาดหัวอ่านชนิด IBM3380[42]	ขนาดหัวอ่านชนิด Optimum[43]
L	4.05×10^{-3} m	4.05×10^{-3} m
B	0.50×10^{-3} m	0.336×10^{-3} m
L_{TP}	0.368×10^{-3} m	0.368×10^{-3} m
W	3.05×10^{-3} m	3.05×10^{-3} m
θ	15.0×10^{-3} rad	15.0×10^{-3} rad
θ_{TP}	15.0×10^{-3} rad	10.0×10^{-3} rad
h_0	0.1×10^{-6} m	0.1×10^{-6} m
h_{TR}	0.14×10^{-6} m	0.14×10^{-6} m
I_θ	8.60×10^{-11} Ns ² m	8.60×10^{-11} Ns ² m
k_z	0	0
C_z	0	0
k_θ	0	0
ω_0	377 rad/s	377 rad/s
f_0	147×10^{-3} N	147×10^{-3} N
x_G	2.025×10^{-3} m	2.025×10^{-3} m
x_S	2.162×10^{-3} m	2.162×10^{-3} m

5.1 ผลการคำนวณทางสถิติ

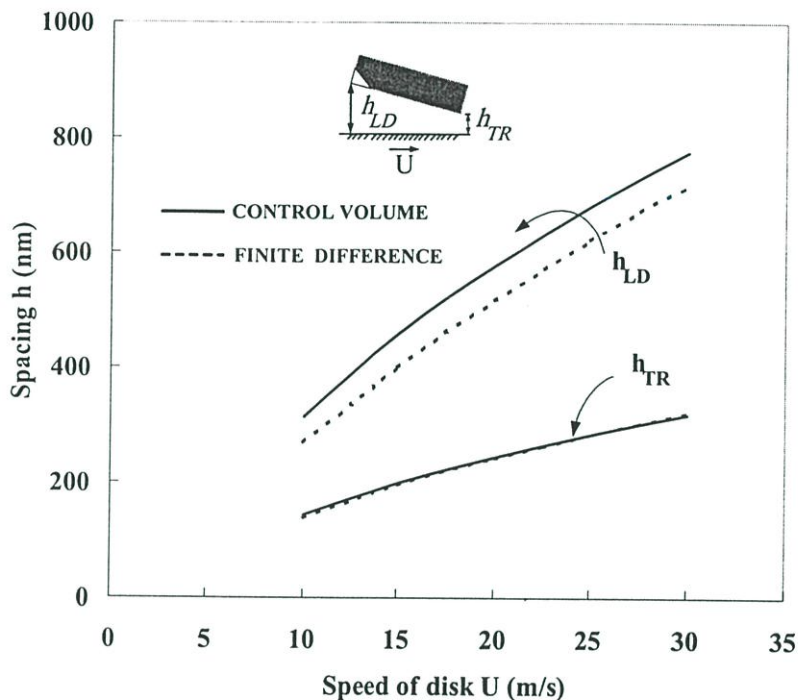
จากรูปที่ 5.2 แสดงการกระจายของความดันที่ความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที จะเห็นว่าความดันมีการเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงบริเวณขอบนำของหัวอ่าน โดยจะมีค่าความดันสูงสุดที่บริเวณนี้จากนั้นความดันก็จะลดลง และจะมีความดันสูงขึ้นจนกระทั่งถึงบริเวณขอบท้ายของหัวอ่าน ซึ่งจะเกิดความดันสูงสุดขึ้นอีกเป็นครั้งที่สอง จากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว ในการลดลงของความดันนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลออกจำนวนมากที่บริเวณขอบด้านข้าง ส่วนการเพิ่มขึ้นของความดันที่บริเวณขอบท้ายนั้นนั้นเกิดจากความสูงของหัวอ่านมีการลดลงจากขอบนำไปยังขอบท้าย เมื่อเปรียบเทียบผลของการกระจายของความดันที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีปริมาตรควบคุมกับวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์นั้น พบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าของความดันที่บริเวณขอบนำและขอบท้ายของหัวอ่านที่ได้จากการคำนวณจากวิธีปริมาตรควบคุมมีค่าต่ำกว่าวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์

รูปที่ 5.3 แสดงผลของความเร็วที่มีต่อระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบนำและขอบท้ายของหัวอ่าน จากรูปพบว่าเมื่อความเร็วสูงขึ้นจะระยะการลอยตัวจะสูงขึ้น และจะมีผลมากที่ขอบนำ โดยที่ความเร็วสูงจะมีความแตกต่างของระยะความสูงของขอบนำ และขอบท้าย มากกว่าที่ความเร็วต่ำ แสดงว่าหัวอ่านมีการเชิดมากขึ้นหรือมีมุมพิทช์มากขึ้นนั่นเอง เมื่อเปรียบเทียบกับผลทางไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์พบว่ามีความใกล้เคียงกัน โดยวิธีปริมาตรควบคุมมีค่าความสูงของการลอยตัวที่ขอบนำมากกว่าแต่ที่บริเวณขอบท้ายมีค่าเกือบเท่ากัน

รูปที่ 5.4 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงความกว้างของรางของหัวอ่านที่มีต่อระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบนำและขอบท้ายของหัวอ่านที่ความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที พบว่าเมื่อความกว้างของรางมากขึ้นจะมีผลต่อระยะการลอยตัวทั้งที่ขอบนำ และขอบท้าย โดยจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความกว้างของรางมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์พบว่ามีความใกล้เคียงกัน ที่บริเวณขอบนำจะมีค่าสูงกว่าแต่ที่บริเวณขอบท้ายค่าที่ได้มีค่าเกือบเท่ากัน



รูปที่ 5.2 แสดงการกระจายความดันบนพื้นผิวของหัวอ่านที่กึ่งกลางรางตามแนวความยาวของหัวอ่านเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์

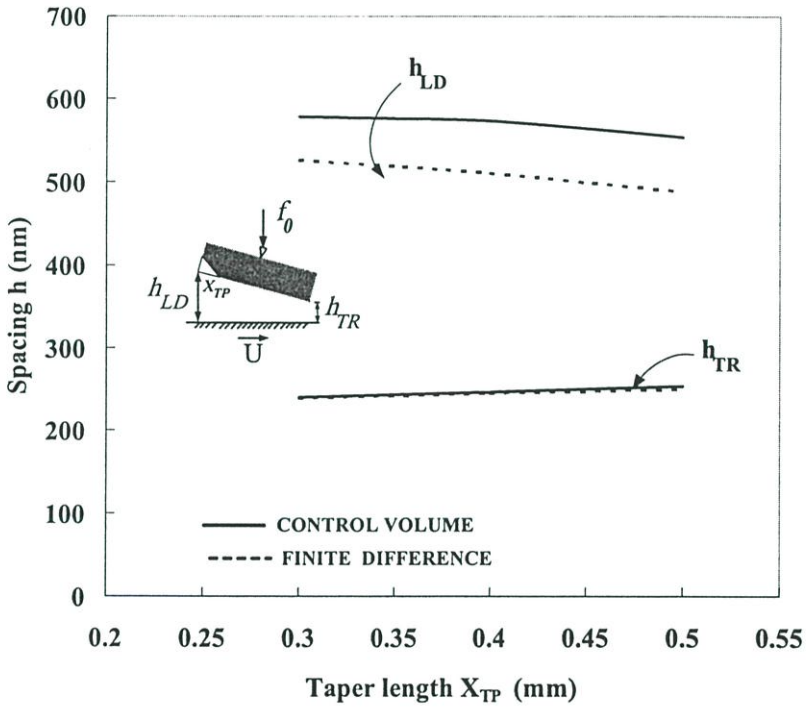


รูปที่ 5.3 แสดงผลของความเร็วแผ่นดิสก์ที่มีต่อระยะการลอยตัวต่ำสุดหรือที่บริเวณขอบท้ายของหัวอ่านเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์



รูปที่ 5.4 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อเปลี่ยนแปลงความกว้างของรางเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์

รูปที่ 5.5 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงความยาวของส่วนราบเอียงของหัวอ่านที่มีผลต่อระยะความสูงของการลอยตัวที่ความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที พบว่าเมื่อความยาวเพิ่มมากขึ้นระยะการลอยตัวของหัวอ่านที่ขอบท้ายจะมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย แต่ที่ขอบนำจะมีค่าการลอยตัวต่ำลง แสดงว่าหัวอ่านเซ็ดต่ำลงหรือมีมุมพิทช์น้อยลง และเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่คำนวณได้จากวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์พบว่าผลที่ได้ของวิธีปริมาตรควบคุมที่ขอบท้ายมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ที่ขอบนำมีค่ามากกว่า



รูปที่ 5.5 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อเปลี่ยนแปลงความยาวของส่วนราบเอียงของรางหัวอ่านเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์

รูปที่ 5.6 แสดง ผลของการเปลี่ยนแปลงมุมเทเปอร์ต่อค่าของความสูงของการลอยตัวที่ขอบนำและขอบท้ายของหัวอ่านที่ความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที จากรูปพบว่าเมื่อค่ามุมเทเปอร์มากขึ้นความสูงที่ขอบนำและขอบท้ายจะมีค่าต่ำลง และจะมีผลกับความสูงที่ขอบนำของหัวอ่าน ผลต่างของความสูงระหว่างขอบนำ และขอบท้ายมีค่าน้อยลงเมื่อมุมเทเปอร์มากขึ้นแสดงว่าหัวอ่านเซ็ดต่ำลงหรือมีมุมพิทช์ลดลงนั่นเอง เมื่อเปรียบเทียบผลที่คำนวณได้จากวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์พบว่าค่าที่คำนวณแบบปริมาตรควบคุมมีค่าสูงกว่า

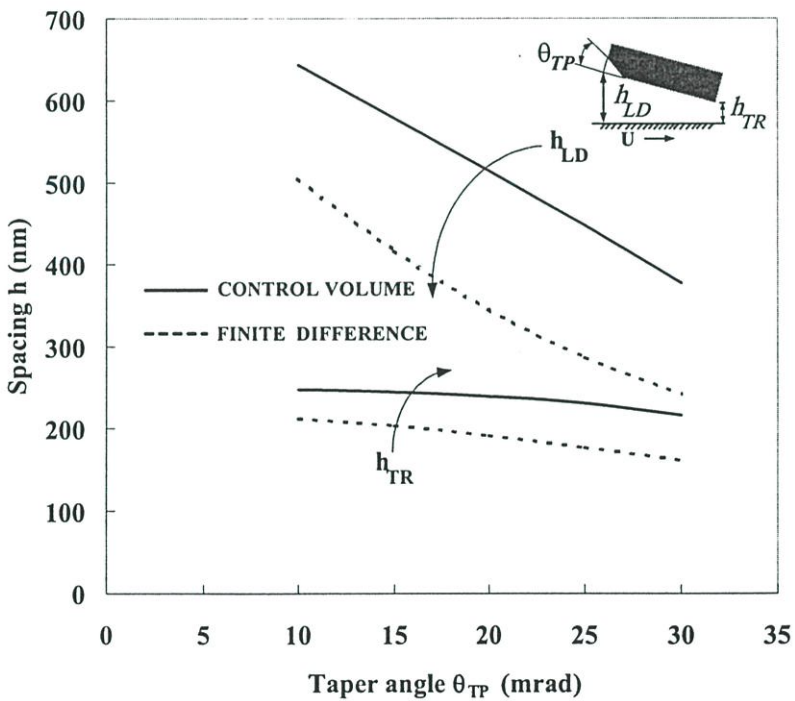
รูปที่ 5.7 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งยึดจับของซัสเพนชันต่อค่าความสูงของการลอยตัวที่ขอบนำและขอบท้ายของหัวอ่านที่ความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที พบว่าเมื่อตำแหน่งยึดจับมีค่ามากขึ้นมีผลทำให้ความสูงของการลอยตัวที่ขอบนำมีค่าลดลง แต่ความสูงที่ขอบท้ายมีค่าเพิ่ม

ขึ้น คือมีค่าความแตกต่างของความสูงที่ขอบนำและขอบท้ายมากขึ้นทำให้หัวอ่านเซคมากขึ้นหรือมีมุมพิทซ์เพิ่มขึ้นนั่นเอง เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณกับวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์พบว่าค่าที่คำนวณจากวิธีปริมาตรควบคุมมีค่าสูงกว่า

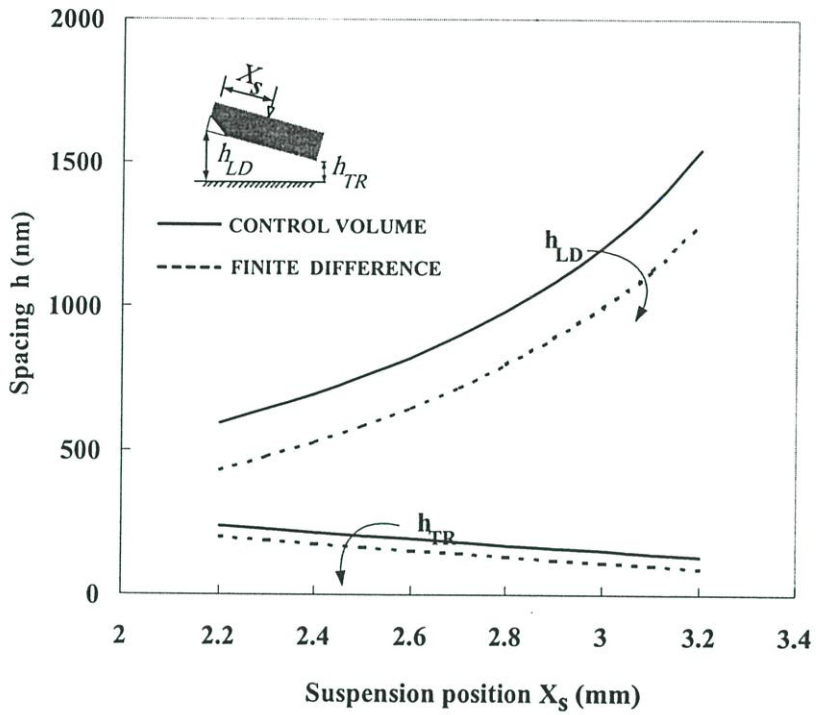
รูปที่ 5.8 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงแรงที่กระทำบนหัวอ่านที่มีต่อระยะการลอยตัวของหัวอ่าน จากรูปพบว่าเมื่อแรงที่กระทำบนหัวอ่านมีค่ามากขึ้น ระยะการลอยตัวที่ขอบนำ และขอบท้ายของหัวอ่านมีค่าลดลง และความแตกต่างระหว่างความสูงที่ขอบนำ และขอบท้ายมีค่าลดลงเมื่อแรงเพิ่มขึ้นแสดงว่าหัวอ่านเซคน้อยลง หรือมีมุมพิทซ์ลดลง

รูปที่ 5.9 แสดงผลของการกระจายความดันของหัวอ่านเป็นแบบสามมิติ ที่ความเร็ว 40 เมตรต่อวินาที

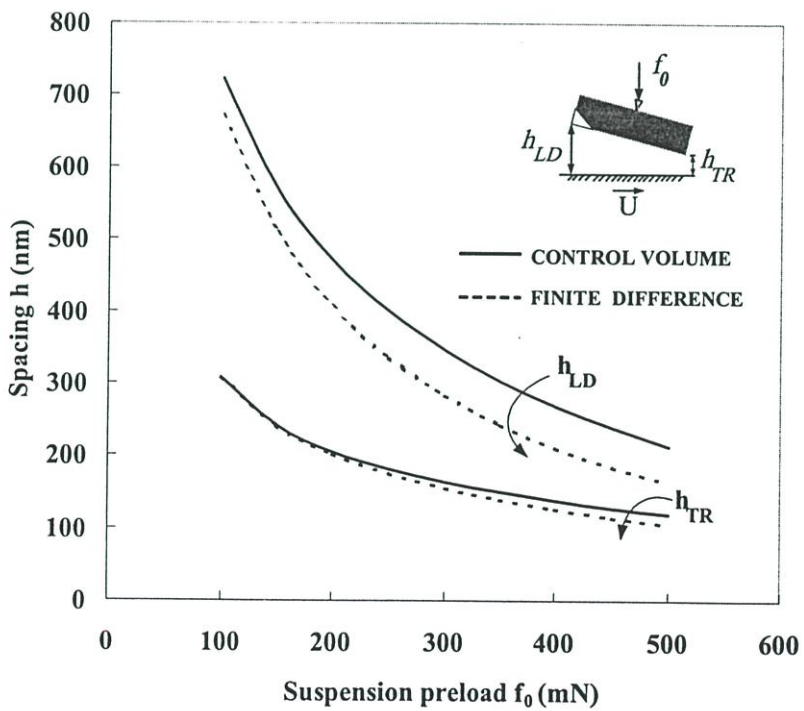
รูปที่ 5.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความเร็วที่มีผลต่อการกระจายของความดันที่บริเวณกึ่งกลางรางของหัวอ่าน จากผลที่ได้พบว่าเมื่อความเร็วมากขึ้นความดันที่บริเวณขอบนำและขอบท้ายจะมีค่ามากขึ้นแต่ความดันที่บริเวณกึ่งกลางจะมีค่าลดลง



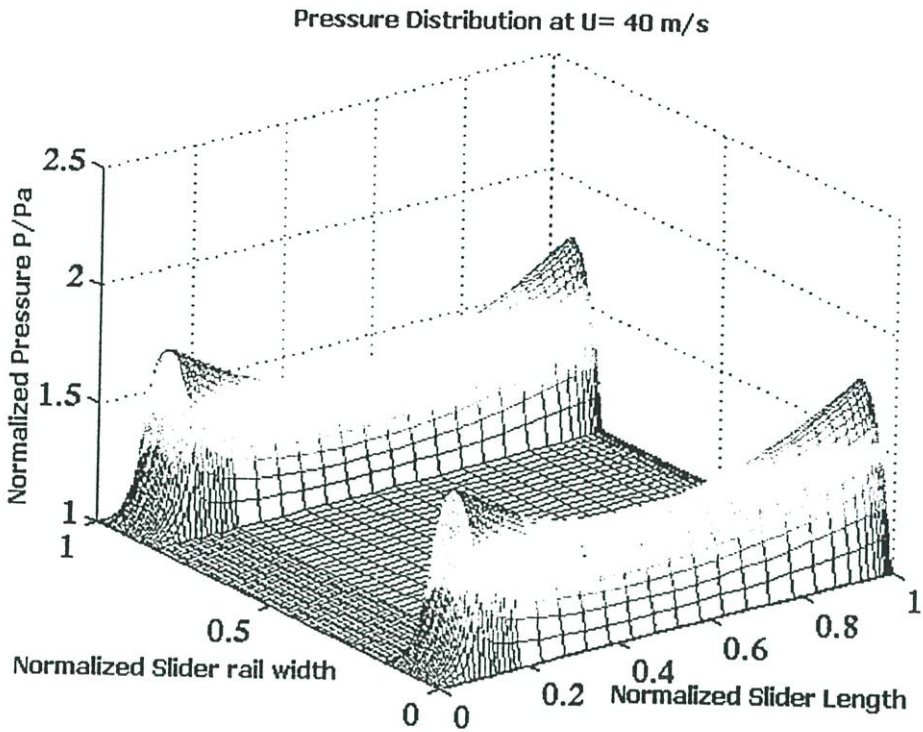
รูปที่ 5.6 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของมุมหรือ ความชันของส่วนราบเอียงของหัวอ่าน เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์



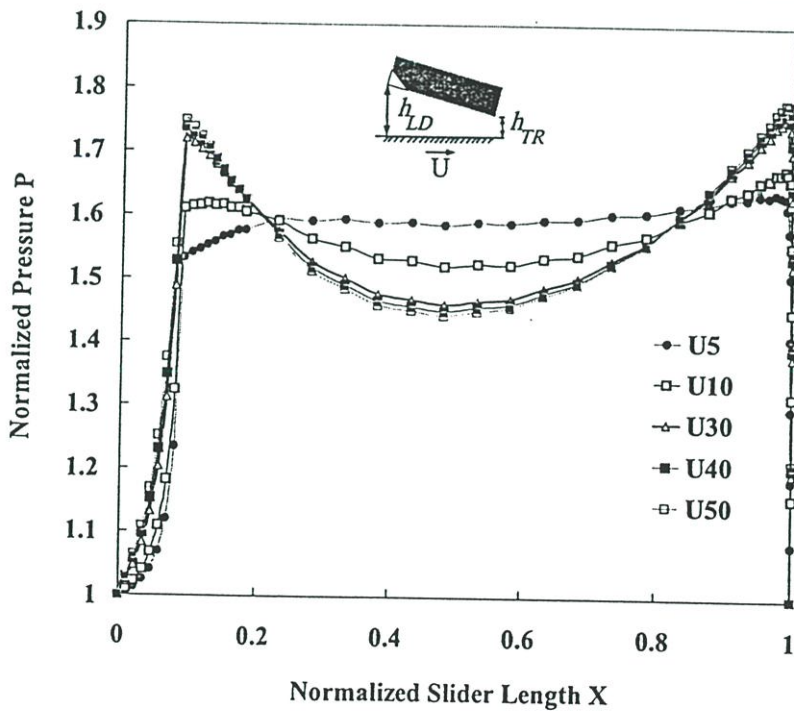
รูปที่ 5.7 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อเปลี่ยนแปลงตำแหน่งยึดจับหัวอ่านเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์



รูปที่ 5.8 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดเมื่อเปลี่ยนแปลงที่กระทำบนหัวอ่านเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์



รูปที่ 5.9 แสดงความดันกระจายบนพื้นผิวของหัวอ่านที่ความเร็วของฟลูอิดส์ 40 เมตรต่อวินาที

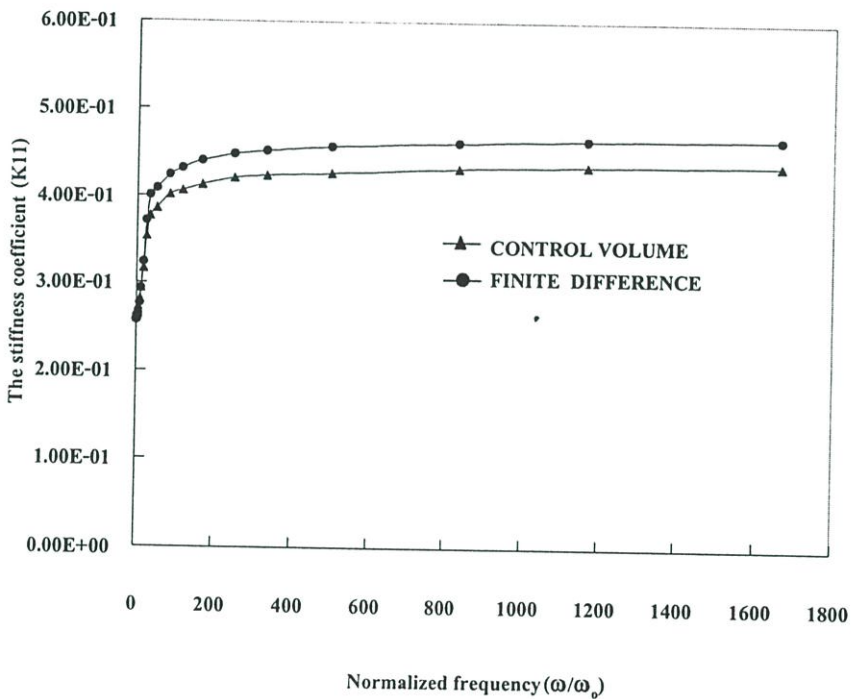


รูปที่ 5.10 แสดงผลของความดันกระจายที่กึ่งกลางของรางหัวอ่านตามแนวยาวเนื่องจากการรักษาสมดุลตำแหน่งขีดจับหัวอ่านและแรงกระทำบนหัวอ่านเพื่อให้เกิดพฤติกรรมสถิตเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยน

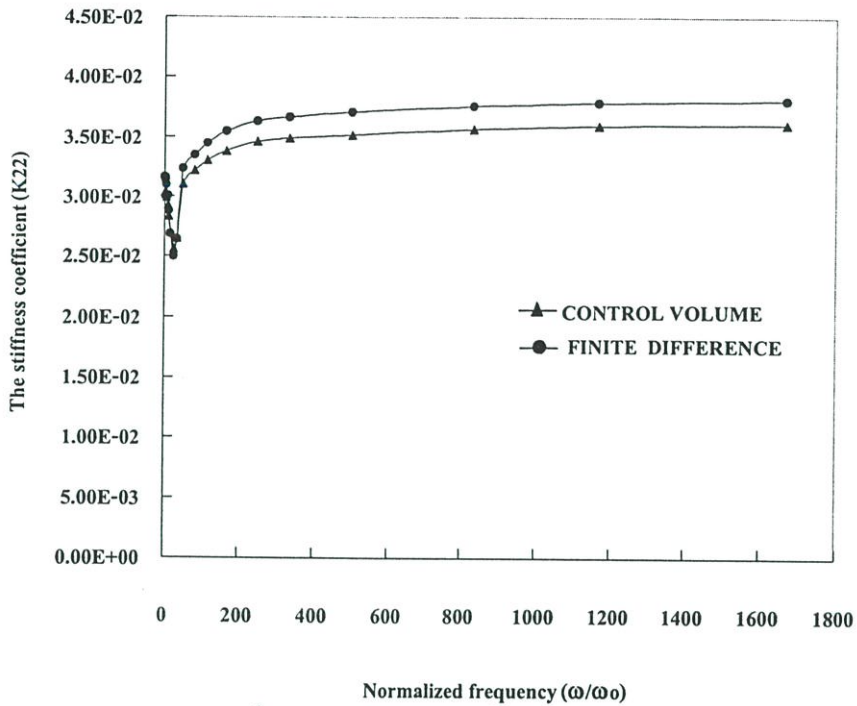
5.2 ผลการคำนวณทางพลวัต

ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ของสปริงและแดมปีงั้นเราจะทำการแทนค่าโดยพิจารณาให้หัวอ่านมีระยะจัดตามทิศทางเคลื่อนที่สองทิศทางคือ ในแนวตั้งฉากกับผิวดิस्कโดยเลื่อนขึ้นลงแทนด้วยเลขหนึ่ง (1) และหมุนรอบแกนตามขวางของหัวอ่านหรือความเอียงของหัวอ่านแทนด้วยเลขสอง (2)

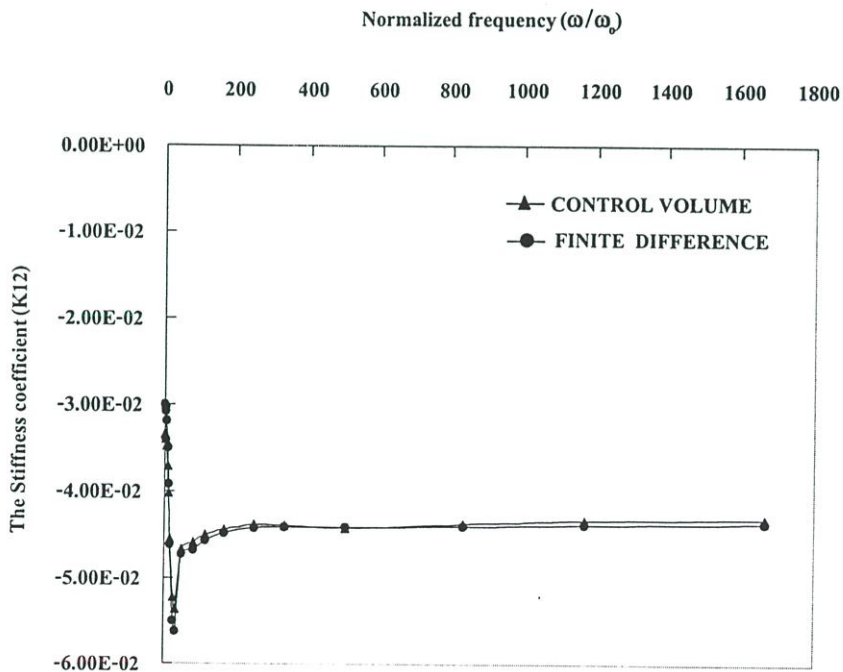
รูปที่ 5.11-5.18 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของ K_{11} K_{22} K_{12} K_{21} C_{11} C_{22} C_{21} C_{12} เมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่เปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ พบว่าผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันโดยค่าที่คำนวณได้จากวิธีปริมาตรควบคุมมีค่าน้อยกว่าเล็กน้อย



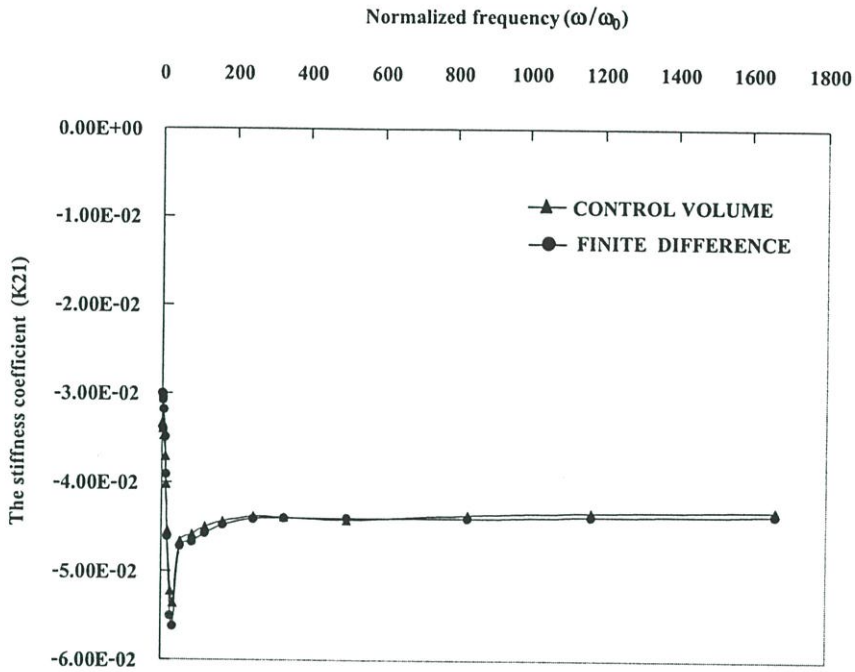
รูปที่ 5.11 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{11} และความถี่ในรูปไร้มิติของการคำนวณเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์



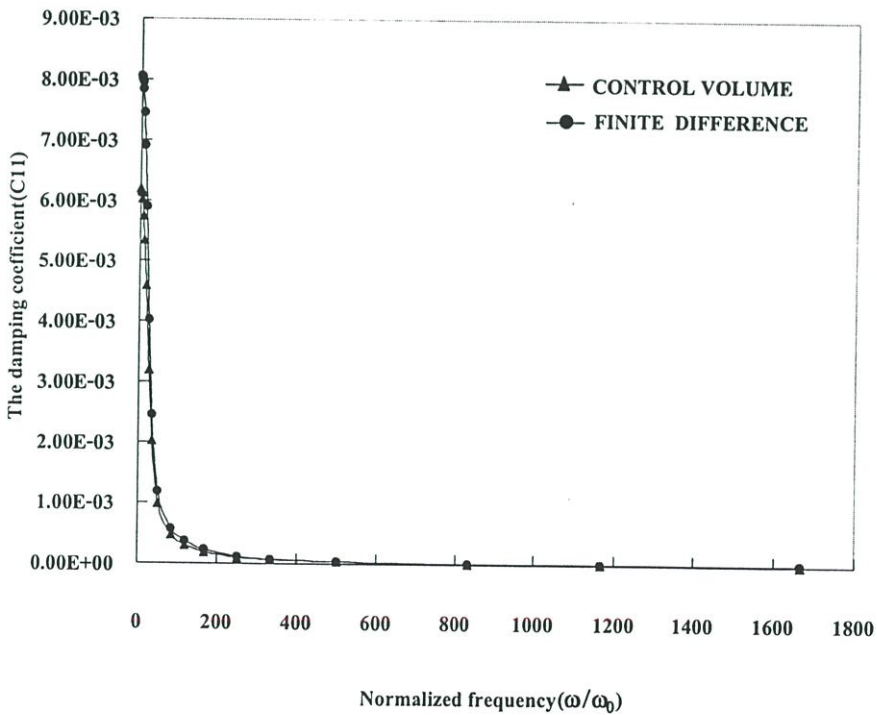
รูปที่ 5.12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{22} และความถี่ในรูปไร้มิติของการคำนวณเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ $U=20$ m/s



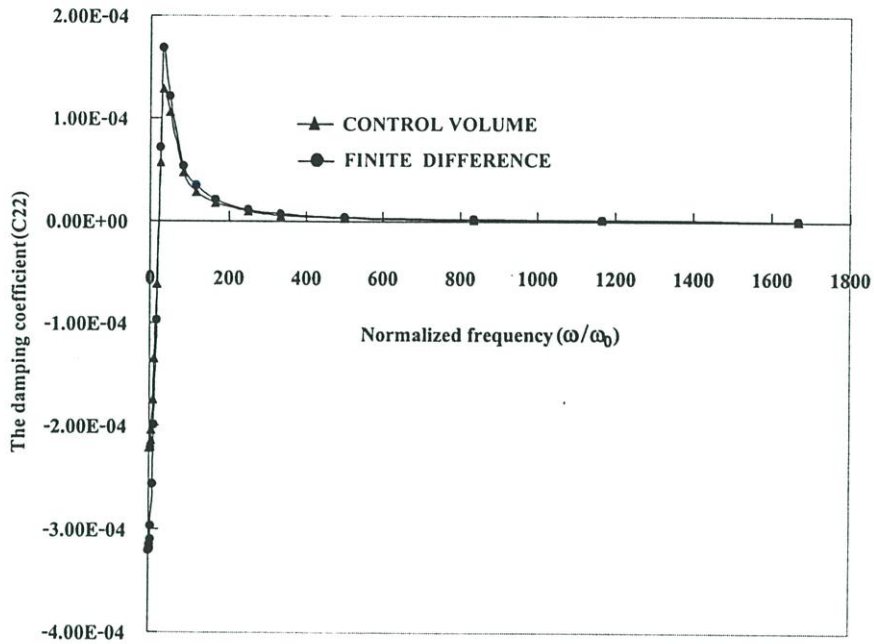
รูปที่ 5.13 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{12} และความถี่ในรูปไร้มิติของการคำนวณเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ $U=20$ m/s



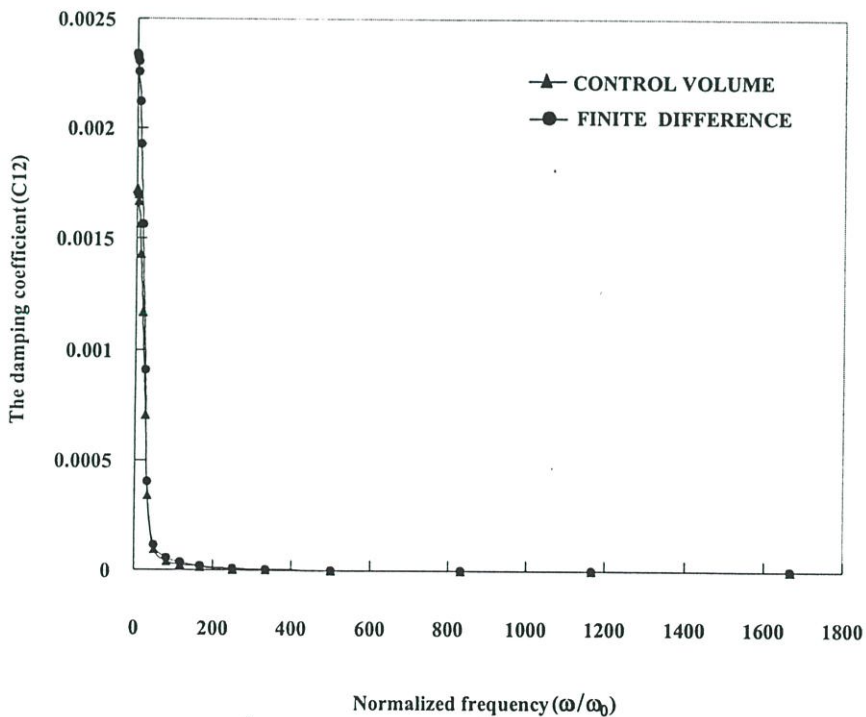
รูปที่ 5.14 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{21} และความถี่ในรูปไว้มิติของการคำนวณเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ $U=20$ m/s



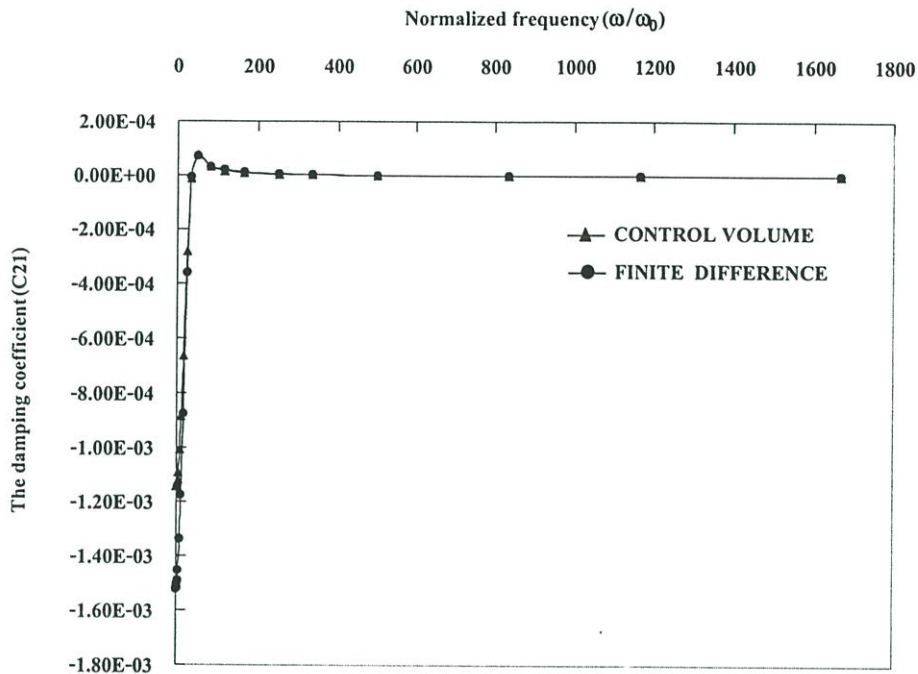
รูปที่ 5.15 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{11} และความถี่ในรูปไว้มิติของการคำนวณเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ $U=20$ m/s



รูปที่ 5.16 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{22} และความถี่ในรูปไว้มิติของการคำนวณเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ $U = 20$ m/s



รูปที่ 5.17 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{12} และความถี่ในรูปไว้มิติของการคำนวณเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ $U = 20$ m/s



รูปที่ 5.18 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{21} และความถี่ในรูปไร้มิติของการคำนวณเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ $U = 20$ m/s

รูปที่ 5.19-5.26 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง และเคมบั้งกับความถี่แบบไร้มิติ เมื่อค่าของความหนาฟิล์มต่ำสุดเปลี่ยนแปลงไปที่ความเร็ว 10 เมตรต่อวินาที และทำการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาของฟิล์มต่ำสุดโดยมีค่าเท่ากับ 0.1 0.2 0.3 0.4 และ 0.5 ไมโครเมตร

รูปที่ 5.19 พบว่าเมื่อค่าความหนาฟิล์มต่ำสุดเพิ่มขึ้นพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{11} เพิ่มขึ้น และเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{11} เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาฟิล์มต่ำสุดมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{11} แต่การเปลี่ยนแปลงความถี่ไม่มีผลกับค่าค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{11}

รูปที่ 5.20 พบว่าเมื่อค่าความหนาฟิล์มต่ำสุดเพิ่มขึ้นพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{22} เพิ่มขึ้น เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{22} เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาฟิล์มต่ำสุดมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{22} แต่การเปลี่ยนแปลงความถี่ไม่มีผลกับค่าค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{22}

รูปที่ 5.21 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{12} มีค่าเป็นลบ เมื่อค่าความหนาฟิล์มต่ำสุดเพิ่มขึ้นพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{12} เพิ่มขึ้น เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นค่า K_{12} เพิ่มเพียงขึ้นเล็กน้อยแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาฟิล์มต่ำสุดมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{12} แต่การเปลี่ยนแปลงความถี่ไม่มีผลกับค่าค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{12}

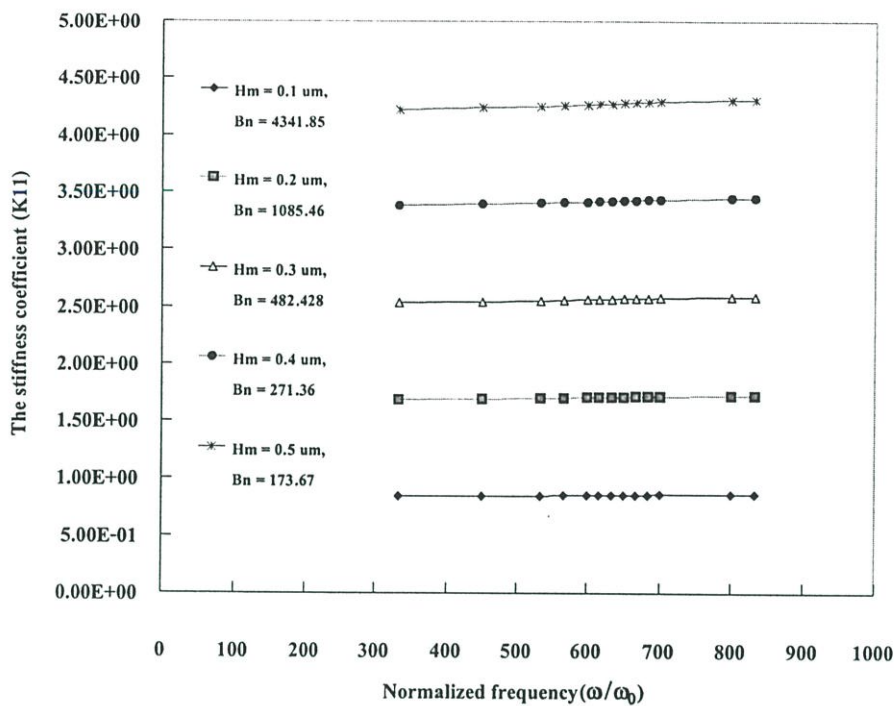
รูปที่ 5.22 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{21} มีค่าเป็นลบ เมื่อค่าความหนาฟิล์มต่ำสุดเพิ่มขึ้น พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{21} เพิ่มขึ้น เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{21} เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

รูปที่ 5.23 พบว่าเมื่อค่าความหนาฟิล์มต่ำสุดเพิ่มขึ้นพบว่าค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง C_{11} เพิ่มขึ้น และ เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง C_{11} ลดลง แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงความหนาของฟิล์มต่ำสุด และการเปลี่ยนแปลงความถี่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง C_{11}

รูปที่ 5.24 พบว่าเมื่อค่าความหนาฟิล์มต่ำสุดเพิ่มขึ้นพบว่าค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง C_{22} เพิ่มขึ้น เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง C_{22} ลดลง แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงความหนาของฟิล์มต่ำสุด และการเปลี่ยนแปลงความถี่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง C_{22}

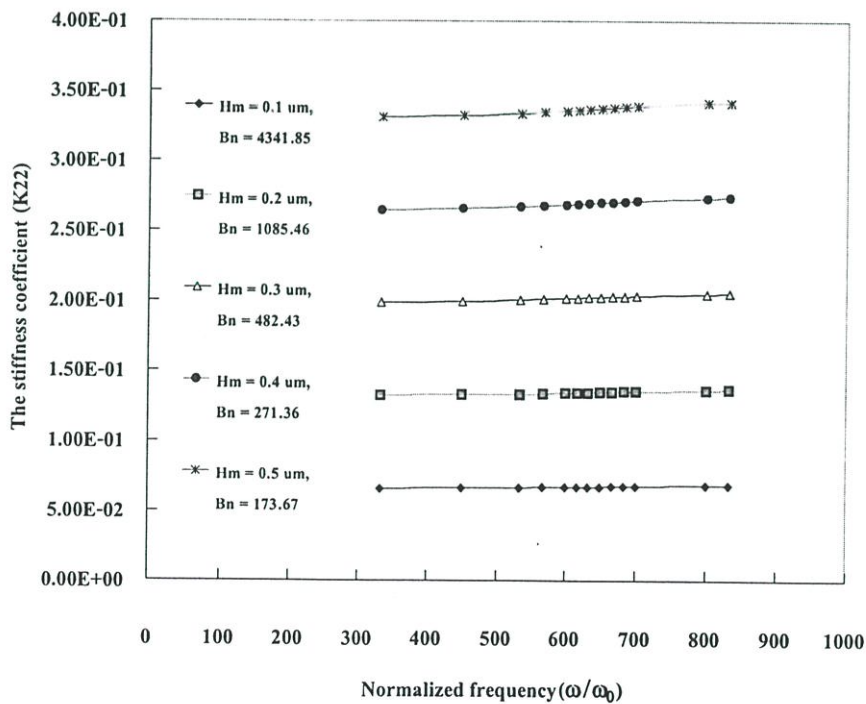
รูปที่ 5.25 พบว่าเมื่อค่าความหนาฟิล์มต่ำสุดเพิ่มขึ้นพบว่าค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง C_{12} เพิ่มขึ้น เมื่อความถี่แบบไร้มิติอยู่ระหว่างอยู่ในช่วงประมาณ 500-600 ค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง C_{12} จะมีค่าเพิ่มขึ้นจากนั้นค่าจะลดลงเมื่อความถี่เพิ่มมากขึ้นเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง C_{12} ลดลง แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงความหนาของฟิล์มต่ำสุด และการเปลี่ยนแปลงความถี่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง C_{12}

รูปที่ 5.26 พบว่าเมื่อค่าความหนาฟิล์มต่ำสุดเพิ่มขึ้นพบว่าค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง C_{21} เพิ่มขึ้น เมื่อความถี่แบบไร้มิติอยู่ระหว่างอยู่ในช่วงประมาณ 500-600 หลังจากนั้นเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง C_{21} จะลดลง แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงความหนาของฟิล์มต่ำสุด และการเปลี่ยนแปลงความถี่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง C_{21}



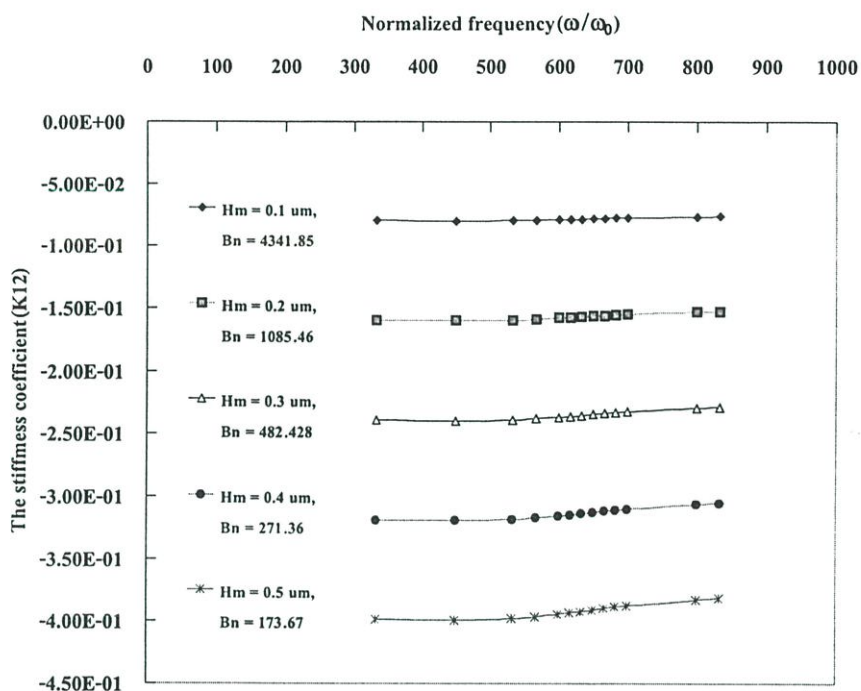
รูปที่ 5.19 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{11} และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด

$U = 10 \text{ m/s}$



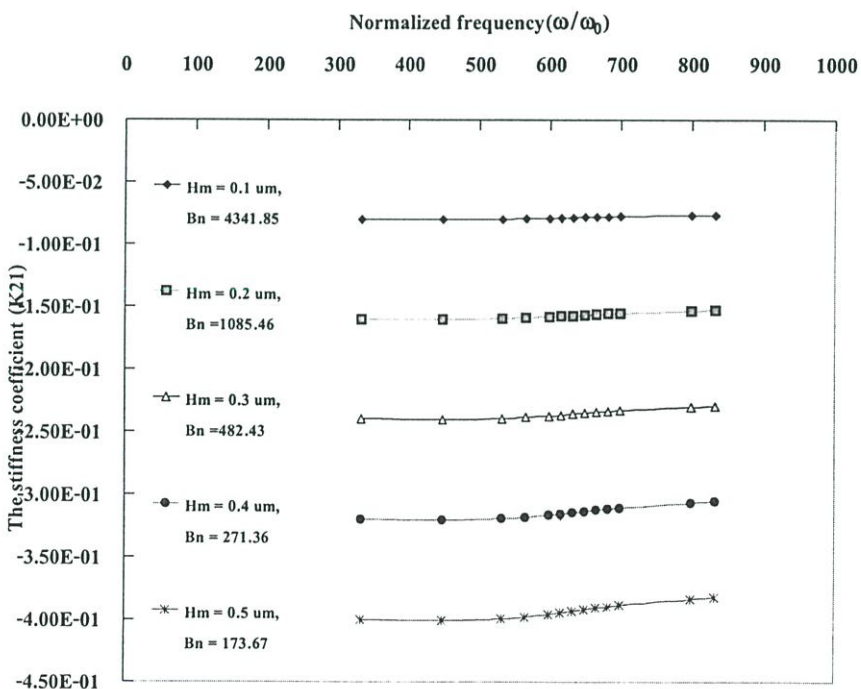
รูปที่ 5.20 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{22} และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด

$U = 10 \text{ m/s}$



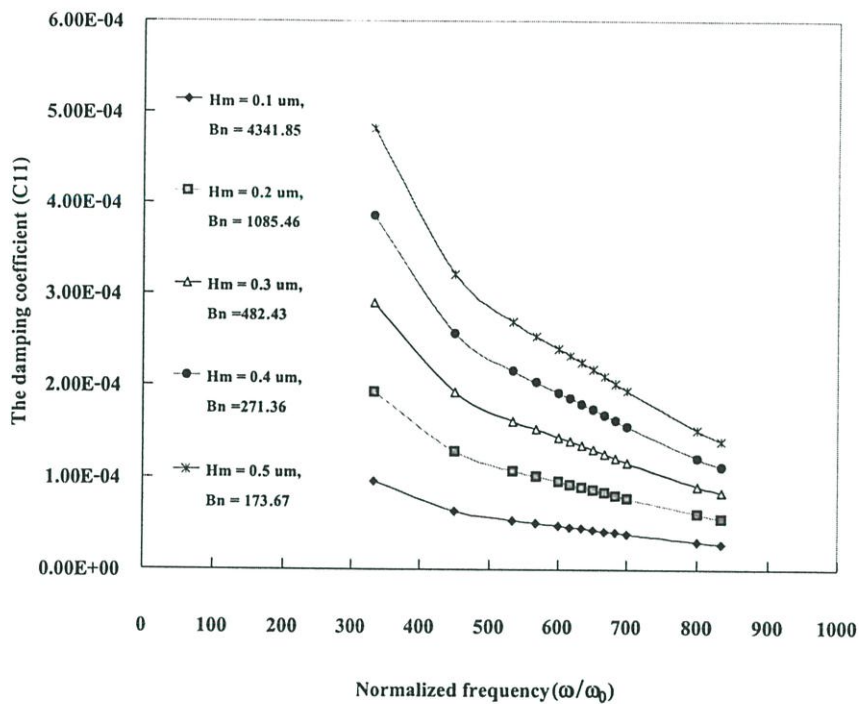
รูปที่ 5.21 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{12} และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด

$U = 10 \text{ m/s}$



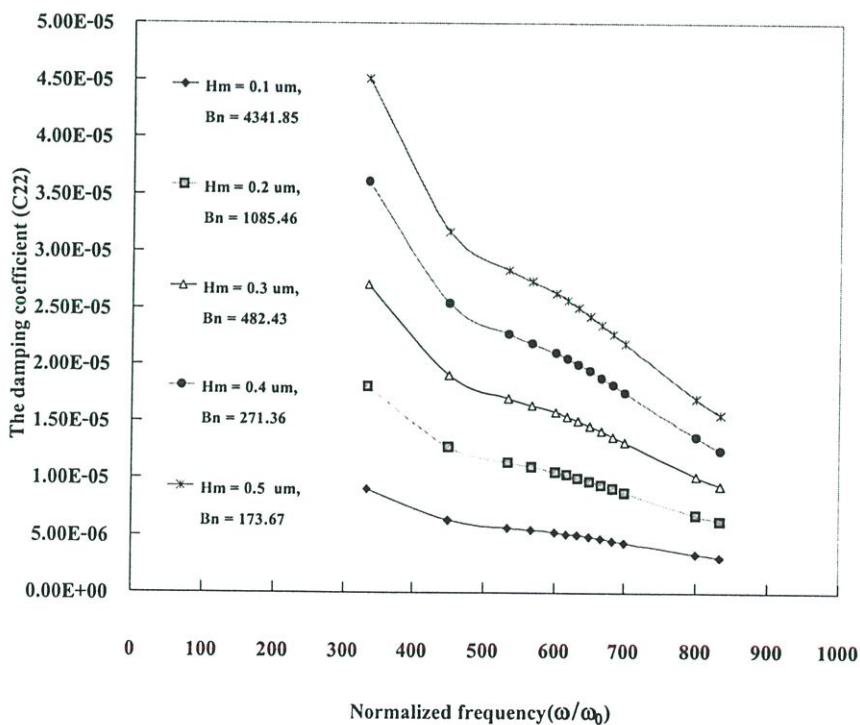
รูปที่ 5.22 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{21} และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด

$U = 10 \text{ m/s}$



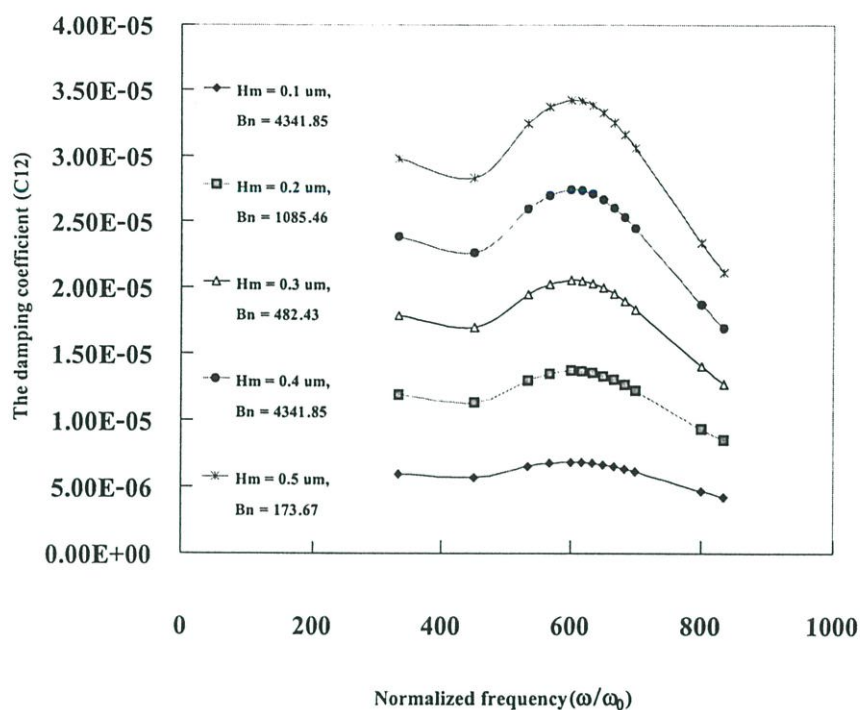
รูปที่ 5.23 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{11} และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด

$U = 10 \text{ m/s}$



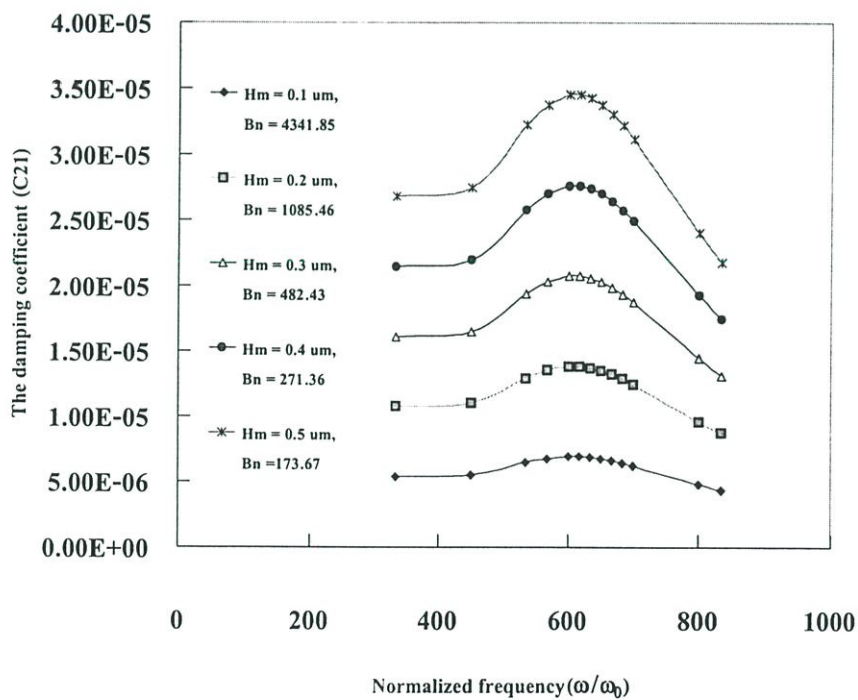
รูปที่ 5.24 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{22} และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด

$U = 10 \text{ m/s}$



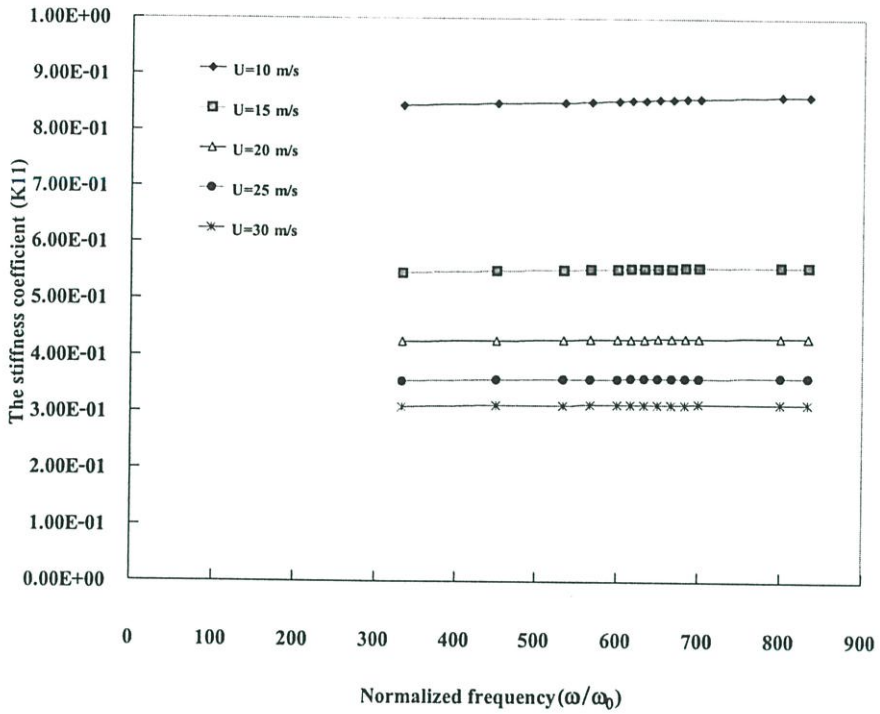
รูปที่ 5.25 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{12} และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด

$U = 10$ m/s

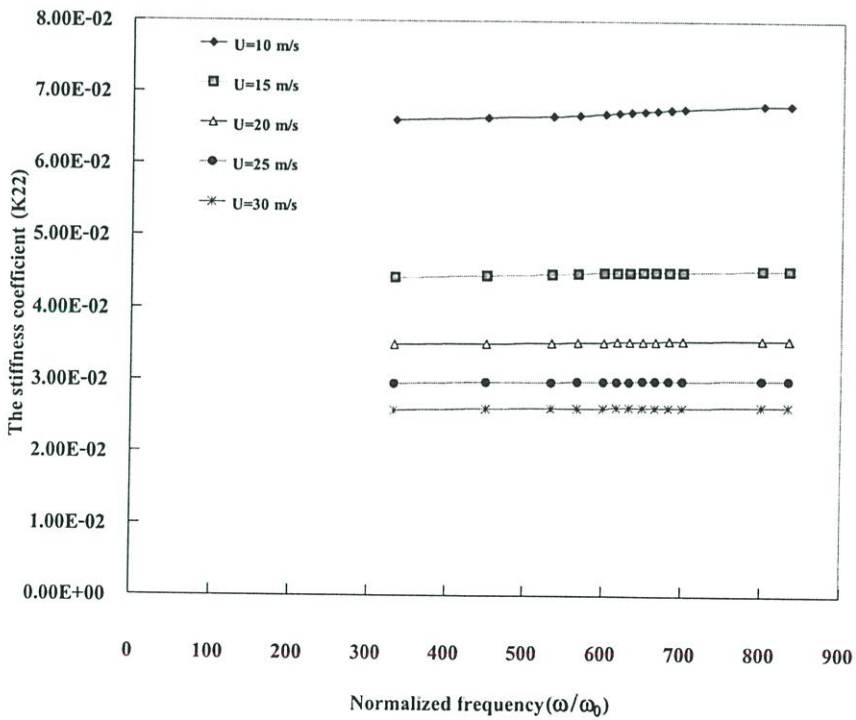


รูปที่ 5.26 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{21} และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด

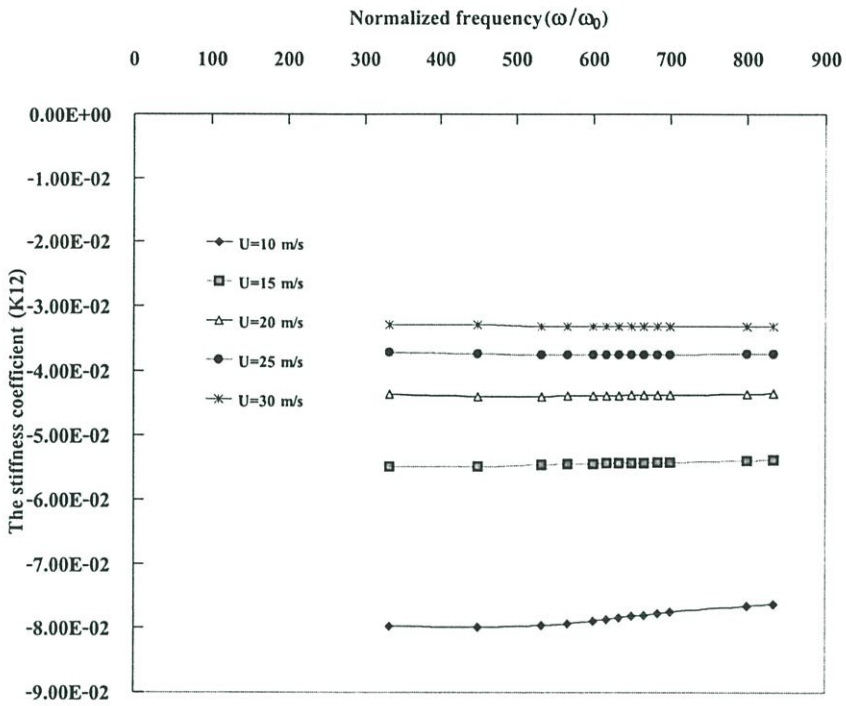
$U = 10$ m/s



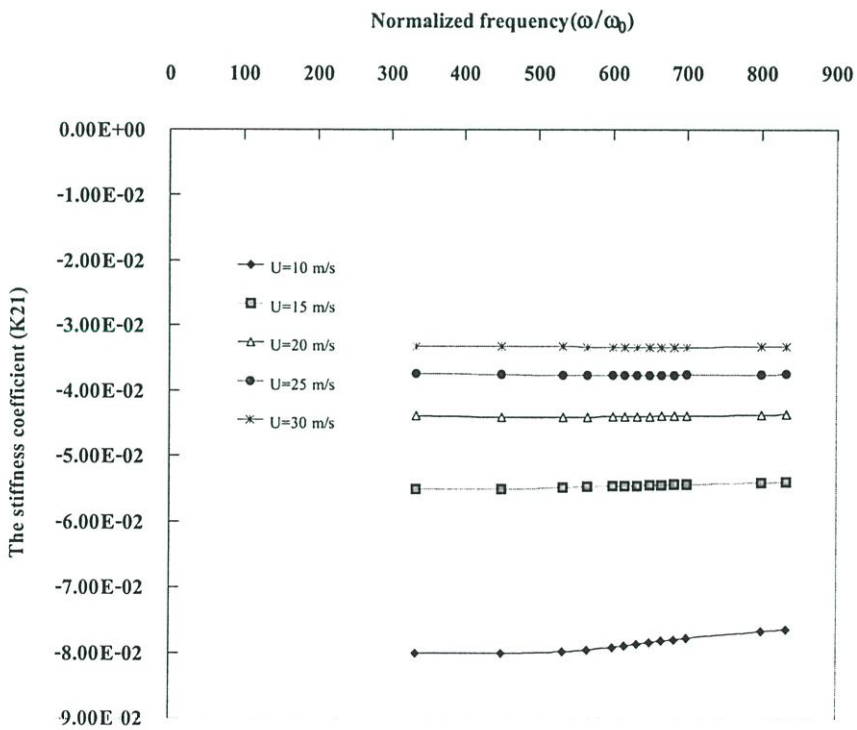
รูปที่ 5.27 แสดงค่าผลของความถี่แผ่นคัสก์ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{11}



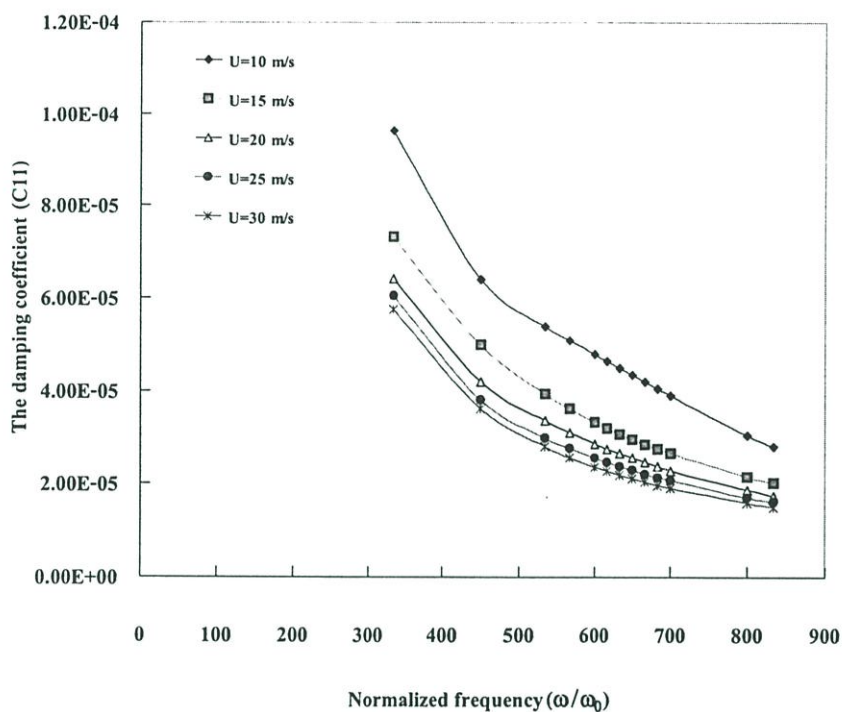
รูปที่ 5.28 แสดงค่าผลของความถี่แผ่นคัสก์ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{22}



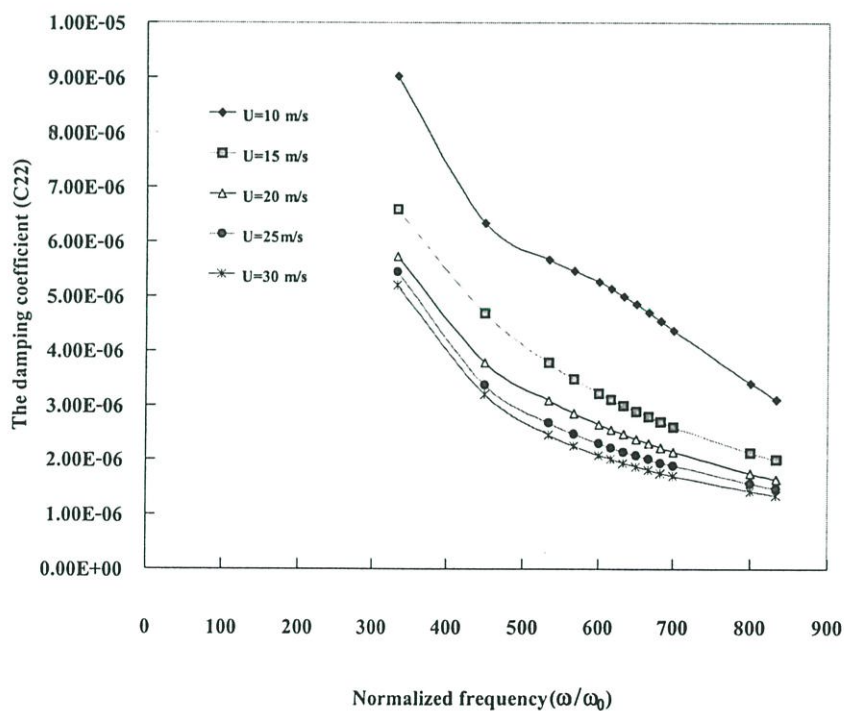
รูปที่ 5.29 แสดงค่าผลของความถี่แฉกที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{12}



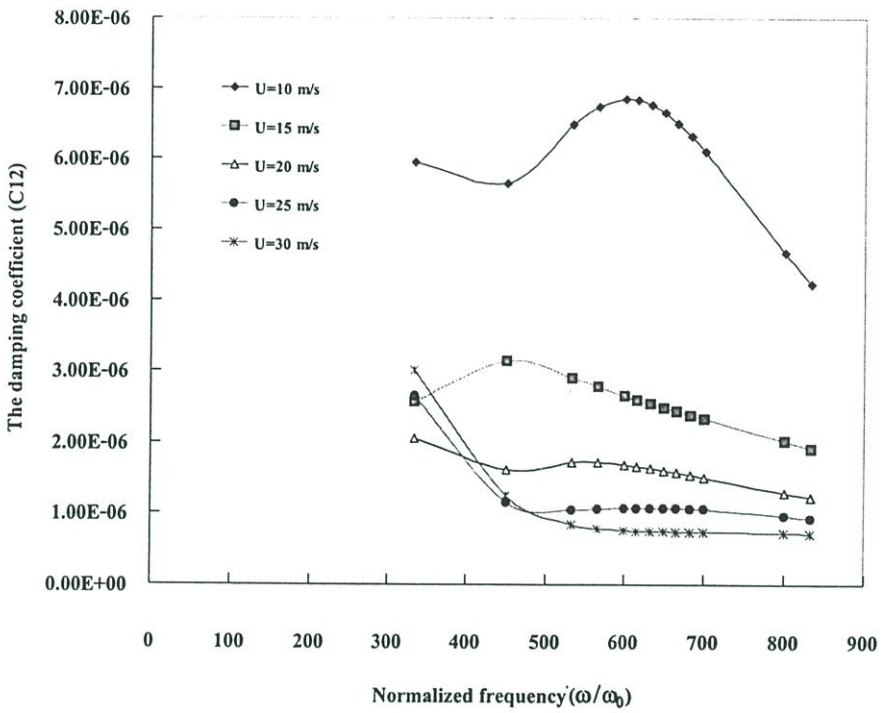
รูปที่ 5.30 แสดงค่าผลของความถี่แฉกที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{21}



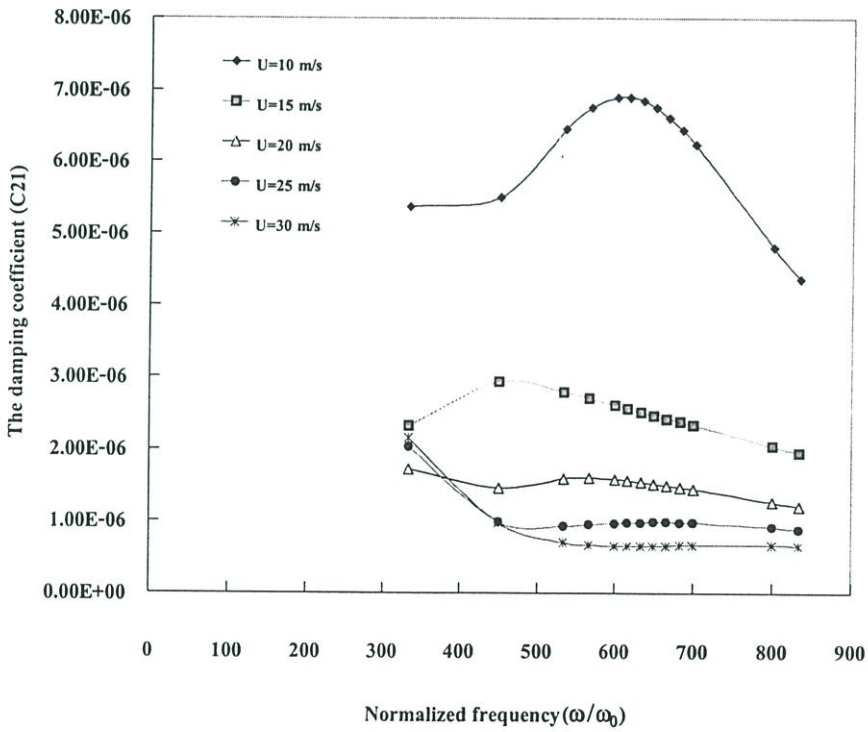
รูปที่ 5.31 แสดงค่าผลของความถี่ผ่านดิสก์ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{11}



รูปที่ 5.32 แสดงค่าผลของความถี่ผ่านดิสก์ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{22}

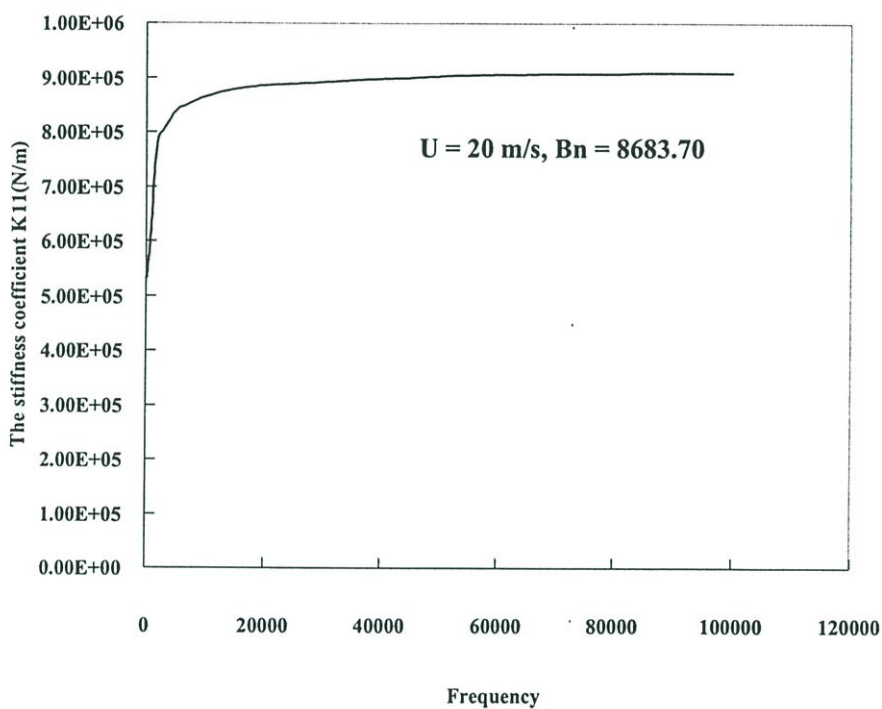


รูปที่ 5.33 แสดงค่าผลของความถี่แผ่นคัสก์ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{12}

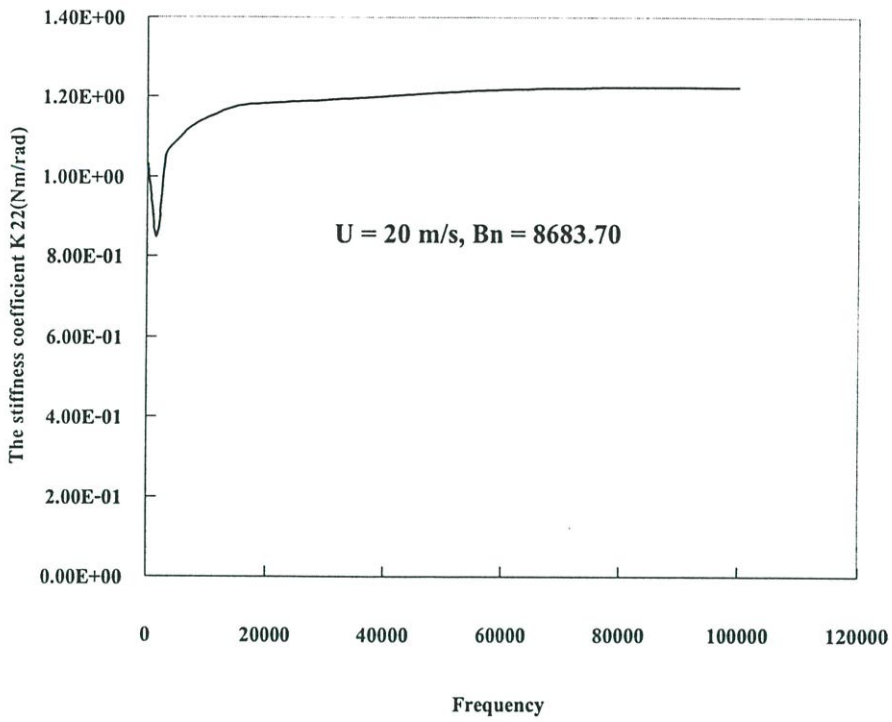


รูปที่ 5.34 แสดงค่าผลของความถี่แผ่นคัสก์ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{21}

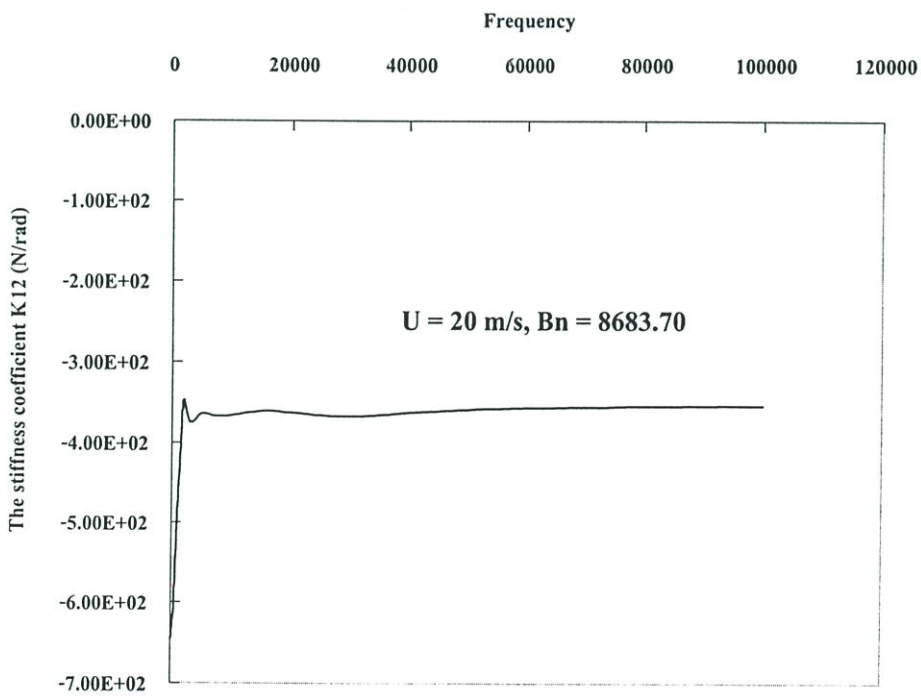
รูปที่ 5.35-5.42 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริงและแดมปีงแบบมีหน่วย K_{11} K_{22} K_{12} K_{21} C_{11} C_{22} C_{21} C_{12} เมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่ความเร็ว 20 เมตรต่อวินาทีแบริงนัมเบอร์เท่ากับ 8683.70



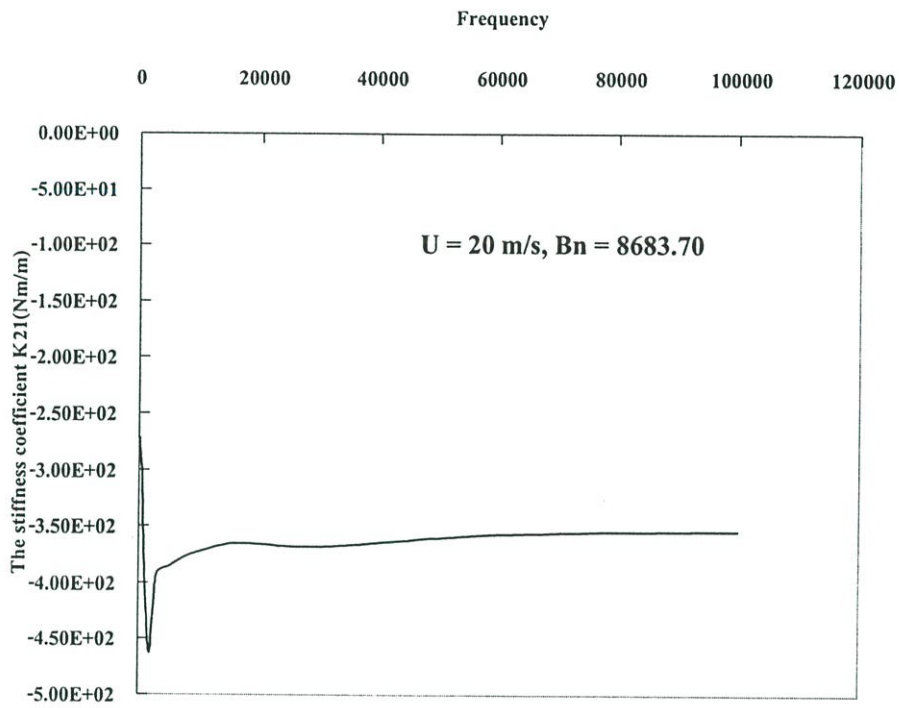
รูปที่ 5.35 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{11} เมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่



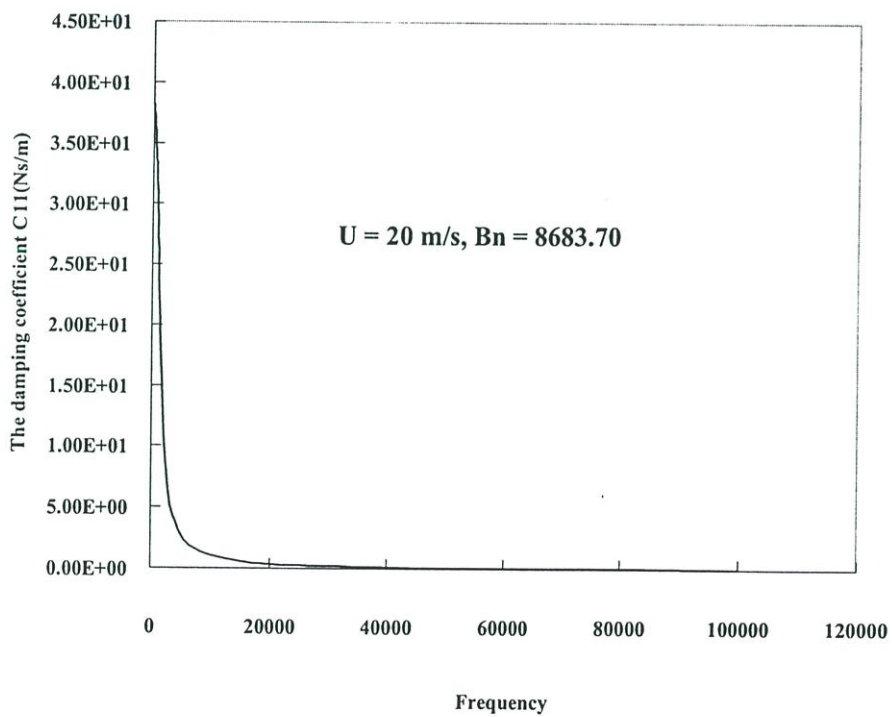
รูปที่ 5.36 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{22} เมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่



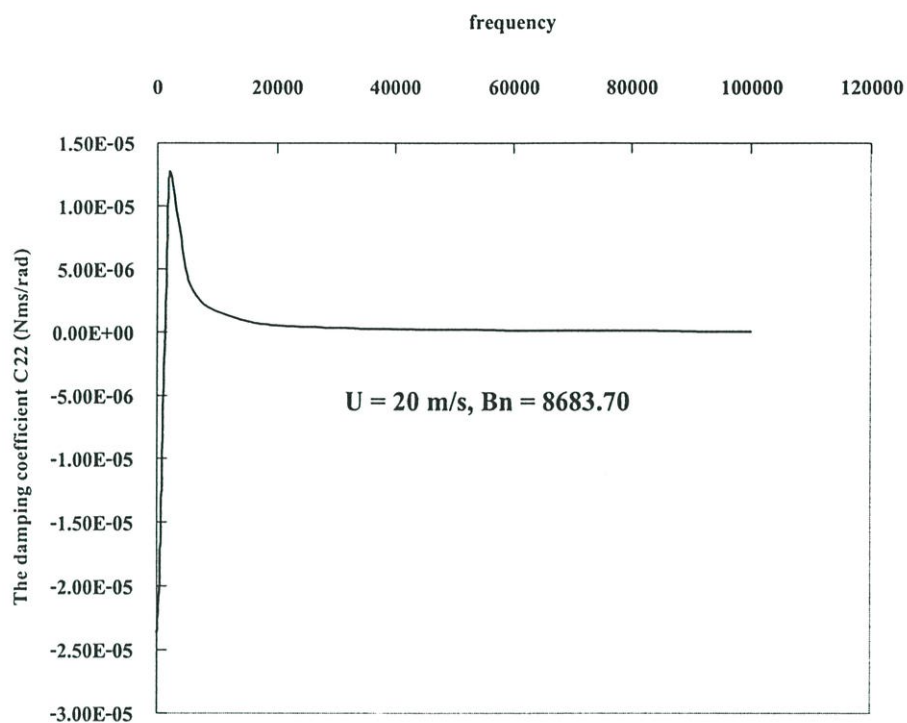
รูปที่ 5.37 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{12} เมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่



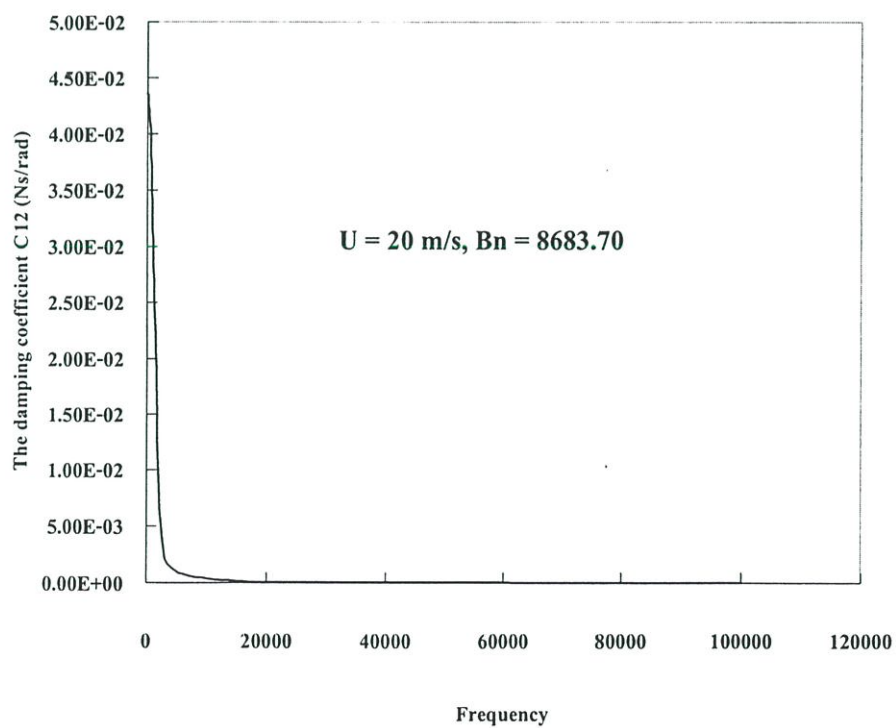
รูปที่ 5.38 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{21} เมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่



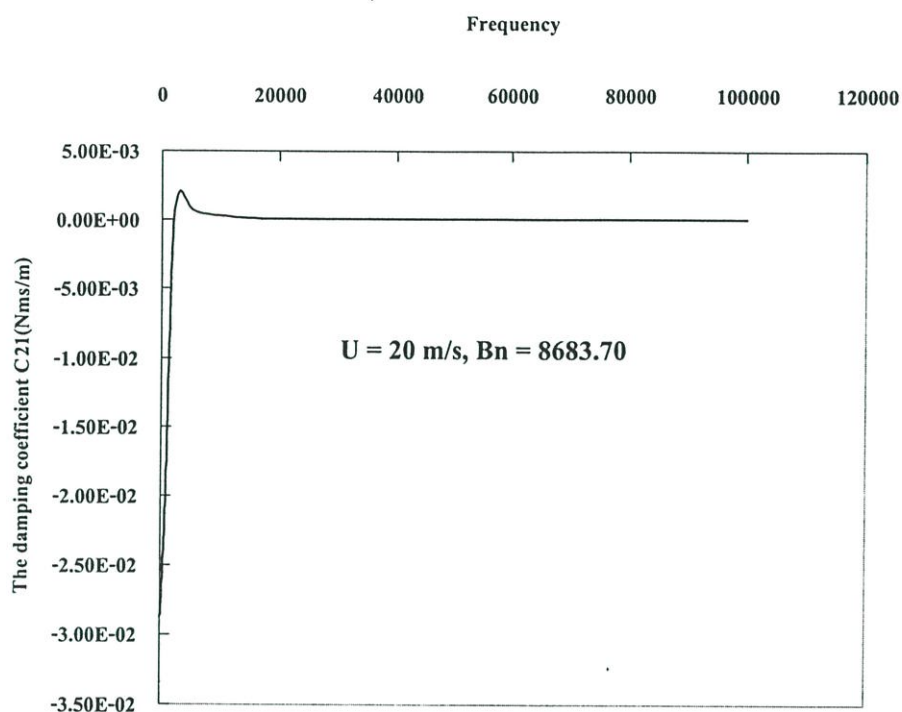
รูปที่ 5.39 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แดมป์ C_{11}



รูปที่ 5.40 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แดมป์ C_{22}

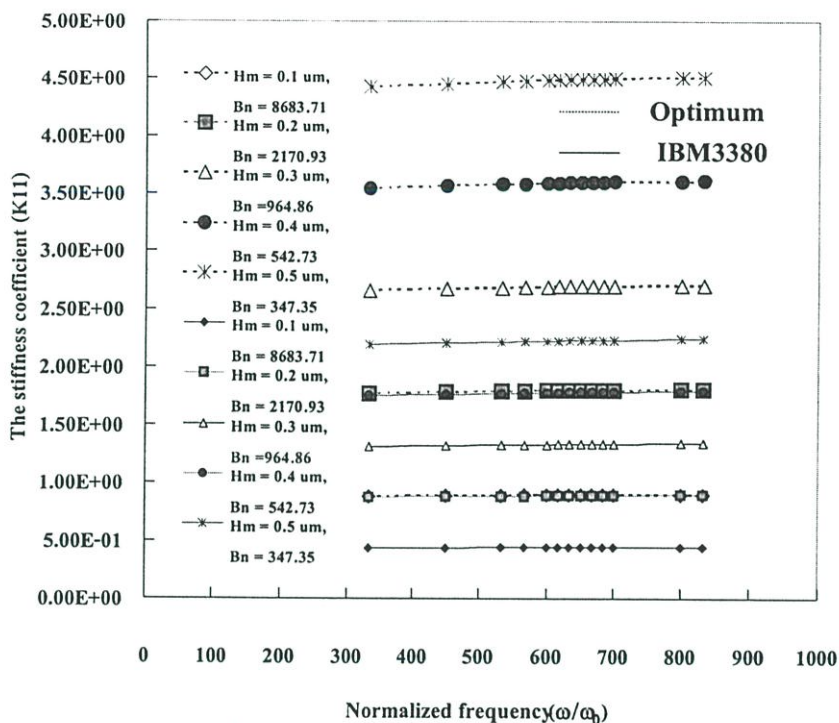


รูปที่ 5.41 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แดมป์ C_{12}

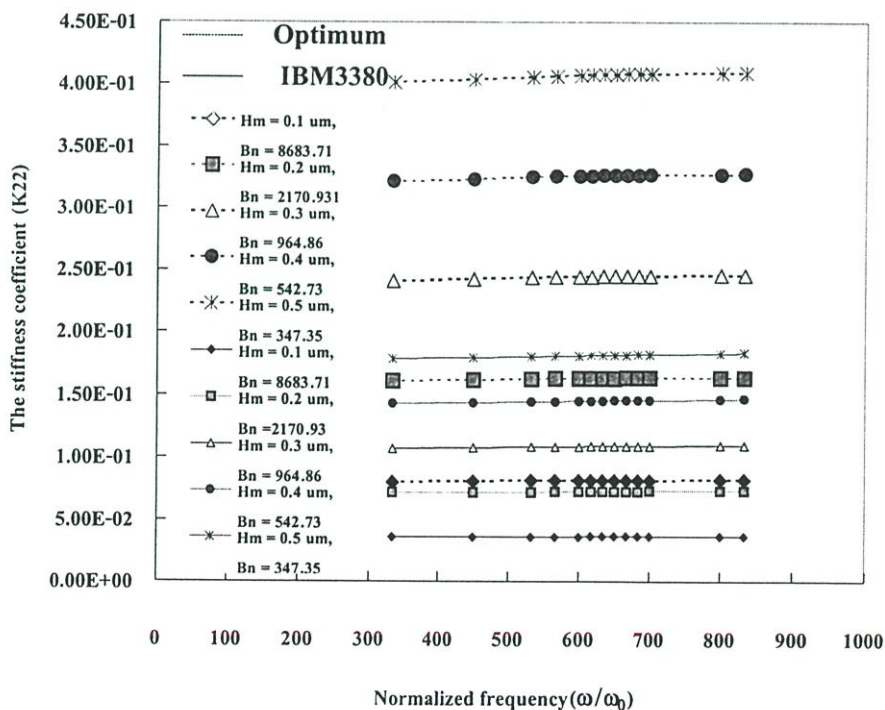


รูปที่ 5.42 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แดมปี้ง C_{21}

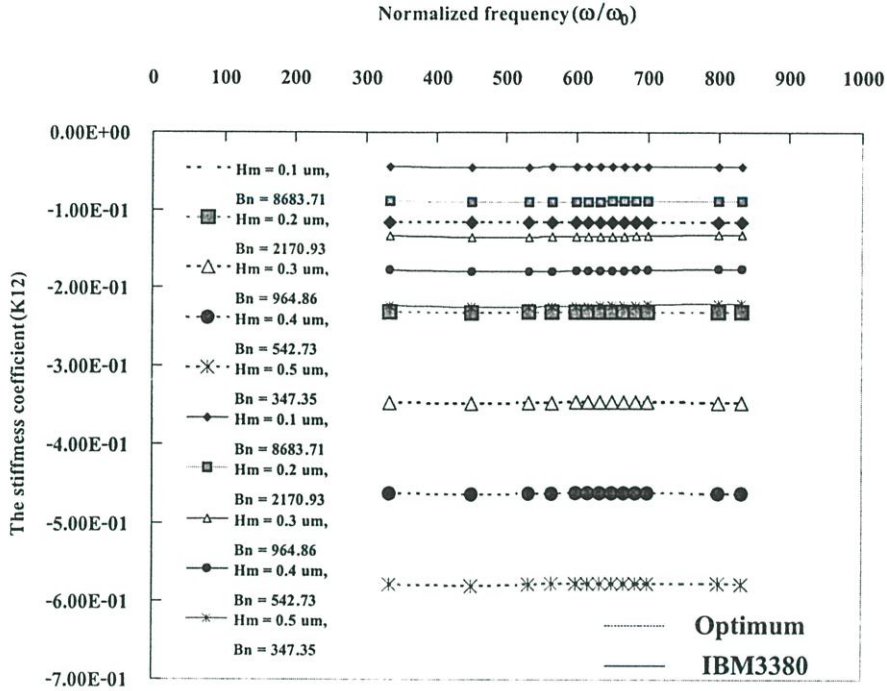
รูปที่ 5.43 - 5.50 คือผลการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สปริงและแดมปี้งหัวอ่านชนิด IBM3380 เปรียบเทียบกับหัวอ่านที่มีขนาดที่เหมาะสม[43] โดยมีค่าความกว้างของราง $B = 0.336$ มิลลิเมตร มุมเทเปอร์ $\theta_{TP} = 10$ มิลลิเรเดียน ที่ความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที โดยทำการเปรียบเทียบกับหัวอ่านชนิด IBM 3380 โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาฟิล์มต่ำสุด พบว่ากราฟมีแนวโน้มคล้ายกัน แต่พบว่าหัวอ่านชนิดที่มีขนาดที่เหมาะสมจะมีค่าสัมประสิทธิ์สปริงและแดมปี้ง K_{11} K_{22} K_{12} K_{21} C_{11} C_{22} C_{21} สูงกว่าหัวอ่านแบบ IBM3380



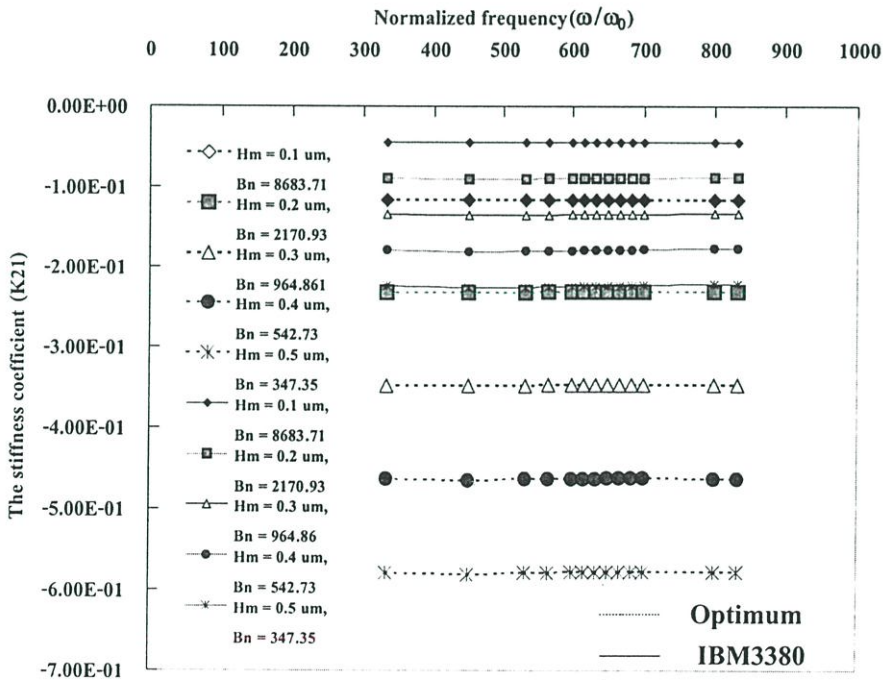
รูปที่ 5.43 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{11} และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาของฟิล์มต่ำสุดของหัวอ่านชนิด IBM3380 และหัวอ่านชนิดที่มีขนาดที่เหมาะสม



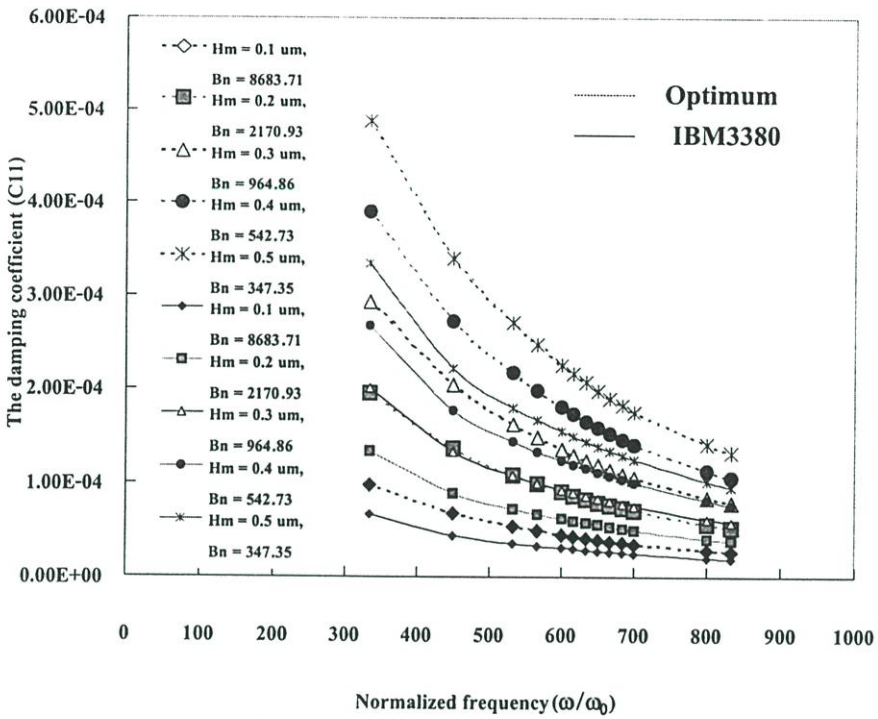
รูปที่ 5.44 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{22} และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาของฟิล์มต่ำสุดของหัวอ่านชนิด IBM3380 และหัวอ่านชนิดที่มีขนาดที่เหมาะสม



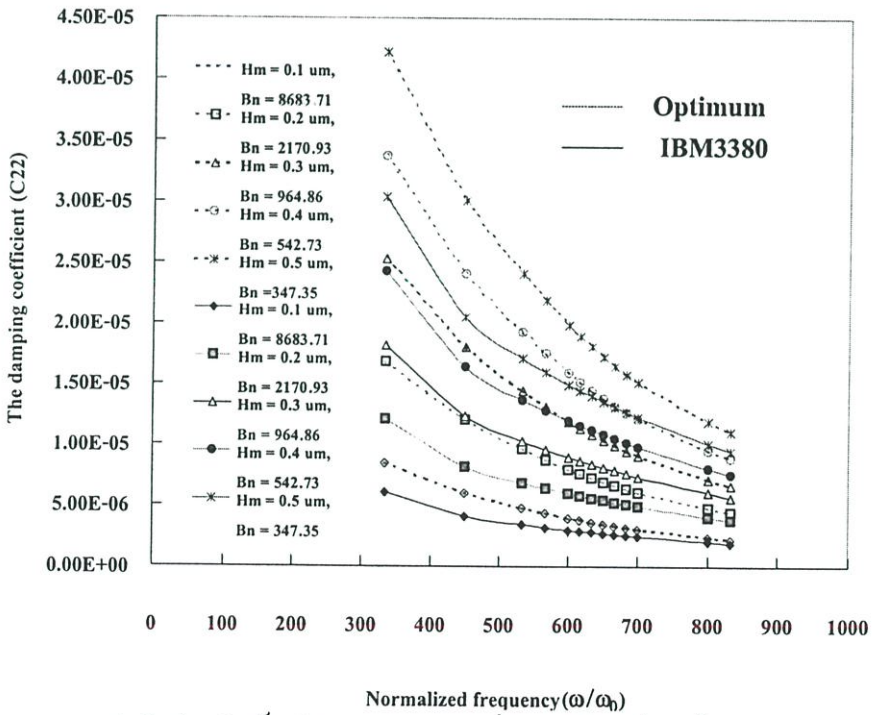
รูปที่ 5.45 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{12} และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาของฟิล์มต่ำสุดของหัวอ่านชนิด IBM3380 และหัวอ่านชนิดที่มีขนาดที่เหมาะสม



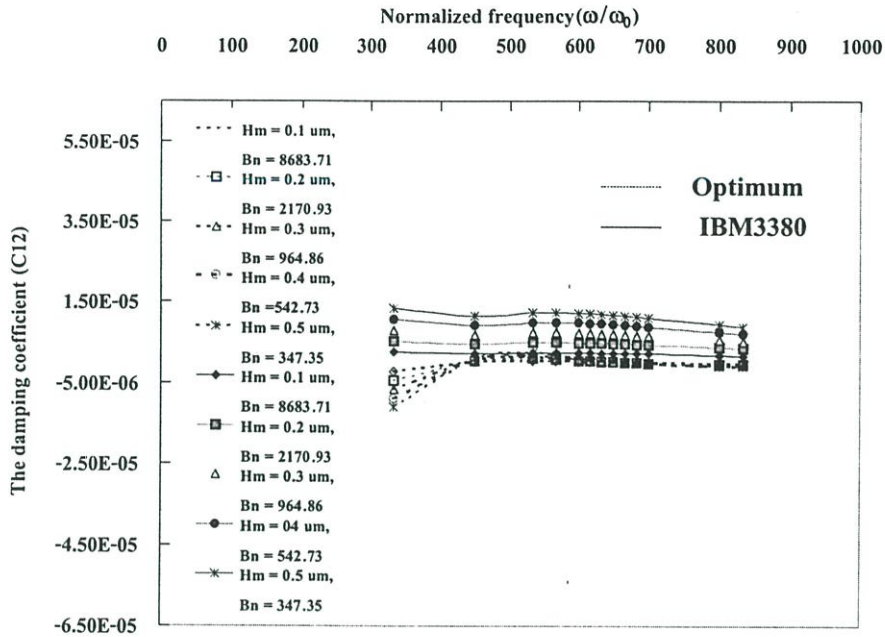
รูปที่ 5.46 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{21} และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาของฟิล์มต่ำสุดของหัวอ่านชนิด IBM3380 และหัวอ่านชนิดที่มีขนาดที่เหมาะสม



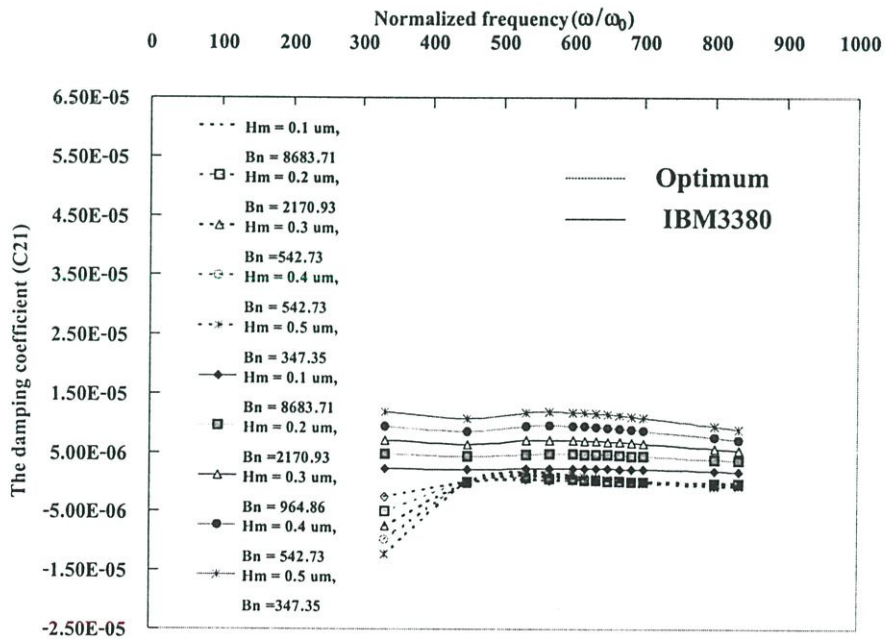
รูปที่ 5.47 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{11} และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาของฟิล์มค่าสุดของหัวอ่านชนิด IBM3380 และหัวอ่านชนิดที่มีขนาดที่เหมาะสม



รูปที่ 5.48 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{22} และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาของฟิล์มค่าสุดของหัวอ่านชนิด IBM3380 และหัวอ่านชนิดที่มีขนาดที่เหมาะสม



รูปที่ 5.49 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{12} และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาของฟิล์มต่ำสุดของหัวอ่านชนิด IBM3380 และหัวอ่านชนิดที่มีขนาดที่เหมาะสม



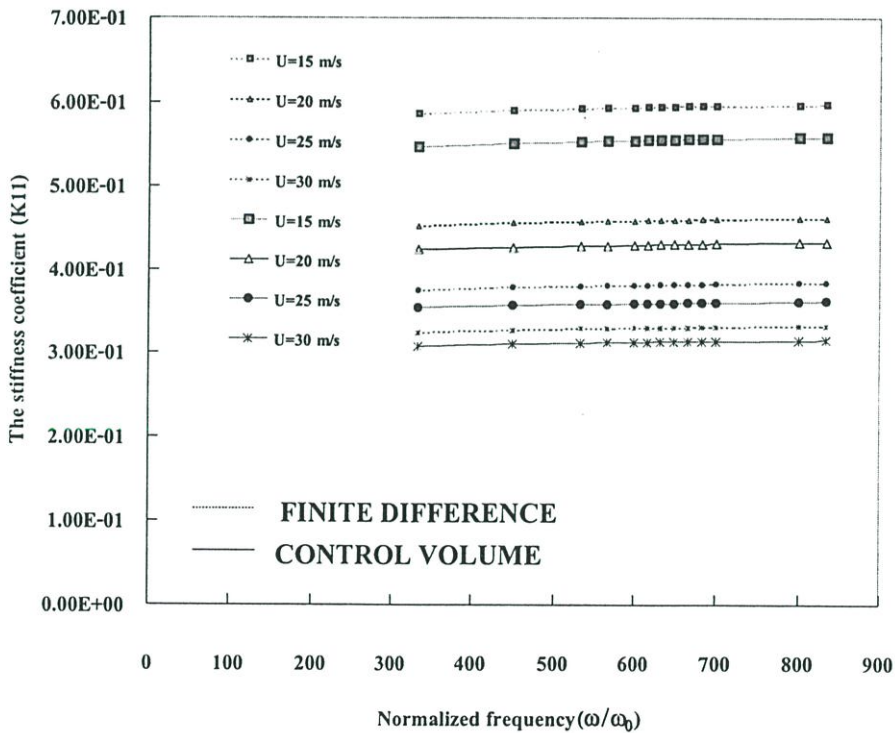
รูปที่ 5.50 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{21} และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาของฟิล์มต่ำสุดของหัวอ่านชนิด IBM3380 และหัวอ่านชนิดที่มีขนาดที่เหมาะสม

รูปที่ 5.51-5.58 แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สปริง และแดมปีงของหัวอ่าน K_{11} K_{22} K_{12} K_{21} C_{11} C_{22} C_{21} C_{12} เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็ว จากกราฟที่ 5.51 และ 5.52 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{11} และ K_{22} ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่าที่คำนวณได้จากวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอร์เรนซ์

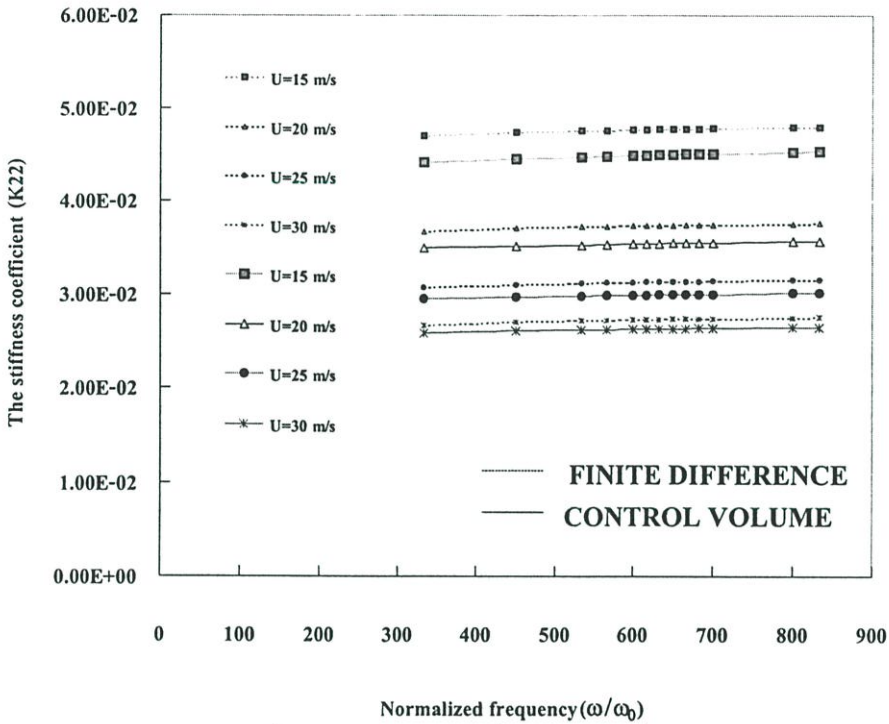
รูปที่ 5.53 และ 5.54 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{12} และ K_{21} มีค่าใกล้เคียงกัน เส้นเกือบทับกันพอดี

รูปที่ 5.55 และ 5.56 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง C_{11} C_{22} ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่าที่คำนวณได้จากวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอร์เรนซ์

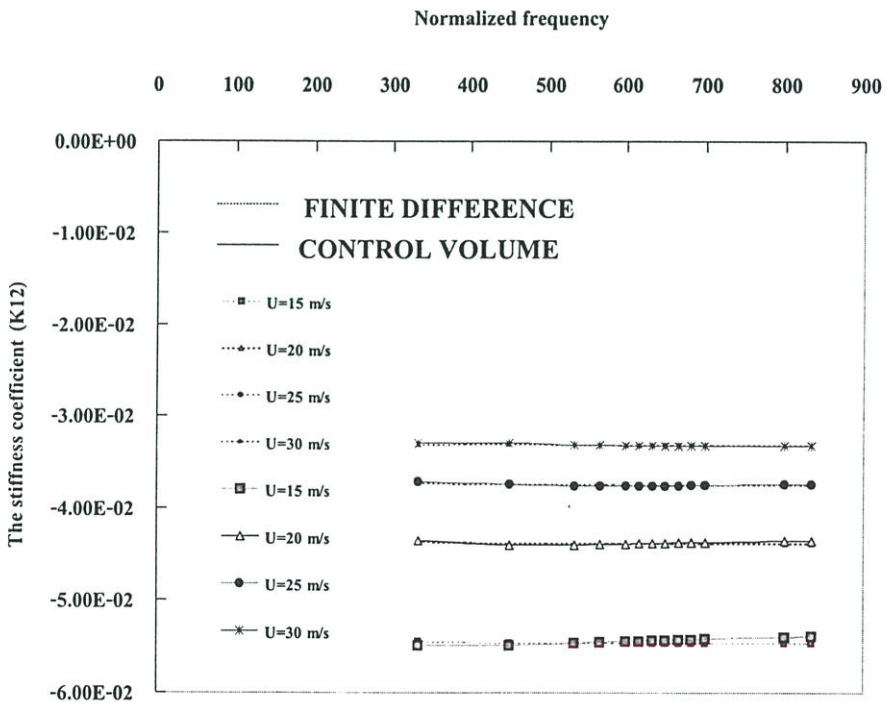
รูปที่ 5.57 และ 5.58 พบว่า ที่ความเร็วต่ำจะมีค่าความแตกต่างจากวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอร์เรนซ์อย่างเห็นได้ชัด และที่ความเร็วสูงจะมีค่าสัมประสิทธิ์ของแดมปีง C_{21} C_{12} ต่ำกว่าค่าที่คำนวณได้จากวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอร์เรนซ์



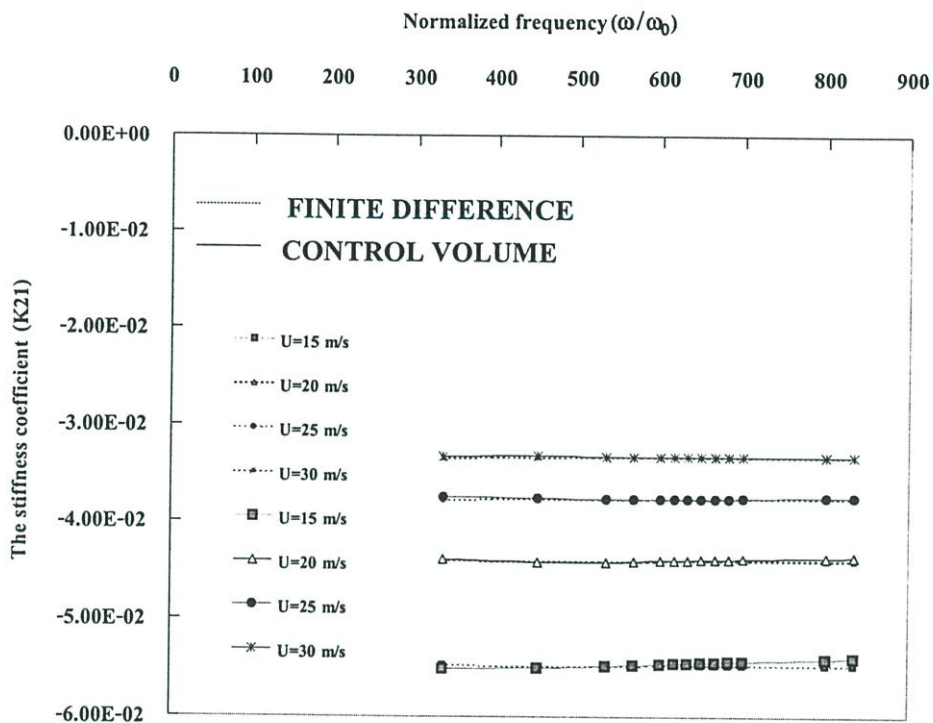
รูปที่ 5.51 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{11} และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนของหัวอ่านชนิด IBM3380 เปรียบเทียบกับวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอร์เรนซ์



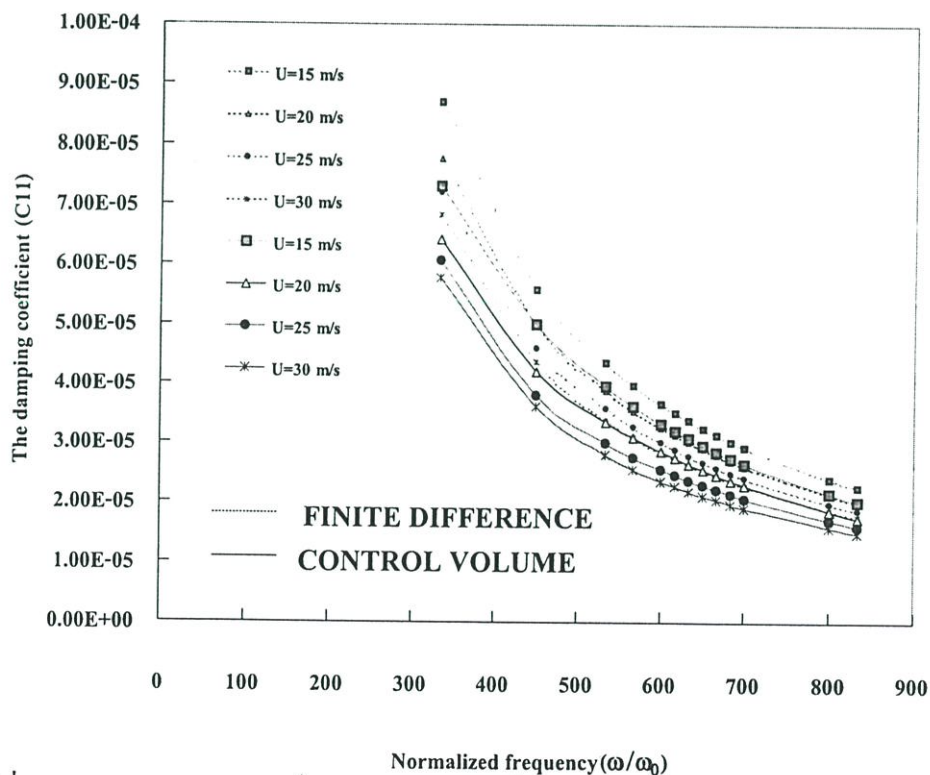
รูปที่ 5.52 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{22} และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลงของหัวอ่านชนิด IBM3380 เปรียบเทียบกับวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์



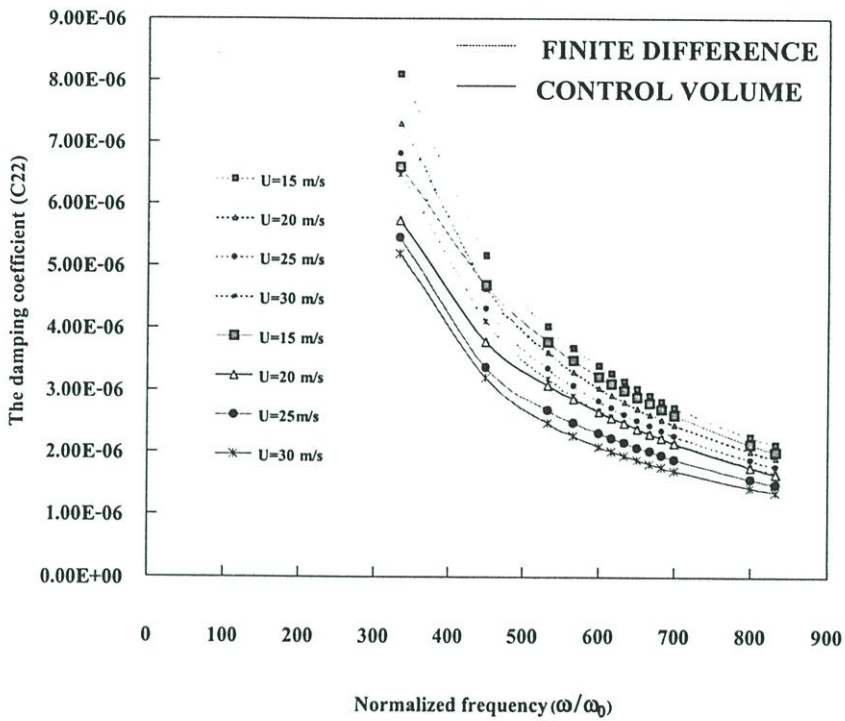
รูปที่ 5.53 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{12} และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลงของหัวอ่านชนิด IBM3380 เปรียบเทียบกับวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์



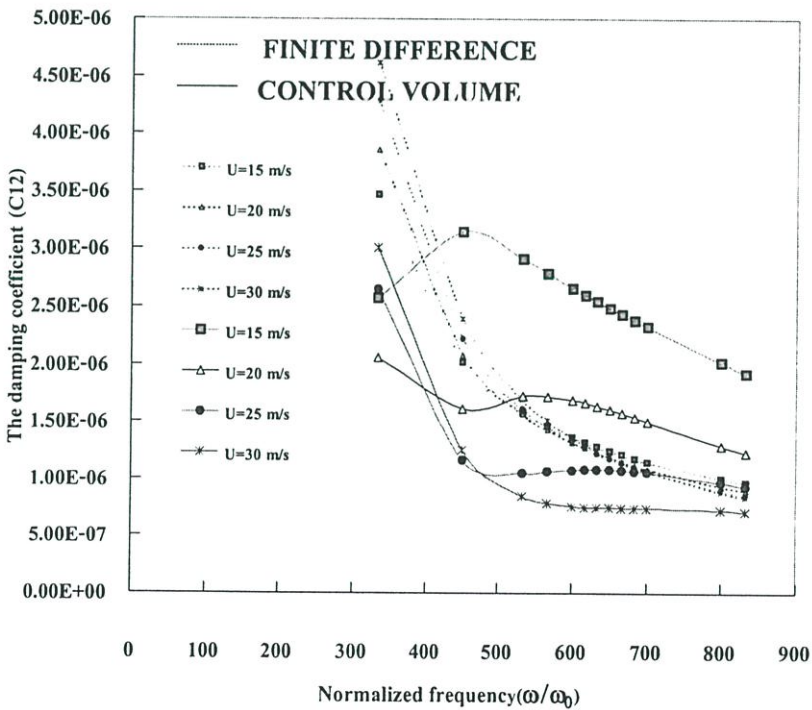
รูปที่ 5.54 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง K_{21} และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนของหัวอ่านชนิด IBM3380 เปรียบเทียบกับวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์



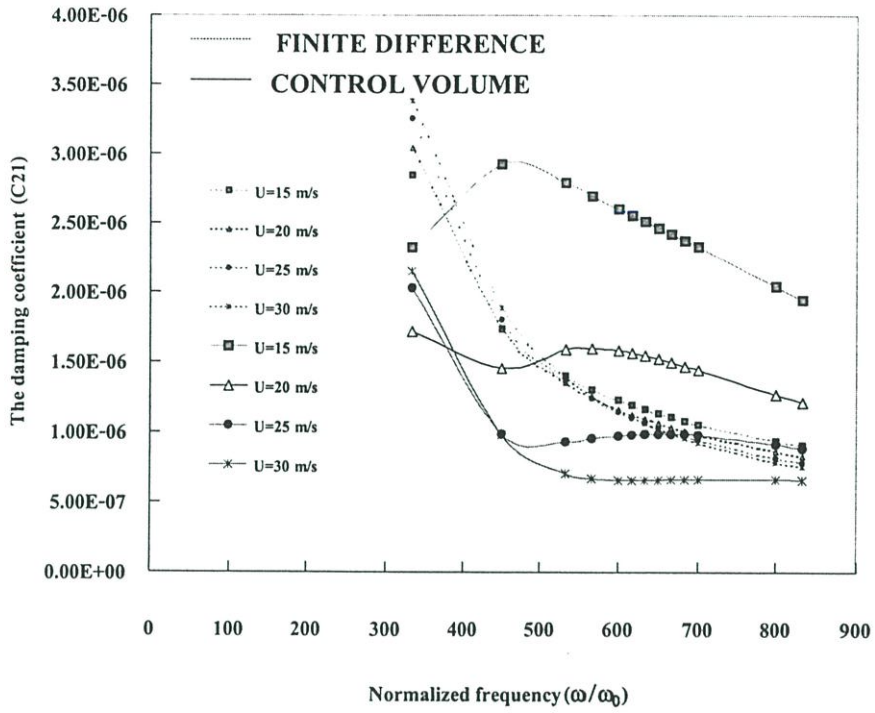
รูปที่ 5.55 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{11} และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนของหัวอ่านชนิด IBM3380 เปรียบเทียบกับวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์



รูปที่ 5.56 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{22} และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลงของหัวอ่านชนิด IBM3380 เปรียบเทียบกับวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์



รูปที่ 5.57 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{12} และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลงของหัวอ่านชนิด IBM3380 เปรียบเทียบกับวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์



รูปที่ 5.58 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง C_{21} และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนของหัวอ่านชนิด IBM3380 เปรียบเทียบกับวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์

บทที่ 6

บทสรุป

ในการศึกษาพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าในระบบจัดเก็บข้อมูลโดยอาศัยสมการเรย์โนลด์ส์คัดแปลง และสมการการเคลื่อนที่มาคำนวณหาพฤติกรรมทางด้านสถิต และด้านพลวัต โดยในด้านพลวัตจะพิจารณาให้รูปโดเมนความถี่เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของสปริง และแดมป์ จากผลการคำนวณที่ได้พบว่าการคำนวณโดยใช้วิธีปริมาตรควบคุมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณแบบไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ ค่าความดัน ค่าความสูงของการลอยตัวที่ขอบนำและขอบท้ายที่คำนวณได้จะมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ และค่าที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มไปในทางทิศเดียวกัน โดยได้ทำการหาพฤติกรรมของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะทำการสรุปการคำนวณดังนี้คือ

6.1 การคำนวณทางด้านสถิต

ในการศึกษาได้ทำการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงความเร็วของดิสก์ ความกว้างของราง ความยาวของส่วนราบเอียง มุมเทเปอร์ ตำแหน่งของจุดยึดจับ และแรงยึดจับ ที่มีผลต่อระยะการลอยตัวของหัวอ่านดังนี้คือ

1. เมื่อความเร็วของดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นมีผลทำให้หัวอ่านลอยตัวสูงขึ้นซึ่งค่า Bearing Number (A) นั้นขึ้นอยู่กับค่าของความสูงของการลอยตัว และความเร็วของดิสก์คือ ถ้าหัวอ่านระยะการลอยตัวต่ำมาก หรือ ความเร็วของแผ่นดิสก์มีความเร็วมากจะทำให้ค่า Bearing Number (A) มีค่าสูงมากขึ้นจะส่งผลให้ความดันที่เกิดขึ้นสูงสุดมีค่าสูงมากขึ้น ซึ่งถ้าค่า Bearing Number (A) มีค่าสูงมาก ๆ อาจทำให้การคำนวณหาค่าความดันที่เกิดขึ้นบนหัวอ่าน และดิสก์มีความไม่ต่อเนื่อง (Unstable) ซึ่งเมื่อความเร็วของดิสก์เพิ่มขึ้นมีผลทำให้หัวอ่านจะเซดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของความสูงที่ขอบนำกับขอบท้ายมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วที่เพิ่มขึ้น คือมีค่าของมุมพิทซ์มากขึ้น
2. เมื่อเปลี่ยนแปลงความกว้างของรางของหัวอ่านพบว่าเมื่อรางมีขนาดใหญ่ขึ้นหัวอ่านจะลอยตัวสูงขึ้น และมีค่าความแตกต่างของความสูงที่ขอบนำ และขอบท้ายเพิ่มขึ้น หัวอ่านมีความเอียงมากขึ้นคือ มีมุมพิทซ์มากขึ้น
3. เมื่อเปลี่ยนแปลงความยาวของส่วนราบเอียงของหัวอ่านพบว่าเมื่อความยาวเพิ่มขึ้น ความสูงที่ขอบท้ายของหัวอ่านสูงขึ้นเล็กน้อย ส่วนความสูงที่ขอบนำของหัวอ่านจะมีค่าลดลง คือมีความแตกต่างของความสูงน้อยลง หัวอ่านมีความเอียงน้อยลง คือมีขนาดของมุมพิทซ์น้อยลง

4. เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดมุมเทเปอร์ พบว่าเมื่อมุมเทเปอร์มากขึ้นหัวอ่านจะลอยตัวต่ำลง โดยความสูงที่ขอบนำ และขอบท้ายมีค่าลดลง ดังนั้นหัวอ่านมีความเอียงน้อยลง หรือมีขนาดของมุมพิทช์น้อยลง
5. เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของตำแหน่งยึดจับของหัวอ่าน พบว่า เมื่อตำแหน่งยึดจับมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ความสูงที่ขอบนำมีค่าต่ำลง แต่ความสูงที่ขอบท้ายมีค่าสูงขึ้นคือหัวอ่านมีความเอียงมากขึ้น คือมีขนาดของมุมพิทช์มากขึ้น
6. เมื่อเปลี่ยนแปลงแรงที่กระทำบนหัวอ่าน พบว่า เมื่อแรงมากขึ้น ความสูงที่ขอบนำและขอบท้ายจะลดลงนั่นคือหัวอ่านเลื่อนต่ำลง และหัวอ่านมีความแตกต่างของความสูงที่ขอบนำและขอบท้ายน้อยลง คือหัวอ่านมีความเอียงน้อยลง หรือมีขนาดของมุมพิทช์น้อยลง

ซึ่งเราต้องการให้หัวอ่านลอยตัวต่ำ และมีมุมพิทช์สูง เพื่อให้สัญญาณที่ได้มีค่าสูง และไม่เกิดการกระแทก หรือการสัมผัสกันระหว่างหัวอ่าน และดิสก์ โดยต้องพิจารณาถึงช่วงการทำงานจริง (Operating point) คือที่สภาวะสถิตอาจจะมีค่าความสูงการลอยตัวต่ำซึ่งดี แต่เมื่อพิจารณาที่สภาวะพลวัตอาจจะไม่ดี เมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์กับวิธีปริมาตรควบคุม พบว่า ความดันที่ได้จากวิธีปริมาตรควบคุมมีค่าน้อยกว่าเล็กน้อย และมีความสูงของการลอยตัวมากกว่าเล็กน้อย โดยที่ค่าความสูงของการลอยตัวของหัวอ่านมีค่าต่ำมากซึ่งเป็นหน่วยย่อยของไมโครเมตร

6.2 การคำนวณด้านพลวัต

ในการคำนวณทางด้านสถิตจะมีเทอมของ Bearing Number (A) มาเกี่ยวข้อง โดยไม่คิดเทอมของ Squeeze Number (σ) ส่วนการคำนวณในด้านพลวัตนั้นจะมีเทอมของ Squeeze Number (σ) มาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งเป็นเทอมที่สัมพันธ์กับ ความถี่ ความเร็วของดิสก์ และความสูงของการลอยตัวต่ำที่สุด โดยได้ทำการคำนวณหาค่าของสัมประสิทธิ์สปริง และแดมปีงของอากาศ ซึ่งจะพิจารณาให้หัวอ่านมีการเคลื่อนที่อิสระสองทิศทาง คือ ในแนวตั้งฉากกับผิวดิสก์โดยเลื่อนขึ้นลงแทนด้วยเลข 1 และหมุนรอบแกนตามขวางของหัวอ่าน แทนด้วยเลข 2 โดย K_{11} , K_{22} , K_{12} , K_{21} คือค่าสัมประสิทธิ์สปริง และ C_{11} , C_{22} , C_{21} , C_{12} คือค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง จากการคำนวณพบว่าค่าที่ได้ใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้จากวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ จากผลการคำนวณพบว่า ความเร็วของดิสก์ ความสูงของการลอยตัวต่ำที่สุด ค่าความถี่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สปริง และแดมปีง สรุปได้ดังนี้คือ

1. เมื่อเปรียบเทียบวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ กับวิธีปริมาตรควบคุม พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สปริงที่ได้จากวิธีปริมาตรควบคุมมีค่าน้อยกว่า ค่าสัมประสิทธิ์สปริง และแดมปีงที่ได้จากวิธีปริมาตรควบคุมมีค่าน้อยกว่าเล็กน้อยจนเกือบเท่ากัน พบว่าการเปลี่ยนแปลงความถี่มีผลต่อค่า

ค่าสัมประสิทธิ์แคมป์ยิ่งอย่าง มาก แต่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สปริงเพียงเล็กน้อย เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า ความสูงของการลอยตัวต่ำที่สุด พบว่าเมื่อค่าความสูงของการลอยตัวต่ำที่สุดมากขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์ สปริง และแคมป์มีค่ามากขึ้น เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วของคิสก์ พบว่าเมื่อความเร็ว มากขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ของสปริง และแคมป์มีค่าลดลง

2. เมื่อเปรียบเทียบหัวอ่านชนิด IBM3380 กับหัวอ่านชนิดที่มีขนาดเหมาะสมพบว่า หัวอ่าน ชนิดที่มีขนาดเหมาะสมมีค่าสัมประสิทธิ์สปริง และแคมป์สูงกว่า ซึ่งจาก[43]พบว่าหัวอ่านชนิดที่ มีขนาดที่เหมาะสมมีการปรับตัวเข้าสู่สมดุลได้เร็วกว่า และ ค่าสัมประสิทธิ์แคมป์มีผลต่อความ เสถียรของหัวอ่านมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์สปริง เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์แคมป์ของหัวอ่านชนิด ที่มีขนาดเหมาะสมที่คำนวณได้มีค่าสูงกว่าหัวอ่านชนิด IBM3380 ดังนั้นหัวอ่านชนิดที่มีขนาดที่ เหมาะสมจึงมีความเสถียรมากกว่าหัวอ่านชนิด IBM3380

6.3 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากวิธีดั้งเดิมคือวิธีคิดแบบไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ มีข้อจำกัดหากหัวอ่านมีรูปร่างที่ซับซ้อนขึ้น ซึ่งเป็นการยากต่อการคำนวณ ซึ่งวิธีที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นวิธีคิดแบบปริมาตรควบคุม ซึ่งเหมาะกับการคำนวณหัวอ่านรูปร่างอื่นที่ซับซ้อนต่อไป และเพื่อใช้ในการคำนวณออกแบบหัวอ่านชนิดใหม่ต่อไป โดยในการคำนวณในที่นี้คิดในกรณีที่หัวอ่านมีการเคลื่อนที่โดยอิสระเพียงสอง ทิศทาง ซึ่งในสภาวะทำงานจริงแล้วหัวอ่านจะเคลื่อนที่โดยอิสระสามทิศทาง และในวิทยานิพนธ์นี้ ไม่คำนึงถึงอุณหภูมิ ความหยาบ และฝุ่นละอองปนเปื้อนโดยพิจารณาให้คิสก์เรียบ ซึ่งงานวิจัยต่อไป น่าจะมีการพิจารณาถึงข้อนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Lokitsagtong and M. Mongkolwongrojn "An Application of a Mathematical Device." NORDTRIB 2000 Conference, 2000. pp. 915-922
- [2] S. Kwankaomeng, H. Hashimoto, Y. Hattori and M. Mongkolwongrojn "Effect of ambient pressure change on Static and Dynamic Characteristics of Magnetic Head Slider." The International Tribology Conference, Nagasaki 2000, Oct. 29 - Nov.2, 2000, Japan
- [3] M. Mongkolwongrojn and S. Kwankaomeng "The Effects of Change in Room Temperature on Flying Characteristics of Ultra-Low Air Film Head Slider in Magnetic Storage Devices." 2000 Symposium on Theory and Application of Communication and Information Technology (TACIT 2000), August 24-25, 2000.
- [4] M. Mongkolwongrojn and M. Montiralaiporn "Heat Distribution in Ultra-Thin Film Air Bearing of Magnetic Storage Devices." The International Symposium of Communication and Information Technology, ISCIT-2001, Nov. 14-16, 2001.
- [5] M. Mongkolwongrojn and K. Wongseedakaew "Theoretical Characteristic of the Optimal Taper-Flat Slider Head in Magnetic Storage Devices." October 23-25, 2002.
- [6] M. Mongkolwongrojn and K. Wongseedakaew "Optimum Design of Taper-Flat Head Slider in Magnetic Storage Systems." Mechanical Engineering Network of Thailand the 16th Conference, Oct. 14 -16, 2002.
- [7] Bagci C. and Singh. A.P. Hydrodynamic Lubrication of Finite Slider Bearing : Effect of One Dimension Film Shape, and Their Computer Aided Optimum Designs. ASME. Journal of Tribology, vol. 105, 1983. pp. 48-66.
- [8] White J.W. "Flying Characteristics of the "Zero-Load" Slider Bearing." ASME. Journal of Lubrication Technology, vol. 105, July 1983. pp. 484-490.
- [9] Kogure K. and et. al. "Design of Negative Pressure Slider for Magnetic Recording Disks." Trans. ASME. Journal of Technology, vol. 105, July 1983. pp. 496-502.
- [10] Miu D.K. and Bogy D.B. "Theoretical and Experimental Investigation of the Dynamic Flying Characteristics of 3370-Type Sliders in 5-1/4 Inch Disk Drives." IEEE. Transactions on Magnetics, MAG-22, Sept. 1986. pp. 1025-1027.

- [11] Mitsuya Y. "Modified Reynolds Equation for Ultra-Thin Film Gas Lubrication Using 1.5-Order Slip-Flow Modes and Considering Surface Accommodation Coefficient." ASME. Journal of Tribology, vol. 115, 1993. pp. 289-294.
- [12] Hayashi T. and et. al. "Dynamic Characteristics of Gas-Lubricated Slider Bearing Under High Knudsen Number Conditions." ASME. Journal of Technology, vol. 112, July 1990. pp. 111-118.
- [13] Fukui S. and Kaneko R. "A Database for Interpolation of Poiseuille Flow Rates for High Knudsen Number Lubrication Problems." Trans. ASME. Journal of Tribology, vol. 112, January 1990. pp. 78-83.
- [14] Ruiz O.J. and Bogy D.B. "A Numerical Simulation of the Head-Disk Assembly in Magnetic Hard Disk Files: Part I — Component Models." Trans. ASME. Journal of Tribology, vol.112, October 1990. pp. 593-602.
- [15] Crome R.M. et.al. "Modeling the Flying Characteristics of a Rough Magnetic Head Over a Rough Rigid — Disk Surface." Trans. ASME. Journal of Tribology, vol.113, October 1991. pp. 739-748.
- [16] Zheming Z. and Wenkang S. "A New Method for the Numerical Solution of the Reynolds Equation at Low Spacing." Trans. ASME. Journal of Tribology, vol.115, January 1993. pp. 83-87.
- [17] Jeong T.G. and Bogy D.B. "Numerical Simulation of Dynamic Loading in Hard Disk Drives." Trans. ASME. Journal of Tribology, vol.115, July 1993. pp. 370-375.
- [18] Frank A. De Bruyne and Bogy D.B. "Numerical Simulation of the Lubrication of the Head-Disk Interface Using a Non-Newtonian Fluid." Trans. ASME. Journal of Tribology, vol.116, July 1994. pp. 541-548.
- [19] Cha E. and Bogy D.B. "A Numerical Scheme for Static and Dynamic Simulation of Sub-Ambient Pressure Shaped Rail Sliders." Trans. ASME. Journal of Tribology, vol. 117, January 1995. pp. 36-46.
- [20] Peng J.P. and Hardie C.E. "A Finite Element Scheme for Determining the Shaped Rail Slider Flying Characteristics with Experimental Confirmation" Trans. ASME. Journal of Tribology, vol.117, January 1995. pp. 136-139.

- [21] Peng J.P. and Hardie C.E. "Characteristics of Air Bearing Suction Force in Magnetic Recording Disks" *Trans. ASME, Journal of Tribology*, vol.118, July 1996. pp. 549-553.
- [22] Y. Hu and Bogy D.B. "Dynamic stability and spacing Modulation of sub-25 nm Fly Height Sliders." *J. Tribology*, vol. 119, Oct, 1997. pp. 646-652.
- [23] Y. Hu and Bogy D.B. "Solution of the Rarefied Gas Lubrication Equation Using an Additive Correction Based Multigrid Control Volume Method." *ASME. Journal of Tribology*, Vol. 120, April, 1998. pp. 280-288.
- [24] Zhang S. and Bogy D.B. "A Heat Transfer Model for Thermal Fluctuations in a Thin Slider/Disk Air Bearing." *ASME. Journal of Heat and Mass Transfer*, January, 1998. pp. 1791-1800.
- [25] Hu Y. et. Al. "Air Bearing Dynamics of Sub — Ambient Pressure Sliders During Dynamic Unload." *Trans. ASME. Journal of Tribology*, vol. 121, July 1999. pp. 553-559.
- [26] Hashimoto H. and Hattori Y. "Improve of the static and dynamic characteristics of Magnetic Head Sliders by Optimum Design." *ASME. Journal of Tribology*, vol.122, January 2000, pp. 280-287.
- [27] Kiyoshi Hashimoto, Hidekazu Kohira and Masaaki Matsumoto. "Flying Characteristics of Advanced Step Sliders." *Asia — Pacific Magnetic Recording Conference*, 2000. pp. TP4-01 —TP4-02.
- [28] Yufei Han, Bo Liu and Tso C.P. "Heating Induced Slider Deformation and Flying Stability Exploration in the Writing Process." *Asia — Pacific Magnetic Recording Conference* 2002. pp. WE-P-20-01- WE-P-20-02.
- [29] Weimin Qian, Huan Tang, David Kuo and Jing Gui. "Disk Shape and Its Effect on Flyability." *IEEE Transaction on Magnetics*, vol. 39, No. 2, March 2003. pp. 735-739.
- [30] B. Hayes "Terabyte Territory." *American Scientist*, vol. 90, No.3, 2002. pp. 212-216.
- [31] Ernie Chang, "Magnetic Data Storage and Nanoparticles."
<http://www.eng.uc.edu/>
- [32] D. Thompson and J.S. Best "The Future of Magnetic Data Storage Media Layers for Thermally Stable High-Density Recording." *App.Phys.Let.77*, No3, 2000. pp. 3806-3808.

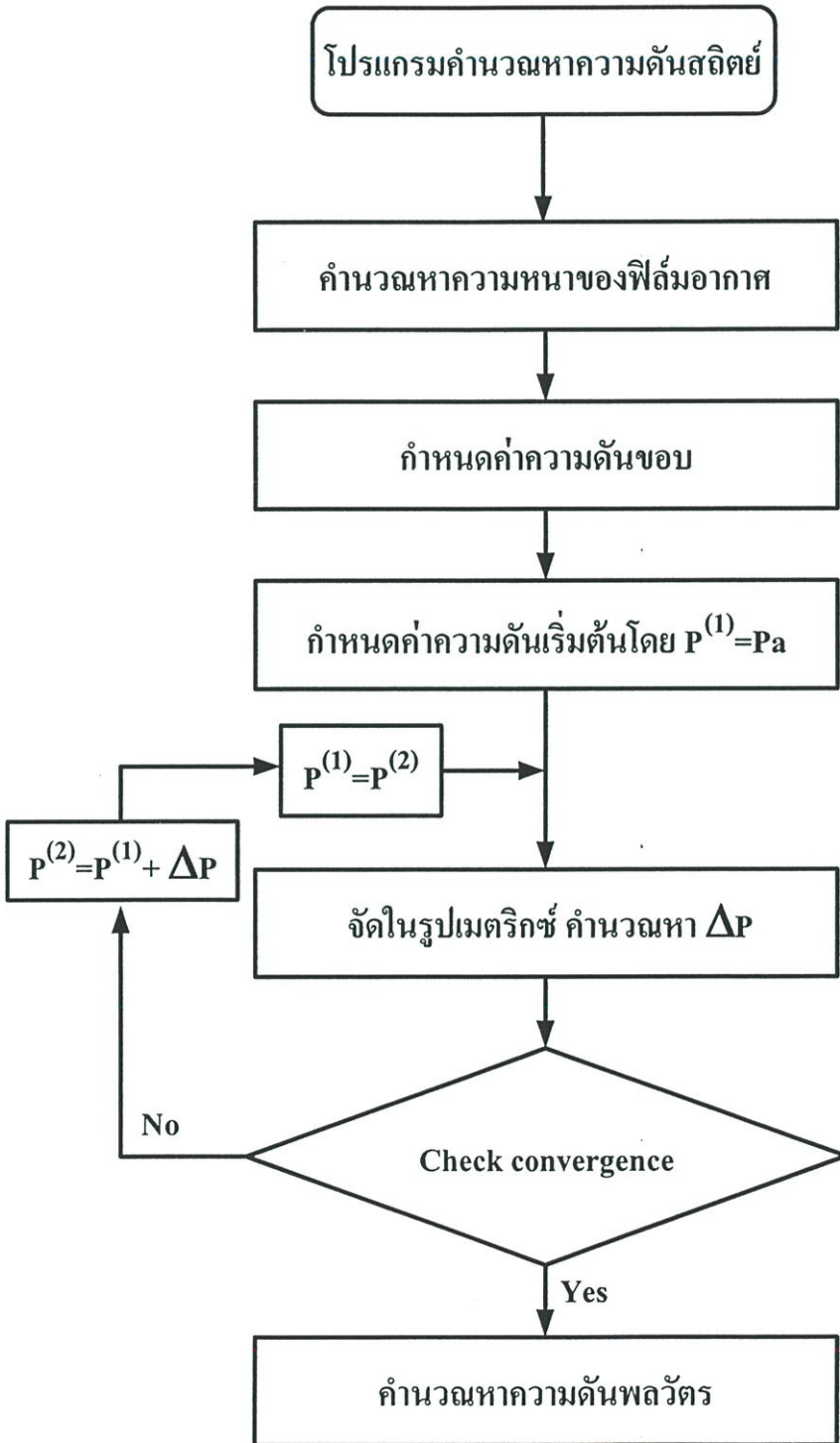
- [33] วิริทธิ์ เมฆประดิษฐสิน , “ รอบรู้การตรวจซ่อมฮาร์ดดิสก์ด้วยตนเอง,” บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด มหาชน
- [34] Frank E. Talke and David B. Bogy, “ Head-Medium Interface.” Journal of Mechanical Design , ASME, September 2000.
- [35] T.G. Jeong and D.B. Bogy “Numerical Simulation of Dynamic Loading in Hard Disk Drives.” Trans. ASME. Journal of Tribology, vol. 115, July 1993. pp. 370-375.
- [36] J.W. White and A. Nigam “A Factored Implicit Scheme for the Numerical Solution of the Reynolds Equation at Very Low Spacing.” Trans. ASME, Ser.F, 102-1, 1980. pp. 80-85.
- [37] B.J. Hamrock .**Fundamentals of Fluid Film Lubrication**. New York: McGraw-Hill Inc. 1994
- [38] มงคล มงคลวงศ์โรจน์ และ ฮิโรมุ ฮาชิโมโตะ. **ทฤษฎีการหล่อลื่น**. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2536
- [39] Bhushan B. Tribology and Mechanics of Magnetic Storage Device. Springer-Verlag.
- [40] Hashimoto H. and M. Mongkolwongrojn **Advanced Lubrication Theory**. Bangkok: KMITL. 1993.
- [41] ปราโมทย์ เศษอำไพ **ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม**. ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2541.
- [42] สุภารัตน์ แคว้นเขามิ่ง “การจำลองพฤติกรรมของหัวอ่านในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.
- [43] ขนิษฐา วงษ์สีดาแก้ว “ การออกแบบหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดในอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2545.

ภาคผนวก

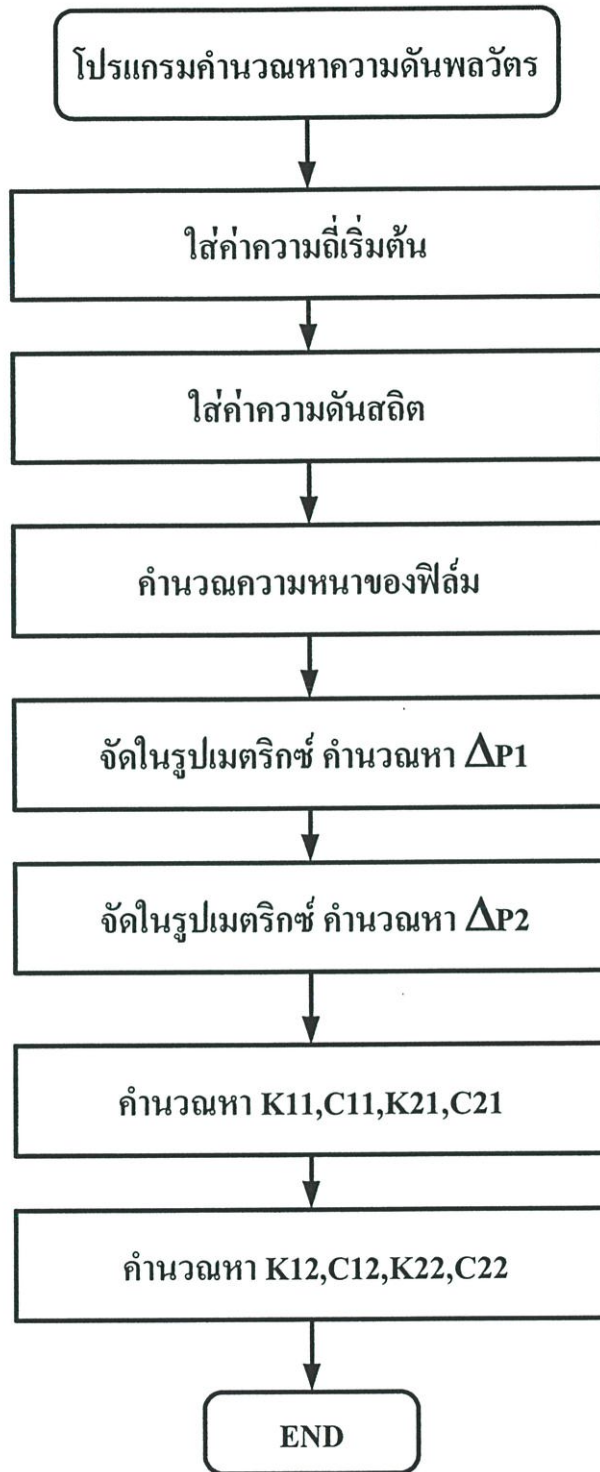
ก. แผนผังโครงสร้างโปรแกรม

ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

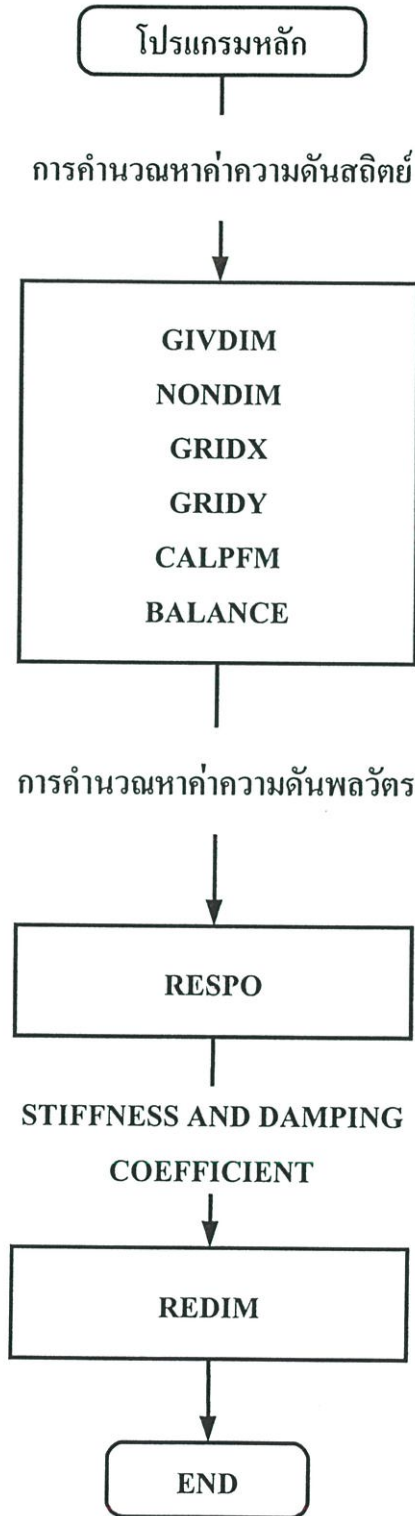
ภาคผนวก ก
แผนผังโครงสร้างโปรแกรม



รูปที่ ก.1 แสดงโครงสร้างของโปรแกรมคำนวณหาความดันสถิตย์

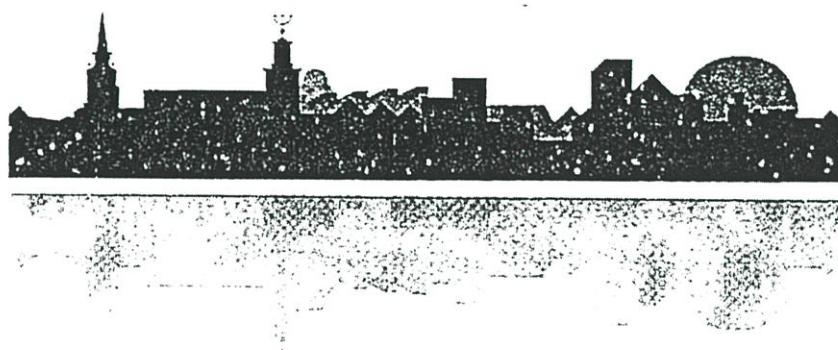


รูปที่ ก.2 โครงสร้างของโปรแกรมคำนวณหาความดันพลวัตและค่าสัมประสิทธิ์เดมปีงและสปริง



รูปที่ ก.3 แสดงโครงสร้างของโปรแกรมหลัก

ภาคผนวก ข
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์



Nordtrib 2002

Keynotes and Abstracts

The 10th Nordic Symposium on Tribology
Stockholm, June 9-12, 2002



Organized by KTH,
Royal Institute of Technology
Stockholm, Sweden



THE EFFECTS OF GEOMETRY CHANGE IN MAGNETIC HEAD SURFACE ON THE STATIC FLYING CHARACTERISTICS OF SLIDER HEAD IN MAGNETIC STORAGE SYSTEMS

M.MONGKOLWONGROJN, Associate Professor
W.GUNNUANG, Graduated student
Electro - Mechanical Engineering Lab.
Mechanical Engineering Department
ReCCIT Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang Bangkok 10520 Thailand
E-mail kmmongko@kmitl.ac.th

ABSTRACT

In this study, the static flying characteristics of Ultra-thin film head slider are investigated theoretically due to the change in head geometry caused by head and disk contact. The film shapes of magnetic head slider are taper-flat, truncated cycloidal-flat and exponential-flat that were derived to obtain air film distribution between the slider and the rigid disk in magnetic storage systems. Two-dimensional modified Reynolds equation included molecular slip effect are formulated with neglected the roughness effect. Finite difference approximation with Newton Raphson iterative technique was implemented to calculate the pressure distribution and flying heights of various change in head geometry numerically.

The simulation results show the film shape has affects significantly on the static characteristic of magnetic head.

Keywords Ultra-thin film head slider. Modified Reynolds equation with molecular slip effect, Finite difference method with Newton Raphson iterative technique, Static flying characteristic

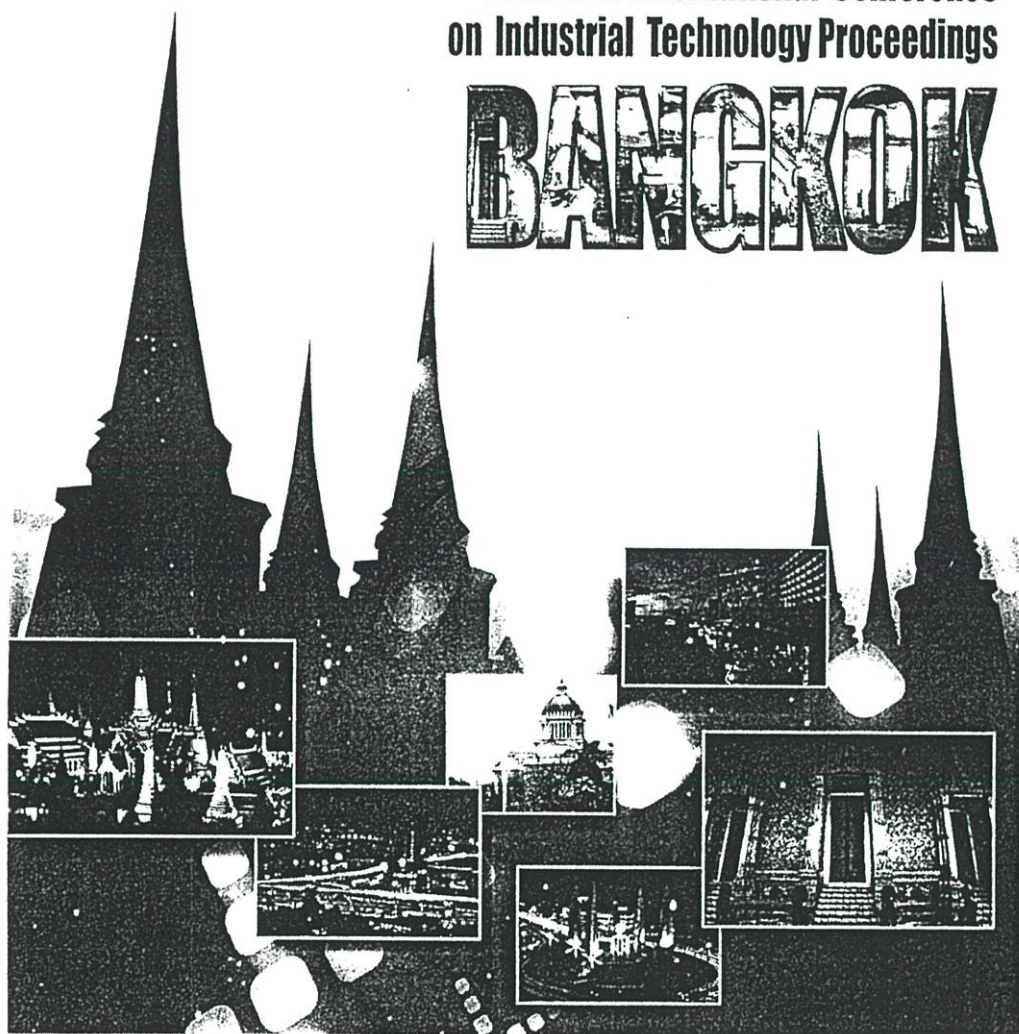
IEEE ICIT' 02 *Vol. I*

<http://www.ise.ait.ac.th/conferences/icit02.htm>

11-14 December 2002, Shangri-La Hotel, Bangkok, Thailand

2002 IEEE International Conference on Industrial Technology Proceedings

BANGKOK



icc



NSRF
NSTDA



MTEC

Seagate.

Transient Response of Head Slider with Geometry Change in Head Surface of Magnetic Storage Systems

M. Mongkolwongrojn and W. Gunnung*

Electro-Mechanical Engineering Laboratory ReCCIT, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang., Bangkok, 10520, THAILAND
Phone: +66-2326-4197 ext.103, Fax: +66-2326-4198 E-mail: kmmongko@kmitl.ac.th
*E-mail: s2062036@kmitl.ac.th

Abstract

In this study, the dynamic flying characteristics of the worn head sliders are investigated theoretically due to the change in head geometry caused by head and disk contact. The film shapes can be approximated as taper-truncated cycloidal-flat film. Two-dimensional time dependent modified Reynolds equation included molecular slip effect are formulated with neglected the roughness effect. The motion of head slider was assumed to have two degree of freedom in this work. Finite difference approximation with Newton Raphson iterative technique and the fourth order Runge-Kutta method were implemented to obtain the transient response of the slider head with various change in head geometry numerically and compared with IBM3380 type head

The simulation results show the film shape has affects significantly on the static and dynamic characteristic of slider head in magnetic storage systems.

1. Introduction

In the design of a high performance magnetic head slider needs to keep a very small spacing between the slider and the disk surfaces under both static and dynamic operating conditions in magnetic storage devices. Many research studies on numerical analysis of the performance characteristics of magnetic head and slider in magnetic storage devices have been done for our three decades, for examples Castelli and Pirvies [3], Ono[4], White[5,6], Nishihara et al.[7] and Bogy[8,9]. However, only few papers investigated the effects of geometry change in magnetic head surface on the flying characteristics of slider head. In this paper, the effects of film shapes due to geometry change in magnetic head surface on the flying characteristic of the self-acting taper flat type head were investigated using modified Reynolds equation with molecular slip effects base on Fukui & Kaneko model[1,2]. The IBM 3380 type slider was investigated theoretically.

2. Theoretical analysis

The generalized modified Reynolds equation for analyzing the static air film pressure between head slider and disk surface in magnetic storage systems as shown in Fig. 1 can be expressed as :

$$\frac{\partial}{\partial X} \left(Q \frac{\partial P}{\partial X} \right) + R^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left(Q \frac{\partial P}{\partial Y} \right) - \lambda \frac{\partial}{\partial X} (PH) - \sigma \frac{\partial (PH)}{\partial T} = 0 \quad (1)$$

$$Q(P, H) = \phi(P, H) PH^3 \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{6\mu UL}{P_a h_m^2} \quad (3)$$

where $\phi(P, H)$ is the Poiseuille flow factor based on linearized Boltzmann equation as :

$$\phi(P, H) = a_0 + a_1 \left(\frac{Kn}{PH} \right) + a_2 \left(\frac{Kn}{PH} \right)^2 + a_3 \left(\frac{Kn}{PH} \right)^3 \quad (4)$$

The boundary conditions are given as :

$$P(0, Y, T) = P(1, Y, T) = P \left(X, \frac{1}{2}, T \right) = P \left(X, -\frac{1}{2}, T \right) = 1 \quad (5)$$

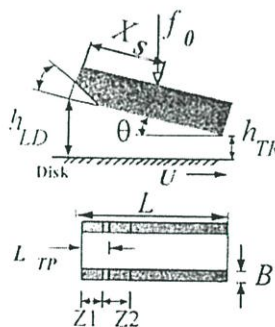


Fig. 1 Analytical model of magnetic head slider

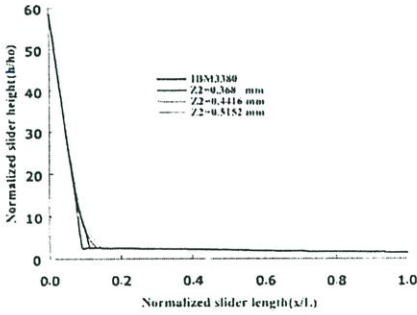


Fig. 2 Air Film distribution

For head slider in dynamic equilibrium condition, the force and moment balance equations can be written as :

$$M\ddot{Z} + F_y = 2 \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^1 (P-1) dX dY \quad (6)$$

$$I_0 \ddot{\theta} + M_s - F_s X_{GS} = 2 \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^1 (P-1) (X_G - X) dX dY \quad (7)$$

Solving the time dependent modified Reynolds equation (1) and the force and moment balance equations (6) and (7) simultaneously, the dynamic characteristic of the head slider can be calculated. The taper-truncated cycloidal-flat film shape were investigated in this paper and can be written as :

$$h = h_{TR} + (L - L_{TP}) \tan \theta + (L_{TP} - X) \tan \theta_{TP}; \quad 0 \leq X \leq Z1 \quad (8)$$

$$h = h_{Z2} \left(1 + 2(\alpha - 1) \left(\left(\frac{(x - Z1)L}{2Z2} \right) - \left(\frac{1}{2\pi} \sin \frac{(x - Z1)L}{2Z2} \right) \right) \right); \quad Z1 \leq X \leq Z2 \quad (9)$$

$$\alpha = h_{Z1} / h_{Z2} \\ h = h_{TR} + (L - X) \tan \theta; \quad Z2 \leq X \leq L \quad (10)$$

The air film distribution of the IBM3380 type slider and the taper-truncated cycloidal-flat film shape are calculated from equation 8, 9 and 10 and shown in Fig. 2

3. Results and discussions

In this simulation, the static and dynamic characteristic of head slider with rail width b , taper length L_{TP} , taper

angle θ_{TP} , suspension location X_s and suspension preload f_0 are investigated for the taper-truncated cycloidal-flat film shape due to the geometry change in magnetic head surface in magnetic storage device under head and disk contact; $Z1 = 0.1104$ mm, $Z2 = 0.5152$ mm; $Z1 = 0.1472$ mm, $Z2 = 0.4416$ mm and $Z1 = 0.184$ mm, $Z2 = 0.368$ mm. The dimension of the IBM 3380 type slider [1,2] are slider length $l = 4.06$ mm, width $w = 3.05$ mm, taper length $L_{TP} = 0.38$ mm and taper angle $\theta_{TP} = 15$ mrad. And the dimension of IBM 3380 type slider is also use for the worn head slider with taper-truncated cycloidal-flat film shape. The taper-truncated cycloidal-flat film shape was calculated for three cases which : $Z1 = 0.1104$ mm, $Z2 = 0.5152$ mm; $Z1 = 0.1472$ mm, $Z2 = 0.4416$ mm and $Z1 = 0.184$ mm, $Z2 = 0.368$ mm respectively. Fig. 3 through Fig. 7 show the variation of spacing at leading and trailing edges, h_{LD} and h_{TR}

In this study transient response on spacing of slider head due to rectangular bump. The magnetic head sliders have two degree of freedom; translation along the center of gravity Z and rotation along pitch angle θ . The dynamic response of the slider spacing, the center of gravity and the pitch angle of the slider head at disk velocities 20 m/s are shown in Fig. 8, 9 and 10. respectively

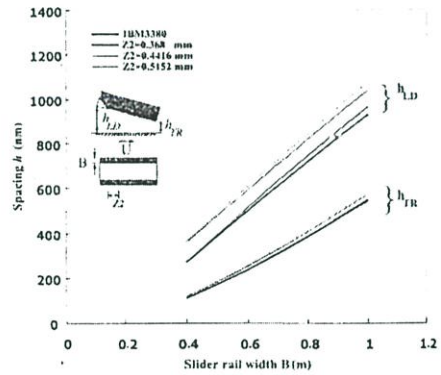


Fig. 3 Variation of spacing with slider rail width

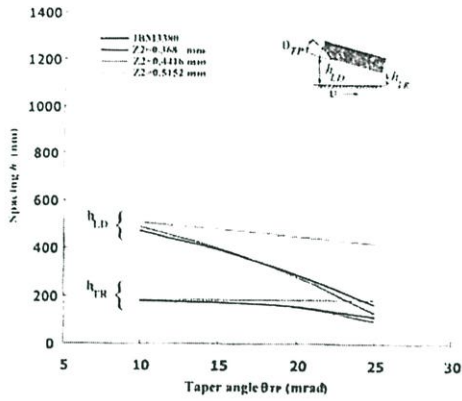


Fig. 4 Variation of spacing with taper angle

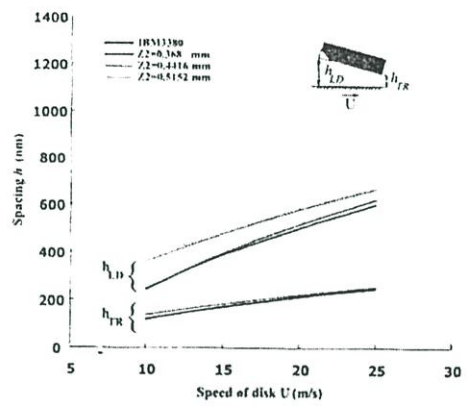


Fig. 7 Variation of spacing with disk velocity

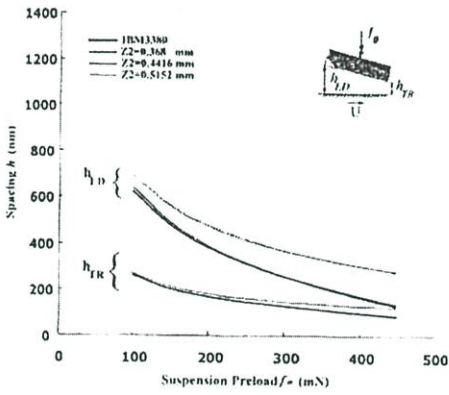


Fig. 5 Variation of spacing with suspension preload

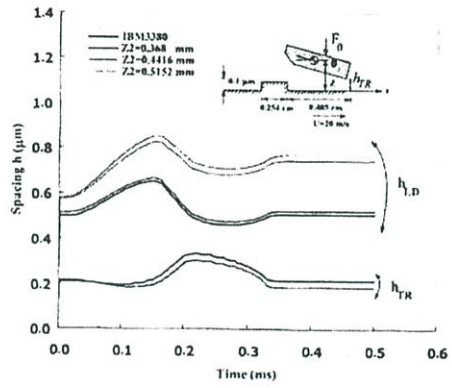


Fig. 8 Transient response of slider spacing

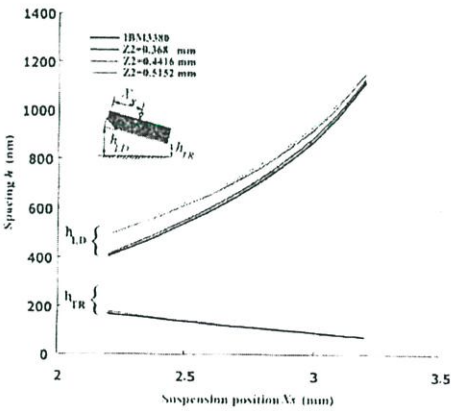


Fig. 6 Variation of spacing with suspension position

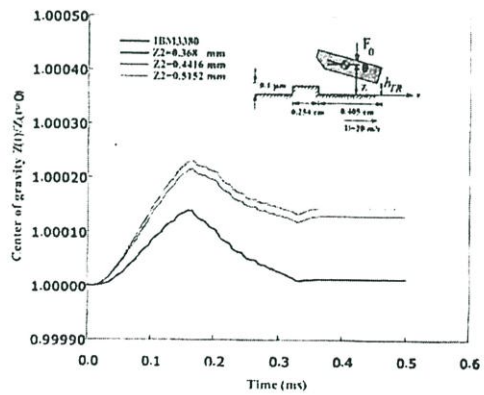


Fig. 9 Transient response of slider spacing

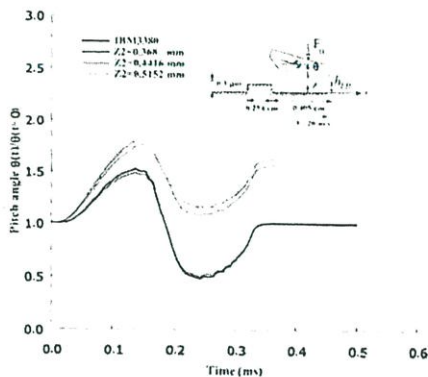


Fig. 10 Transient response of slider spacing

4. Conclusion

In this paper, the transient response of worn head sliders with taper-truncated cycloidal-flat film shape were investigated theoretically and can be concluded as:

1. The response of spacing at leading edge is significance compared with the spacing at trailing edge for worn head sliders
2. The spacing at trailing edge for the worn head reach the steady state value are almost equal to the time required for the response of IBM3380
3. Time required for the response of the worn head reach the steady state value are almost equal to the time required for the response of IBM3380 head slider within 0.32 milliseconds

5. Acknowledgements

The authors wish to express their gratitude to JICA for party support in this work

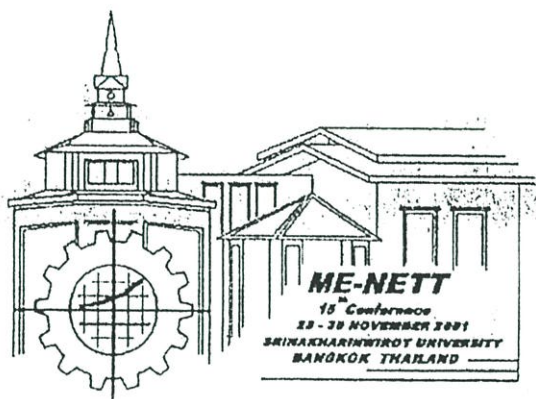
6. Nomenclature

- T = normalized time
 b = slider rail width (m)
 H = normalized spacing (h/h_a)
 h_a = reference spacing (m)
 h_{LD} = leading edge spacing (m)
 h_{LR} = trailing edge spacing (m)
 h_{Z1} = film thickness at $X=Z1$
 h_{Z2} = film thickness at $X=Z2$
 K_n = Knudsen number (λ_a/h_a)
 l = slider length (m)
 I_a = normalized slider moment of inertia about the pitch axis ($i_a h_a \omega_a^2 / \rho_a l^3 B$)
 M_i = normalized slider mass ($m h_a \omega_a^2 / \rho_a l^2 b$)
 P = normalized pressure (p/p_a)

- P_a = ambient pressure (Pa)
 R = ratio of length to width of the slider
 u = velocity of disk surface ($r\omega_a$)(m/s)
 X_G = normalized location of center of gravity (x_G/l)
 M_S = normalized slider moment
 F_S = normalized spacing force
 X_{GS} = normalized distance between the center of gravity and support position ($=x_{GS}/l$)
 X_S = normalized location of support position (x_s/l)
 X_{TP} = normalized taper length (x_{TP}/l)
 Z = normalized translational displacement of disk surface (z/b)
 Θ = normalized pitch angle of slider ($\theta/l/h_a$)

7. References

- [1] S. Fukui and R. Kaneko, Trans. ASME Jour Tribol., 110, 2(1988), pp. 253-261.
- [2] S. Fukui and R. Kaneko, Trans. ASME Jour Tribol., 112, 1(1990) 78-83.
- [3] V. Castelli and J. Pirvics, Trans. ASME Jour. Lub Tech, 90, (1968), pp. 777-792.
- [4] K. Ono, Trans. ASME Jour. Lub. Tech, 97, 2(1975), pp. 250-260.
- [5] J. W. White, Trans. ASME Jour. Lub. Tech, 105, 3(1983), pp. 484-490.
- [6] J. W. White, ASLE SP-16, 1, (1984) 72-76.
- [7] H. S. Nishihara, L. K. Dorius, S. A. Bolasna and G. L. Best, STLE SP-25, 97, (1988), pp. 117-123.
- [8] E. Cha and D. B. Bogy, Trans. ASME Jour. Tribol., 117, (1995), pp. 36-46.
- [9] D. B. Bogy, S. Lu, M. A. O'Hara and S. Zhang, Trans. ASME Jour. Tribol., 120, 3(1998) 566-570.
- [10] H. Hashimoto and Y. Hattori, Trans. ASME Jour. Tribol., 122, 1(2000), pp. 280-287.
- [11] C. Bagci, A. P. Singh, Trans. ASME Jour. Lub. Tech, 105, (1983), pp. 48-66.



บทความวิชาการ : การประชุมวิชาการ
เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย
ครั้งที่ 15

เล่มที่ 2

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

พฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดฟิล์มบางมาก ที่มีการลบมุมเทเปอร์ ในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า

Flying Characteristics of Ultra Thin Film Head Slider with smooth off the taper angle in Magnetic storage System

มงคล มงคลวงษ์โรจน์ และ นางสาวลิพรรณ กันเนื่อง
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทร 66(2)3269987 ต่อ 113, โทรสาร 66(2)3269053, Email : kmmongko@kmitl.ac.th

Mongkol Mongkolwongrojn and Miss Waleophon Gunnuang
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladk.abang
Tel:66(2) 3269987 ต่อ 113, Fax: 66(2)3269053, Email : kmmongko@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาลักษณะการลอยตัวในช่วงคงตัวของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดฟิล์มบางมากที่มีการลบมุมเทเปอร์ในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า การแก้ปัญหาเชิงตัวเลขของสมการเวอโรแลคซ์ชนิดไม่เชิงเส้นเสถียรด้วยวิธี Finite difference และประมาณเป็นสมการเชิงเส้นด้วย Newton-Raphson ผลการคำนวณเชิงตัวเลขที่ได้คือการกระจายของความดัน ความสูง ภาวะแรงกระทำบนหัวอ่าน ที่ความเร็วต่างๆ ที่สภาวะคงตัว ซึ่งผลที่ได้ไม่ไวต่อแอมพลิจูดและเปรียบเทียบกับหัวอ่าน IBM3380

Abstract

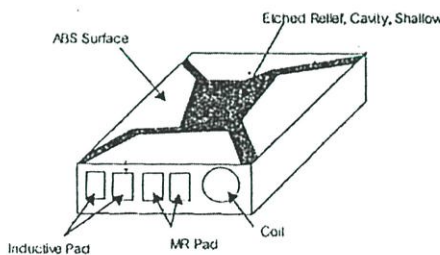
This paper describes the investigation of flying characteristic in steady state of Ultra Thin Film head slider with smooth off the taper angle in magnetic Storage System. Numerical Solution of two dimensional nonlinear modified Reynolds equation has been studied. Finite difference approximation with Newton Raphson iterative technique are used in calculation numerically to obtain pressure distribution and loads in steady state. The result are discussed and compared with the result of IBM3380.

1. บทนำ

ระบบเก็บบันทึกข้อมูลในระบบสารสนเทศและเทคโนโลยีการสื่อสารจำเป็นและมีบทบาทสำคัญซึ่งในการทำงานของระบบเก็บข้อมูลนั้นประกอบด้วยหลายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำงาน เช่นระยะการลอยตัวของหัวอ่านที่ต้องควบคุมให้เหมาะสม แรงที่กระทำต่อหัวอ่าน รวมทั้งปัจจัยภายนอกอื่น ๆ ซึ่งในภาควิเคราะห์คำนวณการทำงานของหัวอ่านจะทำการศึกษาระยะการลอยตัวของหัวอ่าน ซึ่งมีพฤติกรรมแบบคงตัว การหล่อลื่นในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าอาศัยฟิล์ม

อากาศแบบไฮโดรไดนามิกเพื่อหลีกเลี่ยงการสึกหรอของหัวอ่านอินเทอร์เฟซกับสื่อบันทึก ปัจจุบันการออกแบบและพัฒนาหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อเพิ่มความสามารถในการบันทึกข้อมูลได้ปริมาณมากจำเป็นต้องพยายามให้หัวอ่านมีระยะห่างจากสื่อบันทึกโดยไม่ทำให้เกิดการสัมผัสกันและต้องเพียงพอที่จะทำให้เกิดสัญญาณบันทึกขนาดใหญ่อเพียงพอสัญ

หัวอ่านหรือ Slider จะประกอบไปด้วยขดลวด coil ซึ่งจะเรียงกันอยู่เป็นชั้น ๆ และจะประกอบด้วยขั้ว 2 ชนิดคือ ขั้ว Inductive และ ขั้ว MR ขั้ว Inductive จะทำหน้าที่อ่านข้อมูล ABS (Air Bearing Surface) จะทำหน้าที่ค้นหาแผ่นดิสก์ จะออกแบบให้เป็นรูปร่างต่างๆ ซึ่งจะมีผลต่อแรงยกตัวเวลาที่แผ่นหมุน Etched Relief เป็นส่วนที่เป็นร่องลึกลงไปจาก ABS Inductive PAD และ MR PAD เป็นหน้าสัมผัสที่ใช้เชื่อมต่อกับขั้ว Inductive และ MR ไปยังแผงวงจรถอบคุม ส่วน Coil จะเป็นที่อยู่ของ Pole tip ซึ่งจะเป็นตำแหน่งที่ใช้ในการอ่าน-เขียนข้อมูล



รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้า

หัวอ่านจะประกอบอยู่บน Suspension และจะมี FIC (Flex Interconnected Circuit) เมื่อประกอบขึ้นส่วนนี้เข้าด้วยกันแล้วจะเรียกรวมๆว่า HGA (Head Gimbals Assembly) ซึ่ง Suspension

โดยที่

$$[A] = \begin{bmatrix} \frac{\partial y_{12}}{\partial p_{12}} & \frac{\partial y_{12}}{\partial p_{1a}} & \frac{\partial y_{12}}{\partial p_{1b}} & \frac{\partial y_{12}}{\partial p_{1c}} & \frac{\partial y_{12}}{\partial p_{1d}} \\ \frac{\partial y_{22}}{\partial p_{2a}} & \frac{\partial y_{22}}{\partial p_{2b}} & \frac{\partial y_{22}}{\partial p_{2c}} & \frac{\partial y_{22}}{\partial p_{2d}} & \frac{\partial y_{22}}{\partial p_{2e}} \\ \frac{\partial y_{32}}{\partial p_{3a}} & \frac{\partial y_{32}}{\partial p_{3b}} & \frac{\partial y_{32}}{\partial p_{3c}} & \frac{\partial y_{32}}{\partial p_{3d}} & \frac{\partial y_{32}}{\partial p_{3e}} \\ \frac{\partial y_{42}}{\partial p_{4a}} & \frac{\partial y_{42}}{\partial p_{4b}} & \frac{\partial y_{42}}{\partial p_{4c}} & \frac{\partial y_{42}}{\partial p_{4d}} & \frac{\partial y_{42}}{\partial p_{4e}} \end{bmatrix}$$

และ $\Delta p_{mn}^k = p_{mn}^k - p_{mn}^{k-1}$
 $p_{mn}^k = \Delta p_{mn}^k + p_{mn}^{k-1}$

ในการคำนวณใช้วิธีทำซ้ำจนกระทั่งความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า ϵ หรือ ดังสมการที่ (6)

$$\frac{\sum_{m=2}^M \sum_{n=2}^N |v_{mn}^k|}{\sum_{m=2}^M \sum_{n=2}^N |v_{mn}^{k-1}|} \leq \epsilon \tag{6}$$

แนวโซ่โคโคนามิคคำนวณได้จากกรออินทิเกรตความดันของฟิล์มคือ

$$\frac{F_{imp}}{P_o Rl} = \int_0^1 \int_0^1 (p-1) dx dy \tag{7}$$

3. ผลการคำนวณ

ในการคำนวณจะทำการเปลี่ยนแปลงระยะของ ZL 1 (mm.) ซึ่งเป็นจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของหัวอ่านที่มีรูปร่างเป็นแบบ truncated cycloidal shape[2] ZL 1 ยิ่งน้อยแสดงว่าเกิดความเคลี่ยนมากคือ ZL 2 (ระยะที่มีการลบมุม) มากขึ้น ซึ่งผลการคำนวณแสดงได้ดังนี้

รูปที่ 4 แสดงการกระจายของความดันพบว่าที่บริเวณของ ZL 1 น้อยลงความดันที่บริเวณใกล้ขอบนำและขอบท้ายของหัวอ่านมีลักษณะเพิ่มสูงขึ้น แต่ความดันที่บริเวณตรงกลางลดลง

รูปที่ 5 เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นพบว่าระยะของการลอยตัว (h) เพิ่มขึ้นตาม และ ZL 1 น้อยลง h เพิ่มขึ้น

รูปที่ 6 ความกว้างของหัวอ่านมีผลต่อระยะของการลอยตัวของหัวอ่าน ถัดเมื่อ ความกว้างของราง (b) เพิ่มขึ้นระยะการลอยตัวของหัวอ่านจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ZL 1 พบว่าที่ b ต่างๆการเปลี่ยนแปลง ZL 1 ไม่มีผลต่อความสูงที่ขอบท้ายของหัวอ่าน (HTK) แต่มีผลต่อความสูงที่ขอบนำของหัวอ่าน (HLD) ซึ่งที่ b สูงๆการเปลี่ยนแปลง ZL 1 มีผลต่อทั้ง HTK และ HLD

รูปที่ 7 ขนาดมุมหรือความชันของส่วนราบเอียงของหัวอ่าน θ_{in} มีผลต่อ HTK เมื่อ θ_{in} สูง ๆ ก็คือ HTK น้อยลง แต่ เมื่อ θ_{in} ต่ำ ๆ จะไม่มีผลต่อ HTK แต่ HLD เปลี่ยนแปลงกับขนาดมุมคือเมื่อ θ_{in} เพิ่มขึ้นพบ ว่า HLD ลดลง และเมื่อ ZL 1 น้อยลง HTK และ HLD เพิ่มขึ้น

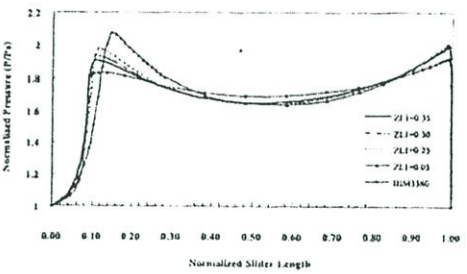
รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงค่าแ่งกึ่งจับหัวอ่าน (x_c) มีผลต่อ HTK น้อยมาก แต่มีผลต่อ HLD มากคือเมื่อ x_c เพิ่มขึ้นจะได้ค่าของ HLD เพิ่ม

ขึ้นมาก แต่ HTK ลดลงเพียงเล็กน้อย การเปลี่ยนแปลง ZL 1 ไม่มีผลต่อ HTK แต่มีผลต่อ HLD คือเมื่อ ZL 1 เพิ่มขึ้น HLD น้อยลง

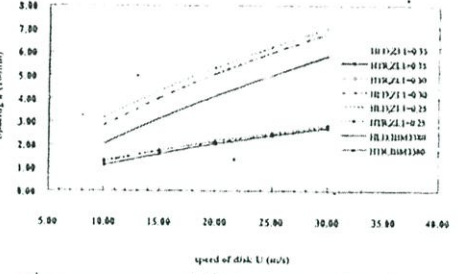
รูปที่ 9 เมื่อเปลี่ยนแปลงแรงที่กระทำบนหัวอ่าน (f_o) พบว่าเมื่อ f_o เพิ่มขึ้นความสูงของการลอยตัวทั้ง HTK และ HLD น้อยลงอย่างมาก และการเปลี่ยนแปลงระยะของ ZL 1 จะมีผลกับ HLD คือเมื่อ ZL 1 เพิ่มขึ้น HLD น้อยลง

รูปที่ 10, 11 และรูปที่ 12 แสดงการกระจายความดันที่กึ่งกลางของรางหัวอ่านตามแนวยาวเมื่อเปลี่ยนความเร็วเมื่อ ZL 1=0.25, 0.30 และ 0.35 พบว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นความดันที่บริเวณขอบนำและขอบท้ายของหัวอ่านสูงขึ้น แต่ ความดันที่บริเวณตรงกลางจะลดลง

รูปที่ 13 และ 14 รูปการกระจายของความดันแบบ 3 มิติของหัวอ่านเมื่อ ZL 1=0.30 และ 0.35 ที่ความเร็ว U= 20 nvs

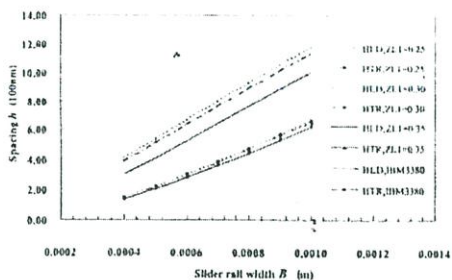


รูปที่ 4 แสดงผลของความดันบนพื้นผิวของหัวอ่านที่กึ่งกลางรางของหัวอ่าน

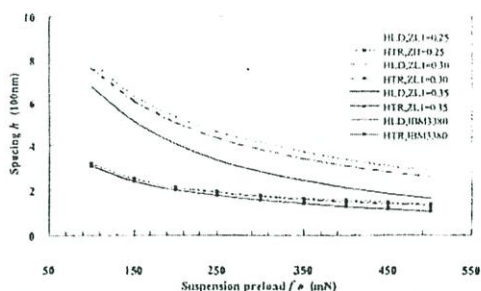


รูปที่ 5 แสดงผลของความเร็วที่มีต่อระยะการลอยตัวของหัวอ่าน

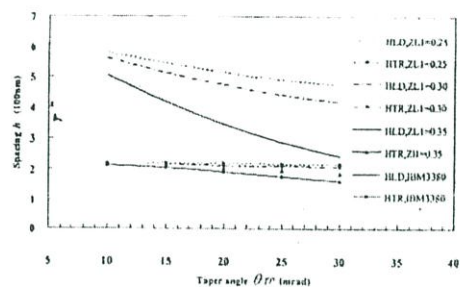
MM-4



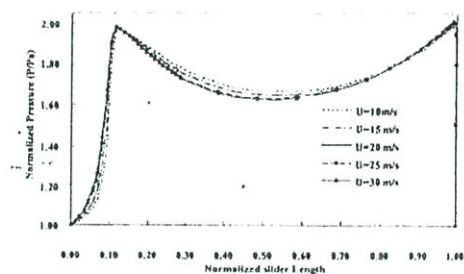
รูปที่ 6 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อเปลี่ยนแปลงความกว้างของราง



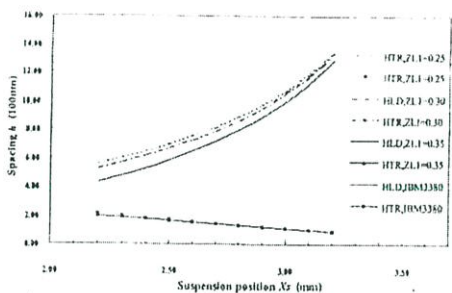
รูปที่ 9 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อเปลี่ยนแปลงแรงที่กระทำบนหัวอ่าน



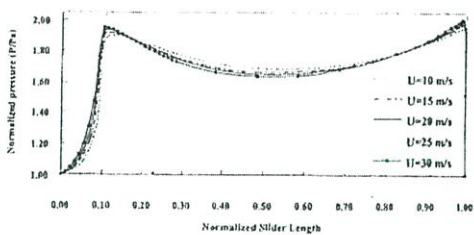
รูปที่ 7 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดมุมหรือความชันของส่วนรนาบเอียงของหัวอ่าน



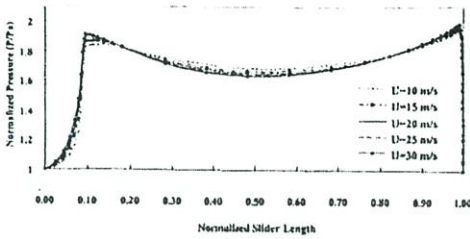
รูปที่ 10 แสดงการกระจายความดันที่กึ่งกลางของรางหัวอ่านตามแนวยาวเมื่อเปลี่ยนความเร็วเมื่อ ZL=0.25



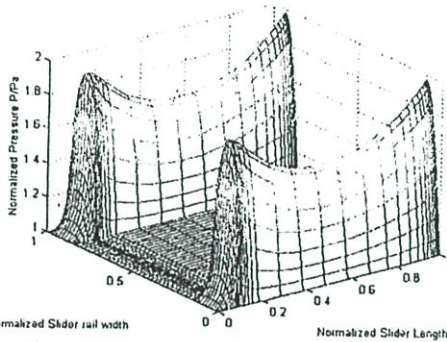
รูปที่ 8 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อเปลี่ยนแปลงตำแหน่งยึดจับหัวอ่าน



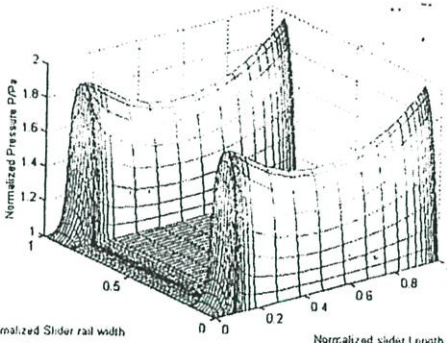
รูปที่ 11 แสดงการกระจายความดันที่กึ่งกลางของรางหัวอ่านตามแนวยาวเมื่อเปลี่ยนความเร็วเมื่อ ZL=0.30



รูปที่ 12 แสดงการกระจายความดันที่กึ่งกลางของวางหัวอ่านตามแนวยาวเมื่อเปลี่ยนความเร็วเมื่อ $ZL_1=0.35$



รูปที่ 13 รูปการกระจายของความดันของหัวอ่านเมื่อ $ZL_1=0.30$, $U=20$ m/s



รูปที่ 14. รูปการกระจายของความดันของหัวอ่านเมื่อ $ZL_1=0.35$, $U=20$ m/s

4. สรุป

เมื่อมีการลดมุมเทเปอร์พบว่าความดันบริเวณใกล้ขอบนำจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นและจะมีค่าความดันสูงสุดมากกว่าแบบที่ไม่มีมีการลดมุม (IBM3380) และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่า ZL_1 พบว่าความดันที่บริเวณขอบนำจะสูงขึ้นถ้า ZL_1 น้อยลง แต่ความดันที่บริเวณตรงกลางจะลดลงและจะสูงขึ้นอีกที่บริเวณขอบท้ายเมื่อ ZL_1 น้อยลง เมื่อ

ความเร็วสูงขึ้น ความดันที่บริเวณขอบนำและขอบท้ายของหัวอ่านสูงขึ้น แต่ความดันที่บริเวณตรงกลางจะลดลง ความกว้างของรางและความเร็วมีผลต่อการลอยตัวในลักษณะที่คล้ายกันคือเมื่อมีค่าเพิ่มขึ้นระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบนำและขอบท้ายจะเพิ่มขึ้น แรงที่กระทำบนหัวอ่าน และมุมเทเปอร์เมื่อมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ HTR และ HLD ลดน้อยลง ตำแหน่งยึดจับหัวอ่านเมื่อเพิ่มขึ้นทำให้ HTR ลดลงเล็กน้อยแต่ HLD เพิ่มขึ้นอย่างมาก

หัวอ่าน IBM3380 จะมีสมรรถนะทางสถิติดีกว่า IBM3380 ที่มีการลดมุมเนื่องจากความคลาดเคลื่อนจากการผลิตเนื่องจากมีจุดศูนย์กลางแรงเนื่องจากความดันใกล้กับจุดศูนย์กลางมวลจึงทำให้มีความสมดุลดีกว่า ซึ่งกำลังศึกษาพฤติกรรมทางไดนามิกส์ จากการกระจายความดันจะเห็นว่าพฤติกรรมทางไดนามิกส์น่าจะใกล้เคียงหรือดีกว่า IBM3380

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] B.Bhushan, "Tribology and mechanics of magnetic storage devices", Springer-Verlag,1990
- [2] C.Bagci and A.P.Singh, "Hydrodynamic Lubrication of finite Slider Bearings:Effect of dimensional Film Shape,and Their Computer Aided Optimum Designs", J.Lub.Tech., Trans.ASME, 1983, Vol.105, pp.48-65
- [3] J.W.White and A.Nigam,"A factored implicit for the numerically solution of Reynolds equation at very low spacing", J.Lub.Tech.,Trans.ASME, 1980,Vol.102, pp.80-85
- [4] S.Fukui and R.Kaneko, "Analysis of Ultra-thin gas film lubrication based on linearized Boltzman equation", ASME Journal of Tribology, 1998, Vol 110, pp.335-341
- [5] V.Castelli and J.Pirvics, "Review of numerical method in gas bearing film analysis", J.Lub.Tech., Trans.ASME, 1968, Vol.90, pp 772-792

ประวัติผู้เขียน

- ชื่อผู้เขียน นางสาวลีพรรณ กันเนื่อง
- วันเดือนปีเกิด 17 เมษายน 2518
- วุฒิการศึกษา ปริญญาตรี : วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2541
ปริญญาโท : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2546

ผลงานที่เคยได้รับการตีพิมพ์

- 2542 : Balance of Single Cylinder Engines for Minimizing Forces
วารสารวิศวกรรมลาดกระบัง ฉบับที่ 1 ปีที่ 11 เดือนเมษายน
- 2544 : Flying Characteristics of Ultra Thin Film Head Slider with Smooth off the taper angle
in Magnetic storage System
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 15 ปีที่ 15
- 2545 : The Effect of Geometry Change in Magnetic Head Slider Surface on the Static
Characteristic of Slider Head in Magnetic Storage Systems,” The 10th Nordic
Symposium on Tribology (NORDTRIB 2002) Stockholm Sweden, June 9-12
- 2545 : Transient Response of Head Slider with Geometry Change in Head Surface of
Magnetic Storage Systems,” 2002 IEEE International Conference on Industrial
Technology (IEEE ICIT’02), Bangkok Thailand, Dec. 11-14