

การจำลองพฤติกรรมของหัวอ่านในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า

FLYING CHARACTERISTIC SIMULATION OF THE SLIDER HEAD AND  
RIGID DISK INTERFACE IN MAGNETIC STORAGE SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตศึกษาดุษฎี

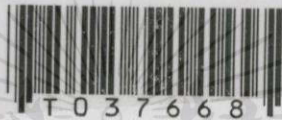
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2543

ISBN 974-622-910-9

การจำลองพฤติกรรมของหัวอ่านในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า

FLYING CHARACTERISTIC SIMULATION OF THE SLIDER HEAD AND  
RIGID DISK INTERFACE IN MAGNETIC STORAGE SYSTEM



สุดารัตน์ แคว้นเขาเม็ง

SUDARAT KWANKAOMENG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

พ.ศ. 2543

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....  
วัน, เดือน, ปี.....

37668

ISBN 974 - 622 - 910 - 9

19 ก.ย. 2543

**FLYING CHARACTERISTIC SIMULATION OF THE SLIDER HEAD  
AND RIGID DISK INTERFACE IN MAGNETIC STORAGE SYSTEM**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2000

ISBN 974 - 622 - 910 - 9



เอกสารนี้เป็นของทรัพย์สินทางปัญญาที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ลือทั้งหมดเป็นลิขสิทธิ์ของสถาบัน และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**COPYRIGHT 2000**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การจำลองพฤติกรรมของหัวอ่านในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า  
FLYING CHARACTERISTIC SIMULATION OF THE SLIDER HEAD  
AND RIGID DISK INTERFACE IN MAGNETIC STORAGE SYSTEM

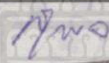
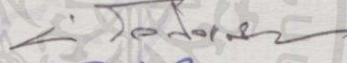

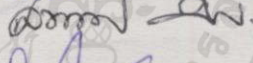
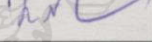
ชื่อนักศึกษา              นางสาวสุภารัตน์ แคว้นเขามิ่ง

รหัสประจำตัว              41062003

ปริญญา                      วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา                   วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์      รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สุวิพล	สิทธิชีวกาศ	
ผศ.มิ่ง	โดกิจแสงทอง	
ผศ.จำลอง	ปราบแก้ว	
ผศ.สมยศ	จันเกษม	
รศ.ดร.มงคล	มงคลวงศ์โรจน์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 6 กรกฎาคม 2543 เวลา 12.00-13.00 น. เป็นต้นไป  
สถานที่สอบ ณ ห้องสอบวิทยานิพนธ์ ชั้น 4 (ห้อง E12-404)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.มนัส ตั้งวรศิลป์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่...13.....เดือน...กรกฎาคม.....พ.ศ. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การจำลองพฤติกรรมของหัวอ่านในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า

นักศึกษา

นางสาวสุภารัตน์ แก้วเงินเหม็ง

รหัสประจำตัว

41062003

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

พ.ศ.

2543

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเกี่ยวกับการศึกษาถึงลักษณะพฤติกรรมทางสถิตและทางพลวัตของหัวอ่านแบบที่ใช้งานกันทั่วไปซึ่งสร้างความดันในการลอยตัวได้เอง ในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อศึกษาหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบและหัวอ่านชนิด ไอบีเอ็มสามสามแปดศูนย์ (IBM 3380) ซึ่งหัวอ่านประกอบด้วยสองราง โดยแต่ละรางมีส่วนราบเอียงที่สร้างความดันอากาศ กำหนดให้ระยะห่างระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ต่ำมากเพื่อให้การเก็บข้อมูลทำได้มาก วิธีเชิงตัวเลขที่ใช้ในการแก้สมการเรย์โนลด์สแบบตัดแปลงแบบไม่เชิงเส้นสองมิติ รวมทั้งพิจารณาการไหลให้เป็นแบบอัดตัวได้ และผลจากการไหลแบบสั่นไหลที่แปรเปลี่ยนตามเวลา โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงขนาดคริตต่างๆ ซึ่งในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าพิจารณาให้หัวอ่านเคลื่อนที่โดยอิสระสองทิศทาง วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ วิธีทำซ้ำของนิวตัน-ราฟสัน และการแก้สมการอนุพันธ์สามัญด้วยวิธีรุงเง-คุตต้า อันดับสี่ใช้ในการคำนวณหา ความดันกระจายระหว่างผิวของแผ่นดิสก์กับหัวอ่าน ความสูงของการลอยตัวของหัวอ่านบนแผ่นดิสก์ ภาระแรงกระทำบนหัวอ่าน ตำแหน่งของจุดยึดบนหัวอ่าน และค่าสัมประสิทธิ์สปริงและแดมป์ รวมทั้งผลการตอบสนองและความเสถียรของหัวอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Flying Characteristic Simulation of the Slider Head and Rigid Disk Interface in Magnetic Storage Systems.
<b>Student</b>	Miss Sudarat Kwankaomeng
<b>Student ID.</b>	41062003
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Programme</b>	Mechanical Engineering
<b>Year</b>	2000
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Mongkol Mongkolwongroj

### ABSTRACT

This thesis presented on the investigations of static and dynamic characteristics of a conventional self-acting air bearing head and rigid disk in magnetic storage system. In order to consider the plane wedge type and the IBM 3380 type slider. The slider is composed of two rails with a taper flat on each rail to pressurize the air. The design of low clearance between head and rigid disk interface is to obtain high data storage density. Numerical solution of the two - dimensional nonlinear time variable modified Reynolds equation with slip flow effect has been studied by using variable grid size. The motion of two-degree of freedom slider head has been included in the magnetic storage system. A numerical scheme based on the finite difference technique with Newton-Raphson iteration method and 4-order Rungge Kutta was used in calculation to obtain pressure distribution, flying height, loads, pivot position, spring and damping coefficient, and transient response and stability.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับ พฤติกรรมของหัวอ่านในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า วิธีการคำนวณเชิงตัวเลข พร้อมทั้งกำลังใจในการทำวิจัยจาก รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ทำวิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ศ.ดร.ฮาซิมโด้ และ ผศ.ดร.ฮาตรี ที่ให้คำแนะนำในการคำนวณสมการที่มีความไม่เชิงเส้นอย่างมาก พร้อมทั้งให้คำปรึกษาอันมีคุณค่าแก่การศึกษาทำการวิจัย ช่วยให้ผู้วิจัยเข้าใจในการแก้ปัญหา

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ที่คอยปลอบโยนและให้กำลังใจอย่างใกล้ชิดมาโดยตลอด

ขอขอบคุณอาจารย์วิญ ศรีสืบสาย ที่ได้เอื้อเฟื้อคอมพิวเตอร์ในการทำวิจัยพร้อมให้กำลังใจและความช่วยเหลือในการทำวิจัยมาโดยตลอดและเพื่อนๆนักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่างๆ พร้อมทั้งช่วยเป็นกำลังใจต่อผู้วิจัยอย่างใกล้ชิด

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ให้ความรู้และเอาใจใส่ประกอบกับเอื้ออำนวยห้องวิจัยในการเขียนโปรแกรม

ขอขอบคุณบริษัท รีท-ไรท์(ประเทศไทย) จำกัดที่ให้เข้าเยี่ยมชมขั้นตอนการผลิตหัวอ่าน ซึ่งให้ความรู้อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สุดาร์ตน์ แก้วนเขาเม็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

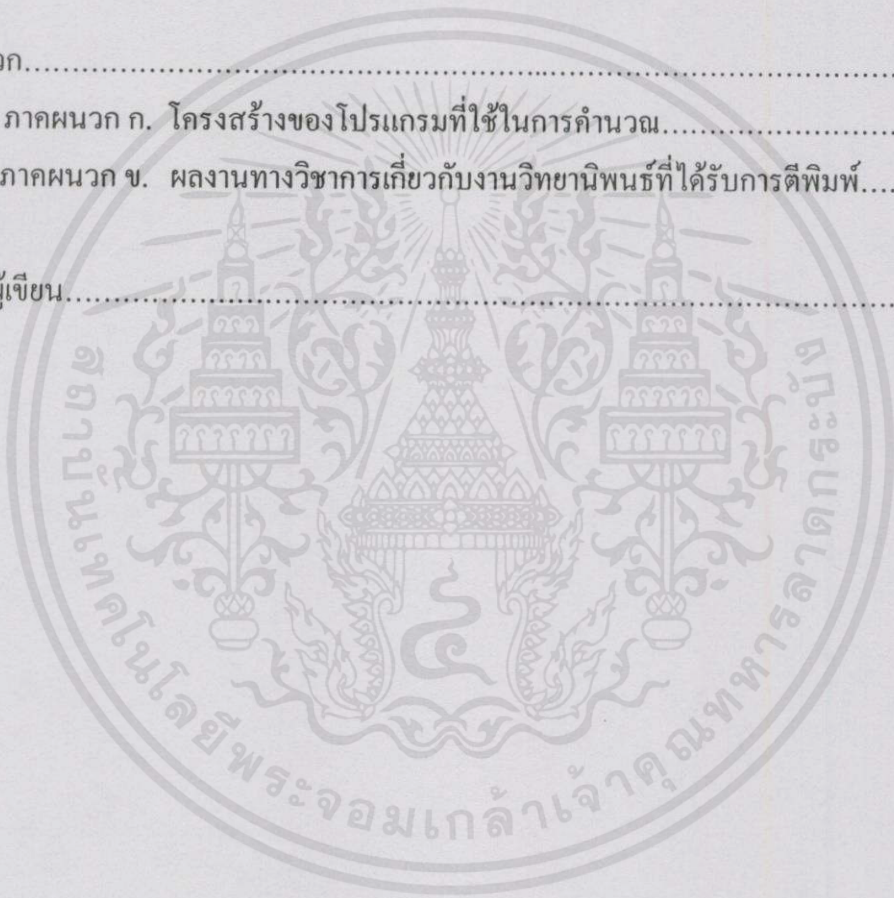
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
รายการคำขอและสัญลักษณ์.....	XIV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	6
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	6
1.4 ทฤษฎีและแนวคิดในงานวิจัย.....	7
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	7
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	7
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
บทที่ 2 ระบบการเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า.....	9
2.1 ประวัติความเป็นมาของการเก็บบันทึกทางแม่เหล็ก.....	12
2.2 ขั้นตอนการเก็บและบันทึกข้อมูล.....	17
2.3 ระบบเก็บข้อมูลในปัจจุบัน.....	18
2.4 เครื่องเล่นเทป.....	20
2.5 การอินเตอร์เฟซ(interface)กันระหว่างหัวอ่าน(slides)กับแผ่นเทปแม่เหล็ก.....	24
2.6 ระบบบันทึกภาพ.....	28
2.7 เครื่องเล่นฟลอปปีดิสก์ (Floppy Disk Drives).....	29
2.8 การอินเตอร์เฟซ(interface)กันระหว่างหัวอ่าน(slides)กับฟลอปปีดิสก์(floppy-disk).....	30
2.9 เครื่องเล่นริจิดดิสก์ (Rigid Disk Drive).....	32
2.10 การอินเตอร์เฟซ(interface)กันระหว่างหัวอ่าน(slides)กับริจิดดิสก์(rigid-disk).....	39

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ทฤษฎีพื้นฐาน.....	42
3.1 ทฤษฎีพื้นฐานของการหล่อลื่นด้วยแก๊ส.....	42
3.2 สมการเรย์โนลด์.....	43
3.3 สมการการเคลื่อนที่.....	50
3.4 วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์.....	52
3.5 วิธีกระทำซ้ำของนิวตันราฟสัน.....	56
3.6 ระเบียบวิธีรุงเง-คุตต์อันดับสี่.....	57
บทที่ 4 การคำนวณวิเคราะห์เชิงตัวเลข.....	62
4.1 การวิเคราะห์คำนวณการทำงานของหัวอ่านในกรณีพฤติกรรมสถิต.....	62
4.2 การวิเคราะห์คำนวณการทำงานของหัวอ่านในกรณีพฤติกรรมทางพลวัต.....	64
4.3 คำนวณหาความหนาของฟิล์มอากาศที่หล่อลื่น.....	72
4.4 คำนวณหาการกระจายความดันของหัวอ่านบนแผ่นดิสก์ในสถานะสถิต.....	75
4.5 คำนวณหาการกระจายความดันของหัวอ่านบนแผ่นดิสก์ในสถานะพลวัต.....	76
4.6 คำนวณหาสัมประสิทธิ์สปริงและแดมปีงของหัวอ่าน.....	76
4.7 คำนวณหาแรงที่กระทำบนหัวอ่าน.....	77
4.8 คำนวณหาตำแหน่งของจุดยึดบนหัวอ่าน.....	78
บทที่ 5 ผลการคำนวณวิเคราะห์เชิงตัวเลข.....	79
5.1 ความหนาของฟิล์มอากาศที่หล่อลื่น.....	80
5.2 การกระจายความดันของหัวอ่านบนแผ่นดิสก์ในสถานะสถิต.....	87
5.3 การกระจายความดันของหัวอ่านบนแผ่นดิสก์ในสถานะพลวัต.....	94
5.4 สัมประสิทธิ์สปริงและแดมปีงของหัวอ่าน.....	98
5.5 แรงที่กระทำบนหัวอ่าน.....	114
5.6 ตำแหน่งของจุดยึดบนหัวอ่าน.....	115
5.7 ผลการตอบสนองของหัวอ่านในสถานะพลวัต.....	116
5.8 ความเสถียรของหัวอ่าน.....	123

## สารบัญ (ต่อ)

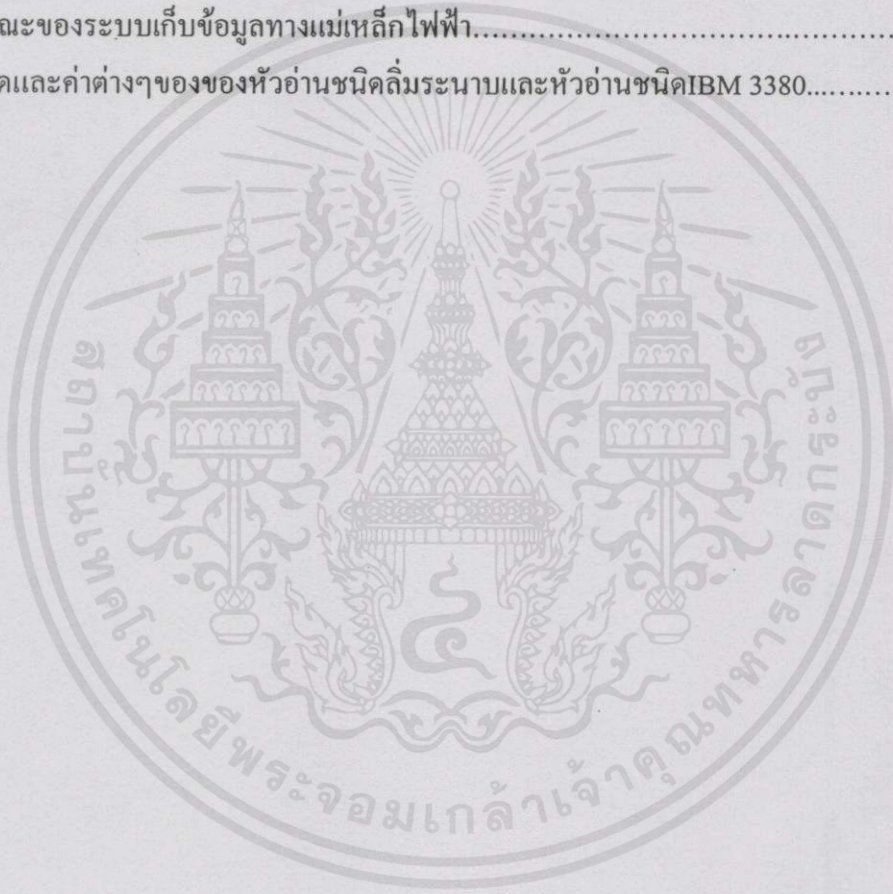
	หน้า
บทที่ 6 บทสรุปและวิเคราะห์ผลการคำนวณและข้อเสนอแนะ.....	124
6.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการคำนวณ.....	124
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	127
เอกสารอ้างอิง.....	129
ภาคผนวก.....	133
ภาคผนวก ก. โครงสร้างของโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ.....	134
ภาคผนวก ข. ผลงานทางวิชาการเกี่ยวกับงานวิทยานิพนธ์ที่ได้รับการตีพิมพ์.....	141
ประวัติผู้เขียน.....	156



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 พัฒนาการของเครื่องเล่นเทปของบริษัท IBM.....	13
2.2 พัฒนาการของอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่เข้าการอ่านและบันทึกข้อมูลโดยตรง (Direct Access Storage Device; DASD) ของ IBM.....	14
2.3 ลักษณะของระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า.....	19
5.1 ขนาดและค่าต่างๆของของหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบและหัวอ่านชนิดIBM 3380.....	80



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หน่วยเก็บข้อมูลชนิดวินเชสเตอร์ ( Winchester hard disk drive).....	9
2.2 รูปร่างของหัวอ่าน .....	10
2.3 อุปกรณ์จับยึดหัวอ่านชนิด IBM 3370/3380/3390.....	11
2.4 ชุดHead Stack Assumbly.....	11
2.5 ความแตกต่างกันระหว่างหัวอ่าน และแผ่นดิสก์ในบริษัท IBM.....	16
2.6 พัฒนาการของหัวอ่านในระบบเก็บข้อมูล.....	16
2.7 โครงสร้างของหัวอ่าน โลหะที่มีแกนเหล็กเหนียวนำ.....	18
2.8 โครงสร้างของเทปบันทึกเสียง.....	20
2.9 การทำงานในเครื่องเล่นเทป IBM 3420.....	21
2.10 องค์ประกอบของแผ่นเทปแม่เหล็ก.....	21
2.11 หัวบันทึกชนิดเหนียวนำในเครื่องเล่นเทป IBM 3420.....	22
2.12 เครื่องขับเทปบันทึกข้อมูล รุ่น IBM 3480.....	23
2.18 การม้วนของดรัมม้วน(cartridge drive) ในระบบบันทึกเทป.....	23
2.18 หัวอ่าน-เขียนที่มี 18 ราง.....	24
2.18 เส้นโพรไฟล์ความหนาของฟิล์มอากาศบนหัวอ่าน.....	25
2.18 การอินเตอร์เฟซกันระหว่างหัวอ่านและเทป.....	26
2.18 ความเค้นที่กระจายของแผ่นเทปที่ม้วนรอบวงล้อเก็บและ ค่าความเค้นตึงตามแนวรัศมีของแผ่นเทปที่ม้วนรอบกับเวลา.....	27
2.18 ลักษณะของหัวอ่านในระบบบันทึกวิดีโอซึ่งทรงกระบอกหมุนได้.....	28
2.19 ส่วนต่างๆของฟลอปปีดิสก์ขนาด 3.5 นิ้ว ที่นิยมใช้เก็บข้อมูลกันทั่วไป.....	29
2.20 หัวอ่านหรือบันทึกชนิดเหนียวนำที่มีช่องโพรงอากาศ เพื่อทำหน้าที่ลบข้อมูลในเครื่องเล่นฟลอปปีดิสก์.....	29
2.21 การอินเตอร์เฟซกันระหว่างหัวอ่านและฟลอปปีดิสก์แบบบันทึกหนึ่งด้าน.....	30
2.22 รูปร่างของหัวอ่านตรงข้ามกันสำหรับการบันทึกแผ่นดิสก์สองด้าน.....	32
2.23 โครงสร้างพื้นฐานของการเล่นแผ่นรีจิดดิสก์.....	32
2.24 การอินเตอร์เฟซกันระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ในหน่วยเก็บข้อมูล IBM 3370 Hard disk drive และแสดงลักษณะของการวางตัวของแผ่นดิสก์และหัวอ่าน.....	33
2.25 ส่วนประกอบต่างๆในแผ่นรีจิดดิสก์.....	34

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.26 หัวอ่านชนิด IBM 3370 ที่สร้างความดันเพื่อลอยได้เองในขณะทำการบันทึก.....	35
2.27 ส่วนที่ทำหน้าที่อ่านหรือเขียน( read-write element) ชนิดเหนียวน้ำ ที่ติดตั้งไว้บริเวณขอบท้ายของหัวอ่านชนิด IBM 3370.....	35
2.28 หัวอ่านสำหรับเครื่องขับแผ่นดิสก์ขนาดเล็ก.....	36
2.29 วิวัฒนาการของการออกแบบหัวอ่าน(Slider) และ ที่จับยึดหัวอ่าน(Suspension).....	37
2.30 ตัวควบคุมแอ็คชูเอเตอร์(actuator)กับหัวอ่านมินิวินเชสเตอร์.....	38
2.31 รูปร่างของหัวอ่าน IBM 3370 ชนิดสองรางซึ่งมีรูปร่างราบเอียง หัวอ่านชนิด IBM 3380K หัวอ่านชนิด zero load หรือ self-loading และ หัวอ่านชนิด transverse pressurized contour(TPC).....	39
2.32 การอินเตอร์เฟซกันระหว่างหัวอ่านชนิด IBM-3370กับแผ่นดิสก์.....	40
2.33 การให้ระยะของจุดยึดจับหัวอ่านชนิด IBM 3370 เมื่อมุมพิทช์เพิ่มขึ้น.....	41
3.1 การอินเตอร์เฟซระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์.....	42
3.2 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์กันระหว่างสองพื้นผิวแข็ง.....	44
3.3 พิกัดของหัวอ่านในขณะเคลื่อนที่.....	50
3.4 การแบ่งกริดบนรางหนึ่งรางของหัวอ่านชนิด IBM 3380.....	52
3.5 การแบ่งปริมาตรควบคุมของกริด.....	53
4.1 ลักษณะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ และ IBM3380.....	72
4.2 แผนภาพแสดงขบวนการคำนวณหาความหนาฟิล์มหล่อลื่นเมื่อเวลาเปลี่ยนไป.....	74
4.3 แผนภาพแสดงขบวนการคำนวณหาความดัน.....	75
4.4 การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สปริง.....	76
5.1 รูปร่างของหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ และ IBM 3380.....	79
5.2 ผลของความเร็วแผ่นดิสก์ที่มีต่อระยะการลอยตัวต่ำสุดหรือที่บริเวณขอบท้าย ของหัวอ่านลิ้มระนาบเมื่อการเคลื่อนที่เป็นแบบสถิต.....	81
5.3 ผลของความเร็วแผ่นดิสก์ที่มีต่อระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM3380 เมื่อการเคลื่อนที่เป็นแบบสถิต.....	81
5.4 ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงความกว้างของรางอ่าน และความเร็วของแผ่นดิสก์และเปรียบเทียบกับผลการคำนวณของ [24].....	82

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.5 ระยะเวลาลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงความยาวของส่วน ราบเอียงของรางหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์และเปรียบเทียบกับผลการคำนวณ ของ [24].....	83
5.6 ระยะเวลาลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของมุมหรือ ความชันของส่วนราบเอียงของรางหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์และเปรียบเทียบกับ ผลการคำนวณของ [24].....	84
5.7 ระยะเวลาลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงตำแหน่งยึดจับหัวอ่าน และความเร็วของแผ่นดิสก์และเปรียบเทียบกับผลการคำนวณของ [24].....	85
5.8 ระยะเวลาลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงแรงที่กระทำบนหัว อ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์และเปรียบเทียบกับผลการคำนวณของ [24].....	86
5.9 ความดันกระจายบนพื้นผิวของหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบที่ความเร็วของผิวดิสก์ 5 เมตรต่อวินาทีและ 30 เมตรต่อวินาที.....	87
5.10 ความดันกระจายบนพื้นผิวของหัวอ่านชนิด IBM3380 ที่ความเร็วของผิวดิสก์ 5 เมตรต่อวินาทีและ 20 เมตรต่อวินาที.....	88
5.11 ผลของความดันกระจายที่กึ่งกลางของรางหัวอ่านตามแนวความยาวเนื่องจากการ รักษาสมดุลตำแหน่งยึดจับหัวอ่านและแรงกระทำบนบนหัวอ่านเพื่อให้เกิดพฤติกรรม สถิตเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยน.....	90
5.12 ความดันระหว่างหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบและแผ่นดิสก์ที่กระจายตาม แนวความยาวของหัวอ่านบริเวณตรงกลางราง โดยเปรียบผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข กับ[14].....	91
5.13 ความดันระหว่างหัวอ่านชนิด IBM 3380 และแผ่นดิสก์ที่กระจายตามแนวความ ยาวของหัวอ่านบริเวณตรงกลางราง โดยเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขกับ[14]...	92
5.14 ความดันระหว่างหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบที่วิเคราะห์ในวิทยานิพนธ์ และแผ่นดิสก์ที่กระจายตามแนวความยาวของหัวอ่านบริเวณตรงกลางราง.....	93
5.15 ความดันระหว่างหัวอ่านชนิด IBM 3380 ที่วิเคราะห์ในวิทยานิพนธ์ และแผ่นดิสก์ที่กระจายตามแนวความยาวของหัวอ่านบริเวณตรงกลางราง.....	93
5.16 ความดันที่เกิดขึ้นบนหัวอ่านชนิด IBM 3380 ของบริเวณเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่าน สิ่งกีดขวางด้วยความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที.....	95

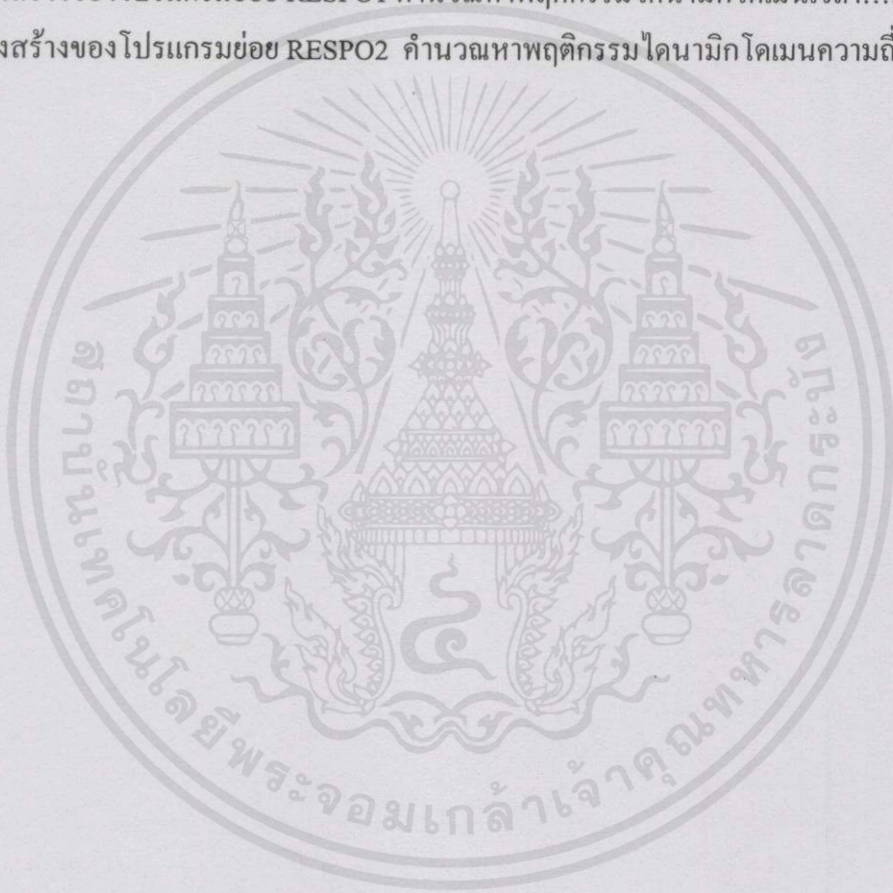
## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.17 ความดันที่เกิดขึ้นบนหัวอ่านชนิด IBM 3380 สองบริเวณเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่าน สิ่งกีดขวางด้วยความเร็ว 40 เมตรต่อวินาที.....	95
5.18 ความดันที่เกิดขึ้นบนหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบสองบริเวณเมื่อหัวอ่าน เคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางด้วยความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที.....	96
5.19 ความดันที่เกิดขึ้นบนหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบสองบริเวณเมื่อหัวอ่าน เคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางด้วยความเร็ว 40 เมตรต่อวินาที.....	96
5.20 ค่าสัมประสิทธิ์สปริง $K_{11}$ และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด.....	102
5.21 ค่าสัมประสิทธิ์สปริง $K_{22}$ และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด.....	102
5.22 ค่าสัมประสิทธิ์สปริง $K_{12}$ และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด.....	103
5.23 ค่าสัมประสิทธิ์สปริง $K_{21}$ และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด.....	103
5.24 ค่าสัมประสิทธิ์แดมป์ $C_{11}$ และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด.....	104
5.25 ค่าสัมประสิทธิ์แดมป์ $C_{22}$ และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด.....	104
5.26 ค่าสัมประสิทธิ์แดมป์ $C_{12}$ และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด.....	105
5.27 ค่าสัมประสิทธิ์แดมป์ $C_{21}$ และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด.....	105
5.28 ผลของความเร็วแผ่นดิสก์ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์สปริง $K_{11}$ .....	106
5.29 ผลของความเร็วแผ่นดิสก์ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์สปริง $K_{22}$ .....	106
5.30 ผลของความเร็วแผ่นดิสก์ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์สปริง $K_{12}$ .....	107
5.31 ผลของความเร็วแผ่นดิสก์ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์สปริง $K_{21}$ .....	107
5.32 ผลของความเร็วแผ่นดิสก์ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์แดมป์ $C_{11}$ .....	108
5.33 ผลของความเร็วแผ่นดิสก์ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์แดมป์ $C_{22}$ .....	108
5.34 ผลของความเร็วแผ่นดิสก์ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์แดมป์ $C_{12}$ .....	109
5.35 ผลของความเร็วแผ่นดิสก์ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์แดมป์ $C_{21}$ .....	109
5.36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สปริง $k_{11}$ และค่าสัมประสิทธิ์แดมป์ $c_{11}$ กับความถี่เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลงในกรณีของหัวอ่านชนิด IBM 3380.....	110
5.37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สปริง $k_{11}$ และค่าสัมประสิทธิ์แดมป์ $c_{11}$ กับความถี่เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลงในกรณีของหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ.....	110
5.38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สปริง $k_{22}$ และค่าสัมประสิทธิ์แดมป์ $c_{22}$ ที่มี กับการนำไปใช้ กับความถี่เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลงในกรณีของหัวอ่านชนิด IBM 3380.....	111



## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.53 มุมพิทช์หรือมุมเอียงของหัวอ่านเมื่อผ่านสิ่งกีดขวางด้วย ความเร็วในการเคลื่อนต่างกัน.....	122
ผ.ก. 1 โครงสร้างของโปรแกรมหลัก (Main Program).....	137
ผ.ก. 2 โครงสร้างของโปรแกรมย่อย CALPFM คำนวณหาความดันสถิต.....	138
ผ.ก. 3 โครงสร้างของโปรแกรมย่อย RESPO1 คำนวณหาพฤติกรรมไดนามิกโดเมนเวลา.....	139
ผ.ก. 4 โครงสร้างของโปรแกรมย่อย RESPO2 คำนวณหาพฤติกรรมไดนามิกโดเมนความถี่.....	140



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการคำย่อและสัญลักษณ์

DASD Direct Access Storage Devices

HAS Head Stack Assembly

HGA Head Gimbal Assembly

TPC Transverse pressurized contour

LDV Laser Doppler Vibrometer

TNP Transverse and Negative Pressure Contour

RAMAC Random Access Memory Accounting Machine

NRZI Non Return to Zero Inverted

MFM Modified Frequency Modulation

V.C. Voice Coil

VCM Voice Coil Motor

HMI Head Medium Interface

Bn Bearing Number

$a$  สัมประสิทธิ์ปรับแก้พื้นผิว (surface correction coefficient)

$B$  ความกว้างของรางของหัวอ่านหนึ่งราง (Slider rail width)

$C_z$  สัมประสิทธิ์แดมป์ของการยึดจับหัวอ่านในแนวการเคลื่อนที่ขึ้นลงตั้งฉากกับหัวอ่านในรูป  
ไร้มิติ (Normalized translational damping coefficient of suspension =  $c_z h_a \omega_0 / p_a LB$ )

$C_\theta$  สัมประสิทธิ์แดมป์ของการยึดจับหัวอ่านในแนวการเคลื่อนที่หมุนรอบแกนตามขวางของ  
หัวอ่านในรูปไร้มิติ (Normalized pitch torsional damping coefficient of suspension =  
 $c_\theta h_a \omega_0 / p_a LB$ )

$f$  ความถี่ (Frequency of translational vibration of the disk surface =  $\omega / 2\pi$ )

$f_0$  แรงกดยึดหัวอ่าน

$F_0$  แรงกดยึดหัวอ่านไร้มิติ (Normalized suspension preload =  $f_0 / p_a LB$ )

$H$  ความหนาฟิล์มหล่อลื่นไร้มิติ (Normalized spacing =  $h/h_a$ )

$h_a$  ความหนาฟิล์มต่ำสุดที่ยอมให้เกิดในการหล่อลื่น (Minimum allowable spacing)

$h_{LD}$  ความหนาฟิล์มหล่อลื่นที่บริเวณขอบด้านหน้าของหัวอ่านหรือเรียกว่า ขอบนำ  
(Leading edge spacing)

$h_{TR}$  ความหนาฟิล์มหล่อลื่นที่บริเวณขอบด้านหลังของหัวอ่านหรือเรียกว่า ขอบท้าย  
(Trailing edge spacing)

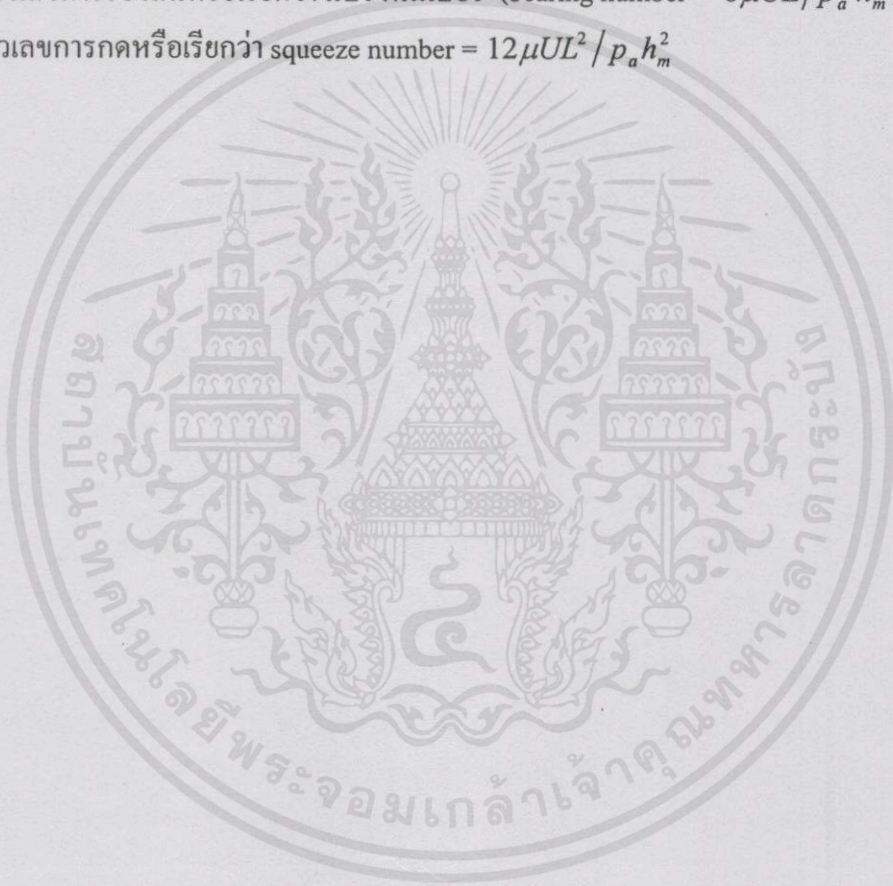
## รายการคำย่อและสัญลักษณ์

- $I_\theta$  โมเมนต์ความเฉื่อยในการเคลื่อนที่ของหัวอ่านในแนวหมุนรอบแกนตามขวางของหัวอ่าน  
(Normalized slider moment of inertia about the pitch axis =  $i_\theta h_a \omega_0^2 / p_a L^3 B$ )
- $j$  หน่วยจำนวนจินตภาพ (Imaginary unit =  $\sqrt{-1}$ )
- $K_z$  สัมประสิทธิ์สปริงการกดยึดหัวอ่านในทิศการเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวตั้งฉากกับแผ่นดิสก์  
ในรูปไร้มิติ (Normalized stiffness coefficient of suspension in translation =  $k_z h_a / p_a L B$ )
- $K_\theta$  สัมประสิทธิ์สปริงการกดยึดหัวอ่านในทิศการเคลื่อนที่หมุนรอบแนวแกนตามขวางของแผ่น  
ดิสก์ในรูปไร้มิติ (Normalized pitch torsional stiffness coefficient of suspension in pitch  
motion =  $k_\theta h_a / p_a L^3 B$ )
- $K$  ค่าเลขดูเซนน์มเบอร์ (Knudsen number =  $\lambda_a / h_a$ )
- $L$  ความยาวของหัวอ่าน (Slider length)
- $M_z$  มวลของหัวอ่านในรูปไร้มิติ (Normalized slider mass =  $m h_a \omega_0^2 / p_a L^2 B$ )
- $P$  ความดันฟิล์มหล่อลื่นในรูปไร้มิติ (Normalized pressure =  $p / p_a$ )
- $P_a$  ความดันบรรยากาศ (Ambient pressure)
- $s$  ตัวแปรในการแปลงลาปลาซ (Laplace transform variable)
- $t$  เวลา (time)
- $T$  เวลาในรูปไร้มิติ (Normalized time =  $\omega_0 t$ )
- $U$  ความเร็วในการหมุนของผิวดิสก์ (Velocity of disk surface =  $r \omega_0$ )
- $X_G$  ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลของหัวอ่านในรูปไร้มิติ (Normalized location of the center of  
gravity =  $X_G / L$ )
- $X_{GS}$  ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางมวลและจุดยึดหัวอ่านในรูปไร้มิติ (Normalized distance  
between the center of gravity and support position =  $X_{GS} / L$ )
- $X_s$  ระยะกดยึดของหัวอ่าน (Normalized location of the support position =  $X_s / L$ )
- $X_{TP}$  ระยะความยาวของส่วนราบเอียง (Taper) ในรูปไร้มิติ (Normalized taper length =  $X_{TP} / L$ )
- $Z_D$  ระยะสั้นขึ้นลง ของผิวดิสก์ในรูปไร้มิติ (Normalized translational displacement of disk  
surface =  $z_D / h_a$ )
- $\theta$  มุมพิทช์ในรูปไร้มิติ (Normalized pitch angle of slider =  $\theta L / h_a$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารอ้างอิงเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ  $X, Y$  ตัวแปรแนวแกนในรูปไร้มิติ (normalized spatial variables,  $X = x/L, Y = y/B$ ) การนำไปใช้

## รายการคำย่อและสัญลักษณ์

- $\lambda$  ระยะความสูงของเส้นทางการเคลื่อนที่โดยอิสระของโมเลกุลอากาศ (the molecular mean free path)
- $Q$  ตัวประกอบการไหล (Poiseuille flow factor)
- $\mu$  ความหนืดของอากาศ (viscosity of gas)
- $\omega$  ความถี่เชิงมุม (angular frequency)
- $\Lambda$  ตัวเลขการรองคลื่นหรือเรียกว่า แบริงนัมเบอร์ (bearing number =  $6\mu UL/p_a h_m^2$ )
- $\sigma$  ตัวเลขการกดหรือเรียกว่า squeeze number =  $12\mu UL^2/p_a h_m^2$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

ในโลกแห่งการแข่งขันทางเทคโนโลยีในปัจจุบันนี้ นับวันยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น นานาประเทศต่างพัฒนาให้ประเทศของตนก้าวหน้าในทุกๆด้าน สิ่งหนึ่งที่สำคัญมากในการดำรงชีวิตของมนุษย์ทุกวันนี้คือระบบเก็บข้อมูลในระบบสารสนเทศและเทคโนโลยีการสื่อสาร ดังนั้นเทคโนโลยีทางด้านระบบเก็บบันทึกข้อมูลจึงจำเป็นและมีบทบาทมากต่อการทำงานแทบทุกสาขาอาชีพ ทั้งนี้เพื่อความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นและสะดวกสบายของมนุษย์ที่อาศัยอยู่ทุกมุมโลก ยังมีระบบจัดเก็บข้อมูลที่ทันสมัยเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงก็ยิ่งทำให้การพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆทำได้โดยง่ายและรวดเร็วขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบการเก็บข้อมูลและการนำข้อมูลที่เก็บบันทึกไว้ขึ้นมาใช้ประโยชน์จำเป็นต้องพัฒนาให้อุปกรณ์เครื่องมือต่างๆให้มีความเหมาะสมต่อข้อมูลนั้นๆ เช่น ข้อมูลเสียง ข้อมูลภาพ เป็นต้น เพื่อที่จะทำการบันทึกและนำข้อมูลกลับมาใช้โดยไม่บิดเบือนจากแหล่งข้อมูลจริง

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

นับจากที่ได้มีผู้นำเสนอการบันทึกข้อมูลลงในสื่อบันทึกข้อมูลทางแม่เหล็ก เป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2441 จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2478 ได้มีการผลิตเครื่องเก็บบันทึกข้อมูลลงในเทปแม่เหล็กขายในเยอรมันเป็นครั้งแรก ต่อมาในปี พ.ศ. 2490 บริษัท 3M ก็ได้ผลิตเครื่องเก็บบันทึกข้อมูลลงในแผ่นเทปที่ทำจากกระดาษ แล้วเคลือบด้วยออกไซด์ ขายเป็นครั้งแรกในตลาดสหรัฐอเมริกา ในปี พ.ศ. 2496 บริษัท IBM ได้ทำการขายเครื่องเล่นเทปแม่เหล็กขึ้นเป็นครั้งแรก จนกระทั่งปี พ.ศ. 2500 ได้มีการนำเสนอผลิตภัณฑ์ผู้ฮาร์ดดิสก์แม่เหล็กขึ้นเป็นครั้งแรก ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมาทางบริษัทผู้ผลิตและนักวิจัยต่างตื่นตัวเริ่มพัฒนาเทคโนโลยีการเก็บบันทึกข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า[1]

หลังสงครามโลกครั้งที่2 ก็ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการเก็บบันทึกข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยสัญญาณดิจิทัลลงบนแผ่นเทปแม่เหล็กซึ่งได้เจริญเติบโตขึ้นพร้อมกับเครื่องคอมพิวเตอร์ไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว จะเห็นได้ว่าระยะเวลาเพียงไม่นานหลังจากที่ได้มีการผลิตอุปกรณ์เก็บข้อมูลลงบนสื่อบันทึกต่างๆ ในช่วงระยะเวลาเพียงไม่กี่ปี ระบบการสื่อสารและการเก็บข้อมูลได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วและทันสมัยมากขึ้น แต่การพัฒนาเทคโนโลยีเหล่านี้ยังไม่หยุดยั้ง ทำให้โลกแห่งการสื่อสารข้อมูลมีบทบาทและการแข่งขันกันอย่างมาก ในปัจจุบันประเทศต่างๆ เร่งพัฒนาแข่งขันเทคโนโลยีกันอย่างมาก และประเทศไทยเองก็เช่นกัน ที่ยังต้องอาศัยเทคโนโลยีจากต่างชาติ แม้จะมีการผลิตอุปกรณ์เทคโนโลยีต่างๆในเมืองไทยมากมายหลายแห่งอุตสาหกรรม

แต่ประเทศไทยก็เป็นเพียงบริษัทฐานผลิตที่ยังต้องอาศัยเทคโนโลยีจากชาวต่างชาติ เช่น เดียวกันกับเทคโนโลยีการเก็บบันทึกข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า ประเทศไทยก็มีบริษัทผลิตชิ้นส่วน เหล่านี้บางอย่างเช่นกัน เช่น หัวอ่านฮาร์ดดิสก์ ในระบบคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล แต่เป็นเพียงแหล่ง ผลิตและขาดความรู้ความเข้าใจในการศึกษาถึงเทคโนโลยีการเก็บและบันทึกข้อมูลทางแม่เหล็กไฟ ฟ้า ซึ่งในประเทศที่พัฒนาแล้วต่างมีการศึกษาค้นคว้าในการพัฒนาอุปกรณ์เหล่านี้อย่างจริงจัง และ ในประเทศญี่ปุ่นเองก็เช่นกัน ที่มีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านนี้อย่างรวดเร็ว

หลังจากที่ได้มีการนำเสนอสมการทฤษฎีการหล่อลื่นหรือสมการเรย์โนลด์เป็นครั้งแรกใน ปี พ.ศ. 2429[1] จนกระทั่งมีการสร้างระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กขึ้นได้สำเร็จ นับเป็นเวลานาน กว่าสามสิบปีมาแล้วที่ได้มีนักวิจัยหลายท่านทำการศึกษาค้นคว้าและนำเสนอผลการวิจัยทางด้านหัว อ่านในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าอันเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงออกแบบระบบการ ทำงานทั้งในเรื่องขนาดของรูปร่างหัวอ่านที่เหมาะสมที่สุดของหัวอ่านแต่ละประเภทและการลด ระยะห่างของหัวอ่านและผิวดิสก์ทั้งนี้เพื่อเพิ่มความสามารถเก็บข้อมูลทำได้มากขึ้นและการทำงาน มีความเสถียรภาพมากขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็ต้องพยายามลดการสัมผัสกันของหัวอ่านและแผ่นดิสก์ ซึ่ง ในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการศึกษาถึงพฤติกรรมของหัวอ่านในระบบการเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟ ฟ้าเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์การทำงานของหัวอ่านและเป็นแนวทางในการพัฒนาการออก แบบรูปร่างของหัวอ่านที่เหมาะสมที่สุดในการเก็บและบันทึกข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพเพราะ ในปัจจุบันได้มีความพยายามที่จะออกแบบหัวอ่านให้มีการทำงานที่มีความเสถียรภาพที่สุดในขณะ ทำงาน พร้อมกับมีระยะการลอยตัวของหัวอ่านห่างจากเครื่องบันทึกน้อยมาก เพื่อเพิ่มความสามารถ ในการเก็บบันทึกข้อมูลทำได้มากขึ้น

ในการศึกษาข้อมูลต่างๆอันเป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ซึ่งได้แก่บทความผลงานวิจัย ของนักวิจัยที่ได้ทำไว้มีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี พ.ศ.	นักวิจัย	ผลงานวิจัย
2526	แบคซี่ และสิงห์ (Bagci and Singh)[3]  ไวท์ (James W. White) [4,5]  โคกูริ (Kogure K), ฟูกุอิ (Fukui S.), มิทซุยะ (Mitsuya Y.) และ คานะ โกะ (Kaneko R.) [6]  มียู ( Miu D.K.) และ โบจี (Bogy D.B.) [7,8]	ศึกษาการหล่อลื่นแบบไฮโดรพลวัตของกาบรองลื่น โดยพิจารณารูปร่างของฟิล์มหล่อลื่นเพียงหนึ่งมิติ พร้อมทั้งนำเอาวิธีคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อการ ออกแบบที่เหมาะสมที่สุด  ผลการคำนวณเชิงตัวเลขเพื่อจำลองพฤติกรรมทั้งทาง สถิตและทางพลวัตของหัวอ่านชนิดโหลดศูนย์ (Zero- Load)  การออกแบบหัวอ่านชนิดความดันลบ(Negative Pressure) ในระบบบันทึกทางแม่เหล็กไฟฟ้าโดยนำเอา สมการเรย์โนลด์ส์ดัดแปลงแบบอัดตัวได้และคิดผลการ ลื่นไหลมาใช้คำนวณเชิงตัวเลขด้วยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอ เรนซ์เพื่อหาพฤติกรรมทางสถิตและทางพลวัต พร้อม ทั้งผลการทดลอง  ผลการทดลองและผลการคำนวณเชิงตัวเลขของหัว อ่านชนิด self-acting
2529	มิทซุยะ (Mitsuya Y.) และ โอ๊ะกุโบ้ (Ohkubo)[9]	ผลของปรากฏการณ์ Molecular Rarefaction ที่เกิดขึ้น ในขณะที่หล่อลื่นด้วยแก๊สที่ค่า Knudsen Number สูง
2533	ฮายาชิ(Hayashi T.), ฟูกุอิ (Fugui S.), โอ๊ะกุโบ้ (Ohkubo T.) และ คานะ โกะ (Kaneko R.) [10]  ฟูกุอิ(Fugui S.)และคานะ โก๊ะ (Kaneko R.) [11]	พฤติกรรมทางพลวัตของหัวอ่านสองแบบประกอบ ด้วยหัวอ่านชนิดลิมนานา(Plane wedge) และ หัวอ่าน ชนิด IBM3370 ในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า ที่สภาวะค่า Knudsen Number สูง  แสดงการคำนวณสมการการหล่อลื่นอย่างรวดเร็วที่ สภาวะค่า Knudsen Number สูงโดยใช้ข้อมูลตัว ประกอบการไหลของ Poiseuille โดยนำเสนอวิธี ประมาณเชิงเส้น (Interpolation method) แก่สมการ โบลทซ์แมนน์ (Boltzmann)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งในการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	นักวิจัย	ผลงานวิจัย
2533	รูอิซ( Ruiz O.J.) และ โบจี (Bogy D.B.)[12]	ผลการคำนวณเชิงตัวเลขของอุปกรณ์จับยึดหัวอ่านในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อความเข้าใจถึงสภาพการทำงานที่สภาวะต่างๆ โดยนำเอาวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการวิเคราะห์คำนวณ พร้อมทั้งพิจารณากลไกของแฉกปิ้ง การสัมผัสกันระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ และสมการเรย์โนลด์ส์ดัดแปลงในกรณีที่มีระยะห่างระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์เป็นศูนย์
2534	โครน(Crone R.M.), จอน (Jhon), บุษาน(Bhushan B.) และคาริส(Karis T.E.)[13]	พฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านที่มีพื้นผิวหยาบขรุขระบนผิวแผ่นดิสก์ที่หยาบขรุขระโดยนำเอาวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลข พร้อมทั้งคิดผลเนื่องจาก ขนาด ทิศทาง รูปร่างและตำแหน่งของพื้นผิวหยาบในกรณีที่พฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านเป็นแบบคงตัว
2536	ซีมิ่ง(Zheming Z.) และ เวนกาง(Wenkang S.)[14]	แสดงวิธีเชิงตัวเลขใหม่ในการแก้สมการเรย์โนลด์ส์ที่ระยะลอยตัวของหัวอ่านชนิด taper flat บนผิวดิสก์ต่ำ โดยอาศัยวิธี Patankar-Spalding และวิธี implicit scheme มาใช้ในการแก้สมการเรย์โนลด์ส์แบบอัดตัวได้ พร้อมทั้งผลการเดินไถลด้วยเพื่อแก้ปัญหาความไม่เสถียรภาพที่เกิดขึ้นในการคำนวณ
	จีออง(Jeong T.G.) และ โบจี(Bogy D.B.)[15]	ผลการคำนวณเชิงตัวเลขเพื่อจำลองขบวนการทำงานในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยพิจารณาผลเนื่องมาจากความเร็วที่ป้อนภาระแรง มุมพิท(pitch angle)และมุมรอล(roll angle)
2537	แฟรงค์(Frank A.)และ โบจี (BogyD.B.)[16]	ผลการคำนวณเชิงตัวเลขเพื่อจำลองพฤติกรรมการหล่อลื่นขณะที่หัวอ่านอินเตอร์เฟซกับแผ่นดิสก์เมื่อสารหล่อลื่นเป็นแบบ Non-Newtonian ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ตารางที่ 1.1 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	นักวิจัย	ผลงานวิจัย
2538	เอลลิส ชา(Ellis Cha) และ โบจี (Bogy D.B.)[17]	ผลการคำนวณเชิงตัวเลขเพื่อจำลองพฤติกรรมสถิตและพลวัตของหัวอ่านชนิด Subambient Pressure Shaped Rail Slider ด้วยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์
	เพ็ง(Peng J.P.)และฮาร์ได (Hardie C.E.)[18]	นำเอาวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการคำนวณรูปร่างของรางของหัวอ่านเพื่อหาลักษณะการลอยตัวของหัวอ่านพร้อมยืนยันด้วยผลการทดลอง
2539	เพ็ง(Peng J.P.)และฮาร์ได (Hardie C.E.)[19]	ลักษณะของแรงคูดของหัวอ่านในขณะทำการบันทึกข้อมูลลงในแผ่นดิสก์ โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการคำนวณเพื่อหาความถี่ของบริเวณร่องหัวอ่านที่เหมาะสมที่สุด
2540	ไวท์(White J.W.)[20]	แสดงพฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านชนิด Transverse and Negative Pressure Contour (TNP)
2540	ฮู (Hu Y.) และ โบจี(Bogy D.B.)[21]	แสดงความเสถียรภาพในสภาวะพลวัตและสภาพการลอยตัวของหัวอ่านที่ต่ำกว่า 25 นาโนเมตร ในปี พ.ศ. 2541 [22] ได้แสดงวิธีคำนวณปริมาตรควบคุมแบบหลายกริด(Multigrid Control Volume Method)
2542	ฮู(Hu Y.), โจนส์(Jones P.M.) และ ลี(Li K.)[23]	พฤติกรรมพลวัตของอากาศที่ร่องลิ้นหัวอ่านชนิด Sub-Ambient Pressure ในขณะที่ไม่มีการป้อนภาระแรงกระทำพร้อมทั้งผลการทดลอง
2543	ฮาชิโมโตะ(Hashimoto H.) และ ฮัทโตรี(Hattori Y.) [24]	วิธีการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด(optimum design) มาใช้ในการปรับปรุงพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านชนิด IBM 3380 ทั้งที่สภาวะการเคลื่อนที่แบบสถิตและแบบพลวัต โดยใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์และวิธี hybrid optimization technique

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของหัวอ่านในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งประกอบหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบและหัวอ่านชนิด IBM 3380 พร้อมทั้งนำวิธีทางตัวเลขที่เหมาะสมมาใช้ในคำนวณหาพฤติกรรมต่างๆ ดังนี้

1. ลักษณะการลอยตัวของหัวอ่านที่สภาวะคงตัวและสภาวะพลวัต
2. ลักษณะการกระจายตัวของความดัน
3. ค่าสัมประสิทธิ์สปริง และแคมป์ของหัวอ่านเพื่อวิเคราะห์ความเสถียรภาพของหัวอ่านขณะทำงาน
4. ตำแหน่งของจุดยึดบนหัวอ่าน
5. แรงเนื่องจากความดันกระทำหัวอ่านขณะทำงาน
6. การตอบสนองของหัวอ่าน

พร้อมทั้งผลของรูปร่างของหัวอ่านที่มีต่อการลอยตัวของหัวอ่านเพื่อนำไปใช้ในการหาลักษณะรูปร่าง ขนาดของหัวอ่านที่เหมาะสมในผลงานวิจัยต่อไป

## 1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

การทำงานของหัวอ่านในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้านั้นอาศัยอากาศเป็นสารหล่อลื่นระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ ดังนั้นการหล่อลื่นจึงต้องใช้สมการเรย์โนลด์สแบบอัดตัวได้ และเนื่องจากระยะการลอยตัวของหัวอ่านที่ศึกษานี้กำหนดให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านต่ำมาก สมมุติฐานในทฤษฎีการหล่อลื่นแบบไฮโดรพลวัตที่ไม่พิจารณาผลของการสั่นไถลบริเวณขอบจึงไม่เหมาะสม ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงต้องพิจารณาผลการสั่นไถลด้วย โดยมีสมมุติฐานในการศึกษาดังนี้

1. พิจารณาให้สารหล่อลื่นมีลักษณะอัดตัวได้
2. พิจารณาผลการสั่นไถลบริเวณขอบ
3. ความหนืดเป็นแบบนิวโตเนียน
4. ให้อุณหภูมิคงที่ในขณะทำงาน
5. ให้พื้นผิวดิสก์เป็นเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารร่างของหัวอ่าน ความหนาของฟิล์มหล่อลื่น และ ความเร็วของแผ่นดิสก์จะมีผลต่อการดำเนินงานของหัวอ่านในขณะที่อินเตอร์เฟซกับผิวดิสก์อย่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ทฤษฎีและแนวคิดในงานวิจัย

ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัยจะใช้ทฤษฎีการหล่อลื่นด้วยแก๊ส โดยอาศัยแนวคิดในการคำนวณเชิงตัวเลขที่แปลกใหม่ในการคำนวณหลักขณะต่างๆของพฤติกรรมของหัวอ่านในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า เนื่องจากการหล่อลื่นด้วยแก๊สซึ่งเป็นสารหล่อลื่นแบบอัดตัวได้จึงจำเป็นต้องพิจารณาความสามารถในการอัดตัวได้ ประกอบกับในปัจจุบันนี้ระบบเก็บข้อมูลต่างพัฒนาให้มีความสามารถในการเก็บบันทึกข้อมูลสูงขึ้นและเวลาที่ใช้ในการเข้าอินเตอร์เฟซกันระหว่างหัวอ่านบนผิวดิสก์จนกระทั่งเกิดความสมดุลการเคลื่อนที่จะต้องใช้เวลาที่น้อยที่สุด จึงทำให้สมการการหล่อลื่นเป็นสมการไม่เชิงเส้นเพราะต้องพิจารณาความสามารถอัดตัวได้พร้อมทั้งผลเนื่องจากการลื่นไหลเพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานจริงของหัวอ่านในทางกลศาสตร์ โดยแนวคิดในการแก้สมการการหล่อลื่นได้นำเอาวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์เนื่องจากรูปร่างของหัวอ่านเป็นรูปทรงพื้นฐานที่ไม่ซับซ้อนจนเกินไปและวิธีนิวตันราฟสันใช้แก้ความไม่เชิงเส้นของสมการซึ่งเป็นวิธีที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการใช้อนุกรมเทย์เลอร์ เพื่อหาพฤติกรรมทางสถิติหรือสภาวะคงตัวของหัวอ่าน พร้อมทั้งวิธีรุงงกูด้ามาใช้ในการอินทิเกรตสมการการสมดุลแรงและการเคลื่อนที่พร้อมกับแก้สมการการหล่อลื่นเพื่อหาพฤติกรรมพลวัตในขณะที่เวลาเปลี่ยนแปลงไป และวิธีลาปลาซทรานสฟอร์มแปลงสมการการหล่อลื่นและสมการสมดุลแรงและการเคลื่อนที่แล้วแก้พร้อมกันเพื่อหาพฤติกรรมพลวัตในขณะที่ความถี่เปลี่ยนแปลงไป

## 1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะทำการนำเอาวิธีเชิงตัวเลขมาใช้ในการคำนวณหาพฤติกรรมของหัวอ่านในสภาวะสถิตและสภาวะพลวัต โดยหัวอ่านที่ทำการศึกษารวมประกอบด้วยหัวอ่านชนิดลิมนานาและหัวอ่านชนิด IBM-3380 จำลองลักษณะการกระจายความดันบนแผ่นดิสก์ระหว่างที่อินเตอร์เฟซกับหัวอ่าน รวมทั้งค่าสัมประสิทธิ์สปริงและแดมป์ เพื่อวิเคราะห์ความเสถียรภาพของหัวอ่าน จุดยึดบนหัวอ่านและระยะการลอยตัวของหัวอ่านบนผิวแผ่นดิสก์

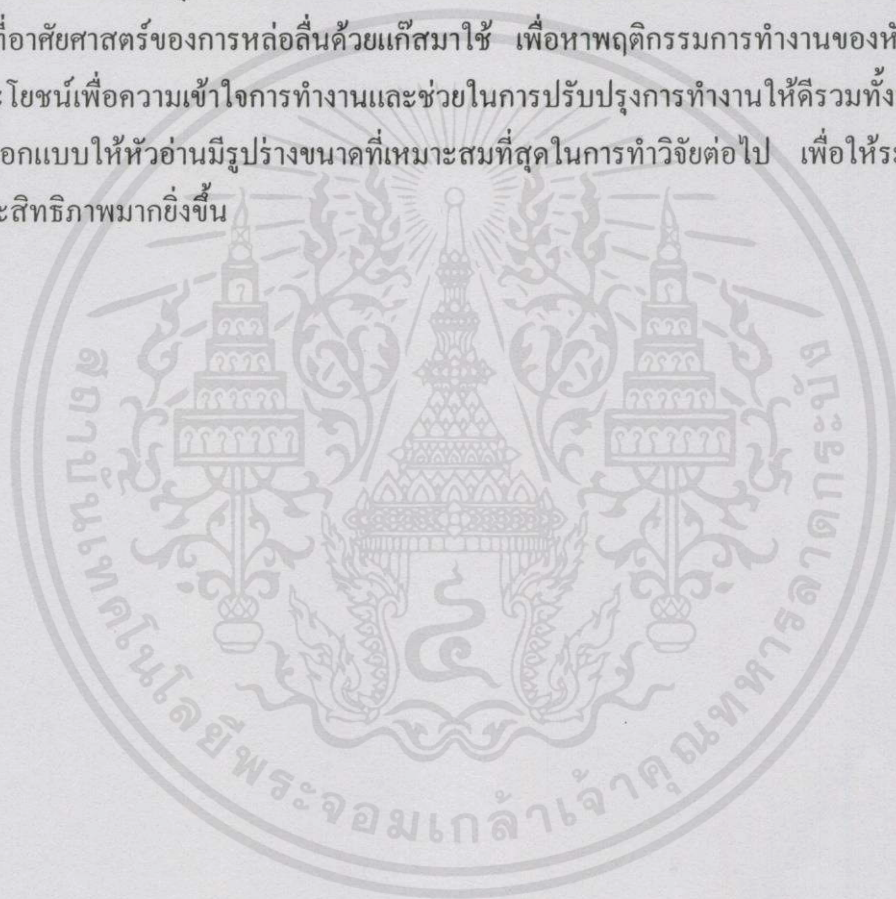
## 1.6 ขั้นตอนการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสาร  
1. ทำการศึกษาระบบเก็บและบันทึกข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า การทำงานของหัวอ่านซึ่งหล่อ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้ง  
ลื่นด้วยแก๊สนำเอาทฤษฎีการหล่อลื่นเพื่อหาสมการความสัมพันธ์โดยการค้นคว้าจากบทความ  
ความที่เกี่ยวข้อง

2. นำวิธีเชิงตัวเลขที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมมาใช้ในการแก้สมการต่างๆที่เกี่ยวข้อง
3. เขียนแผนภาพแสดงขั้นตอนในการเขียนโปรแกรม
4. เขียนโปรแกรมให้ถูกต้องพร้อมทั้งหาผลต่างๆที่ต้องการ
5. เปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลงานวิจัยที่ได้เคยทำไว้

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

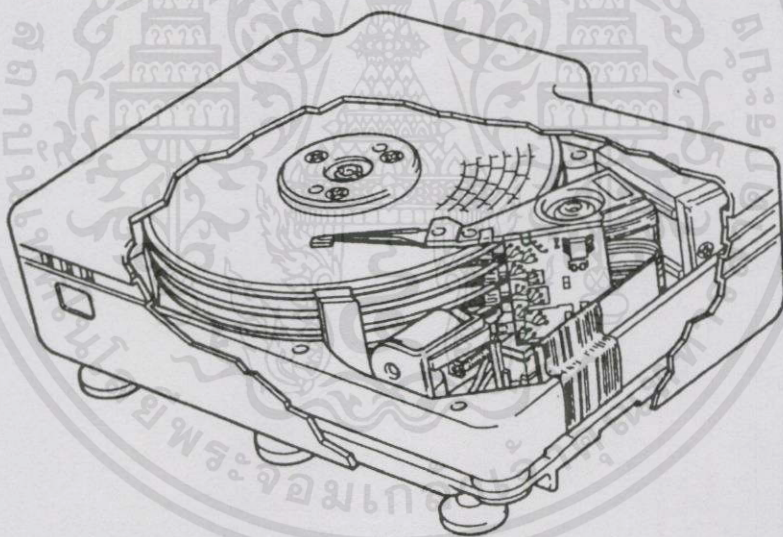
ประโยชน์และคุณค่าของงานวิจัยนี้ คือ การได้ศึกษาลักษณะการทำงานของหัวอ่านทางกลศาสตร์ที่อาศัยศาสตร์ของการหล่อลื่นด้วยแก๊สมาใช้ เพื่อหาพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่าน อันเป็นประโยชน์เพื่อความเข้าใจการทำงานและช่วยในการปรับปรุงการทำงานให้ดีขึ้นทั้งนำไปสู่การพัฒนาออกแบบให้หัวอ่านมีรูปร่างขนาดที่เหมาะสมที่สุดในการทำวิจัยต่อไป เพื่อให้ระบบเก็บข้อมูลมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ระบบการเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า

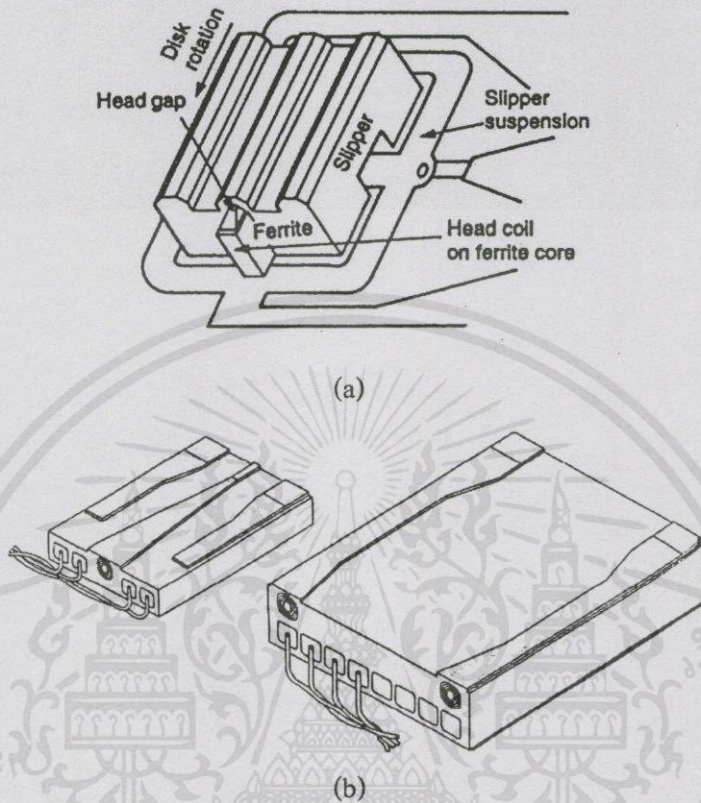
ในระบบเก็บบันทึกข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าทุกระบบประกอบด้วยความหมายทางกลที่เกี่ยวข้องกับกลไกการเคลื่อนที่ของหัวอ่านและสื่อบันทึกในขณะที่ทำการอ่านหรือบันทึกบนสื่อบันทึกที่เหมาะสมต่อการใช้ระบบบันทึกนั้นๆ และประกอบด้วยหน่วยประมวลสัญญาณไฟฟ้าส่งสัญญาณไปยังหัวบันทึกในรูปแบบของสัญญาณที่เหมาะสมต่อวิธีที่เลือกทำการบันทึก ระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้ามีมากมายหลายประเภท ล้วนแล้วแต่เอื้ออำนวยความสะดวกและให้ประโยชน์มหาศาลต่อการพัฒนาเทคโนโลยี ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์ที่อาศัยระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นมาหลายรูปแบบ เช่น เครื่องเล่นเทปแม่เหล็ก หรือเทปบันทึกเสียง (Magnetic Tape Drives) เครื่องฟลอปปีดิสก์ (Flexible disk drive) เครื่องริจิดดิสก์ (Rigid disk drive) ไม่ว่าจะเป็นวีดีโอ หรือแม้แต่ในเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่เป็นต้น



รูปที่ 2.1 หน่วยเก็บข้อมูลชนิดวินเชสเตอร์ ( Winchester hard disk drive)[2]

ตัวอย่าง เช่นภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) จะมีอุปกรณ์หลักตัวหนึ่งเรียกว่า หน่วยเก็บข้อมูลอย่างถาวรที่เรียกว่า ดิสก์ ไดรฟ์ (Disk Drive) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1 ซึ่งแสดงหน่วยเก็บข้อมูลชนิดวินเชสเตอร์ ( Winchester hard disk drive) โดยมีแขนที่เรียกว่า ชัสพื้นชั้น(suspension) วัล คอยควบคุมการเคลื่อนที่และตำแหน่งของหัวอ่านที่วางบนจานดิสก์ซึ่งหมุนรอบเพลาคด้วยความเร็วสูง หัวอ่านแต่ละอันจะใช้กับพื้นผิวแต่ละด้าน โดยข้อมูลจะถูกบันทึกลงตรงกลางของเส้นทางวงแหวนของช่องเก็บข้อมูลที่แยกกันเป็นช่องๆ การเก็บข้อมูลและการดึงข้อมูลที่

มีอยู่ออกมาใช้งาน จะอาศัยชิ้นส่วนสำคัญที่เรียกว่า หัวอ่าน-เขียน หรือที่เรียกว่า read/write head หรือ Slider

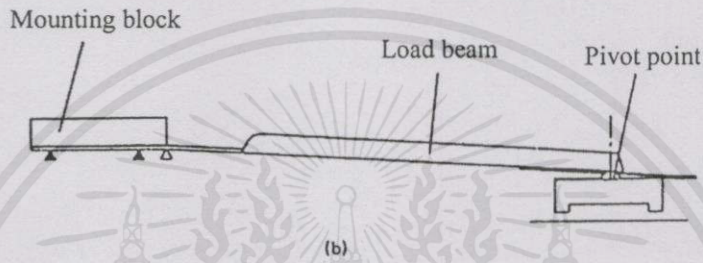
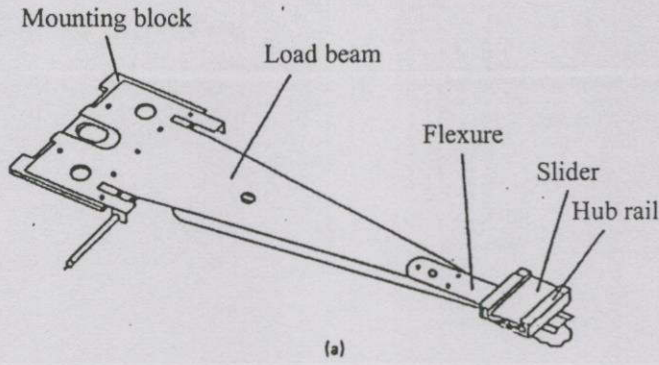


รูปที่ 2.2 รูปร่างของหัวอ่าน

- (a) แสดงโครงสร้างของหัวอ่านหัวอ่านฟิล์มบาง  
(b) แสดงหัวอ่าน IBM แบบสองรางและแบบสามราง

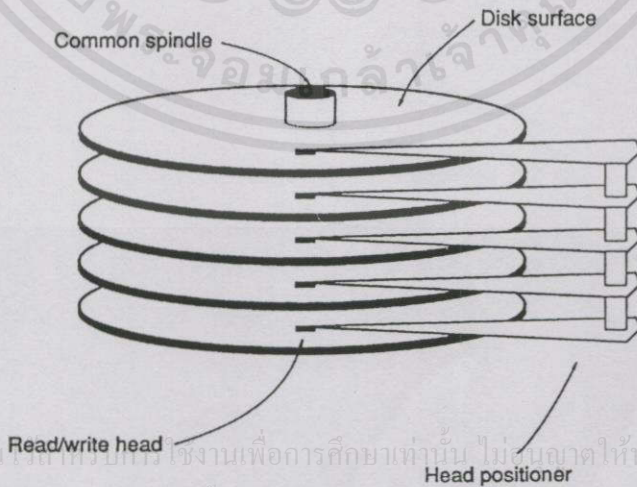
หัวบันทึกข้อมูลเป็นชิ้นส่วนขนาดเล็กเท่ากับปลายปากกา ใช้อ่านและเขียนข้อมูลจากหน่วยเก็บข้อมูลถาวร หรือสื่อเก็บข้อมูลอื่นๆ เมื่อทำการเขียนข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 2.2 หัวบันทึกนี้จะทำหน้าที่เป็นแม่เหล็กไฟฟ้าเล็กๆ ช่วงบวกลบของกระแสไฟฟ้าจะถูกแปลงเป็นขั้วแม่เหล็กเหนือและใต้ แล้วทำการแปลงสนามแม่เหล็กกลับไปเป็นสัญญาณบวกและลบ โดยช่วงสัญญาณบวกและลบนี้จะเป็นข้อมูลทางดิจิทัลเก็บลงแผ่นดิสก์

หัวอ่านที่ใช้ในปัจจุบันประกอบด้วยอุปกรณ์เหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าหรือกระแสแม่เหล็กซึ่งมีทั้งแบบธรรมดาที่ใช้งานกันโดยทั่วไปและแบบฟิล์มบางและอุปกรณ์กำเนิดสนามแม่เหล็ก การออกแบบหัวอ่านได้มีการเสนอใช้เซมิคอนดักเตอร์เหมือนกับเทคโนโลยีประมวลสัญญาณเพื่อลดต้นทุนการผลิตและเทคโนโลยีฟิล์มบางนำมาใช้เพื่อสร้างหัวอ่านที่มีความหนาแน่นของเส้นทางช่องเก็บข้อมูลสูงขึ้นประกอบการควบคุมตำแหน่งบนเส้นทางเก็บข้อมูลที่ต้องการแม่นยำ และความรวดเร็วในการอ่านหรือดึงข้อมูลออกใช้



รูปที่ 2.3 อุปกรณ์จับยึดหัวอ่านชนิด IBM 3370/3380/3390

หัวบันทึกข้อมูลจะถูกติดตั้งบนกิมบอลซัสเพนชัน (gimbal - suspension) ที่เป็นโลหะดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.3 ซึ่งมีลักษณะเป็นแขนเล็กๆ ใช้ยึดจับหัวบันทึกข้อมูลในตำแหน่งบนหรือล่างแผ่นดิสก์ และสายไฟฟ้าขนาดเล็ก (Wire) เป็นหัวอ่านเขียนสำเร็จ ที่เรียกว่า Head Gimbal Assembly หรือ HGA และชุดของ HGA จะเรียงซ้อนกันอยู่เพื่อใช้ติดตั้งลงในดิสก์ไดรฟ์ เรียกว่า Head Stack Assembly หรือ HAS ดังแสดงในรูป 2.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.4 ชุด Head Stack Assembly

## 2.1 ประวัติความเป็นมาของการเก็บบันทึกทางแม่เหล็ก[1]

นายเวลด์มาร์ พอลเซน (Valdemar Poulsen) วิศวกรชาวเดนมาร์ก ได้เป็นผู้นำเสนอการบันทึกข้อมูลลงในสื่อกลางหรือวัสดุทางแม่เหล็กในปี พ.ศ. 2441 ซึ่งสิ่งประดิษฐ์ที่นายพอลเซนประดิษฐ์ขึ้นเพื่อทำการบันทึกและถ่ายทอดเสียง เรียกว่า เทเลกราฟโฟน (Telegraphophone) โดยใช้สายเปียโนซึ่งทำจากเหล็กกล้าและสารแม่เหล็กพันรอบเหล็กอ่อนแล้วป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวด ในปี พ.ศ. 2463-2472 นายเยอรมันส์ (Germans) ได้เป็นผู้ทำการบันทึกเทปที่ทำจากเหล็กกล้าเป็นคนแรก และในปี พ.ศ. 2471 นายโอนีส (Oneal) ได้รับสิทธิบัตรเกี่ยวกับการเคลื่อนอนุภาคเหล็กลงบนกระดาษซึ่งใช้เป็นสื่อกลางในการเก็บบันทึกข้อมูล ในปี พ.ศ. 2478 นายฟาร์เบิน (Farben) เป็นผู้ผลิตตัวเก็บบันทึกเทปแม่เหล็ก (magnetic tape recorder) ขายในเยอรมัน ซึ่งเทปแม่เหล็ก (magnetic tape) นี้สร้างขึ้นจากแผ่นพลาสติกแล้วเคลือบด้วยสารแม่เหล็ก ต่อมาในปี พ.ศ. 2490 บริษัท 3M สร้างเทปที่มีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบ (Oxide tapes) และบริษัท 3M ก็เป็นผู้ผลิตเครื่องบันทึกเทปเพื่อขายเป็นครั้งแรกในตลาดสหรัฐอเมริกา ซึ่งเทปที่ผลิตนี้ทำจากแผ่นกระดาษที่เคลือบด้วยออกไซด์ (เหล็กที่มีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบ) ในปี พ.ศ. 2491 บริษัทแอมเป็กซ์ (Ampex) ได้เริ่มส่งออกเครื่องเก็บบันทึกเสียง ซึ่งตั้งแต่นั้นเป็นต้นมาเทปแม่เหล็กก็พัฒนาการสร้างขึ้นอย่างรวดเร็ว จากเทปแม่เหล็กที่ผลิตจากแผ่นกระดาษมาเป็นแผ่นพลาสติกแทน และบริษัท 3M ก็เป็นผู้นำเสนอเครื่องเก็บบันทึกวิดีโอขึ้นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2494 หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 การเก็บบันทึกทางแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยสัญญาณดิจิทัลลงบนเทปนี้ได้เจริญเติบโตขึ้นพร้อมกับคอมพิวเตอร์ไฟฟ้า ในปี พ.ศ. 2496 บริษัท IBM ได้เสนอขายเครื่องเล่นเทปแม่เหล็กขึ้นเป็นครั้งแรก ผลิตกันที่ชื่อ IBM 726 นั้นมีความหนาแน่นของข้อมูลที่ทำการบันทึกต่อระยะเพียง 4 ไบต์ต่อมิลลิเมตร ตารางที่ 2.1 แสดงพัฒนาการเครื่องเล่นเทปของบริษัท IBM ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จำเป็นต่อระบบข้อมูลคือให้การเข้าทำการอ่านและบันทึกโดยอิสระ นั่นคืออุปกรณ์นี้จะยอมทำการบันทึกข้อมูลและแก้ไขตามคำสั่งต่างๆ โดยไม่เรียงลำดับ ซึ่งระบบเทปแม่เหล็กต้องการให้มีการทำงานเช่นนี้ และในปี พ.ศ. 2518 IBM ก็ได้นำเสนอเครื่องเล่นแผ่นรีจิดิสก์แม่เหล็กขึ้นเป็นครั้งแรก ซึ่งมีชื่อว่า IBM 350 หรือ เครื่องเก็บความจำที่มีการเข้าทำงานได้โดยอิสระ(Random Access Memory Accounting Machine; RAMAC) ด้วยความสามารถจุข้อมูลเท่ากับ 3 ไบต์ต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งใช้อากาศเป็นสารรองลิ้นระหว่างหัวอ่านกับแผ่นรีจิดิสก์ขณะทำการอ่านหรือบันทึกข้อมูล โดยอาศัยความดันจากภายนอกเข้ามาช่วยในการหล่อลิ้น(การหล่อลิ้นแบบไฮโดรสแตติก) ส่วนแผ่นดิสก์ข้อมูลที่หัวอ่านมีการเคลื่อนที่แบบสร้างความดันขึ้นเองโดยเป็นการหล่อลิ้นแบบไฮโดรไดนามิก มีอากาศเป็นสารหล่อลิ้น ทำขึ้นขายครั้งแรกในปี พ.ศ. 2505 สำหรับอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่เข้าทำการอ่านและบันทึกได้โดยตรง (Direct Access Storage Device; DASD.) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย IBM ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 แสดงพัฒนาการของเครื่องเล่นเทปของบริษัท IBM

ชนิดของผลิตภัณฑ์ IBM	IBM 726	IBM3420	IBM3480
ทำการขายแก่ลูกค้าเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. ( First customer shipment)	2496	2516	2528
ความหนาแน่นข้อมูลที่ทำการอ่านและบันทึก ต่อระยะทางที่ทำการอ่านและบันทึกลงบนแผ่น เทป : กิโลไบต์/มิลลิเมตร ( Linear density : kB/mm)	0.004	0.245	1.5
จำนวนรางหรือเส้นทางที่ให้หัวอ่านทำการอ่าน และบันทึกข้อมูล ( Number of tracks )	7	9	18
ความจุข้อมูลในเส้นทาง 1 รอบการอ่านและ บันทึกข้อมูล : เมกะไบต์ ( Reel capacity : MB)	2.2	156	200
อัตราการอ่านและบันทึกข้อมูล : เมกะไบต์ต่อ วินาที ( Data rate : MB/s)	0.075	1.25	3
มอดูเลชัน โค้ด ( Modulation code)	NRZI	(0,2)	(0,3)
การเลื่อนของแผ่นเทปอาศัยการหล่อลื่นแบบ ( Tape transport )	ลำสูญญากาศ	ลำสูญญากาศ	Single-reel cartridge

NRZI = Nonreturn to zero inverted

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้"

ตารางที่ 2.2 แสดงพัฒนาการของอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่เข้าการอ่านและบันทึกข้อมูลโดยตรงของ IBM

รหัสหมายเลขของผลิตภัณฑ์ IBM	RAMAC		วินเชสเตอร์ ( Winchester)	
	350	3340	3340	62GV
ทำการขายแก่ลูกค้าครั้งแรกปี พ.ศ.	2500	2516	2516	2518
ความหนาแน่นข้อมูลต่อพื้นที่ทำการอ่านหรือบันทึกข้อมูล (Areal density : kb/mm <sup>2</sup> )	0.003	2.62	2.62	1.46
ความหนาแน่นของรางหรือเส้นทางที่หัวอ่านทำการอ่านหรือบันทึก (Track density : l/mm <sup>2</sup> )	0.79	11.8	11.8	-
ความสามารถเก็บข้อมูลต่อรอบการหมุนแผ่นดิสก์ ( Capacity : MB/spindle)	5	35-70	35-70	5.1
เวลาที่ใช้ทำการอ่านหรือบันทึกโดยเฉลี่ย (Average seek time : ms)	600	25	25	70
อัตราการอ่านหรือบันทึกข้อมูล ( Data rate: MB/s)	0.0088	0.885	0.885	0.889
ถอดรหัสข้อมูลแบบ ( Encoding )	NRZI <sup>A</sup>	MFM <sup>B</sup>	MFM <sup>B</sup>	MFM <sup>B</sup>
เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นดิสก์ : มิลลิเมตร	610	355	355	355
ตัวควบคุมตำแหน่งของหัวอ่าน/ ชนิดแอกชูเอเตอร์ (Head positioning / actuator)	คัลชมอเตอร์/ เชิงเส้น	V.C./เชิงเส้น <sup>C</sup>	V.C./เชิงเส้น <sup>C</sup>	V.C./โรตารี <sup>C</sup>
การหล่อลื่นด้วยอากาศเป็นแบบ	ไฮโดรสแตติก	ไฮโดรสแตติก	ไฮโดรสแตติก	ไฮโดรสแตติก

<sup>A</sup> NRZI = Nonreturn to zero inverted.

<sup>B</sup> MFM = Modified frequency modulation.

<sup>C</sup> V.C. = Voice coil

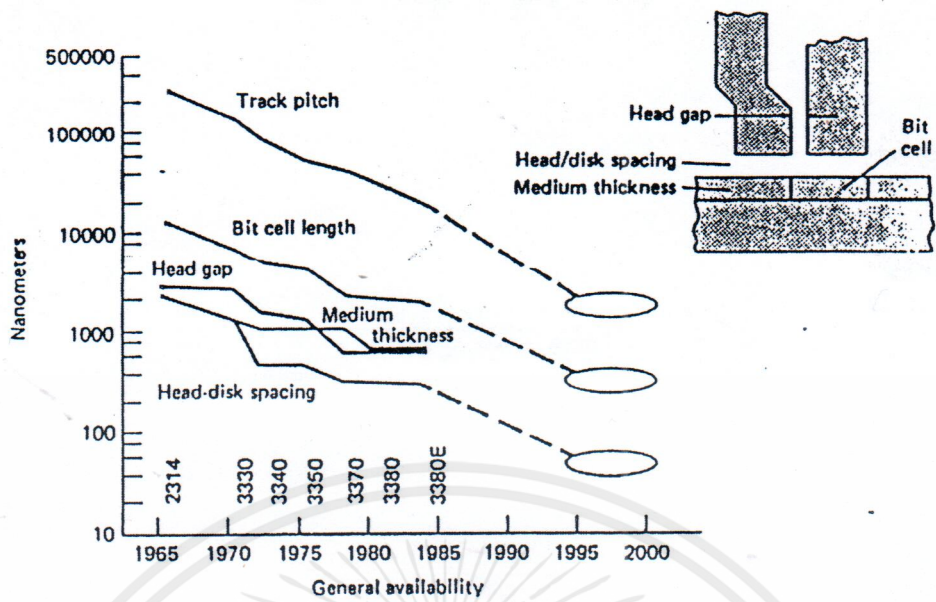
ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

รหัสหมายเลขของผลิตภัณฑ์ IBM	วินเนย์ (Whitney)			
	3370	3380E	3380K	0669
ทำการขายแก่ลูกค้าครั้งแรกปี พ.ศ.	2522	2528	2530	2531
ความหนาแน่นข้อมูลต่อพื้นที่ทำการอ่านหรือบันทึกข้อ	12.09	34.72	29.76	38.75
มูล (Areal density : kb/mm <sup>2</sup> )				
ความหนาแน่นของร่องหรือเส้นทางที่หัวอ่านทำการอ่าน	25	54.6	82.2	46
หรือบันทึก (Track density : l/mm <sup>2</sup> )				
ความสามารถเก็บข้อมูลต่อรอบการหมุนแผ่นดิสก์	1250	2520	3780	314
( Capacity : MB/spindle)				
เวลาที่ใช้ทำการอ่านหรือบันทึกโดยเฉลี่ย	20	17	16	23
(Average seek time : ms)				
อัตราการอ่านหรือบันทึกข้อมูล ( Data rate: MB/s)	1.85	3.00	1.25	1.25
ถอดรหัสข้อมูลแบบ ( Encoding )	(2,7)	(2,7)	(2,7)	(2,7)
เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นดิสก์ : มิลลิเมตร	355	355	130	130
ตัวควบคุมตำแหน่งของหัวอ่าน/ ชนิดแอกชูเอเตอร์	V.C./เชิงเส้น <sup>c</sup>	V.C./เชิงเส้น <sup>c</sup>	V.C./โรตารี <sup>c</sup>	V.C./โรตารี <sup>c</sup>
(Head positioning / actuator)				
การหล่อต้นด้วยอากาศเป็นแบบ	ไฮโดรไดนามิก	ไฮโดรไดนามิก	ไฮโดรไดนามิก	ไฮโดรไดนามิก

<sup>a</sup> NRZI = Nonreturn to zero inverted.

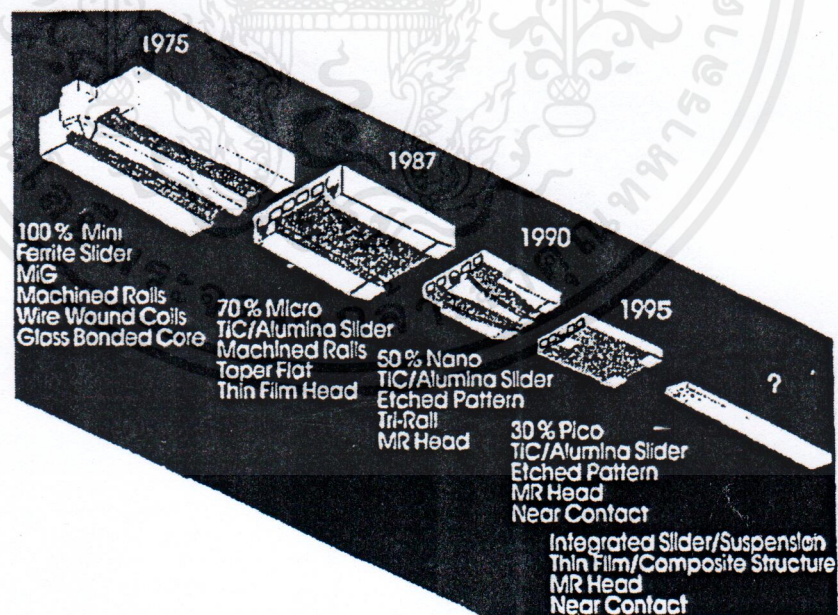
<sup>b</sup> MFM = Modified frequency modulation.

<sup>c</sup> V.C. = Voice coil



รูปที่ 2.5 ความแตกต่างกันระหว่างหัวอ่าน และแผ่นดิสก์ในบริษัท IBM

ในรูปที่ 2.5 แสดงความแตกต่างกันระหว่างหัวอ่าน และแผ่นดิสก์ในบริษัท IBM ที่ผลิตขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อเพิ่มความหนาแน่นของข้อมูลที่ทำกรอ่านและบันทึกมากขึ้นเรื่อยๆ ดังรูปที่ 2.6 แสดงพัฒนาการของหัวอ่านในระบบเก็บข้อมูล[2]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.6 พัฒนาการของหัวอ่านในระบบเก็บข้อมูล

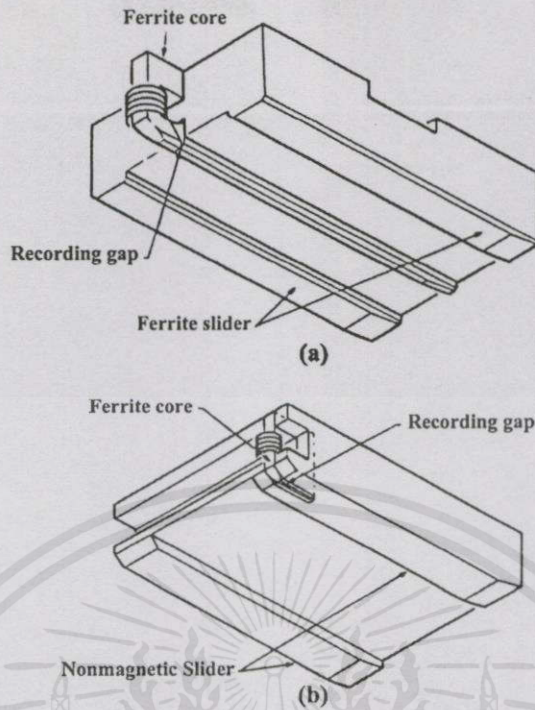
ในปี พ.ศ. 2513 ได้มีการนำเสนอแผ่นดิสก์เก็ต หรือฟลอปปีดิสก์ ที่น่าสนใจเพราะราคาถูก ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความต้องการจากธุรกิจขนาดเล็กและคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่ใช้ในบ้าน นอกจากนี้แล้วประวัติเบื้องหลังของเครื่องเสียง (Audio), เครื่องเล่นต่างๆ, วิดีโอ และเครื่องเล่นเทป, เครื่องเล่นฟลอปปีดิสก์ และเครื่องเล่นวีซีดี [25-31] ซึ่งในอุปกรณ์ต่างๆเหล่านี้ สัญญาณอะนาล็อกจะถูกบันทึกและถ่ายทอดเสียงที่ได้ทำการบันทึกลงไปบนเทปแม่เหล็กจะอาศัย ส่วนระบบการอ่านหรือบันทึกด้วยสัญญาณดิจิทัลนิยมใช้ในเครื่องเสียง เครื่องเล่นต่างๆ และระบบวิดีโอ รวมทั้งระบบเก็บข้อมูลทั้งหมดซึ่งได้แก่ เทปและฟลอปปีดิสก์ และวีซีดี

## 2.2 ขั้นตอนการเก็บและบันทึกข้อมูลในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็ก[1]

ขั้นตอนการเก็บและบันทึกข้อมูลจะเกิดขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดที่ประกอบไว้ในหัวอ่านดังแสดงในรูปที่ 2.7 และเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กในช่วงเวลาที่ทำการบันทึกลงบนสื่อกลาง โดยสื่อที่ใช้ในการบันทึกจะเคลื่อนที่ผ่านหัวบันทึก การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กตามสัญญาณที่ส่งผ่านมายังหัวบันทึกจะต้องสัมพันธ์กัน บนหัวบันทึกในระบบเก็บข้อมูลทั้งเทปและแผ่นดิสก์ มีความแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งาน ซึ่งเครื่องอ่าน/บันทึกแผ่นดิสก์นั้นมีการทำงานโดยอิสระและมีช่วงเวลาในการเข้าทำการอ่าน/บันทึกข้อมูลสั้นกว่าเครื่องเล่นเทปมาก แต่เทปเป็นอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการจุข้อมูลสูงมาก (โดยมีค่าจนถึงสองร้อยเมกะไบต์ต่อม้วน) และราคาถูกกว่าวีซีดีมาก แต่ระบบการทำงานของเทปไม่สามารถที่จะเข้าทำ การอ่านหรือบันทึกแบบอิสระ ข้อแตกต่างที่กล่าวมานั้นใช้เป็นหลักในการเก็บบันทึกข้อมูลลงบนวีซีดีอย่างถาวรในเมนเฟรมคอมพิวเตอร์

ในระบบเมนเฟรมคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่จำเป็นต้องมีส่วนทำหน้าที่เก็บข้อมูลเปิดอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งส่วนเก็บข้อมูลที่ต้องการจะต้องเหมาะสมมีขนาดใหญ่พอเหมาะด้วย สำหรับวีซีดี (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 355 มิลลิเมตร) ต่อบรรจุข้อมูลทั้งหมด สองถึงสามจิกะไบต์ ส่วนฟลอปปีดิสก์นั้นมีความสามารถจุข้อมูลต่ำ (เพียงสองร้อยเมกะไบต์) แต่สิ่งที่น่าสนใจคือราคาถูกกว่า และมีรูปแบบพกพาได้ง่ายซึ่งเป็นสื่อบันทึกแบบอ่อน สามารถเคลื่อนย้ายแลกเปลี่ยนข้อมูลจากเครื่องหนึ่งไปยังอีกเครื่องหนึ่งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของหัวอ่าน โลหะที่มีแกนเหล็กเหนียวนำเพื่อทำการอ่านหรือบันทึกข้อมูลในการบันทึกลงบนรีจิสเตอร์ [2] (a) หัวอ่านแบบสามราง (b) หัวอ่านแบบสองราง

### 2.3 ระบบเก็บข้อมูลในปัจจุบัน

ในปัจจุบันระบบเก็บบันทึกข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้ามีหลายประเภทซึ่งโดยหลักๆประกอบด้วย เครื่องเล่นเทป เครื่องเล่นฟลอปปีดิสก์ และเครื่องเล่นรีจิสเตอร์ ตัวอย่างของระบบเก็บข้อมูลในปัจจุบันมีระบบการทำงานของแต่ละประเภทแสดงในตารางที่ 2.3

เมื่อ

ความหนาแน่นข้อมูลต่อพื้นที่ทำการอ่านหรือบันทึกข้อมูล (Areal density :  $\text{kb/mm}^2$ )

= ความหนาแน่นข้อมูลที่ทำการอ่านและบันทึกต่อระยะทางที่ทำการอ่านและบันทึกลงบนแผ่นเทป : กิโลไบต์/มิลลิเมตร (Linear density :  $\text{kB/mm}$ ) X จำนวนรางหรือเส้นทางที่ให้หัวอ่านทำการอ่านและบันทึกข้อมูล (Number of tracks)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

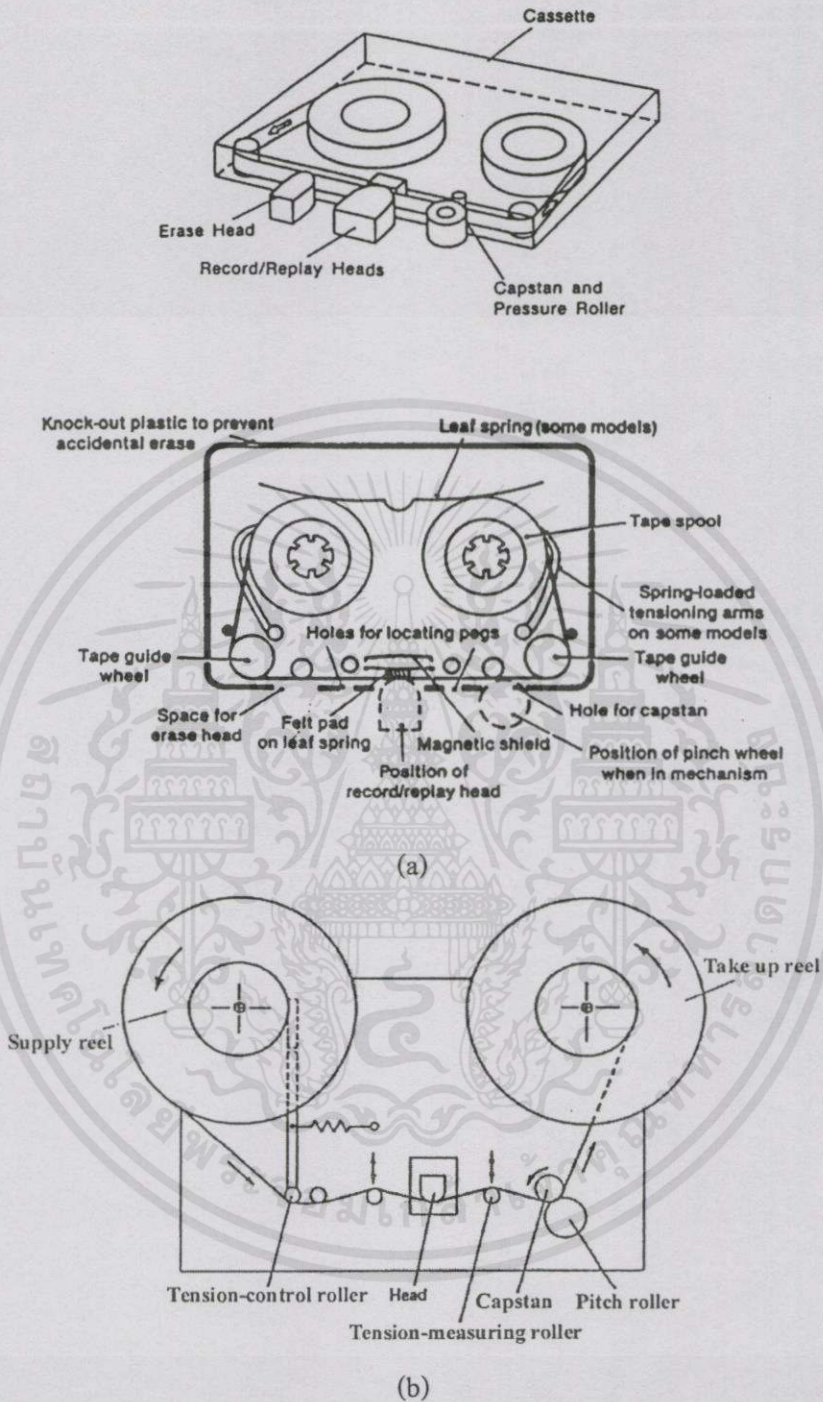
อีก ความหนาแน่นข้อมูลที่ทำการอ่านและบันทึกต่อระยะทางที่ทำการอ่านและบันทึกลงบนแผ่นเทป : กิโลไบต์/มิลลิเมตร (Linear density :  $\text{kB/mm}$ ) X ความเร็วเชิงเส้น (Linear speed)

ตารางที่ 2.3 ลักษณะของระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า

ลักษณะการทำงาน	ชนิดของระบบเก็บข้อมูลด้วย		
	เทป	ฟลอปปีดิสก์	รีจิดดิสก์
ความหนาแน่นข้อมูลที่ทำกร อ่านและบันทึกต่อระยะทางที่ทำกรอ่านและบันทึก : กิโลไบต์/มิลลิเมตร (Linear recording density : kB/mm)	1.5	0.04	0.08
ความหนาแน่นของรางหรือเส้นทางที่หัวอ่านทำการอ่านหรือบันทึก (Track density : l/mm <sup>2</sup> )	18/12.7 ม.ม. ความกว้าง	5	82
ความหนาแน่นข้อมูลต่อพื้นที่ที่ทำกรอ่านหรือบันทึกข้อมูลกิโลไบต์ / ตารางมิลลิเมตร (Areal density : kb/mm <sup>2</sup> )	17	0.025	55
ความสามารถเก็บข้อมูลทั้งหมด : เมกะไบต์ (Total capacity : MB)	200	2 (สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลาง 130 ม.ม.)	540 (สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลาง 355 ม.ม.)
อัตราการอ่านหรือบันทึกข้อมูล (Data rate: MB/s)	3	0.03	3
เวลาที่ใช้ในการเข้าทำการอ่านและบันทึกของหัวอ่านบนรางหรือช่องข้อมูลตอนเริ่มเข้าทำงานจนกระทั่งมีสภาวะคงตัว : มิลิวินาที (Access time between any tracks:,ms)	-	150	16
ลักษณะรูปแบบของสื่อบันทึก : มิลลิเมตร	กว้าง 12.7	เส้นผ่านศูนย์กลาง กลาง ขนาด 95, 130 และ 200	เส้นผ่านศูนย์กลาง กลาง ขนาด 95,130,275 และ 355

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 เครื่องเล่นเทป



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของเทปบันทึกเสียง

(a) แสดงการบันทึกแบบแผ่นเทปวางบนหัวอ่าน[32]

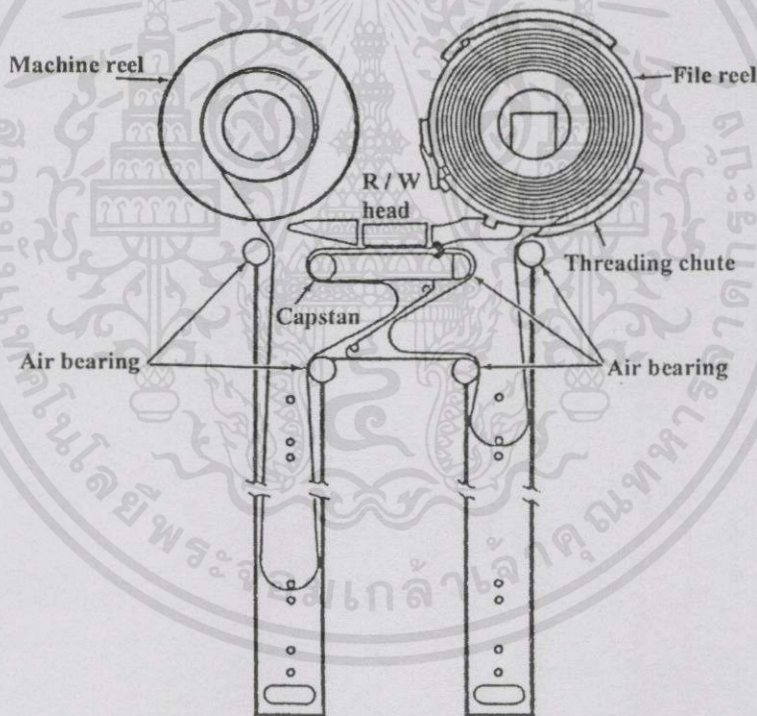
(b) แสดงการบันทึกแบบหัวอ่านวางบนแผ่นเทป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

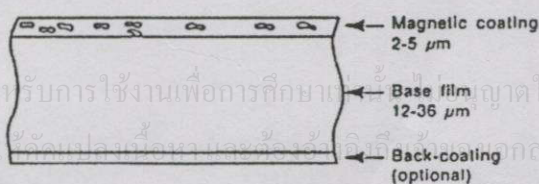
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.8 แสดงแผนภาพส่วนประกอบต่างๆของเทปบันทึกเสียง โดยเทปกว้าง 4 มิลลิเมตร หนาประมาณ 6ไมโครเมตร สำหรับเทปที่เคลือบด้วยคาร์บอน 120 จนกระทั่งหนา 12

ไมโครเมตร สำหรับแผ่นเทปนี้เคลือบด้วยคาร์บอน 60 และมีความยาว 1080 ถึง 2160 เมตร พันม้วนรอบหลอดม้วนของคลัตช์เทปและมีอัตราการลำเลียงแผ่นเทปด้วยความเร็วประมาณ 0.5 เมตรต่อวินาทีบนหัวอ่าน/บันทึกซึ่งอยู่กับที่ โดยหัวอ่านนี้จะมีผิวโค้งทรงกระบอก และมีมุมที่แผ่นเทปม้วนคลุมหลอดม้วนมีค่าประมาณ 0.6 ถึง 1 เรเดียน ตัวขับเคลื่อนแผ่นเทปคือ แคปสแตน (capstan) ซึ่งเป็นลูกกลิ้งขนาดเล็กหมุนรอบเอาแผ่นเทป โดยมีกลิ้งกดช่วยกดแผ่นเทปติดกับลูกกลิ้งแคปสแตน (capstan) ให้ลำเลียงไปสู่หลอดม้วนแผ่นเทปอีกอัน และความตึงของแผ่นเทปที่เคลื่อนที่ผ่านหัวอ่านนั้นมีค่าประมาณ 0.2 ถึง 0.5 นิวตัน โดยมีแขนสปริงคอยควบคุมแรงจากการยืดตัวของสปริงเพื่อที่จะส่งลงมาให้ลูกกลิ้งกดแผ่นเทปด้วยความตึงพอเหมาะตามต้องการ การทำงานเหล่านี้จะพบว่าแผ่นเทปจะสัมผัสกับหัวอ่านตลอดเวลา ซึ่งในเครื่องบันทึกทั่วไปและเครื่องบันทึกเทปขณะแผ่นเทปจะเคลื่อนที่ผ่านหัวอ่าน จะมีรางหรือเส้นทางจำนวนมากบนแผ่นเทปผ่านหัวอ่าน ดังนั้นหัวอ่านจะต้องมีลักษณะอ่าน/บันทึกหลายช่อง หรือเส้นทางด้วยเช่นกัน อย่างเช่นในเครื่องบันทึกเสียงอย่างดี หรือเครื่องคอมพิวเตอร์เทป



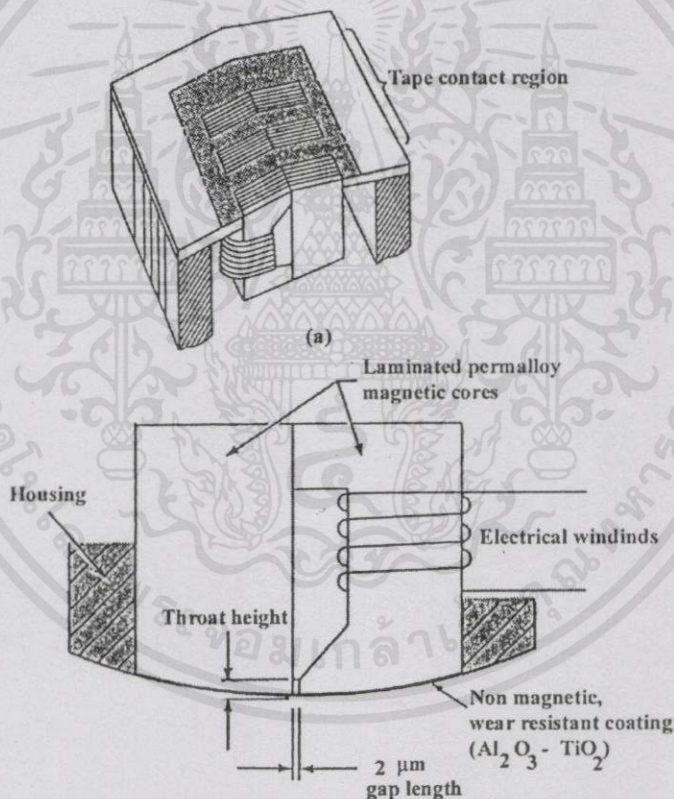
รูปที่ 2.9 การทำงานในเครื่องเล่นเทป IBM 3420



รูปที่ 2.10 องค์ประกอบของแผ่นเทปแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น กรุณาให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำไปเผยแพร่หรือใช้เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

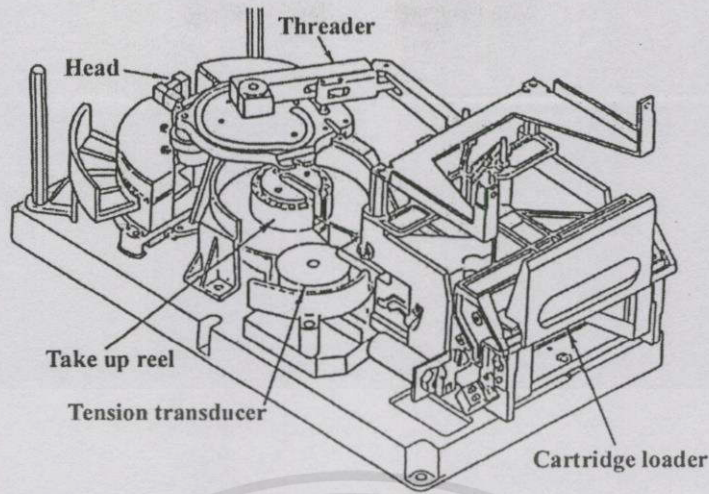
แผนภาพแสดงส่วนประกอบการทำงานของเครื่องเล่นเทปบันทึกข้อมูลรุ่น IBM 3420 แสดงไว้ในรูปที่ 2.9 โดยมีความกว้าง 12.7 มิลลิเมตร ความหนาประมาณ 30 ไมโครเมตรซึ่งแสดงในรูปที่ 2.10 ม้วนรอบหลอดด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 267 มิลลิเมตร เคลื่อนลำเลียงผ่านบนหัวอ่าน/บันทึกซึ่งอยู่กับที่ โดยหัวอ่านนี้มีรูปร่างพื้นผิวโค้งทรงกระบอก ตามลักษณะโครงสร้างมีการสัมผัสกันระหว่างแผ่นเทปและหัวอ่านเล็กน้อยขณะที่เทปหมุนที่ความเร็วใช้งาน แต่ในขณะที่เริ่มและหยุดการใช้งานมักจะเกิดการสัมผัสกันระหว่างหัวอ่านและแผ่นเทป โดยหัวอ่านเทปเป็นหัวอ่านชนิดเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถทำการอ่านหรือบันทึกได้แก่รางหรือเส้นทางบนช่องเก็บข้อมูลของสื่อบันทึก โดยมีมอเตอร์ของแคปสเดนหมุนขับให้เทปเคลื่อนที่และมีหลอดสูญญากาศสองหลอดคอยให้แรงดึง ซึ่งแรงดึงจะถูกควบคุมด้วยความดันสูญญากาศและตำแหน่งของเทปจะถูกควบคุมโดยตัวเซนเซอร์(sensor)รับสัญญาณความจุ เมื่อต้องการให้เทปนี้เคลื่อนที่ทำได้โดยให้มอเตอร์หมุนให้ม้วนเทปเพิ่มขนาดม้วน หรือเคลื่อนออกจากม้วน



รูปที่ 2.11 แผนภาพของหัวบันทึกชนิดเหนี่ยวนำในเครื่องเล่นเทป IBM 3420

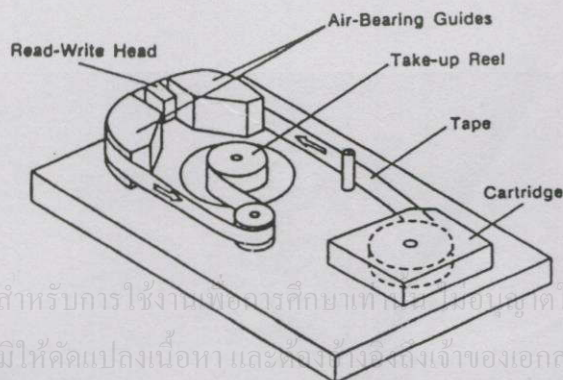
(a) แสดงภาพฉายด้านบนและ (b) แสดงภาพตัดขวาง

รูปที่ 2.11 แสดงภาพฉายการมองดูส่วนบนของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งบริเวณหัวอ่านจะประกอบด้วยขดแม่เหล็กซึ่งพันด้วยลวด แล้วมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเพื่อให้แกนเหล็กเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กขึ้นขณะใช้งาน โดยการออกแบบวงจรไฟฟ้าภายในหัวอ่านฟิล์มบางชนิดต่างๆ และลักษณะรูปร่างต้องเป็นไปตามมาตรฐาน รวมทั้งหัวอ่านเหนี่ยวนำก็ถูกสงวนลิขสิทธิ์ไว้ด้วย



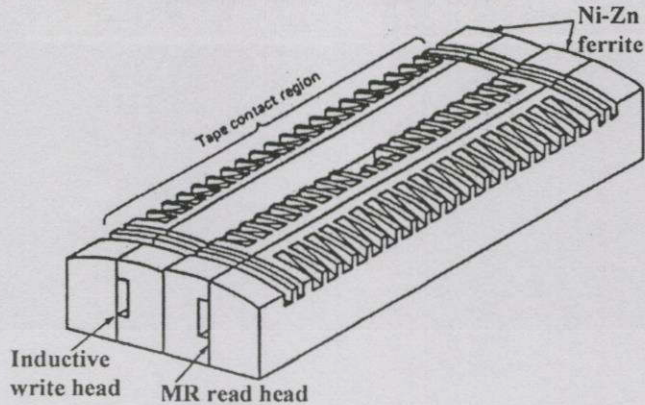
รูปที่ 2.12 เครื่องเล่นเทปบันทึกข้อมูล รุ่น IBM 3480

ในรูป 2.12 แสดงภาพเครื่องเล่นเทปบันทึกข้อมูล รุ่น IBM 3480 ซึ่งมีความสามารถบันทึกข้อมูลได้หนาแน่นสูงสุด และมีอัตราการบันทึกข้อมูลได้เร็วที่สุด ซึ่งเป็นรุ่นล่าสุดในขณะนั้น โดยเครื่องนี้มีความยาว 165 เมตร กว้าง 12.7 มิลลิเมตร (ซึ่งในระบบเก็บข้อมูลจำนวนมากรุ่น IBM 3850 ซึ่งใช้แผ่นเทปที่มีความกว้าง 133 มิลลิเมตร ยาว 202 เมตร และใช้หัวอ่านแบบหมุนได้หรือแบบโรตารี [28] และเทปมีความหนา 26 ไมโครเมตร (โดยมีสารฉาบเคลือบหนา 23 ไมโครเมตร และเคลือบทับด้วยสารแม่เหล็กหนา 3 ไมโครเมตร ประกอบไว้ในที่ม้วนเทปรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (100 x 125 x 25 มิลลิเมตร) หลังจากที่มีการให้แรงกดแทนพิมพ์ในเครื่องจับแล้ว ส่วนเริ่มต้นของแผ่นเทปจะถูกอ่านหรือบันทึกโดยเครื่องจับให้ม้วนในหลอดเก็บ โดยกลไกการคลี่แยกแผ่นเทปแบบหัวเหลี่ยม แนวงานต่อเชื่อมจะ ต่ออยู่ใกล้กับทางเข้าของที่ม้วนเทป (Cartridge) ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.13 ซึ่งขณะม้วนแผ่นเทปจะเกิดความสั่นสะเทือนขึ้นภายในที่ม้วน ความตึงของแผ่นเทปจะมีตัวรับสัญญาณและควบคุมโดยตัวปรับแรงดึง โดยการอ่านหรือบันทึกข้อมูลจะมีแรงดึงที่ 2.2 นิวตันและความเร็วในการอ่านและเขียนด้วยความเร็ว 2 เมตร/วินาที และมีความเร็วในการคลายม้วนออกด้วยความเร็ว 4 เมตรต่อวินาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องขออนุญาตเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.13 การม้วนของล้อยม้วน(cartridge drive) ในระบบบันทึกเทป[33]



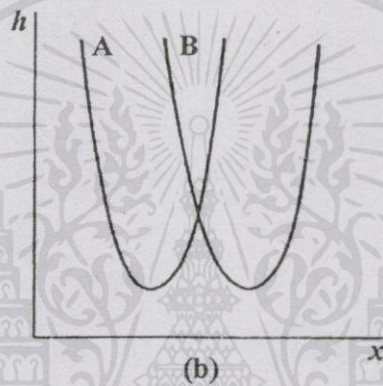
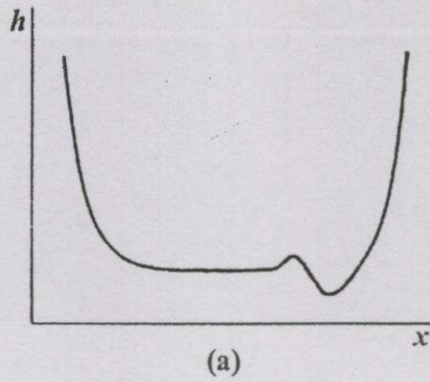
รูปที่ 2.14 หัวอ่าน-เขียนที่มี 18 ราง

ในรูปที่ 2.14 แสดงแผนภาพแสดงหัวอ่าน-เขียนที่มี 18 ราง โดยใช้เทคโนโลยีหล่อขึ้นแบบฟิล์มบาง หัวบันทึกจะเป็นชนิดเหนี่ยวนำ(Inductive)และหัวอ่านจะเป็นชนิดต้านสนามแม่เหล็ก (Magnetoresistive; MR) หัวอ่าน-เขียน มีรูปทรงคล้ายทรงกระบอกและมีรัศมีโดยประมาณ 20 มิลลิเมตรและมีการตัดผิวส่วนหน้าเพื่อเป็นร่องหรือช่องแคบๆ และยาวเพื่อลดความสูงของหัวอ่านลอยตัวบนแผ่นดิสก์และทำให้เกิดแอมพลิจูด(Amplitude)สูงสุดที่บริเวณขอบของร่องจะช่วยให้การลอยตัวของหัวอ่านมีความคงตัวหรือมีเสถียรภาพในการลอยตัว

## 2.5 การอินเตอร์เฟซ(interface)กันระหว่างหัวอ่าน(slinder)กับแผ่นเทปแม่เหล็ก

สำหรับแผ่นเทปและฟลอปปีดิสก์ ซึ่งเป็นสื่อบันทึกที่มีลักษณะอ่อนตัวสามารถโค้งงอได้นั้น รวมทั้งมีความน่าเชื่อถือในการใช้งาน โดยข้อมูลที่ถูกเก็บบันทึกค่อนข้างไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากความหนาฟิล์มอากาศหล่อลื่นในบริเวณใกล้เคียงกับทรานสดิวเซอร์แม่เหล็ก ความกว้างของฟิล์มความหนาฟิล์มอากาศหล่อลื่นที่มีค่าเกือบคงตัวแสดงไว้ในรูป 2.15(a) ซึ่งเป็นโพรไฟล์ที่ต้องการให้เกิดขึ้นมากที่สุด ในขณะที่รูป 2.15(b) ไม่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากในระหว่างทำงานความหนาของฟิล์มหล่อลื่นเกิดการเลื่อนเพียงเล็กน้อย โดยเส้นโครงร่างความหนาฟิล์มเลื่อนจากตำแหน่ง A ไป B และที่ทรานสดิวเซอร์ไม่สามารถรับค่าความหนาฟิล์มอากาศที่นามากได้ นอกจากนี้แล้ว ค่าที่ยอมให้เกิดได้ในระบบการผลิตจะต้องการเส้นโพรไฟล์ B เพราะเส้นโพรไฟล์ A จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

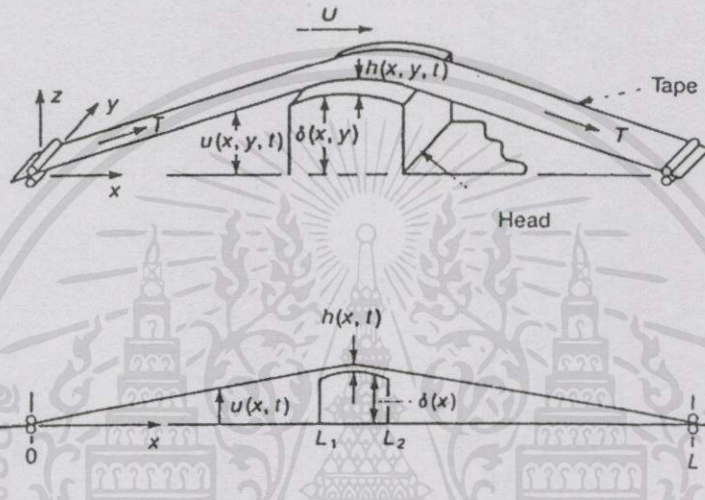
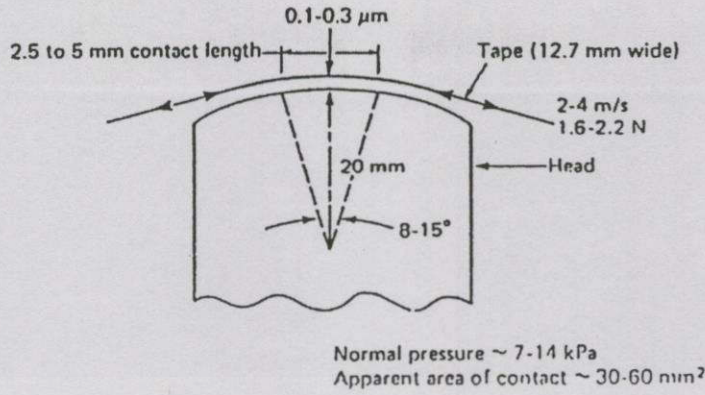


รูปที่ 2.15 เส้นโพรไฟล์ความหนาของฟิล์มอากาศ( $h$ )บนความกว้างของแผ่นเทป( $x$ )ขณะอินเตอร์เฟสกับหัวอ่าน

- (a) แสดงเส้นโพรไฟล์ความหนาของฟิล์มอากาศบนความกว้างของพื้นสม่ำเสมอของสื่อบันทึกแบบอ่อนตัวตัดได้
- (b) แสดงเส้นโพรไฟล์ความหนาของฟิล์มอากาศบนความกว้างของพื้นไม่สม่ำเสมอของสื่อบันทึกแบบอ่อนตัวตัดได้

ลักษณะของหัวอ่านเทป โดยทั่วไปแล้วมีลักษณะตามแนวขวางของทรงกระบอก (โดยมีหรือไม่มีการทำผิวส่วนหน้าให้มีลักษณะเป็นช่องหรือร่องแคบๆ เพื่อลดความหนาฟิล์มหล่อลื่น) หรือมีลักษณะทรงกระบอกที่มีพื้นผิวลาดเอียงที่บริเวณทางเข้า หรือด้านข้างทั้งสองด้านเพื่อลดความหนาฟิล์มหล่อลื่น มุมสัมผัสแผ่นเทป หรือส่วนที่หัวอ่านทำการอ่านหรือบันทึก ลักษณะรูป

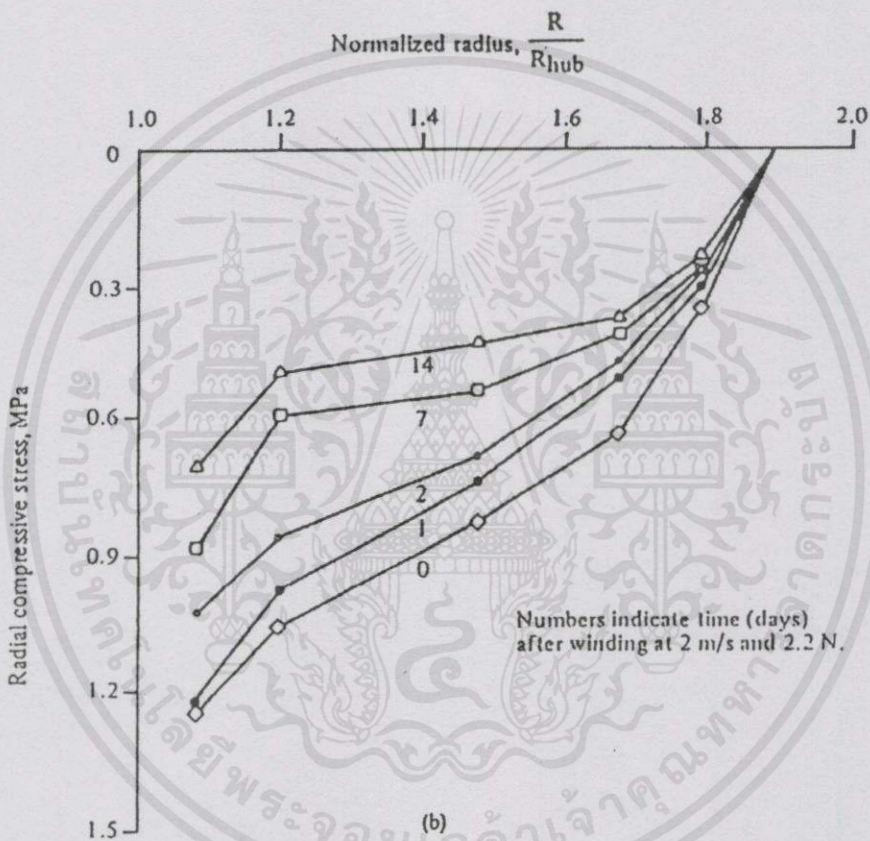
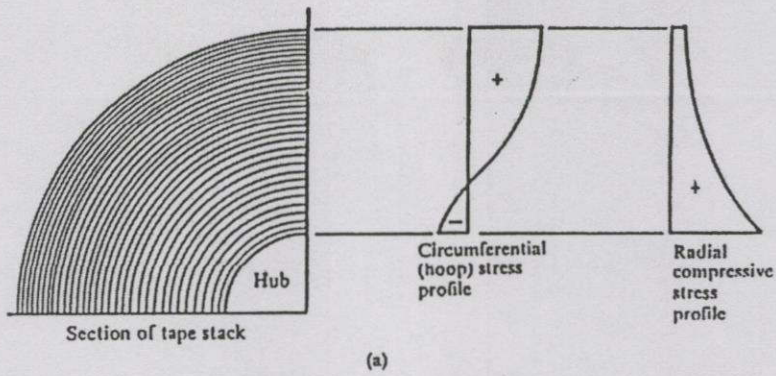
ร่างของหัวบันทึกและความโค้งของแผ่นเทปจะต้องทำให้ความหนาฟิล์มคงตัวเกิดขึ้นในบริเวณกว้าง  
คูในรูป 2.15(a) ไม่ว่าการโค้งของแผ่นเทปจะมากน้อยเพียงใดก็ตาม ไม่ควรทำให้การนำเทปไปใช้



รูปที่ 2.16 การอินเตอร์เฟกกันระหว่างหัวอ่านและเทป

แผนภาพของการอินเตอร์เฟกกันระหว่างหัวอ่านและเทป (Head tape interface; HTI) ในแสดงรูปที่ 2.16 ของเครื่องเล่นเทปคอมพิวเตอรฺชนิด 12.7 มิลลิเมตร แผ่นเทปมีความกว้างจำกัดภายใต้แรงดึง  $T$  เคลื่อนที่ระหว่างจุดยึดทั้งสองด้านด้วยความเร็วคงที่  $U$  บนหัวอ่านรูปทรงกระบอก รัศมี  $R$  และมีจุดหมุนวางห่างกันด้วยระยะ  $L$  และ  $L_2 - L_1$  คือความยาวของหัวอ่านในการหล่อลื่นแบบอีลาสโตโรไฮโดรไดนามิก เราจะเผชิญกับการแกว่งการเชิงอนุพันธ์ย่อย สมการเรย์โนลด์์ และสมการความยืดหยุ่นอธิบายการเคลื่อนที่ของแผ่นเทปไปตามเงื่อนไขที่เหมาะสม

วงล้อม้วนแผ่นเทป คือส่วนที่มีลักษณะเป็นวงแหวนและจะพบว่ามีวามเค้นที่เกิดขึ้นตามแนวรัศมีสูงมาก แผ่นเทปที่พันหรือม้วนบนวงล้อม้วนจะเพิ่มความเค้นอัดในแนวรัศมี ในขณะที่ม้วนแผ่นเทปที่บริเวณใกล้กับจุดศูนย์กลางหรือคุมของล้อยม้วนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายในคุมล้อยม้วนจะเกิดขึ้นเรื่อยๆ แล้วเปลี่ยนเป็นความดึงแน่นของแผ่นเทปที่อยู่ตามเส้นรอบวงของล้อยม้วน ซึ่งสาเหตุแท้จริงของการม้วนแผ่นเทปจะทำให้เกิดความอัดคิ่งของแผ่นเทป และที่จุดสุดท้ายของการม้วนจะมีการกระจายความเค้นตามแนวเส้นรอบวงของคุมล้อยม้วนและความเค้นตามแนวเส้นรอบวงที่เกิดขึ้นได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.17 (a)



รูปที่ 2.17 (a) ความเค้นที่กระจายของแผ่นเทปที่ม้วนรอบวงล้อเก็บ

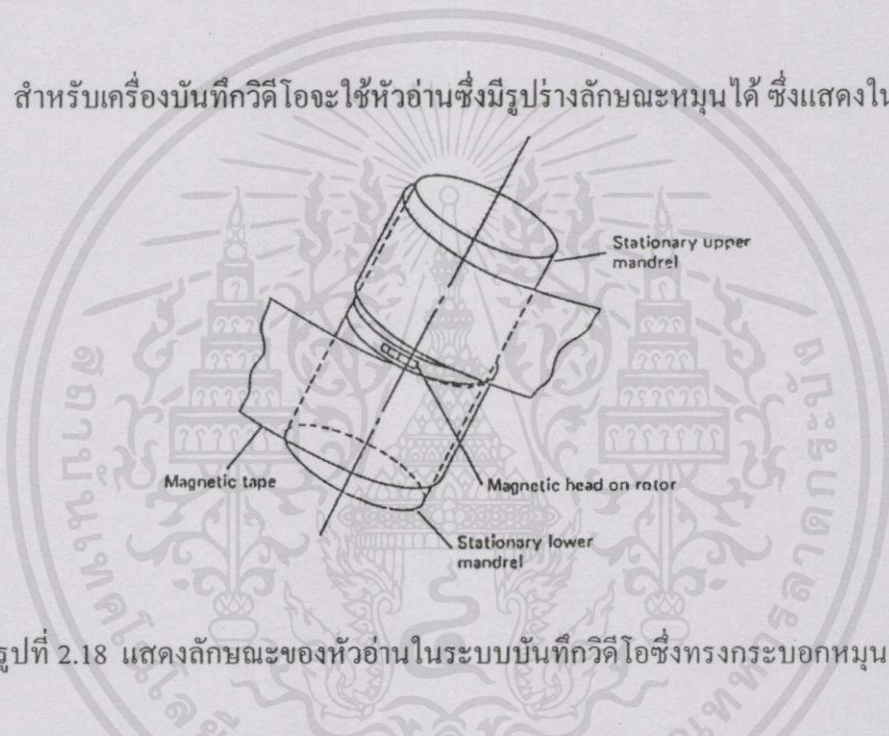
(b) ค่าความเค้นตึงตามแนวรัศมีของแผ่นเทปที่ม้วนรอบล้อม้วนกับเวลาที่สภาพความดันบรรยากาศโดยที่แผ่นเทปหนา 40 ไมโครเมตรม้วนรอบล้อม้วน ด้วยแรงตึง 2.2 นิวตัน และความเร็ว 2 เมตรต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารวัดความเค้นตามแนวรัศมีในวงล้อที่ม้วนเทปในเทปข้อมูล รุ่น IBM 3480 สามารถทำการค้า  
ไม่ว่าการวัดโดยการส่องแสงระหว่างชั้นของแผ่นเทปในระหว่างทำการม้วนด้วยความตึงของการม้วน  
เท่ากับ 2.2 นิวตัน แสงส่งผ่านแผ่นเทปนี้จะเคลื่อนย้ายโดยอาศัยเครื่องมือวัดแรงตึง โดยแรงตึงจะ

เคลื่อนแสงเพื่อวัดความเค้นตามแนวรัศมี (ความเค้นระหว่างชั้นวัสดุที่ใช้ทำแผ่นเทป) ซึ่งใช้แผ่นเทปที่มีหลายๆ ชั้น ระหว่างแม่พิมพ์ที่ทราบแรงยึดจับ ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.17(b) ซึ่งแสดงผลของการวัดความเค้นอัดตามแนวรัศมีบริเวณใกล้กับจุดศูนย์กลาง หรือคูดมถ้อยม้วนแผ่นเทป ซึ่งวัดได้ประมาณ 1.30 เมกกะปาสคาล ความเค้นบนแผ่นเทปตามแนวรัศมีจะลดลงเมื่อม้วนเทปถูกเก็บไว้ในช่วงเวลาหนึ่ง ภายใต้อุณหภูมิและความชื้นสูง ซึ่งในรูปที่ 2.17(b) ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงความเค้นบนแผ่นเทปตามแนวรัศมีที่ความดันบรรยากาศ

## 2.6 ระบบบันทึกภาพ[1]

สำหรับเครื่องบันทึกวิดีโอจะใช้หัวอ่านซึ่งมีรูปร่างลักษณะหมุนได้ ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.18



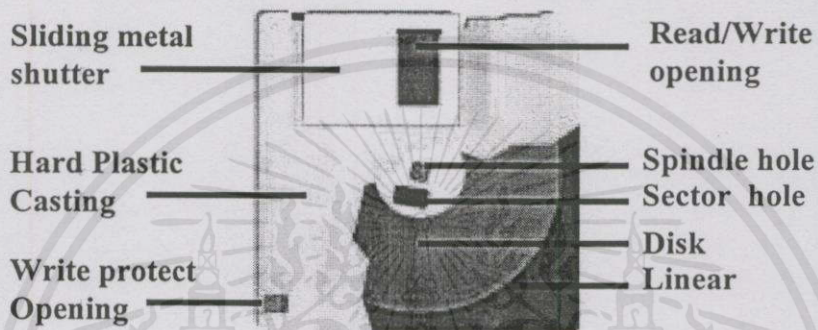
รูปที่ 2.18 แสดงลักษณะของหัวอ่านในระบบบันทึกวิดีโอซึ่งทรงกระบอกหมุนได้

เนื่องจากหัวอ่านหมุนได้ จึงสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงกว่าลูกกลิ้งในเครื่องเล่นเทป เพราะลูกกลิ้งค่อนข้างหนัก ดังนั้นในระบบบันทึกด้วยหัวอ่านหมุนได้จึงมีอัตราการอ่านหรือบันทึกข้อมูลเร็วกว่าในเครื่องเล่นเทป ความเร็วโดยทั่วไปที่วัดได้ในเครื่องเล่นเทปจะวัดได้เป็นค่าย่อยของหน่วยเมตรจนกระทั่งสองถึงสามเมตรต่อวินาที ในขณะที่ระบบเก็บบันทึกข้อมูล หัวอ่านกำลังหมุนอยู่นั้น หัวอ่านสามารถหมุนด้วยความเร็วถึง 40 เมตรต่อวินาที แผ่นเทปมีความกว้าง 12.7 มิลลิเมตร ม้วนในลักษณะเฉียงรอบแกนกลมที่ทำหน้าที่บันทึกและมีหัวอ่านติดบน โรเตอร์ตรงกลางระหว่างแกนกลมที่หมุนด้วยความเร็วสูงตามการทำงานของเครื่องเล่นเทป โดยหัวอ่านชนิดนี้มีผิวทรงกลม

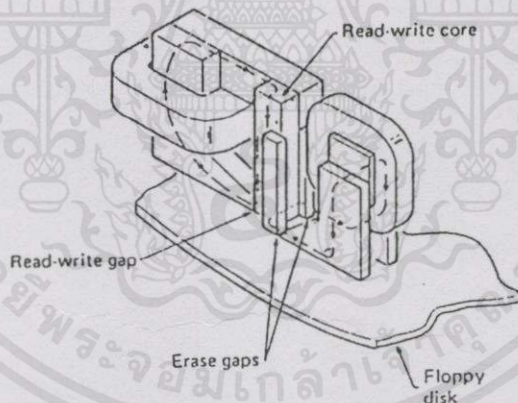
และบริเวณขอบมีลักษณะราบเอียง แกนกลมเพิ่มความดัน มีแผ่นเทปพันรอบด้วยมุม 360 องศา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานับ ไม่นอนขาดให้มา ไปใจประ โยชน์ด้านการค้า การทำงานอาศัยการหล่อลื่นด้วยแก๊สแบบไฮโดรไดนามิก โดยมีอากาศรองลื่นระหว่างโรเตอร์และไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิได้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ แผ่นเทป ซึ่งอากาศที่รองลื่นรวมตัวกันเมื่อโรเตอร์หมุนที่ความเร็วรอบการทำงานอย่างไรก็ตาม การสัมผัสกันระหว่างโรเตอร์และแผ่นเทปเกิดขึ้นในขณะที่เริ่มต้นและหยุดการทำงาน

## 2.7 เครื่องเล่นฟลอปปีดิสก์ (Floppy Disk Drives)

จากรูปที่ 2.19 แสดงสื่อเก็บบันทึกข้อมูลที่เรียกว่า ฟลอปปีดิสก์ประกอบด้วยจานแผ่นดิสก์กลมที่มีลักษณะตัดให้รูปร่างโค้งงอได้ โดยทำจากวัสดุเดียวกันกับเทปแม่เหล็ก มีทั้งชนิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.25 นิ้วและ 3.5 นิ้ว บรรจุไว้ในซองหุ้มพลาสติกแข็ง ที่บริเวณขอบมีแผ่นเหล็กเลื่อนได้คลุมบนช่องที่ทำการอ่านหรือบันทึกของหัวอ่านได้เพื่อป้องกันฝุ่นละอองหรือสิ่งแปลกปลอม [33]



รูปที่ 2.19 ส่วนต่างๆของฟลอปปีดิสก์ขนาด 3.5 นิ้ว ที่นิยมใช้เก็บข้อมูลกันทั่วไป



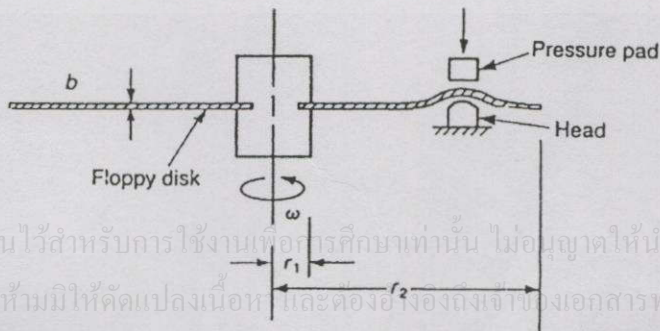
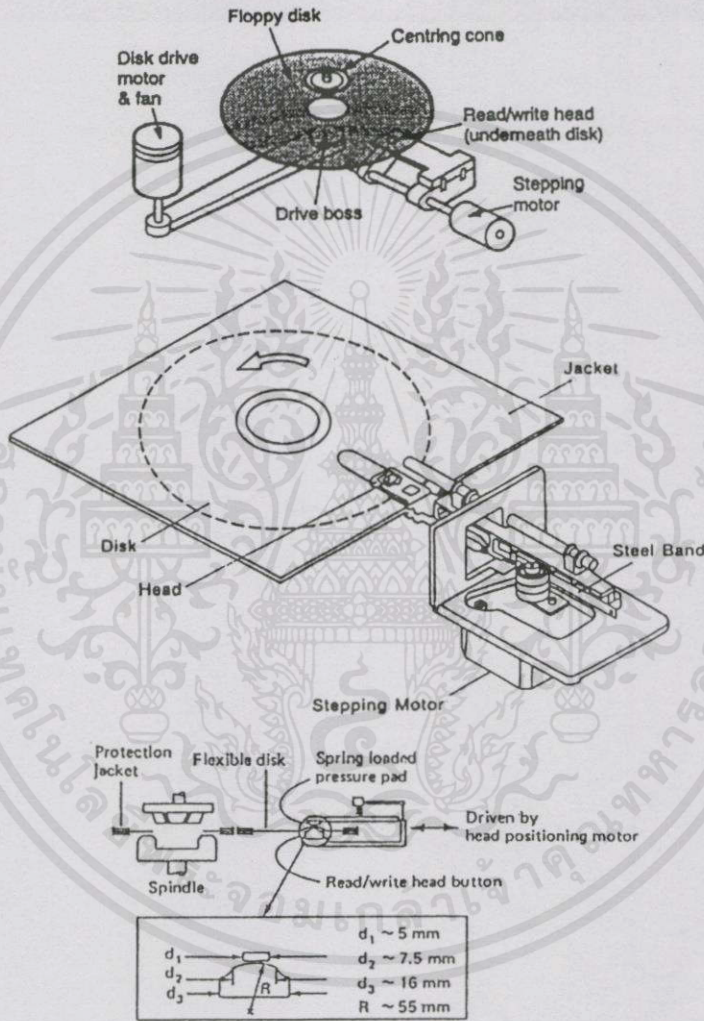
รูปที่ 2.20 หัวอ่านหรือบันทึกชนิดเหนี่ยวนำที่มีช่อง โพรงอากาศเพื่อทำหน้าที่ลบข้อมูลในเครื่องเล่นฟลอปปีดิสก์

โครงสร้างของหัวอ่าน-เขียน ที่มีหลายช่องว่าง โดยทั่วไปแล้วประกอบด้วยโพรงอากาศ แยกหัวที่ทำหน้าที่ลบเพื่อลบข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้ออกไปเมื่อต้องการลบ การออกแบบหัวอ่าน-เขียน แต่ละประเภทโดยระยะห่างกันของส่วนท้ายของหัวอ่านกับสิ่งบันทึก หรือที่เรียกว่า โพรงอากาศ (ที่ทำหน้าที่ลบข้อมูล) แสดงไว้ในรูป 2.19 หัวลบทั้งสองจะทำให้เกิดโซนลบบนเส้นทางแต่ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม อีกหนึ่งหน้าที่ให้ลบแปลงเนื้อหัวและต้องอ้างอิงถึงหัวลบออกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ละด้านของการอ่าน-เขียน ส่วนประกอบนี้จะสวมไว้ในปุ่มหัวอ่านซึ่งมีผิวโค้งกลม และสัมผัสกับแผ่นรองความดันหรือหัวอ่านอีกอันซึ่งอยู่ด้านตรงข้ามกับสิ่งบันทึก

## 2.8 การอินเทอร์เฟซ(interface)กันระหว่างหัวอ่าน(slidebar)กับฟล๊อปปีดิสก์(floppy disk)

เครื่องขับฟล๊อปปีดิสก์ (Floppy disk drives) แต่ละอันประกอบไปด้วย แบบบันทึกลงบนพื้นผิวหนึ่งด้านหรือแบบบันทึกทั้งสองด้าน

### 2.8.1 แบบเครื่องบันทึกหนึ่งด้าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าพนักงานเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

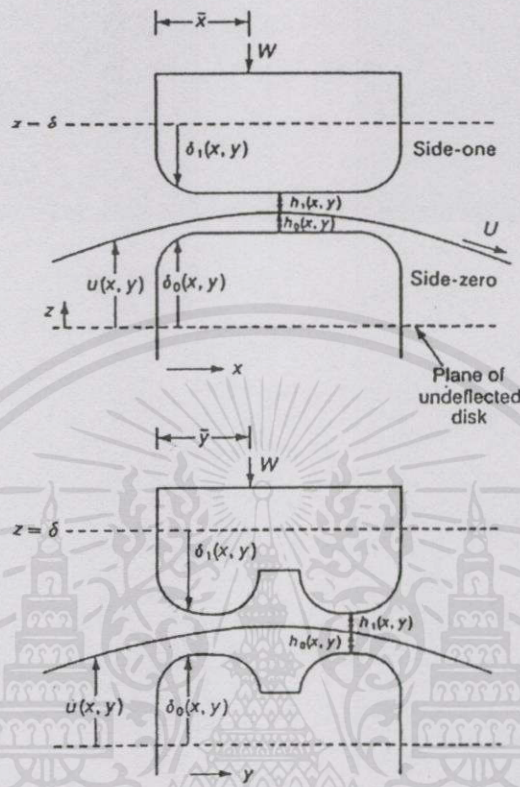
รูปที่ 2.21 การอินเทอร์เฟซกันระหว่างหัวอ่านและฟล๊อปปีดิสก์แบบบันทึกหนึ่งด้าน

ปุ่มหัวอ่านโดยปกติจะมีพื้นผิวกลม ความหนาฟิล์มหล่อลื่นทำได้โดยการเพิ่มแรงสปริงลงในด้านตรงข้ามกับหัวอ่าน คือ เบาะความดัน (Pressure Pad) หรือโดยการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของหัวอ่าน (เช่น ให้เกิดความดันสูงตามแนวยาวของร่อง) ดังในรูปที่ 2.21 แสดงแผนภาพเกี่ยวกับการอินเตอร์เฟสระหว่างหัวอ่านและแผ่นแผ่นฟลอปปีดิสก์ (floppy disk) แบบหนึ่งด้าน โดยแผ่นฟลอปปีดิสก์ (floppy disk) ชนิดนี้มีความหนาประมาณ 80 ไมโครเมตร ประกอบด้วยแผ่นงานคัดได้และมีฟิล์มเคลือบทั้งสองด้าน ซึ่งเป็นสารแม่เหล็กเคลือบ ปุ่มบนหัวอ่านจะมีผิวทรงกลมและมีจานดิสก์ที่หมุนได้จะถูกติดตั้งไว้ระหว่างหัวอ่านทรงกลมและแผ่นรองที่มีแรงกดจากสปริงในระบบเก็บบันทึกหนึ่งแบบหนึ่งด้านหัวอ่านจะเข้าทำการอ่านหรือบันทึกบนด้านล่างของแผ่นดิสก์ซึ่งจะถูกกดเข้าประชิดกับหัวอ่านด้วยแรงดันของสปริง เมื่อสอดแผ่นฟลอปปีดิสก์เข้าในเครื่อง แผ่นดิสก์จะถูกจับยึดที่บริเวณศูนย์กลางซึ่งเป็นช่องสี่เหลี่ยมเล็กๆและหมุนด้วยความเร็วค่อนข้างต่ำขณะที่ทำการอ่านหรือบันทึกข้อมูลลงบนแผ่นดิสก์หัวอ่านจะเข้าทำการอ่านหรือบันทึกบนแผ่นดิสก์โดยผ่านช่องแคบสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ใกล้กับช่องศูนย์กลาง นอกจากนี้แล้วการอ่านหรือบันทึกข้อมูลสามารถทำได้ทั้งสองด้านของแผ่นดิสก์ ในเครื่องเล่นแผ่นฟลอปปีดิสก์ (floppy disk) ทั้งสองด้าน จะไม่มีแผ่นหนุนกดแผ่นดิสก์เข้าประชิดกับหัวอ่านเหมือนแบบหนึ่งด้าน แต่จะมีหัวอ่านเข้ามาแทนที่แผ่นหนุนกดนี้ ซึ่งประกอบด้วยหัวอ่านทั้งสองส่วนที่ทำหน้าที่อ่านและเขียนแต่ละส่วน หัวอ่านทั้งสองจะมีพื้นผิวโค้งกลมและมีการตัดออกเพียงเล็กน้อย เพื่อลดความดันในแนวตั้งฉาก หรือมีพื้นผิวราบแบนและมีแรงกระทำซึ่งกันและกัน

## 2.8.2 แบบเครื่องบันทึกสองด้าน

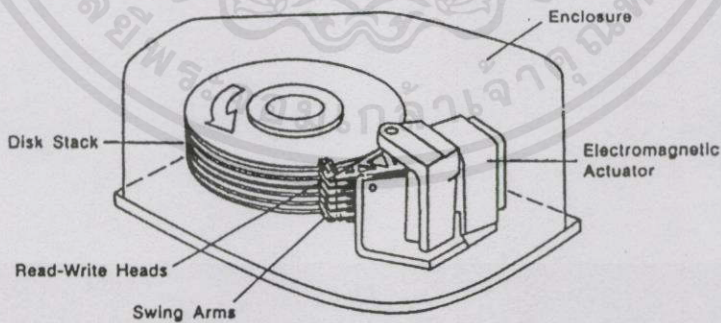
ในรูปที่ 2.22 แสดงรูปร่างของหัวอ่านตรงข้ามกันสำหรับการบันทึกแผ่นดิสก์สองด้าน หัวอ่านที่อยู่ด้านล่างจะอยู่กับที่ ประกอบด้วยหัวอ่านสองอันมีขนาด 50.8 มิลลิเมตร X 40.6 มิลลิเมตร โดยหัวอ่านจะถูกวางไว้ตรงกลาง และมีร่องลดความดันลึก และมีรางสองรางโดยมีความกว้างตามแนวความยาวของรางเท่ากับ 1.52 มิลลิเมตร ในขณะที่หัวอ่านด้านบนแผ่นดิสก์จะมีแรงสปริงกดหัวอ่านด้านบน ความสัมพันธ์ทิศทางของหัวอ่านทั้งสองกับส่วนอื่นในระหว่างทำงานจะถูกกำหนดให้คงที่ หัวอ่านแม่เหล็กจะวางไว้บนแผ่นดิสก์ทั้งสองด้าน ซึ่งหัวอ่านทั้งสองจะมีลักษณะทรงกลมและมีการตัดผิวส่วนหน้าออกเพียงเล็กน้อย เพื่อลดความดันที่เกิดในแนวตั้งฉากหรือมีรูปร่างแบนราบและมีแรงกระทำซึ่งกันและกัน หัวอ่านด้านหนึ่งจะเป็นหัวอ่านชนิดกดเจาะลงไปบนแผ่นดิสก์เล็กน้อย บางครั้งมีค่าเพียง 2-3 ร้อยไมครอน ส่วนหัวอ่านอีกด้านจะวางไว้ในตำแหน่งตรงกันข้าม มีแรงสปริงกดและสวมกับ โครงเข้มนที่สับบนแกนแผ่น โลหะบาง การออกแบบหัวอ่านชนิดที่กดเจาะจะมีตำแหน่งวางที่ขึ้นอยู่กับหัวอ่านอีกอันหรือเบาะความดัน ซึ่งควรจะเลือกให้มีบริเวณที่ทำให้เกิดความหนาฟิล์มคงตัวในบริเวณกว้าง เช่น ในรูป 2.15(a)

สูตรสมการและวิธีการแก้สมการเรย์โนลด์ และสมการความยืดหยุ่น ทั้งคู่จะใช้อธิบาย การเคลื่อนที่ของฟลอปปีดิสก์ (floppy disk) ซึ่งคล้ายกับกรณีแผ่นเทพมาก



รูปที่ 2.22 รูปร่างของหัวอ่านตรงข้ามกันสำหรับการบันทึกแผ่นดิสก์สองด้าน

2.9 เครื่องเล่นรีจิดดิสก์ (Rigid Disk Drive)

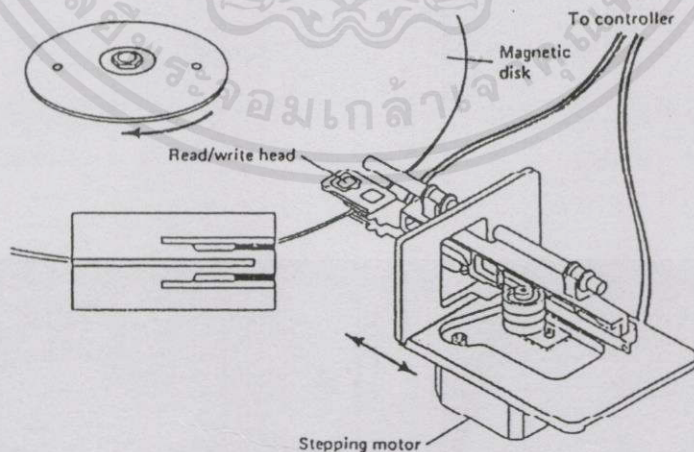


รูปที่ 2.23 โครงสร้างพื้นฐานของการเล่นแผ่นรีจิดดิสก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้นไปบนคอมพิวเตอร์ห้ามไปแจ้งอะไรโดยเด็ดขาด  
 โครงสร้างของเครื่องขับแผ่นดิสก์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.23 โดยระบบเก็บข้อมูลประกอบด้วยแผ่นดิสก์วางซ้อนกันจำนวนหนึ่งติดตั้งสวมเข้ากับเพลาหมุนภายใน โครงหุ้มซึ่งคอยควบคุม อากาศที่ป้อนไม่ให้มีฝุ่นละอองหรือสิ่งปะปนเข้าไปข้างใน การอ่านหรือบันทึกทำได้โดยสวมแผ่น

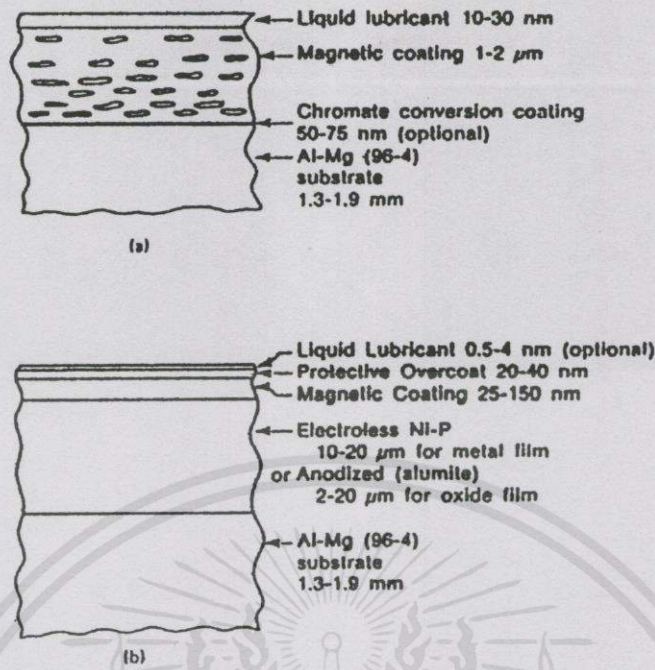
ดิสก์เข้ากับชุดหัวอ่านแต่ละชุดซึ่งแต่ละชุดจะมีแผ่นสปริงบางเชื่อมเข้ากับแขนเลื่อนตำแหน่ง หัวอ่านแต่ละตัวจะถูกยึดด้วยชิ้นส่วนนี้และกดหัวอ่านเข้าประชิดกับผิวดิสก์ โดยการหล่อลื่นของหัวอ่านและผิวดิสก์ขณะอินเตอร์เฟสจะเป็นแบบไฮโดรไดนามิก ซึ่งทำให้ระยะห่างระหว่างหัวอ่านและผิวดิสก์น้อยแต่มีระยะคงที่ แขนของหัวอ่านจะเชื่อมกับเพลาธรรมดาซึ่งจะถูกควบคุมตำแหน่งโดยแอ็คชูเอเตอร์(actuator)แม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้การเข้าทำการอ่านหรือบันทึกทำได้โดยอิสระตามเส้นทางของช่องเก็บข้อมูลที่ต้องการ

เทคโนโลยีของเครื่องขับแผ่นดิสก์โดยปกติแล้วจะกล่าวถึงเทคโนโลยีของวินเชสเตอร์ (Winchester) ใช้รีจิดดิสก์ที่วางซ้อนกันในเครื่องขับ แผ่นดิสก์หมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงที่ พร้อมทั้งมีเส้นทางในการบันทึกข้อมูลหนาแน่นบนพื้นผิวดิสก์ หัวอ่านนี้เคลื่อนที่โดยได้อาศัยแอ็คชูเอเตอร์ที่ติดตั้งบนหัวอ่านแต่ละอันขณะเคลื่อนที่ไปบนเส้นทาง หรือวางข้อมูลที่ต้องการ หัวอ่านหนึ่งหรือสองอันอยู่บนผิวดิสก์แต่ละด้าน และในระหว่างนั้นหัวอ่านก็จะถูกควบคุมไปพร้อมกัน แต่มีเพียงหัวเดียวเท่านั้นที่จะถูกเลือกเขียนหรืออ่านในเวลาหนึ่งๆ โดยตัวควบคุมแอ็คชูเอเตอร์ (actuator), สเต็ปมิ่งมอเตอร์ (stepping motor) หรือขดลวดมอเตอร์เสียง (Voice coil motor; VCM) ซึ่งมอเตอร์ VCM นี้ใช้ในเครื่องขับที่ต้องการห้วงสัญญาณสั้นๆและเร็วกว่า การอินเตอร์เฟสกันระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ที่มีความหนาแน่นข้อมูลที่บันทึกสูงมาก โดยเครื่องขับแผ่นดิสก์ด้วยอัตราเร็วของข้อมูลที่ทำกรอ่านหรือบันทึก หรือเครื่อง IBM 3370 Hard disk drive แสดงไว้ในรูปที่ 2.24 หัวอ่านและแขนยึดหัวอ่านจะถูกออกแบบเพื่อใช้ในการขับ โดยปกติอ้างอิงในทางอุตสาหกรรม คือชนิด IBM 3370 หรือเรียกว่า วิทเนย์(Whitney) หรือ โคโรนาโด โดยมีภาคตัดของความหนาของอนุภาค 1.3 – 1.9 มิลลิเมตร และแผ่นรีจิดดิสก์แบบฟิล์มบางแสดงไว้ในรูป 2.25 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแผ่นดิสก์จาก 95 ถึง 355 มิลลิเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 2.24 การอินเตอร์เฟสกันระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ในหน่วยเก็บข้อมูล IBM 3370 Hard disk drive และแสดงลักษณะของการวางตัวของแผ่นดิสก์และหัวอ่าน



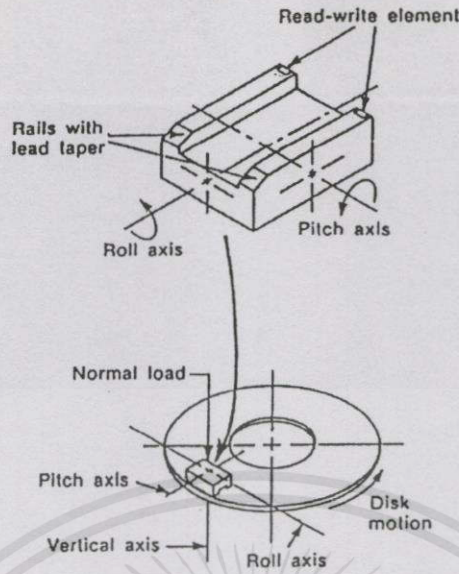
รูปที่ 2.25 ส่วนประกอบต่างๆในแผ่นรีจิดิสก์

(a) แสดงแผ่นดิสก์แบบธรรมดา (b) แสดงแผ่นดิสก์แบบฟิล์มบาง

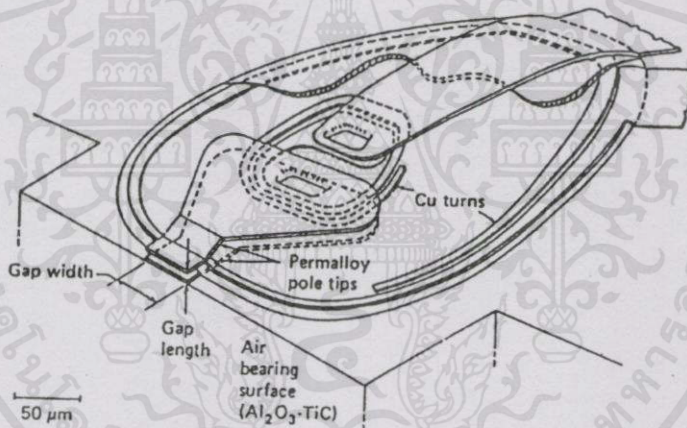
ในรูปที่ 2.26 แสดงหัวอ่านที่วางใกล้กับแผ่นดิสก์ฟิล์มบาง 3370 หัวอ่านออกแบบให้มีสองรางมีลักษณะราบเรียบถูกยึดจับโดยแขนสปริงซึ่งทำจากเหล็กกล้าที่ไม่มีสารแม่เหล็กเป็นส่วนประกอบ ส่วนที่ทำหน้าที่อ่าน-เขียนฟิล์มบางมีคุณสมบัติเหนียวนำสนามแม่เหล็กแสดงในรูป 2.27 ซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณขอบท้ายของหัวอ่านแต่ละราง เมื่อเปรียบเทียบกับทุกส่วนบนหัวอ่าน ส่วนนี้จะมีระยะความสูงของการลอยตัวต่ำที่สุด แต่อย่างไรก็ตามส่วนที่ทำหน้าที่อ่าน-เขียน จะติดตั้งอยู่เพียงรางใดรางหนึ่งบนหัวอ่านที่ใช้ ส่วนอ่านหรือส่วนเขียน แต่ละส่วนจะติดอยู่บนทั้งสองรางซึ่งจะติดตั้งหัวอ่านทั้งบนหรือล่างแผ่นดิสก์ ความกว้างของระยะห่างหาได้จากความกว้างของรางช่องเก็บในสื่อบันทึก หัวอ่านชนิด IBM 3370 เป็นแนวทางในการออกแบบหัวอ่าน IBM 3380 3380D และ 3380E เพียงเปลี่ยนรูปแบบของเครื่องจับให้มีความกว้างของรางเพื่อให้ได้ความสูงของการลอยตัวที่เหมาะสม

ในปี พ.ศ. 2530 ทาง IBM ได้นำเสนอหัวบันทึก 3380K ซึ่งได้ทำการออกแบบให้แต่ละด้านของรางหัวอ่านมีความกว้างบริเวณขอบส่วนต้นหรือขอบนำที่ส่วนปลายของหัวอ่านจะบานออกและกว้าง ส่วนแรกของรางและเล็กแคบลงเรื่อยๆ จนถึงขอบท้ายของหัวอ่าน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 หัวอ่านชนิด IBM 3370 ที่สร้างความดันเพื่อลอยตัวเองในขณะที่ทำการบันทึก



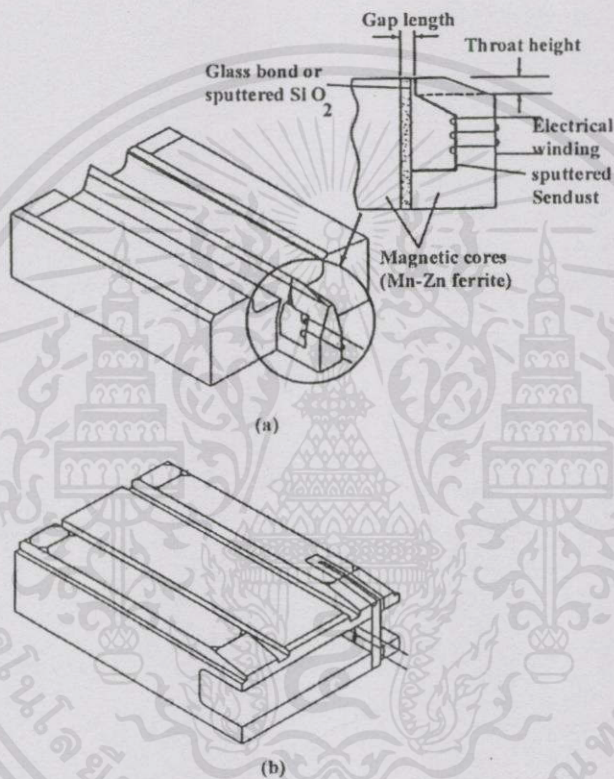
รูปที่ 2.27 ส่วนที่ทำหน้าที่อ่านหรือเขียน(read-write element) ชนิดเหนี่ยวนำที่ติดตั้งไว้บริเวณขอบท้ายของหัวอ่านชนิด IBM 3370

อุปกรณ์แขนยึดจับหัวบันทึกชนิด IBM 3370 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.3 ตัวยึดจับ (Suspension) จะยึดหัวอ่านไว้ซึ่งประกอบด้วยแผ่นสปริงโลหะบาง ภายใต้การภาวะแรงกระทำต่อคานและความโค้งงอได้ของแขนโลหะแผ่นบางนี้

แขนโลหะแผ่นบางจะยึดหัวอ่านบนพื้นผิวฉลึงค์ด้วยขนาดความสูงหนึ่ง ที่ส่วนนี้ช่วยให้เราหลีกเลี่ยงการลอคตัวของหัวอ่านได้ การออกแบบแขนยึดโลหะแผ่นบางนี้จะออกแบบเพื่อให้หัวบันทึกเคลื่อนที่ได้ โดยอิสระรอบจุดที่ให้แรงและให้มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้งกับผิวฉลึงค์ที่ถูกระทำเนื่องจากภาวะแรงที่กดบนคาน ในทำนองเดียวกันกับการหมุนของแผ่นฉลึงค์ที่ประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากท่านมีข้อสงสัยประการใด กรุณาติดต่อฝ่ายเอกสารที่ดูแลเรื่องลิขสิทธิ์ โทร. 0-2942-1000

แกนพิชท์ และแกนหมุนที่ถูกกระทำจากความโค้งงอ ของแกนขีดโลหะแผ่นบางนี้ ในขณะที่ทุกการเคลื่อนไหว จะถูกบังคับโดยแกนขีดโลหะแผ่นบางนี้ จากรูปที่ 2.26 แกนขีดโลหะแผ่นบางจะป้อนแรงสปริงกดหัวอ่านในแนวตั้งฉากกับผิวดิสก์ประมาณ 0.15 นิวตัน (15 กรัม) ในเครื่องเก็บบันทึกข้อมูลที่มีความจุข้อมูลสูง และแรงกดประมาณ 0.095 นิวตัน (9.5 กรัม) ในระบบเครื่องเก็บข้อมูลที่มีความจุข้อมูลต่ำ ซึ่งแรงกดเหล่านี้จะถูกทำให้สมดุล โดยการหล่อลิ้นแบบไฮโดรไดนามิก ด้วยฟิล์มอากาศ เมื่อแผ่นดิสก์หมุน ซึ่งเราจะพบว่าการสัมผัสกันระหว่างหัวอ่านกับผิวแผ่นดิสก์จะเกิดขึ้นในระหว่างที่เริ่มและหยุดการทำงานของเครื่องบันทึก



รูปที่ 2.28 หัวอ่านสำหรับเครื่องขับแผ่นดิสก์ขนาดเล็ก

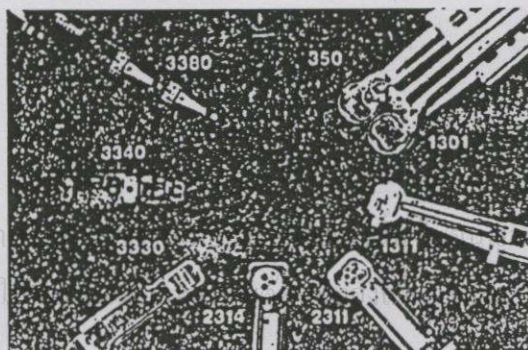
- (a) หัวอ่านมินิโมโนลิธิก (minimonolithic) หรือ มินิวินเชสเตอร์ (mini-Winchester)  
 (b) หัวอ่านมินิคอมโพสิท (minicomposite)

เครื่องขับแผ่นดิสก์ขนาดเล็กสำหรับการใช้งานที่มีความยาวนานของการใช้งานสั้น จะใช้หัวอ่านแบบแกนวงแหวนแม่เหล็กและมีขดลวดพันรอบแกน ซึ่งโดยปกติแล้วหัวอ่านที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปมีอยู่ 2 ประเภท คือ หัวอ่านที่มีชื่อว่า มินิโมโนลิธิก (minimonolithic) หรือ มินิวินเชสเตอร์ (mini-Winchester) และหัวอ่านที่มีชื่อว่า มินิคอมโพสิท (minicomposite) หัวอ่าน minimonolithic เป็นหัวอ่านที่ประกอบด้วย โครงร่างของหัวอ่านและแกนกลางที่ทำเป็นขดลวดซึ่งทั้งสองส่วนประกอบขึ้นจากวัสดุแม่เหล็กที่เรียกว่า monolithic ซึ่งออกแบบให้มี 3 ราง และในสามรายนี รางที่อยู่ขอบนอกทั้งสองรางจะมีการบากให้เกิดความราบเอียง (taper-flat) จุดศูนย์กลางของ

รางจะให้ เป็นความกว้างของส่วนแม่เหล็กที่ติดที่ขอบท้ายของหัวอ่าน เมื่อแกนเหล็กมีรูปร่างดังแสดงในรูป 2.28(a) ส่วนแกนนี้โดยทั่วไปทำจากเหล็กแมงกานีส-สังกะสี (Mn-Zn ferrite) ซึ่งเป็นกระจกต่อเชื่อมกับศูนย์กลางวง ซึ่งโดยทั่วไปทำจากเหล็กแมงกานีส-สังกะสี (รูป 2.28(a) ชั้นบางๆ ของ Sendust ประกอบด้วยเหล็ก 85% ซิลิคอน 9% และอลูมิเนียม 6%) ฉีดพ่นลงไปบนแกนเหล็ก เพื่อให้หัวบันทึกมีสมรรถนะการทำงานสูง ซึ่งอ้างถึงโลหะอยู่ในช่องว่างของหัวอ่าน (metal-in-gap ;MIG Head) การออกแบบหัวอ่าน minimonolithic ถูกถ่ายทอดมาจากหัวอ่าน IBM-3340 หรือ เทคโนโลยีวินเชสเตอร์ ความแตกต่างโดยหลักๆ คือ ขนาดรูปร่าง มวล และการยึดจับ หัวอ่านวินเชสเตอร์มีความยาว 5.6 มิลลิเมตร กว้าง 3.9 มิลลิเมตร สูง 1.4 มิลลิเมตร และแรงกดยึด 0.7 มิลินิวตัน (0.07 กรัม) สำหรับหัวอ่านมินิวินเชสเตอร์ (เหมือนกับหัวอ่านชนิด IBM-3370 ขนาดใหญ่)

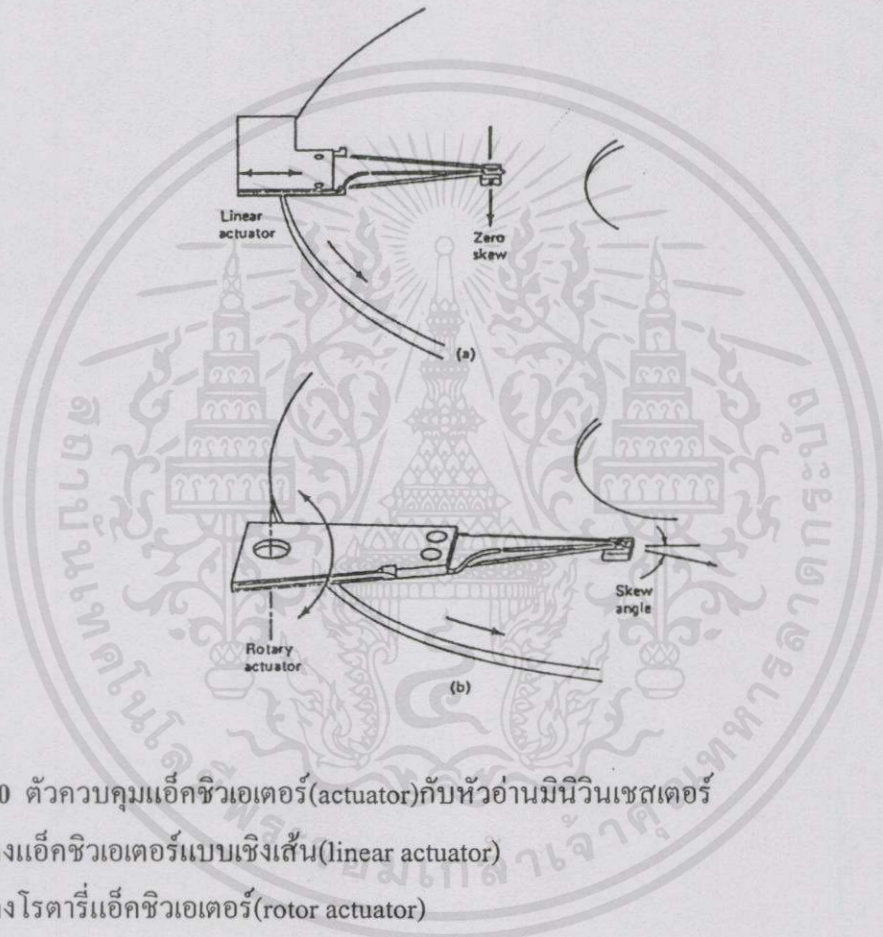
หัวอ่านมินิคอมโพสิทประกอบด้วยแกนแมงกานีส-สังกะสี (Mn-Zn) ประกอบด้วยช่องอ่านและเขียน ซึ่งเป็นกระจกเชื่อมต่อกับผิวของหัวอ่านที่ไม่เป็นสารแม่เหล็กเป็นหัวอ่านที่ทนทานต่อความสึกหรอ(เช่น แคลเซียมไททานต) ซึ่งมีขนาดโดยประมาณเท่ากับหัวอ่าน (minimonolithic slider) ดังรูป 2.28(b) ตัวแขนแผ่นโลหะบาง (suspension) ที่ใช้ยึดหัวอ่านชนิด 3370 โดยปกติใช้สำหรับหัวอ่านในเครื่องขับขนาดเล็ก (small drive) และมีแรงกระทำบนหัวอ่านเพียง 0.095 นิวตัน (9.5 กรัม)

บางครั้งแขนโลหะแผ่นบางยึดหัวอ่านชนิด IBM-3340 วินเชสเตอร์ก็นำเอามาใช้ด้วยเช่นกัน โดยประมาณแล้วมีขนาดเท่ากันแต่มีความแข็งแรงสปริงต่ำกว่าเพียงเล็กน้อย และหัวอ่านถูกติดตั้งไว้บนคานให้แรงรวมทั้งโครงเข็มทิศกิมบอล(gimbal)สวมแทนที่แผ่นโลหะบางโค้งงอ (Flexure) วิศวกรรมการความก้าวหน้าทางด้านการออกแบบหัวอ่านและแขนยึดหัวอ่าน (suspension) ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.29 โดยปกติแล้ว หัวอ่านจะถูกสวมไว้บนแผ่นโลหะ โค้งงอได้ในทิศทางที่เหมาะสมเนื่องจากตัวควบคุมแอกชูเอเตอร์ที่มีการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น (linear actuator) จุดที่จับยึดตามแนวแกนยาวของแผ่นโลหะบาง โค้งงอได้นี้ จะอยู่ในทิศทางของการเคลื่อนปรับของตัวควบคุมรวมทั้งหัวอ่านจะสวมติดไว้ที่มุมขวาดังรูปที่ 2.24 อย่างไรก็ตามแนวโน้มในปัจจุบันนี้ต้องการให้ทุกส่วนมีขนาดเล็กลง ยิ่งกว่านั้นแล้วอุปกรณ์เก็บข้อมูลลงในแผ่นดิสก์จะต้องมีขนาดกระทัดรัดมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการใช้ที่มีความยาวนานในการสิ้นสุดการทำงานที่ค่อนข้างสั้น



รูปที่ 2.29 วิศวกรรมการของการออกแบบหัวอ่าน(Slider) และ ที่ยึดหัวอ่าน(Suspension)

ไม่ว่าจะเป็นความกระตือรือร้นได้ น้ำหนักน้อย และราคาไม่แพงของตัวควบคุมแฉีกชีวเอเตอร์ที่มีการเคลื่อนที่แบบหมุนได้ (rotary actuator) จึงใช้ในเครื่องขับแผ่นดิสก์เพื่อประหยัดพื้นที่ของตัวเครื่อง หัวอ่านจะถูกสวมไว้ ระหว่างแขนของโรตารีของตัวควบคุมแฉีกชีวเอเตอร์ที่มีการเคลื่อนที่แบบหมุน (rotary actuator) รูป 2.30 แสดงแผนภาพระหว่างตัวควบคุมแฉีกชีวเอเตอร์ที่มีการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น (linear actuator) และตัวควบคุมแฉีกชีวเอเตอร์ที่มีการเคลื่อนที่แบบหมุน (rotary actuator) กับหัวอ่านวินเชสเตอร์ขนาดเล็ก (mini-Winchester) ซึ่งใช้ในเครื่องขับขนาดเล็ก



รูปที่ 2.30 ตัวควบคุมแฉีกชีวเอเตอร์(actuator)กับหัวอ่านมินิวินเชสเตอร์

(a) แสดงแฉีกชีวเอเตอร์แบบเชิงเส้น(linear actuator)

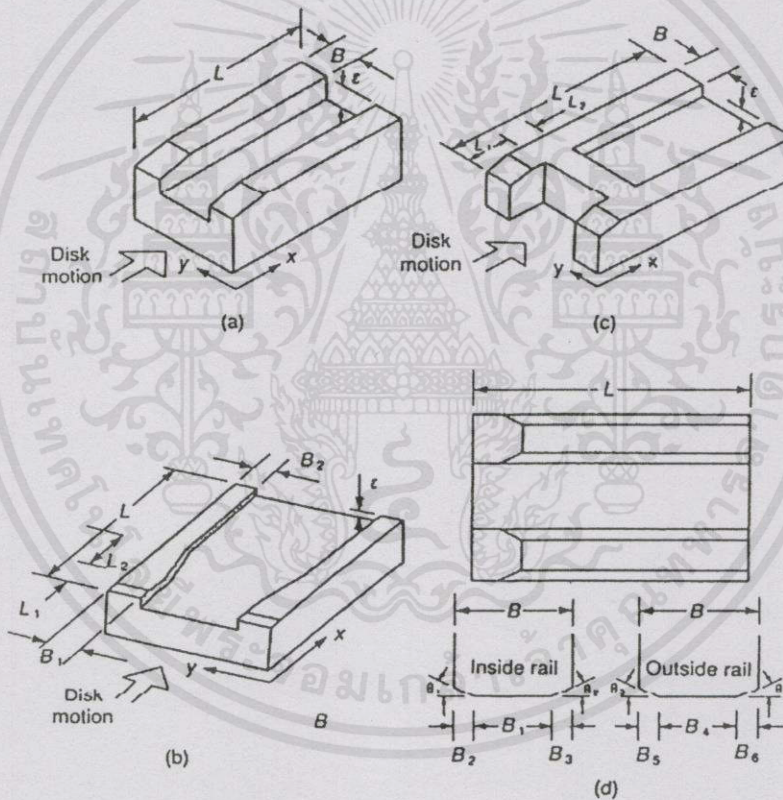
(b) แสดงโรตารีแฉีกชีวเอเตอร์(rotor actuator)

ทิศของหัวอ่านใน ตัวควบคุมแฉีกชีวเอเตอร์ที่มีการเคลื่อนที่แบบหมุน (rotary actuator) จะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงรัศมีบนผิวดิสก์อย่างต่อเนื่องการวัดทิศทางนี้คือมุมสกรู ซึ่งมุมสกรูนี้เป็นมุมระหว่างทิศทางของความเร็วดตามแนวสัมผัส (เส้นรอบวงของแผ่นดิสก์) แผ่นดิสก์ ณ จุดๆ หนึ่ง และทิศทางในแนวตามยาวของหัวอ่าน ในขณะที่ตัวควบคุมแฉีกชีวเอเตอร์ที่มีการเคลื่อนที่

แบบเชิงเส้น (linear actuator) มีมุมสกรูเพียงเล็กน้อยหรือแทบไม่มี แต่สำหรับ rotary actuator มีมุมสกรูประมาณ  $\pm 12 - 13$  องศา บนรัศมีภายในและภายนอก ซึ่งที่มิกานำไปใช้

## 2.10 การอินเตอร์เฟซกันระหว่างหัวอ่านกับรีจิสเตอร์

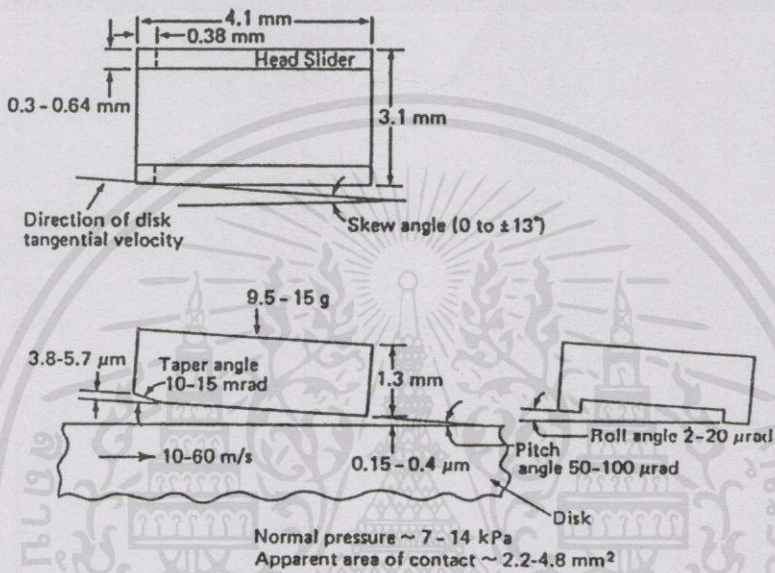
หัวอ่านที่มีอากาศรองพื้นแบบสร้างตัวเองได้ ได้ถูกนำเสนอขึ้นครั้งแรกในเครื่อง IBM-3370 โดยมีแผ่นดิสก์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 355 มิลลิเมตร ซึ่งแสดงไว้ในรูป 2.31(a) โดยหัวอ่านชนิดที่ประกอบด้วยสองรางกับร่องกว้าง ที่มีความดันบรรยากาศ เพื่อให้อากาศที่รองพื้นแยกหัวอ่านออกจากผิวดิสก์ และรางบนหัวอ่านจะมีส่วนราบเอียง ส่วนที่ราบเอียงด้านหน้าของหัวอ่านจะเป็นส่วนที่ช่วยให้เกิดความดันอากาศที่หล่อลื่น ในขณะที่อากาศหล่อลื่นบางส่วนสูญหายเนื่องจากการรั่วไหลบริเวณขอบรางเป็นผลจากมุมพิทช์ (มุมกดตามแนวยาวของหัวอ่าน) หัวอ่านที่มีลักษณะเหมือนกันคือ หัวอ่าน IBM-3380, 3380D และ 3380E โดยการเปลี่ยนขนาดความกว้างของรางเพื่อให้ได้ความหนาฟิล์มที่เหมาะสม



รูปที่ 2.31 (a) แสดงรูปร่างของหัวอ่าน IBM 3370 ชนิดสองรางซึ่งมีรูปร่างราบเอียง (b) ภาพแสดงรูปร่างของหัวอ่านชนิด IBM 3380K (c) แสดงรูปร่างของหัวอ่านชนิด zero load หรือ self-loading (d) รูปร่างของหัวอ่านชนิด transverse pressurized contour (TPC)

พื้นผิวอากาศที่รองพื้นของหัวอ่าน mini-Winchester ชนิดเหนียวน้ำ โดยทั่วไปใช้เก็บเอกสารที่มีขนาดเล็กกว่า (แผ่นดิสก์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 95 มิลลิเมตร และ 130 มิลลิเมตร) โดยมีหัวอ่านเหมือนกับหัวอ่านชนิด 3370

แผนภาพแสดงการอินเตอร์เฟกชันระหว่างหัวอ่านชนิด IBM-3370 กับแผ่นดิสก์ประกอบ ด้วยขนาดต่างๆ ของหัวอ่านและสภาพการทำงานใดแสดงไว้ในรูปที่ 2.32 สำหรับเครื่องขับแผ่น ดิสก์ที่ใช้แผ่นดิสก์ขนาดเล็กความกว้างของรางบนหัวอ่านโดยทั่วไปแล้วจะกว้างกว่าในเครื่องขับ แผ่นดิสก์ที่มีขนาดแผ่นดิสก์ขนาดใหญ่กว่า เพื่อให้มีความสูงของการลอยตัวของหัวอ่านบนผิวแผ่น ดิสก์เหมาะสม ภาระแรงกระทำต่อหัวอ่านจะมีค่าต่ำกว่า และมีมุมกด (มุมพิทซ์) ที่มีขนาดเล็กกว่า ด้วย สำหรับแผ่นดิสก์ที่มีขนาดเล็กกว่า เพราะว่าแผ่นดิสก์หมุนด้วยความเร็วสั้นไหลดต่ำกว่า



รูปที่ 2.32 การอินเตอร์เฟกชันระหว่างหัวอ่านชนิด IBM-3370 กับแผ่นดิสก์

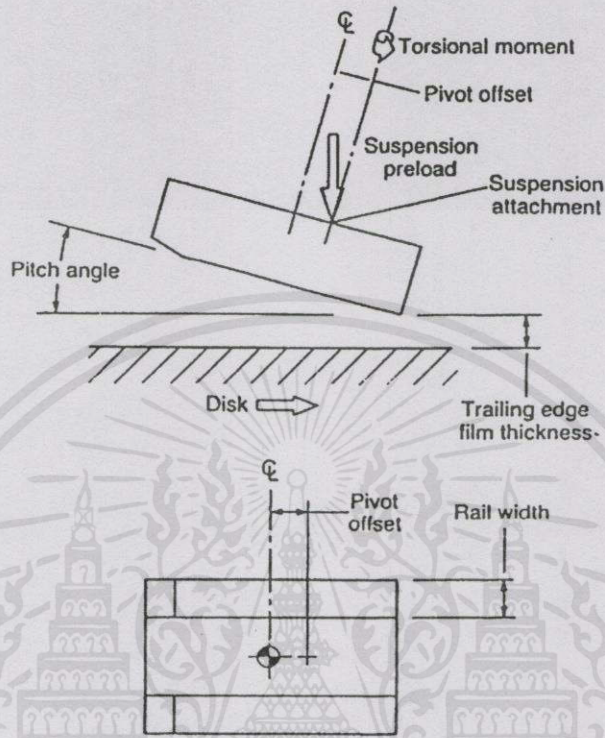
ความสูงของการลอยตัวของหัวอ่านถูกแสดงได้โดยตัวแปรสำคัญๆ สามตัว คือ

1. ความหนาฟิล์ม (ต่ำสุด) ที่บริเวณขอบท้ายของหัวอ่าน
2. มุมกดตามแนวความยาวของหัวอ่าน (pitch angle)
3. มุมหมุนเอียง (roll angle)

ในอนาคตจำเป็นที่จะต้องลดความหนาของฟิล์มให้ต่ำกว่าเดิมซึ่งทำได้โดยการเปลี่ยนพารามิเตอร์ของหัวบันทึก อาจจะหนึ่งตัวหรือมากกว่านั้น เพื่อหาทางลดความสามารถรับภาระการรอนสั้นของหัวอ่าน เมื่อลดความกว้างของรางทำให้มุมพิทซ์ลดลงด้วย

การลดความหนาฟิล์มและมุมพิทซ์ในเวลาเดียวกันจะทำให้ความหนาฟิล์มอากาศโดยเฉลี่ยลดลง ซึ่งถ้าหากฟิล์มมีความหนาลดลงมาก มีโอกาสที่หัวอ่านจะสัมผัสแผ่นดิสก์ ถ้ามุมพิทซ์เพิ่มขึ้นเมื่อความหนาฟิล์มขอบท้ายลดลง การลดลงโดยรวดเร็วของค่าความหนาของฟิล์มโดยเฉลี่ยจะถูกขจัดทิ้งไป ซึ่งทำให้โอกาสในการสัมผัสกันระหว่างผิวดิสก์ และหัวอ่านลดลง การออกแบบในปัจจุบันจึงต้องเพิ่มมุมพิทซ์ โดยการตั้งระยะจุดยึดบนหัวอ่านเลื่อนไปด้านท้ายของหัวอ่าน ดังแสดง

ในรูปที่ 2.33 ซึ่งจะทำให้เวลาที่ใช้ในขณะเริ่มต้นทำงานมากขึ้น และเวลาที่ใช้ในการเข้าทำการบันทึกมากขึ้นด้วย จึงลดความสามารถในการทำงานลงด้วย



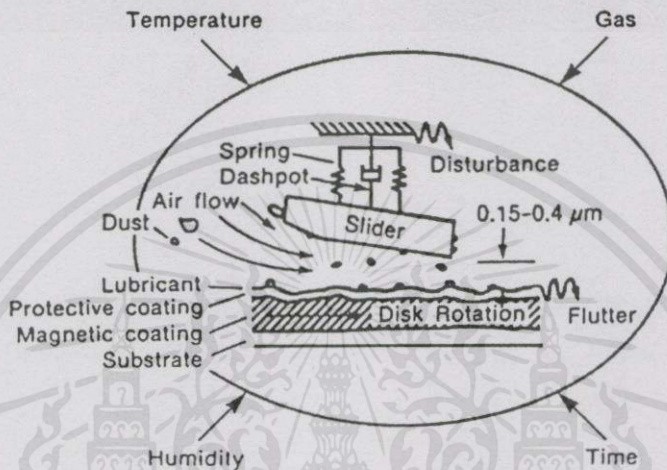
รูปที่ 2.33 การให้ระยะของจุดยึดจับหัวอ่านชนิด IBM 3370 เมื่อมุมพิทช์หรือมุมกดเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

## ทฤษฎีพื้นฐาน

### 3.1 ทฤษฎีพื้นฐานของการหล่อลื่นด้วยแก๊ส[1]



รูปที่ 3.1 การอินเตอร์เฟซระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์

ในการทำงานในระบบเก็บข้อมูล โดยแท้จริงนั้นประกอบด้วยหลายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำงาน ดังแสดงในรูป 3.1 โดยเฉพาะอย่างยิ่งทั้งปัจจัยภายในการทำงาน เช่น ระยะเวลาลอยตัวของหัวอ่านที่ต้องควบคุมให้เหมาะสม แรงต่างๆที่กระทำต่อหัวอ่านเพื่อให้หัวอ่านอยู่ในสภาพสมดุล อากาศที่รองพื้นต้องสะอาดปราศจากฝุ่นละอองเพราะเป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหาย รวมทั้งปัจจัยภายนอกเช่น อุณหภูมิ ความชื้น เวลา และอื่นๆ ซึ่งในการวิเคราะห์คำนวณการทำงานของหัวอ่านจะทำการศึกษาระยะการลอยตัวของหัวอ่าน ความดัน แรงที่กระทำต่อหัวอ่าน ภาระแรงกระทำบนหัวอ่าน ตำแหน่งของจุดยึดบนหัวอ่าน และค่าสัมประสิทธิ์สปริงและแดมป์ทั้งพฤติกรรมทางสถิตและทางพลวัต

การหล่อลื่นในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าอาศัยฟิล์มอากาศแบบไฮโดรไดนามิก (hydrodynamic) เพื่อหลีกเลี่ยงความสึกหรอขณะที่หัวอ่านอินเตอร์เฟซกับสื่อบันทึก (head-medium interface : HMI) ปัจจุบันการออกแบบและพัฒนาหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อเพิ่มความสามารถในการบันทึกข้อมูลรวมทั้งเก็บข้อมูลได้ปริมาณมากจึงจำเป็นต้องพยายามให้หัวอ่านมีระยะห่างจากสื่อบันทึกน้อยๆ โดยอาศัยฟิล์มอากาศบางๆหล่อลื่น ฟิล์มอากาศนี้จะต้องมีความหนาเพื่อพอที่จะทำให้หัวอ่านลอยตัวแยกห่างจากสื่อบันทึกโดยไม่ทำให้เกิดการสัมผัสกัน เพื่อป้องกันแรงกระทำซึ่งกัน

และกันระหว่างหัวอ่านและสื่อบันทึกที่มีมากเกินไปภายใต้ทุกสภาพการทำงาน พิล์มอากาศที่หล่อลื่นจะต้องบางเพียงพอที่ทำให้เกิดสัญญาณการบันทึกขนาดใหญ่เพียงพอด้วย

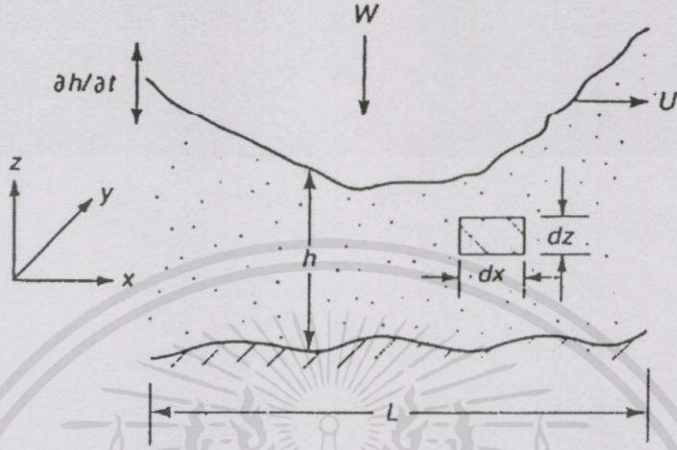
หลังจากที่เริ่มทำการอ่านหรือบันทึกบันทึกข้อมูล พิล์มอากาศร่องลื่นจำนวนมากจะถูกสร้างขึ้นด้วยความเร็วของการลื่น ไดรคองที่ค่าหนึ่ง (เป็นที่รู้จักคือความเร็วเริ่มต้นในการลื่นตัวของหัวอ่าน) โปรไฟล์(profile)ความหนาของฟิล์มอากาศ(air film thickness)จะก่อตัวขึ้นเนื่องจากการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิก โดยความดันอากาศที่เกิดขึ้นจะต้องสมดุลกับแรงกระทำจากภายนอกที่ป้อนลงบนหัวอ่านในขณะอินเตอร์เฟกกับสื่อบันทึก การที่จะเข้าใจถึงการทำงานในระบบเก็บบันทึกทางแม่เหล็กไฟฟ้าได้ จะต้องพิจารณาชั้นของฟิล์มอากาศที่บริเวณขอบของหัวอ่านที่เคลื่อนตัวไปกับพื้นผิวดิสก์ซึ่งเคลื่อนที่ลื่นไถลไปด้วยความเร็ว ดังนั้นความดันไฮโดรไดนามิกจะเกิดขึ้นและรองรับแรงกระทำระหว่างหัวอ่านและผิวดิสก์ต่อฟิล์มอากาศที่ร่องลื่น ทฤษฎีการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกและอีลาสโตไฮโดรไดนามิกนำมาใช้เพื่อทำการออกแบบหัวอ่านเพื่อให้มีโปรไฟล์ความหนาของฟิล์มอากาศตามความต้องการและสมรรถนะในการร่องลื่น

### 3.2 สมการเรย์โนลด์(Reynolds Equation)[1]

ทฤษฎีวิเคราะห์การหล่อลื่น โดยสมการที่ครอบคลุมเกี่ยวกับการสร้างความดันของฟิล์มหล่อลื่นที่รู้จักกันคือสมการเรย์โนลด์ ซึ่งสมการนี้เป็นสมการดิฟเฟอเรนเชียลที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความดัน, ความหนาแน่น, ความเร็วที่บริเวณพื้นผิวและความหนาของฟิล์มหล่อลื่น เรย์โนลด์ได้สร้างสมการนี้ขึ้นเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1886 สมการพื้นฐานของทฤษฎีการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกที่เกิดขึ้นจากการรวมกันระหว่างสมการ นาเวียร์-สโตก และสมการความต่อเนื่อง[35-38] โดยสมมติให้การหล่อลื่นมีลักษณะดังนี้

1. พื้นผิวระหว่างหัวอ่านและพื้นผิวดิสก์เป็นพื้นผิวเรียบ
2. ของไหลที่หล่อลื่นมีคุณสมบัติเป็นของไหลนิวโตเนียนและการไหลเป็นแบบลามินาร์
3. ความหนืดของของไหลมีค่าคงที่
4. อุณหภูมิของผิวหัวอ่านมีค่าเท่ากับสม่ำเสมอและคงที่
5. แรงเฉื่อยซึ่งเป็นผลมาจากความเร่งในของเหลว(ในกรณีที่ใช้ของเหลวเป็นสารหล่อลื่น) มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับแรงเนื่องจากความหนืด ดังนั้นอาจจะตัดไม่พิจารณาได้
6. ไม่พิจารณาผลจากความตึงเครียดของพื้นผิว
7. ความหนาของฟิล์มของไหลเปรียบเทียบกับขนาดต่างๆของหัวอ่านมีค่าน้อยกว่ามาก
8. ที่ขอบของพื้นผิวไม่เกิดการลื่นไถล

สำหรับก๊าซสมบูรณ์ที่มีค่าอุณหภูมิคงที่ สมมุติให้ความหนาแน่นเป็นสัดส่วนกับความดัน ดังนั้นสมการเรย์โนลด์์พิกัดคาร์ทีเซียนที่อุณหภูมิคงที่ในกรณีที่มีฟิล์มอากาศเป็นสารหล่อลื่นที่มีสภาพการหล่อลื่นแบบลื่นไหลเพียงอย่างเดียว (ไม่คิดความปั่นป่วนของอากาศ) ดังรูป 3.2



รูปที่ 3.2 การเคลื่อนที่สัมผัสกันระหว่างสองพื้นผิวแข็ง

สมการเรย์โนลด์์นี้คือ

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

เมื่อ  $X$  และ  $Y$  คือ พิกัดแนวแกน โดย  $X$  อยู่ในทิศทางการลื่นไหลของหัวอ่าน

$t$  คือ เวลา

$\eta$  คือ ความหนืดสมบูรณ์ของแก๊ส

$U$  คือ ความเร็วลื่นไหลของพื้นผิวที่มีการเคลื่อนที่ ( ผิวดิस्क )

$p$  คือ ความดันของแก๊สที่ตำแหน่งนั้นๆ

$h$  คือ ความหนาของแก๊สที่ตำแหน่งนั้นๆ

เทอมแรกที่อยู่ด้านขวาของสมการ  $6 \frac{\partial [Uph]}{\partial x}$  เป็นผลเนื่องจากแรงเฉือนบนพื้นผิวเมื่อการ

เอกสารเคลื่อนที่ตามแนวความยาวของหัวอ่าน เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอมที่สองที่อยู่ด้านขวาของสมการ  $12 \frac{\partial [ph]}{\partial t}$  เป็นผลเนื่องจากแรงกดทำให้เกิดการเคลื่อนที่ขึ้นลงตามแนวตั้งฉากกับผิวคิสิกต์ต่อภาระแรงที่ป้อน

สมการเรย์โนลด์มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีความต่อเนื่องของกลศาสตร์ของไหล ถ้าระยะความสูงของเส้นทางการเคลื่อนที่อิสระโดยเฉลี่ยของโมเลกุล (the mean free path of the molecules) ของอากาศมีระยะสูงกว่าความหนาฟิล์มอากาศหล่อลื่นจะทำให้โมเลกุลของอากาศเคลื่อนที่โดยอิสระ แต่อย่างไรก็ตามถ้าเส้นทางการเคลื่อนที่อิสระโดยเฉลี่ยของโมเลกุล (the mean free path of the molecules) มีระยะความสูงใกล้เคียงกับความหนาฟิล์มอากาศ ( $h$ ) จะทำให้อากาศทั้งหมดไหลไม่ต่อเนื่อง และมีพฤติกรรมการไหลค่อนข้างกระจกระบายไม่เป็นระเบียบ

ชั้น (Layer) ของอากาศที่เข้าใกล้กับพื้นผิวแข็งทันทีทันใดทำให้ความเร็วสิ้นไหลสัมผัสพื้นมีค่าจำกัด ทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่อากาศมีความหนืดลดลง (rarefaction) ดังนั้นอัตราส่วนของระยะเส้นทางการเคลื่อนที่อิสระโดยเฉลี่ยโมเลกุลอากาศต่อความหนาของฟิล์มอากาศหล่อลื่นเป็นค่าที่ใช้วัดระดับการลดความหนืดของอากาศ (rarefaction)

ค่าเลขคูเซนัมเบอร์ (Knudsen number) ขึ้นอยู่กับตัวแปรการไหล ณ ตำแหน่งนั้นๆ ที่แสดงได้คือ

$$K = \lambda/h \quad (3.2)$$

เมื่อ  $\lambda$  คือ ระยะความสูงของเส้นทางการเคลื่อนที่อิสระโดยเฉลี่ยโมเลกุลอากาศ (the mean free path of the molecules)

$h$  คือ ความหนาของฟิล์มหล่อลื่น

โดยมีเงื่อนไขการไหลที่บริเวณขอบของระบบการเคลื่อนที่ที่พิจารณาระหว่างการไหลแบบต่อเนื่องสม่ำเสมอ, การไหลแบบสิ้นไหล และการไหลของโมเลกุลโดยอิสระที่ขึ้นอยู่กับค่าเลขคูเซนัมเบอร์ (Knudsen number;  $K$ ) ซึ่งสามารถอธิบายค่าโดยประมาณได้ตามสมการดังกล่าวนี้

การไหลสม่ำเสมอต่อเนื่อง :  $K < 0.01$

การไหลแบบสิ้นไหล :  $K < 3$

การไหลแบบปั่นป่วน :  $K > 3$  หรือ  $\frac{K}{\sqrt{Re}} < 10$

การไหลของโมเลกุลโดยอิสระ :  $\frac{K}{\sqrt{Re}} > 10$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ก็ตาม ถ้าหากที่ Reynold number =  $\rho U h / \eta$  แสดงว่าค่า  $Re$  ขึ้นอยู่กับความหนาฟิล์ม สำหรับการบันทึกทางแม่เหล็ก  $\rho U h / \eta$  มีค่าประมาณ 0.1 ซึ่งจะสังเกตพบว่าปรากฏการณ์ความหนืดของ

อากาศลดลง (rarefaction) จะไม่ขึ้นกับค่า  $K$  เพียงค่าเดียว เพราะปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้มีผลน้อยลงในกรณีที่มีการลดทอนนั้นรองรับแรงอย่างหนัก

ในระบบการลดทอนแบบคลื่นไกลเหมือนกับกรณีที่มีการไหลเป็นการไหลแบบต่อเนื่องที่อาศัยทฤษฎีความต่อเนื่องมาอธิบาย เพียงแต่สภาพการไหลที่บริเวณขอบเปลี่ยนแปลงจากความเร็วบริเวณขอบมีค่าเท่ากับศูนย์กลางเป็นความเร็วคลื่นไกล สภาพการเปลี่ยนแปลงการไหลแบบคลื่นไกลโดยแท้จริง มีสมการที่อาจจะนำมาใช้อธิบายน้อยเมื่อระยะห่างของผิวร่องคลื่นเท่ากับระยะความสูงของเส้นทางการเคลื่อนที่อิสระโดยเฉลี่ยของโมเลกุลแก๊ส จึงสนใจเพียงตัวปรับแก้กำลังหนึ่งของความเร็วที่ผิวขอบ นอกจากนี้ Gans[39] ได้พยายามวิเคราะห์ทางทฤษฎีเพื่อสร้างสมการเรย์โนลด์ที่พิจารณาเงื่อนไขการไหลแบบคลื่นไกลลงไปด้วย จากทฤษฎีของแก๊ส เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของโมเลกุลโดยเฉลี่ยในการไหลทั้งหมด ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า สมการที่ Burg dorfer[40] สร้างไว้ก่อนหน้านี้นี้เป็นจริงและให้ความใกล้เคียง ซึ่งได้มีการทดลองพิสูจน์ไว้โดย[9]

จากสมการของ Burg dorfer[41] แสดงความสัมพันธ์ของความหนืด ณ จุดๆหนึ่ง กับความหนืดที่ความดันบรรยากาศ ( $\eta_a$ ) คือ

$$\eta = \frac{\eta_a}{1 + (6a\lambda/h)} \quad (3.3)$$

เมื่อ  $a$  ในสมการที่(3.3) คือ สัมประสิทธิ์ปรับแก้พื้นผิวสำหรับ นอกจากนี้แล้วพบว่าระยะความสูงของเส้นทางการเคลื่อนที่อิสระโดยเฉลี่ยของ โมเลกุลเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาแน่น  $\rho$  [42] สำหรับแก๊สสมบูรณ์ภายใต้สภาวะอุณหภูมิคงที่ คือ

$$p/p_a = \rho/\rho_a = \lambda_a/\lambda \quad (3.4)$$

เมื่อ  $\lambda_a$  คือ เส้นทางการเคลื่อนที่อิสระโดยเฉลี่ยของ โมเลกุลที่ความดันบรรยากาศ และ  $p_a$  คือ ความดันบรรยากาศ ค่าของ  $K$  ที่ความดันบรรยากาศ คือ

$$K = \lambda_a/h_m \quad (3.5)$$

เมื่อ  $h_m$  คือ ความหนาที่ฟิล์มอ้างอิง ( โดยปกติมีค่าเฉลี่ยความหนาฟิล์มต่ำสุด ) ดังนั้น สมการ ความหนืดประสิทธิผลจะกลายเป็น อักษรย่อเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะพิมพ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\eta = \frac{\eta_a}{1 + (6aKp_a h_m / ph)} \quad (3.6)$$

แต่เนื่องจากในปัจจุบันระบบการเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงและมีความจุข้อมูลสูง จึงต้องมีการพัฒนาการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน ให้หัวอ่านมีระยะการลอยตัวบนผิวดิสก์ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ซึ่งปัจจุบันทำได้ถึงค่าร้อยละของหน่วยไมโครเมตร ดังนั้นทฤษฎีการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกแบบที่ไม่ได้พิจารณาการสิ้นไหลบริเวณผิวขอบจึงไม่เหมาะสมในการใช้พิจารณาวิเคราะห์ ดังนั้นสมการการหล่อลื่นจะต้องประกอบด้วยผลของการสิ้นไหลด้วย

จากสมการ (3.6) ที่ใช้แสดงความหนืด ณ ตำแหน่งต่างๆ แทนค่าลงไปนสมการเรย์โนลด์ (3.1) และตัดเทอมที่มีความเร็วตามแนวความกว้างของหัวอ่านจะทำให้ได้สมการเรย์โนลด์ ดังแปลงคือ

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ ph^3 \left( 1 + \frac{6aKp_a h_m}{ph} \right) \frac{\partial p}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ ph^3 \left( 1 + \frac{6aKp_a h_m}{ph} \right) \frac{\partial p}{\partial y} \right] = 6\eta_a \frac{\partial}{\partial x} (Uph) + 12\eta_a \frac{\partial (ph)}{\partial t} \quad (3.7)$$

เมื่อทำให้อยู่ในรูปที่ไม่มีหน่วยหรือไร้มิติ (nondimensional form) ที่ความเร็วสิ้นไหลคงที่จะทำให้สมการ (3.7) กลายเป็น

$$\frac{\partial}{\partial X} \left[ PH^3 \left( 1 + \frac{6aK}{PH} \right) \frac{\partial P}{\partial X} \right] + \left( \frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left[ PH^3 \left( 1 + \frac{6aK}{PH} \right) \frac{\partial P}{\partial Y} \right] = \Lambda \frac{\partial (PH)}{\partial X} + \sigma \frac{\partial (PH)}{\partial T} \quad (3.8)$$

เมื่อ  $\Lambda$  คือ ค่าตัวเลขการรองลื่น (bearing number)  $= 6\eta_a UL / p_a h_m^2$   
 $\sigma$  คือ ค่าตัวเลขการกดอัด (squeeze number)  $= 12\eta_a \omega L^2 [h_m(0)]^2 p_a$   
 หรือ  $= [12\eta_a L^2 / (h_m(0))^3 p_a] \frac{dh}{dt}$

$P = p/p_a, H = h/h_m, X = x/L, Y = y/B, T = \omega t$

$L$  คือ ความยาวของหัวอ่านในทางการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X

$B$  คือ ความกว้างของหัวอ่านตามแนวแกน Y

$h_m(0)$  คือ ความหนาฟิล์มอากาศอ้างอิงเริ่มต้น

$\omega$  คือ ความถี่เหมาะสม

เอกสารจากสมการเรย์โนลด์ (3.8) ทำให้อยู่ในรูปทั่วไปคือ  $\frac{\partial}{\partial X} [Q_P PH^3 \frac{\partial P}{\partial X}] + \left( \frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial}{\partial Y} [Q_P PH^3 \frac{\partial P}{\partial Y}] - \Lambda \frac{\partial (PH)}{\partial X} - \sigma \frac{\partial (PH)}{\partial T} = 0$  (3.9)

$$\frac{\partial}{\partial X} \left[ Q_P PH^3 \frac{\partial P}{\partial X} \right] + \left( \frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left[ Q_P PH^3 \frac{\partial P}{\partial Y} \right] - \Lambda \frac{\partial (PH)}{\partial X} - \sigma \frac{\partial (PH)}{\partial T} = 0 \quad (3.9)$$

เมื่อ  $Q_p$  คือ ตัวประกอบการไหล (Poiseuille flow factor) โดยรวมผลของความหนืดอากาศลดลง (rarefaction effect) ในสภาพการไหลที่ฟิล์มบางมาก ค่าตัวประกอบการไหล Poiseuille flow ที่แบ่งตามลักษณะการไหลคือ

การไหลแบบต่อเนื่องสม่ำเสมอ

$$Q_p = 1 \quad (3.10)$$

การไหลแบบพิจารณาผลการลื่นไหลอันดับหนึ่ง

$$Q_p = 1 + 6 \left( \frac{aK}{PH} \right) \quad (3.11)$$

การไหลแบบพิจารณาผลการลื่นไหลอันดับสอง

$$Q_p = 1 + 6 \left( \frac{K}{PH} \right) + 6 \left( \frac{K}{PH} \right)^2 \quad (3.12)$$

สมการ Boltzmann กำหนดให้  $D = 1/K$

เมื่อ  $D \geq 5$

$$Q_p = D/6 + 1.0162 + 1.0653/D - 2.1354/D^2 \quad (3.13)$$

เมื่อ  $0.15 \leq D \leq 5$

$$Q_p = 0.13852D + 1.25087 + 0.15653/D - 0.00969/D^2 \quad (3.14)$$

เมื่อ  $0.01 \leq D \leq 0.15$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น  $Q_p = -2.22919D + 2.10673 + 0.01653/D - 0.0000694/D^2$  ี่มีการนับ (3.15)

ปริมาณการสิ้นเปลืองขึ้นอยู่กับตำแหน่งบนพื้นผิวหล่อลื่นและหาได้โดยค่าเคนูเดนัมเบอร์(local Knudsen number;  $K_l$ )

$$K_l = \frac{K}{PH} \quad (3.16)$$

ปริมาณการสิ้นเปลืองขึ้นอยู่กับตำแหน่งบนพื้นผิวหล่อลื่นจะเป็นสัดส่วนผกผันกับค่า  $(PH)$  ในกรณีของหัวอ่านรีจิดคิสก์ [9,41] พบว่า  $K_l$  มีค่าความมากเป็นสองเท่าของค่า  $K$  ที่บริเวณใกล้เคียงกับขอบด้านท้ายของหัวอ่านและขอบด้านข้างที่ส่วนท้ายของหัวอ่านโดยพบว่าค่าเฉลี่ย  $K_l$  มีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของ  $K$

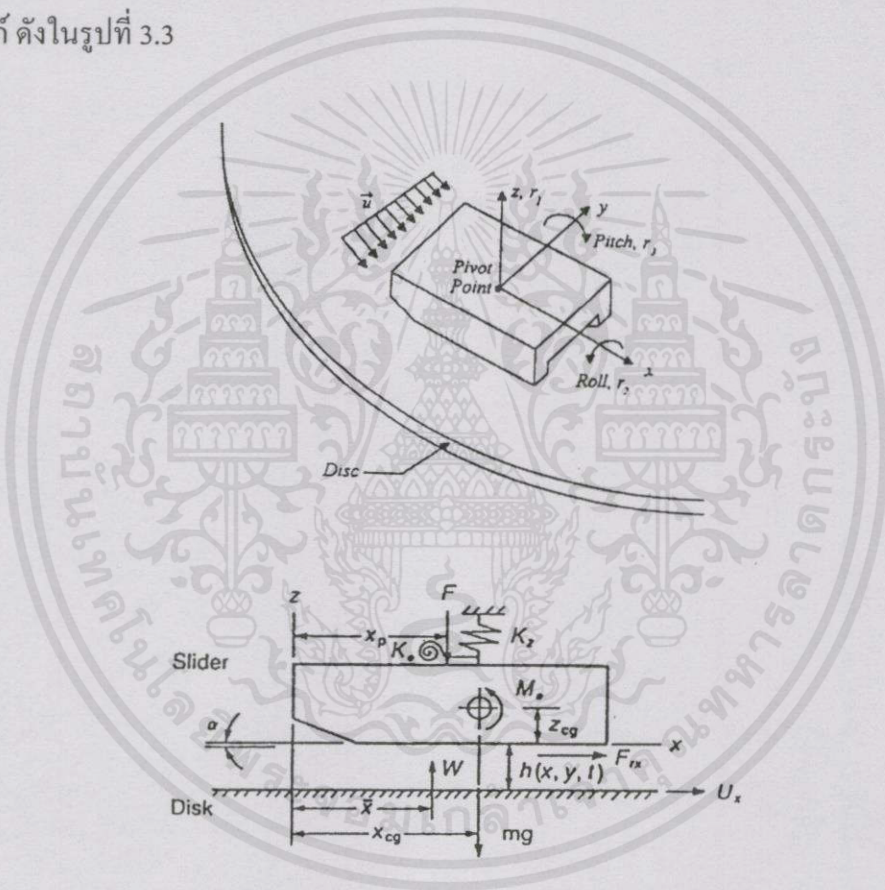
ระยะลอยตัวของเส้นทางการเคลื่อนที่อิสระโดยเฉลี่ยของโมเลกุลที่สภาวะความดันบรรยากาศ สำหรับอากาศมีค่าเท่ากับ 0.064 ไมโครเมตร และมีค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้พื้นผิวเท่ากับ 1.24 สำหรับอากาศบนกระบอก [9,42] สัมประสิทธิ์ปรับแก้พื้นผิวของอากาศบนผิวหัวอ่านแม่เหล็กไม่สามารถทำการหาค่าได้ ดังนั้นเราสมมติให้  $a = 1.24$  สำหรับหัวอ่านแม่เหล็กมีค่าเท่ากับอากาศกับแก้วหรือกระจก สมการเรย์โนลด์สำหรับของไหลที่ไหลอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอในสมการ (1) สามารถใช้ได้เมื่อ  $K < 0.01$  หรือ  $h_m > 6.4$  ไมโครเมตร สำหรับฟิล์มอากาศ สมการเรย์โนลด์ดัดแปลงสมการ(3.7) และ(3.8) จำเป็นต้องใช้ถ้า  $0.64 < h_m < 0.025$  ไมโครเมตร สำหรับอากาศ [9,41] ได้ทำการวัดความหนาของฟิล์มอากาศที่รองลื่นระหว่างหัวอ่านและผิวคิสก์ขณะทำงานหัวอ่านจะลอยตัวบนผิวคิสก์ด้วยระยะห่างต่ำมากๆ โดยมีอากาศที่ความดันบรรยากาศเป็นสารหล่อลื่นและใช้กรณีที่ใช้แก๊สฮีเลียมเป็นสารหล่อลื่นแทนอากาศที่ความดันบรรยากาศ ( $\eta_a = 1.94 \times 10^{-5}$  ปาสคาล.วินาที และ  $\lambda_a = 0.186$  ไมโครเมตร) และฮีเลียมที่ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ แล้วทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการคำนวณด้วยสมการเรย์โนลด์ดัดแปลงในกรณีที่มีการไหลเป็นแบบสิ้นเปลือง พบว่าผลที่ได้ตรงกัน ดังนั้นสมการ (3.7) และ(3.8) สามารถนำมาใช้ได้อย่างถูกต้องแม่นยำซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาของฟิล์มอากาศต้องประมาณ 0.025 ไมโครเมตรหรือ  $(aK)$  มีค่าเท่ากับ 3 ผลกระทบจากความหนืดของอากาศลดลง(Rarefaction) จะทำให้ความหนาฟิล์มลดลงมากกว่าที่จะมากได้ถึง 65 เปอร์เซ็นต์ เมื่อค่าเคนูเดนัมเบอร์(Knudsen number;  $K$ ) มีค่าเท่ากับ 3

ค่าตัวเลขการรองลื่นหรือแบริงนัมเบอร์(Bearing number,  $\Lambda$ ) ปกติแล้วจะมีค่าสูงมากสำหรับการทำงานในระบบการเก็บบันทึกข้อมูลทางแม่เหล็กทุกชนิด ดังนั้นจึงทำให้การการคำนวณสมการเรย์โนลด์ยาก เนื่องจากเกรเดียนความดันมีค่าสูงมากที่บริเวณขอบ ซึ่งเทคนิควิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ก็ได้เคยมีนักวิจัยได้นำมาใช้หลายท่านในการศึกษาครั้งนี้ พิจารณาเลือกใช้การไหลแบบสิ้นเปลืองอันดับที่ 1 และการคำนวณหาพฤติกรรมการทำงานที่สภาวะการทำงานแบบ

สภาวะคงที่ (steady conditions) ดังสมการที่ (3.9) โดยตัดเทอมที่เกิดจากการกดอัด (squeeze term) ทิ้งไป และพฤติกรรมไดนามิกหรือการทำงานแบบสภาวะไม่คงที่คำนวณหาจากสมการที่ (3.9)

### 3.3 สมการการเคลื่อนที่

การวิเคราะห์พฤติกรรมไดนามิกของหัวอ่าน ในวิทยานิพนธ์นี้ให้หัวอ่านมีการเคลื่อนที่ได้ โดยอิสระสองทิศทาง โดยพิจารณาให้หัวอ่านมีการเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวตั้งฉากกับผิวแผ่นดิสก์ และแนวการเคลื่อนที่ของหัวอ่านตามแนวความยาวของหัวอ่านที่เคลื่อนที่ตามแนวเส้นรอบวงของแผ่นดิสก์ ดังในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 พิกัดของหัวอ่านในขณะที่เคลื่อนที่

จากรูปที่ 3.3 สามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ต่างๆ ในการเคลื่อนที่ได้คือ

เอกสารที่สมการสมดุลแรงที่กระทำต่อหัวอ่านงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} + C_z \frac{dz}{dt} + K_z z + mg + F = W(t) \quad (3.17)$$

สมการสมมูลโมเมนต์

$$I_\theta \frac{d^2\theta}{dt^2} + C_\theta \frac{d\theta}{dt} + K_\theta \theta + M_\theta + (F + K_\theta z)(x_{cg} - x_p) + F_{rx} z_{cg} = (x_{cg} - \bar{x})W(t) \quad (3.18)$$

เมื่อภาระการรองดิน(bearing load) คือ

$$W(t) = \int_0^{BL} \int_0^1 (p - p_a) dx dy \quad (3.19)$$

จากสมการ (3.17) และ (3.18) ทำให้อยู่ในรูปไร่นำหน่วยจะได้

$$M_Z \ddot{Z} + F_S = \int_0^1 \int_0^1 (P - 1) dX dY \quad (3.20)$$

$$I_\theta \ddot{\theta} + M_S - F_S X_{GS} = 2 \int_0^1 \int_0^1 (P - 1)(X_{CG} - \bar{X}) dX dY \quad (3.21)$$

เมื่อ

$$F_S = F + K_Z (Z - X_{GS} \theta) + C_Z (\dot{Z} - X_{GS} \dot{\theta}) \quad (3.22)$$

$$M_S = M_0 + K_\theta \theta + C_\theta \dot{\theta} \quad (3.23)$$

$$X_{GS} = X_{CG} - X_P \quad (3.24)$$

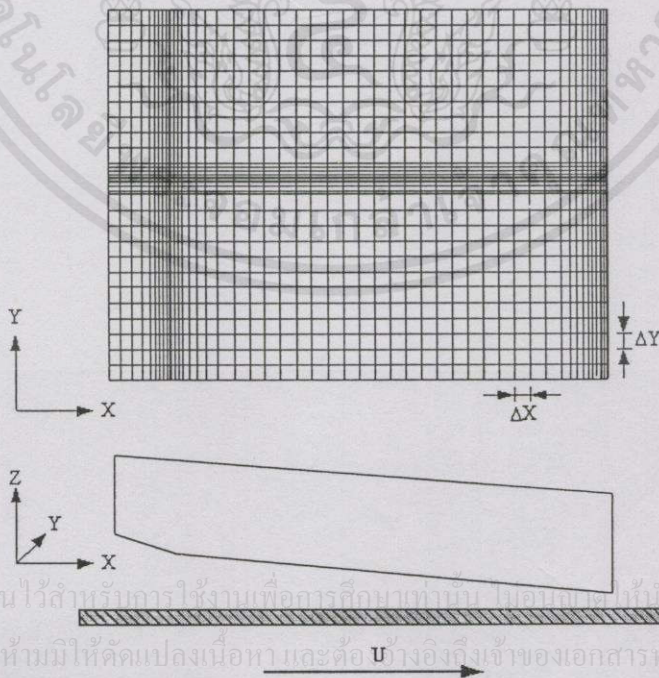
ดังนั้นในการแก้หาสมการสมมูลการเคลื่อนที่ของหัวอ่านทำได้โดยการแก้สมการ 3.20 และ 3.21 พร้อมกับสมการเรย์โนลด์เพื่อหาสภาพการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์

เมื่อสมการเชิงอนุพันธ์ไม่สามารถทำการอินทิเกรตในรูป closed form ได้ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำเอาวิธีเชิงตัวเลขมาใช้ในการคำนวณ ซึ่งในการคำนวณหาสมการเรย์โนลด์ซึ่งเป็นสมการไม่เชิงเส้น(nonlinear equation) การแก้สมการเรย์โนลด์เพื่อหาความดันฟิล์มอากาศที่สัมพันธ์กับความหนาของฟิล์มอากาศได้มีผู้ทำการคำนวณ โดยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์กันอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เพราะวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์เป็นวิธีที่ดั่งง่ายต่อการคำนวณและขึ้นอยู่กับรูปทรงพื้นผิวที่พิจารณา ซึ่งหัวข้อนี้ที่ทำการศึกษาในครั้งนี้มีรูปทรงที่ไม่ซับซ้อนมากจึงเหมาะสมต่อการนำเอาวิธีนี้มาใช้แก้สมการเรย์โนลด์

สมมุติให้สมการเชิงอนุพันธ์เทียบกับเวลา ซึ่งเวลาเป็นตัวแปรที่มีความต่อเนื่อง  $t$  จะถูกแบ่งเป็นช่วงๆจึงกลายเป็นตัวแปรแบบไม่ต่อเนื่อง โดย  $t_i$  คือเวลาใดๆ แล้วทำการคำนวณสมการเชิงอนุพันธ์นี้โดยเพิ่มช่วงเวลา  $h = \Delta t$  ในการคำนวณไปเรื่อยๆจนถึงเวลาที่ต้องการ โดยเริ่มจากเวลาที่ทราบเงื่อนไขแรก คำตอบที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธีนี้จะถูกต้องแม่นยำยอมรับได้ เมื่อการแบ่งช่วงเวลาเพิ่มขึ้นแต่ละช่วงสั้นเพียงพอ ดังนั้นในการแก้สมการเรย์โนลด์ที่ขึ้นต่อเวลาจะต้องทำการประมาณค่าโดยการแบ่งช่วงเวลาให้สั้น รวมทั้งการแบ่งกริดสำหรับหัวข้อ IBM 3380 แสดงได้ดังรูป 3.4 จะมีการแบ่งกริดโดยละเอียดโดยเฉพาะบริเวณจุดที่ไม่ต่อเนื่องของรางหัวอ่านชนิดนี้เพื่อความถูกต้องในการคำนวณเชิงตัวเลขมากยิ่งขึ้นและขจัดปัญหาความค่าความผิดพลาดในการคำนวณ(numerical error)



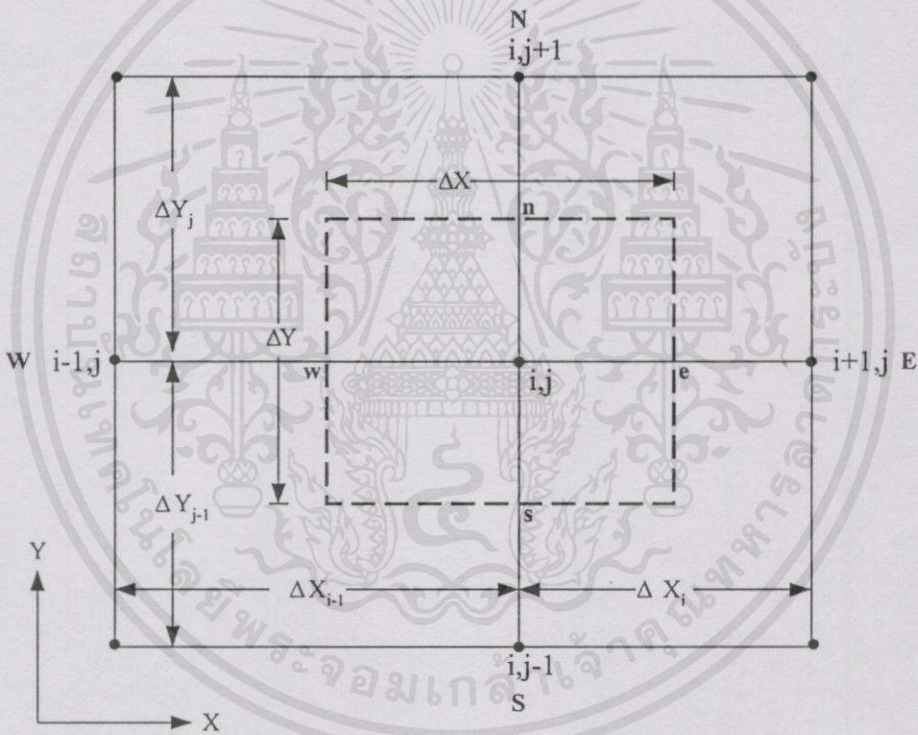
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต่อ U ว่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 การแบ่งกริดบนรางหนึ่งรางของหัวอ่านชนิด IBM 3380

ในกรณีที่สมการเชิงอนุพันธ์ไม่สามารถทำการวิเคราะห์แก้โดยตรงได้ ดังนั้นจึงต้องทำการประมาณค่าได้สมการเชิงอนุพันธ์สามารถทำได้โดยการคำนวณค่าของฟังก์ชันตัวแปรอิสระสองค่าที่มีระยะห่างกัน  $\Delta x$  และหารผลต่างของค่าฟังก์ชันด้วย  $\Delta x$  ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{df(x)}{dx} \approx \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x} \tag{3.25}$$

ตัวอย่างเช่นการคำนวณสมการเรย์โนลด์โดยใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ ซึ่งมีการแบ่งปริมาตรควบคุมกริดดังในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การแบ่งปริมาตรควบคุมของกริด

การหาพฤติกรรมสติดของหัวอ่านจะตัดเทอมที่ขึ้นกับเวลาในสมการในจากสมการ (3.9)

คือ

$$\frac{\partial}{\partial X} \left[ Q_P P H^3 \frac{\partial P}{\partial X} \right] + \left( \frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left[ Q_P P H^3 \frac{\partial P}{\partial Y} \right] - \Lambda \frac{\partial (PH)}{\partial X} = 0 \tag{3.26}$$

เมื่อประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ในกรณีที่ทำการแก้โดยไม่เปลี่ยนรูปสมการ

เทอมแรกทางด้านซ้ายของสมการที่(3.26)จะกระจายได้คือ

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial X} \left[ Q_p PH^3 \frac{\partial P}{\partial X} \right] &= \frac{\left( Q_p PH^3 \frac{\partial P}{\partial X} \right)_e - \left( Q_p PH^3 \frac{\partial P}{\partial X} \right)_w}{(\Delta X_{i-1} + \Delta X_i)/2} \\ &= \frac{\left( Q_p PH^3 \right)_e \frac{P_{i+1,j} - P_{i,j}}{\Delta X_i} - \left( Q_p PH^3 \right)_w \frac{P_{i,j} - P_{i-1,j}}{\Delta X_{i-1}}}{(\Delta X_{i-1} + \Delta X_i)/2} \\ &= \frac{H_e^3 \left( \frac{(Q_p P_{i+1,j}) + (Q_p P_{i,j})}{2} \right) \left( \frac{P_{i+1,j} - P_{i,j}}{\Delta X_i} \right) - H_w^3 \left( \frac{(Q_p P_{i,j}) + (Q_p P_{i-1,j})}{2} \right) \left( \frac{P_{i,j} - P_{i-1,j}}{\Delta X_{i-1}} \right)}{(\Delta X_i + \Delta X_{i-1})/2} \end{aligned} \quad (3.27)$$

ในทำนองเดียวกันเทอมที่สองของด้านซ้ายสมการที่ (3.26) จะเป็น

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial Y} \left[ Q_p PH^3 \frac{\partial P}{\partial Y} \right] &= \frac{\left( Q_p PH^3 \frac{\partial P}{\partial Y} \right)_n - \left( Q_p PH^3 \frac{\partial P}{\partial Y} \right)_s}{(\Delta Y_{j-1} + \Delta Y_j)/2} \\ &= \frac{H_n^3 \left( \frac{(Q_p P_{i+1,j}) + (Q_p P_{i,j})}{2} \right) \left( \frac{P_{i+1,j} - P_{i,j}}{\Delta Y_j} \right) - H_s^3 \left( \frac{(Q_p P_{i,j}) + (Q_p P_{i-1,j})}{2} \right) \left( \frac{P_{i,j} - P_{i-1,j}}{\Delta Y_{j-1}} \right)}{(\Delta Y_j + \Delta Y_{j-1})/2} \end{aligned} \quad (3.28)$$

และเทอมทางด้านขวาของสมการที่(3.26)

เอกลักษณ์นี้เป็นเอกลักษณ์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ผู้อื่นนำเอาเอกลักษณ์นี้ไปใช้

$$\Lambda \frac{\partial(PH)}{\partial X} = \Lambda \left\{ \frac{P_{i+1,j} H_{i+1} - P_{i-1,j} H_{i-1}}{\Delta X_i + \Delta X_{i-1}} \right\} \quad (3.29)$$

หรือสรุปความสัมพันธ์การกระจายสมการด้วยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ได้คือ  
ในกรณีอนุพันธ์อันดับสอง

$$\frac{\partial P^2_{i,j}}{\partial X^2} = A_1(i)P_{i+1,j} + A_2(i)P_{i,j} + A_3(i)P_{i-1,j} \quad (3.30)$$

โดยที่

$$\left. \begin{aligned} A_1(i) &= \frac{2}{\Delta X_i [\Delta X_{i-1} + \Delta X_i]} \\ A_2(i) &= \frac{-2}{\Delta X_{i-1} \Delta X_i} \\ A_3(i) &= \frac{2}{\Delta X_{i-1} [\Delta X_{i-1} + \Delta X_i]} \end{aligned} \right\} \quad (3.32)$$

และในกรณีอนุพันธ์อันดับหนึ่ง

$$\frac{\partial P_{i,j}}{\partial X} = B_1(i)P_{i+1,j} + B_2(i)P_{i,j} + B_3(i)P_{i-1,j} \quad (3.33)$$

$$\left. \begin{aligned} B_1(i) &= \frac{\Delta X_{i-1}}{\Delta X_i [\Delta X_{i-1} + \Delta X_i]} \\ B_2(i) &= \frac{\Delta X_i - \Delta X_{i-1}}{\Delta X_{i-1} \Delta X_i} \\ B_3(i) &= \frac{-\Delta X_i}{\Delta X_{i-1} [\Delta X_{i-1} + \Delta X_i]} \end{aligned} \right\} \quad (3.34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ผู้อ่านห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
เมื่อ  $\Delta X_i = X_{i+1} - X_i$  และ  $\Delta X_{i-1} = X_i - X_{i-1}$

### 3.5 วิธีกระทำซ้ำของนิวตันราฟสัน

สมการแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear equation) ซึ่งยากต่อการแก้สมการหาค่าโดยตรงดังนั้นจึงต้องทำให้เป็นสมการแบบเชิงเส้น โดยอาศัยวิธีของนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson method) เป็นวิธีที่ตั้งอยู่บนรากฐานของการใช้อนุกรมเทย์เลอร์ (Taylor series)[42]

อนุกรมเทย์เลอร์ที่ประมาณด้วยการใช้พจน์จำนวน 2 พจน์

$$f(x) \cong f(x_0) + f'(x_0)(x - x_0) \quad (3.35)$$

เพื่อใช้แก้ระบบสมการไม่เชิงเส้นจากสมการ (3.26) ทำให้อยู่ในระบบสมการไม่เชิงเส้น (system of nonlinear equations) เขียนในรูปแบบทั่วไปได้ดังนี้

$$\begin{aligned} f_{1,1}(P_{1,1}, P_{2,1}, \dots, P_{M,1}, P_{1,2}, P_{2,2}, \dots, P_{M,2}, \dots, P_{M,N}) &= 0 \\ f_{2,1}(P_{1,1}, P_{2,1}, \dots, P_{M,1}, P_{1,2}, P_{2,2}, \dots, P_{M,2}, \dots, P_{M,N}) &= 0 \\ &\vdots \\ f_{M,N}(P_{1,1}, P_{2,1}, \dots, P_{M,1}, P_{1,2}, P_{2,2}, \dots, P_{M,2}, \dots, P_{M,N}) &= 0 \end{aligned} \quad (3.36)$$

อนุกรมเทย์เลอร์ที่ใช้ในการแก้ระบบสมการไม่เชิงเส้นนี้เป็นอนุกรมเทย์เลอร์สำหรับ  $M, N$  ตัวแปร ซึ่งสำหรับสมการ  $i, j$  ใดๆสามารถเขียนได้ในรูปแบบดังนี้

$$f(P^{n+1}) \approx f(P^n) + \left. \frac{\partial f(P)}{\partial P} \right|_{P=P^n} (P^{n+1} - P^n) \quad (3.37)$$

$$\begin{aligned} f_{i,j}(P_{1,1} + \Delta P_{1,1}, P_{2,1} + \Delta P_{2,1}, \dots, P_{M,1} + \Delta P_{M,1}, P_{3,1} + \Delta P_{3,1}, \dots, P_{M,N} + \Delta P_{M,N}) &= \\ f_{i,j}(P_{1,1}, P_{2,1}, \dots, P_{M,1}, P_{1,2}, P_{2,2}, \dots, P_{M,2}, \dots, P_{M,N}) &+ \\ \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \frac{\partial f_{i,j}}{\partial P_{m,n}}(P_{1,1}, P_{2,1}, \dots, P_{M,1}, P_{1,2}, P_{2,2}, \dots, P_{M,2}, \dots, P_{M,N}) \Delta P_{m,n} &+ \dots \end{aligned} \quad (3.38)$$

กำหนดให้ค่าฟังก์ชันทางด้านซ้ายของสมการให้เท่าศูนย์ผลที่ได้ จะเหมือนกับระเบียบวิธีการ นิวตัน-ราฟสัน เพื่อหารากของสมการ  $f(x) = 0$  โดยการประมาณฟังก์ชันด้วยอนุกรมเทย์เลอร์ที่

เอกสารประกอบด้วยพจน์เพียง 2 พจน์ ดังแสดงในสมการคือ แทนนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f(P^n) + \left. \frac{\partial f(P)}{\partial P} \right|_{P=P^n} \Delta P = 0 \quad (3.39)$$

เมื่อนำวิธีนิวตันกราฟสันประยุกต์ใช้ในการแก้สมการเรย์โนลด์เพื่อหาพฤติกรรมสถิตที่แสดงไว้ในสมการที่ (3.26) จะได้สมการคือ

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial X} \left[ Q_P^n PH^3 \frac{\partial P^n}{\partial X} + \left( \frac{\partial(Q_P PH^3)}{\partial P} \right)^n \frac{\partial P^n}{\partial X} \Delta P^n + Q_P^n PH^3 \frac{\partial \Delta P}{\partial X} \right] \\ & + \left( \frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left[ Q_P^n PH^3 \frac{\partial P^n}{\partial Y} + \left( \frac{\partial(Q_P PH^3)}{\partial P} \right)^n \frac{\partial P^n}{\partial Y} \Delta P^n + Q_P^n PH^3 \frac{\partial \Delta P}{\partial Y} \right] \\ & - \Lambda \frac{\partial}{\partial X} [P^n H + \Delta PH] = 0 \end{aligned} \quad (3.40)$$

โดยในที่นี้  $P_{i,j}$ ,  $\begin{cases} i=1,2,3,\dots,M \\ j=1,2,3,\dots,N \end{cases}$  เปรียบเสมือนค่าเริ่มต้นที่จะนำไปสู่การลู่เข้าหาผลลัพธ์ของ

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \frac{\partial f_{i,j}}{\partial P_{m,n}} (P_{1,1}, P_{2,1}, \dots, P_{M,N}) \Delta P_{m,n} = -f_{i,j} (P_{1,1}, P_{2,1}, \dots, P_{M,N}) \quad (3.41)$$

### 3.6 ระเบียบวิธีรุงเง-กุตต้าอันดับสี่ [43,44]

วิธีรุงเง-กุตต้าเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างกว้างขวางโดยเพราะให้ผลลัพธ์ในการคำนวณที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงและทำการคำนวณได้เพียงทราบค่าเริ่มต้นเท่านั้น แนวความคิดของวิธีรุงเง-กุตต้าคือการหาค่าความชันที่มีความเที่ยงตรงสูง. สมการหลักที่ใช้ในการคำนวณอยู่ในรูปสมการคล้ายกับอนุกรมเทย์เลอร์ที่ตัดอนุพันธ์อันดับสูงคั้งนั้นการใช้วิธีรุงเงกุตต้าในกรณีสมการอนุพันธ์อันดับสองซึ่งเป็นสมการที่ไม่เชิงเส้นให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้นหรือให้อยู่รูปสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่งสองสมการ ตัวอย่างเช่นสมการอนุพันธ์

$$\ddot{x} = \frac{1}{m} [f(t) - kx - c\dot{x}] = F(x, \dot{x}, t) \quad (3.42)$$

เอกสารให้  $\dot{x} = y$  สมการนี้จะลดรูปเป็นสมการเชิงอนุพันธ์อันดับหนึ่งสองสมการ

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= y \\ \dot{y} &= F(x, y, t) \end{aligned} \right\} \quad (3.43)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จัดให้อยู่ในรูปอนุกรมเทย์เลอร์ โดยให้มีความช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้นแต่ละค่า  $i$  เท่ากับ  $h = \Delta t$  จะได้

$$\left. \begin{aligned} x &= x_i + \left(\frac{dx}{dt}\right)_i h + \left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)_i \frac{h^2}{2} + \dots \\ y &= y_i + \left(\frac{dy}{dt}\right)_i h + \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)_i \frac{h^2}{2} + \dots \end{aligned} \right\} \quad (3.44)$$

วิธีรุงง-กุด้าจะพิจารณาถึงอนุพันธ์อันดับหนึ่งซึ่งหรือค่าความชันโดยเฉลี่ยและตัดไม่พิจารณาเทอมที่มีอนุพันธ์อันดับสูงกว่า ดังนั้นจากสมการที่(3.41) จะได้

$$\left. \begin{aligned} x &= x_i + \left(\frac{dx}{dt}\right)_{iav} h \\ y &= y_i + \left(\frac{dy}{dt}\right)_{iav} h \end{aligned} \right\} \quad (3.45)$$

วิธีรุงง-กุด้าอันดับ 4 คล้ายกับวิธีการคำนวณของซิมป์สัน(Simpson's rule) แต่ต่างกันที่วิธีรุงง-กุด้าจะแบ่งเทอมตรงกลางออกเป็นสองเทอมและใช้ทั้งสี่ตัวแปรในการคำนวณค่าแต่ละจุด

$t$	$x$	$y$	$f = \dot{y} = \ddot{x}$
$T_1 = t_i$	$X_1 = x_i$	$Y_1 = y_i$	$F_1 = f(T_1, X_1, Y_1)$
$T_2 = t_i + \frac{h}{2}$	$X_2 = x_i + Y_1 \frac{h}{2}$	$Y_2 = y_i + F_1 \frac{h}{2}$	$F_2 = f(T_2, X_2, Y_2)$
$T_3 = t_i + \frac{h}{2}$	$X_3 = x_i + Y_2 \frac{h}{2}$	$Y_3 = y_i + F_2 \frac{h}{2}$	$F_3 = f(T_3, X_3, Y_3)$
$T_4 = t_i + h$	$X_4 = x_i + Y_3 h$	$Y_4 = y_i + F_3 h$	$F_4 = f(T_4, X_4, Y_4)$

โดยค่าเหล่านี้จะใช้ในการวนคำนวณในสมการ

$$x_{i+1} = x_i + \frac{h}{6}(Y_1 + 2Y_2 + 2Y_3 + Y_4) \quad (3.46)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเป็น 6 หน้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{6}(F_1 + 2F_2 + 2F_3 + F_4) \quad (3.47)$$

เราสามารถจัดความสัมพันธ์ได้ใหม่ในกรณีที่ใช้กับสมการเชิงอนุพันธ์ที่มีอันดับสูงในกรณีที่ต้องการหาค่าหลายตัวแปร เช่น หาค่าตัวแปร  $x_1, x_2, \dots, x_n$  โดยมีสมการเชิงอนุพันธ์อันดับหนึ่งคือ

$$\left. \begin{aligned} x'_1(t) &= f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ x'_2(t) &= f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ &\vdots \\ x'_n(t) &= f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ x_1(a) &= s_1, \quad x_2(a) = s_2, \quad \dots, \quad x_n(a) = s_n \end{aligned} \right\} \quad (3.48)$$

กำหนดให้

$$\left. \begin{aligned} X' &= F(X) \\ X(a) &= S \text{ specified} \end{aligned} \right\} \quad (3.49)$$

$$\left. \begin{aligned} X &= \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, \quad X' = \begin{bmatrix} x'_1 \\ x'_2 \\ \vdots \\ x'_n \end{bmatrix}, \quad F = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix} \end{aligned} \right\} \quad (3.50)$$

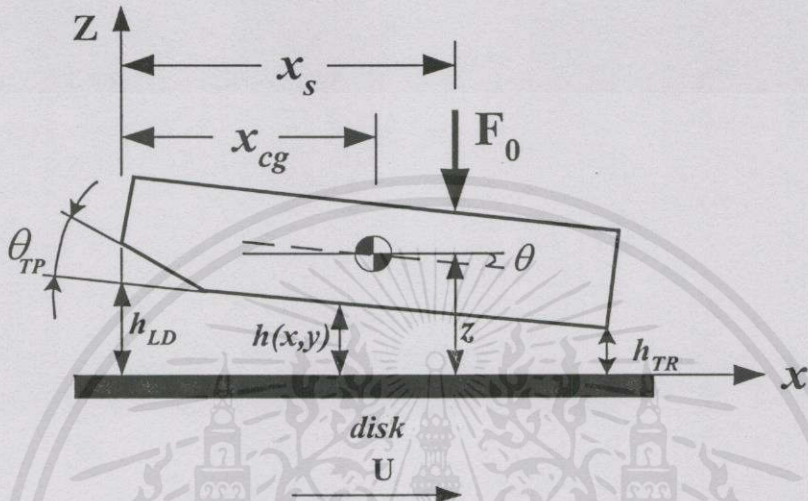
จากวิธีรุงเง-คุตต้า

$$X(t+h) = X(t) + \frac{h}{6}(F_1 + 2F_2 + 2F_3 + F_4) \quad (3.51)$$

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= F(X) \\ F_2 &= F\left(X + \frac{1}{2}hF_1\right) \\ F_3 &= F\left(X + \frac{1}{2}hF_2\right) \\ F_4 &= F(X + hF_3) \end{aligned} \right\} \quad (3.52)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบรรณารักษ์และใช้เฉพาะในห้องสมุดเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ตัวแปรต่างๆยกเว้น  $t$  และ  $h$  คือเวกเตอร์ที่มีทั้งหมดเท่ากับ  $n$  สมการ  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้วิธีรึงงจุดด้าอันดับที่สี่กับสมการการเคลื่อนซึ่งได้กล่าวไว้ในสมการที่ (3.20-3.21) ในกรณีการวิเคราะห์พฤติกรรมพลวัต หัวอ่านจะถูกแรงสปริงของแขนยึดคดลงด้วยค่าคงที่  $F_0$  โดยมีจุดยึด  $X_S$  คงที่ซึ่งอาจจะไม่ใช่จุดเดียวกับกับจุดศูนย์กลางมวล ค่าความแข็งสปริงมีผลต่อฟิล์มหล่อลื่นน้อยมากดังนั้นจึงสามารถตัดไม่พิจารณาได้ [8] ฉะนั้นสมการที่ได้คือ



รูปที่ 3.6 แรงกดขีคหัวอ่าน

$$M\ddot{Z} = -F_0 + \iint_{00}^{11} (P-1) dXdY \quad (3.53)$$

$$I_\theta \ddot{\theta} = F_0 (X_S - X_{CG}) - \iint_{00}^{11} (P-1) (X_P - X_{CG}) dXdY \quad (3.54)$$

ค่าที่ต้องการคือ ค่า  $Z$  และ  $\theta$  เมื่อเวลา  $t_i$  ใดๆ โดยที่  $T = \omega_0 t$   
จากสมการกำหนดให้

$$x_1 = T, \quad x_2 = Z, \quad x_3 = \theta, \quad x_4 = \dot{Z}, \quad x_5 = \dot{\theta} \quad (3.55)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปความสัมพันธ์ได้คือ

ตัวแปรเดิม	ตัวแปรใหม่ (X)	ค่าเริ่ม ต้น	สมการเชิงอนุพันธ์ (X')
T	$x_1$	0	$x'_1 = 1$
Z	$x_2$	z	$x'_2 = \frac{1}{M}[-F_0 + W]T + C$
$\theta$	$x_3$	$\theta$	$x'_3 = \frac{1}{I_\theta}[F_0(X_S - X_{CG}) - W(X_P - X_{CG})]T + C$
Z	$x_4$	0	$x'_4 = \frac{1}{M}[-F_0 + W]$
$\theta$	$x_5$	0	$x'_5 = \frac{1}{I_\theta}[F_0(X_S - X_{CG}) - W(X_P - X_{CG})]$

แล้วแทนค่าตัวแปรเหล่านี้ลงไปในสมการของรุงเง-กุตต้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การคำนวณวิเคราะห์เชิงตัวเลข

#### 4.1 การวิเคราะห์คำนวณการทำงานของหัวอ่านในกรณีพฤติกรรมสถิต

อันดับแรกจะต้องแก้สมการเรย์โนลด์ที่สภาวะคงตัวหรือไม่ขึ้นกับเวลาซึ่งความหนาฟิล์มหล่อลื่นจะสมมติให้คงที่ ดังสมการที่(3.26)ที่ได้แสดงไว้ ในบทที่ 3 คือ

$$\frac{\partial}{\partial X} \left[ Q_0 P_0 H_0^3 \frac{\partial P_0}{\partial X} \right] + \left( \frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left[ Q_0 P_0 H_0^3 \frac{\partial P_0}{\partial Y} \right] - \Lambda \frac{\partial (P_0 H_0)}{\partial X} = 0 \quad (4.1)$$

เมื่อให้การไหลเป็นแบบลิ้นไหล

$$Q_0 = 1 + 6 \left( \frac{aK}{P_0 H_0} \right) \quad (4.2)$$

และสมการการเคลื่อนที่ของหัวอ่านที่ต้องทำการวิเคราะห์ร่วมด้วยเพื่อหาความสมดุลของหัวอ่านในขณะเคลื่อนที่คือ

$$F_0 + K_Z (Z_0 + X_{GS} \theta) = 2 \int_0^1 \int_0^1 (P_0 - 1) dX dY \quad (4.3)$$

$$M_0 + K_\theta \theta - [F_0 + K_Z (Z_0 + X_{GS} \theta)] X_{GS} = 2 \int_0^1 \int_0^1 (P_0 - 1) (X_G - X) dX dY \quad (4.4)$$

เมื่อ

$$X_{GS} = X_{CG} - X_P \quad (4.5)$$

พร้อมด้วยเงื่อนไขขอบเขตคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน  $P_0(0, Y) = P_0(1, Y) = P_0(X, 0) = P_0(X, 1) = 1$  แต่ให้นำไปใช้ประโยชน์ (4.6) การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้ให้ตัวห้อยศูนย์(0)หมายถึงสภาวะคงตัวทำให้สมการเรย์โนลด์ (4.1)เป็นสมการเชิงเส้นโดยวิธีกระทำซ้ำของนิวตันกราฟสัน โดยอาศัยพื้นฐานสมการที่ได้แสดงไว้แล้วในบทที่3 จาก สมการที่ (3.33)

$$f(P_0^n) + \left. \frac{\partial f(P_0)}{\partial P_0} \right|_{P_0=P_0^n} \Delta P_0 = 0 \tag{4.7}$$

สมการเรย์โนลด์ใหม่คือที่ได้คือ

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial X} \left[ Q_0^n P_0 H_0^3 \frac{\partial P_0^n}{\partial X} + \left( \frac{\partial(Q_0 P_0 H_0^3)}{\partial P_0} \right)^n \frac{\partial P_0^n}{\partial X} \Delta P_0 + Q_0^n P_0 H_0^3 \frac{\partial \Delta P_0}{\partial X} \right] \\ & + \left( \frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left[ Q_0^n P_0 H_0^3 \frac{\partial P_0^n}{\partial Y} + \left( \frac{\partial(Q_0 P_0 H_0^3)}{\partial P_0} \right)^n \frac{\partial P_0^n}{\partial Y} \Delta P_0 + Q_0^n P_0 H_0^3 \frac{\partial \Delta P_0}{\partial Y} \right] \\ & - \Lambda \frac{\partial}{\partial X} [P_0^n H + \Delta P_0 H_0] = 0 \end{aligned} \tag{4.8}$$

เมื่อ  $\Delta P_0 = P^{n+1} - P^n$  และ  $n$  = ครั้งที่ทำการคำนวณซ้ำจนกระทั่งได้คำตอบแล้วทำการแก้สมการด้วยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์จัดรูปสมการใหม่ให้อยู่สมการ (3.35) ซึ่งสามารถเขียนในรูปแบบเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_{1,1}}{\partial P_{1,1}} & \frac{\partial f_{1,1}}{\partial P_{2,1}} & \dots & \frac{\partial f_{1,1}}{\partial P_{M,1}} & \frac{\partial f_{1,1}}{\partial P_{1,2}} & \frac{\partial f_{1,1}}{\partial P_{2,2}} & \dots & \frac{\partial f_{1,1}}{\partial P_{M,2}} & \dots & \frac{\partial f_{1,1}}{\partial P_{M,N}} \\ \frac{\partial f_{2,1}}{\partial P_{1,1}} & \frac{\partial f_{2,1}}{\partial P_{2,1}} & \dots & \frac{\partial f_{2,1}}{\partial P_{M,1}} & \frac{\partial f_{2,1}}{\partial P_{1,2}} & \frac{\partial f_{2,1}}{\partial P_{2,2}} & \dots & \frac{\partial f_{2,1}}{\partial P_{M,2}} & \dots & \frac{\partial f_{2,1}}{\partial P_{M,N}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial f_{M,1}}{\partial P_{1,1}} & \frac{\partial f_{M,1}}{\partial P_{2,1}} & \dots & \frac{\partial f_{M,1}}{\partial P_{M,1}} & \frac{\partial f_{M,1}}{\partial P_{1,2}} & \frac{\partial f_{M,1}}{\partial P_{2,2}} & \dots & \frac{\partial f_{M,1}}{\partial P_{M,2}} & \dots & \frac{\partial f_{M,1}}{\partial P_{M,N}} \\ \frac{\partial f_{1,2}}{\partial P_{1,1}} & \frac{\partial f_{1,2}}{\partial P_{2,1}} & \dots & \frac{\partial f_{1,2}}{\partial P_{M,1}} & \frac{\partial f_{1,2}}{\partial P_{1,2}} & \frac{\partial f_{1,2}}{\partial P_{2,2}} & \dots & \frac{\partial f_{1,2}}{\partial P_{M,2}} & \dots & \frac{\partial f_{1,2}}{\partial P_{M,N}} \\ \frac{\partial f_{2,2}}{\partial P_{1,1}} & \frac{\partial f_{2,2}}{\partial P_{2,1}} & \dots & \frac{\partial f_{2,2}}{\partial P_{M,1}} & \frac{\partial f_{2,2}}{\partial P_{1,2}} & \frac{\partial f_{2,2}}{\partial P_{2,2}} & \dots & \frac{\partial f_{2,2}}{\partial P_{M,2}} & \dots & \frac{\partial f_{2,2}}{\partial P_{M,N}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial f_{M,2}}{\partial P_{1,1}} & \frac{\partial f_{M,2}}{\partial P_{2,1}} & \dots & \frac{\partial f_{M,2}}{\partial P_{M,1}} & \frac{\partial f_{M,2}}{\partial P_{1,2}} & \frac{\partial f_{M,2}}{\partial P_{2,2}} & \dots & \frac{\partial f_{M,2}}{\partial P_{M,2}} & \dots & \frac{\partial f_{M,2}}{\partial P_{M,N}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial f_{M,N}}{\partial P_{1,1}} & \frac{\partial f_{M,N}}{\partial P_{2,1}} & \dots & \frac{\partial f_{M,N}}{\partial P_{M,1}} & \frac{\partial f_{M,N}}{\partial P_{1,2}} & \frac{\partial f_{M,N}}{\partial P_{2,2}} & \dots & \frac{\partial f_{M,N}}{\partial P_{M,2}} & \dots & \frac{\partial f_{M,N}}{\partial P_{M,N}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_{1,1} \\ \Delta P_{2,1} \\ \vdots \\ \Delta P_{M,1} \\ \Delta P_{2,1} \\ \Delta P_{2,2} \\ \vdots \\ \Delta P_{M,2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -f_{1,1} \\ -f_{2,1} \\ \vdots \\ -f_{M,1} \\ -f_{1,2} \\ -f_{2,2} \\ \vdots \\ f_{M,2} \\ -f_{M,N} \end{bmatrix} \tag{4.9}$$

จัดรูปต่างๆเป็น  $[A][\Delta P_{m,n}] = [-f_{i,j}]$  (4.10)

$$\Delta P_{m,n} = P_{m,n}^{(n+1)} - P_{m,n}^{(n)} \text{ หรือ } P_{m,n}^{(n)} = P_{m,n}^{(n-1)} + \Delta P_{m,n} \quad (4.11)$$

เงื่อนไขการพิจารณาค่าเข้าสู่ค่าที่แท้จริง

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |\Delta P_{m,n}| / \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |P_{m,n}^{(n)}| \leq \varepsilon (10^{-4}, 10^{-5}) \quad (4.12)$$

หลังจากที่คำนวณหาความดันที่เกิดขึ้นในขณะที่หัวอ่านอินเตอร์เฟกซ์กับหัวอ่านที่สภาวะคงตัว (steady state) ก็ต้องทำการคำนวณหาความสมดุลของพฤติกรรมสติกของหัวอ่าน

#### 4.2 การวิเคราะห์คำนวณการทำงานของหัวอ่านในกรณีพฤติกรรมพลวัต

จะต้องทำการวิเคราะห์สมการการเคลื่อนที่ของหัวอ่านที่แปรผันกับเวลาร่วมด้วย ซึ่งได้แสดงไว้ในบทที่ 3 คือ

$$M_Z \ddot{Z} + F_S = \int_0^1 \int_0^1 (P-1) dX dY \quad (4.13)$$

$$I_\theta \ddot{\theta} + M_S - F_S X_{GS} = 2 \int_0^1 \int_0^1 (P-1) (X_{CG} - \bar{X}) dX dY \quad (4.14)$$

$$F_S = F + K_Z (Z - X_{GS} \theta) + C_Z (\dot{Z} - X_{GS} \dot{\theta}) \quad (4.15)$$

$$M_S = M + K_\theta \theta + C_\theta \dot{\theta} \quad (4.16)$$

และสมการการหล่อลื่นที่ใช้คำนวณคือสมการเรย์โนลด์ส์ตัดแปลงขึ้นกับเวลา (3.9) พิจารณาตัวประกอบการไหล (Poiseuille flow factor) แบบเส้นไหล เนื่องจากการหล่อลื่นมีความหนาฟิล์มรอง

เล็กน้อยมากซึ่งอาจทำให้เกิดปรากฏการณ์ air rarefaction คือ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial}{\partial X} \left[ QPH^3 \frac{\partial P}{\partial X} \right] + \left( \frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left[ QPH^3 \frac{\partial P}{\partial Y} \right] - \Lambda \frac{\partial (PH)}{\partial X} - \sigma \frac{\partial (PH)}{\partial T} = 0 \quad (4.17)$$

โดยมีเงื่อนไขความดันที่บริเวณขอบคือ

$$P(0, Y, T) = P(1, Y, T) = P(X, 0, T) = P(X, 1, T) = 1 \quad (4.18)$$

เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงสมมุติให้หัวอ่านสั้นสะเทือนเล็กน้อยทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านเปลี่ยนไม่มากเมื่อเทียบกับสภาวะปกติ ดังนั้นสภาวะพลวัตการทำงานของหัวอ่านที่ขึ้นกับเวลาค่าต่างๆจะมีค่าเท่ากับ ค่าที่สภาวะคงตัว(steady-state) โดยมีตัวห้อย(0)ซึ่งการคำนวณได้กล่าวไว้ข้างบนแล้ว บวกกับค่าที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลา( $\Delta$ ) โดยระยะการลอยตัว  $H$  ความดัน  $P$  ระยะเลื่อนขึ้นลงตั้งฉากในแนวตั้งฉากกับแผ่นดิสก์  $Z$  และมุมพิทช์  $\theta$  แสดงค่าใหม่ตามลำดับคือ

$$H(X, T) = H_0(X) + \Delta H(X, T) \quad (4.19)$$

$$P(X, Y, T) = P_0(X, T) + \Delta P(X, Y, T) \quad (4.20)$$

$$Z(T) = Z_0 + \Delta Z(T) \quad (4.21)$$

$$\theta(T) = \theta_0 + \Delta \theta(T) \quad (4.22)$$

แทนตัวแปรต่างๆในสมการที่ (4.19-4.22) ลงไปในสมการที่ (4.13-4.18) สมการสมดุลการเคลื่อนที่จะกลายเป็น  
สมดุลแรง

$$M_Z \Delta \ddot{Z} + C_Z \Delta \dot{Z} + K_Z \Delta Z = 2 \int_0^1 \int_0^1 \Delta P dX dY \quad (4.23)$$

สมดุลโมเมนต์

$$I_\theta \Delta \ddot{\theta} + C_\theta \Delta \dot{\theta} + K_\theta \Delta \theta = 2 \int_0^1 \int_0^1 \Delta P (X_G - X) dX dY \quad (4.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสมการเรย์โนลด์

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial X} \left[ Q_0 P_0 H_0^3 \frac{\partial \Delta P}{\partial X} + \left( \left( \frac{\partial QPH^3}{\partial P} \right)_0 \Delta P + \left( \frac{\partial QPH^3}{\partial H} \right)_0 \Delta H \right) \frac{\partial P_0}{\partial X} \right] \\ & + \left( \frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left[ Q_0 P_0 H_0^3 \frac{\partial \Delta P}{\partial Y} + \left( \left( \frac{\partial QPH^3}{\partial P} \right)_0 \Delta P + \left( \frac{\partial QPH^3}{\partial H} \right)_0 \Delta H \right) \frac{\partial P_0}{\partial Y} \right] \\ & - \Lambda \frac{\partial}{\partial X} [P_0 \Delta H + \Delta P H_0] - \sigma \frac{\partial}{\partial T} [P_0 \Delta H + \Delta P H_0] = 0 \end{aligned} \quad (4.25)$$

การทำสมการให้เป็นสมการเชิงเส้นในรูปของโดเมนความถี่

เมื่อทำการหาค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามโดเมนความถี่โดยใช้วิธีลาปลาซทรานส์ฟอร์ม สำหรับระยะการลอยตัวหัวอ่านที่เปลี่ยนแปลงไปมีความสัมพันธ์คือ

$$\Delta H(X, T) = \Delta Z(T) - \Delta Z_D(T) + \Delta \theta(T)(X_G - X) \quad (4.26)$$

จากสมการที่ (4.25) ซึ่งเป็นสมการอนุพันธ์เชิงเส้นจะขึ้นกับค่าการเปลี่ยนแปลงของความดัน  $\Delta P$  ซึ่งแสดงได้ด้วยสมการเชิงเส้น โดยรวมผลของความดันที่เปลี่ยนแปลงตามแนวแกนซึ่งเกิดจากระยะเลื่อนขึ้นลง  $\Delta Z - \Delta Z_D$  และ ความดันที่เกิดเนื่องจาก  $\Delta \theta$  คือ

$$\Delta P(X, Y, T) = P_1(X, Y)(\Delta Z(T) - \Delta Z_D(T)) + P_2(X, Y)\Delta \theta(T) \quad (4.27)$$

เมื่อความดันที่เปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นตามแนวตั้งฉากกับผิวคิสก์คือระยะเลื่อนขึ้นลงของหัวอ่าน  $\Delta Z(T)$  และการสั่นของผิวคิสก์  $\Delta Z_D(T)$  คือ  $\Delta H_1(X, T) = \Delta Z(T) + \Delta Z_D(T)$  ดังนั้น  $\Delta P_1(X, Y, T) = P_1(X, Y)\Delta H_1(X, T)$  แทนค่าเหล่านี้ลงใน  $\Delta H$  และ  $\Delta P$  ของสมการเรย์โนลด์ (4.25) ตามลำดับ

$$\frac{\partial}{\partial X} \left[ Q_0 P_0 H_0^3 \frac{\partial P_1}{\partial X} + \left( \left( \frac{\partial QPH^3}{\partial P} \right)_0 P_1 + \left( \frac{\partial QPH^3}{\partial H} \right)_0 \right) \frac{\partial P_0}{\partial X} \right]$$

ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
& + \left(\frac{L}{B}\right)^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left[ Q_0 P_0 H_0^3 \frac{\partial P_1}{\partial Y} + \left( \left( \frac{\partial QPH^3}{\partial P} \right)_0 P_1 + \left( \frac{\partial QPH^3}{\partial H} \right)_0 \right) \frac{\partial P_0}{\partial Y} \right] \\
& - \Lambda \frac{\partial}{\partial X} [P_0 + P_1 H_0] - \sigma [P_0 + P_1 H_0] = 0 \tag{4.28}
\end{aligned}$$

และในทำนองเดียวกันตามแนวมุมรอบแกนตามแนวขวางของหัวอ่านหรือมุมพิทซ์  
 $\Delta H_2 = \Delta \theta(T)(X_G - X)$  และ  $\Delta P_2(X, Y, T) = P_2(X, Y) \Delta H_2(X, T)$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial}{\partial X} \left[ Q_0 P_0 H_0^3 \frac{\partial P_2}{\partial X} + \left( \left( \frac{\partial QPH^3}{\partial P} \right)_0 P_2 + \left( \frac{\partial QPH^3}{\partial H} \right)_0 (X_G - X) \right) \frac{\partial P_0}{\partial X} \right] \\
& + \left(\frac{L}{B}\right)^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left[ Q_0 P_0 H_0^3 \frac{\partial P_2}{\partial Y} + \left( \left( \frac{\partial QPH^3}{\partial P} \right)_0 P_2 + \left( \frac{\partial QPH^3}{\partial H} \right)_0 (X_G - X) \right) \frac{\partial P_0}{\partial Y} \right] \\
& - \Lambda \frac{\partial}{\partial X} [P_0(X_G - X) + P_2 H_0] - \sigma [P_0(X_G - X) + P_2 H_0] = 0 \tag{4.29}
\end{aligned}$$

เมื่อเงื่อนไขเริ่มต้นในการทำงานคือ  $\Delta P(0) = \Delta H(0) = \Delta Z(0) = \Delta \theta(0) = 0$   
และเงื่อนไขบริเวณขอบคือ

$$P_1(0, Y) = P_1(1, Y) = P_1(X, 0) = P_1(X, 1) = 1 \tag{4.30}$$

$$P_2(0, Y) = P_2(1, Y) = P_2(X, 0) = P_2(X, 1) = 1 \tag{4.31}$$

สำหรับสมการการเคลื่อนที่(4.23-4.24) ที่จะกลายเป็น

$$(M_Z s^2 + C_Z s + K_Z) \Delta \bar{Z} = 2 \int_0^1 \int_0^1 P_1 dX dY (\Delta \bar{Z} - \Delta \bar{Z}_D) + 2 \int_0^1 \int_0^1 P_2 dX dY \Delta \bar{\theta} \tag{4.32}$$

$$\begin{aligned}
& (I_\theta s^2 + C_\theta s + K_\theta) \Delta \bar{\theta} = 2 \int_0^1 \int_0^1 P_1 (X_G - X) dX dY (\Delta \bar{Z} - \Delta \bar{Z}_D) \\
& + 2 \int_0^1 \int_0^1 P_2 (X_G - X) dX dY \Delta \bar{\theta} \tag{4.33}
\end{aligned}$$

การวิเคราะห์แก๊สมการในรูปของโดเมนเวลา

จากสมการ (3.8) ที่แสดงไว้ในบทที่ 3 คือ

$$\frac{\partial}{\partial X} \left[ \left( 1 + \frac{6aK}{PH} \right) PH^3 \frac{\partial P}{\partial H} - \Lambda_x PH \right] + \left( \frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left[ \left( 1 + \frac{6aK}{PH} \right) PH^3 \frac{\partial P}{\partial Y} \right] = \sigma \frac{\partial PH}{\partial T} \quad (4.34)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{เมื่อ } X = \frac{x}{L}, \quad Y = \frac{y}{B}, \quad H = \frac{h}{h_0}, \quad P = \frac{p}{p_a}, \quad K = \frac{\lambda}{h_0}, \quad T = \omega t, \\ \Lambda_x = \frac{6\mu UL}{p_a h_0^2}, \quad \sigma = \frac{12\mu\omega L^2}{p_a h_0^2} \end{aligned} \right\} \quad (4.35)$$

กำหนดให้

$$PH = Z(X, Y, T) \quad (4.36)$$

ดังนั้น

$$\frac{\partial P}{\partial X} = \frac{\partial Z}{H \partial X} - \frac{P \partial H}{H \partial X}, \quad \frac{\partial P}{\partial Y} = \frac{\partial Z}{H \partial Y} - \frac{P \partial H}{H \partial Y}, \quad 1 + \frac{6aK}{PH} = \frac{Z + 6aK}{Z} \quad (4.37)$$

แทนค่าลงไปนสมการเรย์โนลด์ (3.34)

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial X} \left[ ZH \frac{\partial Z}{\partial X} - Z^2 \frac{\partial H}{\partial X} + 6aK \left( H \frac{\partial Z}{\partial X} - Z \frac{\partial H}{\partial X} \right) - \Lambda_x Z \right] + \\ \frac{\partial}{\partial Y} \left[ ZH \frac{\partial Z}{\partial Y} - Z^2 \frac{\partial H}{\partial Y} + 6aK \left( H \frac{\partial Z}{\partial Y} - Z \frac{\partial H}{\partial Y} \right) - \right] = \sigma \frac{\partial Z}{\partial T} \end{aligned} \quad (4.38)$$

กำหนดให้

$$F = ZH \frac{\partial Z}{\partial X} - Z^2 \frac{\partial H}{\partial X} + 6aK \left( H \frac{\partial Z}{\partial X} - Z \frac{\partial H}{\partial X} \right) - \Lambda_x Z$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (4.39) การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิใช้ข้อมูลนี้ไปอ้างอิงถึงเนื้อหาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G = \left. \begin{aligned} & \left( \frac{L}{B} \right)^2 \left[ ZH \frac{\partial Z}{\partial Y} - Z^2 \frac{\partial H}{\partial Y} + 6aK \left( H \frac{\partial Z}{\partial Y} - Z \frac{\partial H}{\partial Y} \right) \right] \\ & = \left( \frac{L}{B} \right)^2 (Z + 6aK) \left[ H \frac{\partial Z}{\partial Y} - Z \frac{\partial H}{\partial Y} \right] \end{aligned} \right\} \quad (4.40)$$

ดังนั้นสมการ(4.34) สามารถดรูปรูปสมการเป็น

$$\frac{\partial F}{\partial X} + \frac{\partial G}{\partial Y} = \sigma \frac{\partial Z}{\partial T} \quad (4.41)$$

การแก้สมการจะประยุกต์ใช้ วิธีของ Crank-Nicolson [44] เพื่อหาเวลาที่เปลี่ยนไปจากที่เวลา  $n$  ไปเป็นเวลา  $n+1$  โดยการแก้หาครึ่งหนึ่งของช่วงเวลาที่เปลี่ยนไป  $n + \frac{1}{2}$

$$Z(X, Y, T^{n+\frac{1}{2}}) \approx \frac{1}{2} [Z(X, Y, T^{n+1}) + Z(X, Y, T^n)] \quad (4.42)$$

และจัดในรูปของ Trapezoidal formula จะได้

$$\sigma \frac{(Z^{n+1} - Z^n)}{\Delta T} = \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial Z^{n+1}}{\partial T} + \frac{\partial Z^n}{\partial T} \right] + O(\Delta T^3) \quad (4.43)$$

$$Z^{n+1} - Z^n = \frac{\Delta T}{2\sigma} \left[ \frac{\partial Z^{n+1}}{\partial T} + \frac{\partial Z^n}{\partial T} \right] \quad (4.44)$$

แล้วใช้อนุกรมเทย์เลอร์กระจายฟังก์ชันไม่เชิงเส้นของ  $F$  และ  $G$  ที่ช่วงเวลาปัจจุบัน  $n$  และตัดเทอมที่มีอนุพันธ์อันดับสูง  $O(\Delta T^3)$  ในกระบวนการแก้ด้วยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์จะต้องแก้แบบ fully implicit ซึ่งในวิทยานิพนธ์ทำการแก้โดยจัดรูปสมการในรูปเมตริกซ์แล้วแก้เมตริกซ์ที่เป็นแบบ tridiagonal matrix นอกจากนี้สามารถจัดรูปสมการแปลงให้เหลือเพียงสมการหนึ่งมิติดังเอกสารที่แสดงในบทความ[4],[8]และ [10] โดยใช้ตัวประกอบการคูณที่แยกทิศทางตามแนวแกน  $X$  และ  $Y$  ไม่ว่าจะแก้สมการที่ได้คือห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$[1 - L_1(X)][1 - L_2(Y)](Z^{n+1} - Z^n) = \phi \quad (4.45)$$

เมื่อ  $L_1(X)$  และ  $L_2(Y)$  คือ ตัวประกอบทำให้เป็นสมการเชิงเส้น ในทิศทางตามแนวแกน  $X$  และ  $Y$  ตามลำดับและ

$$\phi = \frac{\Delta T}{2\sigma} \left[ \left( \frac{\partial F^{n+1}}{\partial X} + \frac{\partial G^{n+1}}{\partial Y} \right) + \left( \frac{\partial F^n}{\partial X} + \frac{\partial G^n}{\partial Y} \right) \right] \quad (4.46)$$

หรือ

$$\begin{aligned} \phi = \frac{\Delta T}{2\sigma} \left\{ [Z + 6aK] \left[ \left( \frac{\partial^2 Z}{\partial Y^2} + \left( \frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial^2 Z}{\partial Y^2} \right) (H^n + H^{n+1}) \right. \right. \\ \left. \left. + Z \left( \frac{\partial^2 H^{n+1}}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 H^n}{\partial X^2} + \left( \frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial^2 H^{n+1}}{\partial Y^2} + \left( \frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial^2 H^n}{\partial Y^2} \right) \right] + \right. \\ \left. \frac{\partial Z}{\partial X} \left[ (H^n + H^{n+1}) \frac{\partial Z}{\partial X} - Z \left( \frac{\partial H^n}{\partial X} + \frac{\partial H^{n+1}}{\partial X} \right) - \Lambda_x \right] + \right. \\ \left. \left( \frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial Z}{\partial Y} \left[ (H^n + H^{n+1}) \frac{\partial Z}{\partial Y} + Z \left( \frac{\partial H^n}{\partial Y} + \frac{\partial H^{n+1}}{\partial Y} \right) \right] \right\} \quad (4.47) \end{aligned}$$

การคำนวณหาค่าในช่วงเวลา  $n+1$  จะสามารถคำนวณหาได้ในรูปสมการคือ

$$Z^{n+1} = Z^n + \Delta Z^n \quad (4.48)$$

ดังนั้นใช้วิธีเชิงตัวเลขจัดสมการได้คือ

$$(1 - L_1(X)) \Delta Z^* = \phi \quad (4.49)$$

$$(1 - L_2(Y))(Z^{n+1} - Z^n) = \Delta Z^* \quad (4.50)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังได้ขอสงวนลิขสิทธิ์ในเอกสารฉบับนี้ไว้ด้วย  
ตั้งนั้นระบบสมการ(1)ที่ได้จะอยู่ในรูปหนึ่งมิติในทิศทางตามแนวแกน  $X$  ในขณะที่สมการ (2) เป็นสมการในทิศทางตามแนวแกน  $Y$

จากสมการ(1)

$$\Delta Z^* - \frac{\Delta T}{2\sigma} \frac{\partial}{\partial X} \left( \frac{\partial F^n}{\partial Z} \cdot \Delta Z^* \right) - \frac{\Delta T}{2\sigma} \frac{\partial}{\partial X} \left( \frac{\partial F^n}{\partial Z / \partial X} \cdot \frac{\partial \Delta Z^*}{\partial X} \right) = \phi \quad (4.51)$$

$$\left\{ 1 - \frac{\Delta T}{2\sigma} \frac{\partial}{\partial X} \left[ H \frac{\partial Z}{\partial X} - 2Z \frac{\partial H}{\partial X} + 6aK \frac{\partial H}{\partial X} - \Lambda_x \right] - \frac{\Delta T}{2\sigma} \frac{\partial}{\partial X} [ZH + 6aKH] \right\} \Delta Z^* = \phi \quad (4.52)$$

ในทำนองเดียวกันจากสมการ(2)

$$\Delta Z^n - \frac{\Delta T}{2\sigma} \frac{\partial}{\partial Y} \left( \frac{\partial G^n}{\partial Z} \cdot \Delta Z^n \right) - \frac{\Delta T}{2\sigma} \frac{\partial}{\partial Y} \left( \frac{\partial G^n}{\partial Z / \partial Y} \cdot \frac{\partial \Delta Z^n}{\partial Y} \right) = \Delta Z^* \quad (4.53)$$

$$\left\{ 1 - \frac{\Delta T}{2\sigma} \left( \frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left[ H \frac{\partial Z}{\partial Y} - 2Z \frac{\partial H}{\partial Y} + 6aK \frac{\partial H}{\partial Y} \right] - \frac{\Delta T}{2\sigma} \left( \frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial}{\partial Y} [ZH + 6aKH] \right\} (Z^{n+1} - Z^n) = \Delta Z^* \quad (4.54)$$

แทนค่าสมการ ลงไปในสมการ เพื่อแก้หาค่าของ  $Z^{n+1}$  พร้อมกับแก้สมการการเคลื่อนที่ซึ่งจะใช้วิธีรุงเง-คุตต์หาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของหัวอ่านตามแนวแกนการเคลื่อนที่ที่พิจารณา

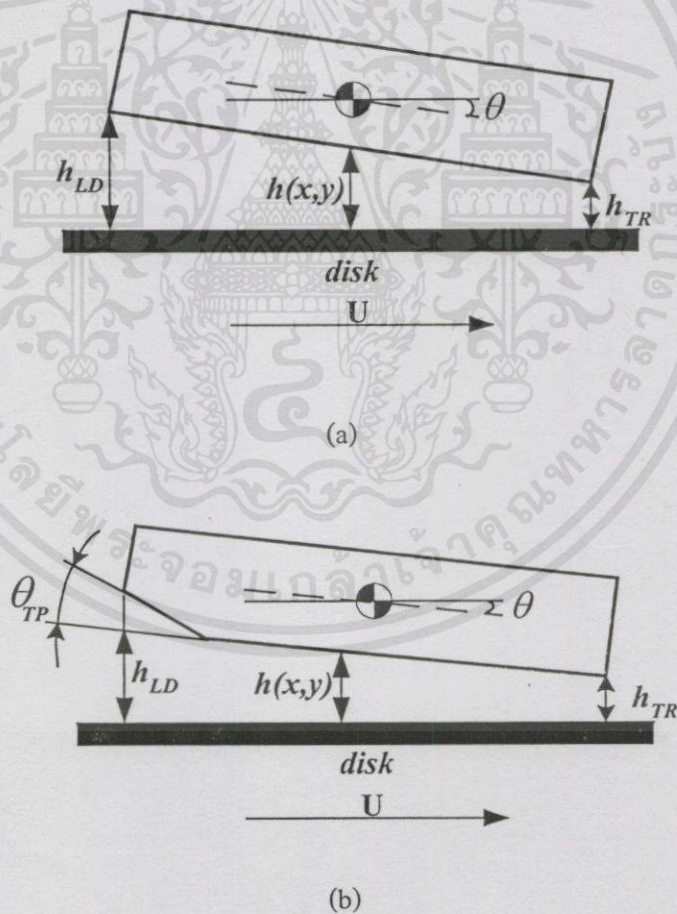
$$\left\{ 1 - \frac{\Delta T}{2\sigma} \frac{\partial}{\partial X} \left[ H \frac{\partial Z}{\partial X} - 2Z \frac{\partial H}{\partial X} + 6aK \frac{\partial H}{\partial X} - \Lambda_x \right] - \frac{\Delta T}{2\sigma} \frac{\partial}{\partial X} [ZH + 6aKH] \right\} \cdot \left\{ 1 - \frac{\Delta T}{2\sigma} \left( \frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left[ H \frac{\partial Z}{\partial Y} - 2Z \frac{\partial H}{\partial Y} + 6aK \frac{\partial H}{\partial Y} \right] - \frac{\Delta T}{2\sigma} \left( \frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial}{\partial Y} [ZH + 6aKH] \right\} (Z^{n+1} - Z^n) = \frac{\Delta T}{2\sigma} \left\{ [Z + 6aK] \left[ \left( \frac{\partial^2 Z}{\partial Y^2} + \left( \frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial^2 Z}{\partial Y^2} \right) (H^n + H^{n+1}) + Z \left( \frac{\partial^2 H^{n+1}}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 H^n}{\partial X^2} + \left( \frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial^2 H^{n+1}}{\partial Y^2} + \left( \frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial^2 H^n}{\partial Y^2} \right) + \frac{\partial Z}{\partial X} \left[ (H^n + H^{n+1}) \frac{\partial Z}{\partial X} - Z \left( \frac{\partial H^n}{\partial X} + \frac{\partial H^{n+1}}{\partial X} \right) - \Lambda_x \right] + \left( \frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial Z}{\partial Y} \left[ (H^n + H^{n+1}) \frac{\partial Z}{\partial Y} + Z \left( \frac{\partial H^n}{\partial Y} + \frac{\partial H^{n+1}}{\partial Y} \right) \right] \right\} \quad (4.55)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีก ( )

### 4.3 คำนวณหาความหนาของฟิล์มอากาศที่หล่อลื่น

ความหนาฟิล์มหล่อลื่นเป็นสิ่งสำคัญมากในระบบการหล่อลื่นด้วยแก๊ส เพราะเป็นที่ทราบดีว่ายิ่งต้องการให้ระบบเก็บข้อมูลมีความสามารถจุข้อมูลได้มากยิ่งขึ้น ก็ยิ่งจำเป็นที่ต้องพยายามให้ความหนาฟิล์มอากาศรองลื่นน้อยที่สุดเท่าที่จะทำให้เกิดความเสถียรในการทำงานของหัวอ่าน แต่สิ่งที่ต้องตระหนักคือระยะความหนาฟิล์มหล่อลื่นที่รองลื่นระหว่างผิวของหัวอ่านและผิวดิสก์จะต้องการเพียงพอที่จะไม่ทำให้หัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์เพราะนอกจากจะเกิดความสึกหรอของอุปกรณ์อาจทำให้สูญเสียข้อมูลที่บันทึกด้วย

ในการคำนวณหาพฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านในกรณีที่การทำงานเป็นแบบสถิตความหนาฟิล์มจะมีค่าคงที่ซึ่งง่ายต่อการคำนวณเมื่อทราบรูปทรงของหัวอ่านก็สามารถหาความสัมพันธ์ความหนาฟิล์มหล่อลื่นได้โดยง่าย ซึ่งหัวอ่านที่ทำการศึกษาในวิทยานิพนธ์มีสองแบบดังแสดงในรูป 4.1



เอกสารรูปที่ 4.1 ลักษณะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด (a) ลิ้มระนาบ (plane wedge) และ (b) IBM3380 ด้านการคำนวณ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณสมการการหล่อลื่นของเรย์โนลด์ในรูปแบบของสารหล่อลื่นอัดตัวได้ ประกอบกับสมการการเคลื่อนที่ เนื่องจาก สมการเรย์โนลด์เป็นสมการไม่เชิงเส้นสูงมาก ดังนั้นในการคำนวณจะต้องอินทิเกรตควบคู่พร้อมกับสมการการเคลื่อนที่ สำหรับการคำนวณสมการการเคลื่อนที่ทำได้โดยง่ายด้วยวิธีรุงเง-คูด้า เพียงแค่ทราบค่าของความดันก่อน แต่ในทางตรงกันข้ามสมการการหล่อลื่นการแก่นั้นต้องใช้ความพยายามอย่างมาก ซึ่งมีหลายบทความต่างพยายามที่จะทำการคำนวณด้วยวิธีต่างๆ เพื่อให้การการคำนวณมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น รวมทั้งความรวดเร็วประกอบกับความถูกต้องแม่นยำในการอินทิเกรตสมการซับซ้อนเหล่านี้

ในการคำนวณจะต้องคิดเวลาที่เปลี่ยนไปในแต่ละครั้ง โดยจะได้ว่า  $t^{(n)} = n\Delta t$  (เมื่อผลรวมของ  $\Delta t$  ที่เพิ่มขึ้นแต่ละครั้งทั้งหมด  $n$  ครั้งเท่ากับเวลาที่เปลี่ยนไป

เมื่อ  $n = 1, \Delta t$

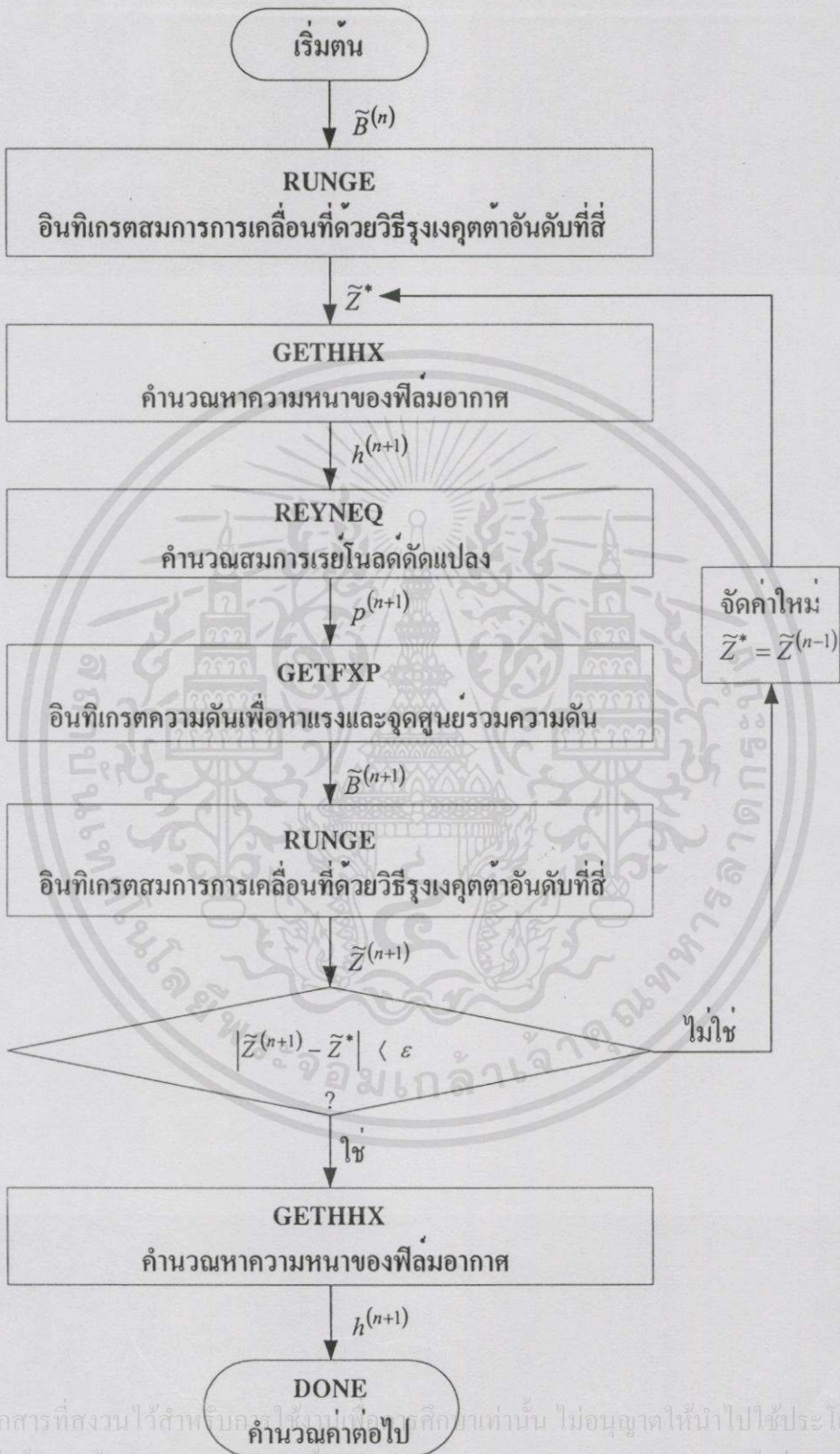
ขั้นตอนในการคำนวณคือ

1. คำนวณหาค่าความดันเริ่มต้นด้วยสมการเรย์โนลด์ ทราบ  $P_{old}$
2. GETFXP เมื่อทราบความดันจากการคำนวณสมการเรย์โนลด์ที่ตัดไม่พิจารณาเทอมที่ขึ้นกับเวลา แล้วทำการอินทิเกรตความดันเพื่อการแรงเนื่องจากความดันที่เกิดขึ้นพร้อมทั้งหาตำแหน่งของจุดศูนย์กลางแรงได้  $FP_{old}, XP_{old}$
3. RUNGE อินทิเกรตสมการการเคลื่อนที่ด้วยวิธีรุงเง-คูด้าเพื่อหาระยะการเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวตั้งฉากกับผิวแผ่นดิสก์  $Z$  และมุมพิทช์หรือมุมกคของหัวอ่าน  $\theta$  ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้นในการเข้าคำนวณ ได้  $\theta_{new}, Z_{new}, \dot{\theta}_{new}, \dot{Z}_{new}$
4. GETHHX คำนวณหาความหนาฟิล์มเมื่อทราบ ค่า  $Z$  และ  $\theta$  ได้  $H_{new}$
5. REYNOLD คำนวณหาความดันจากสมการเรย์โนลด์ที่ขึ้นกับเวลาได้  $P_{new}$
6. คำนวณหาแรงและจุดสมดุลแรงเนื่องจากความดัน
7. นำค่าใน 7. แทนลงในสมการการเคลื่อนที่แล้วทำการอินทิเกรตหา  $Z$  และ  $\theta$
8. จากนั้นเช็คค่าที่ได้ใน 8. ว่าเข้าสู่ค่าที่ถูกต้องหรือยังถ้าไม่ถูกต้องกลับไปทำในข้อ 5 ใหม่จนกระทั่งได้ค่า  $Z$  และ  $\theta$  ครึ่งเก่าและใหม่เท่ากันหรือต่างกันได้ตามค่าที่ยอมรับได้
9. เมื่อได้ค่า  $Z$  และ  $\theta$  แล้วคำนวณหาค่าหนาฟิล์มที่เวลาเปลี่ยนไป

ซึ่งทำการแทนค่ากลับไปคำนวณใหม่ที่ขั้นตอนที่ 1 อีกครั้งจนกระทั่งที่เวลาที่ต้องการ

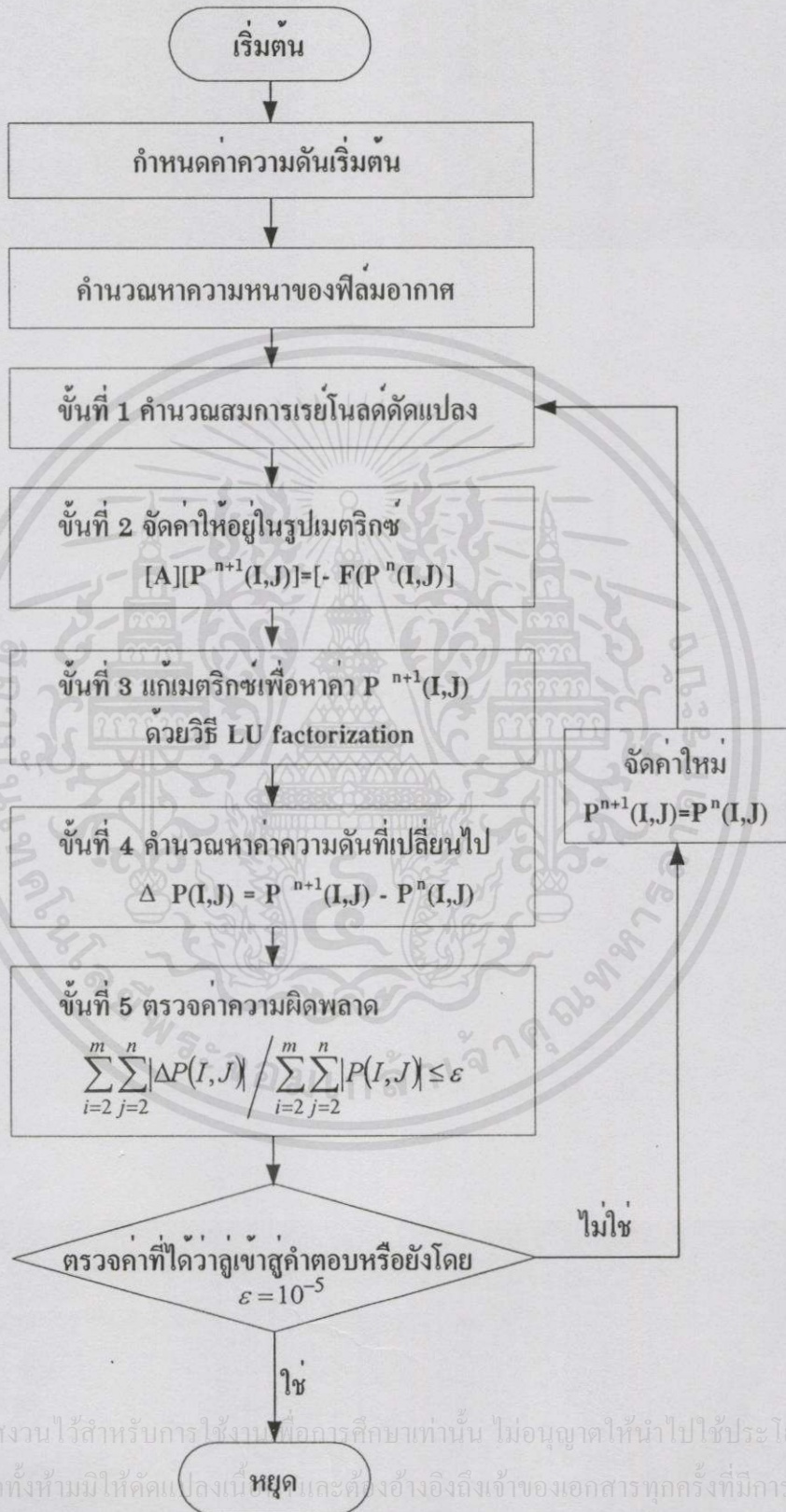
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ดังแสดงในรูปที่ 4.2 คือ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ขบวนการคำนวณหาความหนาฟิล์มหล่อลื่นเมื่อเวลาเปลี่ยนไป

4.4 กำหนดค่าการกระจายความดันของหัวอ่านบนแผ่นดิสก์ในสถานะสถิต ดังแสดงในแผนภาพ



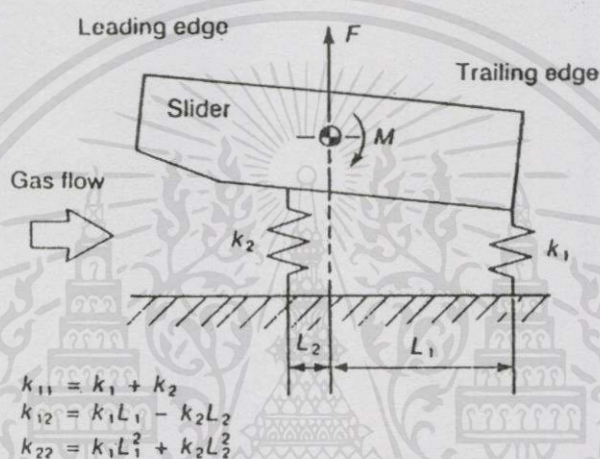
รูปที่ 4.3 ขบวนการคำนวณหาความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาดังกล่าวและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 คำนวณหาการกระจายความดันของหัวอ่านบนแผ่นดิสก์ในสภาวะพลวัต

การคำนวณทำได้ดังแสดงไว้ในกราฟวิเคราะห์พฤติกรรมพลวัต โดยเริ่มจากการคำนวณสมการเบย์โนลด์ที่ขึ้นกับเวลาควบคู่กับสมการการเคลื่อนที่ที่พร้อมกันกัน ดังนั้นการคำนวณจึงควบคู่กันระหว่างแผนภาพ 4.2 และ 4.3

#### 4.6 คำนวณหาสัมประสิทธิ์สปริงและแดมปีงของหัวอ่าน



รูปที่ 4.4 การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สปริง

พื้นฐานในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สปริงแสดงในรูปเมตริกซ์คือ

$$\begin{bmatrix} F \\ M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z \\ \theta \end{bmatrix} \quad (4.56)$$

ในที่นี้เลขหนึ่งแสดงถึงทิศทางในแนวตั้งฉากกับผิวดิสก์ และเลขสองแสดงถึงทิศทางหมุนรอบแกนตามขวางของหัวอ่านจากความสัมพันธ์ของแรงและโมเมนต์หาค่าสัมประสิทธิ์ได้คือสัมประสิทธิ์สปริง

$$K_{11} = - \int_0^1 \int_0^1 \text{Re}(\Delta P_1) dX dY \quad (4.57)$$

$$K_{12} = - \int_0^1 \int_0^1 \text{Re}(\Delta P_2) dX dY \quad (4.58)$$

$$K_{21} = - \int_0^1 \int_0^1 \operatorname{Re}(\Delta P_1)(X_G - X) dXdY \quad (4.59)$$

$$K_{22} = - \int_0^1 \int_0^1 \operatorname{Re}(\Delta P_2)(X_G - X) dXdY \quad (4.60)$$

สัมประสิทธิ์เคมปีง

$$\omega C_{11} = - \int_0^1 \int_0^1 \operatorname{Im}(\Delta P_1) dXdY \quad (4.61)$$

$$\omega C_{12} = - \int_0^1 \int_0^1 \operatorname{Im}(\Delta P_2) dXdY \quad (4.62)$$

$$\omega C_{21} = - \int_0^1 \int_0^1 \operatorname{Im}(\Delta P_1)(X_G - X) dXdY \quad (4.63)$$

$$\omega C_{22} = - \int_0^1 \int_0^1 \operatorname{Im}(\Delta P_2)(X_G - X) dXdY \quad (4.64)$$

โดยค่าสัมประสิทธิ์สปริงเป็นค่าจริงและสัมประสิทธิ์เคมปีงเป็นค่าจินตภาพ ซึ่งค่าต่างๆเหล่านี้จะทำการคำนวณในรูปโดเมนความถี่

#### 4.7 กำหนดหาแรงที่กระทำบนหัวอ่าน

กำหนดหาความดันแต่ละจุดบนผิวดิสก์และหัวอ่านแล้วทำการอินเกรตเทียบกับพื้นที่ของหัวอ่านดังสมการที่ (4.44) ด้วยกฎสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoid Rule)

$$W = \int_0^1 \int_0^1 (P-1) dXdY \quad (4.65)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.8 คำนวณหาตำแหน่งของจุดยึดบนหัวอ่าน

เมื่อทราบภาระแรงเนื่องจากความดันสามารถคำนวณหาจุดสมมูลแรงบนหัวอ่านได้ในสมการที่ (4.45-4.46) ด้วยวิธีกฎสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoid Rule)

$$\bar{X} = \frac{1}{W} \int_0^1 \int_0^1 X(P-1) dXdY \quad (4.66)$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{W} \int_0^1 \int_0^1 Y(P-1) dXdY \quad (4.67)$$



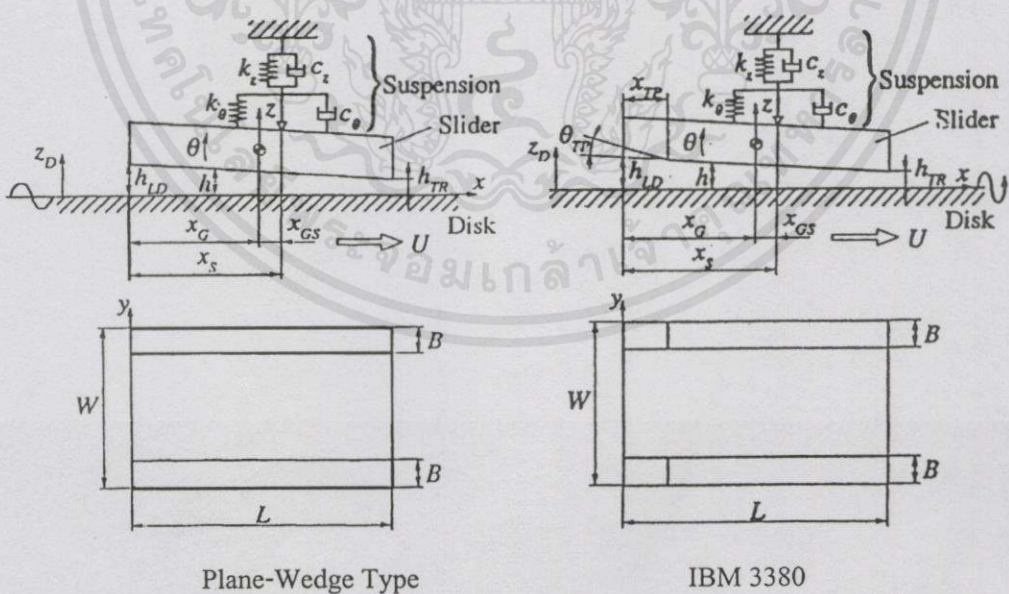
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ผลการคำนวณวิเคราะห์เชิงตัวเลข

การศึกษาพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านทั้งสองชนิดคือ หัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 มีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 5.1 และขนาดต่างๆได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.1 โดยการวิเคราะห์คำนวณเพื่อจำลองพฤติกรรมการทำงานซึ่งประกอบด้วย

1. ความหนาของฟิล์มอากาศหล่อลื่น
2. การกระจายความดันของหัวอ่านบนแผ่นดิสก์ในสภาวะสถิต
3. การกระจายความดันของหัวอ่านบนแผ่นดิสก์ในสภาวะพลวัต
4. สัมประสิทธิ์สปริงและแดมป์ของหัวอ่าน
5. แรงกระทำบนหัวอ่าน
6. ตำแหน่งของจุดยึดบนหัวอ่าน
7. การตอบสนองของหัวอ่านในสภาวะพลวัต
8. ความเสถียรของหัวอ่านในสภาวะพลวัต



Plane-Wedge Type

IBM 3380

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 5.1 รูปร่างของหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane wedge type) และ IBM 3380

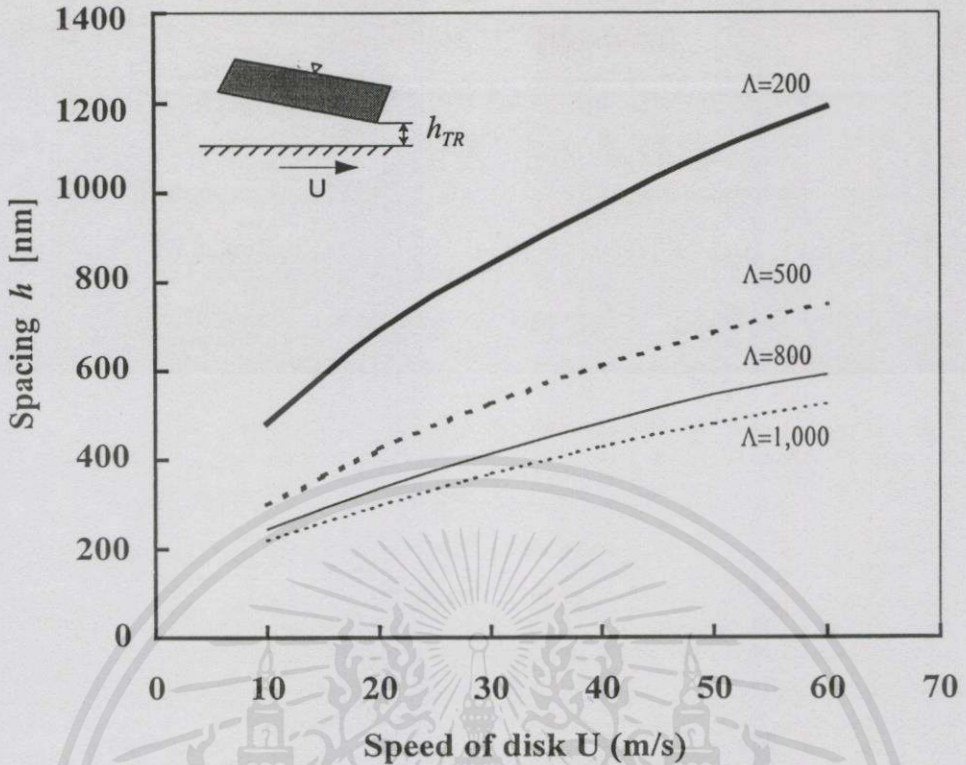
ตารางที่ 5.1 ขนาดและค่าต่างๆของของหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane wedge type)และ IBM 3380

ขนาด	Plane wedge type	IBM 3380
L (mm)	4.05	4.05
B(mm)	0.5	0.5
W(mm)	3.05	3.05
$\theta$ (mrad)	15	15
$\theta_{TP}$ (mrad)	0	150
$h_{TR}$ (um)	0.14	0.14
$h_0$ (um)	0.1	0.1
$h_{TP}$ (um)	0	5.59
$L_{TP}$ (mm)	0	0.368
$m$ (mg)	42.3	42.3
$f_0$ (mN)	147	147
$x_G$ (mm)	2.025	2.025
$x_s$ (mm)	2.162	2.162
$\omega_0$ (rad/s)	377	377
$I_\theta$ (N.s <sup>2</sup> .m)	$8.6 \times 10^{-11}$	$8.6 \times 10^{-11}$

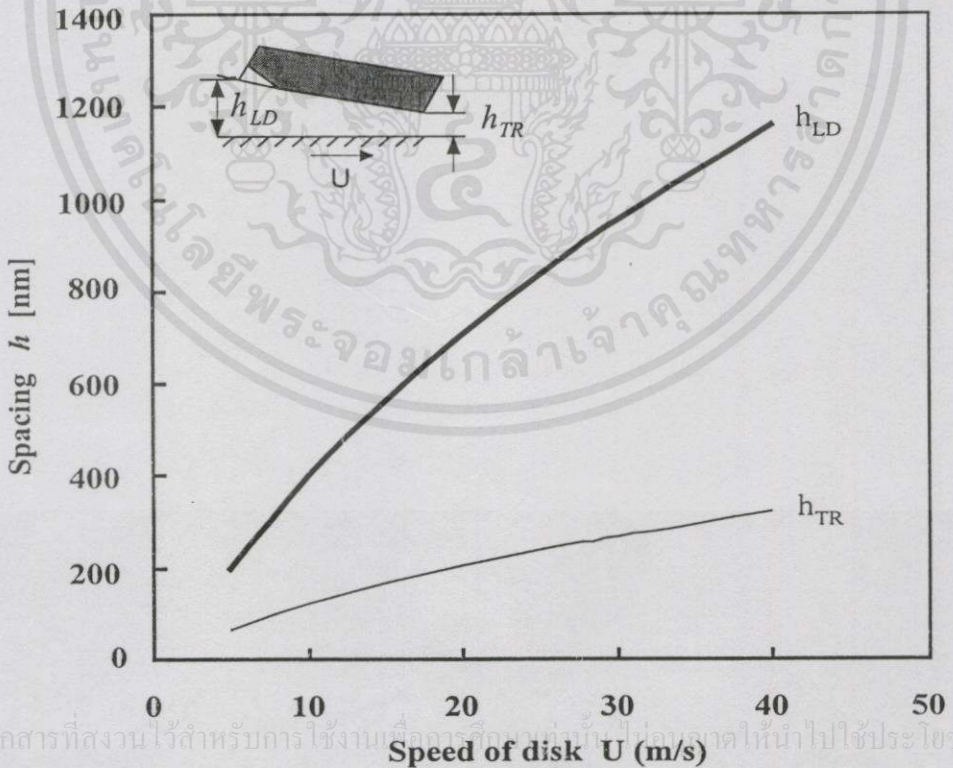
### 5.1 ความหนาของฟิล์มอากาศที่หล่อลื่น

ความหนาของฟิล์มอากาศที่หล่อลื่นหรือระยะห่างระหว่างผิวดิสก์และหัวอ่าน เป็นปัจจัยสำคัญมากในการวิเคราะห์การทำงานของหัวอ่าน ซึ่งในปัจจุบันระยะการลอยตัวของหัวอ่านได้พัฒนาให้มีระยะต่ำมากๆ เพื่อเพิ่มความสามารถในการเก็บข้อมูลและความเสถียรของหัวอ่านในขณะทำงาน

ในรูปที่ 5.2 แสดงผลของความเร็วแผ่นดิสก์ที่มีต่อระยะการลอยตัวต่ำสุดหรือที่บริเวณขอบท้ายของหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) เมื่อการเคลื่อนที่เป็นแบบสถิต จะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ระยะลอยตัวต่ำสุดของหัวอ่านเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้ตัวเลขการรองลิ้นของหัวอ่าน (Bearing Number;  $\Lambda$ ) เปลี่ยนไปและที่ความเร็วแผ่นดิสก์เดียวกันแต่ค่าตัวเลขการรองลิ้น (Bearing Number;  $\Lambda$ ) ต่างกันจะพบว่าที่ค่าตัวเลขการรองลิ้น (Bearing Number;  $\Lambda$ ) สูงกว่าจะมีระยะการลอยตัวต่ำสุดของหัวอ่านลดต่ำลง ดังนั้นความเร็วแผ่นดิสก์และตัวเลขการรองลิ้น (Bearing Number;  $\Lambda$ ) มีผลต่อระยะความสูงในการลอยตัวของหัวอ่าน



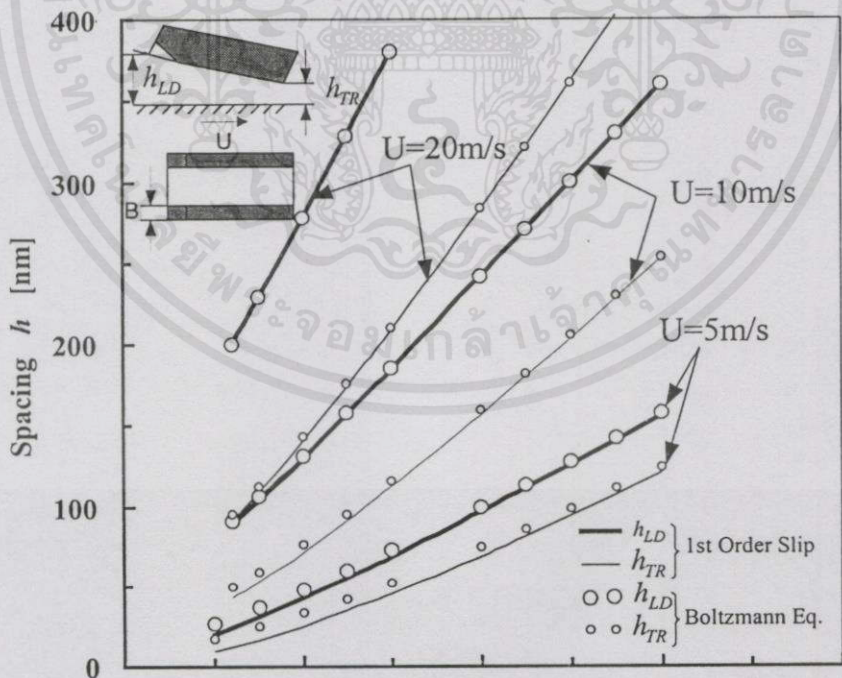
รูปที่ 5.2 ผลของความเร็วแผ่นดิสก์ที่มีต่อระยะการลอยตัวต่ำสุดหรือที่บริเวณขอบท้ายของหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ เมื่อการเคลื่อนที่เป็นแบบสถิต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 5.3 ผลของความเร็วแผ่นดิสก์ที่มีต่อระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM3380 เมื่อการเคลื่อนที่เป็นแบบสถิต

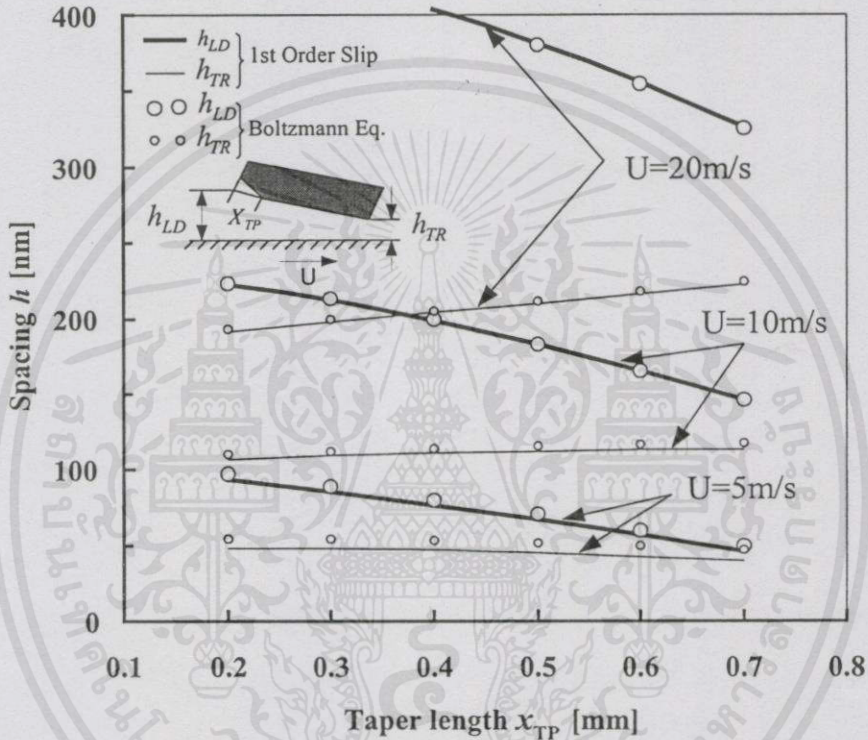
ในรูปที่ 5.3 แสดงผลของความเร็วมอเตอร์ที่มีต่อระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อการเคลื่อนที่เป็นแบบสถิต จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าความเร็วของแผ่นดิสก์มีผลต่อค่าความหนาฟิล์มอากาศหล่อลื่นอย่างมาก โดยเฉพาะความหนาฟิล์มอากาศหล่อลื่นที่บริเวณขอบนำ จะสังเกตเห็นว่าระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบนำต่างกับระยะลอยตัวที่บริเวณขอบท้ายมากขึ้น ซึ่งผลที่เกิดขึ้นนี้หมายถึงหัวอ่านมีมุมพิทช์ (Pitch angle) มากขึ้นหรือมีความเอียงมากขึ้น ผลต่างๆนี้เมื่อเปรียบเทียบระยะการลอยตัวของหัวอ่านทั้งสองชนิด จะพบว่าระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 มีระยะการลอยตัวต่ำกว่าหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) เพื่อตรวจสอบถูกต้องในการคำนวณวิเคราะห์ความหนาฟิล์มอากาศหล่อลื่นของหัวอ่าน จึงทำการเปรียบเทียบกับผลการคำนวณของ ฮาชิโมโต (Hashimoto H.) และ ฮัทโตรี (Hattori Y.) [24] ซึ่งการวิเคราะห์ของฮาชิโมโต (Hashimoto H.) และ ฮัทโตรี (Hattori Y.) ได้ทำการศึกษาพิจารณาการหล่อลื่นด้วยสมการของโบลทซ์แมน (Boltzmann equation) โดยหาความสัมพันธ์ของระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปลี่ยนแปลง ความกว้างของราง (Slider rail width) ความยาวของส่วนราบเอียงด้านหน้าของจุดไม่ต่อเนื่อง (Taper length) ขนาดมุมราบเอียงด้านหน้าของหัวอ่าน (Taper angle) ระยะยึดจับหัวอ่าน (Suspension position) และแรงกดหัวอ่านที่จุดยึด (Suspension preload) ซึ่งในวิทยานิพนธ์ได้ทำการศึกษาพิจารณาการหล่อลื่นเป็นแบบ First Order slip โดยในที่นี้ผลการคำนวณในวิทยานิพนธ์แสดงด้วยเส้นทึบและผลการวิเคราะห์ [24] แสดงด้วยจุดวงกลมโปร่ง



รูปที่ 5.4 ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงความกว้างของรางอ่านและ

ความเร็วของแผ่นดิสก์และเปรียบเทียบกับผลการคำนวณของ [24]

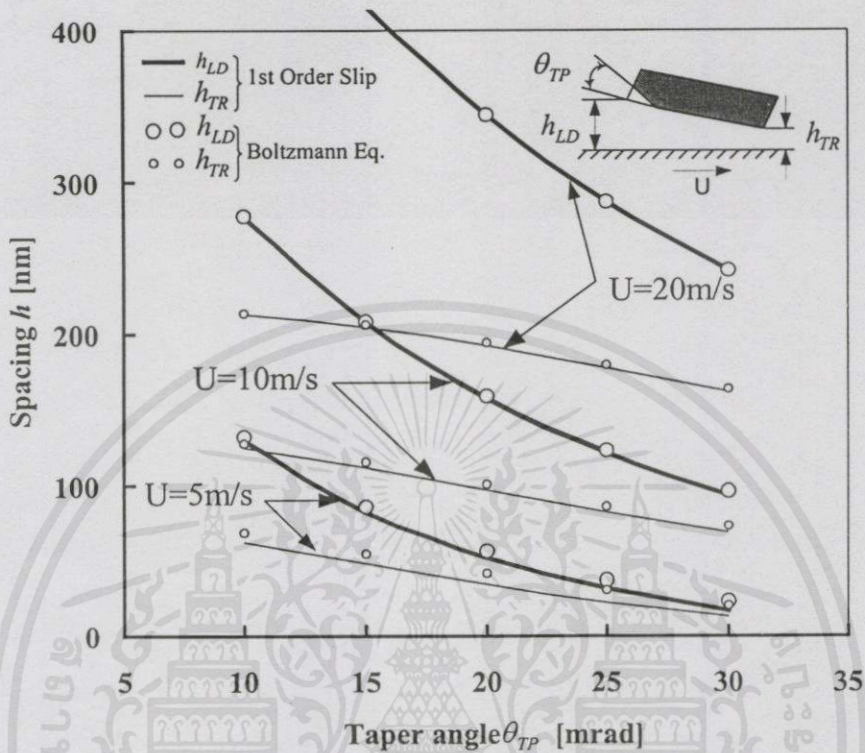
ในรูปที่ 5.4 แสดงผลการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อความกว้างของรางเปลี่ยนไป เมื่อความกว้างของรางของหัวอ่านเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ระยะห่างระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์เพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วแผ่นดิสก์เพิ่มขึ้นระยะการลอยตัวของหัวอ่านที่ขอบนำหรือบริเวณด้านหน้าจะแตกต่างกับระยะลอยตัวที่ขอบท้ายมากยิ่งขึ้นส่งผลให้หัวอ่านเอียงมากยิ่งขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณที่ได้จะพบว่ามีความใกล้เคียงกันมากและแนวโน้มของค่าที่ได้เหมือนกัน และความเร็วแผ่นดิสก์มากขึ้นค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกันมาก



รูปที่ 5.5 ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงความยาวของส่วนราบเอียงของรางหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์และเปรียบเทียบกับผลการคำนวณของ [24]

ในรูปที่ 5.5 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงของระยะการลอยตัวกับความยาวของส่วนราบเอียงของรางของหัวอ่าน (Taper length) จะเห็นว่าระยะการลอยตัวของหัวอ่านจะมีค่าลดลงเมื่อความยาวของส่วนราบเอียงของหัวอ่านเพิ่มมากขึ้นในขณะที่มุมเอียงส่วนนี้เท่าเดิม และยิ่งความเร็วแผ่นดิสก์สูงขึ้นก็ยิ่งส่งผลให้มีระยะการลอยตัวต่ำลงอย่างรวดเร็วแต่ระยะการลอยตัวที่ได้สูงกว่าระยะการลอยตัวที่ความเร็วต่ำกว่า ในทางตรงข้ามกับรูปที่ 5.4 มุมเอียงของหัวอ่านมีค่าลดลงหรือมีระยะขอบนำและขอบท้ายใกล้เคียงกันเมื่อระยะความยาวของส่วนราบเอียงเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ใน[24] จะเห็นว่าค่าที่ได้จากการคำนวณในวิทยานิพนธ์มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จาก

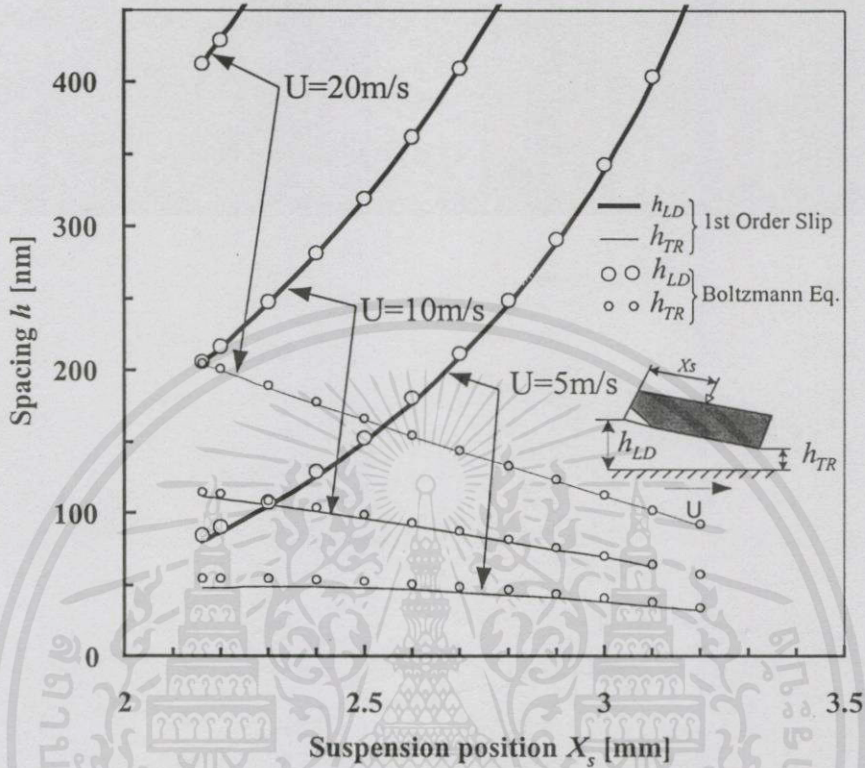
การวิเคราะห์ใน [24] เมื่อความเร็วแผ่นดิสก์ต่ำ แต่มีค่าใกล้เคียงกันมากยิ่งขึ้นเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น รวมทั้งแนวโน้มของค่าที่คำนวณได้มีลักษณะคล้ายกัน



รูปที่ 5.6 ระยะเวลาลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของมุมหรือความชันของส่วนราบเอียงของรางหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์และเปรียบเทียบกับผลการคำนวณของ [24]

ในทำนองเดียวกันรูปที่ 5.6 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาลอยตัวกับมุมเอียงของส่วนราบเอียงของรางของหัวอ่าน ระยะเวลาลอยตัวของหัวอ่านจะมีค่าลดลงเมื่อความเอียงของส่วนราบเอียงของหัวอ่านเพิ่มมากขึ้นในขณะที่ความยาวของส่วนราบเอียงยาวเท่าเดิม และยิ่งความเร็วแผ่นดิสก์สูงขึ้นก็ยิ่งส่งผลให้มีระยะเวลาลอยตัวของหัวอ่านที่บริเวณขอบนำตัวลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว แต่ระยะเวลาลอยตัวของหัวอ่านที่บริเวณขอบท้ายลดลงแบบคงที่ ที่มุมเอียงเท่ากันและความเร็วของแผ่นดิสก์มากขึ้นจะมีระยะเวลาลอยตัวสูงกว่าระยะเวลาลอยตัวที่ความเร็วแผ่นดิสก์ต่ำกว่ารวมทั้งระยะลอยตัวของหัวอ่านที่ขอบนำและขอบท้ายแตกต่างกันมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจะพบว่ามุมเอียงของหัวอ่าน (Pitch angle) จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วแผ่นดิสก์เพิ่มขึ้น ในขณะที่มุมเอียงของส่วนที่ไม่ต่อเนื่อง (Taper angle) คงที่ ซึ่งผลโดยรวมจะพบว่ามุมเอียงของหัวอ่าน (Pitch angle) มีค่าลดลงหรือมีระยะขอบนำและขอบท้ายใกล้เคียงกันเมื่อมุมเอียงของส่วนราบเอียง (Taper angle) เพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ใน [24] จะเห็นว่าค่าที่ได้จากการคำนวณในวิทยานิพนธ์มีค่าสูงกว่า

ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ใน [24] เมื่อความเร็วต่ำ แต่มีค่าใกล้เคียงกันมากยิ่งขึ้นเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น รวมทั้งแนวโน้มของค่าที่คำนวณได้มีลักษณะคล้ายกัน



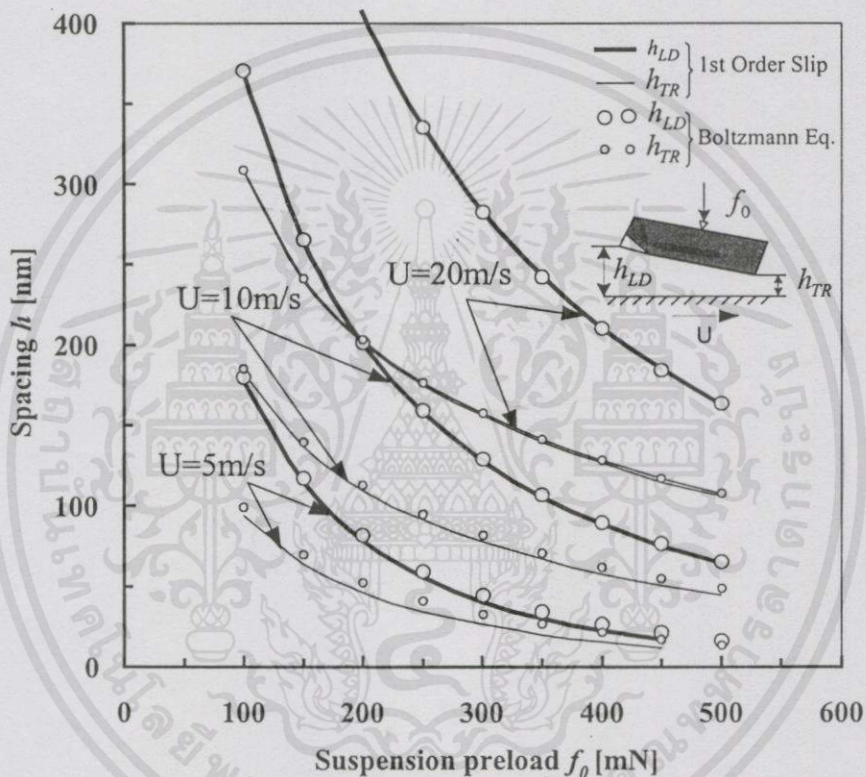
รูปที่ 5.7 ระยะเวลาลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงตำแหน่งยึดจับหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์และเปรียบเทียบกับผลการคำนวณของ [24]

ผลของการลอยตัวของหัวอ่านในรูปที่ 5.7 เมื่อระยะของจุดยึดจับหัวอ่านในแนวตามยาวเปลี่ยนแปลงโดยระยะจุดยึดมากขึ้นหรือจุดยึดจับเลื่อนห่างออกไปจากขอบนำใกล้กับขอบท้ายมากขึ้นเรื่อยๆจะส่งผลให้ระยะเวลาลอยตัวของหัวอ่านที่บริเวณขอบนำจะมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและในทางตรงข้ามระยะลอยตัวต่ำสุดของหัวอ่านจะมีค่าลดลงแบบคงตัว แต่ที่ความเร็วแผ่นดิสก์สูงขึ้นระยะเวลาลอยตัวของหัวอ่านจะสูงขึ้น และความแตกต่างกันของระยะลอยตัวที่ขอบท้ายและขอบนำมากยิ่งขึ้น นั่นหมายถึงการลอยตัวของหัวอ่านมีความเอียงมากยิ่งขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ใน[24]และในวิทยานิพนธ์จะเห็นว่าค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่าการวิเคราะห์ใน [24] เมื่อความเร็วต่ำ แต่มีค่าใกล้เคียงกันมากยิ่งขึ้นเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น รวมทั้งแนวโน้มของค่าที่คำนวณได้มีลักษณะคล้ายกัน

เอกสารอ้างอิง: การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งในทางตรงกันข้ามผลของการลอยตัวของหัวอ่านในรูปที่ 5.8 เมื่อแรงกดหัวอ่านที่จุดยึดจับหัวอ่านเปลี่ยนแปลง โดยเมื่อป้อนแรงกดหัวอ่านมากยิ่งขึ้นจะส่งผลให้ระยะเวลาลอยตัวของหัวอ่าน

ที่บริเวณขอบนำและขอบท้ายจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วและมีแนวโน้มคล้ายกัน และที่ความเร็วแผ่นดิสก์สูงขึ้นระยะการลอยตัวของหัวอ่านจะสูงขึ้นและความแตกต่างกันของระยะลอยตัวที่ขอบท้ายและขอบนำมากยิ่งขึ้นนั่นหมายถึงการลอยตัวของหัวอ่านมีความเอียงมากยิ่งขึ้น แต่สำหรับแรงที่ป้อนให้กับหัวอ่านยังมีค่าสูงขึ้นความแตกต่างระหว่างระยะการลอยตัวที่ขอบนำและขอบท้ายลดลงหรือความเอียงของหัวอ่านลดลง เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ใน [24] และในวิทยานิพนธ์จะเห็นว่าค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่าการวิเคราะห์ใน [24] เมื่อความเร็วต่ำ แต่มีค่าใกล้เคียงกันมากยิ่งขึ้นเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น รวมทั้งแนวโน้มของค่าที่คำนวณได้มีลักษณะคล้ายกัน



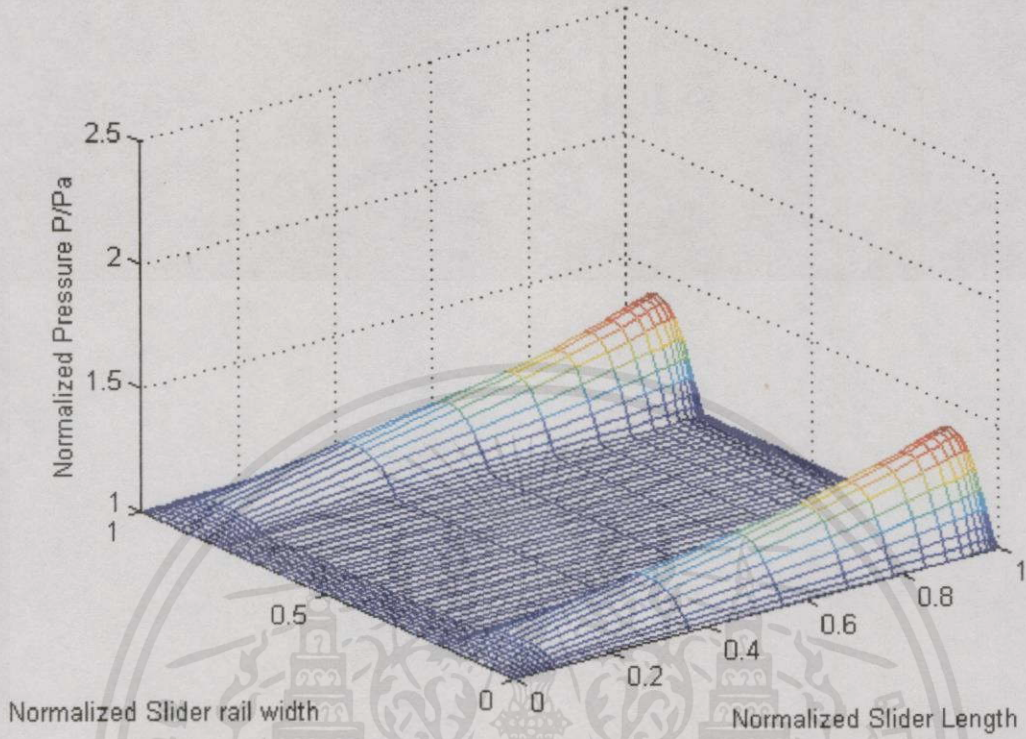
รูปที่ 5.8 ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM3380 เมื่อเปลี่ยนแปลงแรงที่กระทำบนหัวอ่านและความเร็วของแผ่นดิสก์และเปรียบเทียบกับผลการคำนวณของ [24]

เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการคำนวณใน [24] จะพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันมากและจะเท่ากันเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์สูงขึ้น แนวโน้มของค่าที่ได้มีลักษณะคล้ายกัน ดังนั้นจึงมั่นใจได้ผลการคำนวณโดยการวิเคราะห์การไหลแบบ First Order Slip ให้ค่าที่ถูกต้อง และจากรูปที่ 5.4 – 5.8

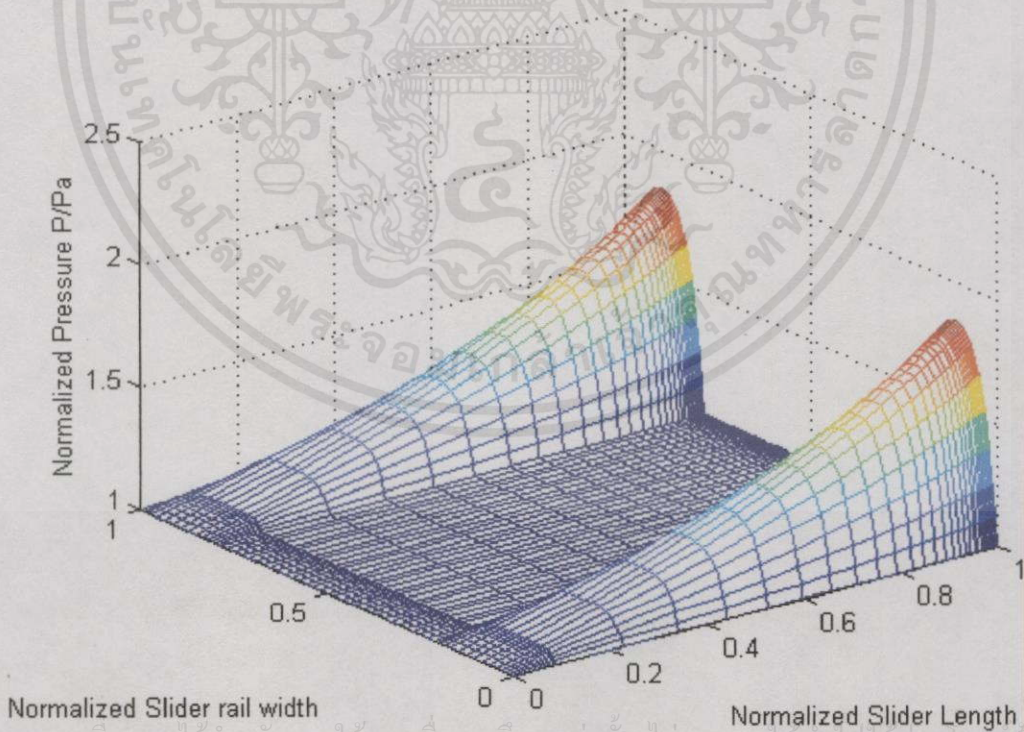
แสดงผลการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อขนาดต่างๆของหัวอ่านชนิด IBM 3380 เปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบประโยชน์อย่างมาในการนำค่าเหล่านี้มาวิเคราะห์ห้ออกแบบรูปร่างที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิด IBM 3380 เพื่อให้ได้ผลการทำงานที่ดีมากยิ่งขึ้น

### 5.2 การกระจายความดันของหัวอ่านบนแผ่นดิสก์ในสภาวะสถิต

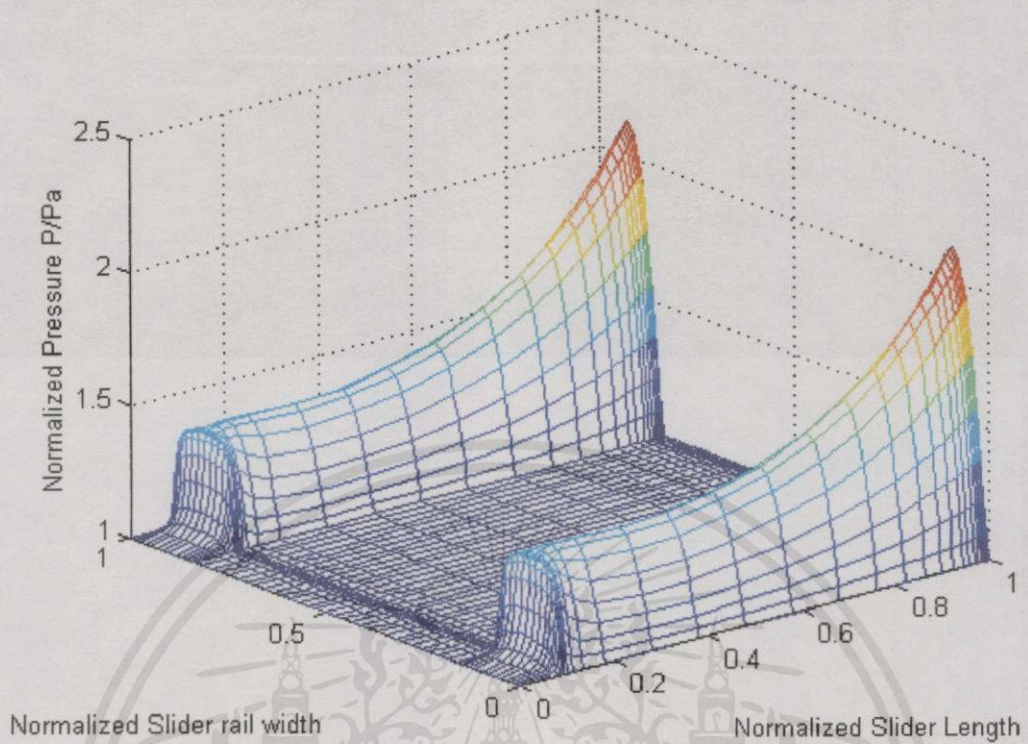
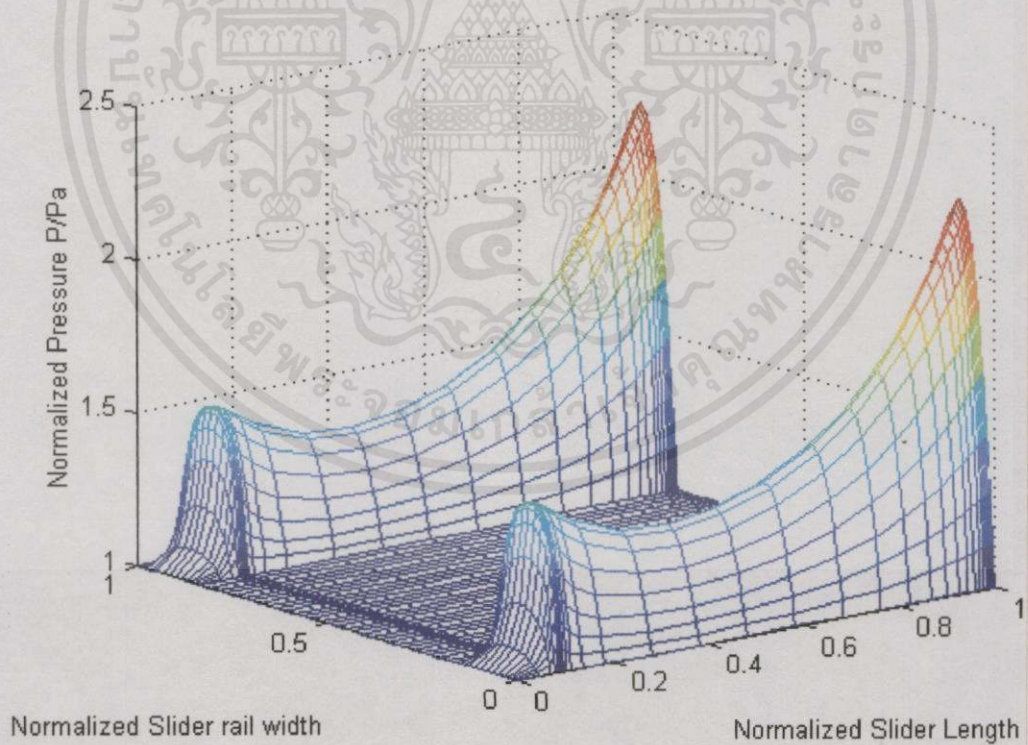
Pressure Distribution For Wedge Plane Type Slider at U=5 m/s



Pressure Distribution For Wedge Plane Type Slider at U=30 m/s



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใด **รูปที่ 5.9** ความดันกระจายบนพื้นผิวของหัวอ่านชนิดลิมนระนาบ (Plane Wedge Type) ที่ความเร็ว  
 ของผิวดิสก์ 5 เมตรต่อวินาที และ 30 เมตรต่อวินาที

Pressure Distribution For IBM 3380 Type Slider at  $U=5$  m/sPressure Distribution For IBM 3380 Type Slider at  $U=30$  m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูปที่ 5.10** ความดันกระจายบนพื้นผิวของหัวอ่านชนิด IBM3380 ที่ความเร็วของฟิวคิสก์ 5 เมตรต่อวินาทีและ 30 เมตรต่อวินาที

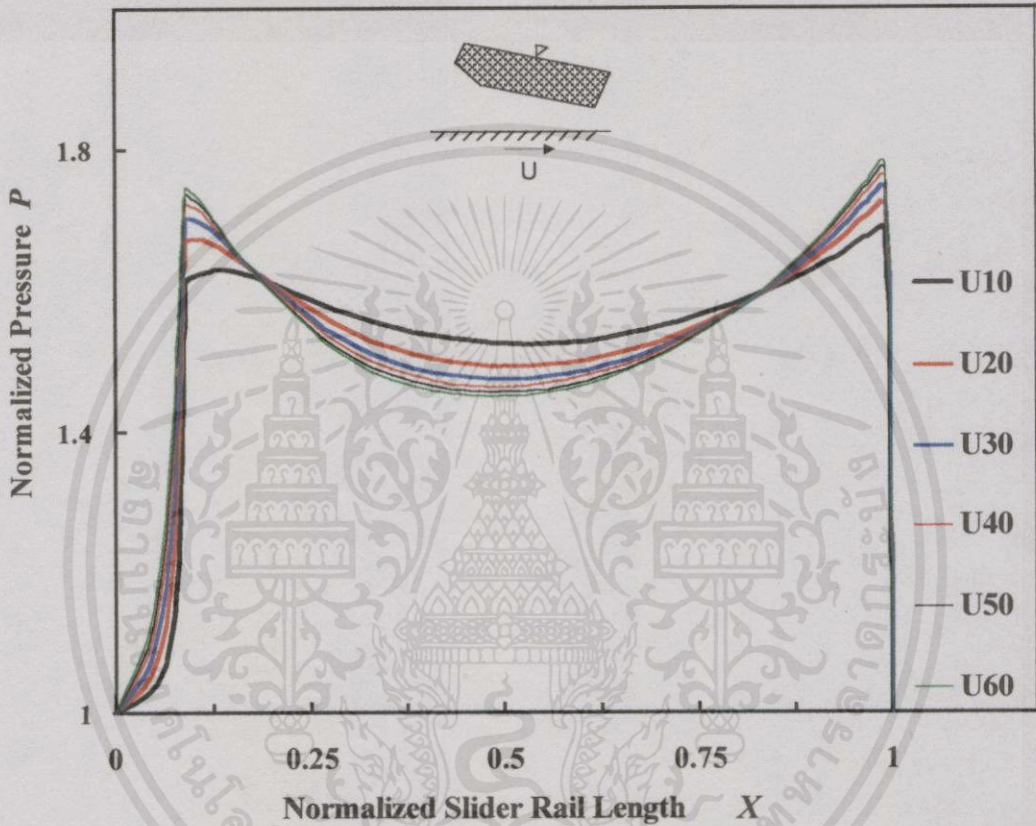
ในรูปที่ 5.9 และรูปที่ 5.10 แสดงความดันกระจายระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ของหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) และ IBM 3380 เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์ 5 เมตรต่อวินาที และ 30 เมตรต่อวินาที ผลที่ได้เมื่อเปรียบเทียบความดันกระจายที่ความเร็วเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความดันสูงขึ้น และที่ความเร็วเท่ากันความดันของหัวอ่านชนิด IBM 3380 มีค่าความดันที่ได้สูงกว่าความดันที่สร้างขึ้นของหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) และเมื่อเปรียบเทียบขนาดต่างๆของหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) และชนิด IBM 3380 เท่ากัน แต่หัวอ่านชนิด IBM 3380 มีโครงสร้างแตกต่างตรงที่มีส่วนราบเอียงที่บริเวณส่วนหน้าของหัวอ่านหรือมีจุดไม่ต่อเนื่องของผิวราง โดยมีความชันต่างกันของพื้นผิว ส่งผลให้ความดันที่ได้แตกต่างกันอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type)

โดยหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) จากรูปที่ 5.9 ความดันที่กระจายบริเวณใกล้กับขอบนำหรือส่วนหน้าของหัวอ่านจะมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับความดันที่บริเวณใกล้กับขอบท้ายหรือส่วนหลังของหัวอ่าน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดแรงเนื่องจากความดันสูงที่บริเวณใกล้กับขอบท้าย รวมทั้งทำให้จุดศูนย์กลางของแรงเนื่องจากความดันเลื่อนออกห่างจากจุดศูนย์กลางมวลของหัวอ่านไปใกล้กับขอบท้ายของหัวอ่านมากยิ่งขึ้นเมื่อมีความเร็วมากยิ่งขึ้น ดังนั้นแรงกดที่ป้อนให้กับหัวอ่านที่จุดยึดหัวอ่านจะต้องเท่ากันกับแรงและจุดศูนย์กลางแรงเนื่องจากความดันของหัวอ่านจึงจะทำให้เกิดความสมดุลการเคลื่อนที่ซึ่งการสมดุลแรงทั้งสองในหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) ทำได้ยากมากและใช้เวลาดำเนินนานมาก

แต่สำหรับหัวอ่านชนิด IBM 3380 จากรูปที่ 5.10 ความดันที่กระจายบริเวณใกล้กับขอบนำหรือส่วนหน้าของหัวอ่านและความดันที่บริเวณใกล้กับขอบท้ายหรือส่วนหลังของหัวอ่านมีค่าไม่แตกต่างกันมากและมีความดันสูงกว่าเปรียบเทียบกับหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) ซึ่งจะส่งผลให้เกิดแรงเนื่องจากความดันสูงเพียงพอที่จะรับหัวอ่านสามารถหมุนให้หัวอ่านลอยตัวได้เองทำให้เกิดการรองลิ้นได้ด้วยตัวเอง โดยมีการหล่อลิ้นแบบไฮโดรไดนามิก รวมทั้งทำให้จุดศูนย์กลางของแรงเนื่องจากความดันเลื่อนเข้าใกล้กับจุดศูนย์กลางมวลของหัวอ่านมากกว่าหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type)

ดังนั้นแรงกดที่ป้อนให้กับหัวอ่านที่จุดยึดหัวอ่านจะต้องเท่ากันกับแรงและจุดศูนย์กลางแรงเนื่องจากความดันของหัวอ่านจึงจะทำให้เกิดความสมดุลการเคลื่อนที่ซึ่งการสมดุลแรงทั้งสองจะเกิดขึ้นในหัวอ่านชนิด IBM 3380 มากกว่า หัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) ผลที่ได้แสดงให้เห็นอย่างเด่นชัดว่าการทำงานของหัวอ่านชนิด IBM 3380 มีความสมดุลการเคลื่อนที่มากกว่าหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) โดยเฉพาะอย่างยิ่งหัวอ่านชนิด IBM 3380 สามารถสร้างความดันหมุนรองหัวอ่านให้เคลื่อนที่บนแผ่นดิสก์ได้เอง รวมทั้งสามารถทำการสมดุลแรงได้ง่ายกว่าทำให้ควบคุมได้ง่ายกว่าหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type)

รูปที่ 5.11 แสดงการปรับเปลี่ยนค่าความดันที่เกิดขึ้นบริเวณกึ่งกลางรางของหัวอ่านเพื่อรักษาให้เกิดความสมดุลแรงกระทำต่อหัวอ่านเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น จะสังเกตเห็นว่าค่าความดันที่เปลี่ยนแปลงไปเพื่อรักษาความสมดุลของหัวอ่านที่ความเร็วยิ่งมากขึ้น ความดันที่บริเวณขอบหน้าและขอบท้ายของหัวอ่านจะมีค่ามากยิ่งขึ้นรวมทั้งมีความสมมาตรกันของแรงมากขึ้น แต่ความดันที่บริเวณตรงกลางแนวความยาวของรางหัวอ่านปรับตัวลดลง



รูปที่ 5.11 ผลของความดันกระจายที่กึ่งกลางของรางหัวอ่านตามแนวความยาวเนื่องจากการรักษาสมดุลตำแหน่งยึดจับหัวอ่านและแรงกระทำบนบนหัวอ่านเพื่อให้เกิดพฤติกรรมสถิตเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยน

เมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณความดันที่เกิดในแนวกึ่งกลางรางของหัวอ่านกับผลการคำนวณใน [14] ซึ่งทำการวิเคราะห์หาความดันบนหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) และ IBM 3370 เมื่อป้อนค่าลักษณะต่างๆ เท่ากันพบว่าผลการคำนวณที่ได้ใกล้เคียงกันมากดังแสดงในรูปที่ 5.12-5.13 โดยผลการคำนวณที่โปรแกรมทำได้ซึ่งแสดงด้วยเส้นทึบ และผลการวิเคราะห์ของ [14]

แสดงด้วยวงกลมโปร่ง และข้อดีคือความดันที่ได้จากการคำนวณไม่เกิดความผิดพลาดหรือเกิดความไม่ต่อเนื่องของความดันเมื่อค่าตัวเลขการรองรับ (bearing number;  $\Lambda$ ) เพิ่มขึ้นเหมือนกับ Miu [14] ทั้งนี้เนื่องจากสมการการหล่อลื่นมีความความไม่เชิงเส้นสูง

ในที่นี้ค่าที่ป้อนในการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบกับ [14] คือ

ความกว้างของรางของหัวอ่าน = 0.65 มิลลิเมตร

ความยาวของหัวอ่าน = 4.064 มิลลิเมตร

ความกว้างของหัวอ่าน = 3.202 มิลลิเมตร

ความยาวของส่วนราบเอียงด้านหน้า = 0.382 มิลลิเมตร

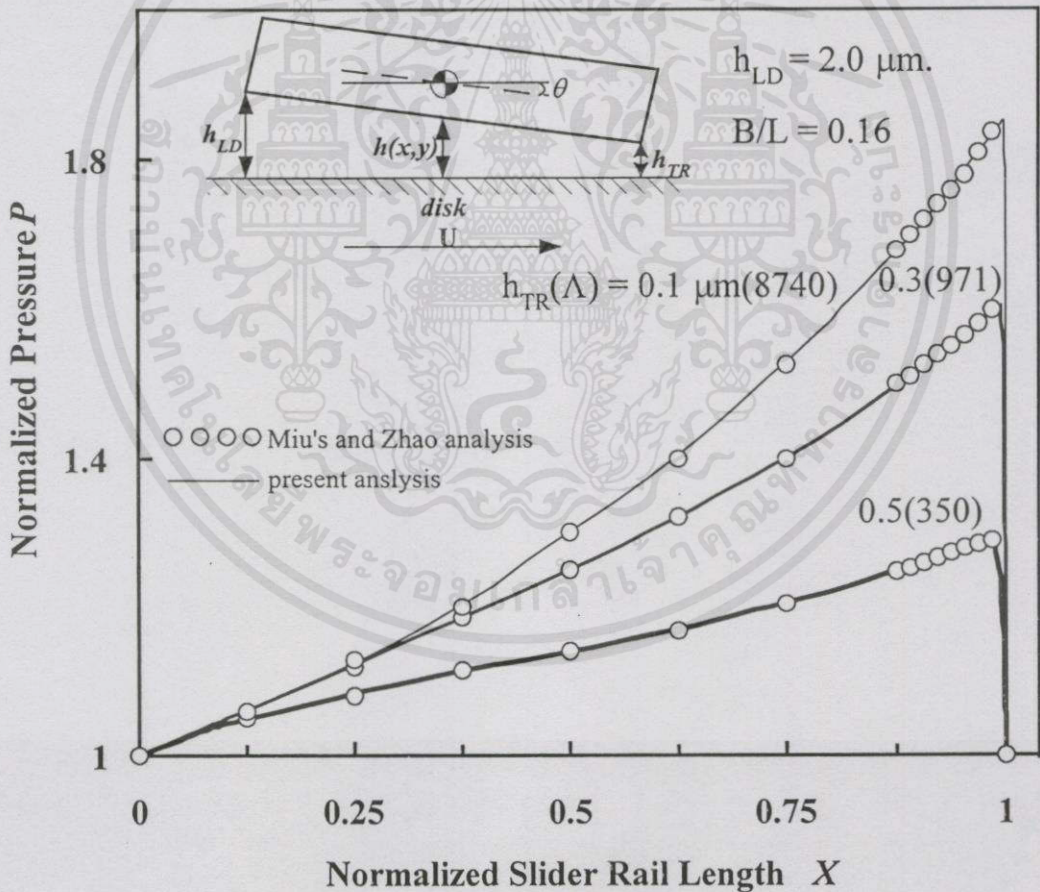
ความสูงของส่วนราบเอียงด้านหน้า = 0 (หัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ :Plane Wedge Type)

= 0.005542 มิลลิเมตร (Taper flat type, IBM 3370)

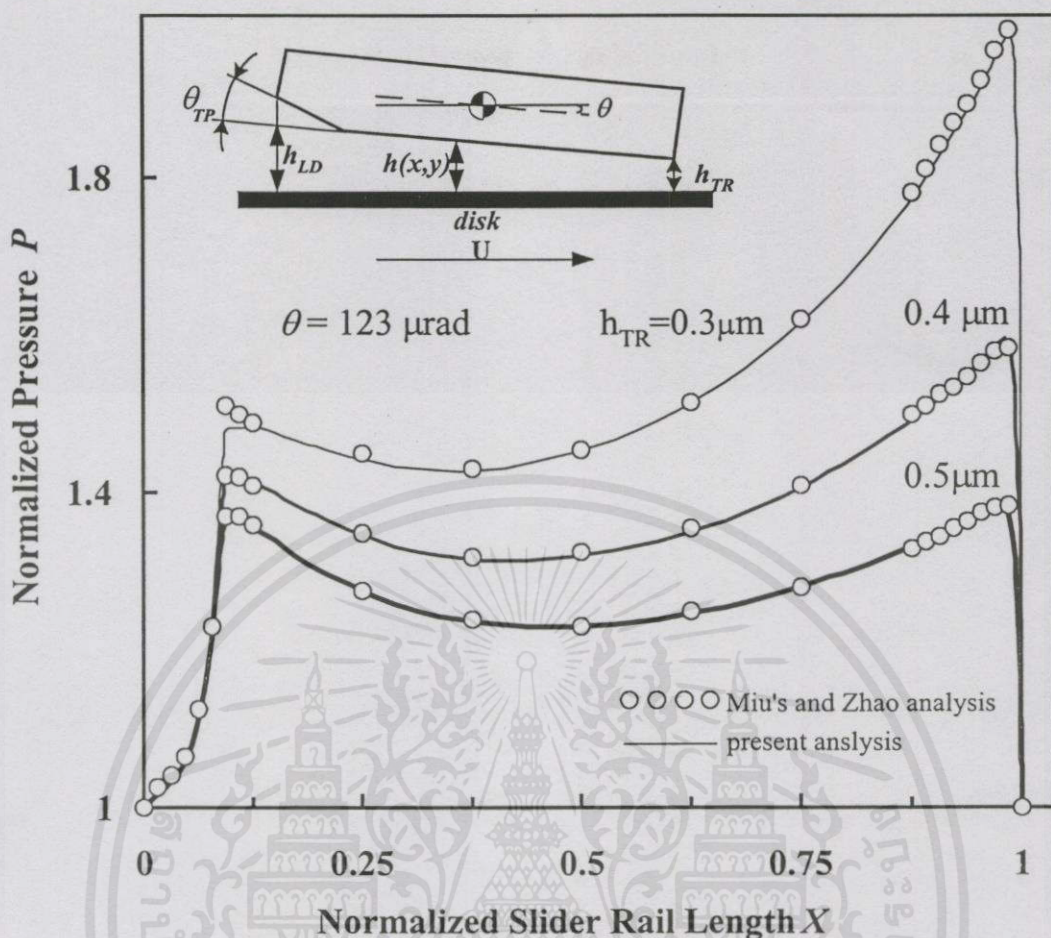
ความเร็วของแผ่นดิสก์ในแนวแกน x (แนวตามความยาวของหัวอ่าน) = 20.4 เมตรต่อวินาที

ความเร็วของแผ่นดิสก์ในแนวแกน y (แนวตามความกว้างของหัวอ่าน) = 0 เมตรต่อวินาที

ความเร็วเชิงมุมของแผ่นดิสก์ = 337 เรเดียนต่อวินาที



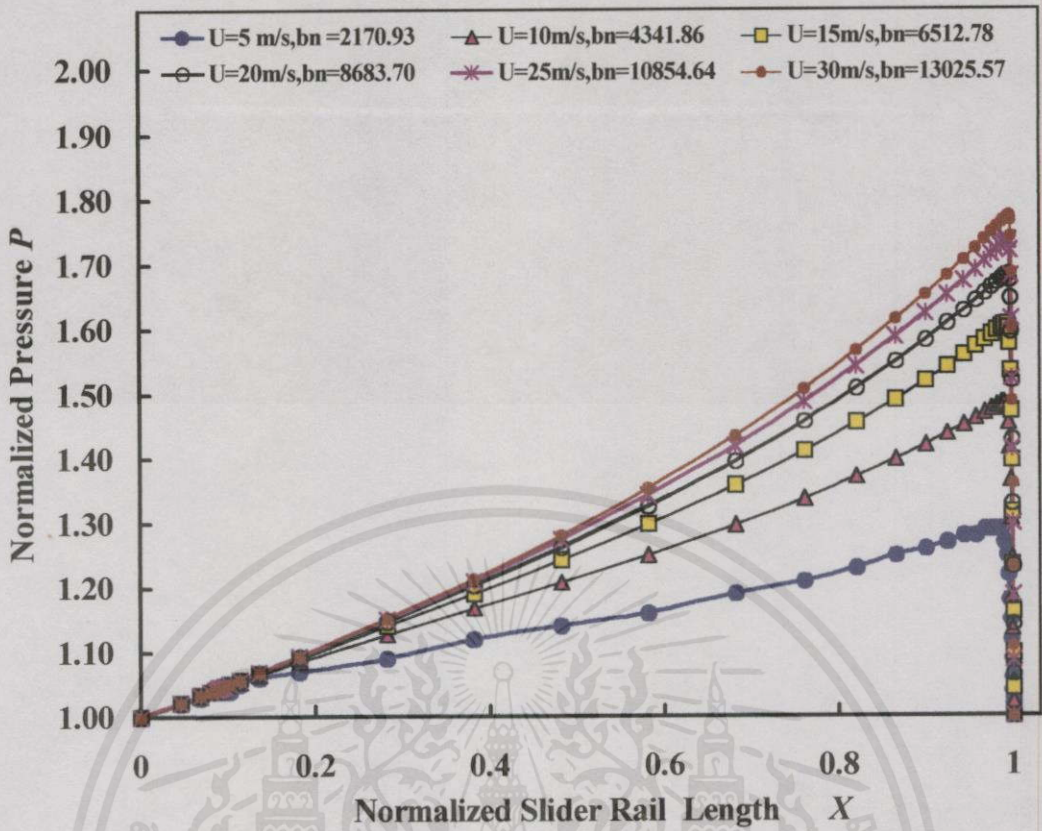
รูปที่ 5.12 ความดันระหว่างหัวอ่านชนิด Plane Wedge Type และแผ่นดิสก์ที่กระจายตามแนวความยาวของหัวอ่านบริเวณตรงกลางราง โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขกับ [14]



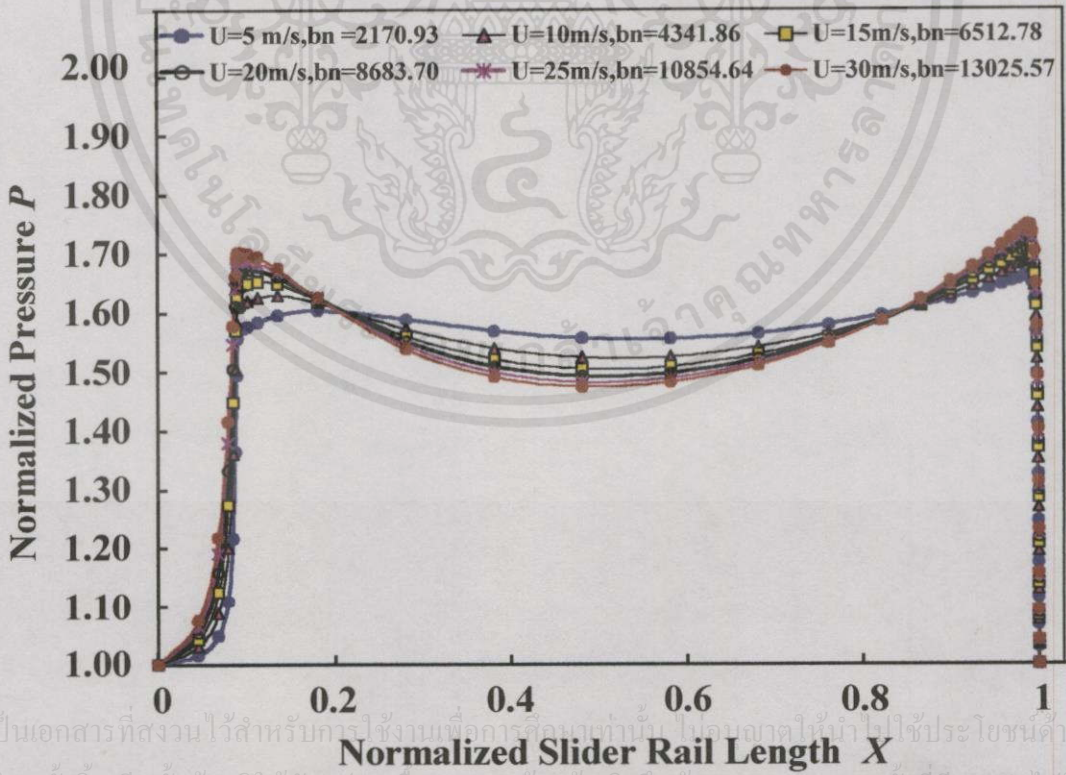
รูปที่ 5.13 ความดันระหว่างหัวอ่านชนิด IBM 3380 และแผ่นดิสก์ที่กระจายตามแนวความยาวของหัวอ่านบริเวณตรงกลางราง โดยเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขกับ [14]

รูปที่ 5.12-5.13 แสดงความดันกระจายบริเวณกึ่งกลางรางของหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) และ IBM 3370 เพื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณกับ [14] และในรูปที่ 5.14-5.15 แสดงความดันกระจายบริเวณกึ่งกลางรางของหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) และ IBM 3380 ซึ่งเป็นหัวอ่านที่ใช้ในการคำนวณในวิทยานิพนธ์ ตามลำดับจะพบว่ายิ่งความหนาฟิล์มหล่อลื่นต่ำลง ความดันที่เกิดขึ้นก็ยิ่งมีค่ามากยิ่งขึ้น นั่นหมายถึงแรงเนื่องจากความดันก็มีค่ามากขึ้น ด้วยเช่นกันส่งผลให้แรงหนูนหัวอ่านมีมากขึ้นทำให้การหล่อลื่นเป็นแบบไฮโดรไดนามิก ดังนั้นความหนาฟิล์มน้อยๆจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องพิจารณาในการออกแบบหัวอ่านในปัจจุบัน แต่ความหนาฟิล์มต้องบางเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างหัวอ่านและผิวดิสก์ เพราะหากเกิด

การสัมผัสกันก็จะส่งผลให้เกิดความสูญหายของข้อมูลที่เก็บบันทึกไว้ เราได้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 ความดันระหว่างหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) ที่วิเคราะห์ในวิทยานิพนธ์และแผ่นดิสก์ที่กระจายตามแนวความยาวของหัวอ่านบริเวณตรงกลางราง



รูปที่ 5.15 ความดันระหว่างหัวอ่านชนิด IBM 3380 ที่วิเคราะห์ในวิทยานิพนธ์และแผ่นดิสก์ที่กระจายตามแนวความยาวของหัวอ่านบริเวณตรงกลางราง

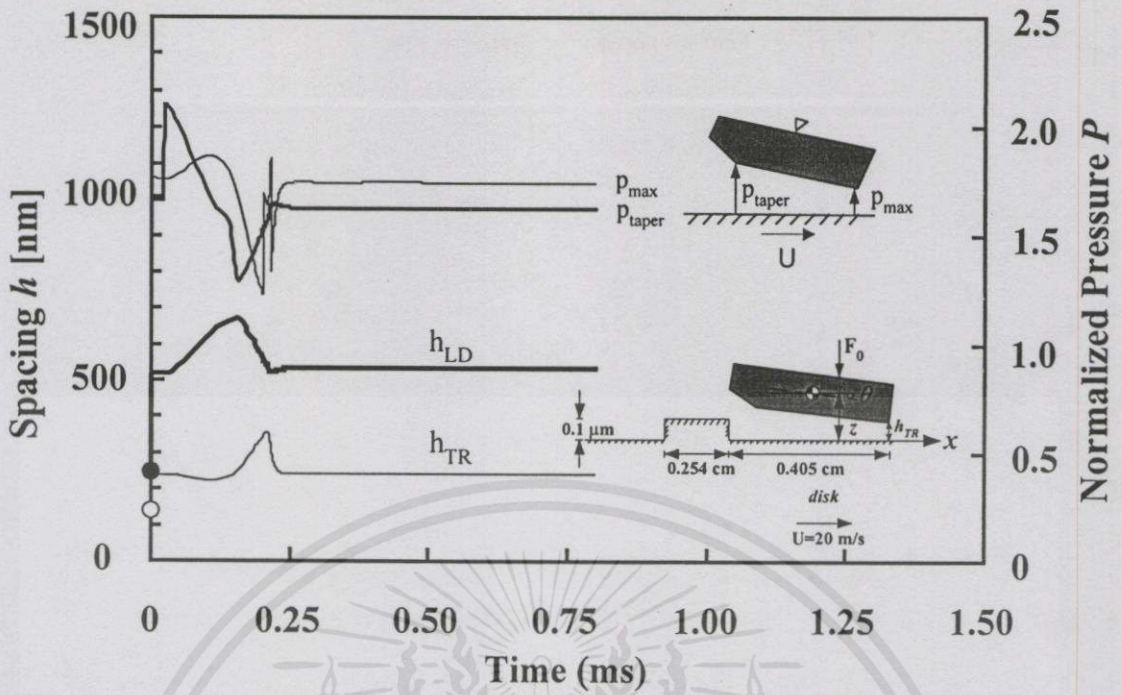
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานับ ไม่นับค่าเงินค่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ทั้งต้นฉบับที่ได้พิมพ์ลงนิตยสารและต้องอ้างอิงถึงชื่อเอกสารทุกครั้งที่ใช้

### 5.3 การกระจายความดันของหัวอ่านบนแผ่นดิสก์ในสภาวะพลวัต

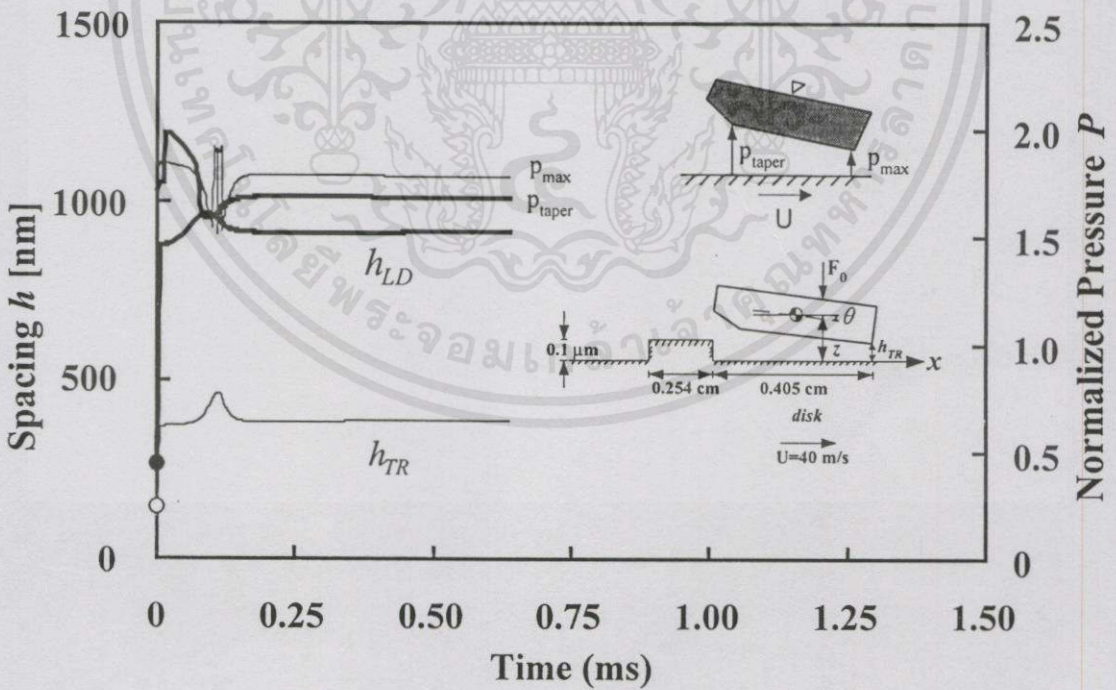
ขณะที่หัวอ่านอินเตอร์เฟกซ์กับผิวดิสก์จะมีความดันเกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวทั้งสองซึ่งลักษณะความดันกระจายขึ้นอยู่กับลักษณะของหัวอ่าน แรงยึดจับหัวอ่าน ความหนาของฟิล์มหล่อลื่น หรือ ระยะการลอยตัวของหัวอ่าน ความเร็วของแผ่นดิสก์ที่เคลื่อนที่ผ่านหัวอ่าน รวมทั้งพฤติกรรมเคลื่อนที่ของหัวอ่าน ซึ่งพฤติกรรมเคลื่อนที่แบบสถิตจะมีค่าความดันกระจายขึ้นกับความเร็วของแผ่นดิสก์และค่าตัวเลขการรอนด์น พฤติกรรมพลวัตจะต้องพิจารณาตามลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านด้วย ดังนั้นในวิทยานิพนธ์จะแสดงความดันเนื่องพฤติกรรมเคลื่อนที่ในสภาวะไม่คงตัวเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านป้อนูนสี่เหลี่ยมสูงเท่ากับ 0.1 ไมโครเมตร และความหนาฟิล์มต่ำสุดของหัวอ่านเท่ากับ 0.1 ไมโครเมตร ซึ่งจะแสดงความดันที่เกิดบนหัวอ่านชนิด IBM 3380 ขึ้น ณ จุดไม่ต่อเนื่องของหัวอ่าน และจุดที่เคยเกิดความดันสูงสุดขณะมีพฤติกรรมสถิต และหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) ก็แสดงความดันในตำแหน่งเดียวกันด้วย

ในรูปที่ 5.16-5.19 แสดงระยะลอยตัวของหัวอ่านที่บริเวณขอบนำและขอบท้ายควบคู่กับความดันที่เกิดขึ้นสองตำแหน่งบนหัวอ่าน เมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางที่มีรูปร่างสี่เหลี่ยมมีความยาว 2.54 มิลลิเมตร สูง 0.1 ไมโครเมตรเท่ากับความหนาฟิล์มต่ำสุดของหัวอ่าน ซึ่งความเร็วในการเคลื่อนที่ของสิ่งกีดขวางผ่านหัวอ่านเท่ากับ 20 เมตรต่อวินาทีและ 40 เมตรต่อวินาที โดยที่ความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที สิ่งกีดขวางจะเคลื่อนที่ผ่านหัวอ่านที่เวลาเท่าศูนย์ของพฤติกรรมพลวัตและเริ่มเคลื่อนที่ออกที่เวลา 0.0002025 วินาที และที่ความเร็ว 40 เมตรต่อวินาที สิ่งกีดขวางเคลื่อนที่ออกด้วยความเร็ว 0.00010125 วินาที

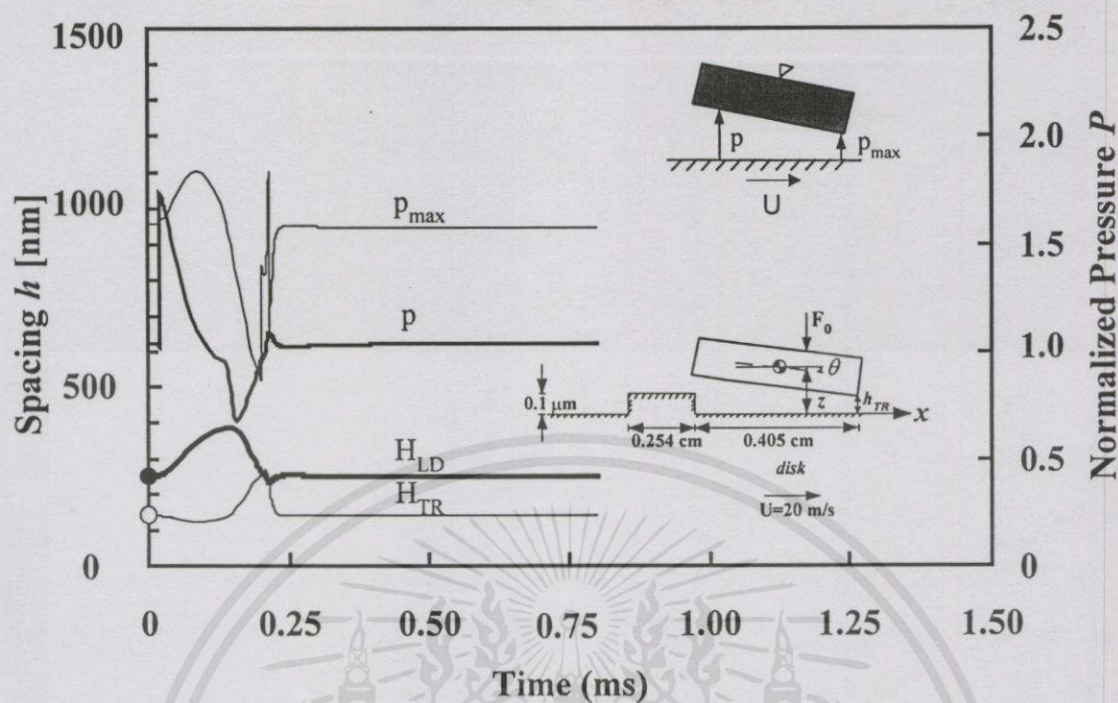
ขณะที่สิ่งกีดขวางเคลื่อนที่ผ่านหัวอ่านชนิด IBM 3380 ระยะลอยตัวที่ขอบนำหรือขอบด้านหน้าของหัวอ่านสูงขึ้นจากระยะเดิม โดยระยะขอบนำจะสูงขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่ระยะลอยตัวที่ขอบท้ายลดลงเรื่อยๆ ฟิล์มอากาศหล่อลื่นหัวอ่านจะมีความหนาลดลงด้วยระยะเท่ากับความสูงของสิ่งกีดขวางทำให้ความดันดันที่จุดไม่ต่อเนื่องของหัวอ่านชนิด IBM 3380 เพิ่มสูงขึ้นมากซึ่งมีค่ามากกว่าตำแหน่งที่เคยเกิดความดันสูงสุดบนหัวอ่าน จนกระทั่งสิ่งกีดขวางเคลื่อนตัวผ่านเข้าใกล้ขอบท้ายมากขึ้นเรื่อยๆจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะลอยตัวโดยที่ขอบท้ายจะถูกดันขึ้นเรื่อยๆในขณะที่ขอบนำจะมีระยะลดลงดังนั้นความหนาฟิล์มที่บริเวณขอบท้ายจะบางลงทำให้ความดันที่ตำแหน่งเคยเกิดความดันสูงสุดมากขึ้นกว่าเดิมมาก จนกระทั่งสิ่งกีดขวางเคลื่อนตัวออกจากหัวอ่าน เมื่อหัวอ่านสามารถปรับตัวในตำแหน่งใหม่เพื่อให้การเคลื่อนที่คงตัวความดันก็จะปรับตัวเข้าสู่ตำแหน่งที่สมดุลกับแรงยึดหัวอ่าน จากรูปที่ 5.16 เปรียบเทียบกับรูป 5.17 ซึ่งมีความเร็วของแผ่นดิสก์ต่างกัน จะพบว่า ที่ความเร็วแผ่นดิสก์สูงขึ้นมีผลทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านสูงขึ้นมาก เมื่อสิ่งกีดขวางเคลื่อนที่ผ่านทำให้ความดันระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์น้อยลง และระยะที่หัวอ่านเข้าสู่สภาวะคงตัวอีกครั้งสูงกว่าระยะลอยตัวเดิมมากยิ่งความเร็วสูงก็ยังมีระยะลอยตัวสูงมากกว่าเดิมมาก



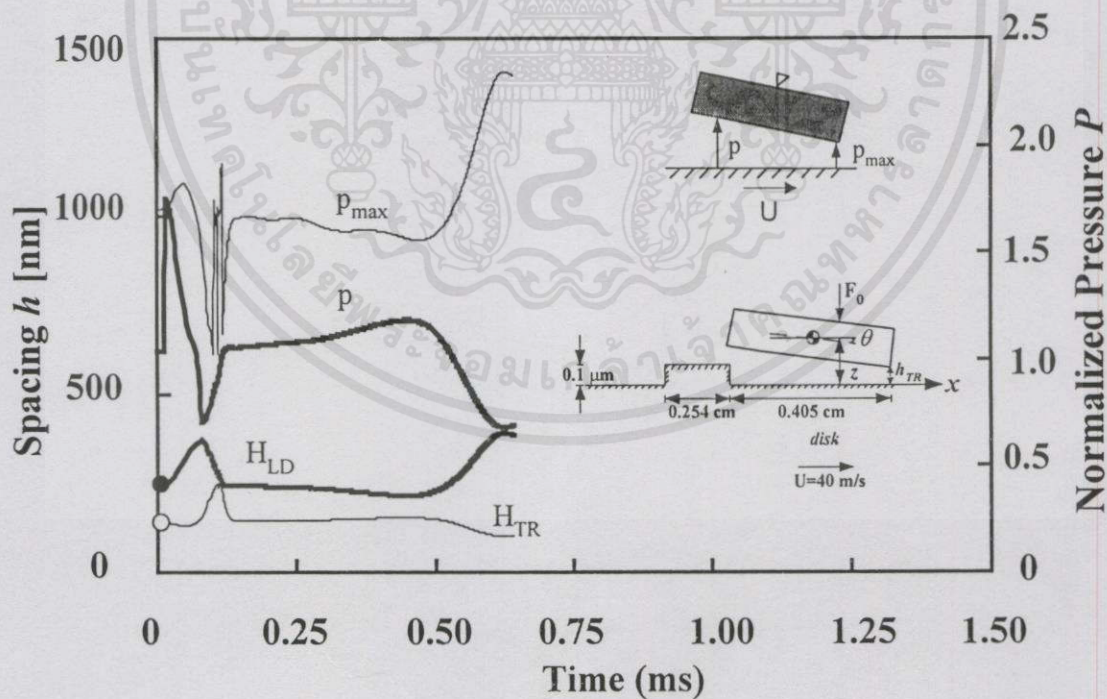
รูปที่ 5.16 ความดันที่เกิดขึ้นบนหัวอ่านชนิด IBM 3380 สองบริเวณเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางด้วยความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 5.17 ความดันที่เกิดขึ้นบนหัวอ่านชนิด IBM 3380 สองบริเวณเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางด้วยความเร็ว 40 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 5.18 ความดันที่เกิดขึ้นบนหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) สองบริเวณเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางด้วยความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 5.19 ความดันที่เกิดขึ้นบนหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) สองบริเวณเมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางด้วยความเร็ว 40 เมตรต่อวินาที

สำหรับหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.18-5.19 จะพบว่าที่ความเร็ว 20 เมตรต่อวินาทีลักษณะการลอยตัวของหัวอ่านคล้ายกับหัวอ่านชนิด IBM 3380 แต่ความดันที่เกิดขึ้นบนหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) ตำแหน่งเดียวกันกับหัวอ่านชนิด IBM 3380 มีค่าน้อยกว่าชนิด IBM 3380 ถึงแม้ว่าระยะลอยตัวบนผิวดิสก์ต่ำกว่า และที่ความเร็ว 40 เมตรต่อวินาทีจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) เกิดการแกว่งในขณะเคลื่อนที่หลังจากที่สิ่งกีดขวางผ่าน ทำให้หัวอ่านไม่เสถียรเมื่อเปรียบเทียบกับหัวอ่านชนิด IBM 3380 ซึ่งมีความเสถียรในการเคลื่อนที่มาก แต่มีระยะลอยตัวที่สูงมากจนเกินไปซึ่งจะทำให้ความสามารถในการเก็บบันทึกข้อมูลลดลง ดังนั้นแรงยึดคดหัวอ่านจะต้องเหมาะสมกับหัวอ่านด้วย ซึ่งจำเป็นที่จะต้องทำการออกแบบตามลักษณะของหัวอ่านด้วย

ผลของความดันที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาจะพบว่าความหนาของฟิล์มอากาศหล่อลื่นมีผลต่อความดันที่เกิดขึ้นมารวมทั้งความเร็วของแผ่นดิสก์ เนื่องหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านทำให้ฟิล์มอากาศบางส่วนถูกแทนที่ด้วยสิ่งกีดขวางจึงทำให้ตำแหน่งที่สิ่งกีดขวางที่เวลานั้นมีความดันเพิ่มมากขึ้น และเนื่องจากแรงที่ยึดบนหัวอ่านต้องมีความสมดุลกันกับแรงเนื่องจากความดันดังจึงส่งผลให้ความดันที่เกิดขึ้นบนหัวอ่านขึ้นอยู่กับแรงนี้ด้วย โดยจะสังเกตเห็นว่าค่าความดันที่สภาวะสถิตจะมีค่าเท่ากัน ทั้งนี้เพราะแรงที่ยึดบนหัวอ่านถูกกำหนดให้คงที่ และในช่วงที่หัวอ่านเปลี่ยนแปลงความเอียงกระทันหันส่งผลให้ความดันเปลี่ยนแปลงด้วย

## 5.4 สัมประสิทธิ์สปริงและแดมปีงของหัวอ่าน

การวิเคราะห์หาพฤติกรรมทางพลวัตหรือสภาวะการเคลื่อนที่แบบไม่คงตัวของหัวอ่านภายใต้การเคลื่อนที่โดยอิสระ ในขณะที่หัวอ่านเคลื่อนที่มีแรงกระทำบนหัวอ่านได้แก่ แรงสปริง(Spring Force) หรือแรงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของระยะ แรงแดมปีง(Damping force)หรือแรงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของระยะเทียบกับเวลา และแรงเนื่องจากมวลมีความเร่ง ซึ่งจะต้องทำการสมมูลแรงต่างๆเหล่านี้เสมอตั้งในสมการการเคลื่อนที่ของหัวอ่านซึ่งได้แสดงไว้ในบทที่ 3 ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์สปริงและสัมประสิทธิ์แดมปีง รวมทั้งมวลของหัวอ่านจะมีผลต่อการตอบสนองของหัวอ่าน ซึ่งสามารถแบ่งผลการตอบสนองการเคลื่อนที่ได้เป็น 3 ประเภทคือ

1. Critical damp ในกรณีที่  $(c/2m)^2 = k/m$
2. Overdamp ผลตอบสนองที่ได้จะมีค่าเป็นแบบ exponential response ในกรณีที่  $(c/2m)^2 > k/m$
3. Underdamp ผลการตอบสนองที่ได้จะมีค่าเป็นแบบแกว่ง oscillatory response ในกรณีที่  $(c/2m)^2 < k/m$

การวิเคราะห์หาพฤติกรรมทางพลวัตในรูปโดเมนเวลา พิจารณาให้หัวอ่านจะถูกแรงสปริงของแขนยึดคดลงด้วยค่าคงที่  $F_0$  โดยมีจุดยึด  $X_s$  คงที่ซึ่งอาจจะไม่ใช่จุดเดียวกันกับจุดศูนย์กลางมวล ค่าความแข็งสปริงของแขน suspension มีผลต่อฟิล์มหล่อลื่นมีค่าน้อยมากดังนั้นจึงสามารถตัดไม่พิจารณาได้[8] ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์สปริงและแดมปีงจึงไม่มีผลต่อการเคลื่อนที่เมื่อเวลาเปลี่ยนไปในวิทยานิพนธ์จึงได้ทำการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สปริงและแดมปีง โดยวิเคราะห์ในรูปของโดเมนความถี่เมื่อพิจารณาให้ฟิล์มอากาศรองลื่นมีความหนาคงที่ เพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สปริงและแดมปีงเมื่อความถี่เปลี่ยนไป การหาค่าสัมประสิทธิ์สปริงและแดมปีงทำได้โดยการพิจารณาให้หัวอ่านมีระยะขจัดตามทิศทางเคลื่อนที่สองทิศทางคือในแนวตั้งฉากกับผิวดิสก์โดยเลื่อนขึ้นลงแทนด้วยเลขหนึ่ง(1) และหมุนรอบแกนตามขวางของหัวอ่านหรือความเอียงของหัวอ่านแทนด้วยเลขสอง(2) โดยที่เปลี่ยนไปจากตำแหน่งสมมูล ค่า  $K_{11}, K_{12}, K_{21}$  และ  $K_{22}$  คือค่าสัมประสิทธิ์สปริงของหัวอ่าน และค่า  $C_{11}, C_{12}, C_{21}$  และ  $C_{22}$  คือค่าสัมประสิทธิ์แดมปีงของหัวอ่าน

ในรูปที่ 5.20-5.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สปริงและแดมปีงของหัวอ่านกับความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 10 เมตรต่อวินาทีของหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) แต่เปลี่ยนแปลงความหนาฟิล์มหล่อลื่นต่ำสุด และในรูปที่ 5.28-5.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สปริงและแดมปีงของหัวอ่านกับความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อความหนาฟิล์มต่ำสุด 0.1 ไมโครเมตร แต่เปลี่ยนแปลงความเร็วของแผ่นดิสก์ และในรูปที่ 5.36-5.43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สปริงและแดมปีงกับความถี่ในรูปมีหน่วยที่ความ

หนาฟิล์มต่ำสุด 0.1 ไมโครเมตร เมื่อความเร็วเปลี่ยนแปลงไปของหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) และ IBM 3380

#### สำหรับหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type)

ในรูปที่ 5.20 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $K_{11}$  และความถี่ในรูปไรมิตีเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด เมื่อค่าความหนาฟิล์มลดลงค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $K_{11}$  จะมีค่าลดลง แต่เมื่อแผ่นดิสก์มีความเร็วเพิ่มขึ้นค่า  $K_{11}$  จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.28 และรูปที่ 5.37 โดยช่วงของค่าความถี่ดังแสดงในรูปที่ 5.28 จะตรงกับค่าความถี่ 1,000 ถึง 100,000 เฮิรตซ์ ในรูปที่ 5.37 เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นค่า  $K_{11}$  มีแนวโน้มเกือบคงที่และเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าความหนาของฟิล์มหล่อลื่นและความเร็วของแผ่นดิสก์มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $K_{11}$  ซึ่งมีค่าเป็นบวก

ในรูปที่ 5.21 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $K_{22}$  และความถี่ในรูปไรมิตีเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด เมื่อค่าความหนาฟิล์มลดลงค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $K_{22}$  จะมีค่าลดลงและแนวโน้มของค่าเหมือนกับค่า  $K_{11}$  แต่ค่า  $K_{11}$  มีค่ามากกว่า ในทำนองเดียวกันเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เพิ่มขึ้นค่า  $K_{22}$  มีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.29 และรูปที่ 5.39 โดยช่วงของค่าความถี่ดังแสดงในรูปที่ 5.29 จะตรงกับค่าความถี่ 1,000 ถึง 100,000 เฮิรตซ์ ในรูปที่ 5.39 เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นค่า  $K_{22}$  มีแนวโน้มเกือบคงที่และเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าความหนาของฟิล์มหล่อลื่นและความเร็วของแผ่นดิสก์มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $K_{22}$  ซึ่งมีค่าเป็นบวก

ในรูปที่ 5.22 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $K_{12}$  และความถี่ในรูปไรมิตีเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด เมื่อค่าความหนาฟิล์มลดลงค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $K_{12}$  มีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อแผ่นดิสก์มีความเร็วเพิ่มขึ้นค่า  $K_{12}$  จะมีค่าลดลงดังแสดงในรูปที่ 5.30 และรูปที่ 5.42 โดยช่วงของค่าความถี่ดังแสดงในรูปที่ 5.30 จะตรงกับค่าความถี่ 1,000 ถึง 100,000 เฮิรตซ์ ในรูปที่ 5.42 เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นค่า  $K_{12}$  มีแนวโน้มเกือบคงที่และลดลงเพียงเล็กน้อย ดังนั้นความหนาของฟิล์มหล่อลื่นและความเร็วของแผ่นดิสก์มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์  $K_{12}$  ซึ่งมีค่าเป็นลบ

ในรูปที่ 5.23 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $K_{21}$  และความถี่ในรูปไรมิตีเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด ค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $K_{21}$  มีค่าเท่ากับค่า  $K_{12}$  ดังนั้นแนวโน้มของค่าในรูปที่ 5.31 และ รูปที่ 5.43 เหมือนกันกับค่า  $K_{12}$  โดยช่วงของค่าความถี่ดังแสดงในรูปที่ 5.31 จะตรงกับค่าความถี่ 1,000 ถึง 100,000 เฮิรตซ์ ในรูปที่ 5.43 ดังนั้นความหนาของฟิล์มหล่อลื่นและความเร็วของแผ่นดิสก์มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์  $K_{21}$  ซึ่งมีค่าเป็นลบในรูปที่ 5.24 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แดมป์  $C_{11}$

และความถี่ในรูปไรมิตีเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด เมื่อความหนาฟิล์มลดลงค่าสัมประสิทธิ์แดมป์  $C_{11}$  จะมีค่าลดลงด้วยเช่นกันกับค่า  $K_{11}$  แต่เมื่อแผ่นดิสก์มีความเร็วเพิ่มขึ้นค่า  $C_{11}$  เกือบเท่าเดิมหรือเปลี่ยนแปลงน้อยมากโดยมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 5.32 และรูปที่ 5.37 แต่เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า  $C_{11}$  ลดลงอย่างรวดเร็วและมีแนวโน้มของใกล้เคียงกันมากขึ้น โดย

ช่วงของค่าความถี่ดังแสดงในรูปที่ 5.32 จะตรงกับค่าความถี่ 1,000 ถึง 100,000 เฮิรตซ์ ในรูปที่ 5.37 ดังนั้นความหนาของฟิล์มหล่อลื่นและความถี่ในการเคลื่อนที่ของแผ่นดิสก์มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง  $C_{11}$  ซึ่งมีค่าเป็นบวก

ในรูปที่ 5.25 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง  $C_{22}$  และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด เมื่อความหนาฟิล์มลดลงค่า  $C_{22}$  จะมีค่าลดลงซึ่งแนวโน้มของค่า  $C_{22}$  เหมือนกันกับค่า  $C_{11}$  แต่ค่า  $C_{22}$  มีค่าน้อยกว่าค่า  $C_{11}$  ในทำนองเดียวกันเมื่อแผ่นดิสก์มีความเร็วเพิ่มขึ้นค่า  $C_{22}$  มีค่าเกือบเท่าเดิมหรือเปลี่ยนแปลงน้อยมากโดยมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 5.33 และรูปที่ 5.39 แต่เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า  $C_{22}$  ลดลง โดยช่วงของค่าความถี่ดังแสดงในรูปที่ 5.33 จะตรงกับค่าความถี่ 1,000 ถึง 100,000 เฮิรตซ์ ในรูปที่ 5.39 ดังนั้นความหนาของฟิล์มหล่อลื่นและความถี่ในการเคลื่อนที่ของแผ่นดิสก์มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง  $C_{11}$  ซึ่งมีค่าเป็นบวก

ในรูปที่ 5.26 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง  $C_{12}$  และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด เมื่อความหนาฟิล์มลดลงค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง  $C_{12}$  จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกันกับค่า  $K_{12}$  แต่เมื่อแผ่นดิสก์มีความเร็วเพิ่มขึ้นค่า  $C_{12}$  มีค่าเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.34 และเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ค่า  $C_{12}$  มีค่าเป็นบวกรวมทั้งมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วสูงกว่า 10 เมตรต่อวินาที ในทางตรงข้ามเมื่อความเร็วต่ำกว่าหรือเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาทีค่า  $C_{12}$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.42 โดยช่วงของค่าความถี่ดังแสดงในรูปที่ 5.34 จะตรงกับค่าความถี่ 1,000 ถึง 100,000 เฮิรตซ์ ในรูปที่ 5.42 ดังนั้นทั้งความหนาของฟิล์มหล่อลื่น ความเร็วของแผ่นดิสก์ รวมทั้งความถี่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง  $C_{12}$

ในรูปที่ 5.27 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง  $C_{21}$  และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด เมื่อความหนาฟิล์มลดลงค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง  $C_{21}$  จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เพิ่มขึ้นแนวโน้มของค่าเหมือนกันกับค่า  $C_{12}$  เพียงแต่ค่า  $C_{21}$  ต่ำกว่าค่า  $C_{12}$  โดยเมื่อแผ่นดิสก์มีความเร็วเพิ่มขึ้นค่า  $C_{21}$  มีค่าเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.35 และเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ค่า  $C_{21}$  มีค่าเป็นบวกรวมทั้งมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วสูงกว่า 10 เมตรต่อวินาที ในทางตรงข้ามเมื่อความเร็วต่ำกว่าหรือเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาทีค่า  $C_{21}$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยช่วงของค่าความถี่ดังแสดงในรูปที่ 5.35 จะตรงกับค่าความถี่ 1,000 ถึง 100,000 เฮิรตซ์ ในรูปที่ 5.43 ดังนั้นทั้งความหนาของฟิล์มหล่อลื่น ความเร็วของแผ่นดิสก์ รวมทั้งความถี่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง  $C_{21}$

สำหรับหัวอ่านชนิด IBM 3380

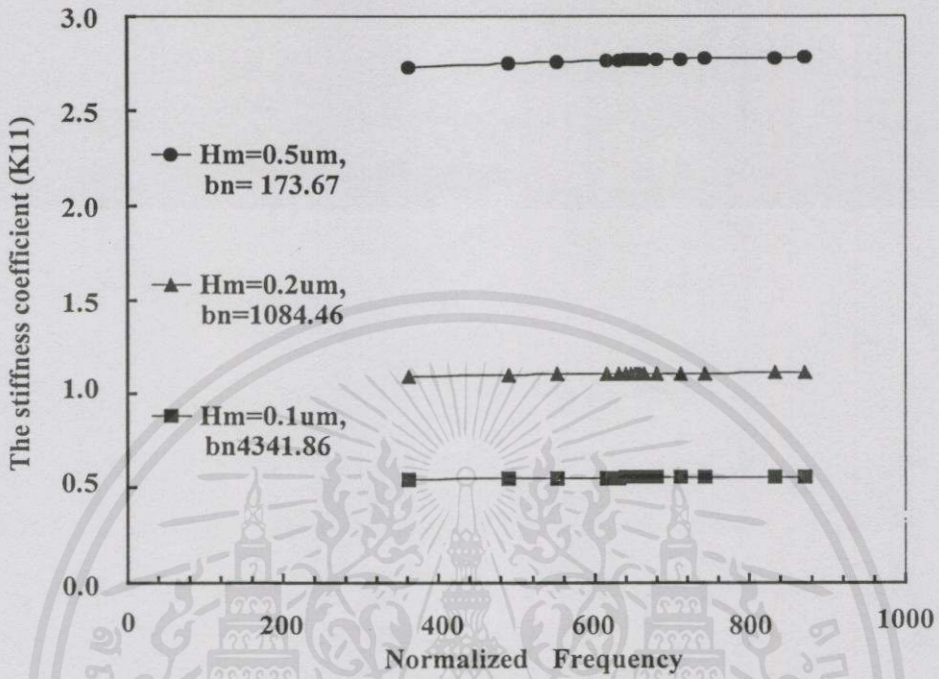
ในรูปที่ 5.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $k_{11}$  และค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง  $c_{11}$  กับความถี่เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลง โดยทั้งค่า  $k_{11}$  และค่า  $c_{11}$  มีค่าเป็นบวกและเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นทั้งค่า  $k_{11}$  และค่า  $c_{11}$  มีค่าลดลง ซึ่งตรงกันข้ามกับหัวอ่านชนิด Plane Wedge type เพราะค่า  $k_{11}$  มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น เมื่อความถี่เปลี่ยนแปลงแนวโน้มของค่า

$k_{11}$  คงที่ ยกเว้นในช่วงความถี่ประมาณ 100 ถึง 10,000 เฮิรตซ์ เพราะในช่วงนี้ค่า  $k_{11}$  มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากช่วงความถี่นี้ค่า  $k_{11}$  มีแนวโน้มคงที่หรือเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ในช่วงความถี่ไม่เกิน 1,000 เฮิรตซ์ ค่า  $c_{11}$  มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น และในช่วงความถี่ประมาณ 700 ถึง 1,000 เฮิรตซ์ แนวโน้มของค่า  $c_{11}$  จะมีค่าเปลี่ยนแปลง เมื่อความถี่เพิ่มมากกว่าช่วงนี้แล้วแนวโน้มของค่า  $c_{11}$  จะมีค่าลดลงและเท่าเดิมแม้ความเร็วเปลี่ยนแปลงไป จากรูปที่ 5.36-5.37 สังเกตเห็นว่าทั้งค่า  $k_{11}$  และ  $c_{11}$  ของหัวอ่านชนิด IBM 3380 มีค่ามากกว่าหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) และผลของความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลงไป ทั้ง  $k_{11}$  และ  $c_{11}$  ของหัวอ่านชนิด IBM 3380 มีความเปลี่ยนแปลงของค่ามากกว่าหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type)

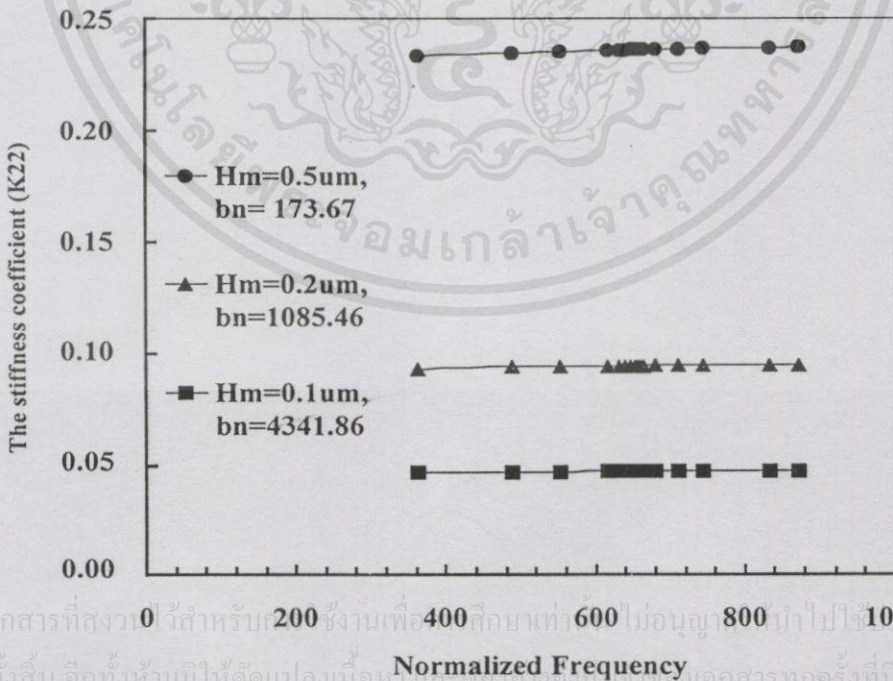
ในรูปที่ 5.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $k_{22}$  และค่าสัมประสิทธิ์แดมป์  $c_{22}$  กับความถี่เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลง โดยค่า  $k_{22}$  มีค่าเป็นบวกส่วนค่า  $c_{22}$  มีค่าทั้งบวกและลบซึ่งขึ้นกับค่าความถี่ และเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นทั้งค่า  $k_{22}$  และค่า  $c_{22}$  มีค่าลดลง ซึ่งตรงกันข้ามกับหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) เพราะค่า  $k_{22}$  มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น เมื่อความถี่เปลี่ยนแปลงแนวโน้มของค่า  $k_{22}$  คงที่ ยกเว้นในช่วงความถี่ประมาณ 1,000 เฮิรตซ์ เพราะในช่วงนี้ค่า  $k_{22}$  มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากช่วงความถี่นี้ค่า  $k_{22}$  มีแนวโน้มคงที่หรือเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยซึ่งเหมือนกับค่า  $k_{11}$  ในช่วงความถี่ไม่เกิน 1,000 เฮิรตซ์ ค่า  $c_{22}$  มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น และในช่วงความถี่ประมาณ 700 ถึง 1,000 เฮิรตซ์ แนวโน้มของค่า  $c_{22}$  จะมีค่าเปลี่ยนแปลง เมื่อความถี่เพิ่มมากกว่าช่วงนี้แล้วแนวโน้มของค่า  $c_{22}$  จะมีค่าลดลงและเท่าเดิมแม้ความเร็วเปลี่ยนแปลงไป จากรูปที่ 5.38-5.39 สังเกตเห็นว่าผลของความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลงไป ทั้งค่า  $k_{22}$  และ  $c_{22}$  ของหัวอ่านชนิด IBM 3380 มีความเปลี่ยนแปลงของค่ามากกว่าหัวอ่านชนิด Plane Wedge Type

ในรูปที่ 5.40 และ รูปที่ 5.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์  $k_{12}, k_{21}$  และ  $c_{12}, c_{21}$  กับความถี่เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลง จะเห็นความสัมพันธ์ของค่า  $k_{12}$  และ  $k_{21}$  ที่มีค่าคล้ายกันหรือสมมาตรกัน ในทำนองเดียวกันกับค่า  $c_{12}$  และ  $c_{21}$  เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นทั้งค่า  $k_{12}, k_{21}$  และ  $c_{12}, c_{21}$  มีค่าลดลง และในช่วงความถี่เพิ่มขึ้นไม่เกิน 700 เฮิรตซ์ ค่า  $c_{12}$  และ  $c_{21}$  มีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่าเท่ากันเพียงแต่ค่า  $c_{12}$  มีค่าเป็นบวก แต่ค่า  $c_{21}$  มีทั้งค่าบวกและลบซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วแผ่นดิสก์ และในช่วงความถี่ประมาณ 700 ถึง 10,000 มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า  $k_{12}, k_{21}$  และ  $c_{12}, c_{21}$  มาก เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์  $k_{12}, k_{21}$  และ  $c_{12}, c_{21}$  รูปที่ 5.42 และ รูปที่ 5.43 ซึ่งเป็นของหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) พบว่าค่า  $k_{12}, k_{21}$  และ  $c_{12}, c_{21}$  ของหัวอ่านชนิด IBM 3380 มีค่ามากกว่า แต่ความเร็วของแผ่นดิสก์มีผลต่อค่า  $k_{12}, k_{21}$  และ  $c_{12}, c_{21}$  ของหัวอ่านชนิด IBM 3380 มากกว่า จากการศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สปริงและแดมป์ของหัวอ่านจะพบว่าทั้งความหนาของฟิล์มหล่อลื่น ความเร็วของแผ่นดิสก์ รวม

ทั้งความถี่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สปริงและแอมป์ และมีแนวโน้มของค่า  $k_{11}$  และ  $c_{22}$  คล้ายกับค่าที่คำนวณได้ใน [10] และค่าต่างกันเนื่องจากขนาดของหัวอ่านที่ใช้ในการคำนวณ

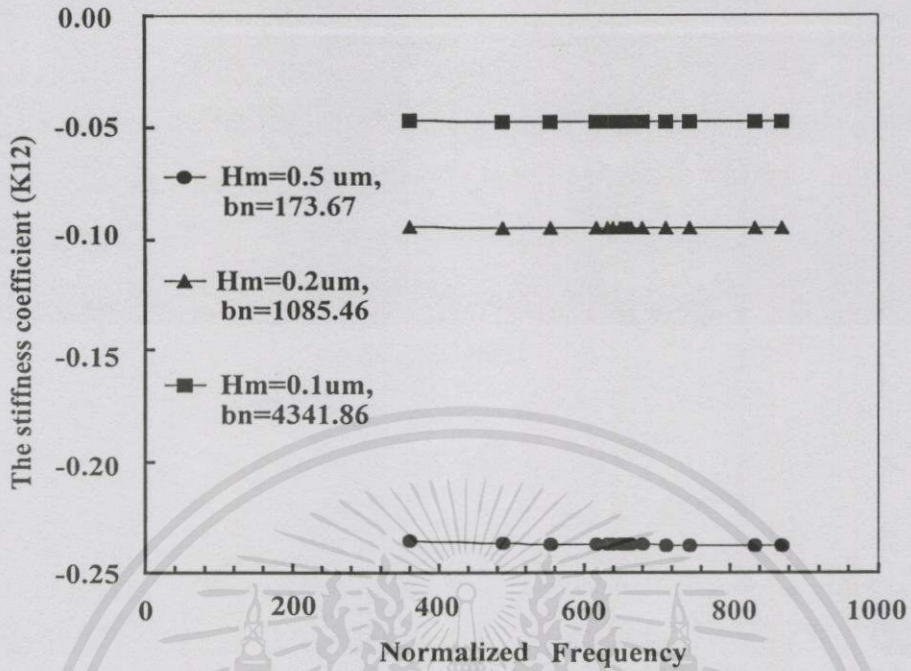


รูปที่ 5.20 ค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $K_{11}$  และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด

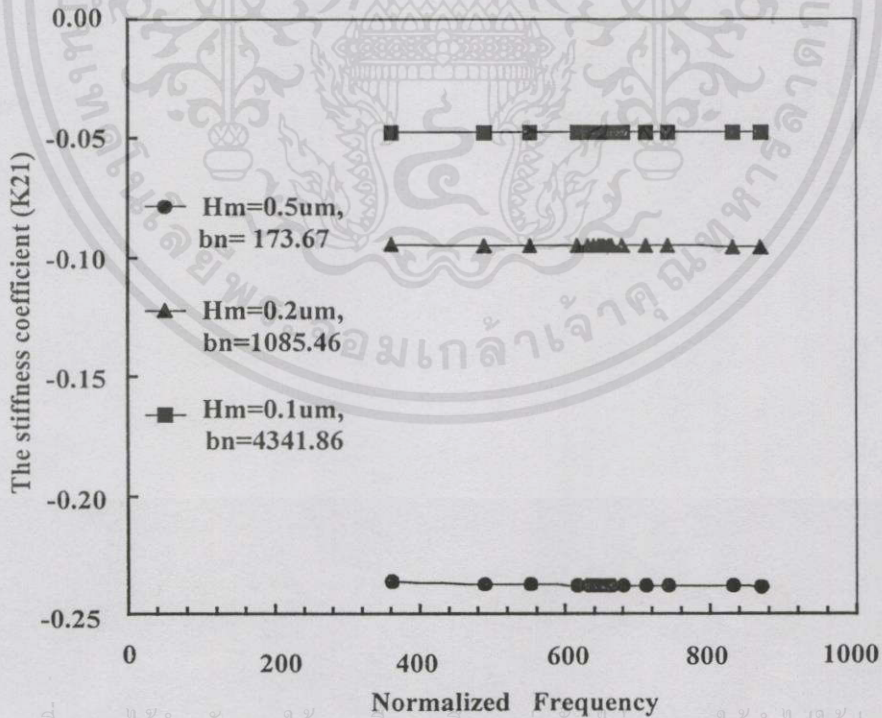


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับ 200 ซึ่งงานเพื่อ 400 ศึกษาเท่า 600 ไม่อนุญาต 800 นำไปใช้ 1000 โดยนิตินันการค่า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกแปลงเนื้อหา และหรือใช้เพื่อสิ่งใดของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.21 ค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $K_{22}$  และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด



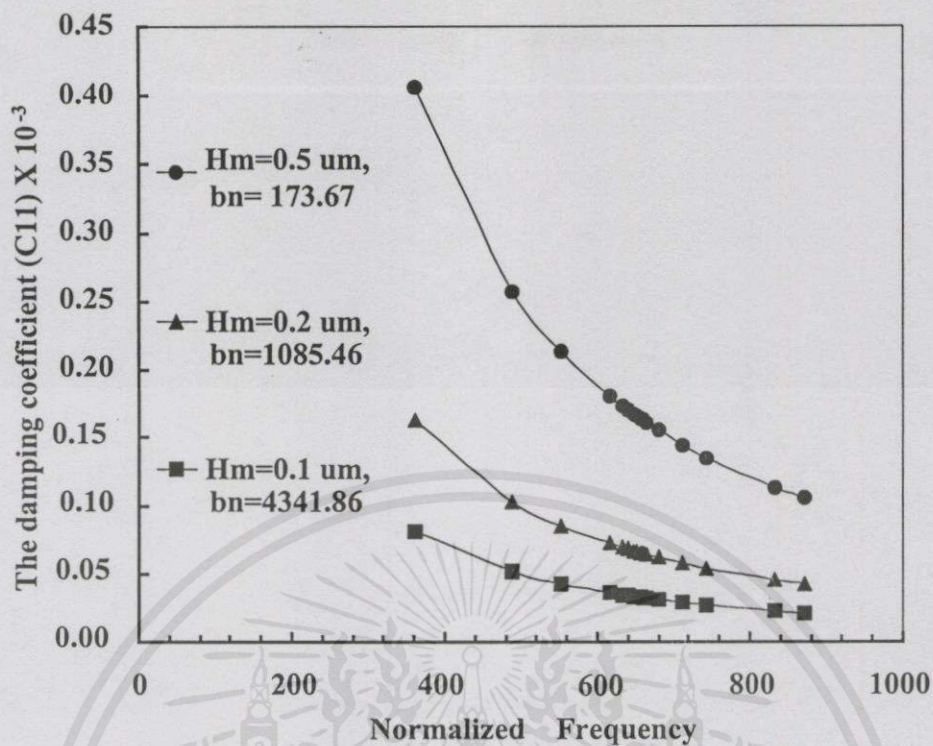
รูปที่ 5.22 ค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $K_{12}$  และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด



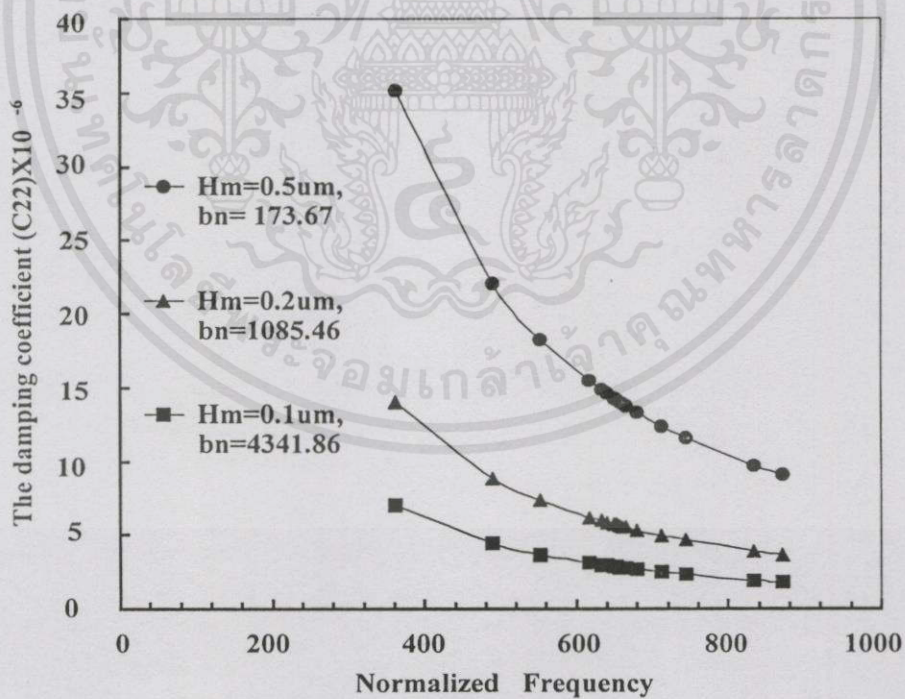
รูปที่ 5.23 ค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $K_{21}$  และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

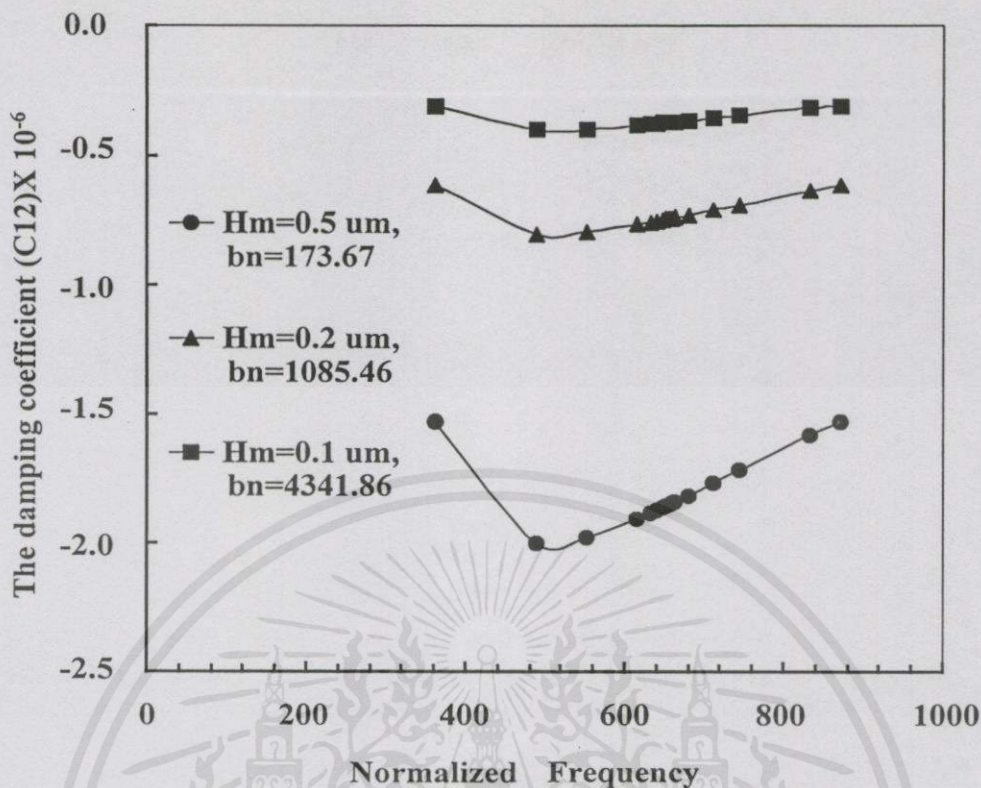


รูปที่ 5.24 ค่าสัมประสิทธิ์แดมป์  $C_{11}$  และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด

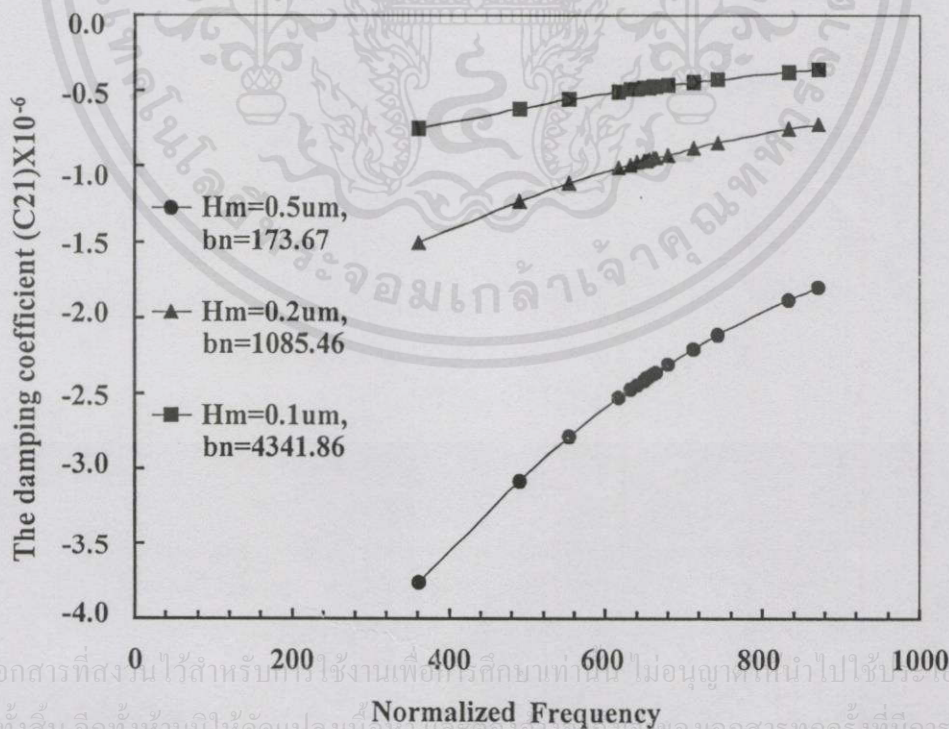


รูปที่ 5.25 ค่าสัมประสิทธิ์แดมป์  $C_{22}$  และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

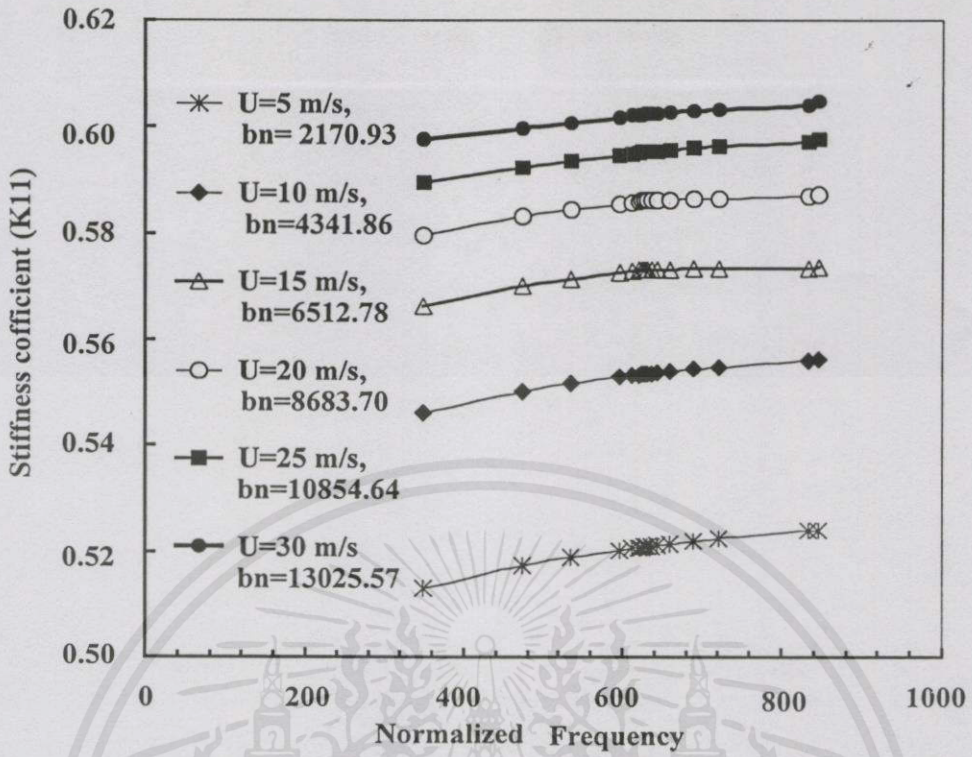


รูปที่ 5.26 ค่าสัมประสิทธิ์แดมป์  $C_{12}$  และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด

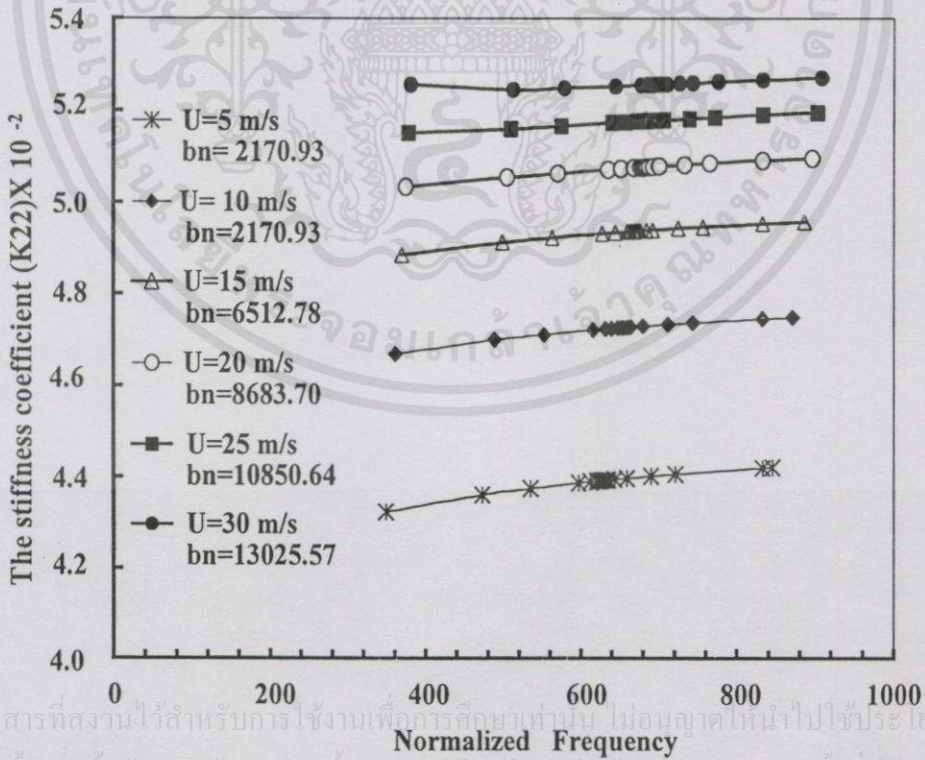


รูปที่ 5.27 ค่าสัมประสิทธิ์แดมป์  $C_{21}$  และความถี่ในรูปไร้มิติเมื่อเปลี่ยนความหนาฟิล์มต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

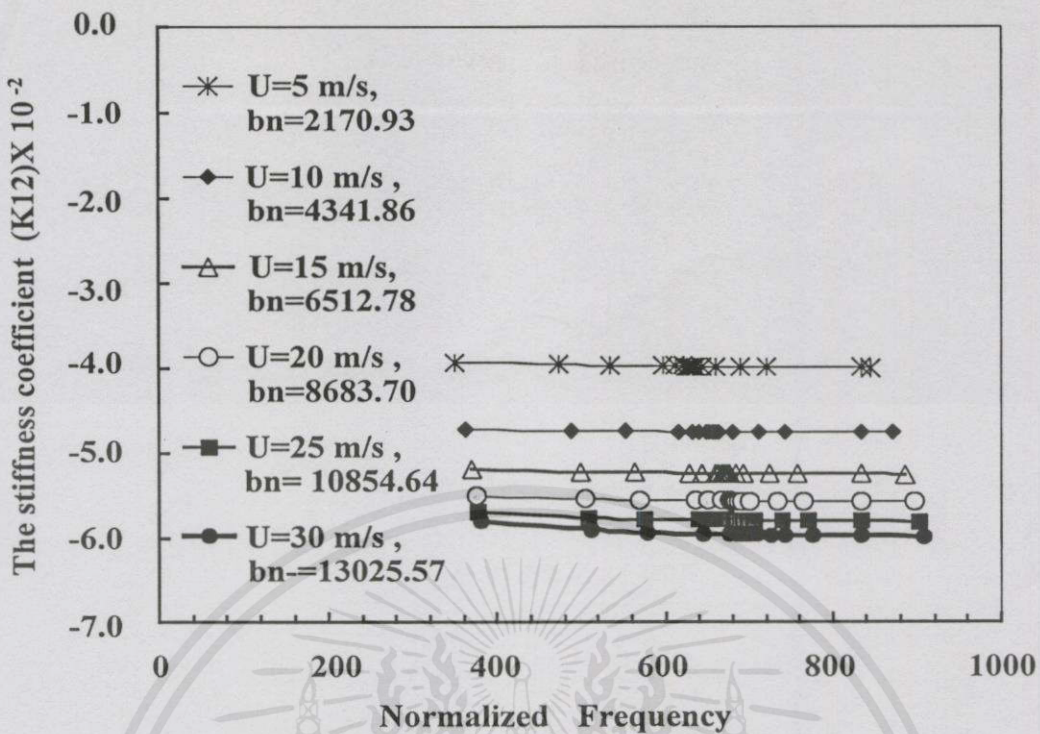


รูปที่ 5.28 ผลของความเร็วแผ่นดิสก์ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $K_{11}$

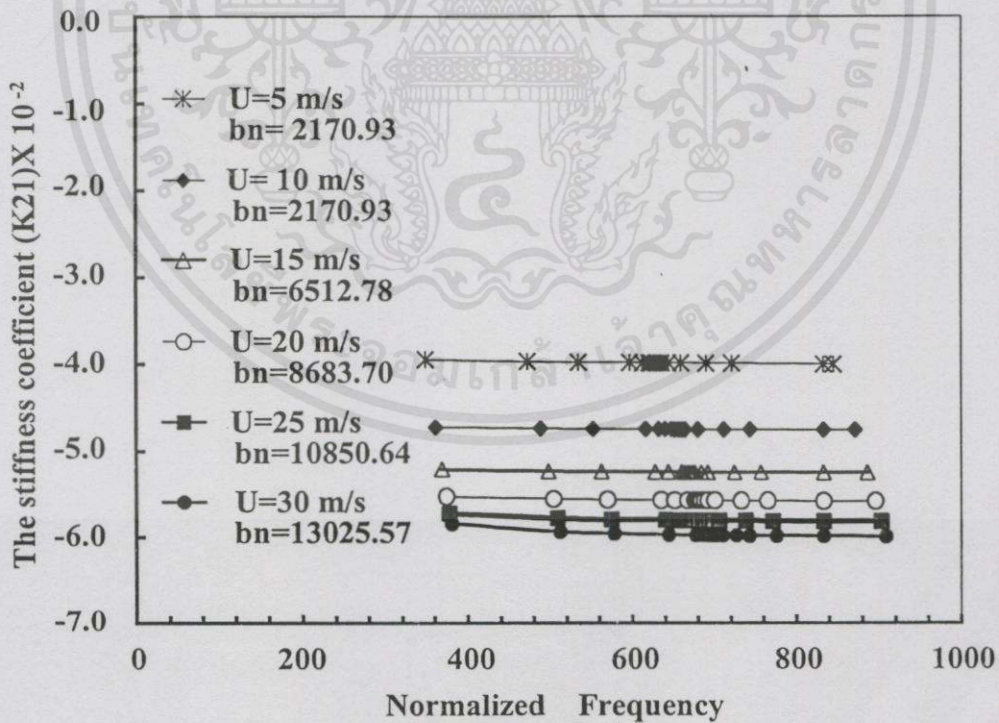


รูปที่ 5.29 ผลของความเร็วแผ่นดิสก์ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $K_{22}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



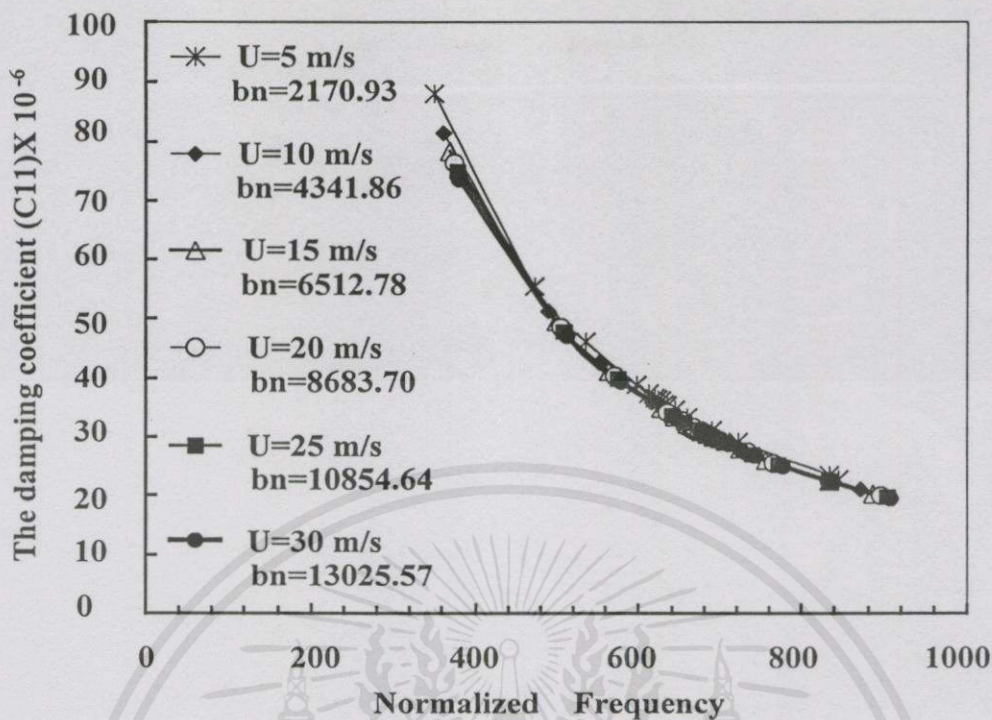
รูปที่ 5.30 ผลของความเร็วแผ่นคัสก์ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $K_{12}$



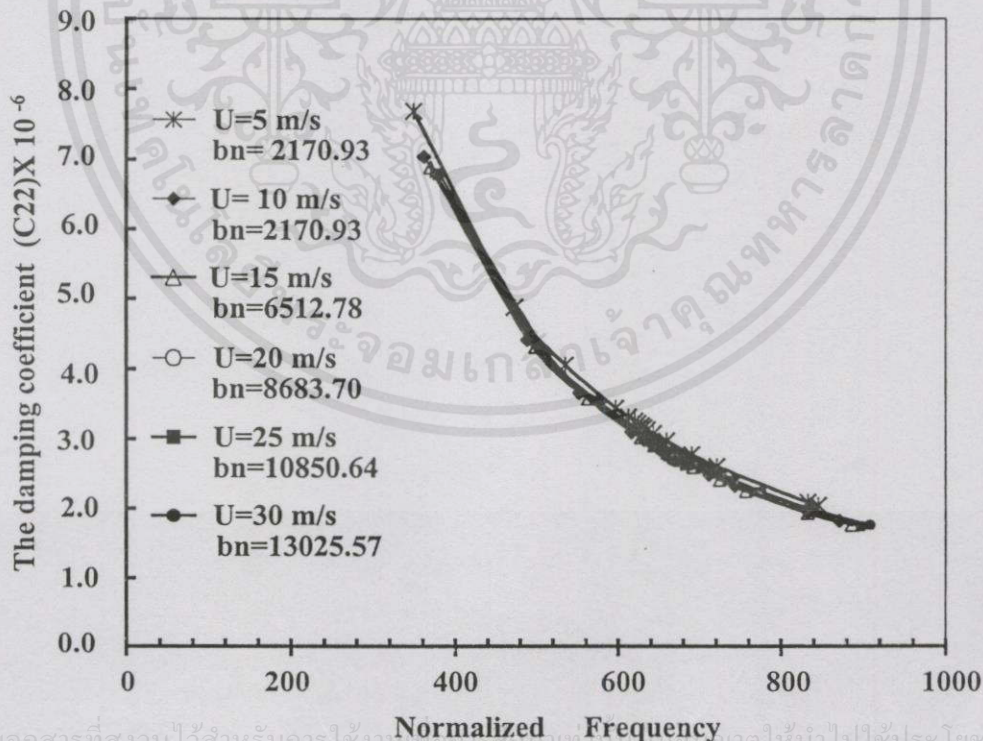
รูปที่ 5.31 ผลของความเร็วแผ่นคัสก์ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $K_{21}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือทั้งห้ามไว้ไม่ให้เผยแพร่ข้อมูลใดๆ ทั้งสิ้น กรุณาแจ้งหน่วยงานเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

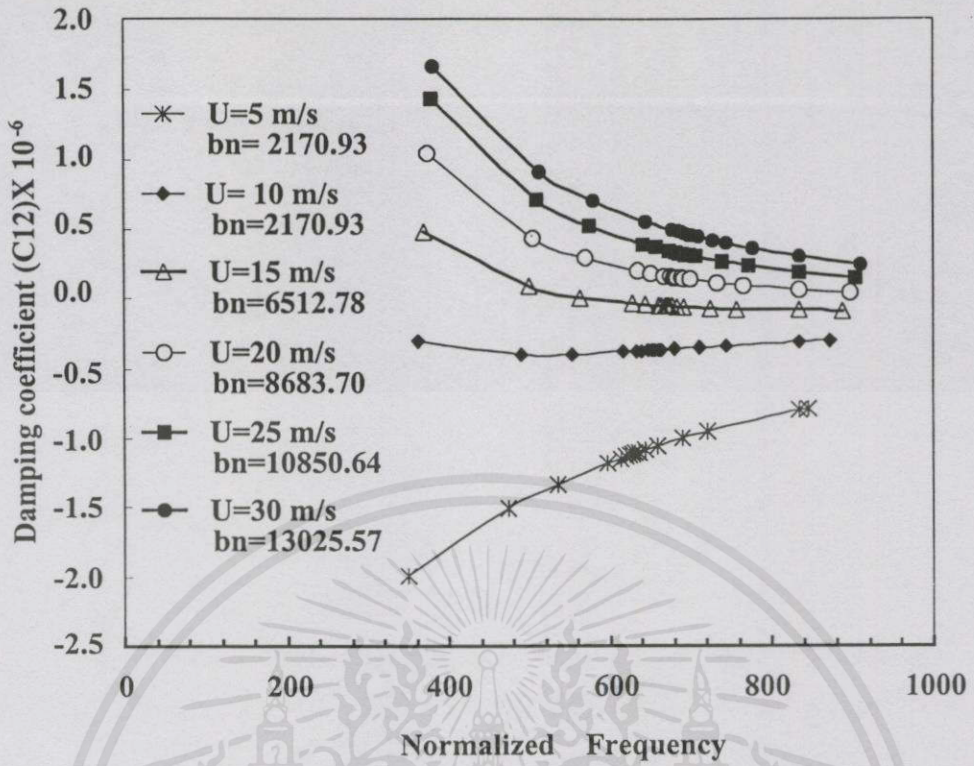


รูปที่ 5.32 ผลของความเร็วมืดสีกที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์เคมปีง  $C_{11}$

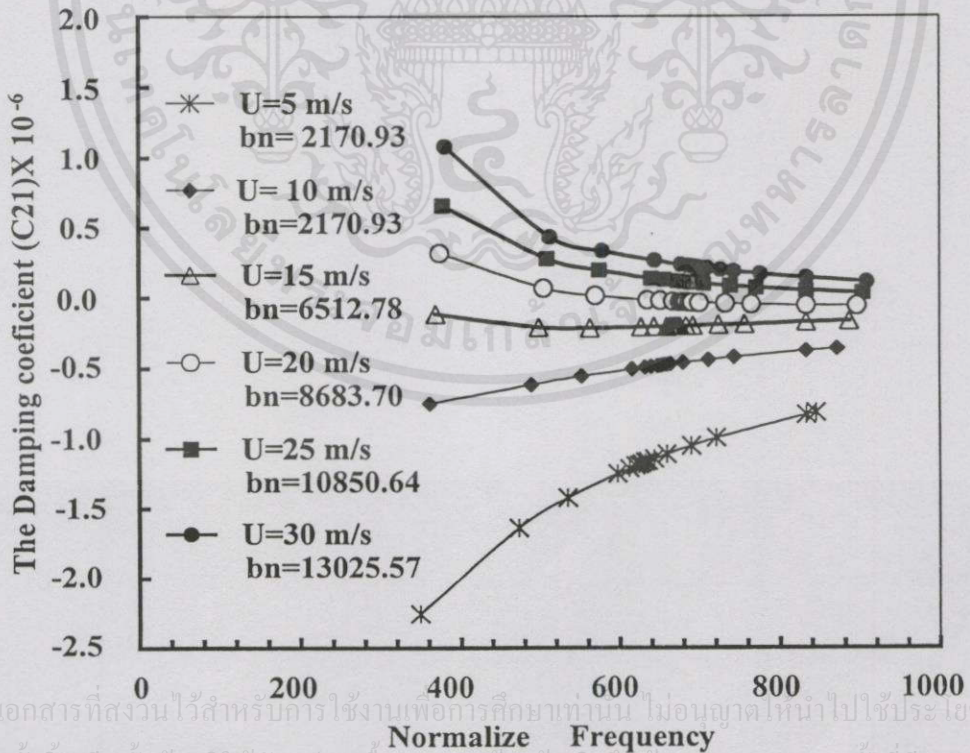


รูปที่ 5.33 ผลของความเร็วมืดสีกที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์เคมปีง  $C_{22}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดตบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

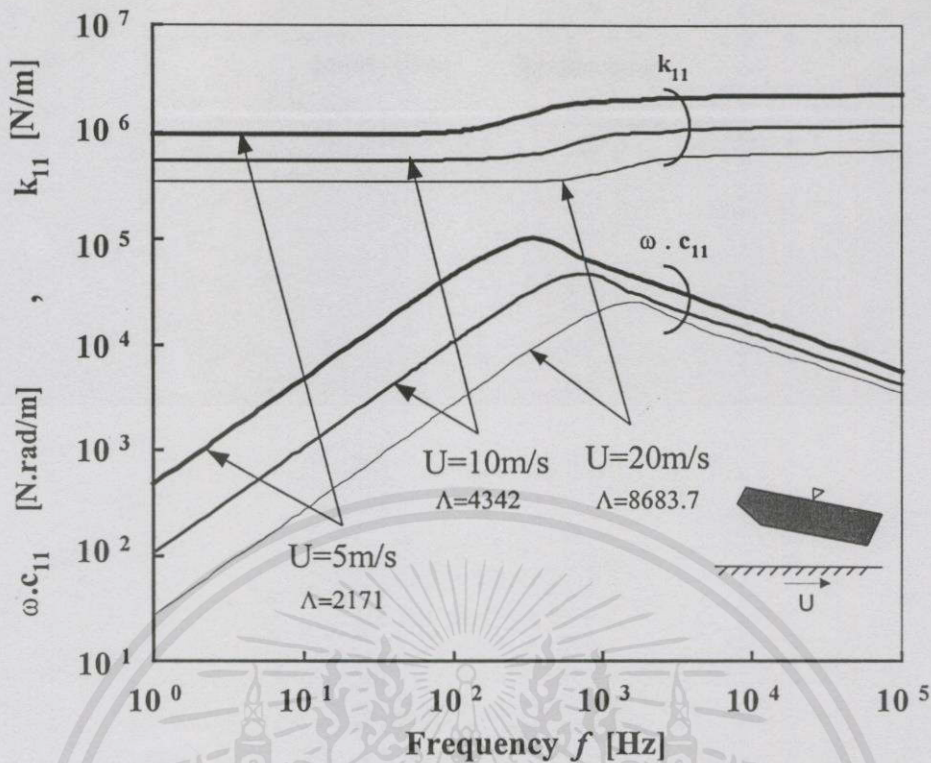


รูปที่ 5.34 ผลของความเร็วแผ่นดิสก์ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์แดมป์  $C_{12}$

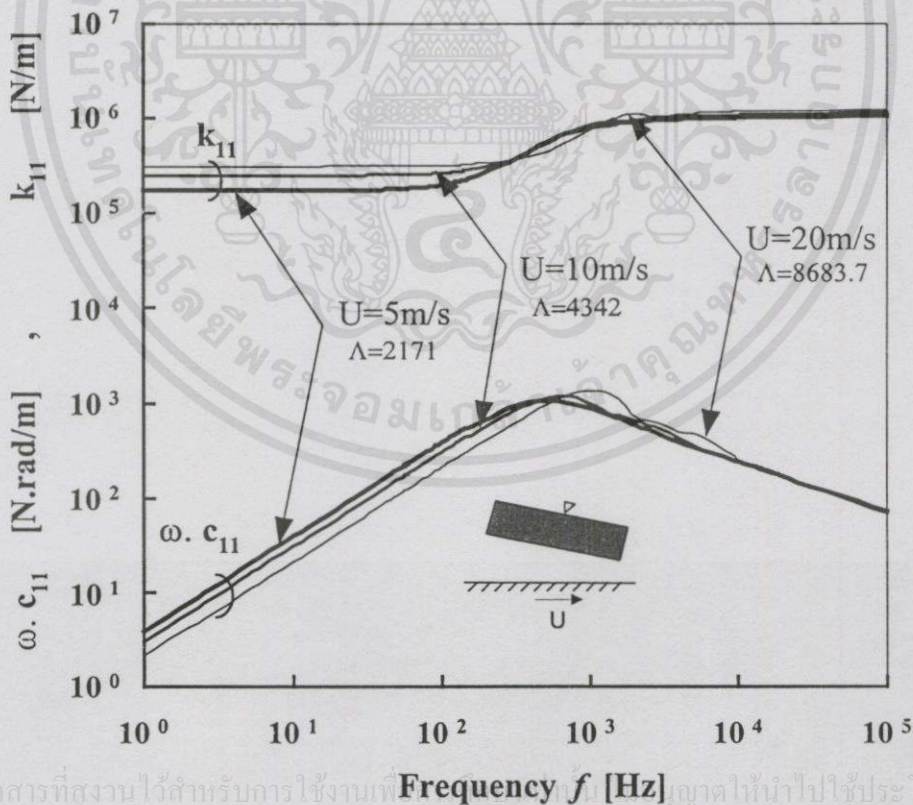


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

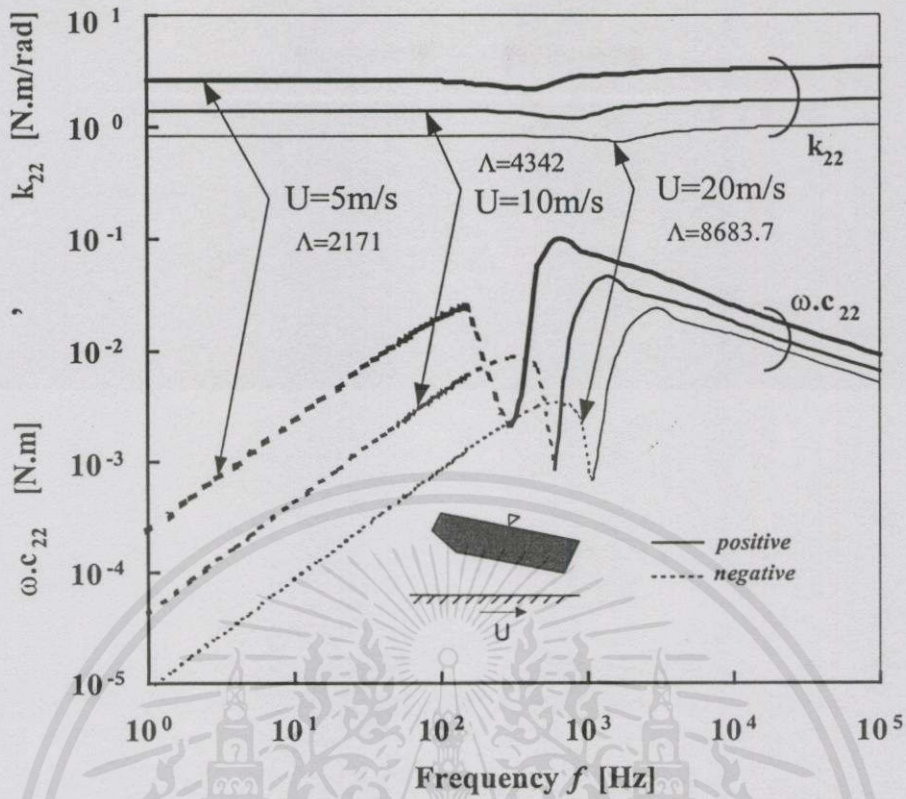
รูปที่ 5.35 ผลของความเร็วแผ่นดิสก์ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์แดมป์  $C_{21}$



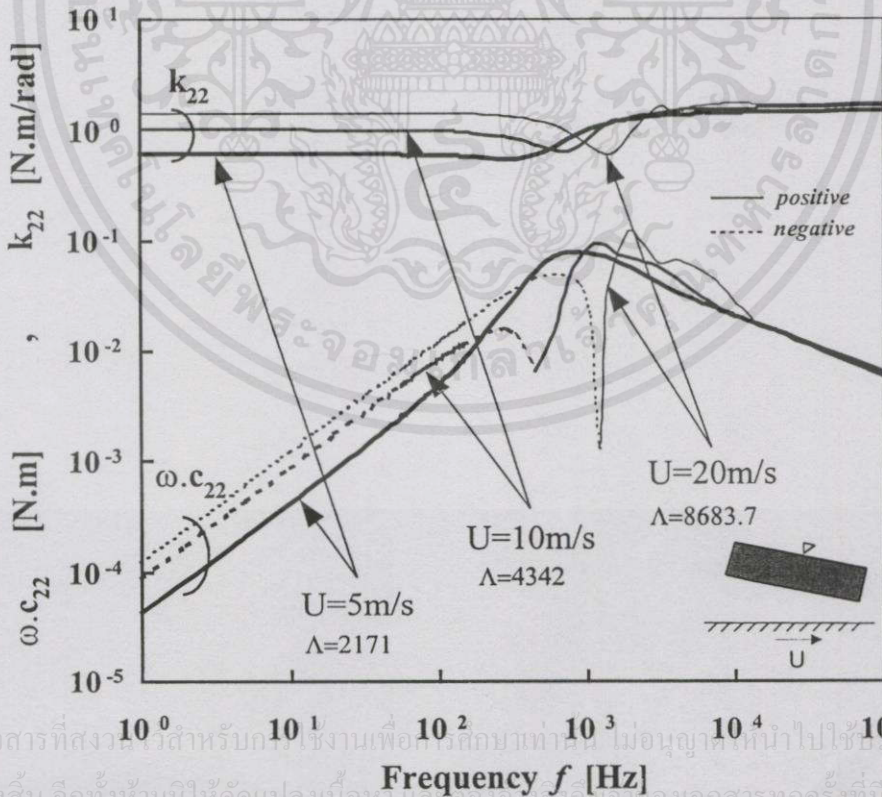
รูปที่ 5.36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $k_{11}$  และค่าสัมประสิทธิ์แดมป์  $c_{11}$  กับความถี่เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลงในกรณีของหัวอ่านชนิด IBM 3380



รูปที่ 5.37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $k_{11}$  และค่าสัมประสิทธิ์แดมป์  $c_{11}$  กับความถี่เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลงในกรณีของหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ

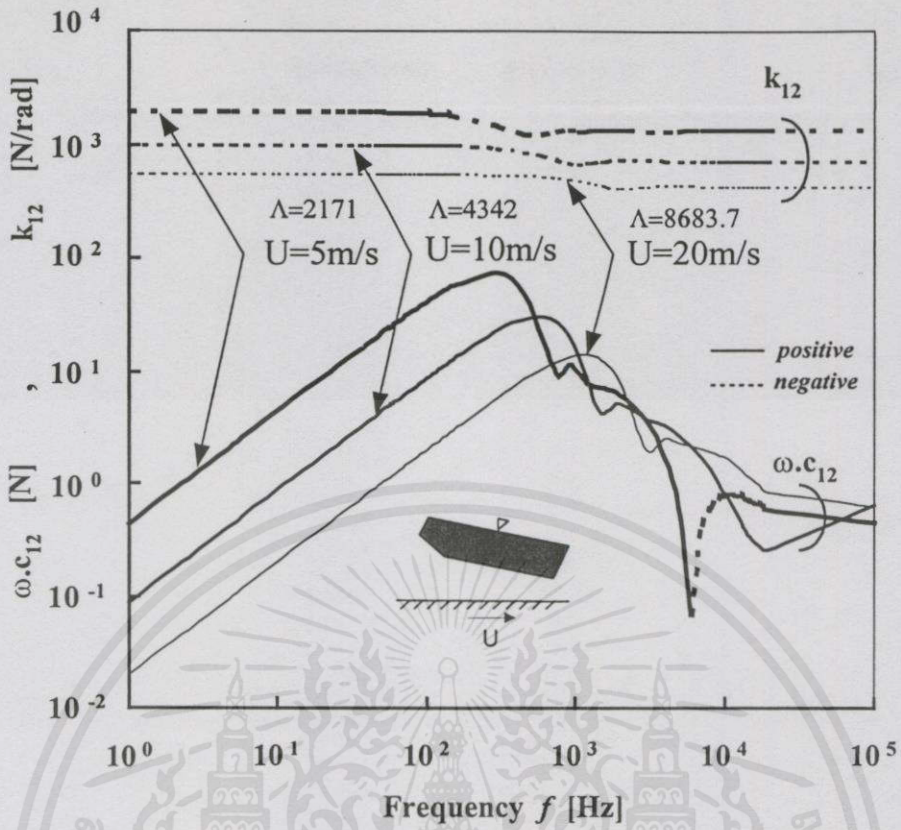


รูปที่ 5.38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $k_{22}$  และค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง  $c_{22}$  กับความถี่เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลงในกรณีของหัวอ่านชนิด IBM 3380

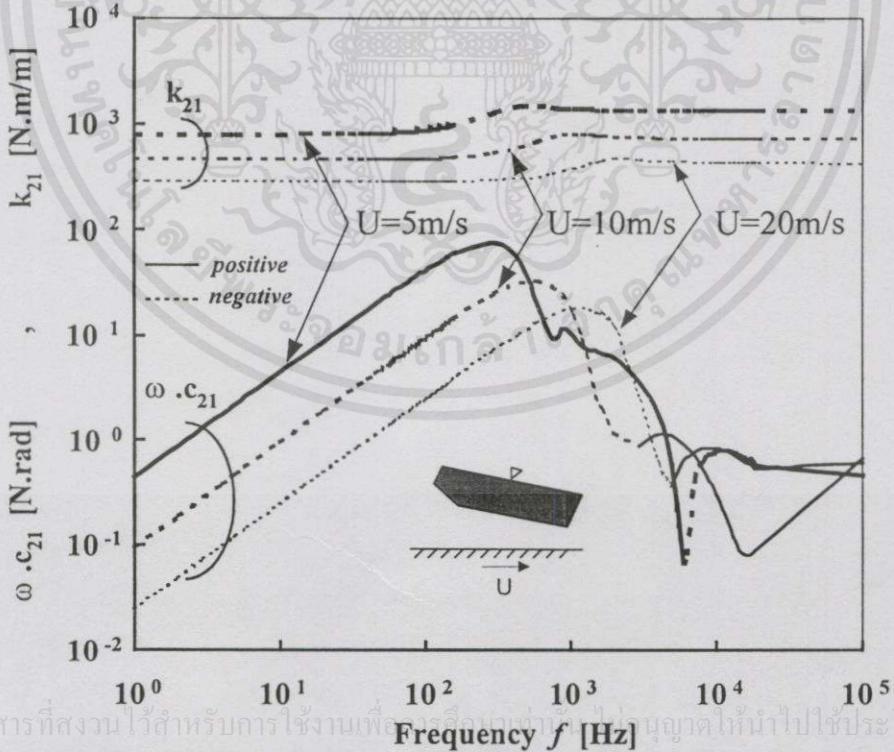


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะในใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และเผยแพร่ไปยังสื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.39 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $k_{22}$  และค่าสัมประสิทธิ์แดมปีง  $c_{22}$  กับความถี่เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลงในกรณีของหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ

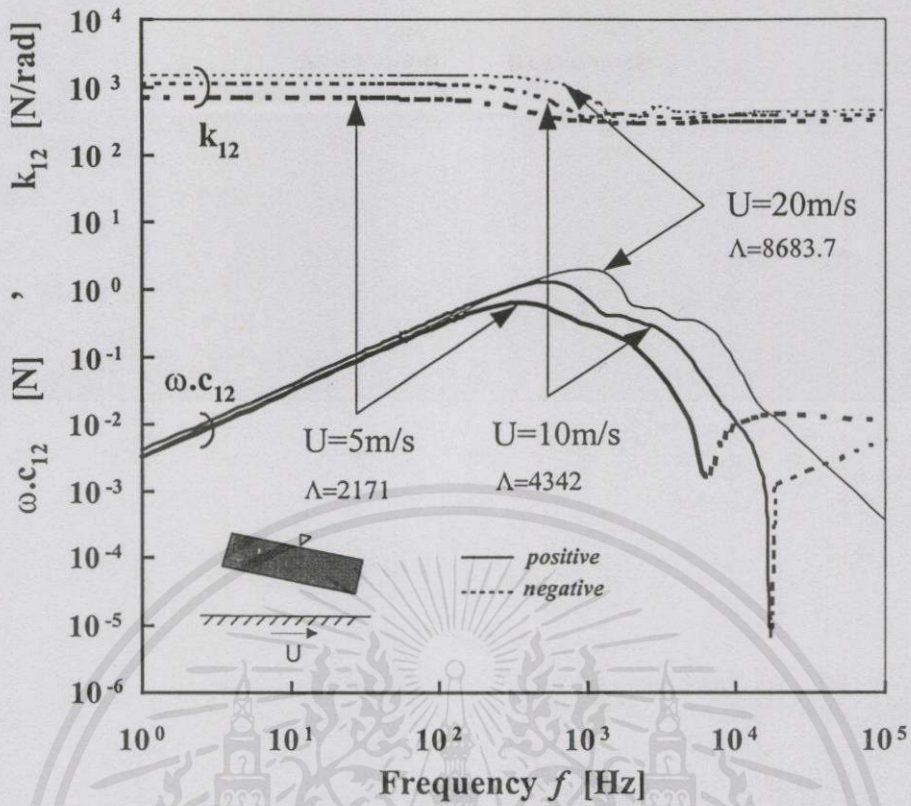


รูปที่ 5.40 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $k_{12}$  และค่าสัมประสิทธิ์แดมป์  $c_{12}$  กับ ความถี่เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลงในกรณีของหัวอ่านชนิด IBM 3380

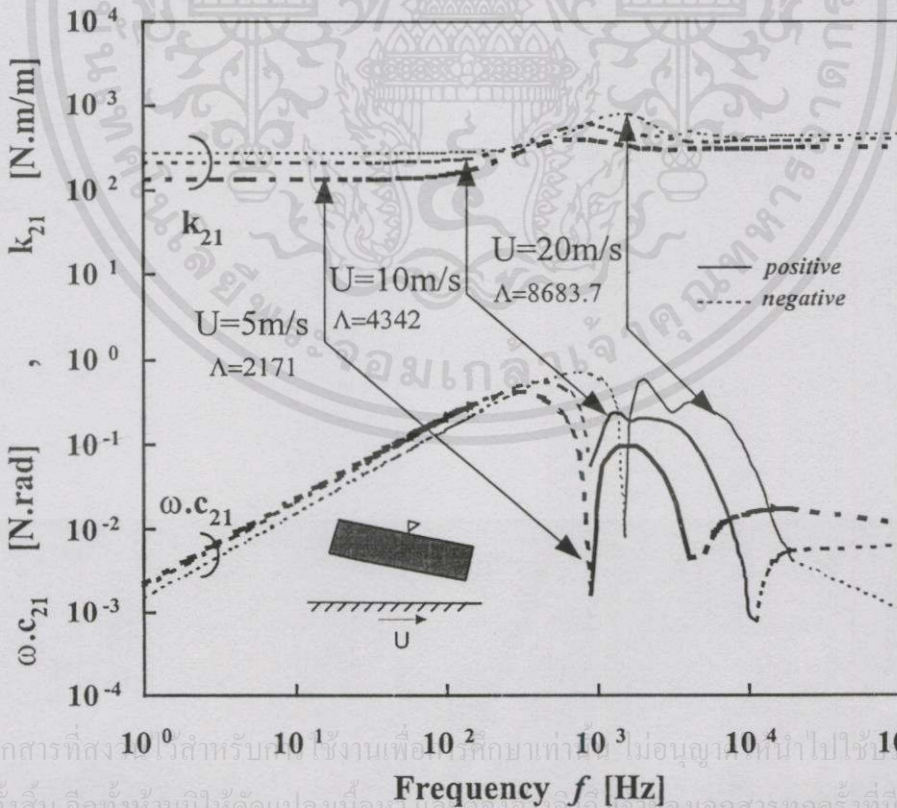


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น กรุณาอย่านำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 5.41 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $k_{21}$  และค่าสัมประสิทธิ์แดมป์  $c_{21}$  กับ ความถี่เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลงในกรณีของหัวอ่านชนิด IBM 3380



รูปที่ 5.42 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $k_{12}$  และค่าสัมประสิทธิ์แดมป์  $c_{12}$  กับความถี่เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลงในกรณีของหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ

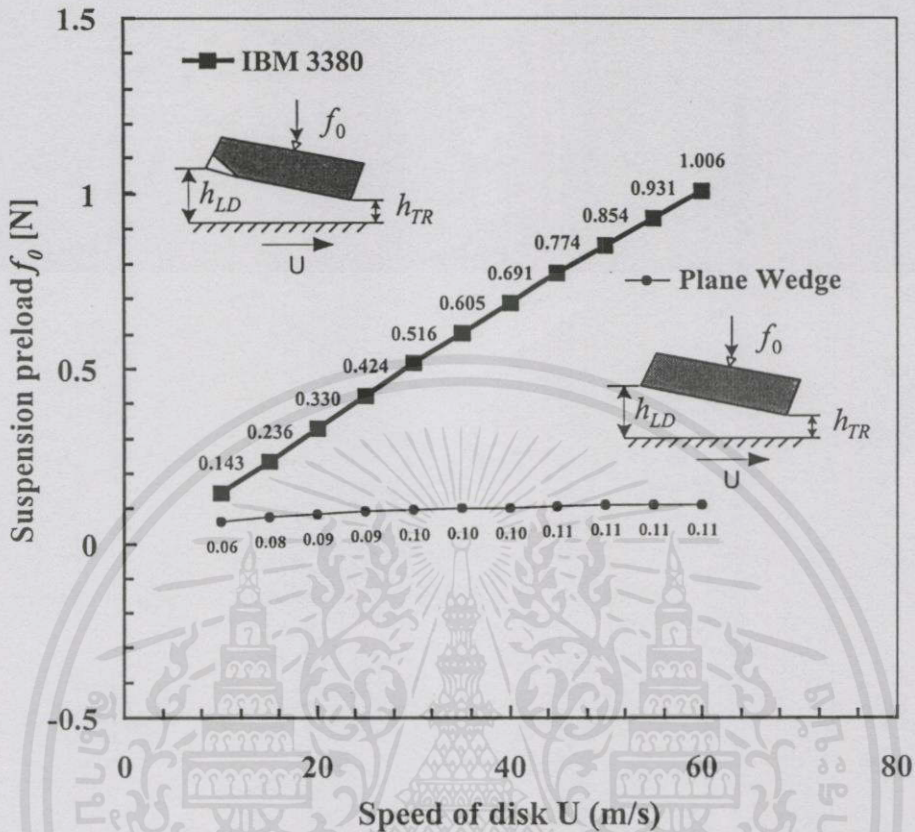


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่ง  $10^0$  สำหรับ  $10^1$  ใช้งานเพื่อ  $10^2$  ที่ยกมาทำ  $10^3$  ม่อนดูว่า  $10^4$  นำไปใช้  $10^5$  โชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.43 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สปริง  $k_{21}$  และค่าสัมประสิทธิ์แดมป์  $c_{21}$  กับความถี่เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลงในกรณีของหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ

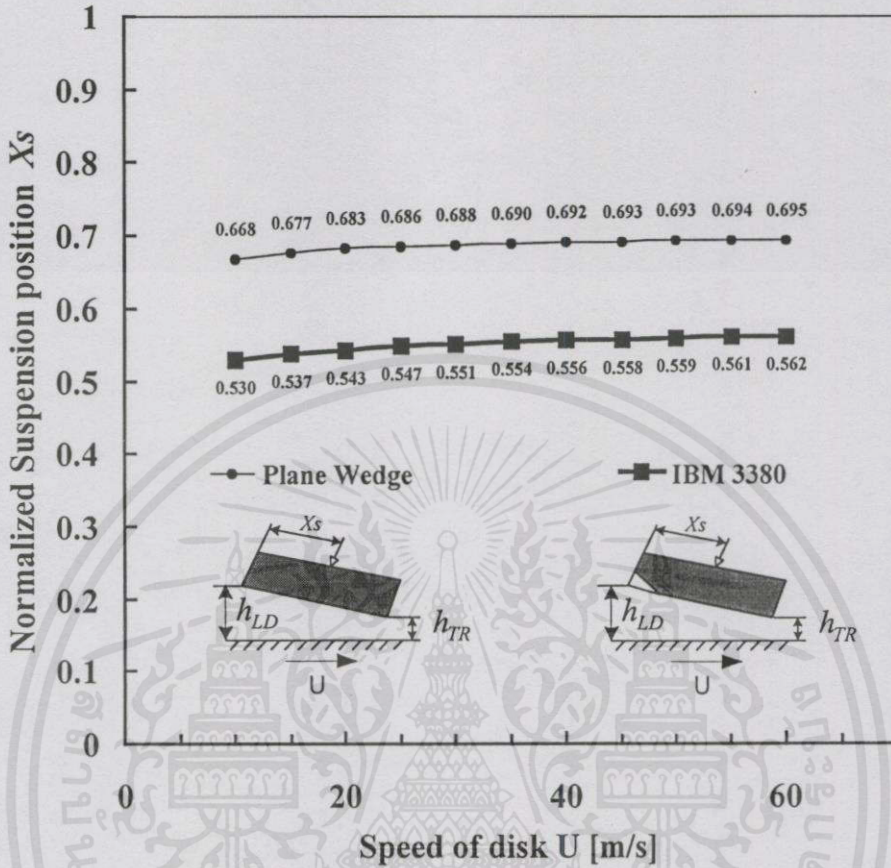
## 5.5 แรงที่กระทำบนหัวอ่าน



รูปที่ 5.44 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำบนหัวอ่านและความเร็วของหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) และ หัวอ่านชนิด IBM 3380

ในขณะที่หัวอ่านอินเตอร์เฟซกับผิวดิสก์จะเกิดแรงเนื่องจากความดัน แรงกดขีดหัวอ่านซึ่งมีค่าคงที่ที่จุดยึดจับหัวอ่าน มวลของหัวอ่าน 0.0423 กรัม (0.00423 นิวตัน) แรงกระทำต่อหัวอ่านเนื่องจากความดันเป็นค่าสำคัญมากที่ใช้นำมาวิเคราะห์เพื่อหาขนาดของแรงเหมาะสมที่จะดองกดหัวอ่านที่จุดยึดหัวอ่าน เพราะหัวอ่านจะต้องทำการสมดุลแรงและโมเมนต์ในขณะที่เคลื่อนที่ ดังนั้นแรงทั้งสองจะต้องเท่ากันเสมอในขณะที่มีการเคลื่อนที่ในสภาวะสถิต โดยในรูปที่ 5.44 แสดงแรงเนื่องจากความดันที่กระทำต่อหัวอ่านหรือแรงกดที่จุดยึดหัวอ่านกับความเร็วของแผ่นดิสก์ระหว่างหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) และ IBM 3380 จากรูปจะพบว่าความเร็วของแผ่นดิสก์มีผลต่อแรงกระทำบนหัวอ่านชนิด IBM 3380 มากกว่าหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) รวมทั้งแรงดันที่หัวอ่านชนิด IBM 3380 สร้างขึ้นด้วยตัวเองเพื่อหนุนให้หัวอ่านลอยตัวได้เองมากกว่าหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) ซึ่งสร้างแรงดันได้น้อยกว่า ดังนั้นคุณสมบัติที่ดีของหัวอ่านชนิด IBM 3380 ก็คือสามารถหล่อลื่นได้ด้วยการสร้างแรงดันหัวอ่านได้เองซึ่งจะทำให้เกิดการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกได้ดีกว่าหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) ด้วย

## 5.6 ตำแหน่งของจุดยึดบนหัวอ่าน



รูปที่ 5.46 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดยึดจับหัวอ่านและความเร็วของหัวอ่านชนิดชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) และ หัวอ่านชนิด IBM3380

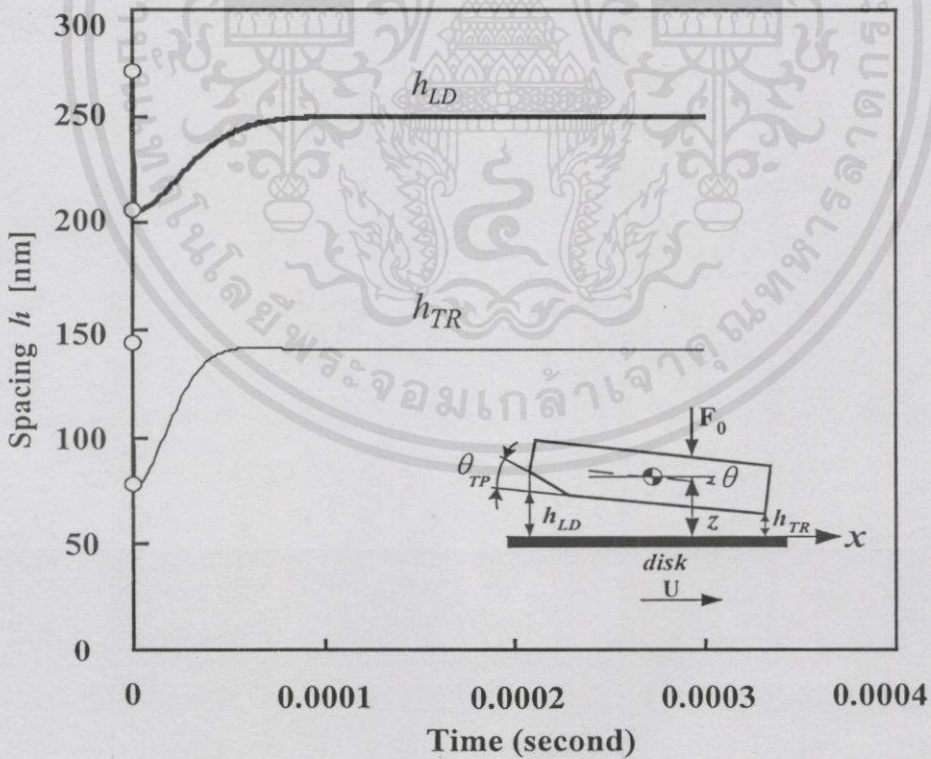
ตำแหน่งของจุดยึดจับหัวอ่าน (Suspension position) คือตำแหน่งที่แขน suspension ยึดจับหัวอ่านซึ่งโดยทั่วไปคือตำแหน่งศูนย์กลางแรงเนื่องจากความดันสำหรับการเคลื่อนที่ในสภาวะสถิต เพราะในขณะที่หัวอ่านเคลื่อนที่จะต้องสมดุลโมเมนต์เสมอ ในรูปที่ 5.46 แสดงตำแหน่งของจุดยึดจับหัวอ่านกับความเร็วของแผ่นดิสก์ระหว่างหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าตำแหน่งของจุดยึดจับหัวอ่านหรือจุดศูนย์กลางของแรงเนื่องจากความดันของหัวอ่านชนิด IBM 3380 อยู่ใกล้กับจุดศูนย์กลางมวลของหัวอ่านมากกว่าหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) ดังนั้นหัวอ่านชนิด IBM 3380 จึงควบคุมให้การเคลื่อนที่ในตำแหน่งสมดุลได้ดีกว่าหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) และความเร็วของแผ่นดิสก์มีผลต่อตำแหน่งของจุดยึดจับหัวอ่านน้อย โดยเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เพิ่มมากขึ้นตำแหน่งของจุดยึดจับหัวอ่านจะเลื่อนออกห่างจากจุดศูนย์กลางมวลมากขึ้นในแนวความยาวของหัวอ่านซึ่งจะเลื่อนเข้าใกล้ขอบท้ายหัวอ่านมากขึ้น

5.7 ผลการตอบสนองของหัวอ่านในสภาวะพลวัต

การหาผลการตอบสนองของหัวอ่านที่สภาวะไม่คงตัวหรือพฤติกรรมทางพลวัต ทำได้โดยการป้อนสิ่งรบกวนการเคลื่อนที่ของหัวอ่านในขณะที่หัวอ่านมีการเคลื่อนที่ในสภาวะคงตัวหรือพฤติกรรมทางสถิต แล้วคำนวณหาพฤติกรรมทางพลวัตของหัวอ่านด้วยสมการการเคลื่อนที่ที่พิจารณาเทอมที่ขึ้นกับเวลาดังแสดงไว้ในสมการ(3.9) ซึ่งผลตอบสนองของหัวอ่านจะเปลี่ยนไปจนกระทั่งหัวอ่านสามารถปรับตัวเองให้เข้าสู่สภาวะคงตัวอีกครั้งหนึ่งที่จุดใหม่และที่จุดนี้เองค่าที่แสดงตำแหน่งต่างๆของหัวอ่านที่คำนวณได้จากสมการ(3.9) จะต้องสามารถลงไปคำนวณในสมการการเคลื่อนที่ที่ไม่พิจารณาเทอมที่ขึ้นกับเวลาดังในสมการ(3.26) แล้วค่าที่ได้ในการคำนวณเช่น ความดัน แรงดัน จุดศูนย์กลางแรงดัน จะต้องมามีค่าเท่ากันจึงจะให้ผลการคำนวณที่ถูกต้อง

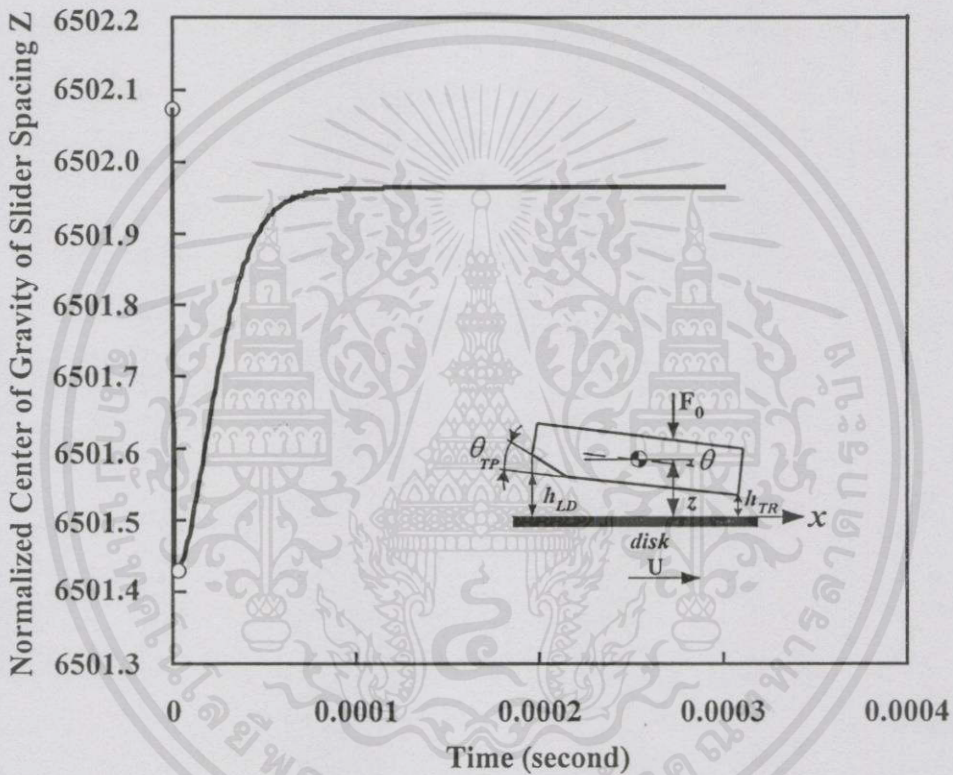
เมื่อป้อนแรงกคหัวอ่านชนิด IBM 3380 อย่างกะทันหัน จนทำให้หัวอ่านมีระยะลอยตัวต่ำลงจากสภาวะการเคลื่อนที่แบบคงตัว แล้วปล่อยให้หัวอ่านเคลื่อนที่อย่างอิสระ โดยกำหนดให้เวลาเริ่มต้นเท่ากับศูนย์ ซึ่งเป็นเวลาที่หัวอ่านถูกกดลง ผลการตอบสนองของหัวอ่านจะเป็นดังรูปที่ 5.46

- 5.49



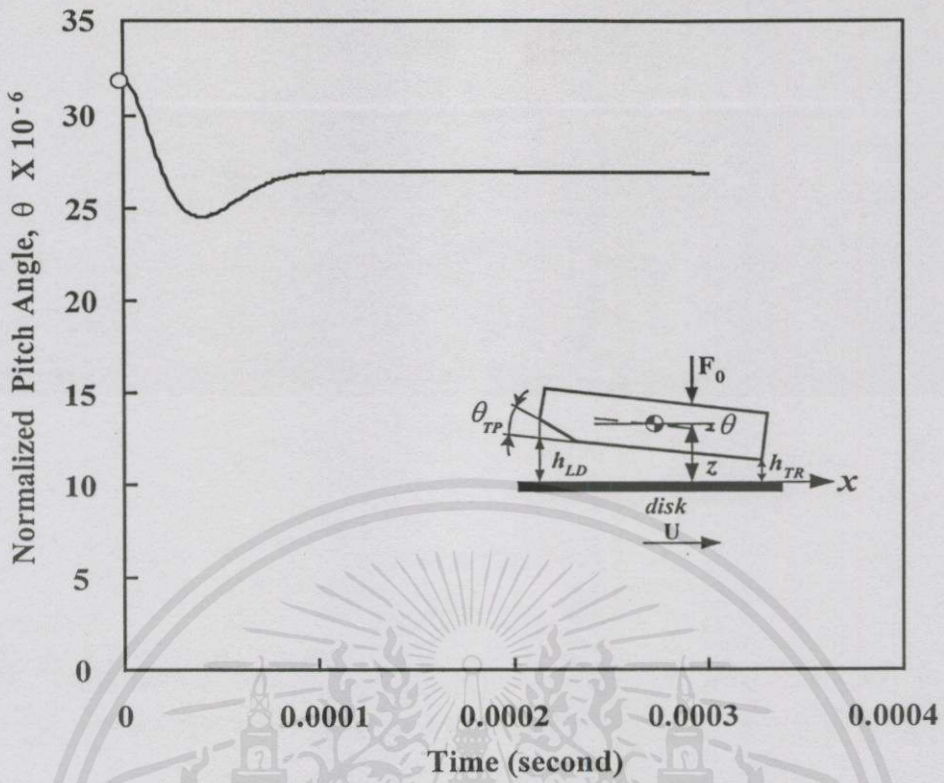
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 รูปที่ 5.46 การเปลี่ยนแปลงของระยะลอยตัวของหัวอ่านหลังจากป้อนแรงกคให้หัวอ่านต่ำลงจาก  
 จุดสมดุลการเคลื่อนที่

จากรูปที่ 5.46 จะพบว่า การตอบสนองของระยะลอยตัวของหัวอ่านเป็นแบบ exponential แสดงให้เห็นว่า ผลการตอบสนองของหัวอ่านเป็นแบบ Over damp พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเมื่อถูกกดให้ระยะลอยตัวลดลง หัวอ่านจะค่อยๆปรับตัวให้ลอยสูงขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะการเคลื่อนที่แบบคงตัวอีกครั้งหนึ่ง ณ ตำแหน่งใหม่โดยตำแหน่งนี้หัวอ่านจะมีระยะลอยตัวต่ำกว่าจุดเดิม เมื่อเปรียบเทียบระยะลอยตัวที่ขอบนำของหัวอ่านลดลงจากเดิมมากกว่าระยะลอยตัวที่ขอบท้าย แสดงให้เห็นว่าความเอียงของหัวอ่านในขณะที่เคลื่อนที่ลดลงจากเดิม ในทำนองเดียวกัน ระยะลอยตัวของจุดศูนย์กลางมวลของหัวอ่านก็จะมีการปรับตัวคล้ายกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.47

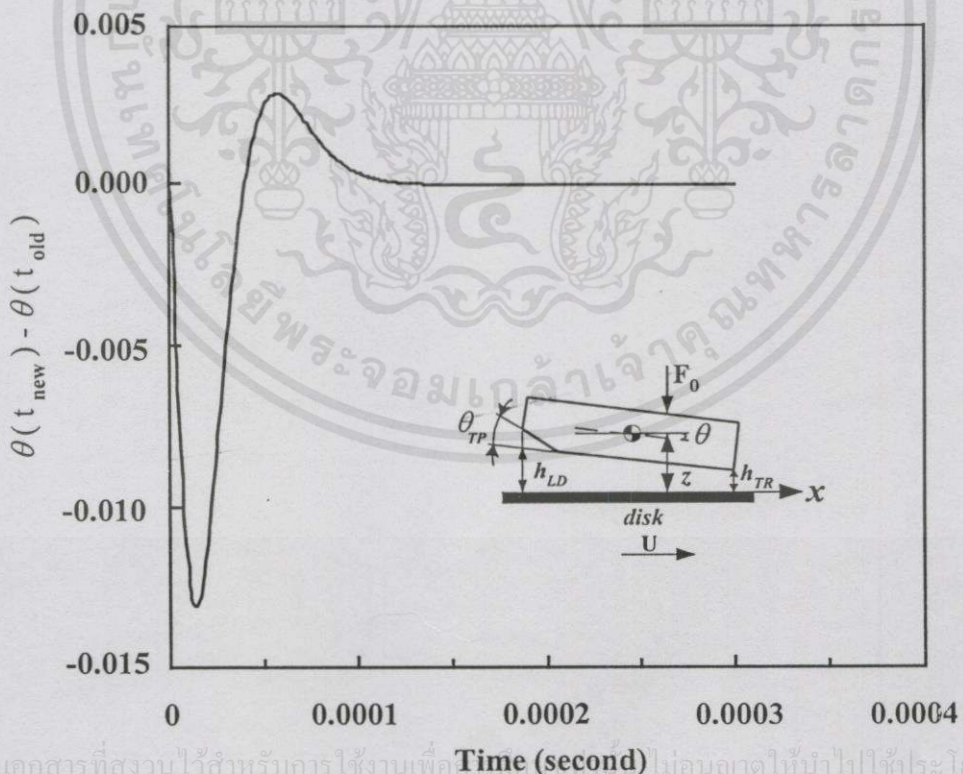


รูปที่ 5.47 การเปลี่ยนแปลงของระยะของจุดศูนย์กลางมวลหัวอ่านบนผิวดิสก์หลังจากป้อนแรงกดให้หัวอ่านต่ำลงจากจุดสมดุลการเคลื่อน

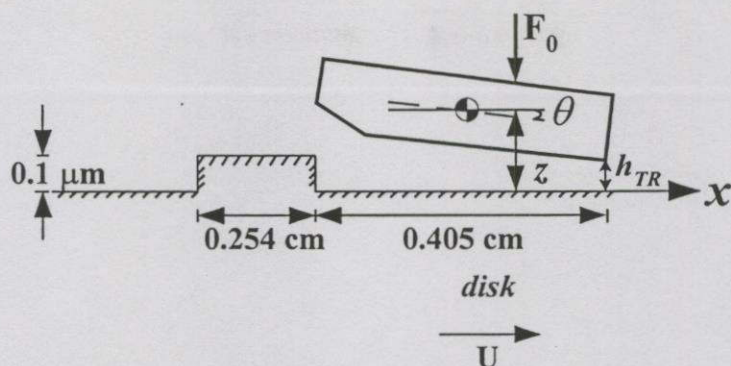
ในรูปที่ 5.48-5.49 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมพิทช์ (Pitch angle) หรือมุมเอียงของหัวอ่าน เมื่อหัวอ่านถูกกดลงโดยมุมพิทช์จะลดลงเรื่อยๆหลังจากถูกกด แล้วจะปรับตัวให้เอียงเพิ่มขึ้นเองครั้งหนึ่งจนเข้าสู่สภาวะการเคลื่อนที่แบบคงตัวอีกครั้ง และมุมพิทช์ที่จุดใหม่มีค่าน้อยกว่าเดิม ผลการปรับตัวของหัวอ่านมีลักษณะที่ดี (Over damp) ไม่มีการแกว่งของค่า (Under damp) ซึ่งเข้าสู่สภาวะคงตัวรวดเร็วมากเพียง 0.00015 วินาที



รูปที่ 5.48 การเปลี่ยนแปลงของมุมเอียงของหัวอ่านในรูปไว้มิติหลังจากป้อนแรงกดให้หัวอ่านต่ำลงจากจุดสมดุลการเคลื่อน



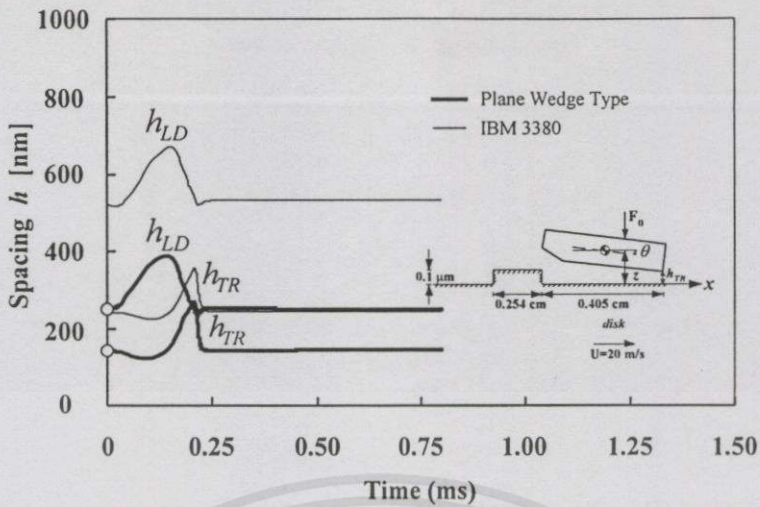
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ **รูปที่ 5.49** การปรับมุมเอียงของหัวอ่านหลังจากป้อนแรงกดให้หัวอ่านต่ำลงจากจุดสมดุลการเคลื่อนที่



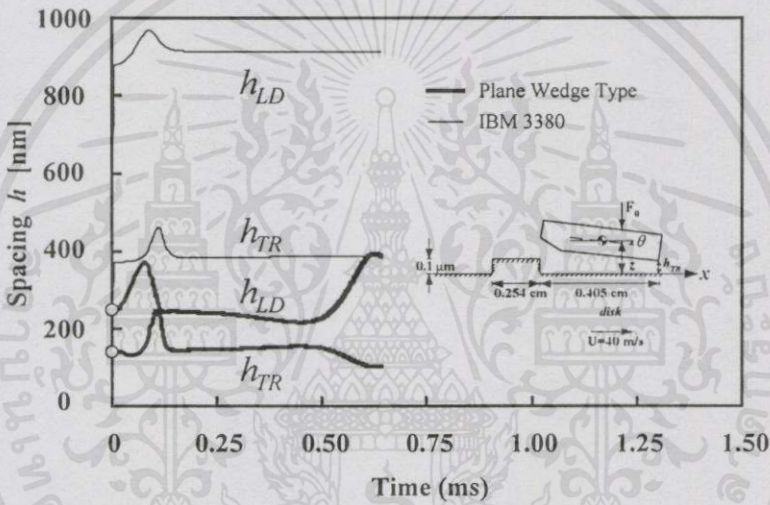
รูปที่ 5.50 การเคลื่อนที่ของหัวอ่านขณะเริ่มเคลื่อนตัวผ่านสิ่งกีดขวางโดยให้เวลาเริ่มต้นเท่ากับศูนย์

เพื่อหาผลตอบสนองของหัวอ่านและความเสถียรของหัวอ่านดังนั้นจึงป้อนสิ่งกีดขวางบนผิวดิสก์ตามที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อ 5.3 ซึ่งผลการตอบสนองการเคลื่อนที่ของหัวอ่านได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.51 – 5.53 โดยเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเมื่อความเร็วแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลงและเปรียบเทียบผลตอบสนองของหัวอ่านชนิด IBM 3380 และหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) โดยที่ความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที สิ่งกีดขวางเคลื่อนที่ผ่านหัวอ่านที่เวลาเท่ากับศูนย์และเริ่มเคลื่อนที่ออกที่เวลา 0.0002025 วินาที ที่ความเร็ว 40 เมตรต่อวินาทีเริ่มออกที่เวลา 0.00010125 วินาที และที่ความเร็ว 60 เมตรต่อวินาทีเริ่มออกเวลา 0.0000675 วินาที

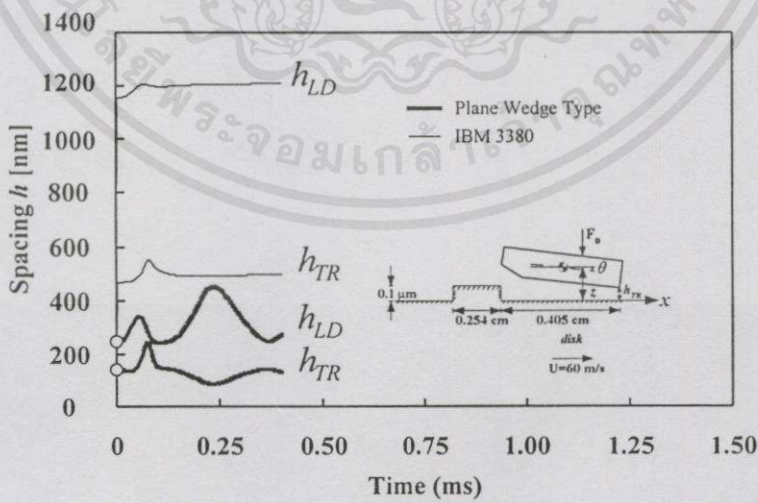
ผลของการลอยตัวของหัวอ่านตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.51 พบว่าลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านชนิด IBM 3380 ให้ผลการตอบสนองคล้ายกันกับหัวอ่านชนิด Gubby [17] แต่ระยะลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 มีระยะลอยตัวสูงกว่าถึงแม้จะมีความเสถียรในการเคลื่อนที่มาก และที่ความเร็วของสิ่งกีดขวางที่เคลื่อนที่ผ่านเร็วมากขึ้น ทำให้ระยะลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 เพิ่มขึ้นในขณะที่หัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) ยังมีระยะลอยตัวเท่าเดิมที่เวลาเท่ากับศูนย์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโอกาสในการที่จะสัมผัสกับสิ่งกีดขวางของหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) มีมากกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 ในรูปที่ 5.52 และ 5.53 แสดงระยะลอยตัวของจุดศูนย์กลางมวล (Center of gravity) และมุมพิทช์ (Pitch angle) หรือมุมเอียงของหัวอ่านเหนือผิวดิสก์ที่เวลาเปลี่ยนไปเทียบกับเวลาที่หัวอ่านอยู่ในสภาวะคงตัวที่ความเร็วต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบความเสถียรในการเคลื่อนที่จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าที่ความเร็วสูงขึ้น หัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) จะเกิดการแกว่งตัวหลังจากที่สิ่งกีดขวางเคลื่อนที่ออกไปแล้วซึ่งมีโอกาสสัมผัสกับผิวดิสก์มาก ดังนั้นความเสถียรในการเคลื่อนที่ของหัวอ่านชนิด IBM 3380 มากกว่า หัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) แต่ระยะลอยตัวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 สูงมากขึ้นเกินไปแม้ว่าจะมีสภาวะคงตัว ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเก็บบันทึกข้อมูลลดลง ดังนั้นความเร็วในการเคลื่อนที่ของสิ่งกีดขวาง ขนาดของสิ่งกีดขวาง รวมทั้งมวลและแรงยึดหัวอ่านมีผลต่อการลอยตัวอย่างมากซึ่งต้องทำการออกแบบให้เหมาะสมกับหัวอ่าน



(a)  $U = 20$  m/s



(b)  $U = 40$  m/s

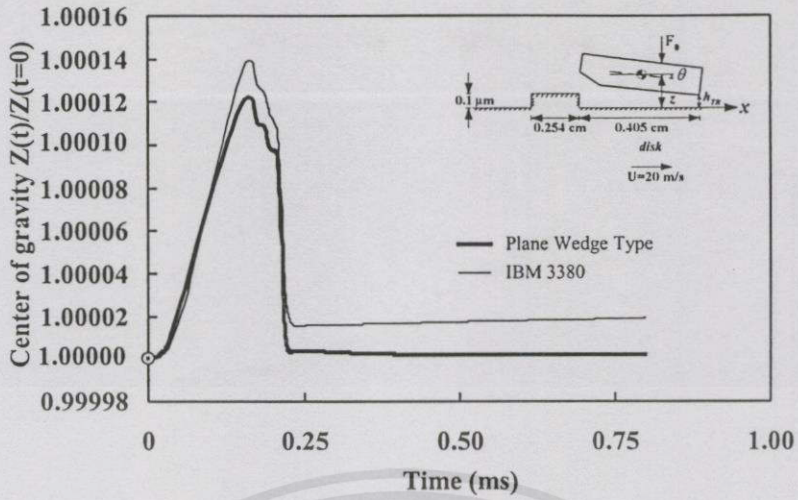


(c)  $U = 60$  m/s

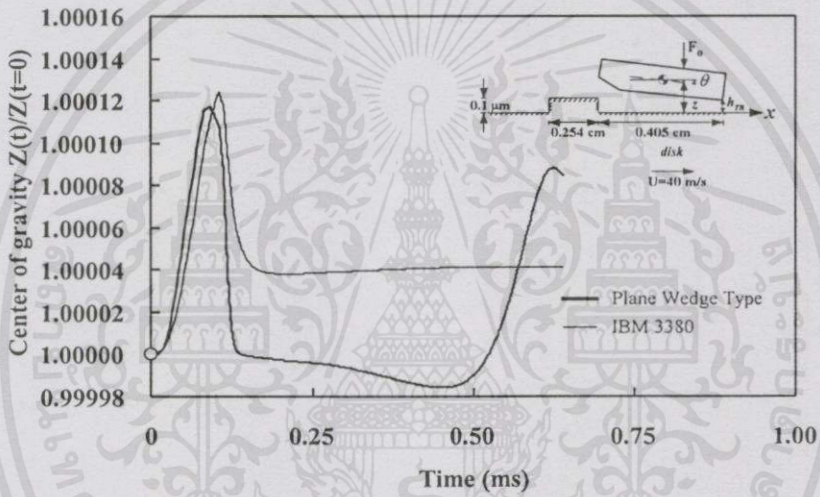
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ทำการจำหน่ายเป็นสื่อสิ่งพิมพ์หรือทางอิเล็กทรอนิกส์โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสำนักพิมพ์

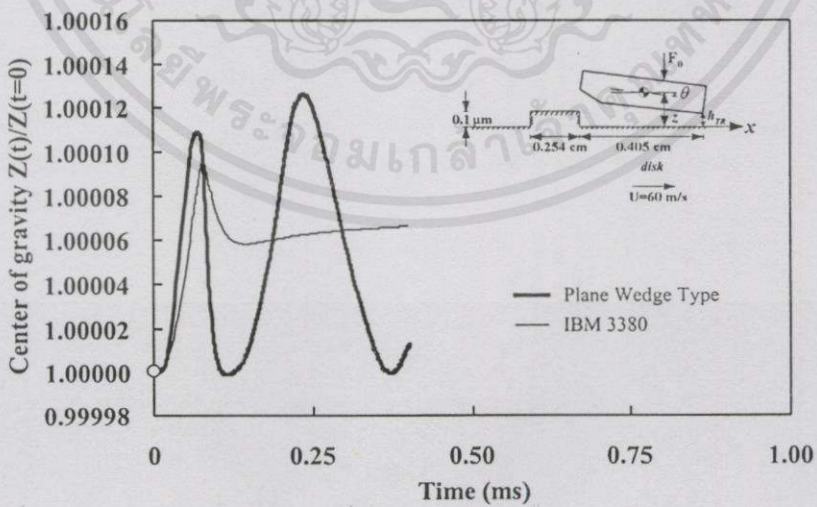
รูปที่ 5.51 ระยะรอยตัวที่บริเวณขอบนำและขอบท้ายของหัวอ่านเมื่อผ่านสิ่งกีดขวางด้วยความเร็วในการเคลื่อนที่ (a) 20 เมตรต่อวินาที (b) 40 เมตรต่อวินาที (c) 60 เมตรต่อวินาที



(a)  $U = 20 \text{ m/s}$

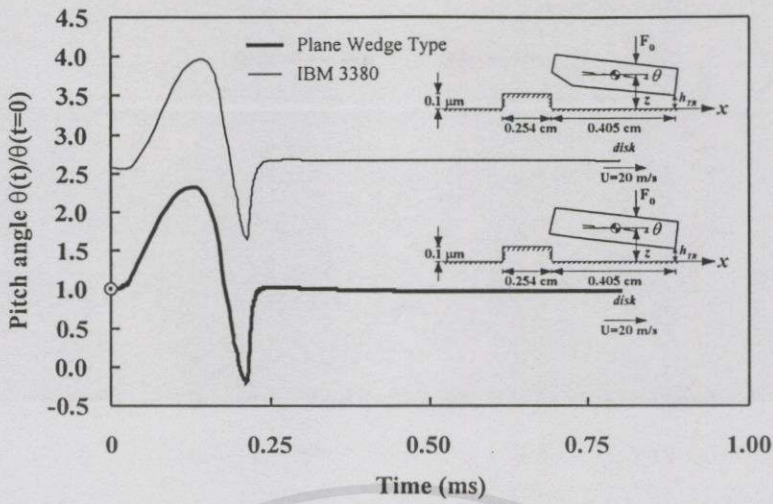


(b)  $U = 40 \text{ m/s}$

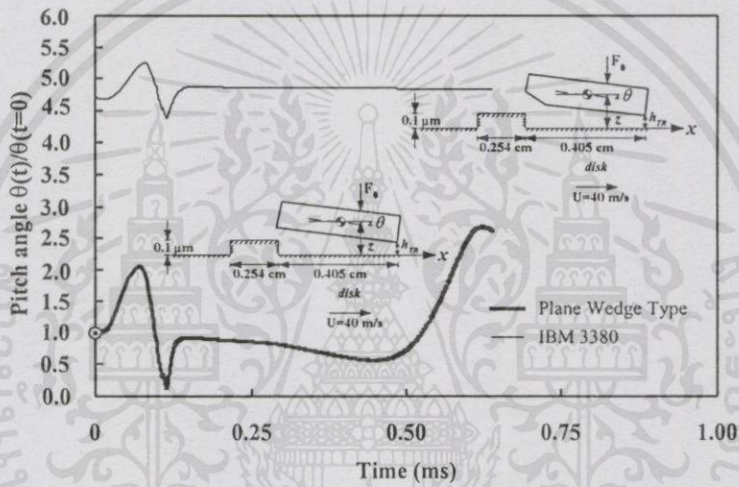


(c)  $U = 60 \text{ m/s}$

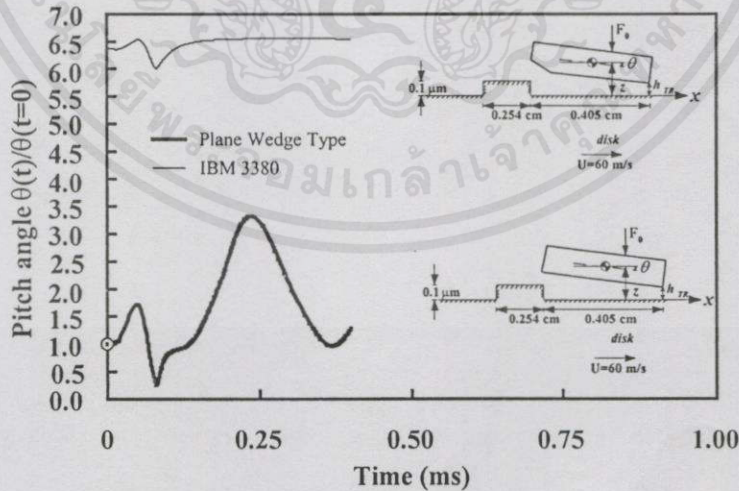
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงแหล่งเอกสารทุกครั้งที่มีส่วนนำไปใช้  
**รูปที่ 5.52** ระยะเวลาของจุดศูนย์กลางมวลของหัวอ่านเมื่อผ่านสิ่งกีดขวางด้วยความเร็วในการ  
 เคลื่อนที่ (a) 20 เมตรต่อวินาที (b) 40 เมตรต่อวินาที (c) 60 เมตรต่อวินาที



(a)  $U = 20 \text{ m/s}$



(b)  $U = 40 \text{ m/s}$



(c)  $U = 60 \text{ m/s}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 รูปที่ 5.53 มุมพิทช์(Pitch angle) หรือมุมเอียงของหัวอ่านเมื่อผ่านสิ่งกีดขวางด้วยความเร็วในการ  
 เคลื่อนที่ (a) 20 เมตรต่อวินาที (b) 40 เมตรต่อวินาที (c) 60 เมตรต่อวินาที

## 5.8 ความเสถียรของหัวอ่าน

จากการวิเคราะห์พฤติกรรมทางพลวัตของหัวอ่านชนิด IBM 3380 และ หัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ เพื่อหาความเสถียรของหัวอ่าน จึงต้องทำการคำนวณหาผลตอบสนองของหัวอ่าน เมื่อป้อนสิ่งรบกวนการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน เช่น สิ่งกีดขวางบนผิวดิสก์หรือการกดหัวอ่าน แล้วคำนวณหาผลตอบสนองของหัวอ่านเมื่อเวลาเปลี่ยนไป ซึ่งในการคำนวณได้พิจารณาตำแหน่งและแรงยึดจับหัวอ่านคงที่ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์สปริงและแดมปีงจากแกนยึด (Suspension) จึงไม่มีผลต่อความหนาของฟิล์มอากาศหล่อลื่น โดยแรงยึดจับ (Suspension force) หัวอ่านมีค่าเท่ากับ 0.147 นิวตัน และระยะลอยตัวต่ำสุดของหัวอ่านเท่ากับ 0.1 ไมโครเมตร สิ่งกีดขวางบนผิวดิสก์ที่เข้ามารบกวนการเคลื่อนที่ของหัวอ่านมีความสูงเท่ากับ 0.1 ไมโครเมตร ความยาวเท่ากับ 2.54 มิลลิเมตร โดยสมมุติให้ความกว้างของสิ่งกีดขวางกว้างเพียงพอที่จะผ่านรางทั้งสองของหัวอ่าน

ดังนั้นเวลาที่หัวอ่านใช้ในการผ่านสิ่งกีดขวางจึงขึ้นอยู่กับความเร็วในการเคลื่อนที่ของแผ่นดิสก์ เมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของแผ่นดิสก์เร็วมากขึ้นเวลาที่หัวอ่านผ่านสิ่งกีดขวางก็จะน้อยลง ดังที่ได้แสดงผลการตอบสนองของหัวอ่านไว้ในหัวข้อ 5.7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบและหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อมีขนาดต่างๆเท่ากันแต่ให้ความเสถียรในการเคลื่อนที่ต่างกันคือ เมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของแผ่นดิสก์มากขึ้น หัวอ่านชนิดลิ้มระนาบมีความเสถียรในการเคลื่อนที่น้อยกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 เพราะเกิดการแกว่งหลังจากสิ่งกีดขวางเคลื่อนที่ผ่าน แต่ที่ความเร็วต่ำพบว่า การเคลื่อนที่ของหัวอ่านทั้งสองมีผลตอบสนองคล้ายกันแต่ระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบต่ำกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 ขณะที่สิ่งกีดขวางเคลื่อนที่ผ่านหัวอ่านแสดงให้เห็นว่าโอกาสที่หัวอ่านชนิดลิ้มระนาบจะสัมผัสกับสิ่งกีดขวางบนผิวดิสก์มากกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380

ผลการตอบสนองของหัวอ่านชนิด IBM 3380 มีความเสถียรมาก เพราะขนาดของสิ่งกีดขวางสูงเท่ากับระยะลอยตัวต่ำสุดของหัวอ่าน แต่เมื่อสิ่งกีดขวางบนผิวดิสก์เคลื่อนที่ผ่านแล้วไม่เกิดการสัมผัสกันระหว่างหัวอ่านและสิ่งกีดขวาง และหลังจากที่สิ่งกีดขวางเคลื่อนที่ออกจากหัวอ่านแล้วระยะการลอยตัวของหัวอ่านไม่เกิดการแกว่งเลย ซึ่งผลที่ได้คล้ายกันกับผลตอบสนองของหัวอ่านชนิด Gubby ที่ เอลลิส ชา(Ellis Cha) และ โบจี้(Bogy) [17] ได้แสดงการคำนวณไว้ ซึ่งตรงกันข้ามกับหัวอ่านชนิด Zero-Load ที่ ไวท์(White) [4,5] ได้ทำการคำนวณไว้เพราะหัวอ่านแกว่งหลังจากผ่านสิ่งกีดขวางรูปโคไซน์(cosine bump)

แม้ว่ามุมพิทช์จะแกว่งเพียงเล็กน้อย และหัวอ่านมีความเสถียรมากแต่การลอยตัวของหัวอ่านหลังจากผ่านสิ่งกีดขวางจนเข้าสู่ภาวะคงตัวได้สักระยะแล้วเกิดการแกว่งขึ้นอีกครั้ง ทั้งนี้เนื่องจากแรงที่ยึดจับหัวอ่าน (Suspension force) น้อยเกินไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการออกแบบแกนยึดจับหัวอ่าน และแรงที่ยึดจับหัวอ่านเหมาะสมกับหัวอ่านด้วย

## บทสรุปและวิเคราะห์ผลการคำนวณและข้อเสนอแนะ

### 6.1 บทสรุปและวิเคราะห์ผลการคำนวณ

ในวิทยานิพนธ์นี้แสดงผลการคำนวณเชิงตัวเลขเพื่อจำลองพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านทั้งพฤติกรรมทางสถิต(static) และพฤติกรรมทางพลวัต(dynamic) โดยอาศัยสมการเรย์โนลด์์ดัดแปลงที่พิจารณาการไหลเป็นแบบอัดตัวได้และการไหลเป็นแบบถิ่นไหลอันดับที่หนึ่ง(first order slip) รวมทั้งสมการการเคลื่อนที่ เพื่อคำนวณหาพฤติกรรมทางสถิตและพฤติกรรมทางพลวัตในรูปโดเมนความถี่หาค่าสัมประสิทธิ์สปริงและแอมป์และในรูปโดเมนเวลาหาลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเมื่อเวลาเปลี่ยนไป โดยทำสมการเรย์โนลด์์ให้เป็นสมการเชิงเส้นด้วยวิธีนิวตันราฟสันในกรณีพฤติกรรมทางสถิต ส่วนพฤติกรรมทางพลวัตในรูปโดเมนความถี่ได้นำเอาวิธีการแปลงลาปลาซและในรูปโดเมนเวลาใช้การกระจายของอนุกรมเทย์เลอร์พร้อมทั้งแก้สมการการเคลื่อนที่ด้วยวิธีรุงเง-คุตต้า แล้วกระจายด้วยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ สามารถสรุปผลได้ดังนี้คือ

#### 6.1.1 พฤติกรรมทางสถิตของหัวอ่าน

คือพฤติกรรมที่หัวอ่านมีระยะห่างจากผิวแผ่นดิสก์คงที่ และมีระยะต่ำมากซึ่งเป็นหน่วยย่อยของไมโครเมตร

1. ความเร็วของแผ่นดิสก์มีผลต่อระยะห่างระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ และค่าตัวเลขการรองรับ (Bearing Number;  $\Lambda$ ) เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์สูงขึ้นทำให้ค่าตัวเลขการรองรับ (Bearing Number;  $\Lambda$ ) และระยะลอยตัวของหัวอ่านเหนือผิวดิสก์สูงขึ้น ยิ่งความเร็วแผ่นดิสก์สูงขึ้นก็ยิ่งทำให้หัวอ่านมีความเอียงมากยิ่งขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระยะห่างของการลอยตัวของหัวอ่านทั้งสองชนิดแล้ว หัวอ่านชนิด IBM 3380 มีระยะลอยตัวต่ำกว่าหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type)
2. ความกว้างของรางของหัวอ่าน ความยาวและมุมของส่วนราบเอียงที่ไม่ต่อเนื่องของหัวอ่านชนิด IBM 3380 ตำแหน่งยึดจับหัวอ่าน ขนาดของแรงกดหัวอ่าน มีผลต่อระยะการลอยตัวของหัวอ่าน และความเอียงของหัวอ่านในขณะเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ระยะห่างระหว่างหัวอ่านลอยตัวของบนแผ่นดิสก์มีผลต่อความดันที่กระจายบนหัวอ่าน โดยเมื่อพิจารณาตามแนวความยาวของหัวอ่าน ความดันที่เกิดขึ้นขณะที่หัวอ่านอินเตอร์เฟซกับแผ่นดิสก์จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีระยะห่างของการลอยตัวมีค่าต่ำลง ซึ่งความดันที่เกิดขึ้นสูงสุดจะเกิดที่บริเวณใกล้กับขอบท้ายของหัวอ่านและมีค่าต่ำลงทันทีเมื่อถึงขอบท้ายของหัวอ่านอันเนื่องมาจากการสูญเสียความดันของอากาศที่บริเวณขอบ ( Side leakage )
4. ความเร็วของแผ่นดิสก์มีผลต่อความดัน คือ เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มีค่าสูงขึ้นจะส่งผลให้ความดันระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์สูงขึ้น และแรงเนื่องจากความดันที่หัวอ่านชนิด IBM 3380 สร้างขึ้นมากกว่าหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) ดังนั้นหัวอ่านชนิด IBM 3380 จึงสามารถสร้างแรงหนุนให้หัวอ่านลอยตัวได้เองซึ่งเรียกว่า self-acting air bearing head
5. เนื่องจากลักษณะความดันกระจายบนรางของหัวอ่านชนิด IBM 3380 มีความดันที่ส่วนราบเอียงด้านหน้ามากกว่าหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) และเมื่อเทียบความดันที่บริเวณด้านหน้าของหัวอ่านทั้งสองกับความดันที่บริเวณส่วนท้ายหัวอ่านแล้ว หัวอ่านชนิด IBM 3380 มีค่าความดันแตกต่างกันน้อยกว่าหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) จึงส่งผลให้หัวอ่านชนิด IBM 3380 มีจุดศูนย์กลางแรงเนื่องจากความดันใกล้กับจุดศูนย์กลางมวลจึงทำให้มีความสมดุลการเคลื่อนที่ได้มากกว่าหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type)
6. ภาระแรงกระทำต่อหัวอ่านก็มีผลต่อค่าความดันด้วยเช่นกันซึ่งหากมีแรงกระทำบนหัวอ่านมากเกินไปจะทำให้ความดันที่เกิดขึ้นสูงมาก
7. เมื่อความเร็วของผิวดิสก์สูงขึ้นจุดสมดุลแรงเนื่องจากความดันของหัวอ่านก็จะเลื่อนออกจากจุดสมดุลแรงมากขึ้นโดยเลื่อนใกล้กับขอบท้ายของหัวอ่านมากขึ้น

ทั้งนี้เนื่องจากความสัมพันธ์ของระยะห่างของการลอยตัวของหัวอ่านบนแผ่นดิสก์และความเร็วของการหมุนของแผ่นดิสก์ จะมีผลต่อค่าแบริงนัมเบอร์ (Bearing Number;  $\Lambda$ ) ซึ่งถ้าหากระยะการลอยตัวมีค่าต่ำมาก หรือ ความเร็วของแผ่นดิสก์มีความเร็วสูงจะทำให้ค่าแบริงนัมเบอร์ (Bearing Number;  $\Lambda$ ) มีค่าสูงมากขึ้น ดังนั้นการกระจายของความดันบนแผ่นดิสก์และหัวอ่านจะขึ้นอยู่กับค่าแบริงนัมเบอร์ (Bearing Number;  $\Lambda$ ) จะส่งผลให้ความดันที่เกิดขึ้นสูงสุดมีค่าสูงมากขึ้น และถ้าหากค่าแบริงนัมเบอร์มีค่าสูงมากอาจจะทำให้การคำนวณหาค่าความดันที่เกิดขึ้นบนหัวอ่านและแผ่นดิสก์ มีความไม่ต่อเนื่อง (Unstable)

### 6.1.2 พฤติกรรมทางพลวัตของหัวอ่าน

คือพฤติกรรมที่หัวอ่านมีระยะห่างจากผิวแผ่นดิสก์ไม่คงที่

1. ความหนาของฟิล์มหล่อลื่น ความเร็วของแผ่นดิสก์รวมทั้งความถี่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สปริงและแอมป์ของหัวอ่าน
2. ผลของความดันที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาขึ้นอยู่กับความหนาของฟิล์มอากาศหล่อลื่นและแรงที่ยึดบนหัวอ่านซึ่งจะต้องมีความสมดุลกันกับแรงเนื่องจากความดัน รวมทั้งความสูงของสิ่งกีดขวางและความเร็วของแผ่นดิสก์
3. เมื่อป้อนสิ่งรบกวนการเคลื่อนที่ของหัวอ่านชนิด IBM 3380 บนผิวดิสก์ พบว่าความเร็วของแผ่นดิสก์สูงขึ้นมีผลทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านสูงขึ้นมากและเมื่อสิ่งกีดขวางเคลื่อนที่ผ่านทำให้ความดันระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์น้อยลง ระยะที่หัวอ่านเข้าสู่สภาวะคงตัวใหม่อีกครั้งสูงกว่าระยะลอยตัวเดิมมาก ยิ่งความเร็วสูงก็ยังมีระยะลอยตัวสูงมากกว่าเดิมมาก แม้หัวอ่านจะมีความเสถียรมาก แต่ด้วยระยะลอยตัวที่สูงมากขึ้นอาจส่งผลให้ความสามารถในการเก็บบันทึกข้อมูลลดลงด้วย
4. ความเร็วแผ่นดิสก์มากขึ้นส่งผลให้หัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) เกิดการแกว่งในขณะเคลื่อนที่หลังจากที่สิ่งกีดขวางผ่าน และเมื่อเปรียบเทียบกับหัวอ่านชนิด IBM 3380 แล้ว พบว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 มีความเสถียรในการเคลื่อนที่มากกว่าหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type)
5. แม้หัวอ่านมีความเสถียรมากแต่การลอยตัวของหัวอ่านหลังจากผ่านสิ่งกีดขวางจนเข้าสู่สภาวะคงตัวได้สักระยะแล้วเกิดการแกว่งขึ้นอีกครั้ง ทั้งนี้เนื่องจากแรงที่ยึดจับหัวอ่าน (Suspension force) น้อยเกินไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการออกแบบแขนยึดจับหัวอ่านและแรงที่ยึดจับหัวอ่านเหมาะสมกับหัวอ่านด้วย

การวิเคราะห์คำนวณเปรียบเทียบหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) มีผิวรางราบเรียบ กับหัวอ่านชนิด IBM 3380 ซึ่งจุดไม่ต่อเนื่องของผิวราง แต่มีขนาดต่างๆเท่ากันรวมทั้งแรงยึดจับ เมื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมของหัวอ่านทั้งสองมีความแตกต่างกันมาก แม้มีรูปทรงต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังนั้นรูปร่างของหัวอ่านมีผลต่อการทำงานอย่างมาก จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาและทำการออกแบบพัฒนารูปทรงของหัวอ่านให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการคำนวณที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อจำลองพฤติกรรมของหัวอ่านสามารถปรับปรุงเป็นแนวทางในการคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของรูปร่างหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) และ หัวอ่านชนิด IBM3380 รวมทั้งพัฒนาโปรแกรมให้มีความสามารถจำลองลักษณะการทำงานของหัวอ่านในสภาวะต่างๆเพิ่มขึ้นเช่น

1. ในสภาวะที่มีการเคลื่อนที่ได้โดยอิสระสามมิติหรือสามทิศทางการเคลื่อนที่เพื่อให้ใกล้เคียงกับสภาพการทำงานจริงมากยิ่งขึ้น เพราะในวิทยานิพนธ์ได้ทำการคำนวณในกรณีที่หัวอ่านมีการเคลื่อนที่ได้โดยอิสระเพียงสองทิศทาง
2. พิจารณาการไหลของอากาศในกรณีที่ฟิล์มอากาศมีความหนาต่างกันซึ่งส่งผลต่อค่าเลขนูดเซนัมเบอร์(Knudsen number)ทำให้ตัวประกอบการไหลเปลี่ยนไปดังเช่นนำเอาสมการ Boltzmann มาคิดคำนวณในกรณีที่ความหนาฟิล์มหล่อลื่นบางมากๆ ในวิทยานิพนธ์พิจารณาการไหลเป็นแบบ First order slip
3. การอินเตอร์เฟกซ์ระหว่างหัวอ่านและผิวดิสก์ที่มีพื้นผิวหยาบขรุขระ อันเป็นผลเนื่องมาจากความสึกหรอของอุปกรณ์ทั้งสองเมื่อมีระยะเวลาในการใช้งานยาวนานที่เกิดจากสัมผัสกันของพื้นผิวหัวอ่านและแผ่นดิสก์ ในขณะที่หัวอ่านเริ่มอินเตอร์เฟกซ์กับแผ่นดิสก์เพื่อทำการอ่านหรือบันทึกข้อมูลก่อนที่จะเข้าสู่สภาวะการทำงานคงตัว รวมทั้งในขณะที่หัวอ่านหยุดทำงาน หรือแม้แต่ฝุ่นละอองที่ปะปนในอากาศหากที่ขนาดอนุภาคใหญ่กว่าระยะห่างระหว่างหัวอ่านและผิวดิสก์ ดังนั้นจึงต้องทำการผลิตและทดสอบการทำงานของหัวอ่านในห้องที่สะอาดมากๆ (Clean room) ซึ่งในวิทยานิพนธ์ทำการศึกษาในกรณีที่พื้นผิวหัวอ่านและผิวดิสก์เรียบ
4. ในสภาพการทำงานที่มีผลกระทบจากอุณหภูมิ ความชื้น ความดัน ต่อการทำงานเป็นต้น เพราะในวิทยานิพนธ์ไม่ได้พิจารณาผลต่างๆเหล่านี้ในขณะที่หัวอ่านทำงาน และให้การทำงานที่สภาพความดันบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 5. ทำการศึกษาหัวอ่านที่มีรูปร่างซับซ้อนมากขึ้น รวมทั้งเปรียบเทียบการทำงานของหัวอ่านรูป  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงบนสื่อ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาปรึกษา  
 5. รวบรวมข้อมูลเพื่อพัฒนาสู่การออกแบบรูปร่างของหัวอ่าน

6. ควรมีการศึกษาวิเคราะห์การทำงานของอุปกรณ์ยัดจับหัวอ่าน(suspension) ร่วมกับหัวอ่านด้วย

นอกจากนี้แล้วสิ่งที่จะต้องคำนึงคือความมีเสถียรภาพในการทำงาน ทั้งในขณะที่หัวอ่านเริ่มและหยุดทำการอินเตอร์เฟชกับแผ่นดิสก์ เพื่อให้มีโอกาสเกิดการสัมผัสกันระหว่างหัวอ่านและผิวดิสก์ให้น้อยที่สุดเพราะระยะห่างกันระหว่างหัวอ่านและผิวดิสก์น้อยมากๆ ทั้งนี้เพราะการเคลื่อนที่มีระยะลอยตัวน้อยมากๆส่งผลให้เกิดความเสถียรในการเคลื่อนที่ของหัวอ่านมากขึ้น รวมทั้งเพิ่มความสามารถในการเก็บข้อมูล เพราะในระบบการเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าในปัจจุบันมีความต้องการในการเก็บบันทึกข้อมูลลงในแผ่นดิสก์มากขึ้น จึงส่งผลให้ระยะลอยตัวของหัวอ่านบนผิวดิสก์ต่ำมาก รวมทั้งมีความรวดเร็วในการอ่านและบันทึกข้อมูลด้วยเช่นกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Bhushan B. **Tribology and Mechanics of Magnetic Storage Devices.** Springer-Verlag.
- [2] Denis Mee C. and Eric D. Daniel. **Magnetic recording technology.** 2 nd ed. United States of America : McGraw-Hill. 1996.
- [3] Bagci, C. and Singh, "Hydrodynamic Lubrication of Finite Slider Bearing s: Effect of One Dimensional Film Shape, and Their Computer Aided Optimum." Trans.ASME. Journal of Lubrication Technology, vol.105, January 1983. pp. 48-66.
- [4] White, J.W. "Flying Characteristics of the Zero-Load Slider Bearing." Trans.ASME. Journal of Lubrication Technology, vol.105, July 1983. pp. 484-490.
- [5] White, J.W. "Dynamic Simulation of the Zero-Load Slider Bearing." IEEE Transactions on Magnetics, vol. 19, no. 5, September 1983. pp. 1668-1670.
- [6] Kogure, K. et. al. "Design of Negative Pressure Slider for magnetic Recording Disks." Trans. ASME. Journal of Lubrication Technology, vol.105, July 1983. pp 496-502.
- [7] Miu D.K. and Bogy D.B. "Dynamics of Gas-Lubricated Slider Bearings in Magnetic Recording Disk Files—Part I: Experiment Observation." Trans.ASME. Journal of Lubrication Technology, vol. 108, October 1986. pp. 584-588.
- [8] Miu D.K. and Bogy D.B. "Dynamics of Gas-Lubricated Slider Bearings in Magnetic Recording Disk Files—Part II: Numerical Simulation." Trans.ASME. Journal of Lubrication Technology, vol. 108, October 1986. pp. 584-588.
- [9] Mitsuya Y. and Ohkubo T. "High Knudsen Number Molecular Rarefaction Effects in Gas-Lubricated Slider Bearings for Computer Flying Heads" Trans.ASME. Journal of Lubrication Technology, vol.109, April 1987. pp. 276-281.
- [10] Hayashi, T. et. al. "Dynamic Characteristics of Gas-Lubricated Slider Bearings Under High Knudsen Number Conditions." Trans. ASME, Journal of Tribology, vol.112, January 1990. pp. 111-118.
- [11] 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] Cha E. and Bogy D.B. "A Numerical Scheme for Static and Dynamic Simulation of Subambient Pressure Shaped Rail Sliders." Trans. ASME, Journal of Tribology, vol. 117, January 1995. pp. 36-46.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] White J.W. "Flying Characteristics of the Transverse and Negative Pressure Contour ("TNP") Slider Air Bearing." Trans. ASME, Journal of Lubrication Technology, vol.119 484-490.
- [21] Hu Y. and Bogy D.B. "Dynamic Stability and Spacing Modulation of Sub-25 nm Fly Height Sliders." Trans. ASME, Journal of Tribology, vol. 119, October 1997. pp. 646-652.
- [22] Hu Y. and Bogy D.B. "Solution of the Rarefied Gas Lubrication Equation Using an Additive Correction Based Multigrid Control Volume Method." Trans. ASME, Journal of Tribology, vol. 120, April 1998. pp. 280-288.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [23] 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.
- [24] Hashimoto H. and Hattori Y. "Improvement of the static and dynamic characteristics of magnetic head sliders by optimum design." Trans. ASME. Journal of Tribology, vol. 122, January 2000. pp. 280-287.
- [25] Sugaya H. "Mechatronics and the development of the video tape recorder." Tribology and Mechanics of Magnetic storage systems, vol. 2(Bhushan and Eiss N.S,eds.), 1985. pp. 64-71.
- [26] Teramura N. "Recent progress in floppy disk recording technology." Tribology and Mechanics of Magnetic storage systems, vol. 2(Bhushan and Eiss N.S,eds.), 1985. pp. 27- 35.
- [27] Harker J.M. et. al. "A quarter century of disk file innovation. IBM J. Res. Develop, vol 25, 1981. pp. 677-689.
- [28] Harris J.P. et.al. "Innovations in the design of magnetic tape subsystems." IBM J. Res. Develop, vol 25, 1981. pp. 691-699.
- [29] Gross W.A. "Origins and early development of air-bearing magnetic heads for disk-file digital storage systems." Tribology and Mechanics of Magnetic storage systems, vol. 1 (Bhushan and Eiss N.S,eds.), 1984. pp. 63-71.
- [30] Croll I. "Evolution of rigid disk media" Tribology and Mechanics of Magnetic storage systems, vol.2 (Bhushan and Eiss N.S,eds.), 1985. pp. 1-6.
- [31] Bashe C.J. et. al. "IBM's Early Computers." MIT Press, Cambridge, Masschusetts.
- [32] Alkin G. **Sound Recording and Reproduction.** 3 rd ed. England : Reel Education and Professional Publishing Ltd. 1996.
- [33] John C. Mallinson. **The Foundations of Magnetic Recording.** 2 nd ed. United States of America : Academic Press. 1993.
- [34] Remsey F. **Tapeless Sound Recording.** 1 st ed. England : Butterworth & Co. Ltd. 1990.
- [35] Hardy W.B. "Collected Scientific Papers of Sir Willium Bate Hardy." pp. 1938.
- [36] Cameron A. **Base Lubrication Theory.** New York : Wiley. 1976.
- [37] Gross W.A. et. al. **Fluid Film Lubrication.** New York : Wiley. 1980.
- [38] Fuller D.D. **Theory and Practice of Lubrication for Engineers.** New York : Wiley. 1984.
- [39] Gans R. F. "Lubrication theory at arbitrary Knudsen number." Trans. ASME, vol 107, 1985. pp. 431-433.

- [40] Burgdurfur A. "The influence of the molecular mean free path on the performance of hydrodynamic gas lubricated bearing." Trans. ASME, vol 81, 1959. pp. 94-100.
- [41] Hsia Y.T. and Domoto G.A. "An experimental investigation of molecular rarefaction effects in gas lubricated bearings at ultra-low clearance" Trans. ASME, vol 105, 1983. pp. 120-130.
- [42] Kennard E.H. **Kinetic Theory of Gases**. New York : McGraw-Hill. 1938.
- [43] ปราโมทย์ เดชะอำไพ. **ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม**. ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2538.
- [44] Cheney W. and Kincaid D. **Numerical Mathematics and computing**. 2 nd ed. United States of America : Brooks / Cole. 1985.
- [45] William T. and Marie D. **Theory of Vibration with Applications**. 4 th ed. United States of America : Prentice-Hall International Inc. 1998.
- [46] John G. and Neil A. **Computer Control of Machines and Processes**. United States of America : Addison-Wesley Publishing Company. 1988.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

## โครงสร้างของโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ

ประกอบด้วยโปรแกรมหลัก (Main Program) และ โปรแกรมย่อย (Subroutine) ที่ทำหน้าที่ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

## โปรแกรมหลัก

เป็น โปรแกรมที่สามารถเลือกการคำนวณ หาพฤติกรรมของหัวอ่านทั้งสองชนิด โดยมีหัวอ่านชนิด ลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type) และหัวอ่านชนิด IBM 3380 Type

ถ้าเลือกคำนวณหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type)

โปรแกรมย่อยที่ทำหน้าที่หลักขณะ โครงสร้างของหัวอ่านแต่ละชนิดประกอบด้วย

- INPUT1 ป้อนค่าต่างๆของหัวอ่านชนิดลิ้มระนาบ (Plane Wedge Type)
- NONDIM ทำให้ค่าต่างอยู่ในรูปไม่มีหน่วยหรือไร้มิติ
- GRIDX1 แบ่งกริดของพื้นผิวหัวอ่านในทิศทางตามแนวแกน X หรือตามแนวความยาวของหัวอ่าน
- GRIDY1 แบ่งกริดของพื้นผิวหัวอ่าน ในทิศทางตามแนวแกน Y หรือตามแนวความกว้างของหัวอ่าน

ถ้าเลือกคำนวณหัวอ่านชนิด IBM 3380 Type

โปรแกรมย่อยที่ทำหน้าที่หลักขณะ โครงสร้างของหัวอ่านแต่ละชนิดประกอบด้วย

- INPUT2 ป้อนค่าต่างๆของหัวอ่านชนิด Plane Wedge
- NONDIM ทำให้ค่าต่างอยู่ในรูปไม่มีหน่วยหรือไร้มิติ
- GRIDX2 แบ่งกริดของพื้นผิวหัวอ่านในทิศทางตามแนวแกน X หรือตามแนวความยาวของหัวอ่าน
- GRIDY2 แบ่งกริดของพื้นผิวหัวอ่าน ในทิศทางตามแนวแกน Y หรือตามแนวความกว้างของหัวอ่าน

เมื่อได้ค่าต่างๆและ โครงสร้างกริดของหัวอ่านที่เลือกคำนวณแล้วต่อไปทำการคำนวณหาพฤติกรรมทางสถิติและทางพลวัต

- CALPFM คำนวณหาพฤติกรรมสถิติของหัวอ่าน
  - BALANCE คำนวณหาความสมดุลการเคลื่อนที่ของหัวอ่านขณะมีพฤติกรรมสถิติ
- เลือกการวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมทางพลวัต
- RESPO1 คำนวณหาพฤติกรรมทางพลวัตของหัวอ่าน โดยวิเคราะห์ด้วยโดเมนเวลา
  - RESPO2 คำนวณหาพฤติกรรมทางพลวัตของหัวอ่าน โดยวิเคราะห์ด้วยโดเมนความถี่

## ผังรูปที่ ผ.ก. 1 แสดงแผนภูมิการทำงานของโปรแกรมหลัก

โครงสร้างของโปรแกรมย่อยที่คำนวณหาพฤติกรรมสถิตและทางพลวัตได้แก่

โปรแกรมย่อย CALPFM คำนวณหาความดันเมื่อหัวอ่านมีพฤติกรรมสถิต โดยมีโปรแกรมย่อยภายในคือ

- INIP กำหนดค่าความดันเริ่มต้นในการคำนวณและความดันขอบ
- GETH คำนวณความหนาฟิล์มหล่อลื่นหรือระยะการลอยตัวของหัวอ่าน
- CALRE กระจายสมการเรย์โนลด์ที่ตัดเทอมขึ้นกับเวลาออก
- NRMAT จัดเทอมต่างๆที่ได้จากการกระจายสมการเรย์โนลด์ไว้ในรูปของเมตริกซ์
- LUDCMP แก้เมตริกซ์หาความดัน
- NEWP หาผลต่างความดันเก่าและใหม่แล้วจัดค่าความดันเก่าเท่ากับความดันที่คำนวณได้ใหม่แล้วทำการตรวจผลต่างระหว่างความดันเก่าและใหม่ว่ามีค่ายอมรับได้หรือยัง หากยังก็กลับทำการคำนวณใหม่โดยนำค่าความดันใหม่ที่ได้จากการคำนวณเป็นค่าเริ่มต้นในการคำนวณครั้งต่อไปจนกระทั่งค่าที่ได้จากการคำนวณสามารถยอมรับได้ ดังรูปที่ ผ.ก. 2 แสดงแผนภูมิการทำงานของโปรแกรมย่อย CALPFM

โปรแกรมย่อย RESPO1 คำนวณหาความดันเมื่อหัวอ่านมีพฤติกรรมทางพลวัตในรูปของโดเมนเวลา ในการคำนวณจะต้องคิดเวลาที่เปลี่ยนไปในแต่ละครั้ง โดยจะได้ว่า  $t^{(n)} = n\Delta t$  (เมื่อผลรวมของ  $\Delta t$  ที่เพิ่มขึ้นแต่ละครั้งทั้งหมด  $n$  ครั้งเท่ากับเวลาที่เปลี่ยนไป โดยมีโปรแกรมย่อยภายในคือ

- GETFXP ทำการอินทิเกรตความดันเพื่อการแรงเนื่องจากความดันที่เกิดขึ้นพร้อมทั้งหาตำแหน่งของจุดศูนย์กลางแรง
- RUNGE ทำการอินทิเกรตสมการการเคลื่อนที่ด้วยวิธีรุ่งเง-คุตต้า ซึ่งใช้คำนวณหาทิศทางและตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของหัวอ่านซึ่งมีผลต่อความหนาฟิล์มหล่อลื่น
- GETH คำนวณหาความหนาฟิล์มหล่อลื่นเมื่อทราบมุมพิทและระยะห่างของจุดศูนย์กลางของหัวอ่านและผิวคิสก์
- CALPH คำนวณหาผลคูณความดันและความหนาฟิล์ม
- REYNOLD แก้สมการเรย์โนลด์หาผลคูณความดันและความหนาฟิล์มใหม่ที่เวลาเปลี่ยนไป
- CALP คำนวณหาความดันใหม่ที่เวลาเปลี่ยนไป
- NEWH หาผลต่างความหนาฟิล์มเก่าและใหม่แล้วจัดค่าความหนาฟิล์มเก่าเท่ากับความหนาฟิล์มที่คำนวณได้ใหม่

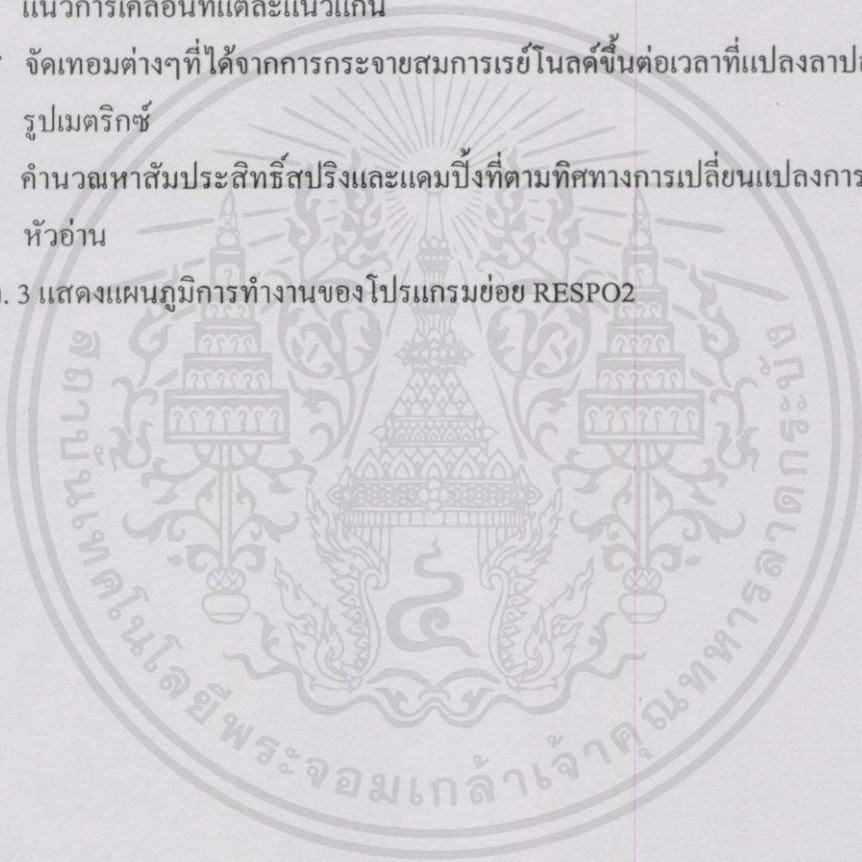
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
แล้วทำการตรวจผลต่างระหว่างความหนาฟิล์มเก่าและใหม่ว่ามีค่ายอมรับได้หรือยัง หากยังก็กลับ  
ทำการคำนวณใหม่โดยนำค่าความหนาฟิล์มใหม่ที่ี้จากการคำนวณเป็นค่าเริ่มต้นในการคำนวณ

ครั้งต่อไปจนกระทั่งค่าที่ได้จากการคำนวณสามารถยอมรับได้ เมื่อได้รับความหนาฟิล์มและความดันใหม่ที่เวลาเปลี่ยนไป  $\Delta t$  แล้วทำการแทนค่ากลับไปคำนวณใหม่ วนคำนวณไปเรื่อยๆจนถึงเวลาที่ต้องการ ดังรูปที่ ผ.ก. 3 แสดงแผนภูมิการทำงานของโปรแกรมย่อย RESPO1

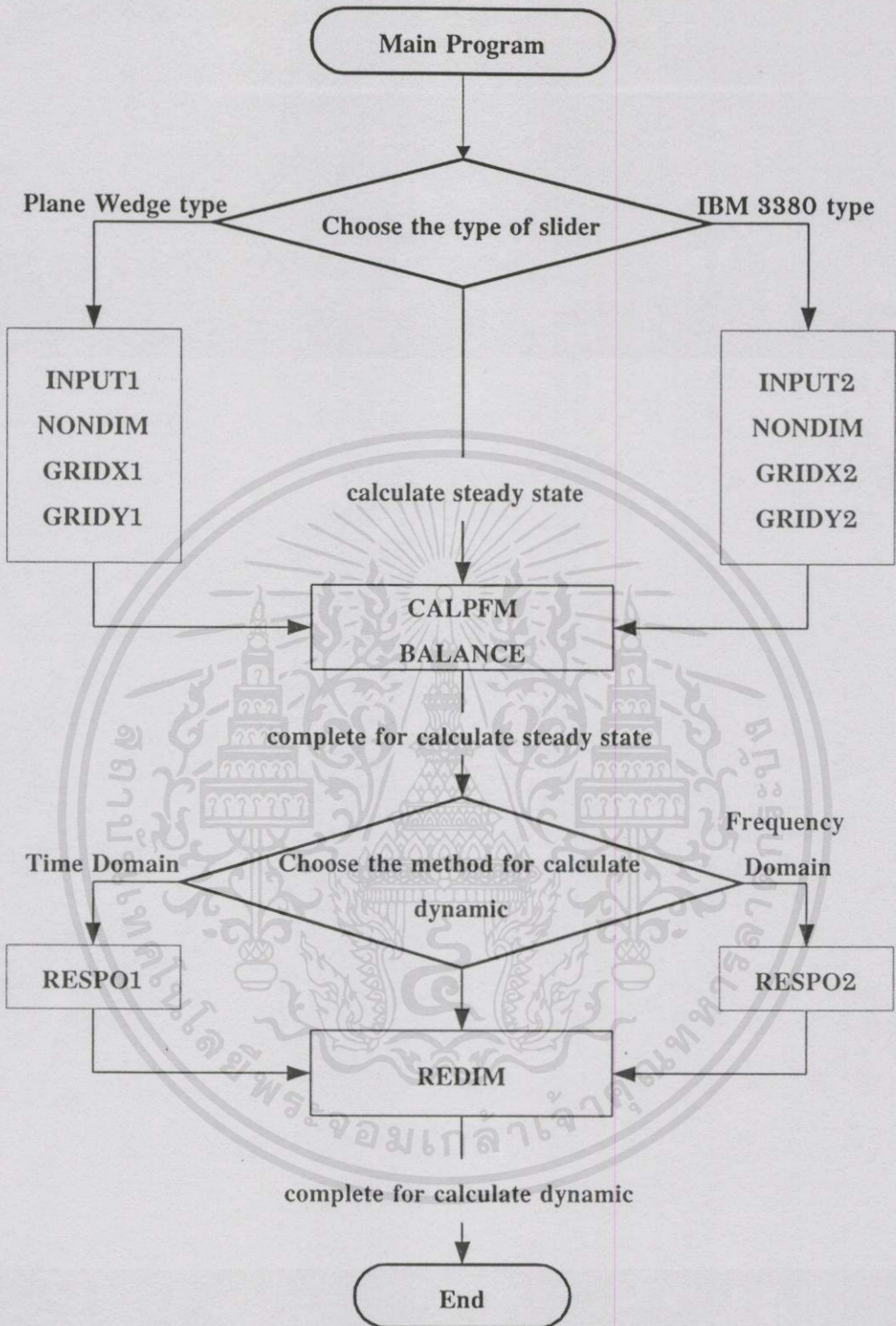
โปรแกรมย่อย RESPO2 คำนวณหาความดันเมื่อหัวอ่านมีพฤติกรรมทางพลวัตในรูปของโดเมนความถี่ ในการคำนวณจะต้องคิดความถี่ที่เปลี่ยนไปในแต่ละครั้ง โดยมีโปรแกรมย่อยภายในคือ

- DCLRE กระจายสมการเรย์โนลด์ส์ขึ้นต่อเวลาที่แปลงลาปลาซโดยที่คิดความดันที่เปลี่ยนไปตามแนวการเคลื่อนที่แต่ละแนวแกน
- DNRMAT จัดเทอมต่างๆที่ได้จากการกระจายสมการเรย์โนลด์ส์ขึ้นต่อเวลาที่แปลงลาปลาซ ไว้ในรูปเมตริกซ์
- CALKC คำนวณหาสัมประสิทธิ์สปริงและแดมปีงที่ตามทิศทางการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน

ดังรูปที่ ผ.ก. 3 แสดงแผนภูมิการทำงานของโปรแกรมย่อย RESPO2

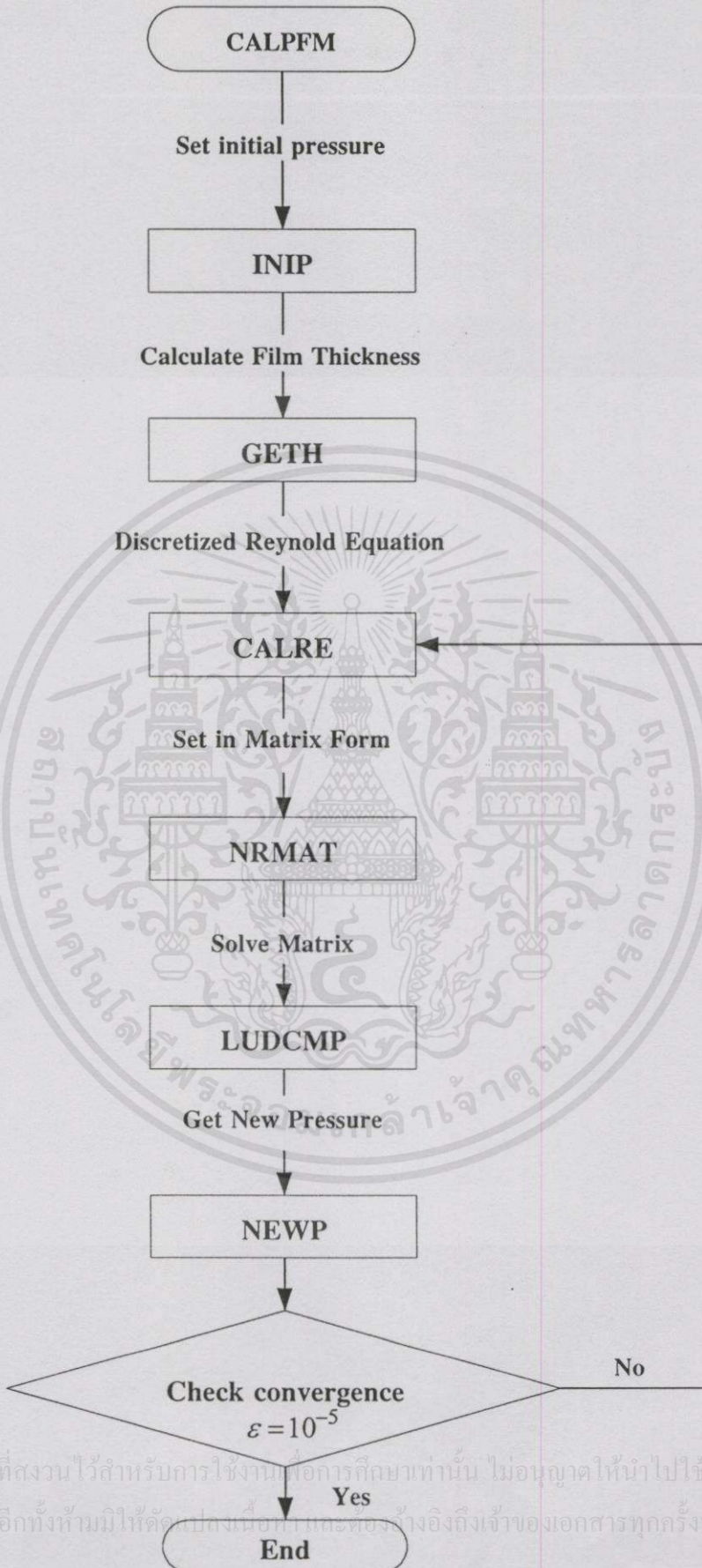


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

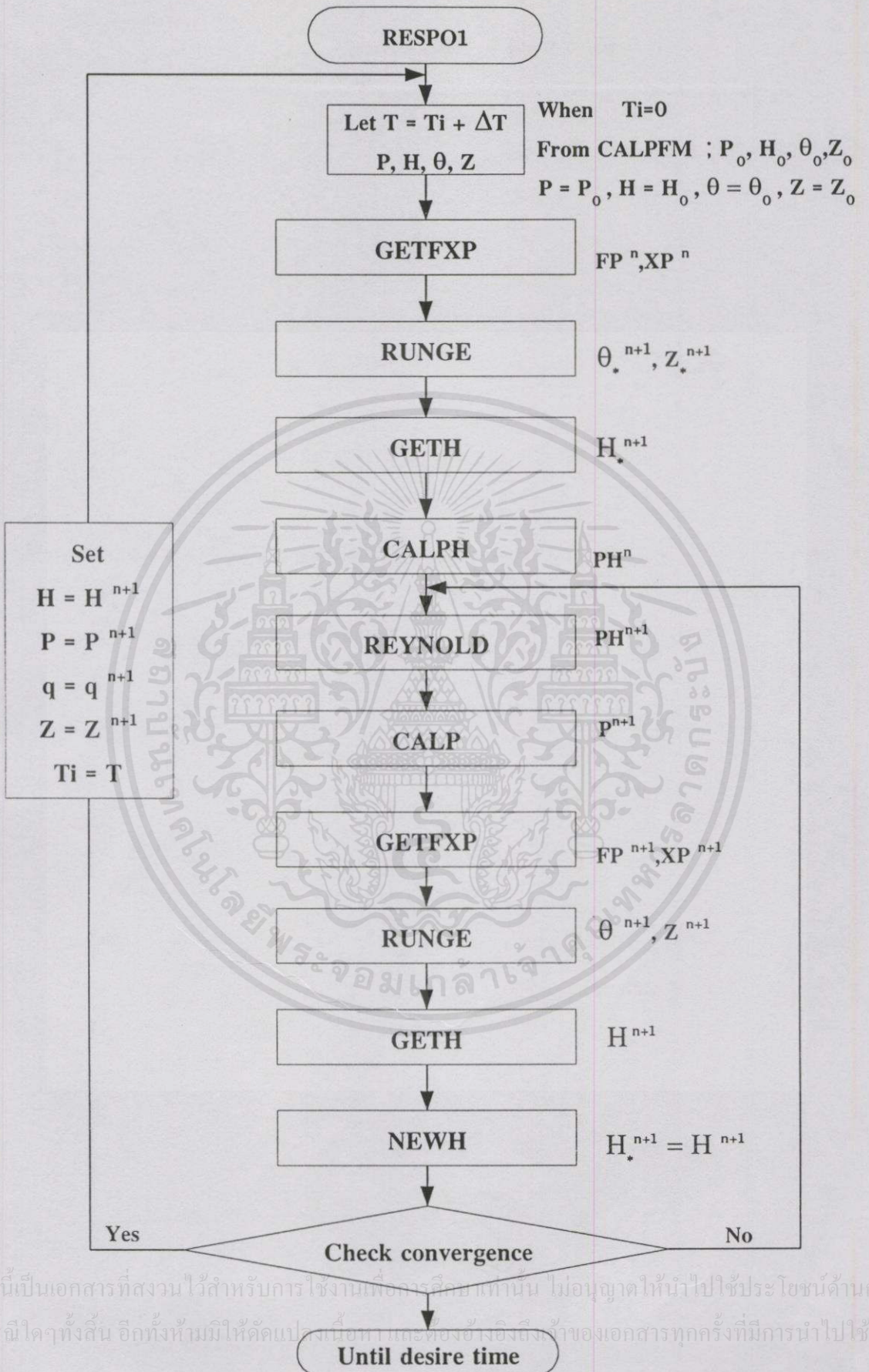


รูป ผ.ก. 1 โครงสร้างของโปรแกรมหลัก (Main Program)

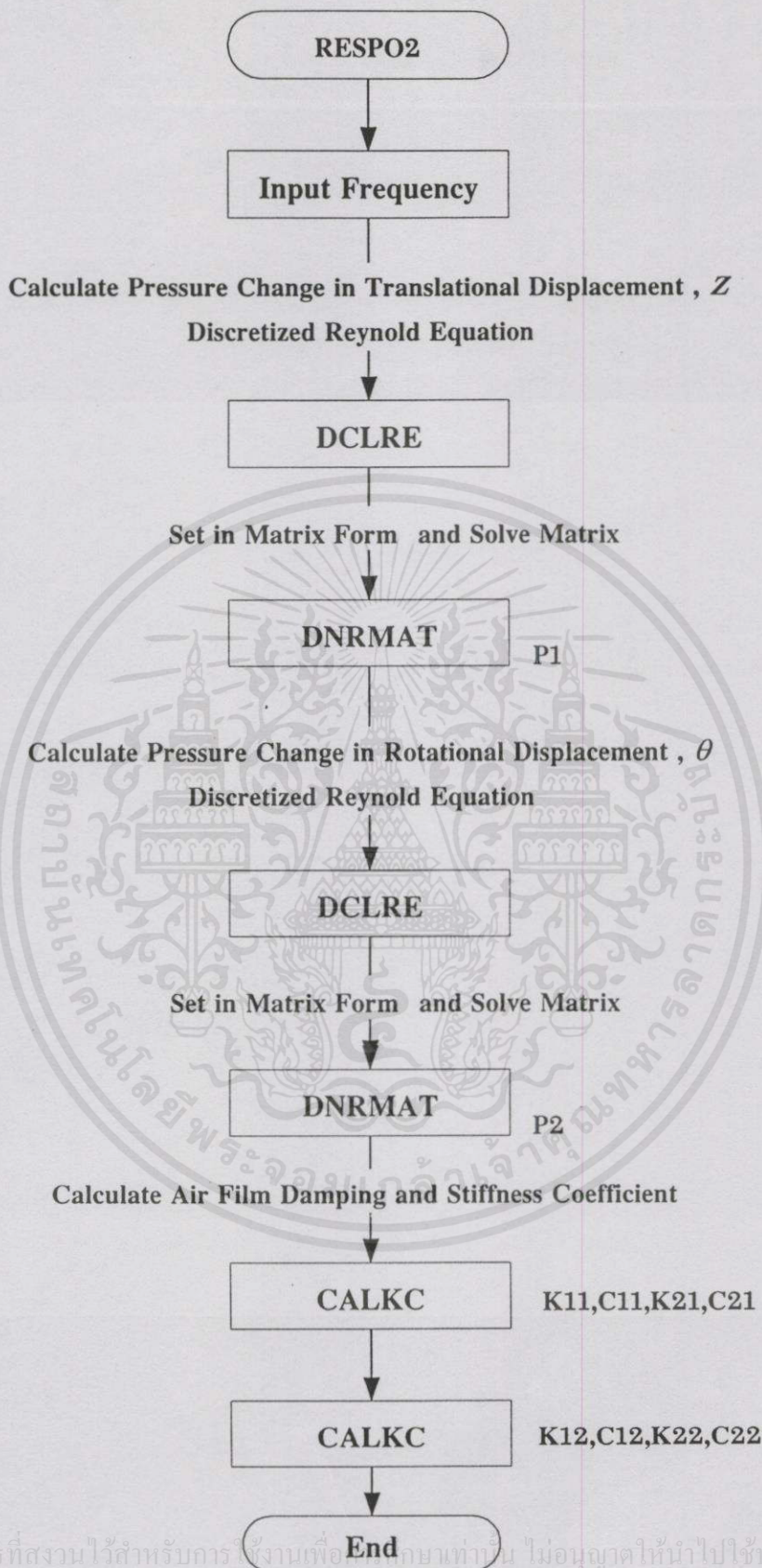
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูป ผ. ก. 2 โครงสร้างของโปรแกรมย่อย CALPFM คำนวณหาความดันสถิต



รูป ผ.ก. 3 โครงสร้างของโปรแกรมย่อย RESPO1 คำนวณหาพฤติกรรมทางพลวัตโดเมนเวลา



รูป ผ.ก. 4 โครงสร้างของโปรแกรมย่อย RESPO2 คำนวณหาพฤติกรรมทางพลวัตโดเมนความถี่



ภาคผนวก ข.  
ผลงานทางวิชาการเกี่ยวกับงานวิทยานิพนธ์ที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# สัมมนาวิชาการวิศวกรรมเครื่องกล แห่งประเทศไทยครั้งที่ ๑๓



บทความทางวิชาการ เล่มที่ ๑/๒

จัดโดย

เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกล

ดำเนินงานโดย

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วันที่ ๒-๓ ธันวาคม ๒๕๕๒

## Flying Characteristic Simulation of the Plane Wedge Type Slider Head and Rigid Disk in Magnetic Storage System

M.Mongkolwongrojn , S.Kwankaomeng

Electro-Mechanical Engineering Laboratory ReCCIT Faculty of Engineering KMIT'L

Chaloongkrung Road, Ladkrabang, Bangkok 10520

Tel 3269987 ext. 103 , Tel 3266053-101 ext. 2345

E-mail:kmmongko@kmitl.ac.th, E-Mail:sudaratk@hotmail.com

### Abstract

This paper reports on the investigations of static and dynamic characteristics of self acting air bearing head and rigid disk in magnetic storage system. In order to consider the plane wedge type slider, which compose of two rails to pressurize the air. The design of ultra low clearance between head and rigid disk interface is to obtain high data storage density. Two degree of freedom motion of slider head; translation perpendicular to the disk surface and rotation around the transverse axis were simplified in this investigation. Numerical solution of the two dimensional nonlinear time variable modified Reynolds equation with slip flow effect has been formulated by using variable grid size. A numerical scheme base on the finite difference technique and iteration method have been used to simulate steady state flying characteristics. For dynamic characteristics, the Laplace transform is applied. The pressure distribution, flying height, loads, pivot position and spring and damping coefficient were obtained in this calculation.

### 1. Introduction

For rigid magnetic disk drive, The increased in memory capacity and higher reliability are strongly desired. To increase the storage density of the drives, it is essential to reduce the flying heights of their sliders (the gap between magnetic recording heads and disks). In current drives, the flying heights have been reduce to the 100 to 200 nm. range. On the other hand, to ensure higher drive reliability, contact between the sliders and the disks must be avoided. To meet this requirement, both lower and more stable flying heights of the sliders must be achieved.

Since the rotating disk vibrations consist of the first mode of several tens of microns and the higher order modes, it is not

important only to predict the static characteristic but also to design the flying head slider with good compliance to disk vibration. This analysis included slip flow effects make it possible to evaluate submicron spacings.

In currently available contact-start-stop type flying head sliders, the load spring force must be sufficiently small (commonly about 100 mN) from the view points of flying head slider and disk wear. An air bearing with high degree of stiffness is required to keep the spacing variation between recording head and recording medium small. The conventional light load slider, however, has an upper limit of stiffness, because the air film stiffness decreases with decrease of the positive pressure of the air film, which is balanced by the load spring force. The slider can be simplified as show in Figure 1

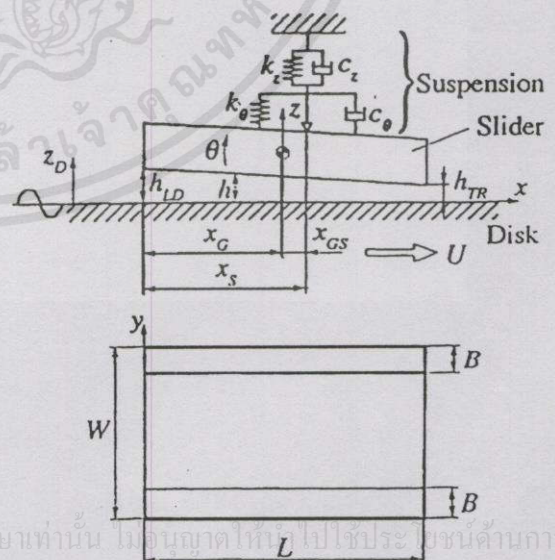


Fig.1 Analytical model of magnetic head slider

## 2. Theoretical Analysis

### 2.1 Generalized Reynolds Equation

To derive the air bearing equation, we adopt a rectangular coordinate system (x,y) with the origin placed at the corner of the inner and leading edges and with the x and y axes pointed in the slider's length and width direction respectively. Under the assumptions of negligible inertial and body force, molecular slip flow between the very small gas film thickness, compressible. Reynolds equation, which governs the pressure distribution between the slider and disk can be written in dimensional form as

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ ph^3 \frac{\partial p}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ ph^3 \frac{\partial p}{\partial y} \right] = 6U\mu \frac{\partial}{\partial x} [ph] + 6V\mu \frac{\partial}{\partial y} [ph] + 12\mu \frac{\partial}{\partial t} [ph] \quad (1)$$

where p is pressure, h is the local slider-disk separation,  $\mu$  is the viscosity of the air; U and V are the sliding velocities in x and y direction.

When the gas between the slider and the rigid disk is assumed to be isothermal, the modified Reynolds equation considering molecular slip flow effects can be written in a nondimensional form as follows.

$$\frac{\partial}{\partial X} \left\{ PH^3 \left( 1 + \frac{6K_0}{PH} \right) \frac{\partial P}{\partial X} \right\} + \left( \frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left\{ PH^3 \left( 1 + \frac{6K_0}{PH} \right) \frac{\partial P}{\partial Y} \right\} = \Lambda_x \frac{\partial (PH)}{\partial X} + \Lambda_y \frac{\partial (PH)}{\partial Y} + \sigma \frac{\partial (PH)}{\partial T} \quad (2)$$

Here  $\left( 1 + \frac{6K_0}{PH} \right)$  is the nondimensional pressure flow rate or Poiseuille flow factor. Using the nondimensionalized variables as

$$P = \frac{p}{p_a}, H = \frac{h}{h_m}, T = \omega t, X = \frac{x}{L}, Y = \frac{y}{B}$$

where  $p_a$  = atmospheric pressure;  $h_m$  = minimum separation height; L = length of slider; B = width of slider; and  $\omega$  = angular velocity of disk.

$$\Lambda_x = \frac{6\mu UL}{p_a h_m^2} \quad \text{and} \quad \Lambda_y = \frac{6\mu UB}{p_a h_m^2} \quad \text{are the bearing numbers}$$

in the x and y direction, respectively.

$\sigma = \frac{12\mu\omega L^2}{p_a h_m^2}$  is the squeeze number. Here  $\mu$  is the viscosity of the gas, and U and V are the sliding velocities in the x and y

directions, respectively. ;  $K_0 = \frac{\lambda_a}{h_m}$ ,  $K_0$  is the Knudsen number and  $\lambda$  is the mean free path of the gas molecules.

### 2.2 Equation of motion

The dynamic characteristics of sliders are analyzed using the two-degrees-of-freedom model has typically been calculated by simultaneously solving the modified Reynolds equation with the force and moment balances that govern the motion of the air bearing slider flying over a rotating disk are

$$m \frac{d^2 Z}{dt^2} + k_Z Z + F = \int (p - p_a) dA \quad (3)$$

$$I_0 \frac{d^2 \theta}{dt^2} + k_\theta \theta + M_\theta = \int (p - p_a) (x_g - x) dA \quad (4)$$

Using normalized form:

$$M_Z \ddot{Z} + F_S = \iint_{00}^{11} (P - 1) dXdY \quad (5)$$

$$I_\theta \ddot{\theta} + M_S - F_S X_{GS} = \iint_{00}^{11} (P - 1) (X_G - X) dXdY \quad (6)$$

where

$$F_S = F_0 + K_Z (Z - X_{GS} \theta) + C_Z (\dot{Z} - X_{GS} \dot{\theta}) \quad (7)$$

$$M_S = M_0 + K_\theta \theta + C_\theta \dot{\theta} \quad (8)$$

### 2.3 The load carrying Capacity

The hydrodynamic force W will be computed by integrating the film pressure. The load carrying capacity of a slider bearing is given by

$$W = \iint_{00}^{11} (P - 1) dXdY \quad (9)$$

which adopted the trapezoid rule method to compute. To increase the accuracy of approximation of the load carrying capacity, fine finite difference mesh is needed, especially within the zones where the rate of change of pressure is large, such as around the trailing edge.

### 2.4 The pivot position

The coordinates of gas film center of pressure are

$$\bar{X} = \frac{1}{W} \iint_{00}^{11} X (P - 1) dXdY \quad (10)$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{W} \iint_{00}^{11} Y (P - 1) dXdY \quad (11)$$



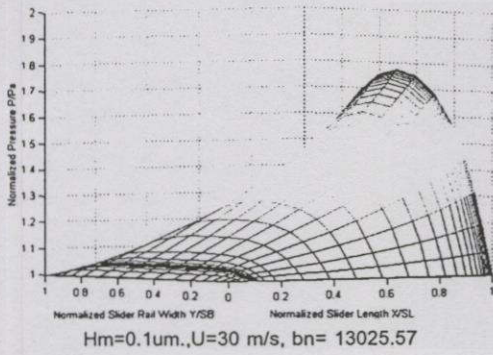


Fig.2 Pressure distributions profile

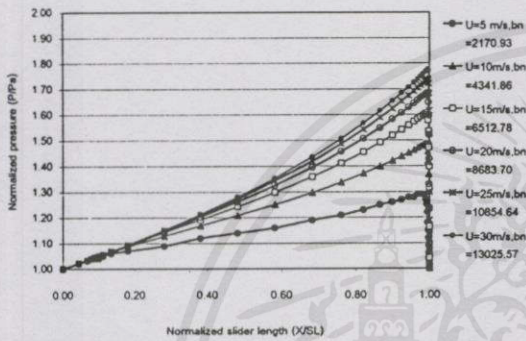


Fig.3 Static pressure at the middle of the rail, Hm=0.1 um.

4.1.2 Air film thickness

A desired characteristic of a slider used in magnetic recording is to experience only small variations in flying height as the slider is accessed to different radial location over the disk surface and avoid metal contact. On Fig.4 is presented the relationship of the nondimensional fly height along the slider rail with varying minimum film thickness.

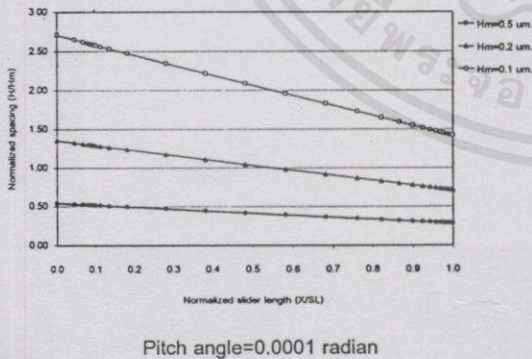


Fig.4 Normalized flying height along slider rail

The effect of disk speed on clearance is presented on Fig.5. It is seen that the increased disk speed from 10 to 60 m/s cause the minimum film thickness increased.

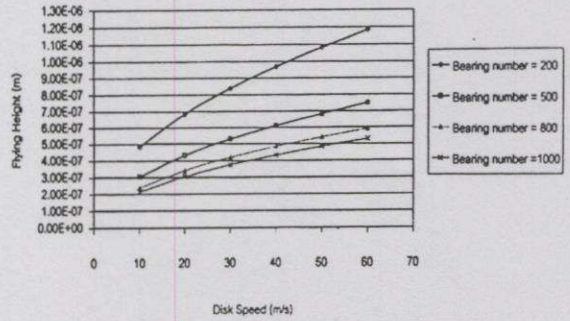


Fig. 5 Effect of disk speed on flying height

4.1.3 Load suspension

The load carrying capacity is presented on Fig.6. It is shown the increased disk speed from 5 to 30 m/s causes the load carrying capacity increase. Therefore, the required load suspension on slider head increase in order to maintain the slider inequilibrium.

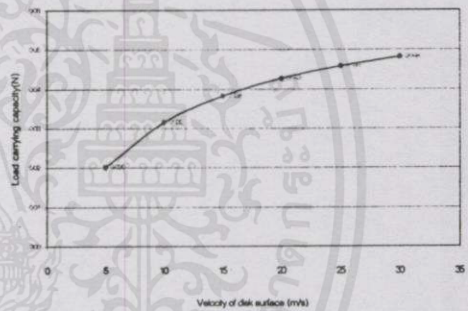


Fig. 6 Effect of disk speed on load carrying capacity

4.1.4 Pivot position

The pivot coordinate is moved far away from the middle point along the slider length when the disk speed increase as shown in Fig.7

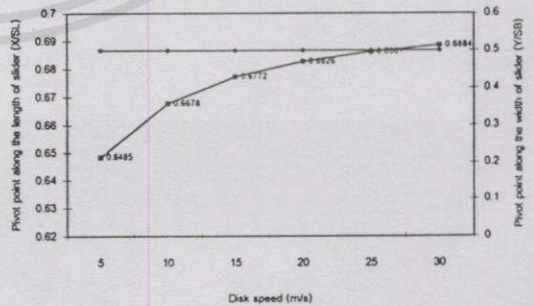


Fig. 7 Effect of disk speed on pivot coordinate point

4.2 Dynamic characteristics

Dynamic characteristics of air film with fixed configuration, air film stiffness and damping coefficient of the fixed air film configuration are first analyzed using the linearized analysis in the frequency domain to determine the fundamental dynamic characteristics of slider.

Figure 8 shows the air film stiffness and damping coefficients and normalized frequency ( $= \omega / \omega_0$ ) with varying the minimum flying height of slider. Figure 8(a) shows the stiffness  $K_{11}$  is positive valve and nearly constant in that frequency range and compare with varying minimum air film thickness .The stiffness coefficient decreased with minimum clearance decreased. Similary, the damping coefficient as shown in Fig.8 (b) decrease when the nondimensional frequency in this range is increase. In contrast to the stiffness coefficient  $K_{12}$  as shown on Fig.8(c) and damping coefficient  $C_{12}$  as shown on Fig.8(d) have negative value.

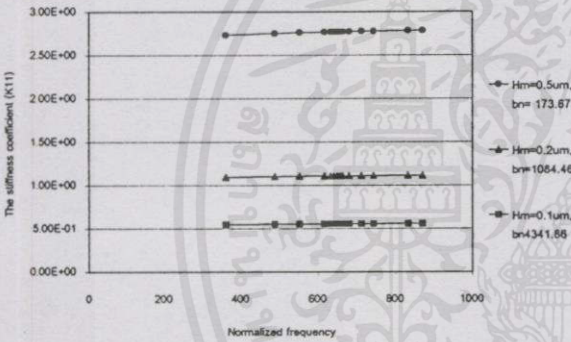


Fig. 8(a) Nondimensional frequency and  $K_{11}$

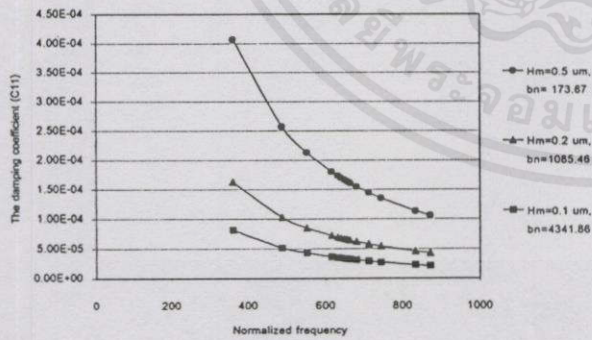


Fig. 8 (b) Nondimensional frequency and  $C_{11}$

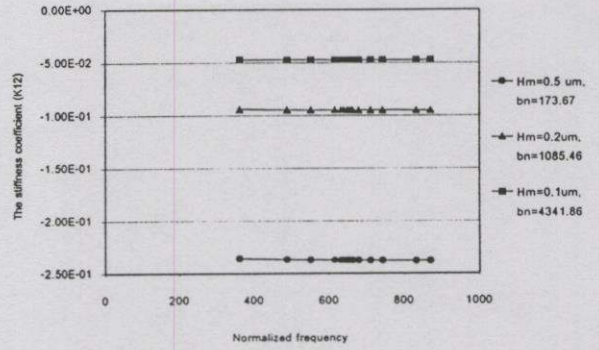


Fig. 8 (c) Nondimensional frequency and  $K_{12}$

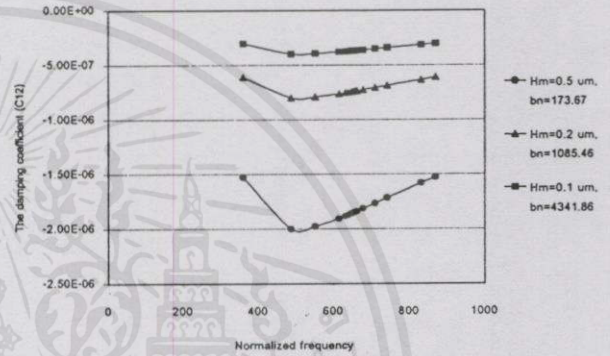


Fig. 8 (d) Nondimensional frequency and  $C_{12}$

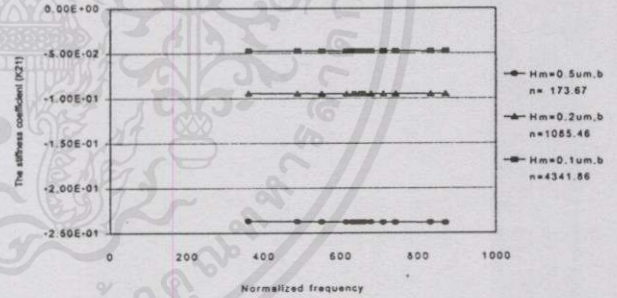


Fig. 8 (e) Nondimensional frequency and  $K_{21}$

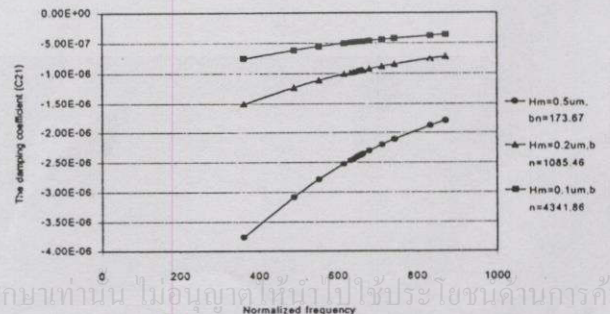


Fig. 8 (f) Nondimensional frequency and  $C_{21}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

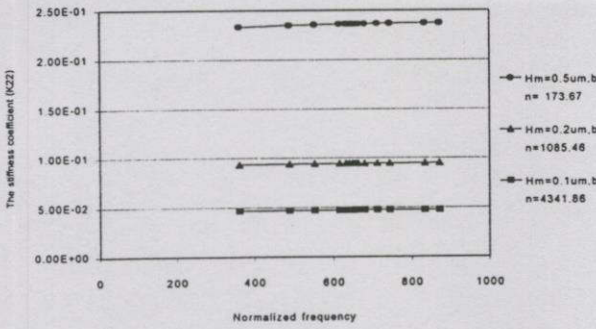


Fig. 8 (g) Nondimensional frequency and  $K_{22}$

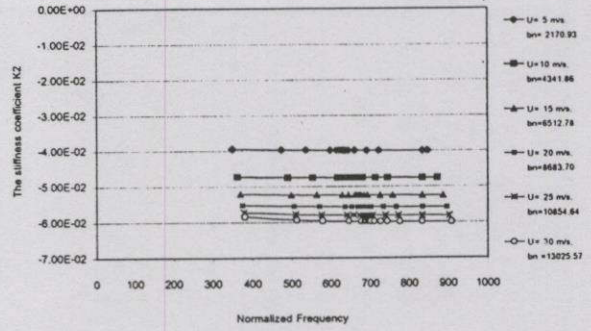


Fig. 9(c) Effect of disk speed on stiffness coefficient,  $K_{21}$

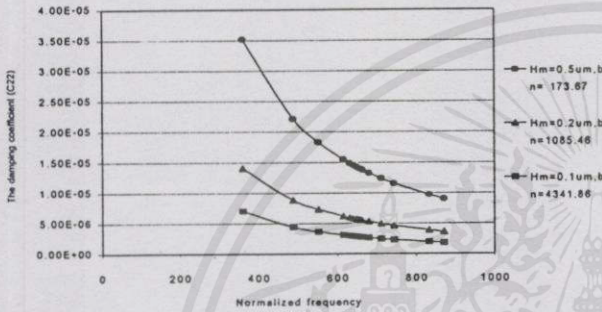


Fig. 8 (h) Nondimensional frequency and  $C_{22}$   
 Fig. 8 Relationship between air film stiffness and damping coefficient and normalized frequency with vary bearing number and disk speed (U)=10 m/s

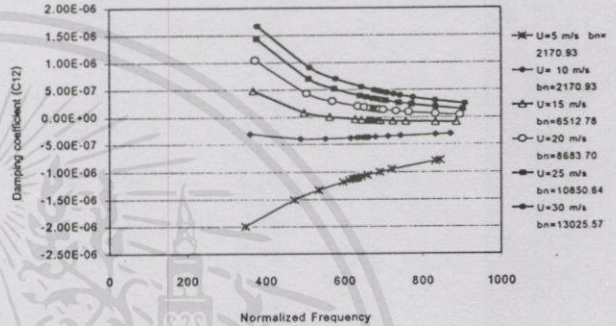


Fig. 9(d) Effect of disk speed on stiffness coefficient,  $C_{12}$   
 Fig. 9 Relationship between air film stiffness and damping coefficient and normalized frequency with vary disk speed and minimum film thickness

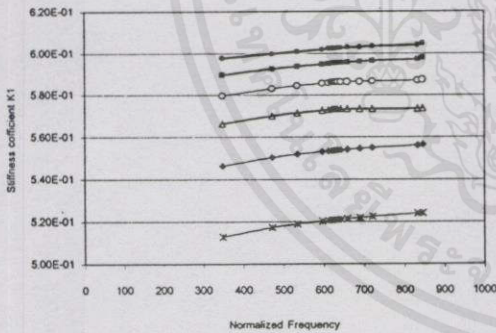


Fig. 9(a) Effect of disk speed on air film stiffness,  $K_{11}$

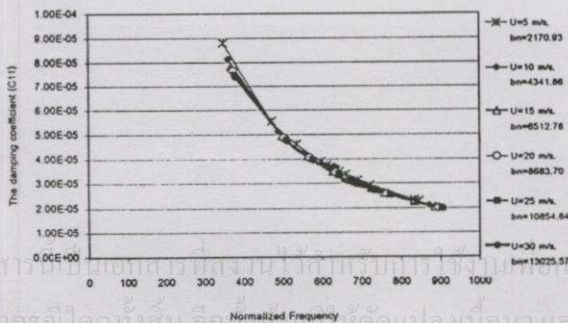


Fig. 9(b) Effect of disk speed on air film damping,  $C_{11}$

Effect of disk speed on the air film stiffness and damping coefficient is presented on Fig. 9. It shows the stiffness and damping coefficient with varying disk speed for minimum air film thickness of  $0.1 \mu\text{m}$ . From Fig.9(d) we can see that the higher bearing number, the higher the damping coefficient can get. but it will decrease when the normalized frequency is increase.

The stiffness coefficient  $K_{11}$  (Fig.8 (a)) and  $K_{22}$  (Fig.8 (g)) are positive values. The stiffness  $K_{12}$  (Fig.8(c)) and  $K_{22}$  (Fig.8(e)) are negative values. The trend of those values are similiary. Also the damping coefficient are follow this same manner too. The damping  $C_{11}$  (Fig.8 (b)) and  $C_{22}$  (Fig.8 (h)) are positive values. The damping  $C_{12}$  (Fig.8 (d)) and  $C_{21}$  (Fig. 8 (f)) are negative value. For the ultra low minimum spacing causes the stiffness and damping are low positive value and low negative value.

5.Conclusion

The static and dynamic characteristics of the air bearing head on a smooth rigid disk were investigated theoretically. The Finite difference method is used to solve the modified Reynolds

equation and linearized by Taylor's series to obtain pressure distribution and relationship between flying height and sliding velocity of rigid disk in the plane wedge-type slider in hard disk drive system. Similarly, Laplace transformation has been applied to linearized time dependent modified Reynolds equation to obtain dynamic characteristics.

#### References

- [1] Ellis Cha and D.B. Bogy, "A Numerical Scheme for Static and Dynamic Simulation of Subambient Pressure Shaped Rail Sliders", Trans. ASME. Journal of Tribology, Vol. 105, 1995, pp. 36-46.
- [2] J.W.White, "Flying Characteristics of Zero-Load Slider Bearing". Trans. ASME. Journal of Lubrication Technology, Vol. 105, 1983, pp.484-490.
- [3] K. Kogure, S. Fukui, Y. Mitsuya and R. Kaneko, "Design of Negative Pressure Slider for magnetic Recording Disks", Trans. ASME. Journal of Lubrication Technology, Vol. 105, 1983, pp.496-502.
- [4] K. Ono, "Dynamic Characteristics of Air-Lubricated Slider Bearing for Non contact Magnetic Recording", Trans. ASME, Journal of Lubrication Technology, Vol.97, 1975, pp. 250-260.
- [5] O.J. Ruiz and D.B. Bogy, "A Numerical Simulation of the Head-Disk Assembly in Magnetic Hard Disk Files: Part I-Component Models", Trans. ASME. Journal of Lubrication Technology, Vol.112, 1990, pp. 593-602.
- [6] T. Hayashi, S.Fukui, T.Ohkubo and R. Kaneko, "Dynamic Characteristics of Gas-Lubricated Slider Bearings Under High Knudsen Number Conditions ", Trans. ASME, Journal of Tribology, Vol.112, 1990, pp.111-118.
- [7] T.G.Jeong and D.B.Bogy, 1993, " Numerical Simulation of Dynamic Loading in Hard Disk Drives", Trans. ASME, Journal of Tribology, Vol.115, 1993, pp. 370-375.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## EFFECTS OF AMBIENT PRESSURE CHANGE ON STATIC AND DYNAMIC CHARACTERISTICS OF MAGNETIC HEAD SLIDER

Sudarat KWANKAOMENG<sup>1</sup>  
Yasuhiro HATTORI<sup>2</sup>

Hiromu HASHIMOTO<sup>2</sup>  
Mongkol MONGKOLWONGROJN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Electro-Mechanical Engineering Laboratory ReCCIT, Faculty of Engineering, KMIT'L  
Chaloongkrung Rd, Ladkrabang, Bangkok 10520, THAILAND*

<sup>2</sup>*Department of Mechanical, Tokai University  
1117 Kitakaname, Hiratsuka, Kanagawa, 259-12, JAPAN*

In designing a magnetic head slider of hard disk drive, it is important to keep the spacing between the head and the disk surface as small and stable as possible. Various parameters such as head dimensions, sliding velocity, location of a head on the disk, suspension position, preload, etc have significant effects on the spacing between the head and disk surface. Therefore, many investigators examined theoretically and experimentally the effects of such parameters on the spacing. However, as far as authors know. There are few papers treating the effect of ambient pressure change on the spacing; especially under dynamic operation conditions of hard disk drives. Ambient pressure change, which occurs at location at high altitude or in air planes, may have significant influence on the spacing.

In this paper, effects of the ambient pressure change on the spacing and the spacing change due to external vibration were investigated theoretically based on Fukui & Kaneko model, taking the taper-flat type slider as an example. It is found from the results that the spacing decreases and the spacing change due to external vibration increase with a decrease in the ambient pressure. Moreover, sensitivity of the static and dynamic characteristics to the ambient pressure change was examined with the above various design parameter change.

### 1. INTRODUCTION

In order to achieve high recording performance, the design of magnetic head slider need to keep a small and stable spacing between the slider and the disk surface under static and dynamic operating conditions of a hard disk drive and to maintain a low sensitivity of spacing due to the various disk surface velocities. Recent research works on numerical simulation of static and dynamic characteristics of magnetic head slider have been carried out over three decades. For examples, Castelli and Pirvies(1968); Ono(1975); Kogure et. al., (1983); White (1983, 1984, 1986); Nishihara et. al., (1988); Bogoy, (1995). There are very few papers investigating the effects of ambient pressure change on the spacing of the air bearing, especially under dynamic operations of hard disk drives. In this paper, the effects of the ambient pressure change on static and dynamic characteristics of the self-acting taper-flat type head sliders were investigated numerically by using modified Reynolds equation and Fukui & Kaneko model. The IBM3380-type slider was applied to this simulation.

### 2. THEORETICAL ANALYSIS

The schematic diagram of the magnetic head to be considered as shown in Fig.1. The read write head is located at the trailing edge of the slider. We adopt a rectangular coordinate system (x,y) with the origin placed at the corner of the inner and leading edges and with the x and y axes pointed in the slider's length and width direction respectively. Under the assumptions of two degree of freedom motion of slider head; translation perpendicular to the disk surface and rotation around the transverse axis were simplified in this investigation.

The governing equations and the numerical procedure used in determining the slider spacing characteristic are described below.

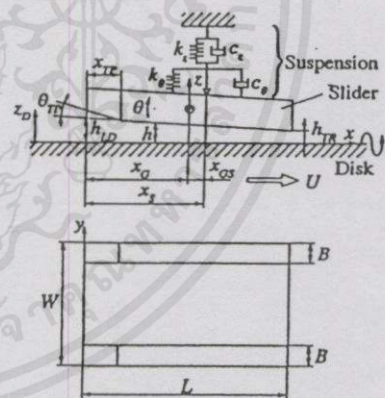


Fig. 1 Analytical model of magnetic head slider

In this paper shows the numerical method in calculation of the magnetic head in steady state condition. Laplace transformation has been applied to the time dependent modified Reynolds equation to obtain dynamic behavior of the magnetic head.

The generalized modified Reynolds equation can be expressed as:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( Q \frac{\partial p}{\partial x} \right) + R^2 \frac{\partial}{\partial y} \left( Q \frac{\partial p}{\partial y} \right) - \Lambda \frac{\partial}{\partial x} (PH) - \sigma \frac{\partial (PH)}{\partial t} = 0 \dots (1)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนั้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Where:

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

$Q(P, H)$  is the poiseuille flow factor taking into account the air rare-faction effects based on the linearized Boltzmann equation.

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

The boundary conditions can be written as

$$P(O, Y, T) = P(1, Y, T) = P(X, \frac{1}{2}, T) = P(X, -\frac{1}{2}, T) = 1 \dots\dots\dots(4)$$

The dynamic characteristics of sliders are analyzed using the two-degree-of-freedom model which can be typically calculated simultaneously to solve the modified Reynolds equation with the force and moment balances that govern the motion of the air bearing slider flying over a rotating disk and can be written in normalized form as:

$$M\ddot{Z} + F_S = 2 \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^1 (P-1) dXdY \dots\dots\dots(5)$$

$$I_\theta\ddot{\Theta} + M_S - F_S X_{GS} = 2 \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^1 (P-1)(X_G - X) dXdY \dots\dots\dots(6)$$

Where:

$$F_S = F_0 + K_Z(Z - X_{GS}\Theta) + C_Z(\dot{Z} - X_{GS}\dot{\Theta}) \dots\dots\dots(7)$$

$$M_S = M_0 + K_\theta\Theta + C_\theta\dot{\Theta} \dots\dots\dots(8)$$

### 3. NUMERICAL ANALYSIS

The steady state nonlinear modified Reynolds equation can be expressed as:

$$\frac{\partial}{\partial X}\left(Q_0 \frac{\partial P_0}{\partial X}\right) + R^2 \frac{\partial}{\partial Y}\left(Q_0 \frac{\partial P_0}{\partial Y}\right) - \Lambda \frac{\partial}{\partial X}(P_0 H_0) = 0 \dots\dots\dots(9)$$

Equation (9) can be solved by finite difference and Newton-Raphson iterative scheme is adopted.

Assuming the small displacement of the slider as compared with the spacing  $H_0$  under steady state, the dynamic conditions can be expressed as:

$$H(X, T) = H_0(X) + \Delta H(X, T) \dots\dots\dots(10)$$

$$P(X, Y, T) = P_0(X, Y) + \Delta P(X, Y, T) \dots\dots\dots(11)$$

$$Z(T) = Z_0 + \Delta Z(T) \dots\dots\dots(12)$$

$$\Theta(T) = \Theta_0 + \Delta\Theta(T) \dots\dots\dots(13)$$

Substitute equation (10) to (13) into equation (1), (5) and (6) to obtain the dynamic characteristic as:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial X}\left\{Q_0 \frac{\partial P_0}{\partial X} + \left(\frac{\partial Q}{\partial P}\right)_0 P_2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial H}\right)_0 (X_G - X) \frac{\partial P_0}{\partial X}\right\} + \\ & R^2 \frac{\partial}{\partial Y}\left\{Q_0 \frac{\partial P_2}{\partial Y} + \left(\frac{\partial Q}{\partial P}\right)_0 P_2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial H}\right)_0 (X_G - X) \frac{\partial P_0}{\partial Y}\right\} - \\ & \Lambda \frac{\partial}{\partial X}\{P_0(X_G - X) + P_2 H_0\} - \sigma S\{P_0(X_G - X) + P_2 H_0\} = 0 \end{aligned} \dots\dots\dots(14)$$

$$M_Z \Delta \ddot{Z} + C_Z \Delta \dot{Z} + K_Z \Delta Z = 2 \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^1 \Delta P dXdY \dots\dots\dots(15)$$

$$I_\theta \Delta \ddot{\Theta} + C_\theta \Delta \dot{\Theta} + K_\theta \Delta \Theta = 2 \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^1 \Delta P (X_G - X) dXdY \dots\dots\dots(16)$$

Applied Laplace transformation to equation (14), (15) and (16), the sinusoidal excitation is applied the disk surface motion,  $\Delta Z_D(T)$ . The amplitude ratio of the spacing response at the trailing edge of the slider can be written as:

$$G_{hTR}(\Omega) = \left| \frac{\Delta H_{TR}}{\Delta Z_D} \right| = \left| \frac{\Delta Z}{\Delta Z_D} - 1 + (1 - X_G) \frac{\Delta \Theta}{\Delta Z_D} \right| \dots\dots\dots(17)$$

### 4. RESULT AND DISCUSSION

To solve the linearized modified Reynolds equation, Newton-Raphson iterative scheme is adopted to obtain static characteristic of self-acting air bearing slider. In analyzing the dynamic characteristic, Laplace transformation is applied and let the disk surface is excited sinusoidally to obtain amplitude ratio and natural frequency.

In this study, the static and dynamic characteristics of slider with various rail width  $B$ , taper length  $X_{TP}$ , taper angle  $\theta_{TP}$ , suspension location  $X_S$  and suspension preload  $f_0$  have been investigated at various ambient pressure conditions. Each parameter was varied one by one while the other parameters were fixed to the quantities with reference to the dimension of IBM3380-type slider (Ruiz et. al., 1990). Slider length  $L = 4.06$  mm., width = 3.05 mm., taper length  $X_{TP} = 0.38$  mm., taper angle  $\theta_{TP} = 15$  mrad.

Fig.2 to Fig.6 show that variation of spacing at the leading and trailing edges  $h_{LD}$  and  $h_{TR}$  are investigated at varying ambient pressure conditions;  $P/P_a = 1.000$ ,  $P/P_a = 0.6920$  and  $P/P_a = 0.5334$ . The static characteristic of a slider was calculated for three different disk velocities;  $U = 5$  m/s, 10 m/s and 20 m/s respectively.

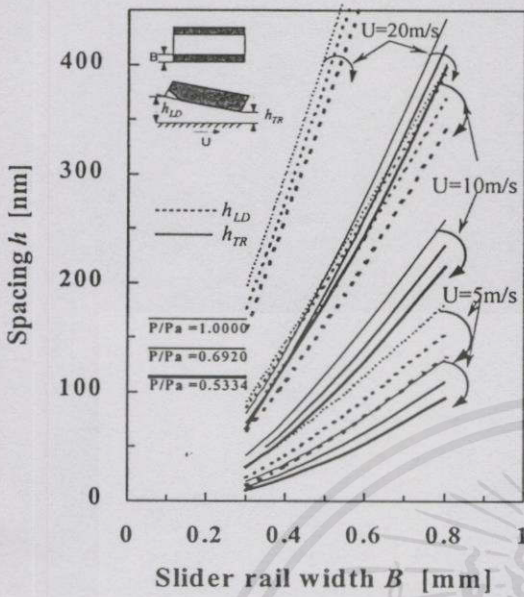


Fig.2 Variation of spacing with slider rail width and ambient pressure change

Both leading and trailing edges are increase drastically with the increase in slider rail width  $B$  and they decrease with the decrease in ambient pressure. The divergence of the constant ambient pressure, the pitch angle is increase drastically with the increase of slider rail width  $B$  as shown in Fig. 2. In Fig. 3 and Fig. 4, The leading edge spacing  $h_{LD}$  is increase as the taper length  $X_{TP}$  and taper angle  $\theta_{TP}$  increase. As the ambient pressure decrease, the spacing is decrease almost linearly with the ambient pressure.

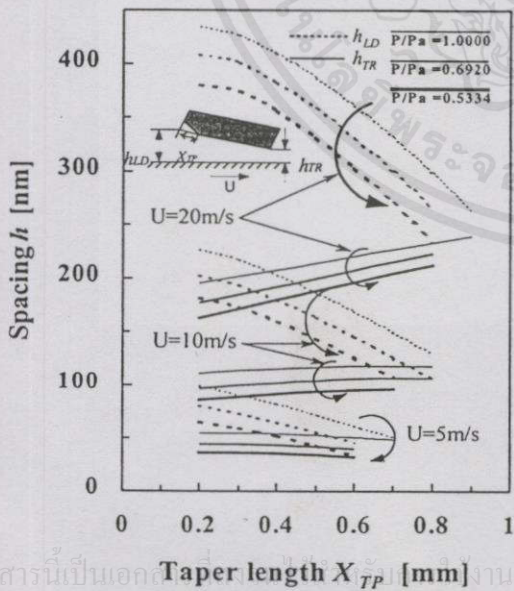


Fig.3 Variation of spacing with taper length and ambient pressure change

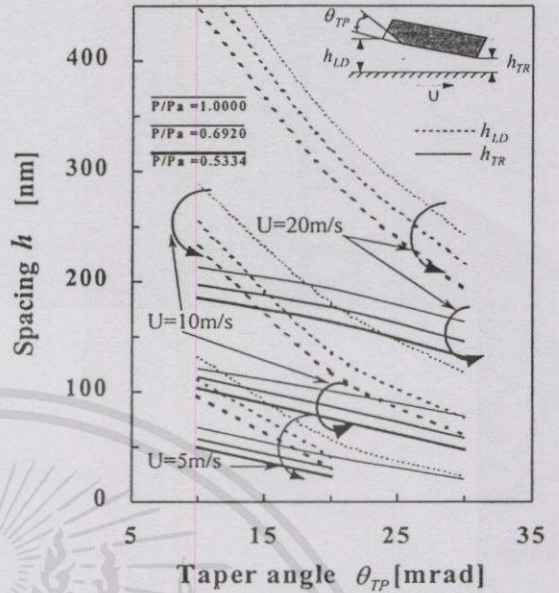


Fig.4 Variation of spacing with taper angle and ambient pressure change

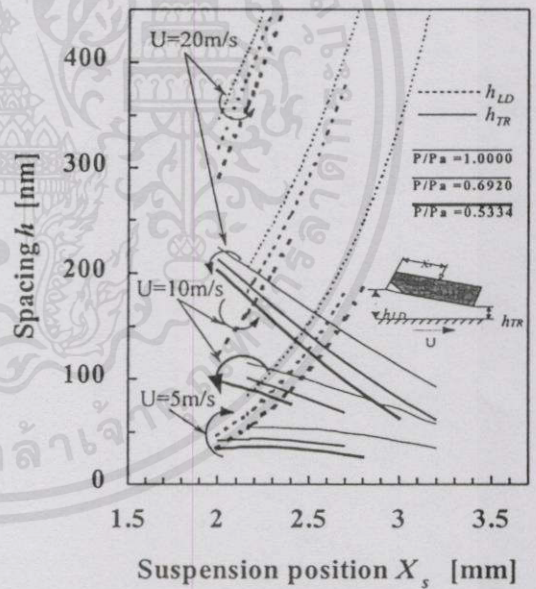


Fig. 5 Variation of spacing with suspension position and ambient pressure change

The  $h_{LD}$  is increase drastically with the increase of suspension position,  $X_S$ . But  $h_{TR}$  is almost nearly decrease with suspension position,  $X_S$  as shown in Fig.5.

In Fig.6  $h_{LD}$  and  $h_{TR}$  are increase drastically with the decrease of suspension preload  $f_0$ . Both  $h_{LD}$  and  $h_{TR}$  are decrease almost linearly with the decrease of ambient pressure.

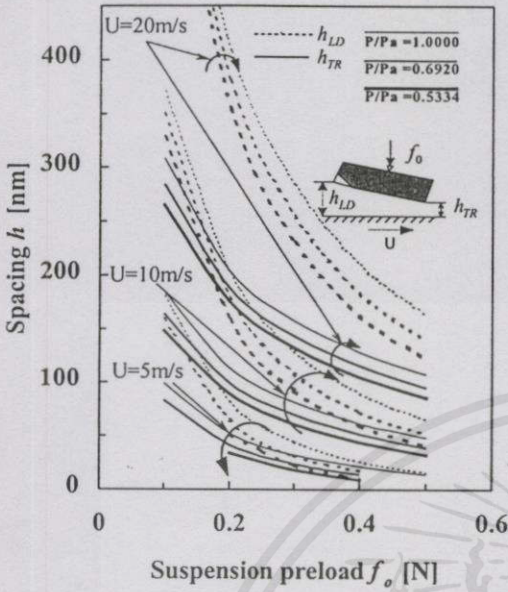


Fig. 6 Variation of spacing with suspension preload and ambient pressure change

In dynamic characteristic, the amplitude ratio and resonant frequency are simulated with slider rail width  $B$ , taper length  $X_{TP}$ , taper angle  $\theta_{TP}$ , suspension position  $X_S$  and suspension preload  $f_0$  at various ambient pressure conditions as shown in Fig. 7 to Fig. 11

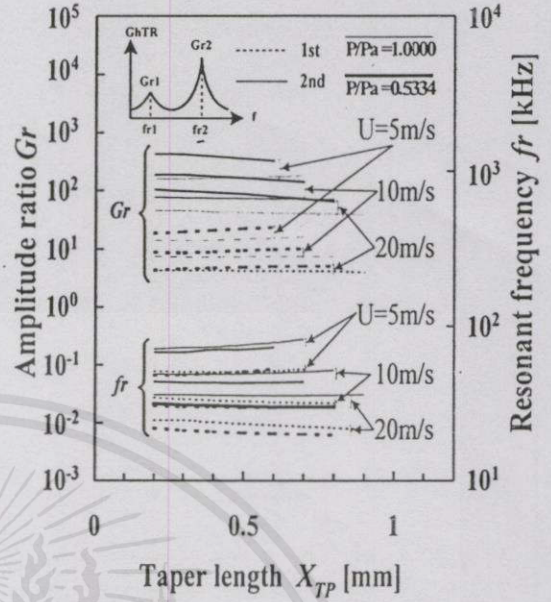


Fig. 8 Resonant frequency and amplitude ratio with taper length and ambient pressure change

The relationship of amplitude ratio and resonant frequency with slider rail width, the amplitude ratio is increase linearly with the decrease in ambient pressure. But the resonant frequency has only little change with varying the ambient pressure as shown in Fig. 7 and Fig. 8.

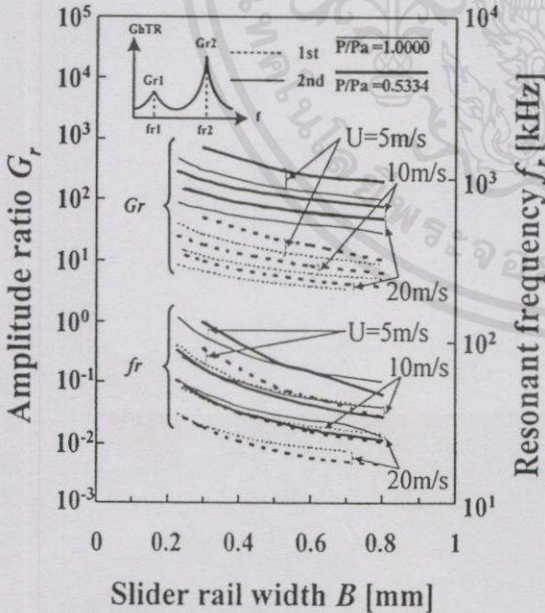


Fig. 7 Resonant frequency and amplitude ratio with slider rail width and ambient pressure change

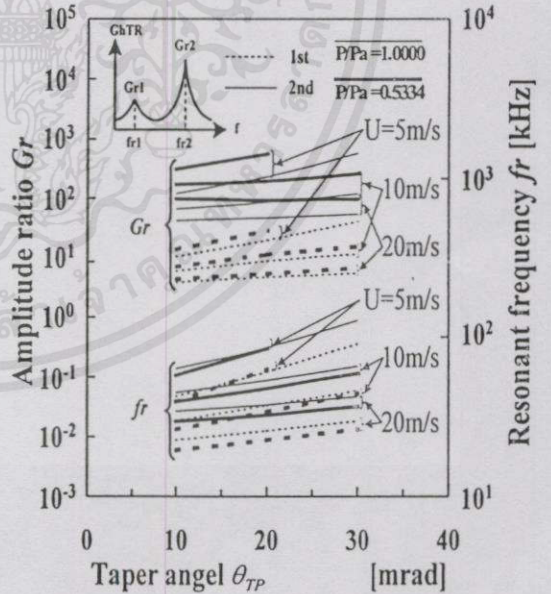


Fig. 9 Resonant frequency and amplitude ratio with taper angle and ambient pressure change

In Fig. 9 shows the relationship of amplitude ratio and resonant frequency with the taper angle,  $\theta_{TP}$ . The amplitude ratio is almost linearly increase with the decrease of ambient

pressure. The resonant frequency  $f_r$  is slightly decrease as the decrease of ambient pressure.

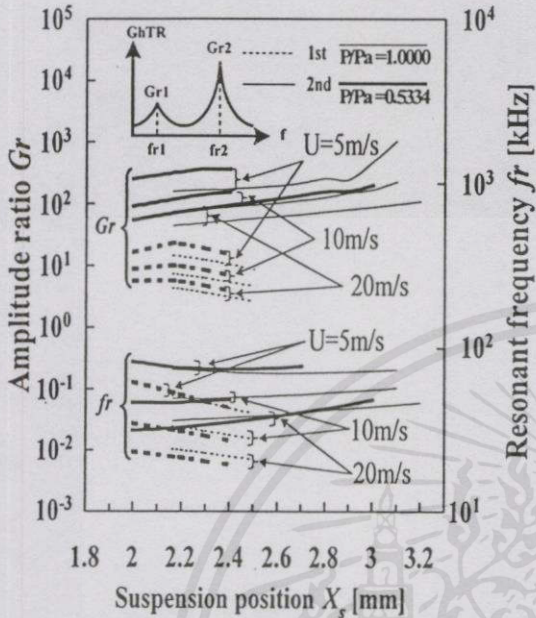


Fig. 10 Resonant frequency and amplitude ratio with suspension position and ambient pressure change

In Fig.10 shows the relationship of amplitude ratio and resonant frequency with suspension position. The amplitude ratio is increase with the decrease in ambient pressure but the resonant frequency is increase a little bit with the decrease of ambient pressure.

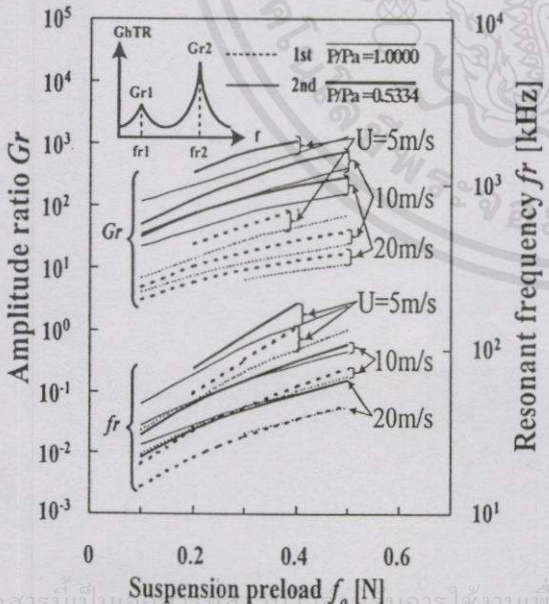


Fig. 11 Resonant frequency and amplitude ratio with suspension preload and ambient pressure change

The amplitude ratio and resonant frequency are both increase with the increase in suspension preload  $f_0$ . The amplitude ratio and resonant frequency are also increase with the decrease in ambient pressure as shown in fig 11.

The simulation of IBM 3380-type slider on static spacing, amplitude ratio, resonant frequency, air film stiffness and air film damping coefficient was investigated with various ambient pressure conditions and difference disk surface velocity as shown in Fig. 12 to Fig.15.

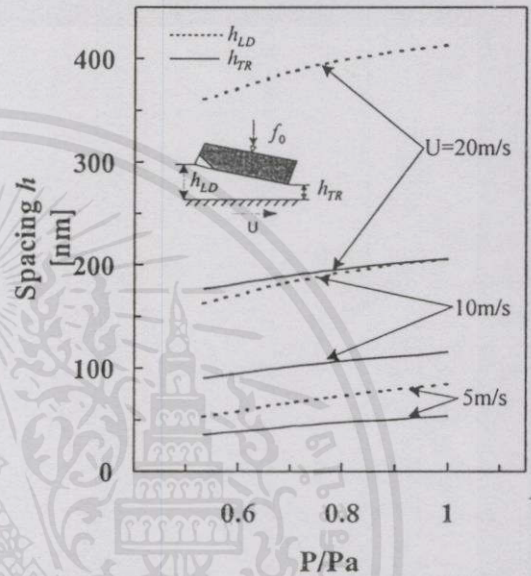


Fig. 12 Relationship between air film thickness and ambient pressure change

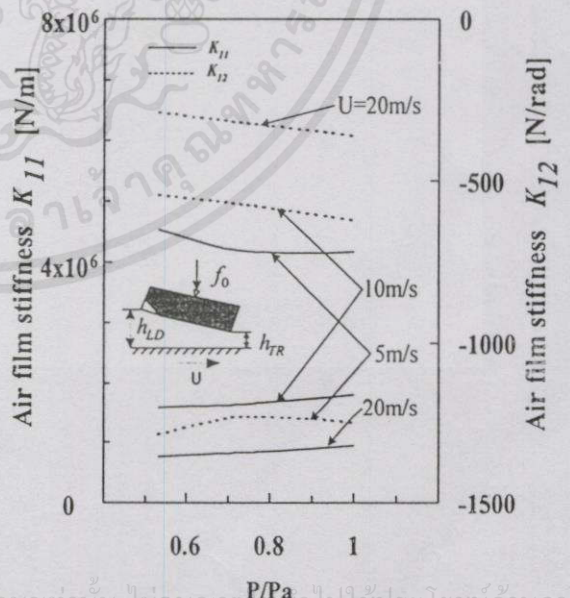


Fig. 13 Air film stiffness  $K_{11}$  and  $K_{12}$  with ambient pressure Change

The leading edge and trailing edge are decrease with the ambient pressure decrease. The rate of the decrease in leading edge and trailing edge with the ambient pressure change are large at low ambient pressure condition. The pitch angle is increase as the disk surface velocity increase as shown in Fig. 12. The air film stiffness  $K_{11}$  and  $K_{12}$  are increase as the ambient pressure decrease as shown in Fig.14 but the air film damping coefficients are decrease as the ambient pressure decrease.

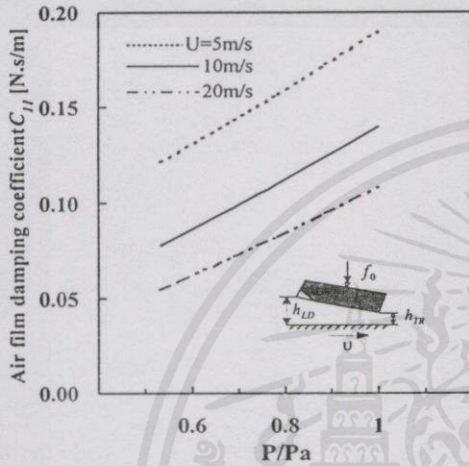


Fig. 14 Air film damping coefficient  $C_{11}$  with ambient pressure change

## 5. CONCLUSIONS

The flying characteristics of the taper flat self-acting air bearing sliders with the effects of ambient pressure change were clarified and can be concluded as:

- The head slider spacing are decrease drastically as the ambient pressure decrease.
- Amplitude ratio are increase slightly as the ambient pressure decrease.
- Resonant frequency are nearly constant with the decrease in ambient pressure.
- Air film stiffness is gradually increase as ambient pressure decrease.
- Air film damping coefficient is drastically decrease as the ambient pressure decrease.
- As the ambient pressure decrease, the bearing number is increase. Therefore very low air film spacing was obtained and increased the tendency of numerical instability.

## NOMENCLATURE

- $B$  = slider rail width
- $C_z$  = normalized translational damping coefficient of suspension ( $= c_z h_a \omega_0 / p_a L B$ )
- $C_\theta$  = normalized pitch torsional damping coefficient of suspension ( $= c_\theta h_a \omega_0 / p_a L B$ )
- $f$  = frequency of translational vibration of the disk surface ( $= \omega / 2\pi$ )

$f_{r1}$  and  $f_{r2}$  = resonant frequencies of the trailing edge spacing fluctuation

$F_0$  = normalized suspension preload ( $= f_0 / p_a L B$ )

$G_{hTR}$  = amplitude ratio of the trailing edge spacing to disk surface translation ( $= |\Delta H_{TR} / \Delta Z_D|$ )

$G_{r1}$  and  $G_{r2}$  = resonant amplitude ratios of the trailing edge spacing fluctuation

$H$  = normalized spacing ( $= h / h_a$ )

$h_a$  = minimum allowable spacing

$h_{LD}$  = leading edge spacing

$h_{TR}$  = trailing edge spacing

$I_\theta$  = normalized slider moment of inertia about the pitch axis ( $= i_\theta h_a \omega_0^2 / p_a L^3 B$ )

$K_z$  = normalized stiffness coefficient of suspension in translation ( $= k_z h_a / p_a L B$ )

$K_\theta$  = normalized pitch torsional stiffness coefficient of suspension in pitch motion ( $= k_\theta h_a / p_a L^3 B$ )

$Kn$  = Knudsen number ( $= \lambda_a / h_a$ )

$L$  = Slider length

$M_z$  = normalized slider mass ( $= m h_a \omega_0^2 / p_a L^2 B$ )

$P$  = normalized pressure ( $= p / p_a$ )

$p_a$  = ambient pressure

$R$  = ratio of length to width of the slider ( $= L / B$ )

$T$  = normalized time ( $= \omega_0 t$ )

$U$  = velocity of disk surface ( $= r \omega_0$ )

$X_G$  = normalized location of the center of gravity ( $= X_G / L$ )

$X_{GS}$  = normalized distance between the center of gravity and support position ( $= X_{GS} / L$ )

$X_s$  = normalized location of the support position ( $= X_s / L$ )

$X_{TP}$  = normalized taper length ( $= X_{TP} / L$ )

$Z_D$  = normalized translational displacement of disk surface ( $= Z_D / h_a$ )

$\Theta$  = normalized pitch angle of slider ( $= \theta L / h_a$ )

## REFERENCES

- [1] H. Hashimoto and Y. Hattori, *Proc.STLE/ASME.Tribol. conf.*, Orlando, Fh(1999).
- [2] D. B. Bogy, S. Lu, M. A. O'Hara and S. Zhang, *Trans. ASME*, 120, 3(1998) 566-570.
- [3] S. Fukui and R. Kaneko, *Trans. ASME*, 110, 2(1988) 253-261.
- [4] S. Fukui and R. Kaneko, *Trans. ASME*, 112, 1(1990) 78-83.
- [5] H. S. Nishihara, L. K. Dorius, S. A. Bolasna and G. L. Best, *STLE SP-25*, 97, (1988) 117-123.
- [6] K. Ono, *Trans.ASME*, 97, 2(1975) 250-260.
- [7] J. W. White, *Trans. ASME*, 105,3(1983) 484-490.
- [8] J. W. White, *ASLE SP-16*, 1, (1984) 72-76.
- [9] E. Cha and D. B. Bogy, *Trans. ASME*, 117, (1995) 36-46.
- [10] V. Castelli and J. Pirvics, *Trans. ASME*, 90, (1968) 777-792.

## ประวัติผู้เขียน

นางสาว สุภารัตน์ แก้วนงาเม็ง เกิดเมื่อวันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ. 2518 ที่จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเกษตร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2541 ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ 1. “Steady State Flying Characteristics of the Sliding Head and Rigid Disk Interface in Magnetic Storage Systems.” สัมมนาวิชาการวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12 , ปีที่ 12, พฤศจิกายน 2541 และ 2. “Flying Characteristic Simulation of the Plane Wedge Type Slider Head and Rigid Disk in Magnetic Storage System” สัมมนาวิชาการวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13 , ปีที่ 13, ธันวาคม 2542 ประสบการณ์การทำงาน 2541-2543 ผู้ช่วยวิจัยใน Electro-Mechanical Engineering Laboratory โครงการ ReCCIT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้