

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาพฤติกรรมสถิตย์ของหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์

STATIC CHARACTERISTICS OF HEAD SLIDER IN HARD DISK



นายอนุจิต ธีขาว  
นายอนอม อนันตฉินมัท  
นายธีรวัชร สมบัติพิบูลย์

รพ.  
๑188ก  
2549

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 72164  
วัน,เดือน,ปี 11 ส.ย. 2550

b. 11764.223  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาพฤติกรรมสถิตย์ของหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์

STATIC CHARACTERISTICS OF HEAD SLIDER IN HARD DISK



โดย

นายอนุชิต สีขาว

นายอนอม อนันตฉินมหัท

นายธีรวัชร สมบัติทิพย์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาพฤติกรรมสถิตย์ของหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์

STATIC CHARACTERISTICS OF HEAD SLIDER IN HARD DISK

ผู้จัดทำ

1. นายอนุชิต สีดาว รหัสประจำตัว 47015383
2. นายถนอม อนันตสินมหัต รหัสประจำตัว 47015394
3. นายธีรวัชร สมบัติพิบูลย์ รหัสประจำตัว 47015397

  
อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การศึกษาพฤติกรรมสติย์ของหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์

|                          |                  |
|--------------------------|------------------|
| นายอนุชิต สีดาว          | 47015383         |
| นายถนอม อนันตสินมหัต     | 47015394         |
| นายธีรวัชร สมบัติพิบูลย์ | 47015397         |
| รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์ | อาจารย์ที่ปรึกษา |
| ปีการศึกษา 2549          |                  |

### บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอเกี่ยวกับการศึกษาพฤติกรรมสติย์ของหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่สภาวะคงตัว เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายความดันและความหนาฟิล์มอากาศที่มีผลต่อการลอยตัวของหัวอ่าน โดยได้ทำการศึกษาหัวอ่านที่เป็นแบบชนิดเบน ประกอบด้วยสองราง ทฤษฎีหล่อลื่น สมการเรย์โนลด์แสดงการกระจายความดันและความหนาของฟิล์มอากาศในการคำนวณ ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข โดยวิธีผลต่างสืบเนื่องและวิธีทำซ้ำนิวตัน-ราฟสัน เกาส์-ไซเดล เมื่อพิจารณาการไหลเป็นแบบอัดตัวได้ ซึ่งผลการคำนวณจะได้รับการกระจายความดันและความหนาฟิล์มอากาศที่เปลี่ยนแปลงตามความเร็ว แรงที่กระทำบนหัวอ่านและมุมเอียงของหัวอ่าน โครงการนี้ได้พัฒนาโปรแกรมคำนวณพฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านที่สภาวะคงตัวด้วยคอมพิวเตอร์ภาษาฟอร์แทรน

## Static Characteristics of Head Slider in Hard Disk

Anuchit Seedaw

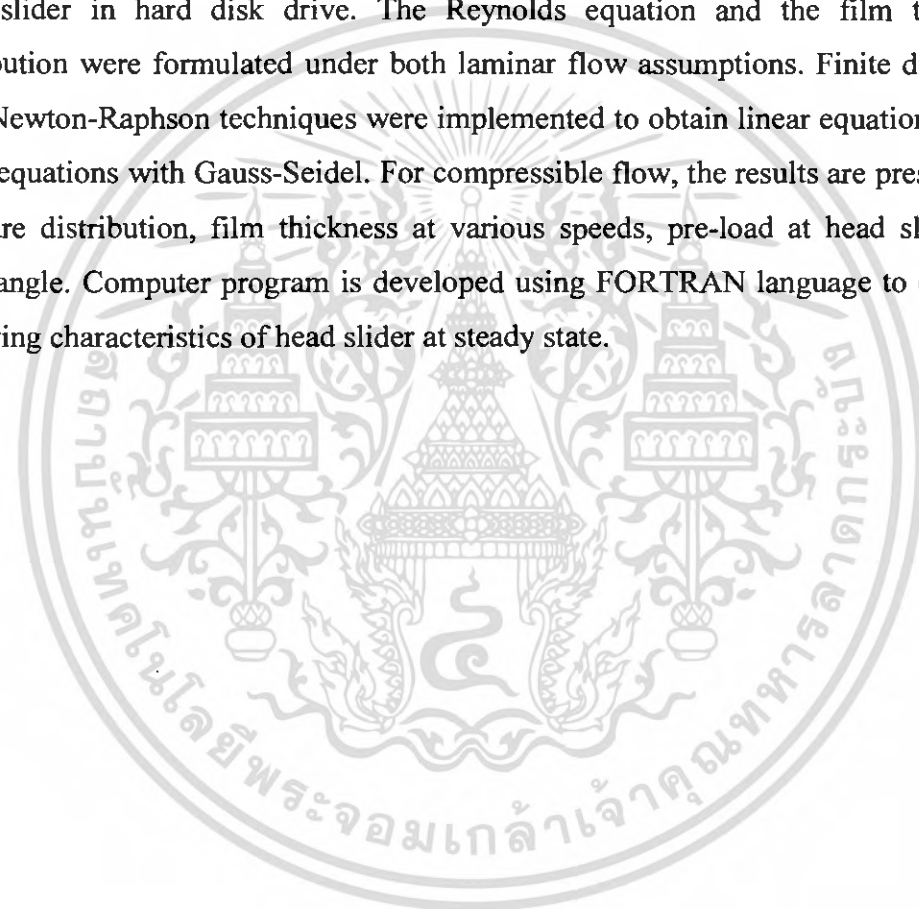
Thanom Anantasinmahat

Teerawut Sombutpibool

Assoc.Prof.Dr.Mongkol Mongkolwongrojn Advisor

### ABSTRACT

This project presents the theoretical investigation on static characteristics of a head slider in hard disk drive. The Reynolds equation and the film thickness distribution were formulated under both laminar flow assumptions. Finite difference with Newton-Raphson techniques were implemented to obtain linear equations and to solve equations with Gauss-Seidel. For compressible flow, the results are presented in pressure distribution, film thickness at various speeds, pre-load at head slider and pitch angle. Computer program is developed using FORTRAN language to calculate the flying characteristics of head slider at steady state.



## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่ลุล่วงสำเร็จไปด้วยดี หากไม่ได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์ ที่ให้คำชี้แนะ คอยให้กำลังใจ ตลอดจนให้ความรู้และความเข้าใจในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ พี่ณิษฐา วงษ์สีดาแก้ว พี่พุทธา จินคร้ว พี่เจษฎา พานิชกรณม์ และพี่คมสัน มุ่ยสี ที่ให้คำปรึกษาด้านเทคนิคระเบียบวิธีเชิงตัวเลขและโปรแกรมภาษาฟอร์แทรน

ขอบคุณ โยธิน จะโนรัตน์ วรรณพร ซึ่งพรหม และชมรมศิลปวัฒนธรรมอีสาน ที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนด้วยดีมาตลอด

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้กับบิดามารดาอันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ตลอดจนครูบาอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าด้วยใจจริง

อนุชิต สีดา

ถนอม อนันตสินมหัต

ธีรวัชร สมบัติพิบูลย์

## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....                                  | I    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                               | II   |
| กิตติกรรมประกาศ.....                                  | III  |
| สารบัญ.....   | IV   |
| สารบัญตาราง.....                                      | VI   |
| สารบัญรูป.....  | VII  |
| รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....                          | IX   |
| บทที่ 1 บทนำ.....                                     | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาและปัญหา.....                           | 1    |
| 1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                        | 1    |
| 1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....       | 3    |
| 1.4 สมมติฐานของการศึกษา.....                          | 3    |
| 1.5 ทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....           | 3    |
| 1.6 ขอบเขตของงานวิจัย.....                            | 4    |
| 1.7 ขั้นตอนของการศึกษา.....                           | 4    |
| 1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....                    | 4    |
| บทที่ 2 ระบบการเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า.....        | 5    |
| 2.1 ประวัติความเป็นมาของการเก็บบันทึกทางแม่เหล็ก..... | 5    |
| 2.2 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์.....                      | 8    |
| 2.3 หัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้า.....                         | 21   |
| 2.4 การทำงานของฮาร์ดดิสก์.....                        | 23   |
| บทที่ 3 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง.....                | 25   |
| 3.1 ทฤษฎีการหล่อลื่น.....                             | 26   |
| 3.2 สมการเรย์โนลด์ (Reynolds Equation).....           | 29   |
| 3.3 ทฤษฎีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์.....                       | 37   |

## สารบัญ(ต่อ)

|   | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 4 การคำนวณวิเคราะห์เชิงตัวเลข.....                              | 45   |
| 4.1 การวิเคราะห์คำนวณการทำงานของหัวอ่านในกรณีพฤติกรรมสถิตย์.....      | 45   |
| 4.2 คำนวณหาความหนาของฟิล์มอากาศที่หล่อลื่น.....                       | 51   |
| 4.3 การคำนวณหาการกระจายความดันของหัวอ่านบนแผ่นดิสก์ในสภาวะสถิตย์..... | 52   |
| <br>  |      |
| บทที่ 5 ผลการคำนวณ.....   | 53   |
| 5.1 ความหนาของฟิล์มอากาศที่หล่อลื่น.....                              | 54   |
| 5.2 การกระจายความดันของหัวอ่านบนแผ่นดิสก์ในสภาวะสถิตย์.....           | 57   |
| <br>  |      |
| บทที่ 6 บทสรุป.....   | 61   |
| 6.1 พฤติกรรมทางสถิตย์ของหัวอ่าน.....                                  | 61   |
| 6.2 ข้อเสนอแนะ.....   | 62   |
| <br>  |      |
| เอกสารอ้างอิง.....  | 63   |

# สารบัญรูป

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 2.1 ระบบเก็บข้อมูลของบริษัท IBM.....  | 5    |
| 2.2 แสดงการพัฒนาของระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าของบริษัท HITACHI.....     | 7    |
| 2.3 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์.....  | 8    |
| 2.4 แสดงขนาดของ ดิสก์แพลิตเตอร์ ภายในฮาร์ดดิสก์.....                        | 10   |
| 2.5 แสดงลักษณะของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์เฟอร์ไรท์.....                            | 11   |
| 2.6 แสดงลักษณะของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์แบบ Thin Film.....                        | 12   |
| 2.7 แสดงลักษณะของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ แบบ Magnetic Resistance.....             | 13   |
| 2.8 แสดงลักษณะของสปินเคลมเตอร์.....   | 14   |
| 2.9 แสดงลักษณะของแผงวงจรควบคุมที่ให้ความคุมการทำงานของฮาร์ดดิสก์.....       | 15   |
| 2.10 แสดงระบบกรองอากาศสำหรับฮาร์ดดิสก์แบบบารอเมตริก ฟิลเตอร์.....           | 16   |
| 2.11 แสดงลักษณะของคอนแทคเตอร์ของฮาร์ดดิสก์.....                             | 17   |
| 2.12 แสดงลักษณะของเสตอปเปอร์มอเตอร์.....                                    | 17   |
| 2.13 แสดงโครงสร้างการทำงานของ Voice Coil Actuator.....                      | 18   |
| 2.14 แสดงกลการทำงานของแชนที่ขับเคลื่อนโดย (Voice Coil).....                 | 19   |
| 2.15 แสดงอุปกรณ์จับยึดหัวอ่าน.....  | 20   |
| 2.16 ลักษณะของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าแบบต่างๆ.....                             | 22   |
| 2.17 แสดงลักษณะการทำงานของฮาร์ดดิสก์.....                                   | 23   |
| 3.1 แสดงรูปหัวอ่านชนิดแบน(Flat slider).....                                 | 25   |
| 3.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของของไหล.....                         | 27   |
| 3.3 แสดงแรงทั้งหมดที่กระทำกับเอลิเมนต์รูปลูกบาศก์ขนาด dx dy และ dz.....     | 30   |
| 3.4 การสมดุลมวลในเอลิเมนต์รูปลูกบาศก์ขนาด dx dy และ dz.....                 | 34   |
| 3.5 การแบ่งปริมาตรควบคุมของกริด.....  | 40   |
| 4.1 การแบ่งกริด.....  | 46   |
| 4.2 ลักษณะการลอยตัวของหัวอ่าน.....  | 51   |
| 5.1 แสดงรูปหัวอ่านชนิดแบน(Flat slider).....                                 | 53   |
| 5.2 แสดงผลของความเร็วที่มีผลต่อการลอยตัวของหัวอ่านชนิดแบน(Flat slider)..... | 55   |
| 5.3 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อเปลี่ยนแปลงความกว้างของรางอ่านI.....    | 56   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

| ตารางที่   | หน้า |
|--|------|
| 5.1 ขนาดและค่าต่าง ๆ ของหัวอ่านชนิดแบน(Flat slider)..... | 54   |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 5.4 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อเปลี่ยนแปลงความกว้างของรางอ่านII.....   | 56   |
| 5.5 ระยะการลอยตัวของหัวอ่านหัวอ่าน เมื่อเปลี่ยนแปลงแรงที่กระทำบนหัวอ่าน.....  | 57   |
| 5.6 ความดันระหว่างหัวอ่านชนิดแบน (Flat slider) และแผ่นดิสก์ที่กระจาย<br>ตามแนวความยาวแบบไร้มิติของหัวอ่านบริเวณตรงกลางราง ..... | 58   |
| 5.7 ความดันระหว่างหัวอ่านชนิดแบน (Flat slider) และแผ่นดิสก์ที่กระจายตามแนวความกว้าง<br>แบบไร้มิติของหัวอ่าน.....                | 59   |
| 5.8 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มอากาศในแบบไร้มิติที่กระทำกับหัวอ่านบริเวณรางหัวอ่าน<br>.....                                    | 60   |



## รายการคำย่อและสัญลักษณ์

|           |   |
|-----------|---|
| $p$       | ความดันฟิล์มอากาศ ( $N/m^2$ )   |
| $p_a$     | ความดันบรรยากาศ ( $N/m^2$ )   |
| $P$       | ความหนาฟิล์มอากาศไรริมิตี   |
| $h$       | ความหนาฟิล์มอากาศ ( $\mu m$ )   |
| $h_{TR}$  | ความสูงการลอยตัวที่ขอบท้ายของหัวอ่าน ( $\mu m$ )  |
| $h_m$     | ความหนาฟิล์มอากาศอ้างอิงเริ่มต้น ( $\mu m$ )  |
| $H$       | ความหนาฟิล์มอากาศไรริมิตี   |
| $x$       | ระยะใด ๆ ตามแนวแกน $x$  |
| $y$       | ระยะใด ๆ ตามแนวแกน $x$  |
| $X$       | ตัวแปรแนวแกน $x$ ไรริมิตี   |
| $Y$       | ตัวแปรแนวแกน $y$ ไรริมิตี   |
| $U$       | ความเร็วของดิสก์ ( $m/s$ )  |
| $L$       | ความยาวของหัวอ่าน ( $mm$ )  |
| $B$       | ความกว้างของรางหัวอ่าน ( $mm$ )   |
| $Q$       | ตัวประกอบการไหล   |
| $a$       | สัมประสิทธิ์ปรับแก้ขนาดผิว  |
| $\lambda$ | ระยะความสูงการเคลื่อนที่อิสระของโมเลกุลอากาศ ( $\mu m$ )  |
| $fo$      | แรงกระทำที่หัวอ่านเริ่มต้น ( $mN$ )   |
| $U$       | ความเร็วของดิสก์ ( $m/s$ )  |
| $\Lambda$ | ค่าตัวเลขการรองคืน $= \left( \frac{6\mu UL}{p_a h_m^2} \right)$   |
| $Fo$      | แรงกระทำที่หัวอ่านไรริมิตี $= (fo / PaLB)$  |
| $K$       | ค่าเคาน์เซน นัมเบอร์ $= \left( \frac{\lambda}{h_m} \right)$   |
| $\mu_a$   | ความหนืดที่ความดันบรรยากาศ ( $N \cdot s/m^2$ )  |
| $\mu$     | ความหนืดสัมบูรณ์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ $\left( \mu = \frac{\mu_a}{1 + \frac{6aKp_a h_m}{ph}} \right)$ ( $N \cdot s/m^2$ ) |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและปัญหา

เทคโนโลยีการสื่อสารและการเก็บบันทึกข้อมูลมีการพัฒนาและมีบทบาทมากต่อการทำงานในปัจจุบัน ยังมีระบบจัดเก็บข้อมูลที่ทันสมัยเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงก็ยิ่งทำให้การพัฒนาเทคโนโลยีต่าง ๆ ทำได้โดยง่ายและรวดเร็วขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบการเก็บข้อมูลและการจัดเก็บข้อมูลของคอมพิวเตอร์ทำได้โดยการบันทึกข้อมูลลงบนดิสก์ภายในอุปกรณ์บันทึกข้อมูลแม่เหล็กไฟฟ้าที่เรียกว่า ฮาร์ดดิสก์ ด้วยอุปกรณ์ในการอ่าน/บันทึก ข้อมูล ซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณขอบท้ายของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้า ในขณะที่ทำการอ่านและบันทึกข้อมูลลงบนแผ่นดิสก์หัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าจะลอยอยู่เหนือผิวดิสก์ โดยมีฟิล์มลมอากาศเป็นสารหล่อลื่นอยู่ระหว่างผิวของหัวอ่านและผิวของดิสก์ ซึ่งในปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของหัวอ่านในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์การทำงานเพื่อให้การเก็บข้อมูลมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

### 1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี พ.ศ. 2441 ได้มีผู้นำเสนอการบันทึกข้อมูลลงในสื่อบันทึกข้อมูลทางแม่เหล็กเป็นครั้งแรก 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 ได้มีการนำเสนอผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์แม่เหล็กเป็นครั้งแรก ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมาทางบริษัทผู้ผลิตและนักวิจัยต่างค้นคว้าเริ่มพัฒนาเทคโนโลยีการเก็บบันทึกข้อมูลทางแม่เหล็ก ไฟฟ้า

Ellis Cha และ D.B. Bogy ในปี พ.ศ. 2538 ศึกษาพฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าชนิด Subambient Pressure ในสภาวะสถิตย์และพลวัต โดยใช้วิธีปริมาตรควบคุมใช้วิธีเฉลี่ยมวลของอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านรอยต่อของรางในกรณีหัวอ่านมีรูปร่างซับซ้อน ศึกษาพฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่าน Guppy ในสภาวะสถิตย์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของดิสก์และหาผลตอบสนองทางพลวัต เมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางรูปโคซายน์

Yong Hu และ D.B. Bogy ในปี พ.ศ. 2540 ออกแบบหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความเร็วสูงการลอยตัวต่ำกว่า 25 นาโนเมตร และมีความเสถียรในสภาวะพลวัตมากขึ้น ใช้หัวอ่านชนิด Subambient Pressure ทำการจำลองการเคลื่อนที่เพื่อหาผลตอบสนองจากแรงกระตุ้นภายนอกและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง พิจารณาผลเนื่องจากมุมเอียงของหัวอ่านเมื่อมีการเคลื่อนที่ไปยังแต่ละแท่ง พิจารณาการเคลื่อนที่ในแนวหมุนรอบแกนตามขวางของหัวอ่าน จากผลการคำนวณพบว่าเมื่อหัวอ่านมีขนาดเล็กลงและมีค่าสัมประสิทธิ์สปริงมากทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความสูงการลอยตัวน้อยและเคลื่อนที่ไปยังแต่ละแท่งได้ราบเรียบยิ่งขึ้น

J.W. White ในปี พ.ศ. 2540 แสดงพฤติกรรมของการลอยตัวของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าชนิด TPN (Transverse and Negative Pressure Contour) หัวอ่านชนิดนี้จะมีร่องด้านล่างของหัวอ่านและร่องด้านบนของรางหัวอ่าน ร่องด้านล่างของหัวอ่านจะทำให้เกิดบริเวณที่มีความดันต่ำกว่าบรรยากาศในขณะที่ทำงาน ส่วนร่องด้านบนของรางหัวอ่าน จะทำให้เกิดค่าความดันต่ำกว่าบรรยากาศเมื่อหัวอ่านมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งในแนวรัศมีของดิสก์ บริเวณรางหัวอ่านจะเกิดแรงยกส่วนบริเวณจะเกิดแรงดึง ทำให้หัวอ่านมีการเปลี่ยนแปลงความสูงการลอยตัวของหัวอ่านชนิดนี้ใช้การเริ่มต้นน้อยและลอยตัวออกจากหัวอ่านได้เร็ว สัมผัสกับผิวดิสก์น้อยลงในขณะที่เริ่มทำงาน

Yong Hu และ D.B.Bogy ในปี พ.ศ. 2541 แก้ปัญหาหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีค่าตัวเลขการร่อนสูงโดยใช้วิธีปริมาตรควบคุม จัดเทอมการพาและการแผ่จากสมการเรย์โนลด์ส์แก้ปัญหาโดยวิธีคำนวณแบบหลายกริด (Multi Grid) ทำการเปรียบเทียบหัวอ่านชนิด Tripad และ Headway เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบกริดเดี่ยว (Single Grid) เปรียบเทียบระยะเวลาในการคำนวณการกระจายความดันของหัวอ่านชนิด Headway เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนกริดและความเร็วของดิสก์

Q.H. Zeng และ D.B Bogy ในปี พ.ศ. 2542 วิเคราะห์คุณสมบัติของอากาศในพฤติกรรมพลวัต เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์เดมปีงของหัวอ่านที่มีลักษณะต่างกัน 5 ชนิด คือ Taper Flat , H-Shape Negative Pressure , Shaped Rail , Transverse Groved , Transverse Pressure พบว่าหัวอ่านชนิด H-Shape Negative Pressure มีค่าสัมประสิทธิ์สปริงสูงแต่มีค่าสัมประสิทธิ์เดมปีงต่ำ ออกแบบหัวอ่านใหม่จากคุณสมบัติของหัวอ่านที่ทำการศึกษาทำให้ได้หัวอ่านที่มีค่าสัมประสิทธิ์เดมปีงสูง

Norio Tagawa และ D.B. Bogy ในปี พ.ศ. 2545 อธิบายลักษณะฟิล์มอากาศของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าชนิด Taper Flat เมื่อผิวของหัวอ่านมีลักษณะเป็นร่องในแนวตามยาวและแนวตามขวาง ทำให้การคำนวณหาผลตอบสนอง ในภาวะพลวัตเพื่อหาค่าความถี่และอัตราส่วนเดมปีงพบว่าหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีผิวเป็นร่องตามขวางจะมีค่าเดมปีงเพิ่มขึ้น พื้นผิวที่เป็นร่องในแนวตามยาวจะมีค่าเดมปีงลดลงเล็กน้อยแต่ไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์เดมปีงสปริง ทำการหาค่าระยะห่าง และความลึกของร่องในแนวตามขวางที่เหมาะสมที่สุด

### 1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาลักษณะพฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านในสถานะสถิตย์ของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าชนิด Flat โดยใช้การวิเคราะห์แบบไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ วิธีนิวตัน-ราฟสัน เกาส์-ไซเคล พัฒนาโปรแกรมจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาพฤติกรรมสถิตย์ของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาฟอร์แทรนและจำลองพฤติกรรมสถิตย์ของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้า

### 1.4 สมมติฐานของการศึกษา

การทำงานของหัวอ่านในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าจะใช้อากาศเป็นสารหล่อลื่นระหว่างหัวอ่านและผิวของดิสก์ ความดันที่ขอบนอกของหัวอ่านจะมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ และเนื่องจากระยะเวลาการลอยตัวของหัวอ่านที่ศึกษานี้กำหนดให้ระยะเวลาการลอยตัวของหัวอ่านต่ำมาก พฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถอธิบายได้จากสมการเรย์โนลด์ส์ดัดแปลงเมื่อพิจารณาผลการลื่นไหลของโมเลกุลซึ่งสมมติฐานดังนี้

1. พื้นผิวระหว่างหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าและพื้นผิวจานฮาร์ดดิสก์เป็นพื้นผิวเรียบ
2. ของไหลที่หล่อลื่นมีคุณสมบัติเป็นแบบนิวโตเนียนและการไหลเป็นแบบราบเรียบ
3. ความหนืดของของไหลคงที่
4. อุณหภูมิขณะทำงานคงที่
5. ผลของแรงเฉื่อยจากความเร่งของของไหลน้อยมากเมื่อเทียบกับแรงเฉื่อยเนื่องจากความหนืดจึงตัดทิ้งได้
6. ความหนาของฟิล์มหล่อลื่นเมื่อเทียบกับขนาดต่าง ๆ ของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีค่าน้อยมาก
7. ไม่คิดผลจากแรงตึงผิวของพื้นผิว
8. ไม่มีการลื่นไหลบริเวณขอบ

### 1.5 ทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษาการลอยตัวของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าเหนือจานฮาร์ดดิสก์ปกติหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้านี้จะมีการหล่อลื่นด้วยกันสองแบบคือขณะที่งานเริ่มหมุนจะเป็นการหล่อลื่นแบบบาวนด์รีซึ่งอาจเกิดการสัมผัสกัน และในกรณีที่สองจะเป็นการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกซึ่งเกิดในขณะที่ฮาร์ดดิสก์ทำงานแล้ว และเมื่อใดที่ฮาร์ดดิสก์หยุดการทำงานหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้านี้จะสัมผัสกับจานฮาร์ดดิสก์และกลับมาเป็นการหล่อลื่นแบบบาวนด์รีอีกครั้ง

ในการวิเคราะห์ทางทฤษฎีของการอินเทอร์เฟกัันระหว่างหัวอ่านและจานฮาร์ดดิสก์เพื่อให้ได้ความสูงนั้นต้องใช้ทฤษฎีการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิก ในการวิเคราะห์นี้ต้องใช้สมการเรย์โนลด์เป็นสมการพื้นฐานซึ่งเป็นสมการดิฟเฟอเรนเชียลที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายความดันกับความสูงของฟิล์มหล่อลื่น

## 1.6 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการศึกษาพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านที่สถานะสถิตย์ พัฒนาโปรแกรม สร้างแบบจำลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อการลอยตัวของหัวอ่านที่สถานะสถิตย์

## 1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

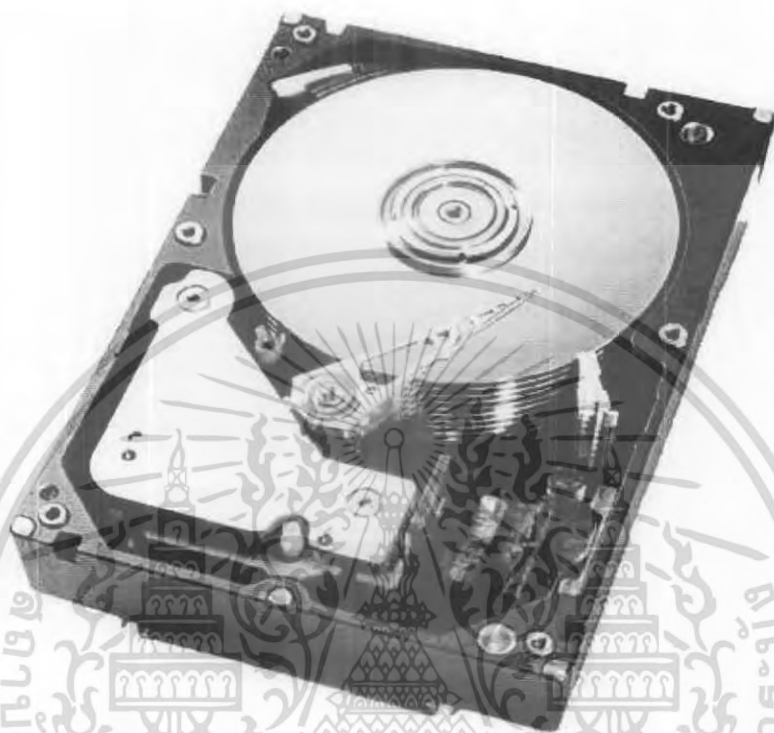
1. ศึกษาบทความที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้า
2. ศึกษาสมการเชิงตัวเลขโดยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์
3. นำวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขมาใช้ในการแก้สมการ
4. เขียนแผนภาพแสดงขั้นตอนการเขียนโปรแกรม
5. เขียนโปรแกรมตามขั้นตอนที่กำหนดไว้
6. วิเคราะห์ผลที่ได้ และเปรียบเทียบผลงานที่เคยทำมาดั้งเดิม

## 1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์และคุณค่าของงานวิจัยคือ การศึกษาพฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าชนิด Flat อันจะทำให้เกิดความเข้าใจในลักษณะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดนี้และสามารถช่วยนำไปพัฒนาหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีรูปร่างที่ซับซ้อนมากขึ้นให้มีสมรรถนะสูง และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบันทึกข้อมูลในคอมพิวเตอร์ต่อไป

## บทที่ 2

# ระบบการเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 2.1 ระบบเก็บข้อมูลของบริษัท IBM

### 2.1 ประวัติความเป็นมาของการเก็บบันทึกทางแม่เหล็ก

นายเวลดัมมาร์ พอลเซน (Valdemar Poulsen) วิศวกรชาวเดนมาร์กได้เป็นผู้นำเสนอการบันทึกข้อมูลลงในสื่อกลางหรือวัสดุทางแม่เหล็กในปี พ.ศ. 2441 ซึ่งนายพอลเซนประดิษฐ์เพื่อทำการบันทึกและถ่ายทอดเสียง เรียกว่า เทเลกราฟโฟ (Telegraphone) โดยใช้สายเปียโนซึ่งทำจากเหล็กกล้าและสารแม่เหล็กพันรอบเหล็กแล้วป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวด ในปี พ.ศ. 2463 – 2472 นายเยอรมันส์ (Germans) ได้เป็นผู้นำการบันทึกเทปที่ทำจากเหล็กกล้าเป็นคนแรก ในปี พ.ศ. 2471 นายโอนีล (Onéal) ได้รับสิทธิบัตรเกี่ยวกับการเคลือบอนุภาคเหล็กลงบนกระดาษซึ่งใช้เป็นสื่อกลางในการเก็บบันทึกข้อมูล ในปี พ.ศ. 2478 นายฟาร์เบิน (Farben) เป็นผู้ผลิตตัวเก็บบันทึกเทปแม่เหล็ก (magnetic tape recorder) ขายในเยอรมัน ซึ่งเทปแม่เหล็ก (magnetic tape) นี้สร้างขึ้นจากแผ่นพลาสติกแล้วเคลือบด้วยสารแม่เหล็ก ต่อมาในปี พ.ศ. 2490 บริษัท 3M สร้าง

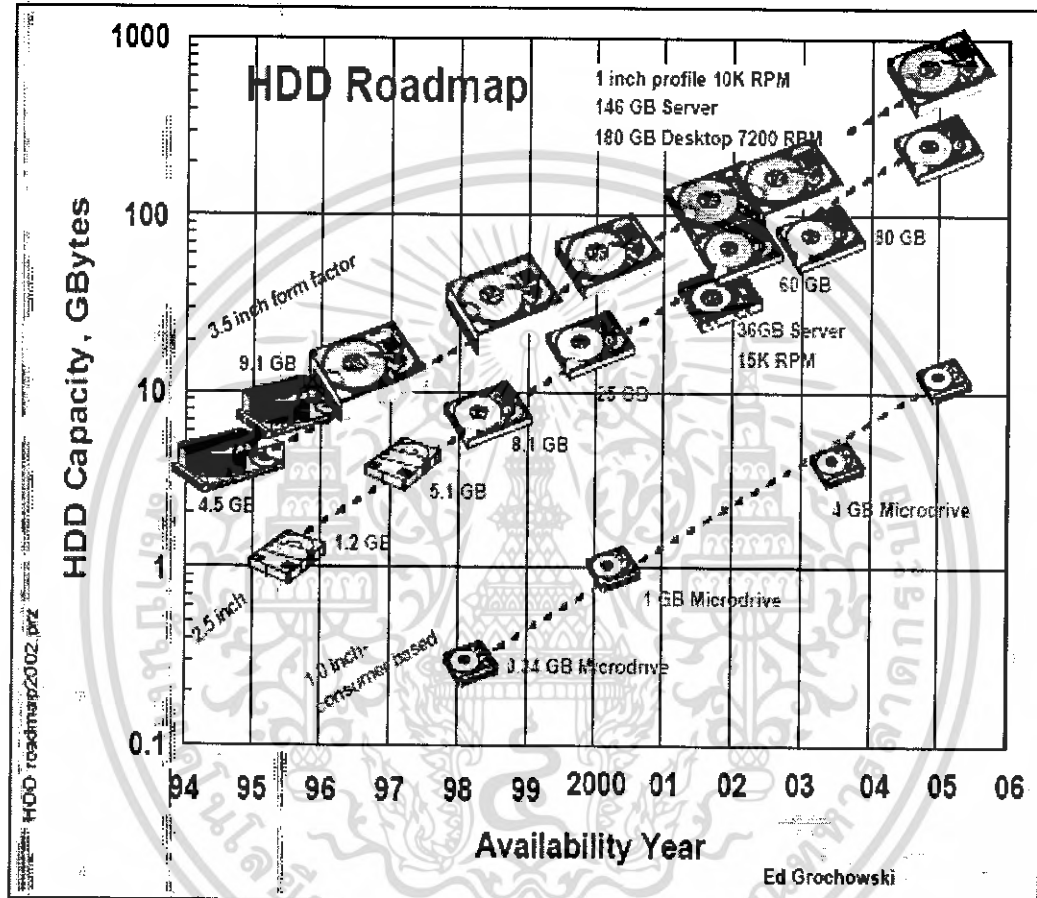
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทปที่มีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบ (Oxide tape) และบริษัท 3M ก็เป็นผู้ผลิตเครื่องบันทึกเทปเพื่อขายเป็นครั้งแรกในตลาดสหรัฐอเมริกา ซึ่งเทปที่ผลิตนี้ทำจากแผ่นกระดาษที่เคลือบด้วยออกไซด์ (เหล็กที่มีออกไซด์เป็นส่วนประกอบ) ในปี พ.ศ. 2491 บริษัทแอมเป็กซ์ (Ampex) ได้เริ่มส่งออกเครื่องเก็บบันทึกเสียง ซึ่งตั้งแต่นั้นเป็นต้นมาเทปแม่เหล็กก็พัฒนาการสร้างขึ้นอย่างรวดเร็ว จากเทปแม่เหล็กที่ผลิตจากแผ่นกระดาษมาเป็นแผ่นพลาสติกแทน และบริษัท 3M ก็เป็นผู้นำเสนอเครื่องบันทึกวิดีโอขึ้นเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2494 หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 การเก็บบันทึกทางแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยสัญญาณดิจิทัลลงบนเทปนี้ได้เจริญเติบโตขึ้นพร้อมกับคอมพิวเตอร์ไฟฟ้า ในปี พ.ศ. 2496 บริษัท IBM ได้เสนอขายเครื่องเล่นเทปแม่เหล็กเป็นครั้งแรก ผลิตภัณฑ์ที่ชื่อว่า IBM 726 นั้นมีความหนาแน่นของข้อมูลที่ทำกรบันทึกต่อระยะเพียง 4 ไบต์ต่อมิลลิเมตร ในปี พ.ศ. 2516 บริษัท IBM สร้างอุปกรณ์บันทึกข้อมูลลงแผ่นดิสก์ที่มีการหุ้ม โดยรอบและเป็นต้นแบบของฮาร์ดดิสก์ในปัจจุบัน อุปกรณ์บันทึกข้อมูลนี้มีความจุ 30 เมกกะไบต์ และมีการใช้อุปกรณ์หมุนแผ่นดิสก์ 2 ชุด และในปี พ.ศ. 2518 IBM ก็ได้นำเสนอเครื่องเล่นแผ่นรีจิดดิสก์แม่เหล็กขึ้นเป็นครั้งแรก ซึ่งมีชื่อว่า IBM 350 หรือ เครื่องเก็บความจำที่มีการเข้าทำงานได้โดยอิสระ (Random Access Memory Accounting Machine; RAMAC) ด้วยความสามารถจุข้อมูลเท่ากับ 3 ไบต์ต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งใช้อากาศเป็นสารรองคลื่นระหว่างหัวอ่านกับแผ่นรีจิดดิสก์ขณะทำการอ่านหรือบันทึกข้อมูล โดยอาศัยความดันภายนอกเข้ามาช่วยในการหล่อลื่น (การหล่อลื่นแบบไฮโดรสแตติก) ส่วนแผ่นดิสก์ข้อมูลที่ทำหน้าหัวอ่านมีการเคลื่อนที่แบบสร้างความดันขึ้นเองโดยเป็นการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิก มีอากาศเป็นสารหล่อลื่น ทำการขายครั้งแรกในปี พ.ศ. 2505 สำหรับอุปกรณ์เก็บข้อมูล ที่เข้าทำการอ่านและบันทึกได้โดยตรง (Direct Access Storage Device; DASD) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย IBM ในปี พ.ศ. 2523 บริษัท Seagate Technology พัฒนาอุปกรณ์บันทึกข้อมูลแม่เหล็กไฟฟ้ารุ่น ST506 สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กเป็นครั้งแรก ในปี พ.ศ. 2523 บริษัท Phillip พัฒนาฮาร์ดดิสก์ ที่ประกอบด้วย วอยซ์คอยล์แอกทูเอเตอร์ (Voice Coil Actuators) ซึ่งมีใช้กันมากในปัจจุบันและทำการลดขนาดของฮาร์ดดิสก์ลง ในปี พ.ศ. 2529 ใช้ขนาดดิสก์ 3.5 นิ้ว และใช้วอยซ์คอยล์แอกทูเอเตอร์ที่ขนาดเล็กลง ในปี พ.ศ. 2540 บริษัท Seagate ได้พัฒนาฮาร์ดดิสก์สำหรับคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ ดิสก์ที่มีความเร็วรอบของการหมุน 7,200 รอบต่อนาที และในปีเดียวกันได้สร้างฮาร์ดดิสก์ ที่มีความเร็วรอบดิสก์ 15,000 รอบต่อนาที ในปี พ.ศ. 2543 บริษัท IBM สร้างฮาร์ดดิสก์ที่มีขนาดเล็ก มีความจุ 1 จิกะไบต์ ในดิสก์แผ่นเดียว เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับฮาร์ดดิสก์ที่มีความจุข้อมูลเท่ากันซึ่งผลิตในปี 2523 ฮาร์ดดิสก์จะต้องมีขนาดใหญ่มาก คือน้ำหนักประมาณ 250 กิโลกรัม

ฮาร์ดดิสก์เป็นอุปกรณ์ที่อาศัยระบบจัดเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งระบบจัดเก็บข้อมูลทางแม่เหล็ก ไฟฟ้าทำงานโดยอาศัยหัวอ่านที่ทำหน้าที่ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของขั้วแม่เหล็ก ซึ่งมีทั้งขั้วบวกและขั้วลบและแทนโดย 0s และ 1s โดยที่ 0s แสดงถึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวแม่เหล็ก และ Is แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของหัวแม่เหล็ก ซึ่งการพัฒนาในช่วงแรกๆจะมีการพัฒนาเน้นในด้านการเพิ่มปริมาณการเก็บข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งหัวอ่าน RAMAC มีความสูงเหนือแผ่นงานเพียง 25 ไมโครเมตร โดยที่ความสูงนั้นเกิดจากชั้นนอกของอากาศที่ถูกอัดซึ่งระเก็บข้อมูลที่มีการพัฒนาหลังจาก RAMAC นั้นจะใช้หลักการทางอากาศพลศาสตร์ซึ่งเกิดจากความเร็วของการหมุนของแผ่นงาน ทำให้หัวอ่านอยู่สูงเหนือแผ่นงานประมาณ 15 ถึง 20 นาโนเมตร



รูปที่ 2.2 แสดงการพัฒนาของระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าของบริษัท HITACHI

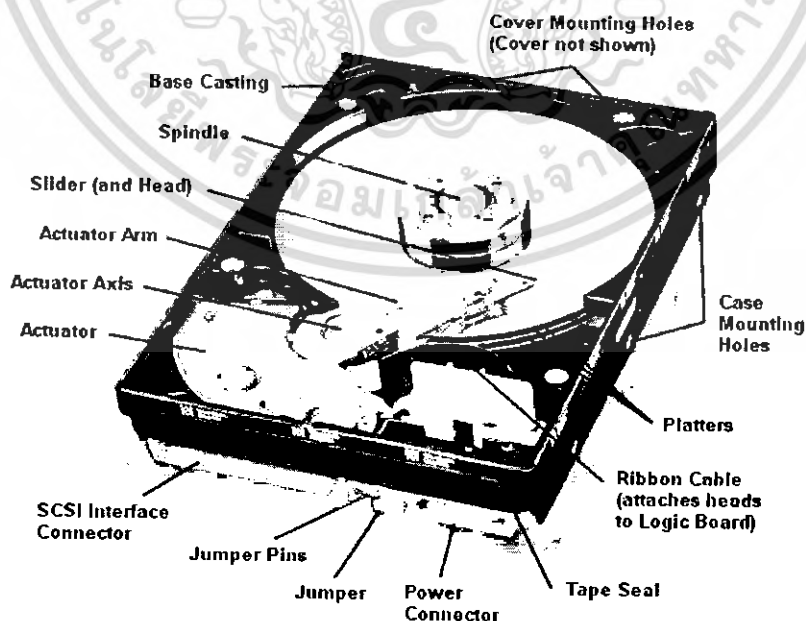
วิวัฒนาการของฮาร์ดดิสก์มีมายาวนาน โดยเริ่มจากการพัฒนาหน่วยความจำสำรองที่ใช้กับระบบ เมนเฟรมคอมพิวเตอร์ โดยในระยะแรกจะใช้แผ่นจากแผ่นแม่เหล็กขนาดใหญ่หลายๆแผ่นซ้อนกันเพื่อให้ความจุเพิ่มมากขึ้น ปัจจุบันเทคโนโลยีของการบรรจุข้อมูลบนแผ่นแม่เหล็กทำได้ดีขึ้นมาก โดยเฉพาะหน่วยเก็บข้อมูลที่ เรียกว่าฮาร์ดดิสก์ มีขนาดกระทัดรัด มีความจุได้มากและมีขนาดเล็กกว่าเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์

องค์ประกอบหลักที่สำคัญของฮาร์ดดิสก์ โดยพื้นฐานมีดังนี้ (ดูภาพที่ 2.3)

- จานฮาร์ดดิสก์ (Disk Platters)
- หัวอ่านฮาร์ดดิสก์ (Read/Write Heads)
- กลไกการขับเคลื่อนหัวฮาร์ดดิสก์ (Head Actuator Mechanism)
- มอเตอร์ที่ใช้หมุนจานฮาร์ดดิสก์ (Spindle Motor)
- แผงวงจรควบคุมการทำงานของฮาร์ดดิสก์ (Logic Board)
- สายสัญญาณและ Connector (Cables and Connectors)
- Jumper ที่ใช้จัดตั้ง Configuration ของฮาร์ดดิสก์
- รางและอุปกรณ์เสริมการติดตั้งฮาร์ดดิสก์
- แขนที่ใช้ขับเคลื่อนหัวฮาร์ดดิสก์ (Head Arm/Head Slide)
- กลไกที่ใช้ขับเคลื่อนหัวฮาร์ดดิสก์ (Head Actuator Mechanism)
- ส่วนที่ใช้กรองอากาศ (Air Filter)
- แผงวงจร Head Amplifier
- ชุด Voice Coil
- สาย Pair Ribbon ที่เชื่อมระหว่างหัวฮาร์ดดิสก์ กับ Logic Board



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฮาร์ดดิสก์ อาจจะมีเพียงแผ่นเดียวหรือหลายแผ่นก็ได้ และมีหัวอ่านแม่เหล็ก ไฟฟ้าอยู่ที่แต่ละด้านของดิสก์ ดิสก์สมัยใหม่จะทำจากแก้วหรือเซรามิก เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดผลกระทบจากความร้อนในแผ่นดิสก์ ชั้นของสารแม่เหล็กจะอยู่ที่ผิวด้านนอกของดิสก์ ดิสก์จะติดติดตั้งบนสปินเดิล และใช้มอเตอร์ในการหมุน ในปัจจุบันดิสก์จะหมุนด้วยความเร็วรอบ 5400 , 7200 หรือ 10,000 รอบต่อนาที ในขณะที่ทำงานเมื่อดิสก์หมุนและอากาศเคลื่อนที่ผ่านด้านล่างของหัวอ่านจะทำให้หัวอ่านลอยตัวอยู่เหนือผิวดิสก์ แรงดันอากาศที่เกิดขึ้นระหว่างหัวอ่านและดิสก์เรียกว่าแบร์ริงอากาศ การบันทึกข้อมูลลงแผ่นดิสก์เกิดจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์อ่าน/บันทึก ข้อมูลซึ่งอยู่บนหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าทิศทางของกระแสสนามแม่เหล็ก ไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

บริเวณช่องว่างของหัวอ่านจะมีผลต่อลักษณะทางโมเลกุล ของสารแม่เหล็กบนแผ่นดิสก์ในแต่ละจุดและจะยังคงสภาพที่เกิดขึ้นนี้แม้ว่าจะปิดเครื่องคอมพิวเตอร์อุปกรณ์ในการยึดจับหัวอ่านมีหน้าที่ทำให้หัวอ่านเคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งต่างๆบนผิวดิสก์โดยมีแอกทูเอเตอร์เป็นอุปกรณ์ในการขับเคลื่อน ในปัจจุบันแอกทูเอเตอร์จะใช้วอยซ์คอยล์ ซึ่งมีลักษณะคล้ายขดลวดที่ใช้กับลำโพง วอยซ์คอยล์ประกอบด้วยแม่เหล็กที่ลักษณะโค้งและคอยล์ขดลวด ยึดติดกับหัวอ่านเมื่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ส่งกระแสไปยังขดลวด จะทำให้อุปกรณ์จับยึดหัวอ่านเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงข้ามกับการหมุนของคอยล์ ดังนั้นจึงทำให้หัวอ่านเคลื่อนที่เข้าและออกจากแนวศูนย์กลางของดิสก์เมื่อปิดเครื่องคอมพิวเตอร์จะทำให้สปริงมีแรงดึงอุปกรณ์ยึดจับ ไปอยู่ตำแหน่งที่กำหนดไว้ ซึ่งเรียกบริเวณนี้ว่า จุดพักหัวอ่าน (Landing Zone) เพื่อที่จะไม่ทำความเสียหายกับผิวของดิสก์

ดิสก์แต่ละแผ่นจะมีการแบ่งพื้นที่เป็นวงกลมตามแนวรัศมี (Track) และแบ่งพื้นที่ของดิสก์ออกเป็นส่วนที่เท่าๆกันเรียกว่า เซกเตอร์ (Sector) ในแต่ละเซกเตอร์จะเป็นพื้นที่สำหรับเก็บข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ เมื่อฮาร์ดดิสก์ผ่านขั้นตอนการผลิตจะมีการกำหนดโค้ดพิเศษเรียกว่า เกรย์โค้ด (Grey Code) ซึ่งจะมีจำนวน 3 บิต เกรย์โค้ดที่นิยมใช้กันมากจะมีตำแหน่งอยู่ที่มุมของเซกเตอร์แต่ละชุด และได้กำหนดค่าไว้แน่นอนไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้จากการเขียนข้อมูลลงบนดิสก์หรือการฟอร์แมต (Format) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะใช้สัญญาณป้อนกลับจากการอ่านเกรย์โค้ด ทำให้ทราบตำแหน่งของหัวอ่านในแนวรัศมีที่ถูกต้อง (ตำแหน่งจุดเริ่มต้นของเซกเตอร์) สามารถชดเชยตำแหน่งของหัวอ่านเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของดิสก์เนื่องจากความเค้นและความร้อนที่เกิดขึ้น อุปกรณ์ในการบอกตำแหน่งของหัวอ่านที่เรียกว่า ระบบป้อนกลับแบบปิด (Close – Loop Servo System)

### 2.2.1 ดิสก์บันทึกข้อมูล

มีชื่อเรียกเฉพาะว่า แพล็ตเตอร์ (platter) เป็นจานโลหะแข็งมีลักษณะแบนวางซ้อนกัน ทำจากโลหะสารผสมอลูมิเนียมอัลลอยด์ หรือส่วนผสมของแก้วเซรามิก ซึ่งส่วนผสมของแก้วและเซรามิกเป็นวัสดุที่ขี้อืดมากกว่าอะลูมิเนียมอัลลอยด์โดยตรงที่ไม่เกิดความร้อนได้ง่าย และสามารถทำให้มีความบางได้มากกว่าการใช้โลหะผสมของอลูมิเนียมอัลลอยด์ พื้นที่ผิวทั้งสองด้านที่ถูกเคลือบด้วยชั้นของแผ่นฟิล์มบางๆของสารพวกแมกเนติกออกไซด์ โดยตัวแผ่นฟิล์มนี้เองจะเป็นส่วนของเนื้อฮาร์ดดิสก์ที่ทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลโดยการปรับลักษณะการจัดเรียงตัวของอนุภาคของแมกเนติกออกไซด์ตามลักษณะของข้อมูลที่ถูกบันทึก ซึ่งโดยทั่วไปจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2 ถึง 5.25 นิ้ว ซึ่งหัวอ่านจะบอกถึงจำนวนของแพล็ตเตอร์ในฮาร์ดดิสก์ เช่น ฮาร์ดดิสก์ 16 หัว คือมี 8 แพล็ตเตอร์

สารที่ใช้ในการเคลือบจานมี 2 แบบที่นิยมใช้กัน ได้แก่ สารประเภทไอออนออกไซด์และสารประเภท Thin Film Media สารประเภทไอออนออกไซด์นี้ถูกเคลือบลงบนจาน ด้วยความหนาประมาณ ไมโครนิ้ว ข้อเสียของการเคลือบสารนี้คือความเปราะบางต่อการแตกหัก และชำรุดเมื่อเกิดกระแทกลงบนผิวของมัน สาร ไอออนออกไซด์มีข้อเสียตรงที่มีปัญหาเรื่องความร้อนและจะหลุดออกเป็นผง เมื่อหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ได้กระทบกระแทกโดยตรงและทาวอัมต่อพื้นผิว โดยผงนี้จะลักษณะเป็นสีน้ำตาล สารประเภท Thin Film Media เป็นการเคลือบของสารประกอบประเภท Thin Film ที่มีความบางประมาณ 12 ไมโครนิ้ว ด้วยความหนาขนาดนี้ทำให้หัวฮาร์ดดิสก์มีความใกล้ชิดกับจานมากขึ้น เป็นผลให้ความแม่นยำในการอ่านและเขียนข้อมูลลงบนจานมีมายิ่งขึ้นและมีความสามารถในการทนแรงขีดข่วนของพื้นผิวที่เคลือบและสามารถป้องกันข้อมูลได้ดีกว่า



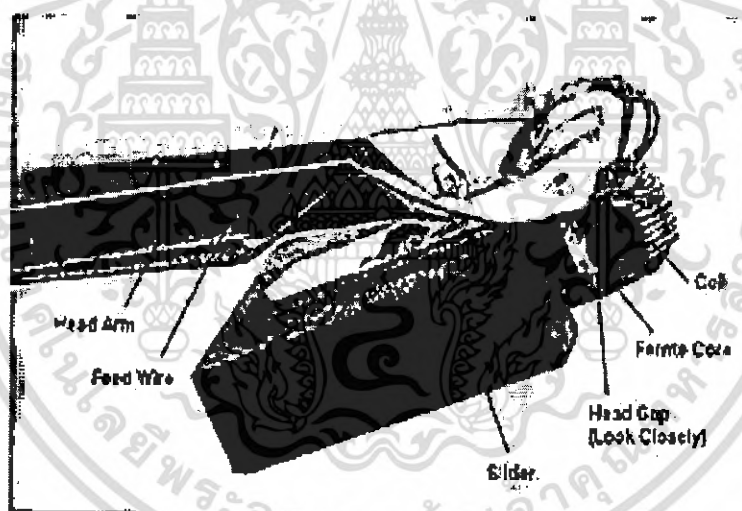
รูปที่ 2.4 แสดงขนาดของ ดิสก์แพล็ตเตอร์ ภายในฮาร์ดดิสก์

## 2.2.2 หัวอ่าน/เขียนของฮาร์ดดิสก์

หัวอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์มีหน้าที่ในการอ่านและเขียนข้อมูลลงบนแผ่นดีดเคอร์ โดยปกติแล้วหัวอ่านจะต้องไม่แตะกับแผ่นดีดเคอร์ขณะที่ทำงานปกติ แต่เมื่อใดที่ฮาร์ดดิสก์หยุดการทำงาน หัวอ่านฮาร์ดดิสก์นี้จะสัมผัสกับจาน สาเหตุที่หัวฮาร์ดดิสก์สามารถลอยตัวอยู่เหนือจานได้เนื่องจากแรงของลมที่อยู่ในตัวฮาร์ดดิสก์ในขณะที่งานได้เนื่องจากแรงของลมที่อยู่ภายในตัวฮาร์ดดิสก์ในขณะที่งานหมุนซึ่งจะช่วยแยกหัวอ่านให้ลอยตัวขึ้น หัวอ่านฮาร์ดดิสก์มีอยู่หลายแบบได้แก่

### 2.2.2.1 หัวอ่านเฟอร์ไรท์ (Ferrite)

เป็นหัวอ่านแบบดั้งเดิมที่คิดค้นโดย IBM หัวอ่านประเภทนี้ทำมาจาก Iron-Oxide Core และพันด้วย Electromagnetic Coils หรือขดลวดที่พันแกนแม่เหล็ก แล้วจ่ายกระแสไฟไปที่ขดลวดที่หัวอ่านเฟอร์ไรท์ซึ่งกระแสไฟที่จ่ายเข้าไปนี้จะทำให้หัวฮาร์ดดิสก์มีสถานะเป็นแม่เหล็กอ่อนๆ ไปด้วย ข้อเสียของหัวอ่านชนิดนี้คือ ไม่สามารถบันทึกข้อมูลที่ขนาดความหนานสูงได้เนื่องจากขนาดของหัวอ่านชนิดนี้มีความหนามาก



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์เฟอร์ไรท์

#### 2.2.2.1 Metal In Gap Head

ที่ซึ่งจะมีแนวแรงแม่เหล็กเกิดขึ้น เพื่อใช้บันทึกข้อมูลที่ขอบด้านปลายของหัวฮาร์ดดิสก์ชนิดนี้ การวางแผ่นโลหะชนิดนี้ ทำได้ด้วยการใช้กระบวนการทางสุญญากาศ ที่เรียกว่า Sputtering Process ลักษณะคล้ายกันกับ Ferrite Head ตรงที่มีการใส่ Metal Alloy ลงบริเวณ Recording Gap (ช่องว่างระหว่างหัวฮาร์ดดิสก์ ระบบ Metal In Gap สามารถอ่านข้อมูลจากแผ่นงาน Platter แบบ

Thin Film ได้เป็นอย่างดีแต่เมื่อความจุของฮาร์ดดิสก์ มีมากยิ่งขึ้น ทางที่ดี ควรใช้หัวฮาร์ดดิสก์ แบบ Thin Film จะดีกว่า

### 2.2.2.3 Thin Film Head

Thin Film Head เป็นหัวฮาร์ดดิสก์ ที่มีขนาดเล็กและเบาที่สุด ที่สามารถลอยตัวอยู่เหนือผิวของจานฮาร์ดดิสก์ (Disk Platter) เพียง 2 ไมโครนิวเท่านั้น

หัว ฮาร์ดดิสก์ ประเภทนี้ใช้กรรมวิธีที่เรียกว่า Photo-Lithographics ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่คล้ายกันกับการผลิต IC Chip ที่หัวนี้ แทนที่จะใช้สาร Iron Oxide Core แต่กลับใช้ Iron Nickel Alloy เป็นแกนหลักของหัว ซึ่งทำให้มีน้ำหนักที่เบามาก และให้อ่านแม่เหล็กที่ทรงพลังเหนือกว่าระบบเก่าถึง 4 เท่าทีเดียว และที่ Head Gap (ช่องว่างระหว่างหัวฮาร์ดดิสก์ ที่ซึ่งจะมีกระแสแม่เหล็กเกิดขึ้น) ของหัวประเภทนี้ มีขนาดเล็กและแคบมาก และเคลือบด้วยสารประเภทอลูมิเนียม เพื่อเพิ่มความแข็งแกร่ง ซึ่งสามารถป้องกัน การเกิดกระทบกันระหว่าง หัวฮาร์ดดิสก์ กับจานฮาร์ดดิสก์ (Disk Platter)



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์แบบ Thin Film

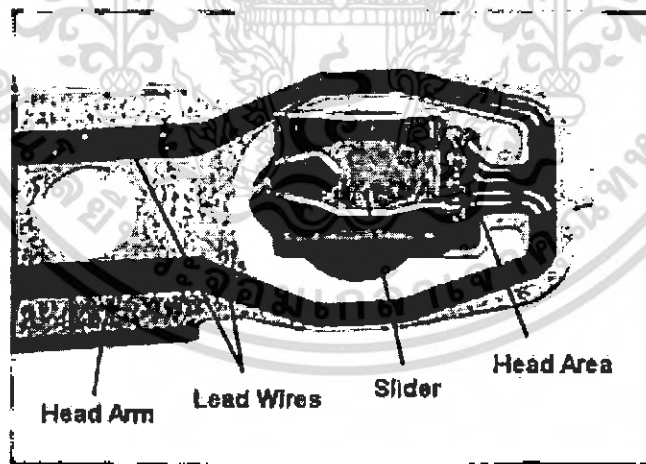
### 2.2.2.4 Magneto – Resistive Head

เป็นหัวฮาร์ดดิสก์ ระบบใหม่ที่คิดค้นโดย IBM เป็นหัวฮาร์ดดิสก์ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในปัจจุบันฮาร์ดดิสก์ ที่มีขนาดความจุสูงส่วนใหญ่ เช่น 4GB ขึ้นไป มักจะใช้หัวแบบ MR เกือบทั้งสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการการทำงานของหัวฮาร์ดดิสก์ประเภทนี้ นับได้ว่าค่อนข้างจะฉีกแนวออกไป ดังที่ได้เคยกล่าวมาแล้วว่า การที่จะบันทึกข้อมูลลงบนจานฮาร์ดดิสก์ (Disk Platter) นั้นเราจะต้องปล่อยกระแสไฟฟ้าไปที่ขั้วลวดของหัวฮาร์ดดิสก์ ที่พื้นแกน Ferrite อีกทีหนึ่ง เพื่อให้เกิดอำนาจแม่เหล็กที่หัวของฮาร์ดดิสก์ และทำการบันทึกอำนาจแม่เหล็กลงบนจานฮาร์ดดิสก์ (Disk Platter) สำหรับระบบ Magneto Resistive Head นั้น กลับทำงานบน กฎกติกาคือว่า เมื่อมีอำนาจแม่เหล็ก เกิดขึ้น โดยรอบบริเวณ ใกล้กับ Conductor ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานที่ Conductor ในการอ่าน Data ที่เก็บอยู่บนพื้นผิวของจานฮาร์ดดิสก์ (Disk Platter) นั้น จะมีกระแสไฟอ่อนๆ ไหลผ่านไปหัวของฮาร์ดดิสก์ และค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงที่ Conductor จะถูกวัดโดยระบบที่เรียกว่า Sense Current วิธีการ เช่นนี้ ทำให้มีประสิทธิภาพการทำงานเหนือกว่า หัวฮาร์ดดิสก์ แบบอื่นๆ 3-4 เท่า

อย่างไรก็ดี หัวฮาร์ดดิสก์ ประเภทนี้ ถูกออกแบบมาให้ใช้เพื่อการอ่านฮาร์ดดิสก์ เท่านั้น แต่ถ้าต้องการจะบันทึกข้อมูลลงบนฮาร์ดดิสก์ นั้น จะต้องใช้หัวฮาร์ดดิสก์ อีกหัวหนึ่ง ซึ่งอยู่ใกล้กัน ก็เลยเป็นลักษณะฮาร์ดดิสก์ 2 หัว โดยมีหัวหนึ่งใช้อ่านและอีกหัวหนึ่งใช้เพื่อการเขียน โดยเฉพาะอย่างยิ่งฮาร์ดดิสก์ที่มี 2 หัวก็มีจุดด้อย เช่นกัน แต่ในแง่ของการทำงานแล้ว กลับมีประโยชน์มากกว่าหัวอ่านเดี่ยวที่ใช้ทั้งการอ่านและเขียน ซึ่งอาจประสบกับปัญหา การรบกวนกันของสนามแม่เหล็ก



**รูปที่ 2.7** แสดงลักษณะของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ แบบ Magnetic Resistance

เนื่องจากฮาร์ดดิสก์นั้นใช้ระบบ 2 หัว โดยมีหัวหนึ่งเป็นแบบ Narrow Gap อีกหัวหนึ่งเป็นแบบ Wide Gap ซึ่ง Narrow Gap เหมาะสำหรับการอ่านข้อมูล ขณะที่ Wide Gap เหมาะสำหรับการเขียนข้อมูลลงบนฮาร์ดดิสก์

ดังนั้นฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ Magneto Resistive Technology นั้นหัวอ่านจะใช้ Head Gap ที่แคบมาก ส่วนหัวอ่านที่เป็น Wide Gap จะใช้เทคโนโลยีของ Thin Film แทน

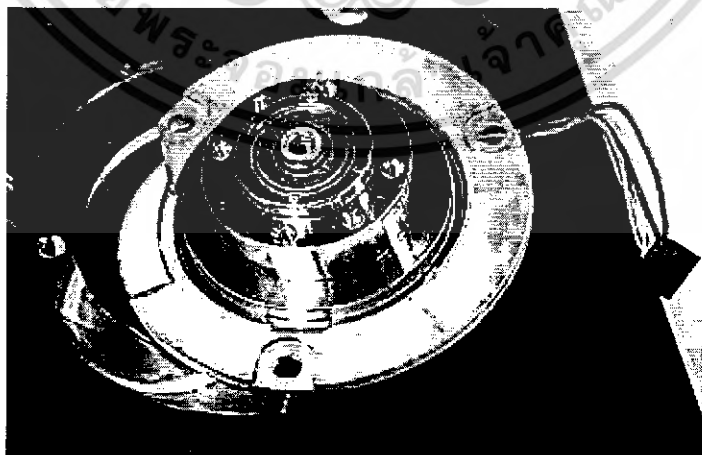
### 2.2.3 แขนที่ใช้ขับเคลื่อนหัวอ่าน (Head Arm/Head Slider)

แขนกลที่ติดตั้งหัวฮาร์ดดิสก์ เราเรียกว่า Head Slider หัว Slider นั้นมีรูปร่างคล้ายกันกับยอดแหลมของเรือใบ โดยมีจุดกึ่งกลางของมัน มีไว้ใช้เป็นตัวนำพา หัวอ่าน/เขียนของฮาร์ดดิสก์ ให้วิ่งไปมาเหนือจานฮาร์ดดิสก์ (Disk Platter) ขนาดมาตรฐานของ Slider โดยทั่วไปจะอยู่ที่ 0.08 x 0.063 สำหรับฮาร์ดดิสก์ ขนาด 3.5 นิ้ว ขนาดของ Slider นี้ เราเรียกว่า "Nano Slider" เนื่องจากมีขนาดเล็ก

### 2.2.4 มอเตอร์ที่ใช้หมุนแพตช์เตอร์

#### 2.2.4.1 สปินเดิลมอเตอร์ (Spindle Motor)

สปินเดิลมอเตอร์ (Spindle Motor) เป็นมอเตอร์หลักที่หมุนตัวจานฮาร์ดดิสก์ (Disk Platter) เหตุที่เรียกว่า Spindle Motor ก็เนื่องจากการที่มัน เชื่อมต่อกับจานฮาร์ดดิสก์ (Disk Platter) โดยตรง และหมุนเป็นวงกลม การทำงานของมอเตอร์ชนิดนี้เป็นแบบ Feed Back Loop เพื่อการปรับอัตราความเร็วในการหมุนของมันโดยอัตโนมัติ และโดยทั่วไป อัตราความเร็วในการหมุน มีตั้งแต่ 3600 รอบ ไปจนถึง 10,700 รอบที่เดียว อัตราความเร็วในการหมุนของจานฮาร์ดดิสก์ นี้มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานที่เร็วขึ้นฮาร์ดดิสก์ที่ยังมีความเร็วในการหมุนเท่าใด ก็ยิ่งดีมากกว่านั้น



**รูปที่ 2.8** แสดงลักษณะของสปินเดิลมอเตอร์

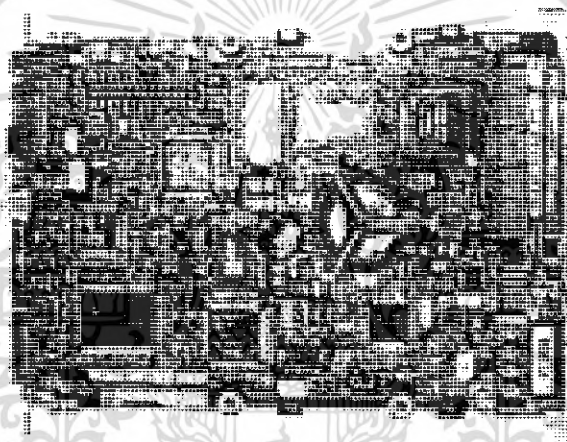
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.2.4.2 สายเคเบิลกราวด์สแปน (Spindle Ground Strap)

Spindle Ground Strap เป็นตัวค้ำจับ ไฟฟ้าสถิตย์ ที่อาจเกิดขึ้น เนื่องจากมีประจุไฟฟ้าที่เกาะบนพื้นผิวงาน Platter แล้วหมุนด้วยความเร็วสูง จนอาจเกิดปรากฏการณ์ ไดนาโมขึ้น ซึ่งตัวค้ำจับ ไฟฟ้าสถิตย์ นี้ จะอยู่ที่ด้านล่างของ Motor ในฮาร์ดดิสก์บางรุ่น

#### 2.2.5 แผงวงจรควบคุมการทำงานของฮาร์ดดิสก์ (Logic Board)

จัดว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุดของตัวฮาร์ดดิสก์เนื่องจากเป็นศูนย์กลางที่ควบคุมการทำงานของฮาร์ดดิสก์ ซึ่งบน Logic Board นี้ ประกอบไปด้วยชิปประมวลผลและหน่วยความจำทั้ง Flash Memory รวมทั้ง Ram Buffer และ Servo Processor ที่ใช้ควบคุมมอเตอร์



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะของแผงวงจรควบคุมที่ให้ควบคุมการทำงานของฮาร์ดดิสก์

#### 2.2.6 ระบบกรองอากาศ (Air Filter)

ผู้คนส่วนใหญ่มักเข้าใจว่าภายในฮาร์ดดิสก์ มักเป็นแบบสุญญากาศ ซึ่งไม่เป็นเช่นนั้นและฮาร์ดดิสก์ จะไม่มีวันทำงานภายใต้เงื่อนไขสุญญากาศอย่างแน่นอน เนื่องจากหัวอ่าน/เขียนของฮาร์ดดิสก์ต้องการอากาศ ที่จะคอยยกหัวของมันให้ลอยเหนือจาน Disk Platter นั่นเอง ฮาร์ดดิสก์ส่วนใหญ่เมื่อถูกนำมาทำงานที่ระยะความสูงเหนือระดับน้ำทะเล เช่นบนภูเขาหรือบนเครื่องบิน เมื่อแรงดันอากาศต่ำมาก ฮาร์ดดิสก์ เหล่านี้ มักจะไม่ค่อยทำงานด้วยเหตุนี้ ฮาร์ดดิสก์จึงต้องการ Sealed ที่ดี ป้องกันไม่ให้อากาศจากภายในฮาร์ดดิสก์รั่วไหลออกไป อย่างไรก็ตามฮาร์ดดิสก์มักจะมี Filter 2 ชุดๆหนึ่งเรียกว่า Filter การไหลเวียนของอากาศและอีกหนึ่งเรียกว่า Breather Filter หรือ Barometric Filter

Filter การไหลเวียนของอากาศมีไว้เพื่อการกรองเอาอนุภาคฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการร่อนของ Oxide ที่เคลือบบนจานฮาร์ดดิสก์ (Disk Platter) เนื่องจากการครูดของหัวฮาร์ดดิสก์กับจานฮาร์ดดิสก์ (Disk Platter) ซึ่ง Filter ตัวนี้ จะไม่กรองอากาศจากภายนอกเข้ามาในระบบ Filter อีกแบบหนึ่งคือ Breather Filter นั้นเป็น Filter ที่เชื่อมภายในของฮาร์ดดิสก์ กับภายนอกของฮาร์ดดิสก์ โดยทำหน้าที่เป็นตัว สร้างความสมดุลของอากาศภายนอกกับภายใน เมื่อความกดอากาศภายนอก เพิ่มขึ้นตัว Filter จะยอมให้อากาศจากภายนอก เคลื่อนตัวเข้าสู่ภายในฮาร์ดดิสก์ ได้ และเมื่อความดันอากาศลดลง Filter ตัวนี้ ก็จะยอมให้อากาศจากภายในสามารถระบายออกไปที่ภายนอก ฮาร์ดดิสก์ ได้เช่นกัน และ Filter ขนาดนี้ สามารถป้องกันมิให้อนุภาคที่มีขนาดใหญ่เกินกว่า 10 ไมโครนิว สามารถเข้ามาที่ ฮาร์ดดิสก์ ได้



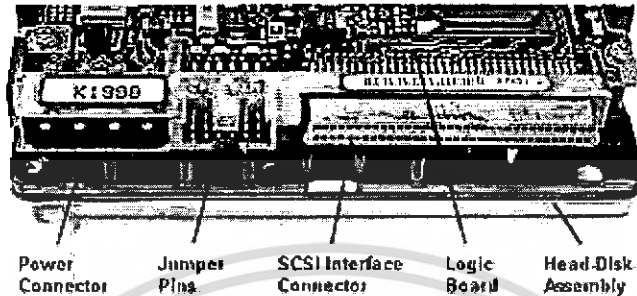
**รูปที่ 2.10** แสดงระบบกรองอากาศสำหรับฮาร์ดดิสก์แบบบารอมेटริก พิลเตอร์

### 2.2.7 เคเบิลกับคอนเนคเตอร์ หรือสายแพขนาดเด็กเชื่อมจุดต่างๆ

เคเบิลกับคอนเนคเตอร์ Cable กับ Connector มีไว้เพื่อการเชื่อมต่อระหว่าง ฮาร์ดดิสก์ กับ คอมพิวเตอร์หลัก จุดประสงค์ก็เพื่อถ่ายเทข้อมูลไปมาระหว่างฮาร์ดดิสก์กับคอมพิวเตอร์ ขนาดของ Connector ขึ้นอยู่กับชนิดของ ฮาร์ดดิสก์ ดังนี้

- HDD ระบบ IDE/EIDE มีขนาด Connector 40 Pin
- HDD ระบบ SCSI-I หรือ SCSI - II หรือ Fast SCSI ต่างใช้ 50 Pins
- HDD ระบบ Wide SCSI มี Connector ขนาด 60 Pins

Power Connector เป็นที่ ๆ เราใช้เพื่อป้อนแรงดันไฟเลี้ยงฮาร์ดดิสก์ ซึ่งมี Connector ซึ่งใช้สายไฟ 4 เส้น ได้แก่ สีแดง สำหรับไฟ +5V สีเหลืองสำหรับไฟ +12V ส่วนสีดำ จะเป็น Ground แรงดันไฟที่ใช้เลี้ยง ฮาร์ดดิสก์ นี้ หากมีความคลาดเคลื่อนก็ต้องไม่เกินบวกลบ 0.5V

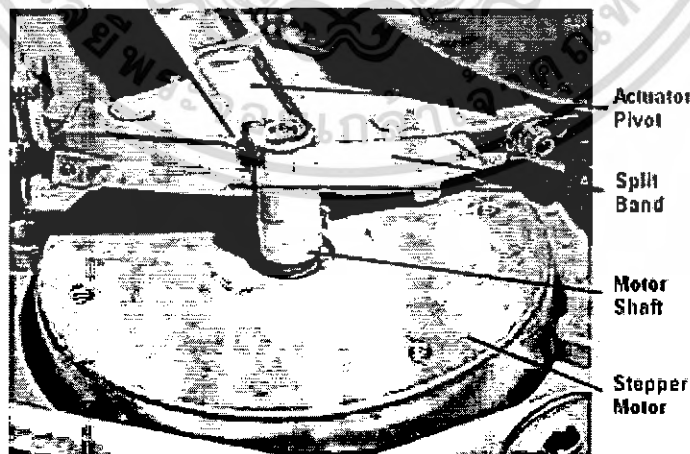


รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะของคอนเนคเตอร์ของฮาร์ดดิสก์

**2.2.8 กอไกที่ใช้ขับเคลื่อนหัวอ่าน (Head actuator Mechanism)**

**2.2.8.1 สเตปมอเตอร์มอเตอร์ (Stepper Motor actuator)**

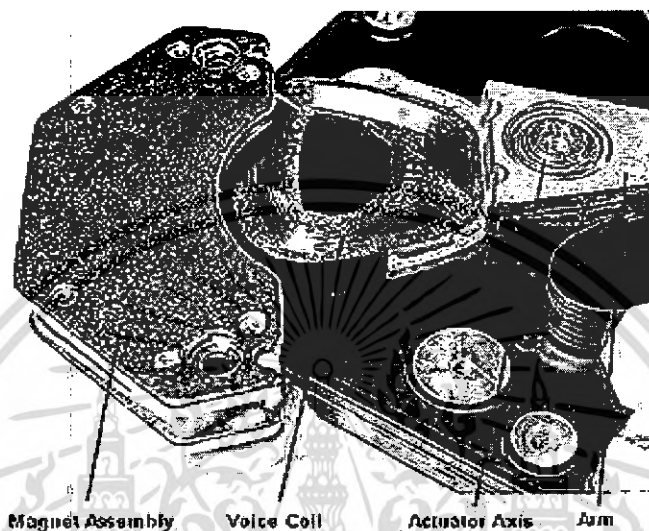
Stepper Motor เป็นมอเตอร์ที่มีการหมุนแบบเป็นขั้นๆ เป็นแบบมุมที่ตายตัว Stepper Motor ตัวหนึ่งอาจมีขั้นคิดเป็นจำนวนตั้งแต่หลายสิบขั้นไปจนถึงร้อยๆขั้นก็มีตัวอย่าง Stepper Motor ที่มีจำนวน 36 ขั้น เพื่อหมุนรอบตัวมันเอง เมื่อมีการจ่ายไฟไปที่ตัวมันๆจะหมุนขั้นละ 10 องศา เท่านั้น ตัว Stepper Motor เชื่อมต่อกับส่วนของแขนกลควบคุมหัวอ่านซึ่งจะมีกลไกต่างๆเพื่อการแปลงการหมุนของ Stepper Motor ให้เป็นไปในรูปแบบการหมุนเข้าและหมุนออกของ Motor เพื่อการขับเคลื่อนหัวฮาร์ดดิสก์ไปมา



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะของสเตปเปอร์มอเตอร์

### 2.2.8.2 วอยซ์คอยล์แอกทูเอเตอร์ (Voice Coil Actuator)

Voice Coil Actuator ถูกออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาที่เกี่ยวกับ Stepper Motor Actuator นี้ เป็นเหตุผลที่ว่า เพราะเหตุใด ฮาร์ดดิสก์ ที่มีขนาดความจุสูงมากกว่า 40MB ขึ้นไป จึงหันมาใช้ ระบบ Voice Coil แทน



รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างการทำงานของ Voice Coil Actuator

จากรูปเราจะเห็นการทำงานของระบบ Voice Coil ซึ่งใช้หลักการเดียวกับ Voice Coil ของลำโพง ในภาพจะเห็นว่า Voice Coil ของลำโพง เชื่อมต่อกับกรวยกระดาษ เมื่อมีการป้อน ความถี่ Audio แบบ A.C ผ่านเข้ามาที่ Voice Coil แห่งนี้ คลื่นความถี่นี้จะวิ่งเข้าวิ่งออกขั้วแม่เหล็กถาวร (ขึ้นอยู่กับทิศทางและความแรงของกระแสไฟสลับ) การเคลื่อนที่เช่นนี้ จะทำให้กรวยกระดาษ ที่ติดกับ Coil เกิดการสั่นสะเทือน และเกิดการสั่นสะเทือน และเกิดเสียงขึ้นในอากาศ การเคลื่อนที่ของ Voice Coil เป็นผลมาจาก นานาปฏิกิริยาของสนามแม่เหล็ก ที่ผลิตขึ้นใน Coil เอง (โดยกระแส A.C) และแม่เหล็กถาวรถูกติดกันนี้ ถูกนำมาใช้ภายใน ฮาร์ดดิสก์ เพื่อการขับเคลื่อน หัวอ่าน/เขียนของ ฮาร์ดดิสก์ สำหรับ ฮาร์ดดิสก์ ที่ใช้ระบบ Voice Coil นั้น จะมีขดลวด (Coil) แม่เหล็กไฟฟ้า เชื่อมต่อกับ Head rack และวางไว้ใกล้กับกับ แม่เหล็กถาวรที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ไม่มีการเชื่อมต่อสัมผัสโดยตรงระหว่างแม่เหล็กกับขดลวดเมื่อมีการจ่ายกระแสไฟไปที่ขดลวด ก็จะเกิดสนามแม่เหล็กที่ขดลวด แรงแม่เหล็กนี้ จะทำให้ขดลวดเคลื่อนออกจาก หรือไม่ก็เคลื่อนเข้าหาแม่เหล็กถาวร และเมื่อขดลวดนั้นเคลื่อนไหวก็จะส่งผลให้ Head rack เคลื่อนไหวตามไปด้วย ระบบนี้ดีกว่าการใช้ Stepper Motor เป็น Actuator จากภาพเป็นการแสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบภายในของระบบ Voice Coil Actuator จากภาพเราจะเห็น Actuator ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

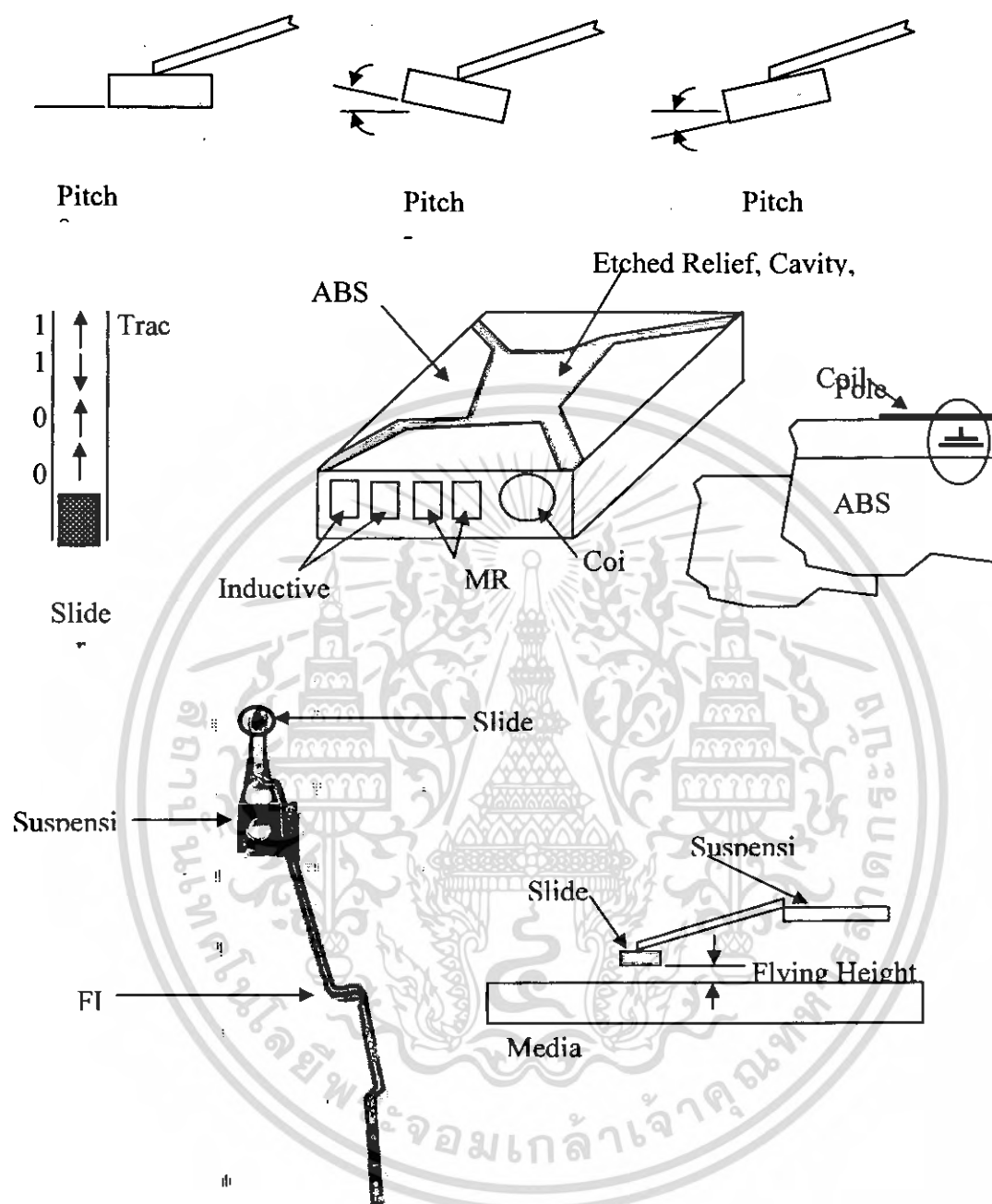
ประกอบไปด้วย แม่เหล็กถาวรที่อยู่กับที่และ Voice Coil ที่สามารถเลื่อนไหวไปมาได้ หัวอ่าน/เขียน ของฮาร์ดดิสก์ จะอยู่ที่ด้านปลายสุดของแขน Actuator เมื่อมีการจ่ายกระแสไฟเข้าไปที่ขดลวดแห่งนี้ มันจะเกิดการเคลื่อนที่ๆสัมพันธ์กับแม่เหล็ก เมื่อ Coil มีการเคลื่อนไหว มันก็จะเคลื่อนหัวอ่าน/เขียนไปมาเหนือจาน Platter ด้วย

การทำงานของกลไก Actuator ที่สมบูรณ์แบบนี้ มีความเบาและคล่องตัว รวมทั้งรวดเร็วมาก ข้อด้อยหลักๆของระบบนี้คือการจำกัดขนาดจำนวนของพื้นผิว ที่ใช้เก็บข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ เมื่อหัวเคลื่อนที่จากด้านนอกสุด ไปที่ด้านในขอ ฮาร์ดดิสก์ แล้วหัวอ่านจะหมุนเบาบางลง ปัญหานี้เราเรียกว่า Azimuth Error หากการเคลื่อนที่ของหัวเกินข้อจำกัดของมันก็จะไม่สามารถอ่านข้อมูลจากฮาร์ดดิสก์ บริเวณนั้น ๆ ได้



**รูปที่ 2.14** แสดงกลการทำงานของแขนที่ขับเคลื่อนโดย (Voice Coil)

ระบบ Voice Coil ที่ใช้แขนแบบ Rotary เพื่อขับเคลื่อนหัวอ่าน/เขียน ฮาร์ดดิสก์ เราเรียกว่า Rotary Voice Actuator โดยก่อนที่จะมีระบบ Voice Coil ชนิดนี้ ได้มีการนำเอาระบบ Linear Voice Coil Actuator มาใช้กับ ฮาร์ดดิสก์ ในระบบ Linear Voice Coil Actuator นี้ หัวฮาร์ดดิสก์ จะมีการเคลื่อนที่เข้าและออกเป็นแบบเชิงเส้นซึ่งระบบ Linear Voice Coil แบบนี้ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับ Azimute Error แต่อย่างไรก็ตามระบบ Linear Voice Coil Actuator มีข้อเสียตรงที่มีน้ำหนักมาก ทำให้มีปัญหาเกี่ยวกับการเคลื่อนหัวฮาร์ดดิสก์ อย่างไรก็ตาม ระบบ Actuator ที่ใช้ในปัจจุบันล้วนแต่เป็นระบบ Rotary Actuator



รูปที่ 2.15 แสดงอุปกรณ์จับยึดหัวอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

### 2.3 หัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้า

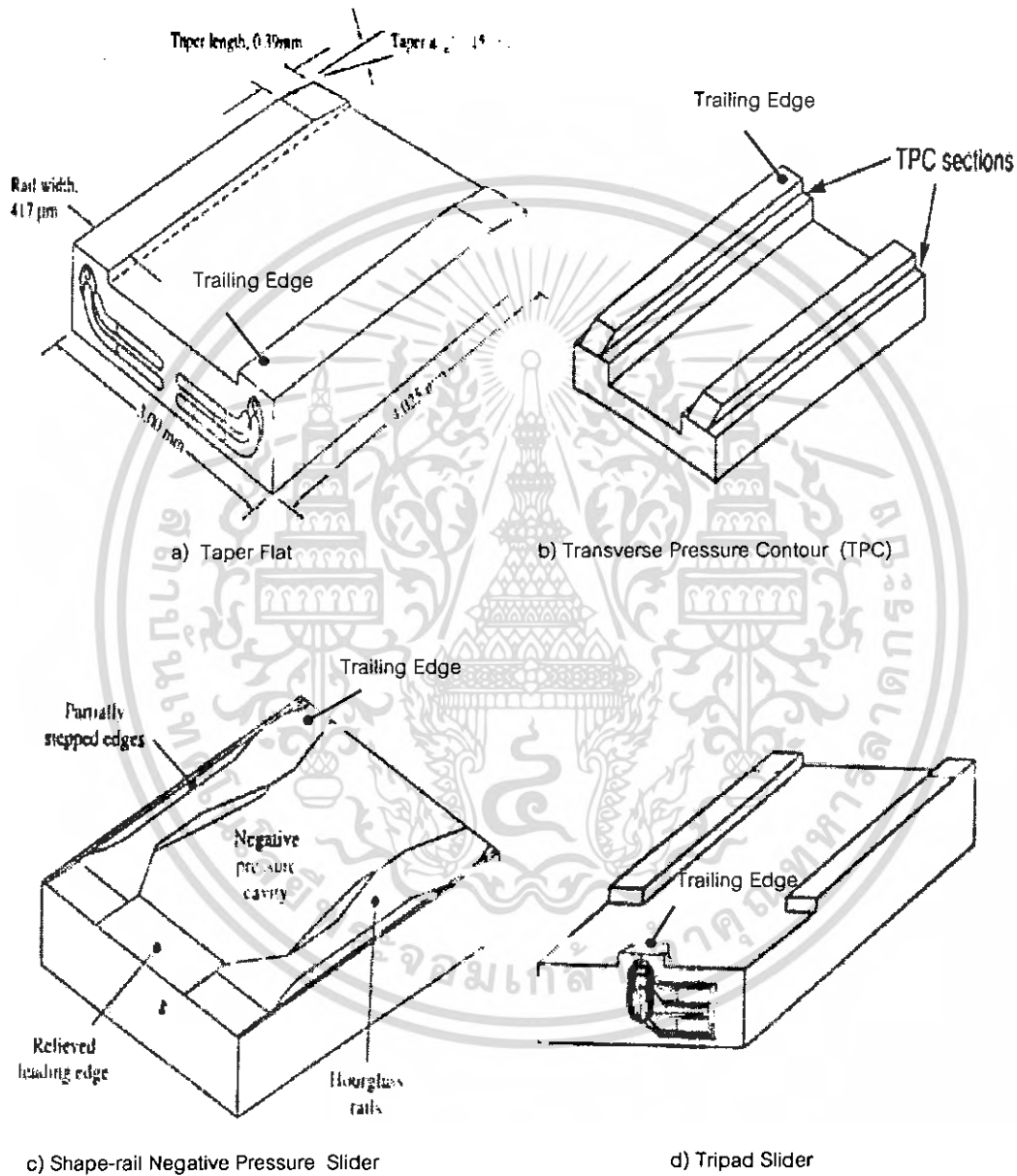
หัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้ามีการพัฒนาในหลายรูปแบบเพื่อจุดมุ่งหมายต่าง ๆ กัน เช่นการลอยตัวออกจากผิวดิสก์ได้เร็วในขณะเริ่มทำงาน , มีการเปลี่ยนแปลงความสูงการลอยตัวน้อย , มีความเสถียรในขณะทำงาน แต่จุดมุ่งหมายหลักคือการลดระยะห่างระหว่างหัวอ่านและผิวดิสก์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูล ในที่นี้จะแสดงภาพหัวอ่านบางประเภทที่มีลักษณะต่าง ๆ กัน ประกอบด้วย เทเปอร์แฟลต ( Taper Flat Slider ) , ทรานส์เวอร์ส เพรสเชอร์ (Transverse Pressure Contour Slider ) , หัวอ่านที่มีความดันต่ำกว่าบรรยากาศ (Shape-rail Negative Pressure Slider ) , หัวอ่านชนิดสามราง ( Tripad Slider)

หัวอ่านเทเปอร์แฟลตพัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับการรองพื้นแบบฟิล์มบางในปี ค.ศ. 1979 เริ่มมีการใช้วัสดุเซมิคอนดักเตอร์แทนการใช้คอลย์ หัวอ่านทำจากไททานเนียมไนไตรด์และอะลูมิเนียมออกไซด์ ด้านหน้าของหัวอ่านจะมีลักษณะลาดเอียง รางของหัวอ่านจะมีลักษณะเป็นรางตรงเพื่อให้เกิดแรงยก

หัวอ่านทรานส์เวอร์สเพรสเชอร์ ลักษณะคล้ายหัวอ่านชนิดเทเปอร์แฟลตแต่จะมีร่องที่ขอบด้านนอกและด้านในของหัวอ่าน ความดันที่เกิดขึ้นที่รางของหัวอ่านจะมีค่าความดันต่ำกว่าบรรยากาศในกรณีที่หัวอ่านทำมุมกับการเคลื่อนที่ของผิวดิสก์

หัวอ่านที่มีความดันต่ำกว่าบรรยากาศ มีการออกแบบพื้นผิวและรางของหัวอ่านหลายรูปแบบเพื่อทำให้เกิดค่าความดันที่มีค่าต่ำกว่าบรรยากาศทำให้หัวอ่านมีการเปลี่ยนแปลงความสูงการลอยตัวน้อยเมื่อดิสก์มีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว

หัวอ่านชนิดสามราง ประกอบด้วยรางด้านข้างหัวอ่านสองรางและ รางสั้นๆ (Pad) ที่ขอบท้ายของหัวอ่าน แรงยกที่เกิดขึ้นจะเกิดจากขอบด้านหน้าของรางหัวอ่าน พื้นที่บริเวณขอบท้ายของหัวอ่านมีขนาดเล็กจึงทำให้มีความสูงการลอยตัวต่ำกว่าหัวอ่านชนิดเทเปอร์เฟลต



**รูปที่ 2.16** ลักษณะของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าแบบต่างๆ

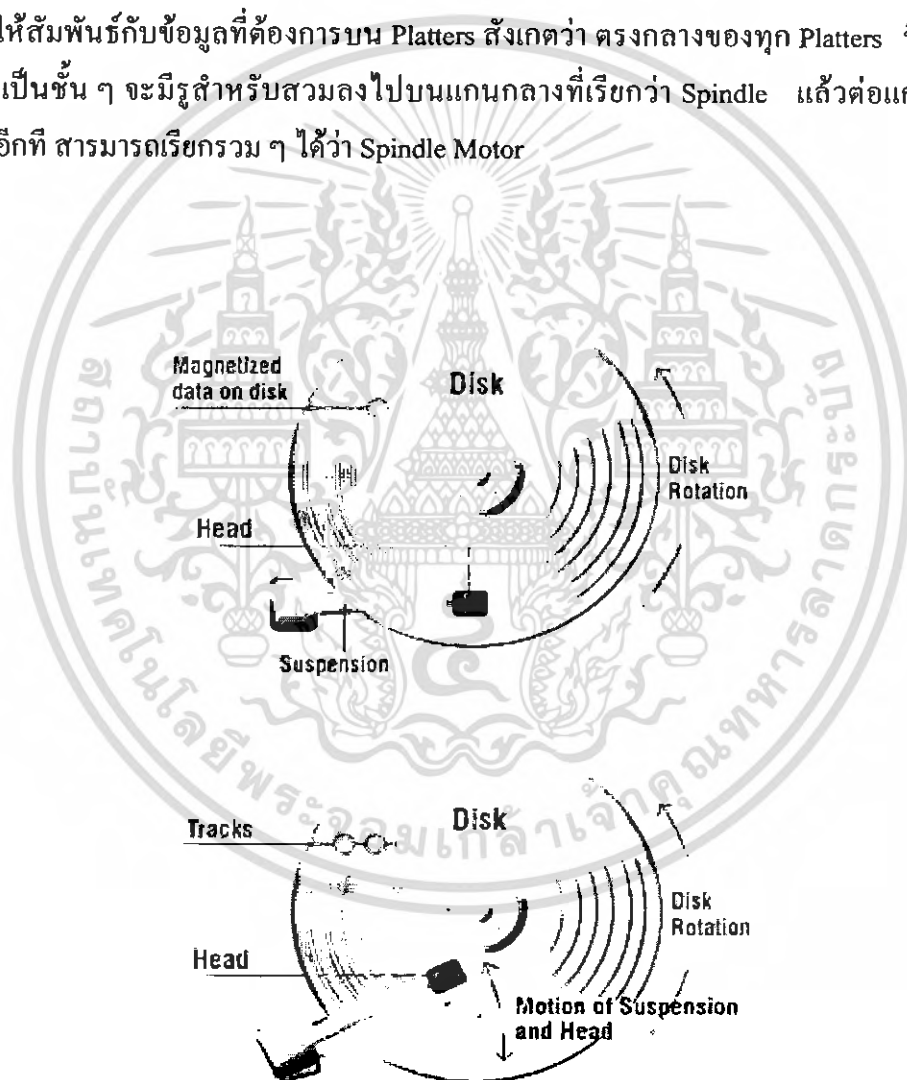
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การทำงานของฮาร์ดดิสก์

เมื่อรู้จัก โครงสร้างและหน้าที่ของส่วนประกอบต่าง ๆ กันไปแล้วคราวนี้มาดูการทำงานของฮาร์ดดิสก์ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ การอ่าน-เขียนข้อมูลและการส่งผ่านข้อมูล

### 2.4.1 การอ่าน-เขียนข้อมูล

การที่จะทำให้สารแม่เหล็กบน Platters รวมตัวกันเป็น Patterns ต่าง ๆ ได้นั้นต้องอาศัยการทำงานของหัวอ่าน ซึ่งเป็นอุปกรณ์พิเศษที่สามารถเขียนหรืออ่านข้อมูลที่มีลักษณะเป็นการรวมตัวของสารแม่เหล็กนี้ได้ หัวอ่านจะถูกยึดติดกับ Actuators ซึ่งเป็นเหมือนศูนย์ควบคุมตำแหน่งของหัวอ่านให้สัมพันธ์กับข้อมูลที่ต้องการบน Platters สังเกตว่า ตรงกลางของทุก Platters ที่วางเรียงซ้อนกันเป็นชั้น ๆ จะมีรูสำหรับสวมลงไปบนแกนกลางที่เรียกว่า Spindle แล้วต่อแกนเข้ากับมอเตอร์อีกที สามารถเรียกรวม ๆ ได้ว่า Spindle Motor



รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะการทำงานของฮาร์ดดิสก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการคือ เมื่อมอเตอร์ถูกสั่งให้หมุนแกน Spindle ก็จะหมุนตาม แล้วแผ่น Platters ทั้งหมดก็จะหมุนตามไปด้วย ในขณะที่เดียวกัน Actuators ก็จะเคลื่อนหัวอ่านในลักษณะสายไปมาด้วยความแม่นยำ เพื่อไปยังตำแหน่งที่ต้องการอ่าน-เขียนข้อมูลตามคำสั่ง

เมื่อมีคำสั่งให้เขียนข้อมูล หัวอ่านจะรับกระแสไฟฟ้าจากตัวไดรว์ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่ตัวมันเอง สนามแม่เหล็กนี้จะเหนี่ยวนำให้สารแม่เหล็กบน Platters บริเวณที่หัวอ่านอยู่นั้นเกิดขั้วบวกขั้วลบเรียงกันขึ้นมาเป็น Platters หรือรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลตามที่ได้อ้างถึงมาแล้ว ส่วนการอ่านข้อมูลใช้วิธีเคลื่อนหัวอ่านผ่านส่วนที่มีข้อมูลที่ต้องการบน Platters ที่อ่านย้อนกลับมาได้นี้ มาแปลงกลับเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าส่งกลับไปยังอุปกรณ์อื่น ๆ ต่อไป

ในการอ่านหรือเขียนข้อมูลลงบนจานดิสก์ หัวอ่าน ไม่ได้อ่านหรือเขียน โดยการสัมผัสกับจานดิสก์โดยตรง แต่จะใช้หลักการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในการจัดเก็บข้อมูลแทน โดยหัวอ่านจะยึดลอยด้วยแรงลมที่เกิดจากการหมุนของ Platters ด้วยความเร็วสูง

#### 2.4.2 การส่งผ่านข้อมูลของฮาร์ดดิสก์

การส่งผ่านข้อมูล (Data Transfer) ของฮาร์ดดิสก์จะแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ การส่งผ่านข้อมูลภายใน และการส่งผ่านข้อมูลภายนอก ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### 2.4.3 การส่งผ่านข้อมูลภายใน

หมายถึงการส่งผ่านข้อมูลภายในฮาร์ดดิสก์ โดยจะเป็นการส่งข้อมูลจากหัวอ่านไปยังแคช (Cache) ซึ่งเป็นหน่วยความจำที่ใช้สำหรับพักข้อมูลชั่วคราวก่อนที่จะส่งออกไปยังระบบผ่านทางสายสัญญาณ ซึ่งอัตราการส่งผ่านข้อมูลภายใน (Internal transfer Rate) หรือปริมาณข้อมูลที่สามารถส่งผ่านได้ต่อช่วงเวลาหนึ่ง จะมีหน่วยเป็น Mbytes/sec

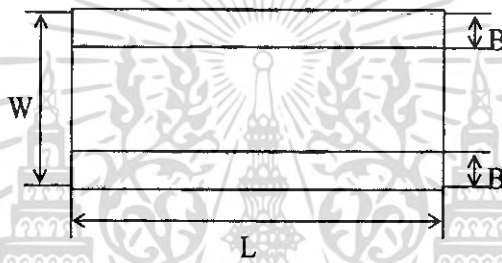
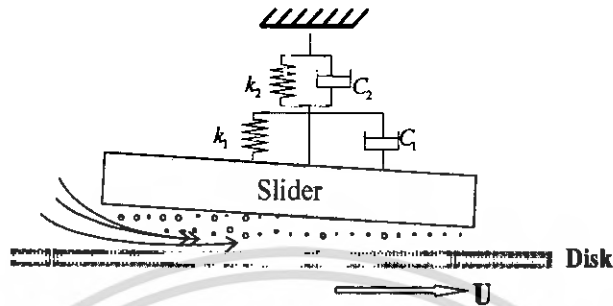
#### 2.4.4 การส่งผ่านข้อมูลภายนอก

หมายถึงการส่งข้อมูลจากระบบมายังดิสก์ (การเขียนข้อมูลลงฮาร์ดดิสก์) หรือจากฮาร์ดดิสก์ไปยังระบบ (การอ่านข้อมูลจากฮาร์ดดิสก์) ด้วยเหตุนี้ จึงเรียกว่าอัตราการส่งผ่านข้อมูล (Data Transfer Rate) ขนาดของข้อมูลที่ฮาร์ดดิสก์สามารถส่งไปยังหน่วยได้ในหนึ่งวินาที มีหน่วยเป็น Mbytes/sec (ความเร็วจะต่ำกว่าอัตราการส่งผ่านข้อมูลภายใน) เช่น 66 Mbytes/sec, 100Mbytes/sec และ 133 Mbytes/sec เป็นต้น ฮาร์ดดิสก์ที่มีอัตราการส่งผ่านข้อมูลสูงกว่าก็จะมีความเร็วในการส่งข้อมูลที่มากกว่า (ในกรณีความเร็วในการหมุนจานแม่เหล็กเท่ากัน) โดยฮาร์ดดิสก์แบบ EDIE มีอัตราในการส่งผ่านข้อมูลสูงสุดอยู่ที่ 100-133 Mbytes/sec ในแบบ UDMA/100 ส่วนฮาร์ดดิสก์แบบ SCSI มีอัตราสูงสุดที่ 160 Mbytes/sec ในแบบ Ultra 3 SCSI

อัตราส่งผ่านข้อมูลทั้งสองแบบที่กล่าวมาถือเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการทำงานของฮาร์ดดิสก์ที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่ง

### บทที่ 3

## ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 3.1 แสดงรูปหัวอ่านชนิดแบน (Flat slider)

ความสำคัญในด้านของการพัฒนาของระบบจัดเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า นั้น สิ่งสำคัญอย่างแรกคือการพัฒนาในด้านการอ่านเขียนข้อมูลซึ่งให้อยู่ใกล้กับแผ่นงานให้ได้มากที่สุด โดยส่วนที่อ่านเขียนข้อมูลนี้จะถูกรองรับโดยฟิล์มอากาศซึ่งบางมาก อย่างที่สองคือพัฒนาทางด้านส่วนที่เป็นอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้สารชนิดที่ทำให้ตำแหน่งของหัวอ่านอยู่ใกล้กับแผ่นงานได้โดยไม่เกิดการสึกหรอ ตัวแปรที่สำคัญที่สุดในระบบจัดเก็บข้อมูลคือความสูงระหว่างชิ้นส่วนที่บันทึกกับชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่เขียนอ่านข้อมูลซึ่งตัวแปรนี้มีผลต่อการเก็บข้อมูลมาก

หัวอ่านที่ทำออกมาขายเป็นธุรกิจครั้งแรกนั้นทำในปี พ.ศ. 2500 โดยหัวอ่านชนิดนี้จะใช้อากาศกั้นไว้ ซึ่งมีระยะความสูงระหว่างส่วนที่เป็นไฟฟ้ากับคิสต์ประมาณ 20 ไมโครเมตร (Harkeret al: 1981) และในปี 2505 ได้เกิดแนวความคิดใหม่คือมีการใช้ทฤษฎีการหล่อลื่นด้วยอากาศ

### 3.1 ทฤษฎีการหล่อลื่น

วัตถุประสงค์ของการหล่อลื่นคือเพื่อลดแรงเสียดทาน ป้องกันการสึกหรอ และลดอุณหภูมิขึ้นส่วนค่า ๆ ของเครื่องจักรกลที่มีการเคลื่อนไหวสัมผัสซึ่งกันและกัน โดยทั่วไปรูปแบบของการหล่อลื่นจะแบ่งออกตามระดับของการแยกพื้นผิวที่สัมผัสกัน ได้ 5 ประเภท คือ

#### 1 การหล่อลื่นแบบไฮโดนามิกส์ (Hydrodynamics)

หมายถึงการหล่อลื่นที่พื้นผิวสัมผัสที่รับโหลดของแบร์ริงถูกแยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์โดยชั้นของสารหล่อลื่น เพื่อที่จะป้องกันไม่ให้พื้นผิวเกิดการสัมผัสกันโดยตรง ดังนั้นเสถียรภาพของสารหล่อลื่นจะอธิบายได้โดยหลักวิชากลศาสตร์ของไหล การหล่อลื่นแบบไฮโดนามิกส์จะไม่ขึ้นอยู่กับกำลังดันของสารหล่อลื่น แต่จะมีสารหล่อลื่นไหลผ่านตลอดเวลา

#### 2 การหล่อลื่นแบบไฮโดรสแตติก (Hydrostatics)

เป็นการหล่อลื่นที่เกิดจากการอัดกำลังดันให้กับสารหล่อลื่น ซึ่งอาจจะเป็นการอัดอากาศหรือน้ำ และส่งผ่านเข้าไปยังพื้นที่ที่จะทำการหล่อลื่น โดยให้กำลังดันเพียงพอที่จะแยกให้พื้นผิวของชิ้นงานไม่เกิดการสัมผัสกันโดยตรง

#### 3 การหล่อลื่นแบบอีลาสโตไฮโดรไดนามิกส์ (Elastohydrodynamics)

การหล่อลื่นแบบอีลาสโตไฮโดรไดนามิกส์เป็นซับเซตของการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกส์ ซึ่งเกิดการเปลี่ยนรูปแบบอีลาสติกของของแข็งเข้ามามีบทบาทในการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกส์ ความหนาของฟิล์มของการหล่อลื่นแบบอีลาสโตไฮโดรไดนามิกส์ประมาณ  $0.5 - 5 \mu\text{m}$  ซึ่งบางกว่าการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกส์

#### 4 การหล่อลื่นแบบบาวน์คาร์รี (Boundary)

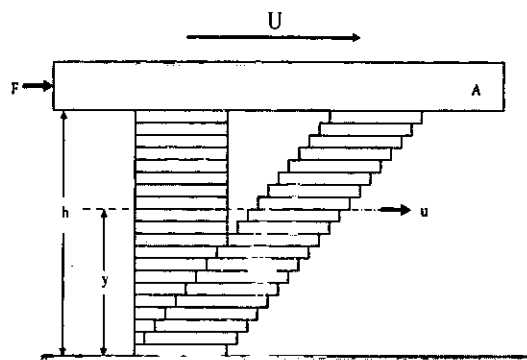
ในกรณีพื้นผิวสัมผัสเสียดมากจนทำให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของสารหล่อลื่นที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของชิ้นงานที่เคลื่อนที่ลดลงจะส่งผลให้ปริมาณของสารหล่อลื่น ไม่เพียงพอที่จะแยกชิ้นงานที่สัมผัสกัน ออกจากกัน ได้อย่างสมบูรณ์ โดยการหล่อลื่นแบบบาวน์คาร์รีมักจะเกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวสัมผัสเริ่มที่จะเข้ามาใกล้กัน

#### 5 การหล่อลื่นที่ใช้สารหล่อลื่นเป็นของแข็ง (Solid Film)

การหล่อลื่นประเภทนี้จะใช้เมื่อแบร์ริงจะต้องทำงานที่อุณหภูมิสูงมาก ๆ จึงจำเป็นต้องใช้ของแข็งเป็นสารหล่อลื่น

แบร์ริงแก๊สมีข้อได้เปรียบในการนำไปใช้งานหลายอย่าง แบร์ริงแก๊สถูกวิเคราะห์เสมือนเป็นแบร์ริงหล่อลื่นด้วยน้ำมันแบบไฮโดรไดนามิกส์ซึ่งห่างไกลจากของไหลอัดตัวได้ ยิ่งไปกว่านี้อากาศมีความหนืดต่ำกว่า 1,000 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันที่มีความหนืดต่ำสุด ความต้านทานแรงเฉือนของอากาศน้อยกว่าน้ำมันมาก อย่างไรก็ตามระยะระหว่างผิวแบร์ริงหรือฟิล์มสารหล่อลื่นจะน้อยกว่าน้ำมันมากดังนั้นในการผลิตแบร์ริงแก๊สต้องใช้ความละเอียดเป็นพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของของไหล

### 3.1.1 ความหนืด (Viscosity)

ในรูปที่ 3.2 กำหนดให้แผ่น A เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $U$  บนชั้นของสารหล่อลื่นหนา  $h$  ถ้าสมมุติว่าชั้นของสารหล่อลื่นประกอบด้วยชั้นย่อย ๆ หลาย ๆ ชั้นในแนวระดับ และแรงกระทำ  $F$  ทำให้ชั้นย่อย ๆ ของสารหล่อลื่นนี้ไถลออกจากกันและกันเหมือนการกลิ้งไฟบนโต๊ะ ถ้าชั้นที่ติดอยู่กับแผ่น A เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $U$  และชั้นล่างสุดที่ติดกับพื้นผิวซึ่งอยู่กับที่ที่มีความเร็วเท่ากับศูนย์ กฎความหนืดของนิวตันกล่าวว่า ความเค้นเฉือนในของไหลจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการไหลเมื่อเทียบกับระยะ  $y$  นั่นคือ

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (3.1)$$

เมื่อ  $\mu$  คือค่าคงที่ของสัดส่วนที่เรียกว่า “ความหนืดสมบูรณ์ (Absolute viscosity) หรือความหนืดพลวัต (Dynamic viscosity)” อัตราส่วน  $du/dy$  คืออัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วเทียบกับระยะที่เรียกว่า “อัตราการเฉือน (Rate of shear)” ดังนั้น ค่าความหนืด  $\mu$  จึงเป็นตัววัดความเสียดทานภายในของของไหล ถ้าอัตราการเฉือนมีค่าคงที่จะได้  $du/dy = U/h$  และสมการที่ (3.1) จะกลายเป็น

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{U}{h} \quad (3.2)$$

จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่าหน่วยของความหนืด  $\mu$  น่าจะเป็นหน่วยของความเค้นเฉือนหรือความดันคูณด้วยเวลานั่นคือ ในระบบอังกฤษความหนืดจะเป็น  $lb.s/in^2$  หรือ reyn และในหน่วย SI คือ  $N.s/m^2$  หรือ  $Pa.s$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 ข้อได้เปรียบของเบริงเก็ต

1. ความเสียดทานหรือความต้านทานแรงเฉือนน้อยมาก
2. สารหล่อลื่นมีปริมาณ ไม่จำกัดและสะอาด
3. สารหล่อลื่น ไม่เกาะติดพื้นผิว
4. สารหล่อลื่นทำงาน ได้ดีแม้อุณหภูมิต่ำมากหรือสูงมาก
5. สารหล่อลื่น ไม่ขุ่นตัวเพราะฟองอากาศหรือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกระทันหัน

### ข้อด้อยของเบริงเก็ต

1. สำหรับเบริงขนาดเดียวกัน ความสามารถในการรับภาระของเบริงเก็ตจะน้อยกว่าเบริงน้ำมันหลายเท่า
2. พื้นผิวต้องมีความเรียบมาก
3. การวางตำแหน่งต้องดี
4. ขนาดและระยะห่างต้องมีความถูกต้องสูง
5. ความเร็วที่ใช้ต้องสูง
6. ภาระกระทำต้องต่ำ
7. ความเสถียรภาพของเบริงเก็ตค่อนข้างต่ำ

สำหรับการวิเคราะห์ทางทฤษฎีของการอินเทอร์เฟสกันระหว่างหัวอ่านกับดิสก์จะใช้ทฤษฎีการหล่อลื่นด้วยกันสองแบบ นั่นก็คือเมื่อมีการเคลื่อนที่ระหว่างผิวสัมผัสโดยมีฟิล์มสารหล่อลื่นที่บางจะมีกระบวนการเกิดขึ้นสองแบบ คือ กระบวนการแรกมีการสัมผัสกันของชิ้นส่วนที่ไม่ต่อเนื่องหรือขรุขระซึ่งอาจจะทำให้เกิดการสึกหรอการหล่อลื่นแบบนี้เรียกว่า การหล่อลื่นแบบบาวนด์คาร์ี (Boundary) กระบวนการที่สองคือ ไม่มีการสัมผัสกันและแรงระหว่างผิวเกิดจากฟิล์มหล่อลื่น ซึ่งในกรณีนี้คุณสมบัติของสารหล่อลื่นจะมีความสำคัญมากกว่าคุณสมบัติของผิวที่สัมผัส การหล่อลื่นแบบนี้เรียกว่า การหล่อลื่นแบบไฮโดรสแตตแบบไฮโดนามิกส์ (Hydrodynamics) เพื่อหลีกเลี่ยงการสึกหรอขณะที่หัวอ่านอินเทอร์เฟสกับสื่อบันทึก โดยหลังจากที่เริ่มทำการอ่านหรือบันทึกข้อมูลฟิล์มอากาศหล่อลื่นจำนวนมากจะถูกสร้างขึ้นด้วยความเร็วของการเคลื่อน ไถลของที่ค้ำหนึ่ง โพรไฟล์ความหนาของฟิล์มอากาศจะก่อตัวขึ้นเนื่องจากการหล่อลื่นแบบไฮโดนามิกส์ (Hydrodynamics) โดยความดันของอากาศที่เกิดขึ้นจะต้องสมดุลกับแรงกระทำจากภายนอกที่ป้อนลงหัวอ่านในขณะที่อินเทอร์เฟสกับสื่อบันทึก

ปัจจุบันการออกแบบและพัฒนาหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อเพิ่มความสามารถในการบันทึกข้อมูล รวมทั้งเก็บข้อมูลให้ได้ปริมาณมาก จึงจำเป็นต้องพยายามให้หัวอ่านมีระยะห่างจากสื่อบันทึกน้อยๆ โดยอาศัยฟิล์มอากาศบางๆ ในการหล่อลื่นฟิล์มอากาศนี้จะต้องมีความหนาเพียงพอที่จะทำให้หัวอ่านลอยตัวแยกห่างจากสื่อบันทึก โดยไม่เกิดการสัมผัสกันเพื่อป้องกันแรงกระทำซึ่งกันและกันระหว่างหัวอ่านกับสื่อบันทึกที่มีมากเกินไปภายใต้ทุกสภาพการทำงาน ฟิล์มอากาศที่หล่อลื่นจะต้องบางเพียงพอที่ทำให้เกิดสัญญาณการบันทึกขนาดใหญ่เพียงพอด้วย

ในการวิเคราะห์ทางทฤษฎีของการอินเทอร์เฟสกันระหว่างหัวอ่านและดิสก์เพื่อให้ได้ความสูงนั้นต้องใช้ทฤษฎี การหล่อลื่นแบบไฮโดนามิกส์ (Hydrodynamics) หรือทฤษฎีการหล่อลื่นด้วยก๊าซ ในการวิเคราะห์นี้ต้องใช้ สมการเรย์โนลด์เป็นสมการพื้นฐานซึ่งเป็นการดิฟเฟอเรนเชียลที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความสูงของฟิล์มหล่อลื่น

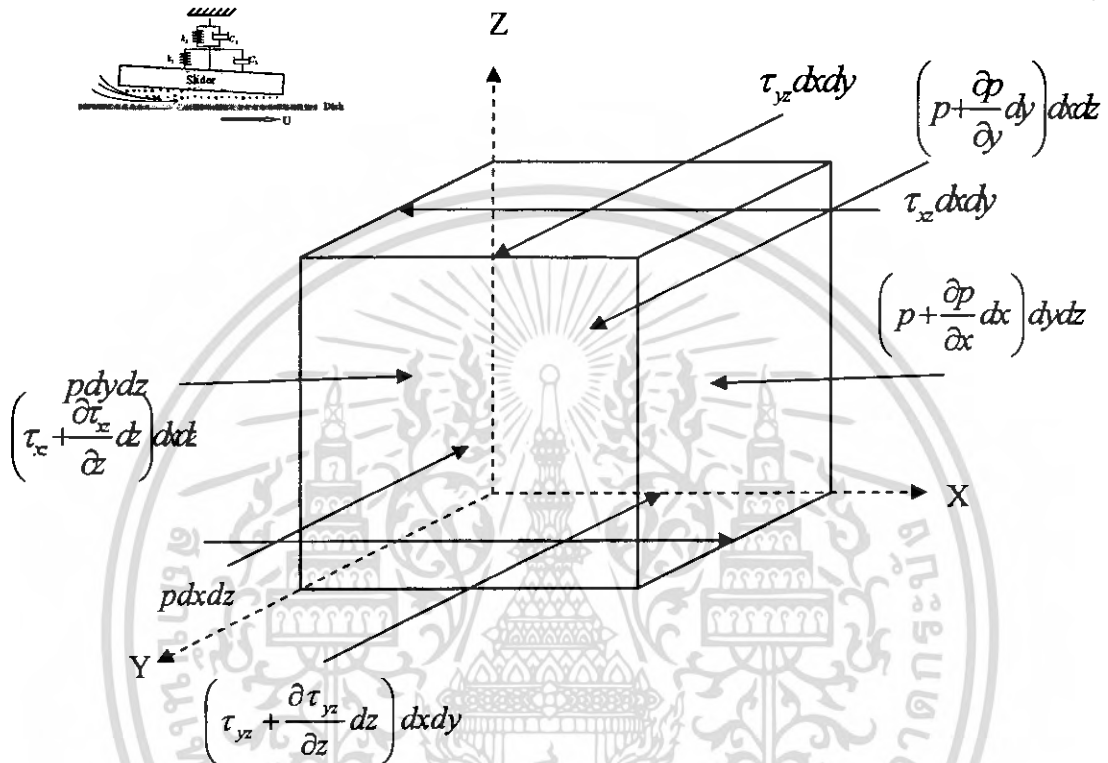
### 3.2 สมการเรย์โนลด์ (Reynolds Equation)

ทฤษฎีวิเคราะห์การหล่อลื่น โดยสมการที่ครอบคลุมเกี่ยวกับการสร้างความดันของฟิล์มหล่อลื่นที่รู้จักกันดีคือ สมการเรย์โนลด์ เป็นสมการการหล่อลื่นที่มาจากสมการการต่อเนื่อง และสมการโมเมนตัม โดยมีข้อสมมติฐานดังต่อไปนี้

1. ไม่คิดแรงภายนอกที่กระทำต่อสารหล่อลื่น เช่น ไม่คิดแรงเนื่องจากน้ำหนักของสารหล่อลื่นแรงแม่เหล็กไฟฟ้า
2. แรงดันที่เกิดขึ้นในของไหลหรือสารหล่อลื่นจะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามแกนความหนาของ ๆ ไหล ซึ่งหมายความว่าฟิล์มของสารหล่อลื่นนั้นบางมาก
3. ความหนาของฟิล์มของไหลเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดต่าง ๆ ของหัวอ่านมีค่าน้อยกว่ามาก
4. ไม่เกิดการลื่นไถลของสารหล่อลื่นในกาบรองลื่น ดังนั้นสารหล่อลื่นที่แตะจับผิวกาบรองลื่นหรือแผ่นจานดิสก์ จะมีความเร็วเท่ากับกาบรองลื่นหรือแผ่นจานดิสก์
5. สารหล่อลื่นมีคุณสมบัติเป็นของไหลนิวโตเนียน (Newtonian fluid)
6. การไหลของสารหล่อลื่นเป็นการไหลอย่างเป็นระเบียบซึ่งเรียกการไหลแบบลามินาร์ (Laminar)
7. ไม่คิดแรงเฉื่อยของสารหล่อลื่น เนื่องจากฟิล์มสารหล่อลื่นบางมาก
8. ความหนืดของสารหล่อลื่นมีค่าคงที่ ไม่แปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิหรือความดัน

### 3.2.1 กฎอนุรักษ์โมเมนตัมของระบบ

พิจารณารูปที่ 3.3 ซึ่งมี แรงที่กระทำต่อกระทำต่อเอลิเมนต์ของไหลอยู่ 2 ประเภท คือ แรงพื้นผิวจากทั้งความเค้นตั้งฉากและแรงเนื่องจากความเค้นเฉือน



รูปที่ 3.3 แสดงแรงทั้งหมดที่กระทำกับเอลิเมนต์รูปลูกบาศก์ขนาด  $dx$   $dy$  และ  $dz$

จากรูปที่ 3.3 ทำการสมดุลตามแนวแกน X จะได้

$$\Sigma F_x = p dy dz + \left( \tau_x + \frac{\partial \tau_x}{\partial z} dz \right) dx dy - \left( p + \frac{\partial p}{\partial x} dx \right) dy dz - \tau_x dx dy = 0 \quad (3.3)$$

ซึ่งจะลดรูปได้เป็น

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial \tau_x}{\partial z} \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมดุลตามแนวแกน Y

$$\Sigma F_y = \left( p + \frac{\partial p}{\partial y} dy \right) dx dz + \tau_{yz} dx dy - p dx dz - \left( \tau_{yz} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} dz \right) dx dy = 0 \quad (3.5)$$

ซึ่งจะลดรูปได้เป็น  $\frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z}$  (3.6)

จากสมการความเค้นเฉือนนิวตัน

$$\tau_{xz} = \mu \frac{\partial u}{\partial z} \quad (3.7)$$

$$\tau_{yz} = \mu \frac{\partial v}{\partial z} \quad (3.8)$$

แทนสมการที่ (3.7) และ (3.8) ลงในสมการที่ (3.4) และ (3.6) ตามลำดับ

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (3.9)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \quad (3.10)$$

อินทิเกรตสมการที่ (3.9) และ (3.10) สองครั้งเทียบกับ Z จะได้

$$u = \frac{1}{2\mu} \frac{dp}{dx} z^2 + c_1 z + c_2 \quad (3.11)$$

$$v = \frac{1}{2\mu} \frac{dp}{dy} z^2 + c_1 z + c_2 \quad (3.12)$$

เมื่อ  $c_1$  และ  $c_2$  เป็นค่าคงที่ และสมมติว่าไม่มีการลื่นไถลของสารหล่อลื่นบนพื้นผิวของชั้นสารหล่อลื่นจะได้เงื่อนไขของค่าคงที่  $c_1$  และ  $c_2$  คือ

$$\text{ที่ } z = 0, u = U_2, v = V_2$$

$$\text{ที่ } z = h, u = U_1, v = V_1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะได้

$$u = \frac{1}{2\mu} \frac{dp}{dx} (z^2 - hz) + (U_1 - U_2) \frac{z}{h} + U_2 \quad (3.13)$$

$$v = \frac{1}{2\mu} \frac{dp}{dy} (z^2 - hz) + (V_1 - V_2) \frac{z}{h} + V_2 \quad (3.14)$$

อัตราการไหลของสารหล่อลื่นตามแนวแกน X;  $q_x$

$$q_x = \int_0^h u dz \quad (3.15)$$

อัตราการไหลของสารหล่อลื่นตามแนวแกน Y;  $q_y$

$$q_y = \int_0^h v dz \quad (3.16)$$

แทนสมการ(3.13) ลงใน (3.15) จะได้

$$q_x = \frac{1}{2\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \int_0^h (z^2 - hz) dz + \left( \frac{U_1 - U_2}{h} \right) \int_0^h z dz + U_2 \int_0^h dz$$

จะได้

$$q_x = \frac{-h^3}{12\mu} \frac{\partial p}{\partial x} + (U_1 + U_2) \frac{h}{2} \quad (3.17)$$

และแทนสมการ(3.14) ลงใน (3.16) จะได้

$$q_y = \frac{1}{2\mu} \frac{\partial p}{\partial y} \int_0^h (z^2 - hz) dz + \left( \frac{V_1 - V_2}{h} \right) \int_0^h z dz + V_2 \int_0^h dz$$

จะได้

$$q_y = \frac{-h^3}{12\mu} \frac{\partial p}{\partial y} + (V_1 + V_2) \frac{h}{2} \quad (3.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 กฎการอนุรักษ์มวลของระบบ

การหาคุณสมบัติที่แต่ละด้านของพื้นผิวเอลิเมนต์รูปลูกบาศก์ ทำได้โดยการกระจายอนุกรมเทเลอร์ของคุณสมบัตินั้น ๆ รอบจุดศูนย์กลางเอลิเมนต์

คั้งนั้นอัตราการผ่านเข้าแนวแกน X

$$\rho u dydz + \frac{1}{2} \left[ u \frac{\partial \rho}{\partial x} + \rho \frac{\partial u}{\partial x} \right] dx dy dz$$

อัตราการผ่านออกแนวแกน X

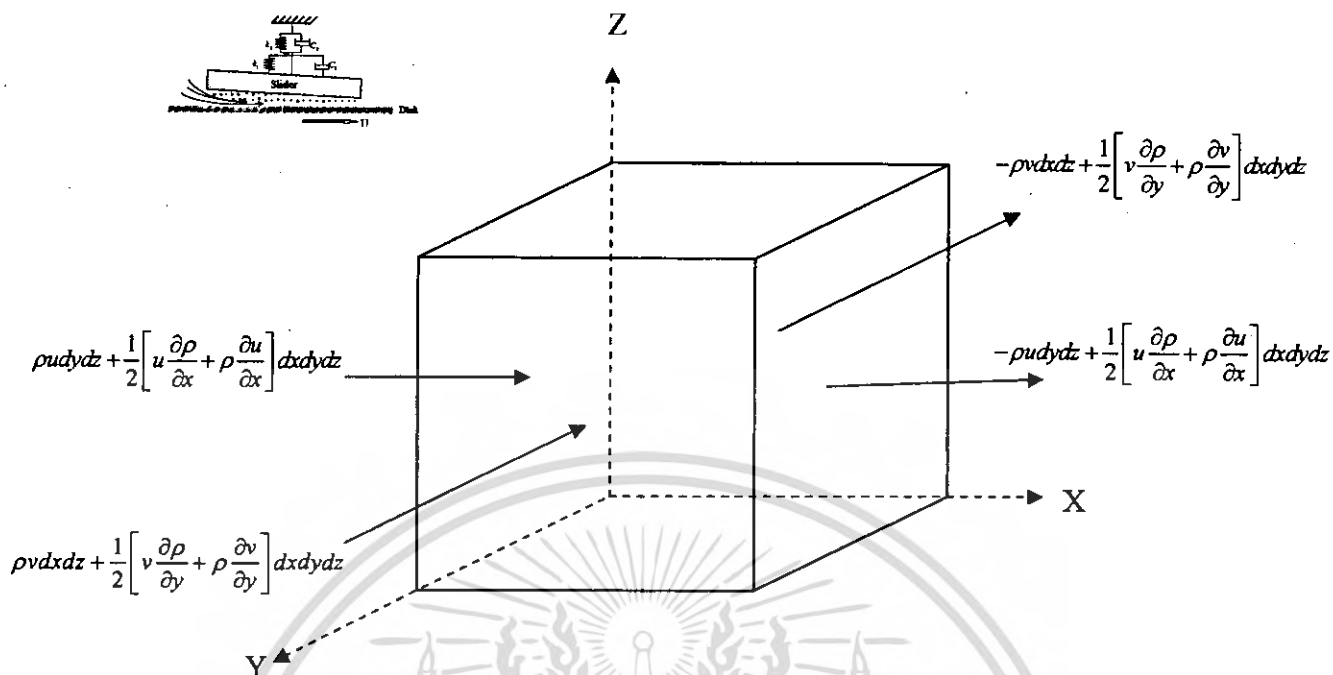
$$-\rho u dydz + \frac{1}{2} \left[ u \frac{\partial \rho}{\partial x} + \rho \frac{\partial u}{\partial x} \right] dx dy dz$$

อัตราการผ่านเข้าแนวแกน Y

$$\rho v dx dz + \frac{1}{2} \left[ v \frac{\partial \rho}{\partial y} + \rho \frac{\partial v}{\partial y} \right] dx dy dz$$

อัตราการผ่านออกแนวแกน Y

$$-\rho v dx dz + \frac{1}{2} \left[ v \frac{\partial \rho}{\partial y} + \rho \frac{\partial v}{\partial y} \right] dx dy dz$$



รูปที่ 3.4 การสมดุลมวลในอีเลเมนต์รูปลูกบาศก์ขนาด  $dx$   $dy$  และ  $dz$

อัตราการผ่านเข้าออกสุทธิของมวลในรูปลูกบาศก์

$$\int_{cs} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} = \rho u dy dz + \frac{1}{2} \left[ u \frac{\partial \rho}{\partial x} + \rho \frac{\partial u}{\partial x} \right] dx dy dz - \rho u dy dz + \frac{1}{2} \left[ u \frac{\partial \rho}{\partial x} + \rho \frac{\partial u}{\partial x} \right] dx dy dz$$

$$+ \rho v dx dz + \frac{1}{2} \left[ v \frac{\partial \rho}{\partial y} + \rho \frac{\partial v}{\partial y} \right] dx dy dz - \rho v dx dz + \frac{1}{2} \left[ v \frac{\partial \rho}{\partial y} + \rho \frac{\partial v}{\partial y} \right] dx dy dz \quad (3.19)$$

$$= \left[ \left( u \frac{\partial \rho}{\partial x} + \rho \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \left( v \frac{\partial \rho}{\partial y} + \rho \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right] dx dy dz$$

$$= \left[ \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} \right] dx dy dz \quad (3.20)$$

อัตราการเปลี่ยนแปลงของมวลภายในอีเลเมนต์รูปลูกบาศก์  $\frac{\partial m}{\partial t}$  จะพบว่ามีค่าเท่ากับ

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} dx dy dz \quad (3.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (3.20) และ (3.21) เมื่อแทนค่าลงในสมการกฏทรงมวลทำให้เราได้สมการเชิงอนุพันธ์สำหรับกฏทรงมวลบนระบบแกนตั้งฉาก คือ

$$\frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (3.22)$$

อินทิเกรตสมการที่ (3.22) เทียบแกน Z จะได้

$$\int_0^h \left[ \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial \rho}{\partial t} \right] dz = 0 \quad (3.23)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \rho \int_0^h u dz \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \rho \int_0^h v dz \right) + \frac{\partial(\rho h)}{\partial t} = 0 \quad (3.24)$$

แทนค่าสมการที่ (3.17) และ (3.18) ลงในสมการที่ (3.24) จะได้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( -\frac{\rho h^3}{12\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( (U_1 + U_2) \frac{\rho h}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( -\frac{\rho h^3}{12\mu} \frac{\partial p}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( (V_1 + V_2) \frac{\rho h}{2} \right) + \frac{\partial(\rho h)}{\partial t} = 0 \quad (3.25)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\rho h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\rho h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial y} \right) = 6 \frac{\partial}{\partial x} (U_1 + U_2) \rho h + 6 \frac{\partial}{\partial y} (V_1 + V_2) \rho h + 12 \frac{\partial(\rho h)}{\partial t} \quad (3.26)$$

ตามปกติในการรอลิ้น ผิวการรอลิ้นจะไม่มีเคลื่อนไหลตามแกน Y

ดังนั้น  $V_1 = V_2 = 0$  และให้  $U_1 = 0$  และ  $U_2 = U$

และคิดที่สภาวะการไหลคงที่จะได้

$$12 \frac{\partial(\rho h)}{\partial t} = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสมการที่นำไปใช้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\rho h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\rho h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial y} \right) = 6 \frac{\partial}{\partial x} (\rho U h) \quad (3.27)$$

ถ้าระยะห่างอิสระโดยเฉลี่ยของโมเลกุล (Mean free path of molecules) ใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับความหนาฟิล์มของแก๊ส การไหลของโมเลกุลจะเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม, ถ้าระยะห่างอิสระโดยเฉลี่ยของโมเลกุลมีระยะเท่ากับความหนาของฟิล์มอากาศ แก๊สจะเกิดการไหลไม่ต่อเนื่องของแก๊สจะติดกับผิวของแข็งทันทีทันใดโดยมีความเร็วลื่นไหลสัมพันธ์กับผิวแข็งจำกัด ทำให้เกิดการลดลงของความหนืดของแก๊ส (rarefaction) อัตราส่วนระยะห่างอิสระโดยเฉลี่ยของโมเลกุลต่อความหนาของฟิล์มอากาศคือการวัดระดับขั้นของการลดลงของความหนืด

เลขคูเซ็นนัมเบอร์ (Knudsen number) ค่าพารามิเตอร์การไหลที่ตำแหน่งหนึ่งๆ ถูกนิยามเป็น

$$K = \frac{\lambda}{h} \quad (3.28)$$

ที่ซึ่ง  $\lambda$  เป็นค่าระยะห่างอิสระโดยเฉลี่ยที่ตำแหน่งหนึ่งๆ จุดเปลี่ยนแปลงของเงื่อนไขขอบเขตระหว่างการไหลแบบต่อเนื่อง (Continuum flow), การไหลแบบลื่นไหล (slip flow), และการไหลแบบโมเลกุลอิสระขึ้นกับค่า  $K$  สามารถนิยามโดยประมาณต่อไปนี้ (Hsia และ Domoto, พ.ศ.2526; Gans, พ.ศ.2528; Mitsuya และ Ohkubo, พ.ศ.2530)

การไหลแบบต่อเนื่อง ;  $K < 0.01$

การไหลแบบลื่นไหล ;  $0.01 < K < 3$

การไหลแบบทรานซิชัน ;  $3 < K, K/(Re)^{1/2} < 10$

การไหลแบบโมเลกุลอิสระ ;  $10 < K/(Re)^{1/2}$

ที่ซึ่ง  $Re$  คือ เรโนลด์นัมเบอร์ ถ้าเรานิยามให้ค่า  $Re$  ขึ้นกับความหนาของฟิล์มอากาศสำหรับการบันทึกข้อมูลแม่เหล็กไฟฟ้า,  $\rho U h / \mu, (Re)^{1/2}$  มีค่าเท่ากับ 0.1 เราอ้างว่าปรากฏการณ์ลดลงของความหนืดไม่ได้ขึ้นกับ  $K$  เท่านั้น เพราะว่าปรากฏการณ์เหล่านี้อ่อนไหวเมื่อฟิล์มสารหล่อลื่นรับภาระมาก

ในช่วงการไหลแบบลื่นไหล ซึ่งเป็นการประมาณครั้งแรก การไหลอาจยังคงใช้ทฤษฎีความต่อเนื่องดั้งเดิมแต่ด้วยเงื่อนไขขอบเขตปรับปรุง แทนที่ความเร็วที่ขอบเขตหลักการของความเร็วลื่นไหลถูกนำมาใช้ ในการนิยามเงื่อนไขขอบเขตการไหลแบบลื่นไหลของ Burgdorfer (พ.ศ.2502),

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และต่อมา Hsing และ Malanoski (พ.ศ.2512) แนะนำว่าสมการอาจถูกต้องเมื่อระยะห่างต่ำสุดของแบร์ริงเท่ากับระยะห่างอิสระโดยเฉลี่ยของแก๊ส มันถูกใช้เป็นปรับแก้ระดับหนึ่งต่อสนามความเร็วที่ขอบเขต การวิเคราะห์ทางทฤษฎีเมื่อไม่นานมานี้โดย Gans (พ.ศ.2528) พยายามนิยามสมการเรโนลด์สำหรับการไหลแบบสั่น ไกล จากทฤษฎีจลน์ของแก๊สที่ซึ่งการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเฉลี่ยถูกพิจารณาตามการไหลของมวล ผลลัพธ์ชี้ว่าสมการของ Burgdorfer (พ.ศ.2502) ที่จริงถูกต้องแม้ระยะห่างจะยิ่งน้อย มันถูกยืนยันโดยการทดลองจาก Mitsuya และ Ohkubo (พ.ศ.2530)

จาก Burgdorfer (พ.ศ.2502), ความหนืดที่ตำแหน่งหนึ่งๆ ( $\mu$ ) สัมพันธ์กับความหนืดของอากาศโดยรอบ ( $\mu_a$ )

$$\mu = \frac{\mu_a}{1 + (6a\lambda/h)} \quad (3.29)$$

ที่ซึ่ง  $a$  เป็นสัมประสิทธิ์ปรับแก้พื้นผิวสำหรับ  $\lambda$  ก่อนหน้านี้เราเคยเน้นว่าระยะห่างอิสระโดยเฉลี่ยของโมเลกุลแปรผกผันกับความหนาแน่น  $\rho$  (Kennard, พ.ศ.2481) สำหรับแก๊สสมบูรณ์ภายใต้เงื่อนไขแบบ isothermal

$$p/p_a = \rho/\rho_a = \lambda_a/\lambda \quad (3.30)$$

ที่ซึ่ง  $\lambda_a$  เป็นระยะห่างอิสระโดยเฉลี่ยของโมเลกุลของอากาศโดยรอบ และ  $p_a$  เป็นความดันโดยรอบ ตอนนี้เรานิยามค่าคงที่ของอากาศโดยรอบ

$$K = \lambda_a/h_m \quad (3.31)$$

ที่ซึ่ง  $h_m$  คือ ความหนาฟิล์มอากาศอ้างอิง (โดยปกติคือค่าเฉลี่ยต่ำสุด)

ถ้าระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะได้

$$\frac{p}{\rho} = 1 \quad \text{หรือ} \quad \rho = p$$

แทนลงในสมการที่ (3.27) จะได้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{ph^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{ph^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial y} \right) = 6 \frac{\partial}{\partial x} (pUh) \quad (3.32)$$

จากสมการ (3.29)

$$\mu = \frac{\mu_a}{1 + (6a\lambda/h)} \quad (3.33)$$

สำหรับแก๊สสมบูรณ์ภายใต้สภาวะอุณหภูมิคงที่ คือ

$$\frac{p}{p_a} = \frac{\rho}{\rho_a} = \frac{\lambda_a}{\lambda}$$

จากสมการที่ (3.31)

$$K = \frac{\lambda_a}{h_m}$$

ดังนั้นสมการความหนืดประสิทธิผลจะกลายเป็น

$$\mu = \frac{\mu_a}{1 + (6aKp_a h_m / ph)} \quad (3.34)$$

แทนค่าสมการ (3.34) ลงในสมการ (3.32) จะได้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ ph^3 \left( 1 + \frac{6aKp_a h_m}{ph} \right) \frac{\partial p}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ ph^3 \left( 1 + \frac{6aKp_a h_m}{ph} \right) \frac{\partial p}{\partial y} \right] = 6\mu_a \frac{\partial}{\partial x} (pUh) \quad (3.35)$$

เมื่อทำให้อยู่ในรูปที่ไม่มีหน่วยหรือ ไรมิติ (Nondimensional form) ที่ความเร็วคือไหลคงที่จะได้

$$\frac{\partial}{\partial X} \left[ PH^3 \left( 1 + \frac{6aK}{PH} \right) \frac{\partial P}{\partial X} \right] + \left( \frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left[ PH^3 \left( 1 + \frac{6aK}{PH} \right) \frac{\partial P}{\partial Y} \right] = \Lambda \frac{\partial}{\partial X} (PH) \quad (3.36)$$

เมื่อ  $\Lambda = 6\mu_a UL / p_a h_m^2$

$X = x/L, Y = y/B, H = h/h_m, P = p/p_a, K = \lambda_a/h_m$

สมการ โมดิฟายด์เรย์โนลด์เขียนในรูปทั่วไปได้ดังนี้คือ

$$\frac{\partial}{\partial X} \left[ PH^3 \left( 1 + \frac{6aK}{PH} \right) \frac{\partial P}{\partial X} \right] + \left( \frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left[ PH^3 \left( 1 + \frac{6aK}{PH} \right) \frac{\partial P}{\partial Y} \right] - \Lambda \frac{\partial}{\partial X} (PH) = 0 \quad (3.37)$$

$H$  คือ ค่าความหนาของฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งนั้น ๆ ( $h/h_m$ )

$\Lambda$  คือ ค่าตัวเลขการรองรับ (Bearing number) ( $6\mu_0 UL / p_a h_m^2$ )

$K$  คือ ค่าเลขนูดเซนัมเบอร์ (Knudsen number) ( $\lambda_a / h_m$ )

$\mu_0$  คือ ค่าความหนืดสมบูรณ์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ

$\lambda_a$  คือ ระยะเส้นทางการเคลื่อนที่อิสระโดยเฉลี่ยของโมเลกุลอากาศที่ความดันบรรยากาศ

$p_a$  คือ ความดันบรรยากาศ

$h_m$  คือ ความหนาฟิล์มอ้างอิง (โดยปกติมีค่าเฉลี่ยความหนาฟิล์มต่ำสุด)

### 3.3 ทฤษฎีไฟฟนดัลเฟอเรนซ์

#### 3.3.1 วิธีไฟฟนดัลเฟอเรนซ์

เมื่อสมการเชิงอนุพันธ์ไม่สามารถทำการอินทิเกรตในรูป Close form ได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องนำเอาวิธีเชิงตัวเลขมาใช้ในการคำนวณ ซึ่งในการคำนวณหาสมการเรย์โนลด์ซึ่งเป็นสมการไม่เชิงเส้น (Nonlinear equation) การแก้สมการเรย์โนลด์เพื่อหาความดันฟิล์มอากาศที่สัมพันธ์กับความหนาของฟิล์มอากาศได้มีผู้ทำการคำนวณโดยวิธีไฟฟนดัลเฟอเรนซ์กันอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เพราะวิธีไฟฟนดัลเฟอเรนซ์เป็นวิธีที่ง่ายต่อการคำนวณและขึ้นอยู่กับทรงพื้นผิวที่พิจารณาซึ่งหัวอ่านที่ทำการศึกษานี้มีรูปทรงที่ไม่ซับซ้อนมากจึงเหมาะสมต่อการนำเอาวิธีนี้มาใช้แก้สมการเรย์โนลด์

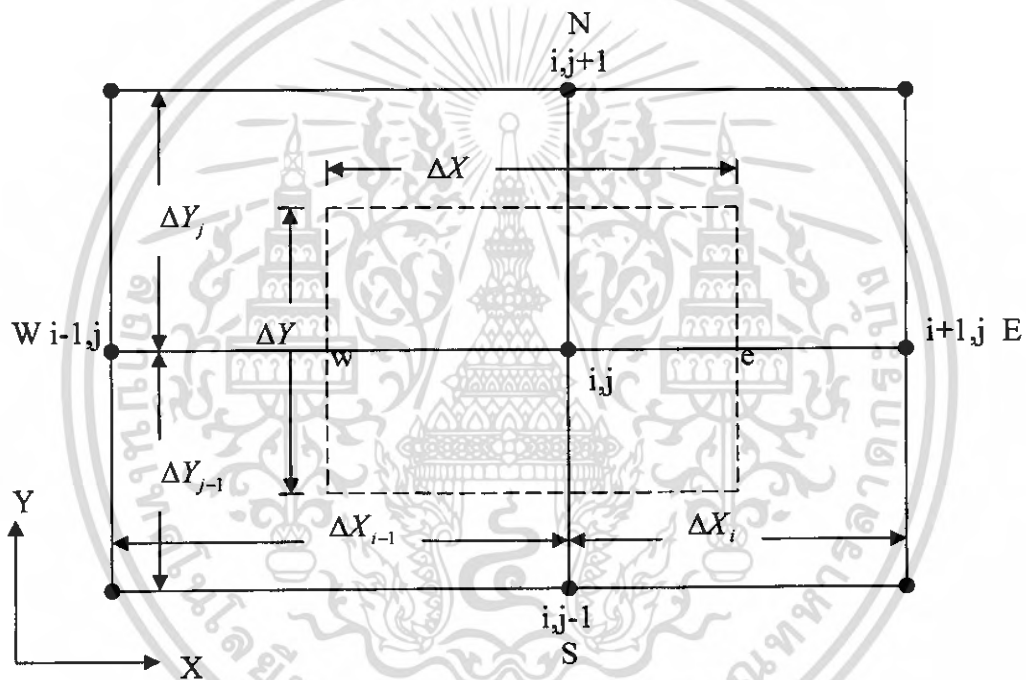
สมมติให้สมการเชิงอนุพันธ์เทียบกับเวลา ซึ่งเวลาเป็นตัวแปรที่มีความต่อเนื่อง  $t$  จะถูกแบ่งเป็นช่วง ๆ จึงกลายเป็นตัวแปรแบบไม่ต่อเนื่อง โดย  $t_i$  คือ เวลาใด ๆ แล้วทำการคำนวณสมการเชิงอนุพันธ์นี้โดยเพิ่มช่วงเวลา  $h = \Delta t$  ในการคำนวณไปเรื่อย ๆ จนถึงเวลาที่ต้องการ โดยเริ่มจากเวลาที่ทราบเงื่อนไขแรก คำตอบที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธีนี้จะถูกต้องแม่นยำยอมรับได้ เมื่อการแบ่งช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้นแต่ละช่วงสั้นเพียงพอ ดังนั้น ในการแก้สมการสมการเรย์โนลด์ที่ขึ้นต่อเวลาจะต้องทำการประมาณค่าโดยการแบ่งช่วงเวลาให้สั้น รวมทั้งการแบ่งกริดสำหรับหัวอ่าน IBM 3380 แสดงได้ดังรูป จะมีการแบ่งกริดโดยละเอียดโดยเฉพาะบริเวณที่ไม่ต่อเนื่องของรางหัวอ่านชนิดนี้เพื่อความถูกต้องในการคำนวณเชิงตัวเลขมากยิ่งขึ้นและขจัดปัญหาความค่าความผิดพลาดในการคำนวณ (Numerical error)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่สมการเชิงอนุพันธ์ไม่สามารถทำการวิเคราะห์แก้โดยตรงได้ ดังนั้น จึงต้องทำการประมาณค่าได้สมการเชิงอนุพันธ์สามารถทำได้โดยการคำนวณค่าของฟังก์ชันตัวแปรอิสระสองค่าที่มีระยะห่างกัน  $\Delta x$  และหารผลต่างของค่าฟังก์ชันด้วย  $\Delta x$  ดังสมการต่อไปนี้

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

ตัวอย่างเช่นการคำนวณสมการเรย์โนลด์โดยใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ ซึ่งมีการแบ่งปริมาตรควบคุม กริดดังในรูป



รูปที่ 3.5 การแบ่งปริมาตรควบคุมของกริด

การหาพฤติกรรมสติกของหัวอ่านจะตัดทอนที่ขึ้นกับเวลาในสมการจากสมการ คือ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ในกรณีที่ไม่ทำการแก้โดยไม่เปลี่ยนรูปสมการ  
เทอมแรกทางด้านซ้ายมือของสมการจะกระจายได้ คือ

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

ในทำนองเดียวกันเทอมที่สองของด้านซ้ายสมการ จะเป็น

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

และเทอมทางด้านขวาของสมการ

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

หรือสรุปความสัมพันธ์การกระจายสมการด้วยไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ได้ คือ  
ในกรณีอนุพันธ์อันดับสอง

$$\frac{\partial P_{i,j}^2}{\partial X^2} = A_1(i)P_{i+1,j} + A_2(i)P_{i,j} + A_3P_{i-1,j}$$

โดยที่

$$A_1(i) = \frac{2}{\Delta X_i [\Delta X_{i-1} + \Delta X_i]}$$

$$A_2(i) = \frac{-2}{\Delta X_{i-1} + \Delta X_i}$$

$$A_3(i) = \frac{2}{\Delta X_{i-1} [\Delta X_{i-1} + \Delta X_i]}$$

และในกรณีอนุพันธ์อันดับหนึ่ง

$$\frac{\partial P_{i,j}}{\partial X^2} = B_1(i)P_{i+1,j} + B_2(i)P_{i,j} + B_3P_{i-1,j}$$

$$B_1(i) = \frac{\Delta X_{i-1}}{\Delta X_i [\Delta X_{i-1} + \Delta X_i]}$$

$$B_2(i) = \frac{\Delta X_i - \Delta X_{i-1}}{\Delta X_{i-1} \Delta X_i}$$

$$B_3(i) = \frac{\Delta X_i}{\Delta X_{i-1} [\Delta X_{i-1} + \Delta X_i]}$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 วิธีกระทำซ้ำของนิวตันราฟสัน

สมการแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear equation) ซึ่งยากต่อการแก้สมการหาค่าโดยตรง ดังนั้น จึงต้องทำให้เป็นสมการแบบเชิงเส้น โดยอาศัยวิธีของนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson method) เป็นวิธีที่ตั้งอยู่บนรากฐานของการใช้อนุกรมเทย์เลอร์ (Taylor series)

อนุกรมเทย์เลอร์ที่ประมาณด้วยการใช้พจน์จำนวน 2 พจน์

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

เพื่อใช้แก้ระบบสมการไม่เป็นเชิงเส้นจากสมการ ทำให้อยู่ในระบบสมการไม่เชิงเส้น (System of nonlinear equation) เขียนในรูปแบบทั่วไปได้ ดังนี้

$$f_{1,1}(P_{1,1}, P_{2,1}, \dots, P_{M,1}, P_{1,2}, P_{2,2}, \dots, P_{M,2}, \dots, P_{M,N}) = 0$$

$$f_{2,1}(P_{1,1}, P_{2,1}, \dots, P_{M,1}, P_{1,2}, P_{2,2}, \dots, P_{M,2}, \dots, P_{M,N}) = 0$$

$$f_{M,N}(P_{1,1}, P_{2,1}, \dots, P_{M,1}, P_{1,2}, P_{2,2}, \dots, P_{M,2}, \dots, P_{M,N}) = 0$$

อนุกรมเทย์เลอร์ที่ใช้ในการแก้ระบบสมการ ไม่เป็นเชิงเส้นนี้เป็นอนุกรมเทย์เลอร์สำหรับ M,N ตัวแปรซึ่งสำหรับสมการ I,j ใดๆ สามารถเขียนได้ในรูปแบบ ดังนี้

$$f(P^{n+1}) \approx f(P^n) + \frac{\partial f(P)}{\partial P} \Big|_{P=P^n} (P^{n+1} - P^n)$$

$$f_{i,j}(P_{1,1} + \Delta P_{1,1}, P_{2,1} + \Delta P_{2,1}, \dots, P_{M,1} + \Delta P_{M,1}, P_{3,1} + \Delta P_{3,1}, \dots, P_{M,N} + \Delta P_{M,N}) =$$

$$f_{i,j}(P_{1,1}, P_{2,1}, \dots, P_{M,1}, P_{1,2}, P_{2,2}, \dots, P_{M,2}, \dots, P_{M,N}) +$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ค่าฟังก์ชันทางด้านซ้ายของสมการให้เท่ากับศูนย์ผลที่ได้ จะเหมือนกับระเบียบวิธีการนิวตัน-ราฟสัน เพื่อหารากของสมการ  $f(x)=0$  โดยการประมาณฟังก์ชันด้วยอนุกรมเทย์เลอร์ที่ประกอบด้วยพจน์เพียง 2 พจน์ ดังแสดงในสมการ คือ

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

เมื่อนำวิธีนิวตัน-ราฟสันประยุกต์ใช้ในการแก้สมการเรย์โนลด์เพื่อหาพฤติกรรมสถิตที่แสดงไว้ในสมการ จะได้สมการ คือ

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

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

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

## บทที่ 4

### การคำนวณวิเคราะห์เชิงตัวเลข

#### 4.1 การวิเคราะห์คำนวณการทำงานของหัวอ่านในกรณีพฤติกรรมสถิต

อันดับแรกจะต้องแก้สมการเรย์โนลด์ที่สภาวะคงตัวหรือไม่ขึ้นกับเวลา และอนุกรมฟังก์ชันจะได้สมการดังนี้

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

เมื่อให้การไหลเป็นแบบเส้นไหล  
การไหลแบบต่อเนื่องสม่ำเสมอ

$$Q = 1 \quad (4.2)$$

การไหลแบบพิจารณาผลการสิ้นไหลอันดับหนึ่ง

$$Q = PH^3 \left( 1 + \frac{6ak}{PH} \right) \quad (4.3)$$

และสมการการเคลื่อนที่ของหัวอ่านที่ต้องทำการวิเคราะห์หรร่วมด้วยเพื่อหาความสมดุลของหัวอ่าน  
ในขณะเคลื่อนที่คือ

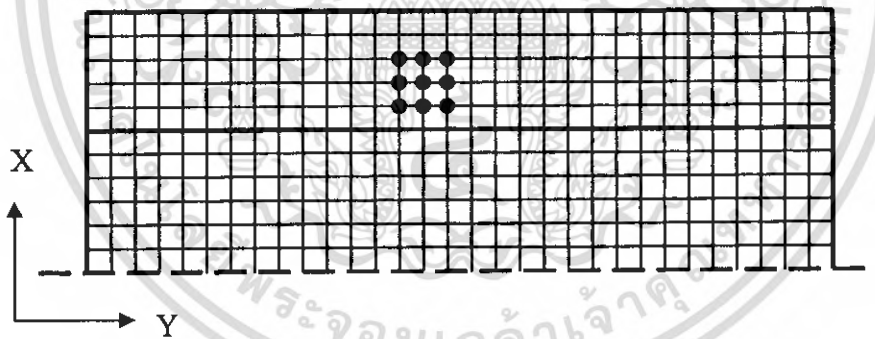
$$F_0 = 2 \int_0^1 \int_0^1 (P_0 - 1) dXdY \quad (4.4)$$

พร้อมด้วยเงื่อนไขขอบเขตคือ

$$P_0(0, Y) = P_0(1, Y) = P_0(X, 0) = P_0(X, 1) = 1 \quad (4.5)$$

เมื่อสมการเชิงอนุพันธ์ไม่สามารถทำการอินทิเกรตในรูป Close form ได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องนำเอาวิธีเชิงตัวเลขมาใช้ในการคำนวณ ซึ่งในการคำนวณหาสมการเรย์โนลด์ซึ่งเป็นสมการไม่เชิงเส้น (Nonlinear equation) การแก้สมการเรย์โนลด์เพื่อหาความดันฟิล์มอากาศที่สัมพันธ์กับความหนาของฟิล์มอากาศได้มีผู้ทำการคำนวณโดยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์กันอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เพราะวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์เป็นวิธีที่ดัดง่ายต่อการคำนวณและขึ้นอยู่กับทรงพื้นที่ที่พิจารณาซึ่งหัวอ่านที่ทำการศึกษาในครั้งนี้มีรูปทรงที่ไม่ซับซ้อนมากจึงเหมาะสมต่อการนำเอาวิธีนี้มาใช้แก้สมการเรย์โนลด์ การคำนวณสมการเรย์โนลด์โดยใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ซึ่งมีการแบ่งกริด

เนื่องจากหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าที่นำมาวิเคราะห์มีความสมมาตรตามแนวแกน X ในการคำนวณจึงทำการพิจารณาหัวอ่านเพียงครึ่งหนึ่ง เมื่อทำการแบ่งกริดในขั้นตอนการคำนวณเชิงตัวเลขจะใช้กริดขนาดเล็กในบริเวณรอยต่อที่เกิดความไม่ต่อเนื่องสูง กำหนดให้แกน X อยู่บนแนวกึ่งกลางของหัวอ่าน และแกน Y อยู่บนขอบนำของหัวอ่านจะได้รูป



รูปที่ 4.1 การแบ่งกริด

การคำนวณสมการเรย์โนลด์โดยใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์  
เทอมแรกทางด้านซ้ายมือของสมการที่ (4.1) จะกระจายได้คือ

$$\frac{\partial}{\partial X} \left( QPH^3 \frac{\partial P}{\partial X} \right) = \frac{\left( QPH^3 \frac{\partial P}{\partial X} \right)_{i+\frac{1}{2},j} - \left( QPH^3 \frac{\partial P}{\partial X} \right)_{i-\frac{1}{2},j}}{X_{i+\frac{1}{2},j} - X_{i-\frac{1}{2},j}} \quad (4.6)$$

$$= \frac{\left( QPH^3 \right)_{i+\frac{1}{2},j} \left[ \frac{P_{i+1,j} - P_{i,j}}{X_{i+1,j} - X_{i,j}} \right] - \left( QPH^3 \right)_{i-\frac{1}{2},j} \left[ \frac{P_{i,j} - P_{i-1,j}}{X_{i,j} - X_{i-1,j}} \right]}{X_{i+\frac{1}{2},j} - X_{i-\frac{1}{2},j}} \quad (4.7)$$

ในทำนองเดียวกันเทอมที่สองด้านซ้ายสมการที่ (4.1) จะเป็น

$$\begin{aligned} \left( \frac{L}{B} \right)^2 \left\{ \frac{\partial}{\partial Y} \left( QPH^3 \frac{\partial P}{\partial X} \right) \right\} &= \left( \frac{L}{B} \right)^2 \left\{ \frac{\left( QPH^3 \frac{\partial P}{\partial Y} \right)_{i,j+\frac{1}{2}} - \left( QPH^3 \frac{\partial P}{\partial Y} \right)_{i,j-\frac{1}{2}}}{Y_{i,j+\frac{1}{2}} - Y_{i,j-\frac{1}{2}}} \right\} \\ &= \left( \frac{L}{B} \right)^2 \left\{ \frac{\left( QPH^3 \right)_{i,j+\frac{1}{2}} \left[ \frac{P_{i,j+1} - P_{i,j}}{Y_{i,j+1} - Y_{i,j}} \right] - \left( QPH^3 \right)_{i,j-\frac{1}{2}} \left[ \frac{P_{i,j} - P_{i,j-1}}{Y_{i,j} - Y_{i,j-1}} \right]}{Y_{i+\frac{1}{2},j} - Y_{i-\frac{1}{2},j}} \right\} \quad (4.8) \end{aligned}$$

และเทอมที่สามด้านซ้ายของสมการที่ (4.1)

$$\Lambda \frac{\partial(PH)}{\partial X} = \Lambda \left[ \frac{P_{i,j} H_{i,j} - P_{i-1,j} H_{i-1,j}}{X_{i,j} - X_{i-1,j}} \right] \quad (4.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการเรย์โนลด์ใหม่ที่ได้คือ

$$\frac{(QPH^3)_{i+\frac{1}{2},j} \left[ \frac{P_{i+1,j} - P_{i,j}}{X_{i+1,j} - X_{i,j}} \right] - (QPH^3)_{i-\frac{1}{2},j} \left[ \frac{P_{i,j} - P_{i-1,j}}{X_{i,j} - X_{i-1,j}} \right]}{X_{i+\frac{1}{2},j} - X_{i-\frac{1}{2},j}} + \left(\frac{L}{B}\right)^2 \left\{ \frac{(QPH^3)_{i,j+\frac{1}{2}} \left[ \frac{P_{i,j+1} - P_{i,j}}{Y_{i,j+1} - Y_{i,j}} \right] - (QPH^3)_{i,j-\frac{1}{2}} \left[ \frac{P_{i,j} - P_{i,j-1}}{Y_{i,j} - Y_{i,j-1}} \right]}{Y_{i+\frac{1}{2},j} - Y_{i-\frac{1}{2},j}} \right\} - \Lambda \left[ \frac{P_{i,j} H_{i,j} - P_{i-1,j} H_{i-1,j}}{X_{i,j} - X_{i-1,j}} \right] = 0 = f(i, j) \quad (4.10)$$

เมื่อแก้สมการเรย์โนลด์โดยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์แล้วจะทำการเชิงเส้นโดยวิธีกระทำซ้ำของนิวตันรากล้นจาก

$$f(P^n) + \left. \frac{\partial f(P)}{\partial P} \right|_{P=P^n} \Delta P = 0 \quad (4.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณสมการเรย์โนลด์เป็นสมการเชิงเส้นโดยวิธีกระทำซ้ำของนิวตันกราฟสัน

$$\begin{aligned} \frac{\partial f_{i,j}}{\partial P_{i,j}} &= \left(\frac{1}{\Delta X}\right)^2 \left[ \frac{-(QPH^3)_{i+1,j} + (QPH^3)_{i,j}}{2} - \frac{(QPH^3)_{i-1,j} + (QPH^3)_{i,j}}{2} \right] \\ &+ \left(\frac{L}{B\Delta Y}\right)^2 \left[ \frac{(-QPH^3)_{i,j+1} + (QPH^3)_{i,j}}{2} - \frac{(QPH^3)_{i,j-1} + (QPH^3)_{i,j}}{2} \right] - \frac{\Lambda H_{i,j}}{\Delta X} \\ &+ H_{i,j}^3 \left\{ \left(\frac{1}{\Delta X}\right)^2 \left[ \frac{P_{i+1,j} - P_{i,j}}{2} - \frac{P_{i,j} - P_{i-1,j}}{2} \right] + \left(\frac{L}{B\Delta Y}\right)^2 \left[ \frac{P_{i,j+1} - P_{i,j}}{2} - \frac{P_{i,j} - P_{i,j-1}}{2} \right] \right\} \end{aligned} \quad (4.12)$$

$$\frac{\partial f_{i,j}}{\partial P_{i+1,j}} = \left(\frac{1}{\Delta X}\right)^2 \left[ \frac{(QPH^3)_{i+1,j} + (QPH^3)_{i,j}}{2} \right] + H_{i+1,j}^3 \left(\frac{1}{\Delta X}\right)^2 \left[ \frac{P_{i+1,j} - P_{i,j}}{2} \right] \quad (4.13)$$

$$\frac{\partial f_{i,j}}{\partial P_{i-1,j}} = \left(\frac{1}{\Delta X}\right)^2 \left[ \frac{(QPH^3)_{i-1,j} + (QPH^3)_{i,j}}{2} \right] + \frac{\Lambda}{\Delta X} H_{i-1,j} - H_{i-1,j}^3 \left(\frac{1}{\Delta X}\right)^2 \left[ \frac{P_{i,j} - P_{i-1,j}}{2} \right] \quad (4.14)$$

$$\frac{\partial f_{i,j}}{\partial P_{i,j+1}} = \left(\frac{L}{B\Delta Y}\right)^2 \left[ \frac{(QPH^3)_{i,j+1} + (QPH^3)_{i,j}}{2} \right] + H_{i,j+1}^3 \left(\frac{L}{B\Delta Y}\right)^2 \left[ \frac{P_{i,j+1} - P_{i,j}}{2} \right] \quad (4.15)$$

$$\frac{\partial f_{i,j}}{\partial P_{i,j-1}} = \left[\frac{L}{B\Delta Y}\right]^2 \left[ \frac{(QPH^3)_{i,j-1} + (QPH^3)_{i,j}}{2} \right] + H_{i,j-1}^3 \left(\frac{L}{B\Delta Y}\right)^2 \left[ \frac{P_{i,j} - P_{i,j-1}}{2} \right] \quad (4.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $\Delta P_0 = P^{n+1} + P^n$  และ  $n$  = ครั้งที่ทำการคำนวณซ้ำจนกระทั่งได้คำตอบแล้วทำการแก้สมการด้วยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์จัดรูปสมการใหม่ให้อยู่สมการ ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปแบบเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\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} \\ \vdots \\ \Delta P_{2,1} \\ \vdots \\ \Delta P_{M,1} \\ \vdots \\ \Delta P_{1,2} \\ \vdots \\ \Delta P_{2,2} \\ \vdots \\ \Delta P_{M,2} \\ \vdots \\ \Delta P_{M,N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -f_{1,1} \\ \vdots \\ -f_{2,1} \\ \vdots \\ -f_{M,1} \\ \vdots \\ -f_{1,2} \\ \vdots \\ -f_{2,2} \\ \vdots \\ -f_{M,2} \\ \vdots \\ -f_{M,N} \end{bmatrix}$$

จัดรูปง่าย ๆ เป็น  $[A][\Delta P_{m,n}] = [-f_{i,j}]$  (4.17)

จะทำการแก้เมตริกซ์โดยวิธีแบบเกาส์-ไซเดล

$$\Delta P_{i,j} = \frac{-f_{i,j} - \left( \sum_{k=1}^{i-1} a_{i,k} \Delta P_{k,j}^{new} \right) - \left( \sum_{k=i+1}^N a_{i,k} \Delta P_{k,j}^{old} \right)}{a_{ii}} \quad (4.18)$$

$N$  คือจำนวนสมการ

เงื่อนไขการพิจารณาค่าเข้าสู่ที่แท้จริง

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |\Delta P_{m,n}| / \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |P_{m,n}^{(n)}| \leq \epsilon (10^{-4}, 10^{-5}) \quad (4.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

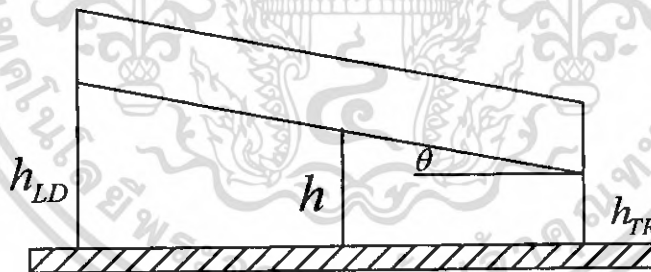
หลังจากที่คำนวณหาความดันที่เกิดขึ้นในขณะที่หัวอ่านอินเตอร์เฟซกับหัวอ่านที่สภาวะคงตัว (Steady state) ก็ต้องทำการคำนวณหาความสมดุลของพฤติกรรมสถิติของหัวอ่านคือ

$$F_0 = 2 \int_0^1 \int_0^1 (P_0 - 1) dXdY \quad (4.20)$$

#### 4.2 การคำนวณหาความหนาของฟิล์มอากาศที่หล่อลื่น

ความหนาฟิล์มหล่อลื่นเป็นสิ่งสำคัญมากในระบบการหล่อลื่นด้วยอากาศ เพราะเป็นที่ทราบดีว่ายิ่งต้องการให้ระบบเก็บข้อมูลมีความสามารถจุข้อมูลได้มากยิ่งขึ้น ก็ยิ่งจำเป็นที่ต้องการพยายามให้ความหนาฟิล์มอากาศรองลื่นน้อยที่สุดที่จะทำให้เกิดความเสถียรในการทำงานของหัวอ่าน แต่สิ่งที่ต้องตระหนักคือระยะความหนาฟิล์มหล่อลื่นระหว่างผิวของหัวอ่านและผิวดิสก์จะต้องหนาเพียงพอที่จะไม่ทำให้หัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์เพราะนอกจากจะเกิดความสึกหรอของอุปกรณ์อาจทำให้สูญเสียข้อมูลที่บันทึกด้วย

ในการคำนวณหาพฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านในกรณีที่การทำงานแบบสถิตความหนาฟิล์มจะมีค่าคงที่ซึ่งง่ายต่อการคำนวณเมื่อทราบรูปทรงของหัวอ่านก็สามารถหาความสัมพันธ์ความหนาฟิล์มหล่อลื่นได้โดยง่าย ซึ่งหัวอ่านที่ทำการศึกษาในปริณูณานิพนธ์ฉบับหนึ่งแบบดังแสดงในรูป

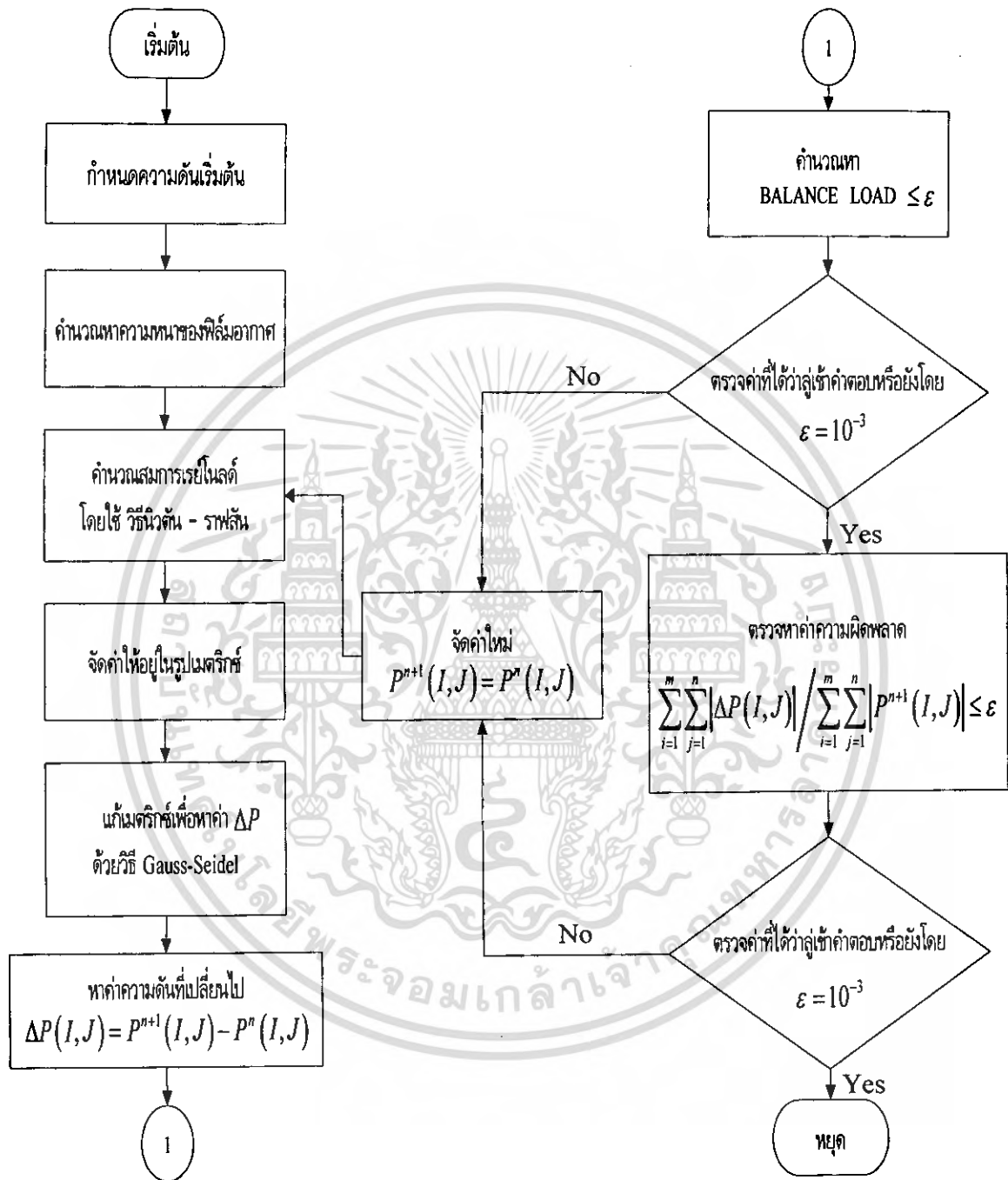


รูปที่ 4.2 ลักษณะการลอยตัวของหัวอ่าน

คิดบริเวณรางหัวอ่าน

$$h = h_{TR} + (L - x) \tan \theta \quad (4.21)$$

### 4.3 การคำนวณหาการกระจายความดันของหัวอ่านบนแผ่นดิสก์ในสถานะสถิตย์



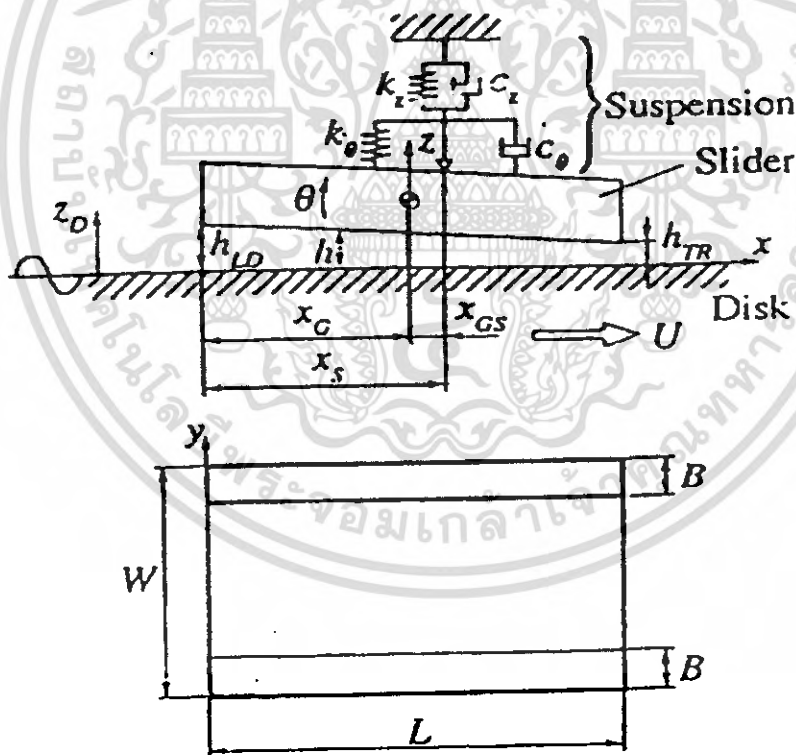
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ผลการคำนวณ

การศึกษาพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านชนิดแบบ(Flat slider) ดังแสดงในรูป 5.1 โดยใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ และ โปรแกรมฟอร์แทรน เพื่อวิเคราะห์ คำนวณและจำลองพฤติกรรมการทำงานซึ่งประกอบไปด้วยค่าต่าง ๆ ดังนี้

1. ค่าความหนาฟิล์มอากาศหล่อลื่น
2. การกระจายความดันของหัวอ่านบนแผ่นดิสก์ในสภาวะสถิตย์
3. แรงกระทำบนหัวอ่าน



รูปที่ 5.1 แสดงรูปหัวอ่านชนิดแบน(Flat slider)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.1** ขนาดและค่าต่าง ๆ ของหัวอ่านชนิดแบน(Flat slider)

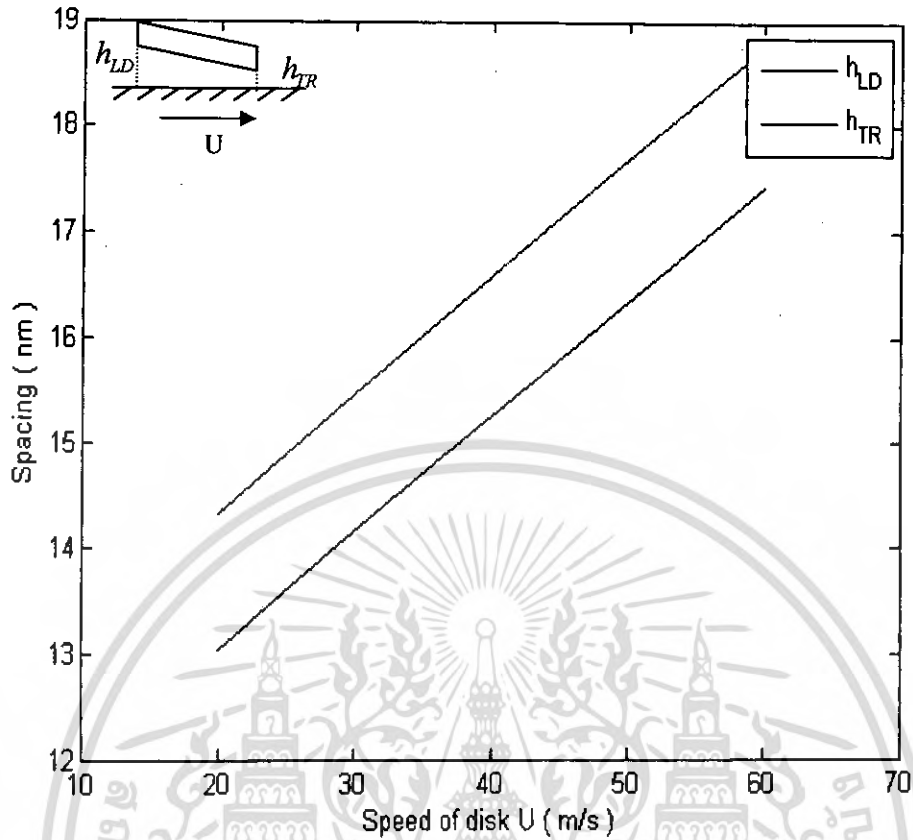
| ขนาด            | Flat slider |
|-----------------|-------------|
| L (mm)          | 4.05        |
| B (mm)          | 0.5         |
| W (mm)          | 3.05        |
| $\theta$ (mrad) | 15          |
| $h_{TR}$ (um)   | 0.14        |
| $h_m$ (um)      | 0.1         |
| $f_0$ (mN)      | 147         |

## 5.1 ความหนาของฟิล์มอากาศที่หล่อลื่น

ความหนาของฟิล์มอากาศที่หล่อลื่นหรือระยะห่างระหว่างผิวดิสก์และหัวอ่าน เป็นปัจจัยสำคัญมากในการวิเคราะห์การทำงานของหัวอ่าน โดยระยะการลอยตัวของหัวอ่านเหนือแผ่นดิสก์ควรมีค่าน้อยเพราะจะทำให้การอ่าน/เขียนข้อมูลได้ดียิ่งขึ้น แต่ต้องมีระยะมากพอที่จะไม่ทำให้หัวอ่านสัมผัสกับแผ่นดิสก์เพราะจะทำให้แผ่นดิสก์และหัวอ่านเสียหายได้ ซึ่งในปัจจุบันระยะการลอยตัวของหัวอ่านได้พัฒนาให้มีระยะค้ำมากขึ้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการเก็บข้อมูลและความเสถียรของหัวอ่านในขณะทำงาน

### 5.1.1 ความเร็วที่มีผลต่อฟิล์มอากาศ

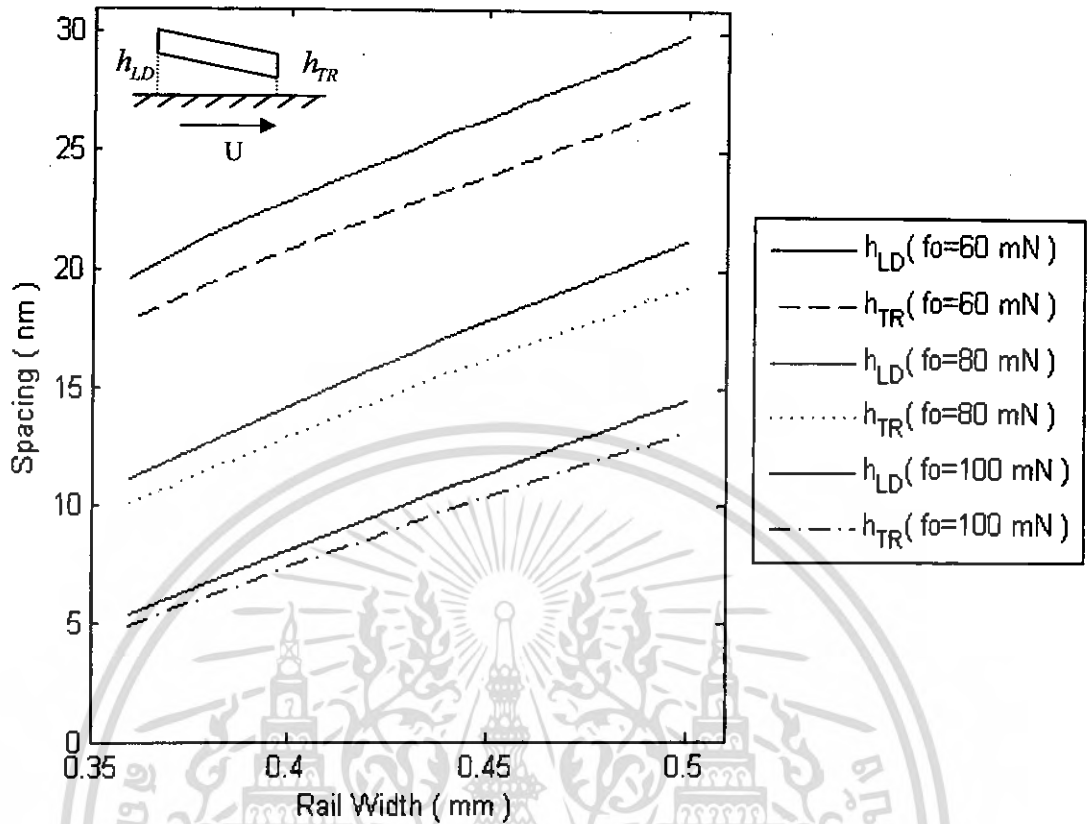
ในรูปที่ 5.2 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่านชนิดแบน (Flat slider) เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วของแผ่นดิสก์ที่สภาวะการทำงานสถิตย์จะเห็นว่าความเร็วของแผ่นดิสก์เพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านเพิ่มขึ้นทั้งระยะการลอยตัวที่บริเวณขอบหน้าและที่บริเวณขอบท้าย ระยะการลอยตัวหัวอ่านเป็นสิ่งที่สำคัญต่อการอ่าน / เขียนข้อมูล



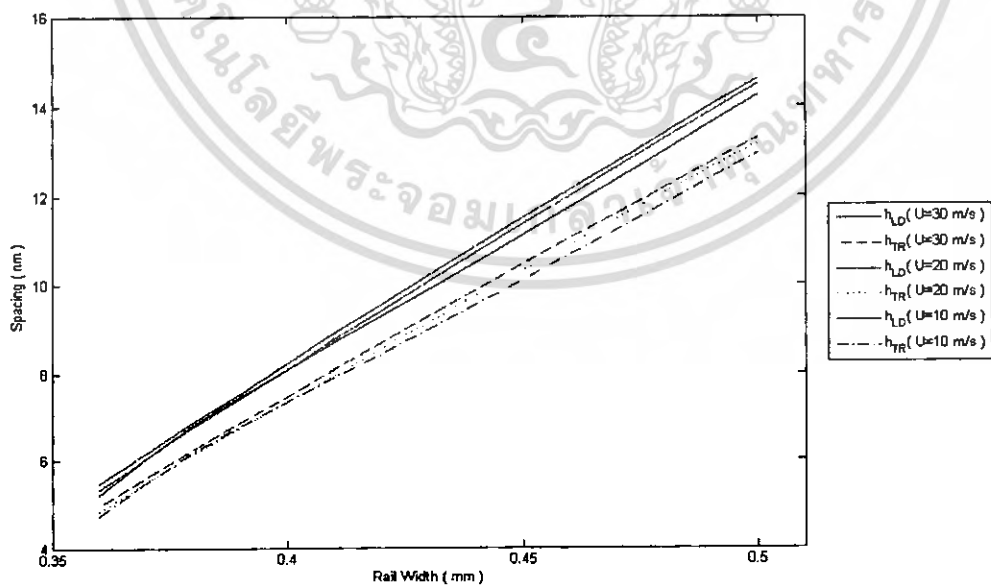
รูปที่ 5.2 แสดงผลของความเร็วที่มีผลต่อการลอยตัวของหัวอ่านชนิดแบน (Flat slider)

### 5.2.2 ความกว้างมีผลต่อความหนาฟิล์ม

ในรูปที่ 5.3 และ 5.4 เป็นการแสดงผลการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อความกว้างของรางเปลี่ยนไป ขณะที่ความกว้างของรางในหัวอ่านเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ระยะห่างระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์เพิ่มขึ้น เมื่อระยะลอยตัวที่ขอบท้ายมากขึ้นส่งผลให้หัวอ่านเอียงมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณที่ได้จะพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันมากและแนวโน้มของค่าที่ได้เหมือนกัน และถ้าความเร็วของแผ่นดิสก์มากขึ้นค่าที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกันมาก



รูปที่ 5.3 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อเปลี่ยนแปลงความกว้างของรางอ่าน I

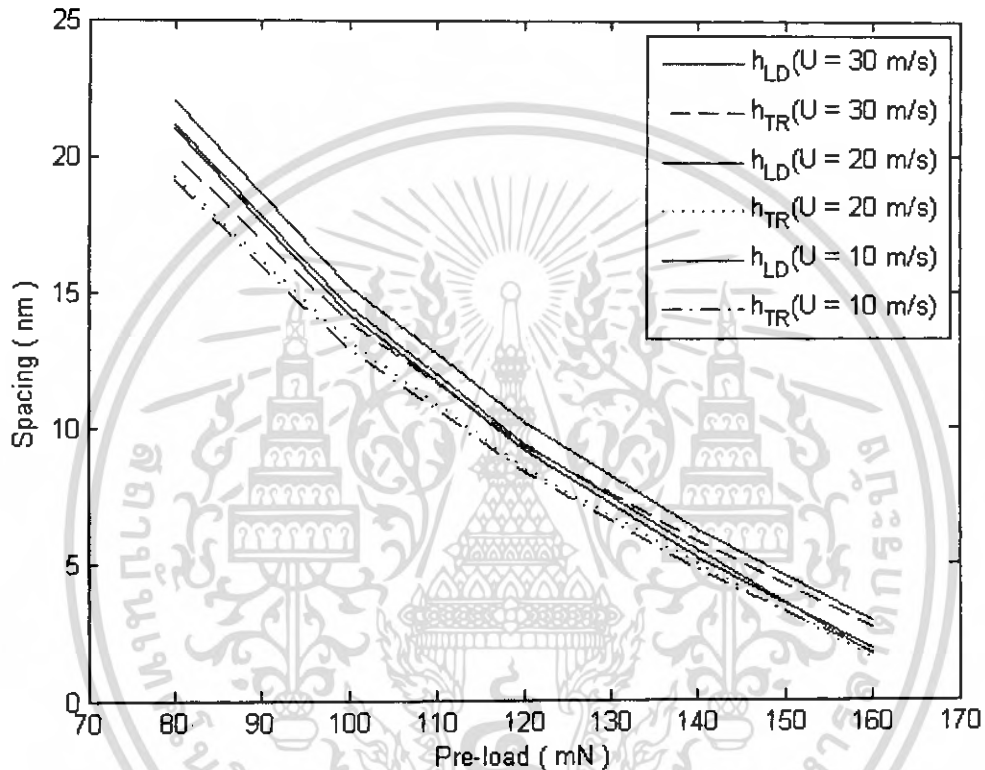


ที่ 5.4 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อเปลี่ยนแปลงความกว้างของรางอ่าน II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3.3 แรงกระทำบนหัวอ่านมีผลต่อความหนาฟิล์ม

ในรูปที่ 5.5 เมื่อแรงกดหัวอ่านที่จุดยึดจับหัวอ่านเปลี่ยนแปลง โดยเมื่อป้อนแรงกดหัวอ่านมากยิ่งขึ้นจะส่งผลให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านที่บริเวณขอบนำและขอบท้ายจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วและมีแนวโน้มคล้ายกัน หรือค่าความเอียงหัวอ่านลดลง

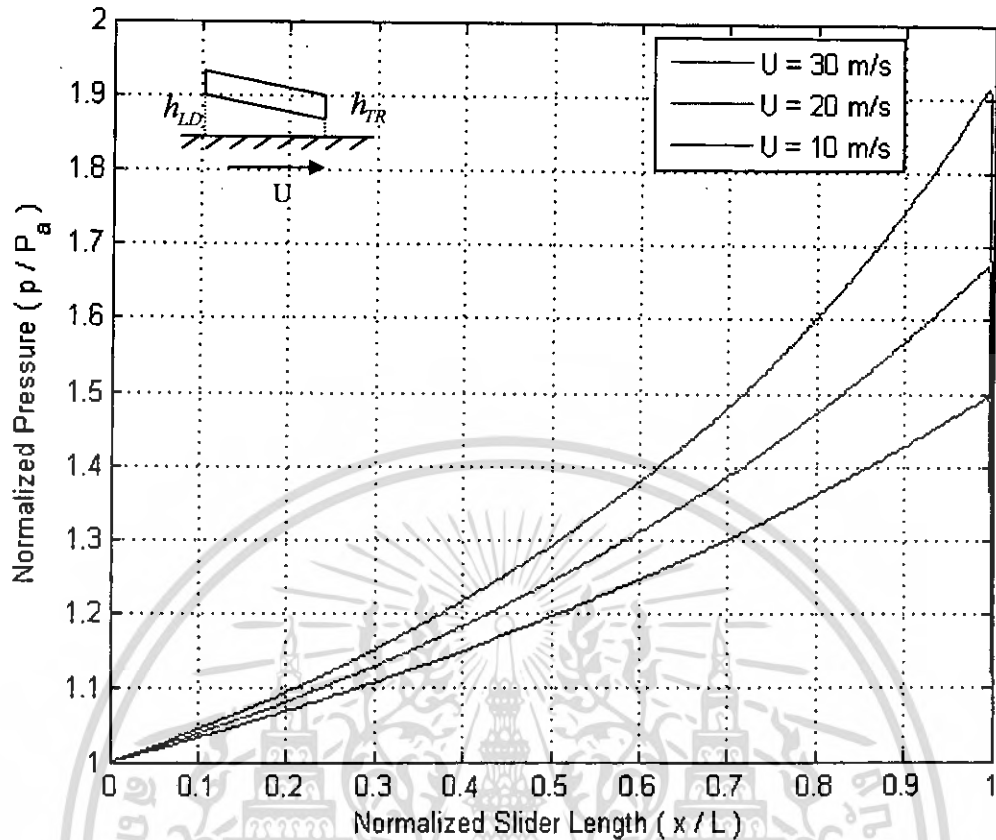


รูปที่ 5.5 ระยะการลอยตัวของหัวอ่านหัวอ่าน เมื่อเปลี่ยนแปลงแรงที่กระทำบนหัวอ่าน

### 5.2 การกระจายความดันของหัวอ่านบนแผ่นดิสก์ในสถานะสถิต

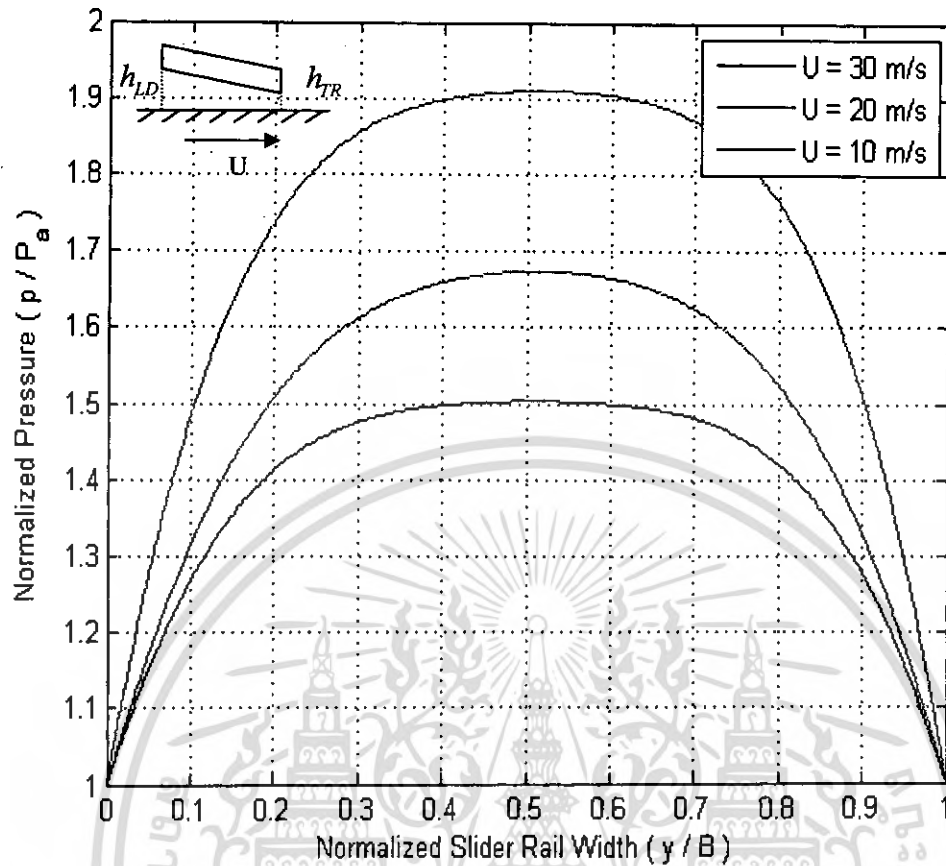
ในรูปที่ 5.6 แสดงการกระจายความดันระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ของหัวอ่านชนิดแบน (Flat slider) ตามแนวความยาวของหัวอ่านบริเวณตรงกลางรางเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์ 10 เมตรต่อวินาที 20 เมตรต่อวินาที และ 30 เมตรต่อวินาที ผลที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกระจายความดันคือความเร็วของแผ่นดิสก์มีผลต่อความดัน เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์สูงขึ้นจะส่งผลให้การกระจายความดันระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์สูงขึ้นเมื่อตามแนวความยาวเปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

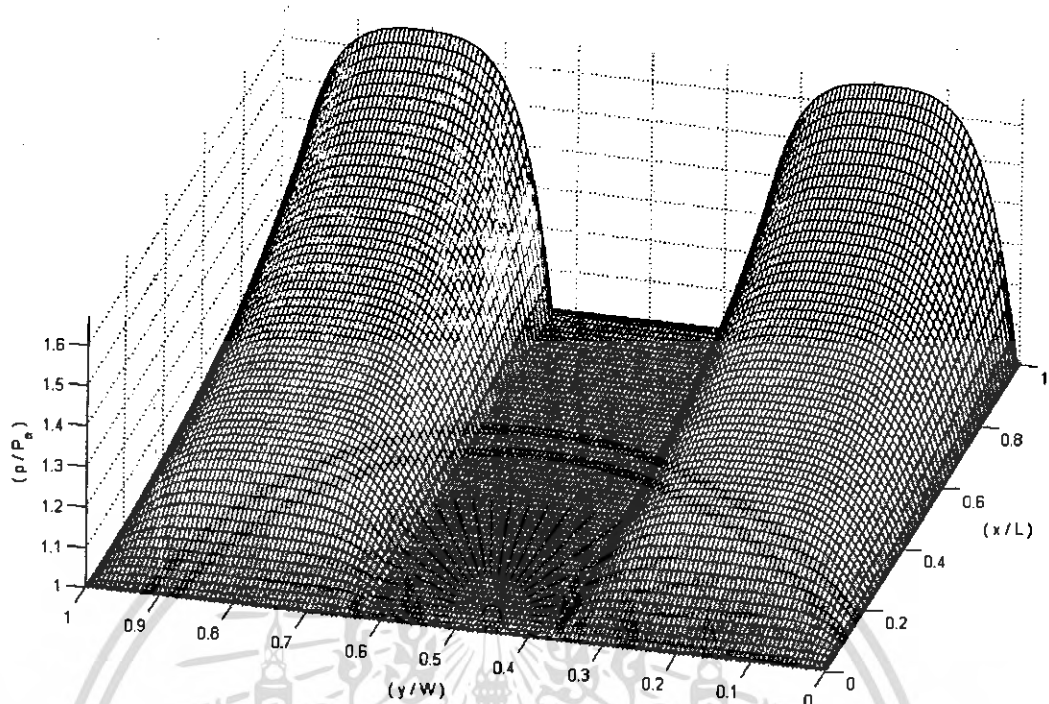


**รูปที่ 5.6** ความดันระหว่างหัวอ่านชนิดแบน (Flat slider) และแผ่นดิสก์ที่กระจายตามแนวความยาวแบบไร้มิติของหัวอ่านบริเวณตรงกลางราง

ในรูปที่ 5.7 แสดงการกระจายความดันระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ของหัวอ่านชนิดแบน (Flat slider) ตามแนวความกว้างของหัวอ่านบริเวณตรงกลางรางเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์ 10 เมตรต่อวินาที 20 เมตรต่อวินาที และ 30 เมตรต่อวินาที ผลที่ได้เมื่อเปรียบเทียบการกระจายความดันคือความเร็วของแผ่นดิสก์มีผลต่อความดัน เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์สูงขึ้นจะส่งผลให้การกระจายความดันระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์สูงขึ้น และการกระจายความดันสูงสุดจะอยู่บริเวณกึ่งกลางตามแนวความกว้างของหัวอ่านชนิดแบน (Flat slider)



รูปที่ 5.7 ความดันระหว่างหัวอ่านชนิดแบน (Flat slider) และแผ่นดิสก์ที่กระจายตามแนวความกว้างแบบ ไร้มิติของหัวอ่าน



**รูปที่ 5.8** แสดงการกระจายความดันของฟิล์มอากาศในแบบไร้มิติที่กระทำกับหัวอ่านบริเวณรางหัวอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### บทสรุป

ในปฏิยานิพนธ์นี้แสดงผลการคำนวณเชิงตัวเลขเพื่อจำลองพฤติกรรมการทำงานของหัวอ่านพฤติกรรมสถิต (Static) โดยอาศัยสมการเรย์โนลด์ส์ดัดแปลงที่พิจารณาการไหลเป็นแบบอัดตัวได้และการไหลอันดับที่หนึ่ง (first order slip) รวมทั้งสมการการเคลื่อนที่ เพื่อคำนวณหาพฤติกรรมทางสถิต โดยทำสมการเรย์โนลด์ส์ให้เป็นสมการเชิงเส้นด้วยวิธีนิวตันราฟสันในกรณีพฤติกรรมทางสถิต แล้วกระจายด้วยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์

#### 6.1 พฤติกรรมทางสถิตของหัวอ่าน

1. เมื่อความเร็วของดิสก์มีค่าเพิ่มขึ้นมีผลทำให้หัวอ่านลอยตัวสูงขึ้นซึ่งค่า Bearing Number ( $\Lambda$ ) นั้นขึ้นอยู่กับค่าของความสูงของการลอยตัว และความเร็วของดิสก์คือถ้าหัวอ่านระยะการลอยตัวต่ำมาก หรือความเร็วของแผ่นดิสก์มีความเร็วมากจะทำให้ค่า Bearing Number ( $\Lambda$ ) มีค่าสูงมากขึ้นจะส่งผลให้ความดันที่เกิดขึ้นสูงสุดมีค่าสูงมากขึ้น ซึ่งเมื่อความเร็วของดิสก์เพิ่มขึ้นมีผลทำให้หัวอ่านจะเซดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของความสูงที่ ขอบนำกับขอบท้ายมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วที่เพิ่มขึ้นคือมีค่าของมุมพิทช์มากขึ้น
2. เมื่อเปลี่ยนแปลงความกว้างของรางหัวอ่านพบว่าเมื่อรางมีขนาดใหญ่ขึ้นหัวอ่าน จะลอยตัวสูงขึ้น และมีค่าความแตกต่างของความสูงที่ขอบนำ และขอบท้ายเพิ่มขึ้นหัวอ่านมีความเอียงมากขึ้นคือ มีมุมพิทช์มากขึ้น
3. ระยะห่างระหว่างหัวอ่านลอยตัวของบนแผ่นดิสก์มีผลต่อความดันที่กระจายบนหัวอ่าน โดยเมื่อพิจารณตามแนวความยาวของหัวอ่าน ความดันที่เกิดขึ้นขณะที่หัวอ่านอินเตอร์เฟกซ์กับแผ่นดิสก์จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อระยะห่างของการลอยตัวมีค่าต่ำลงซึ่งความดันที่เกิดขึ้นสูงสุดจะเกิดที่บริเวณที่ขอบท้ายของหัวอ่านและมีค่าต่ำลงทันทีเมื่อถึงขอบท้ายของหัวอ่านอันเนื่องมาจากการสูญเสียความดันของอากาศที่บริเวณขอบ
4. ความเร็วของแผ่นดิสก์มีผลต่อความดัน คือ เมื่อความดันของแผ่นดิสก์มีค่าสูงขึ้นจะส่งผลให้ความดันระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์สูงขึ้น
5. ภาระแรงกระทำต่อหัวอ่านก็มีผลต่อความดันด้วยเช่นเดียวกันซึ่งหากมีแรงกระทำบนหัวอ่านมากเกินไปจะทำให้ความดันที่เกิดขึ้นสูงมาก
6. ควรจะทำการเปรียบเทียบผลคำนวณที่ได้กับผลที่ได้การศึกษาก่อนหน้านี้ที่ถูกต้องเช่น ในวิทยานิพนธ์ หนังสือต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการคำนวณที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อจำลองพฤติกรรมของหัวอ่าน สามารถปรับปรุงเป็นแนวทางในการคำนวณหาตัวแปรที่มีผลต่อหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ของรูปร่างหัวอ่านชนิดแบบแบน (Flat Slider) รวมทั้งพัฒนาโปรแกรมให้มีความสามารถ จำลองลักษณะการทำงานของหัวอ่านในสถานะต่างเพิ่มขึ้น

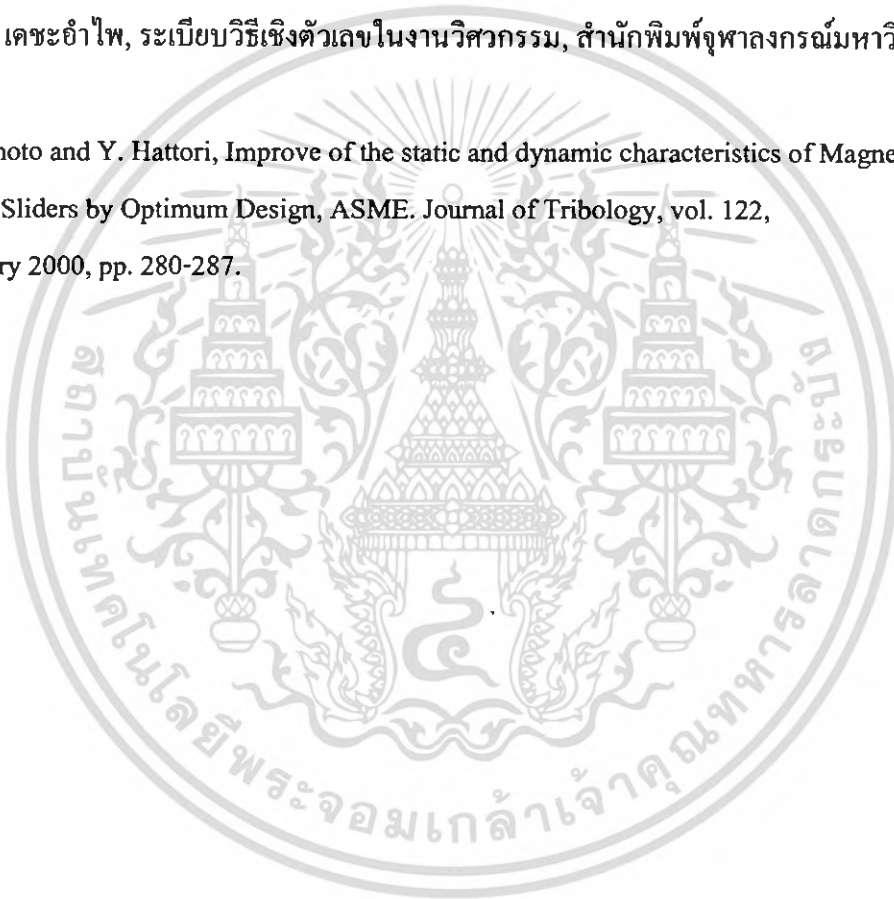
ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาเพียงความสมดุลการทำงานของหัวอ่านชนิดแบบแบน (Flat Slider) ที่สภาวะการทำงานสถิตย์เท่านั้น ในการทำงานของหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์ยังมีปัจจัยด้านอื่นๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของหัวอ่านดังนี้

1. พิจารณาการทำงานของหัวอ่านที่ได้ค่าที่แท้จริงควรพิจารณาที่สภาวะพลวัตซึ่งในปฏิญานิพนธ์ได้มีการศึกษาในสภาวะสถิตย์เท่านั้น
2. ในสภาวะที่มีการเคลื่อนที่ได้โดยอิสระสามมิติหรือสามทิศทางการเคลื่อนที่เพื่อให้ได้ใกล้เคียงสภาพการทำงานจริงมากยิ่งขึ้น เพราะในปฏิญานิพนธ์ได้ทำการคำนวณ ในกรณีหัวอ่านมีการเคลื่อนที่ได้โดยอิสระเพียงสองทิศทาง
3. พิจารณาการไหลของอากาศในกรณีที่มีความหนาฟิล์มอากาศมีความต่างกันซึ่งส่งผลต่อค่าคณูคเช่นัมเบอร์ (Knudsen number) ทำให้ตัวประกอบการไหลเปลี่ยนไป ดังเช่นนำเอาสมการ Boltzmann มาคิดคำนวณในกรณีที่มีความหนาฟิล์มอากาศหล่อลื่นบางมากๆ ในปฏิญานิพนธ์พิจารณาการไหลเป็นแบบ First order slip
4. ในสภาพการทำงานที่มีผลกระทบบจากอุณหภูมิ ความชื้น ความดัน ต่อการทำงานเป็นต้น เพราะในปฏิญานิพนธ์ไม่ได้พิจารณาผลต่างๆ เหล่านี้ในขณะที่หัวอ่านทำงานและให้การทำงานที่สภาพีความดันบรรยากาศ
5. การอินเตอร์เฟชกับระหว่างหัวอ่านและผิวดิสก์ที่มีพื้นที่ผิวหยาบขรุขระ อันเป็นผลเนื่องจากความสึกหรอของอุปกรณ์ทั้งสองเมื่อมีระยะเวลาในการใช้งานยาวนานที่เกิดจากการสัมผัสกันของพื้นผิวหัวอ่านและแผ่นดิสก์ในขณะที่หัวอ่านเริ่มอินเตอร์เฟชกับแผ่นดิสก์เพื่อทำการอ่านหรือบันทึกข้อมูลก่อนที่จะเข้าสู่สภาวะการทำงานคงตัว รวมทั้งในขณะที่หัวอ่านหยุดทำงาน หรือแม้ฝุ่นละอองที่ปะปนในอากาศหากที่ขนาดอนุภาคใหญ่กว่าระยะห่างระหว่างหัวอ่านและผิวดิสก์ ดังนั้นจึงต้องทำการผลิตและทดสอบการทำงานของหัวอ่านในห้องที่สะอาดมากๆ (Clean room) ซึ่งในปฏิญานิพนธ์ทำการศึกษาในกรณีที่พื้นผิวของหัวอ่านและผิวดิสก์เรียบ
6. ทำการศึกษาหัวอ่านที่มีรูปร่างซับซ้อนมากขึ้นซึ่งในปฏิญานิพนธ์ได้ทำการศึกษาแค่หัวอ่านชนิดแบบแบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- Bernard J. Hamrock, *Fundamental of Fluid Film Lubrication*, International Edition 1994,  
McGraw-Hill Singapore.
- ศุภรัตน์ แคว้นเขามิ่ง, การจำลองพฤติกรรมของหัวอ่านในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า,  
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, 2543
- เรืองยศ อารวงษ์กุล, พฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดอินเวอร์ส สเตป,  
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, 2547
- ปราโมทย์ เดชะอำไพ, ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,  
2546.
- H. Hashimoto and Y. Hattori, Improve of the static and dynamic characteristics of Magnetic  
Head Sliders by Optimum Design, *ASME. Journal of Tribology*, vol. 122,  
January 2000, pp. 280-287.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้