

**พฤติกรรมการณ์การลอยตัวของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดเทเปอร์แฟลทที่มีการเซาะร่อง
บนรางหัวอ่านในระบบเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้า**
**Effect of Groove on Slider Rail to Flying Characteristics of the Taper Flat Slider
in a Magnetic Storage system**

วลีพรรณ กันเนื่อง^{1,*} เจษฎา พานิชกรณ² และ ฉัตรชัย เอี่ยมพรสิน³

^{1,3} สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ กรุงเทพมหานคร 10160

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

* E-mail: waleephan@sau.ac.th, 028074500-27

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบที่เกิดจากเซาะร่องบนรางหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีผลต่อพฤติกรรมการณ์การลอยตัวของหัวอ่านชนิดเทเปอร์แฟลทในสภาวะคงตัว โดยใช้ระเบียบวิธีนิวตัน-ราฟสันร่วมกับระเบียบวิธีมัลติกริดแก้สมการโมดิไฟด์เรย์โนลด์ที่หล่อลื่นด้วยอากาศ เพื่อหาการกระจายตัวของความดันฟิล์มอากาศและระยะการลอยตัวของหัวอ่าน จากการจำลองผลพบว่า ความดันฟิล์มอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่บริเวณขอบนำจากนั้นลดลงบริเวณตรงกลางรางและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่บริเวณขอบท้ายของรางหัวอ่าน เมื่อเพิ่มความเร็วของดิสก์ส่งผลให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านจะมีค่าเพิ่มขึ้น ระยะการลอยตัวของหัวอ่านมีค่าลดลงเมื่อภาระที่กระทำต่อหัวอ่านเพิ่มขึ้น เมื่อทำการเซาะร่องที่รางหัวอ่านทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านลดลง และระยะการลอยตัวของหัวอ่านมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของขนาดของร่องที่เซาะ

คำหลัก: หัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้า, การหล่อลื่นด้วยอากาศ, สมการโมดิไฟด์เรย์โนลด์, ระเบียบวิธีมัลติกริด

Abstract

This paper investigated the effects of groove on slider rail to flying characteristics of taper flat slider. The modified Reynold equation was formulated for air lubrication. Newton-Raphson with multigrid technique was implemented to obtain the pressure distribution and flying height of the slider. The simulation results show that the film pressure rapidly increases at the leading edge region, decreases at the middle rail region and rapidly increases again at the trailing edge region. The flying height rises with increasing velocity of disk but reduces with increasing load. The groove on the rail has significant affects the flying height of slider. By increasing the size of the groove, the flying height decreases.

Keywords: Slider, Air Lubrication, Modified Reynold, Multigrid technique

1. บทนำ

ในการบันทึกข้อมูล หัวอ่านหรือ Slider มีส่วนที่เป็น ABS (Air bearing Surface) หนักเข้าหาแผ่นดิสก์ โดยลอยตัวอยู่บนเนื้อแผ่นดิสก์ด้วยฟิล์มอากาศที่มีลักษณะการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกส์ [1] ถ้าระยะการลอยตัว หรือระยะห่างระหว่างหัวอ่านและดิสก์ลดลง ส่งผลให้ความหนาแน่นในการบันทึกข้อมูลต่อพื้นที่มากขึ้น ดังนั้นในบทความนี้จะเป็นการศึกษาพฤติกรรมของการลอยตัวของหัวอ่านแบบเทเปอร์แฟลท (Taper-Flat Slider) เมื่อมีการเซาะร่องที่ ABS ขนาดต่างๆ ตลอดจนความยาวของรางหัวอ่าน การคำนวณใช้ระเบียบวิธีนิวตัน -ราฟสัน [6] แก่สมการโมติฟายด์เรย์โนลด์ [1],[9] และใช้ระเบียบวิธีมัลติกริด [3],[4],[5] เพื่อเร่งความเร็วในการหาคำตอบ พิจารณาเปรียบเทียบระยะของการลอยตัว ลักษณะของการกระจายตัวของความดันของฟิล์มอากาศเมื่อมีการเซาะร่องและไม่มีการเซาะร่องที่ ABS รวมทั้งการกระจายตัวของความดันของฟิล์มอากาศที่เกิดขึ้นที่ ABS เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดของร่อง

2. ทฤษฎี

พฤติกรรมของการลอยตัวของหัวอ่านเหนือดิสก์ในสภาวะคงตัวสามารถ อธิบายด้วยสมการโมติฟายด์เรย์โนลด์โดยมีอากาศเป็นสารหล่อลื่นแบบอัดตัวได้ เมื่อสมมติให้อากาศเป็นแก๊สอุดมคติ และไม่คิดผลจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของฟิล์มอากาศ

2.1 สมการโมติฟายด์เรย์โนลด์แบบไร้มิติ

เมื่อคิดผลจาก Molecular slip ของอากาศ สมการโมติฟายด์เรย์โนลด์ ในสภาวะคงตัว แบบไร้มิติ [1]

$$\frac{\partial}{\partial X} \left(Q \frac{\partial P}{\partial X} \right) + R^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left(Q \frac{\partial P}{\partial Y} \right) = \Lambda \frac{\partial}{\partial X} (PH) \quad (1)$$

โดยที่

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

เมื่อ $\phi(P, H)$ คือ ตัวประกอบการไหล [2]

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

$$\Lambda = \frac{6\mu_0 UL}{p_a h_m^2} \quad (4)$$

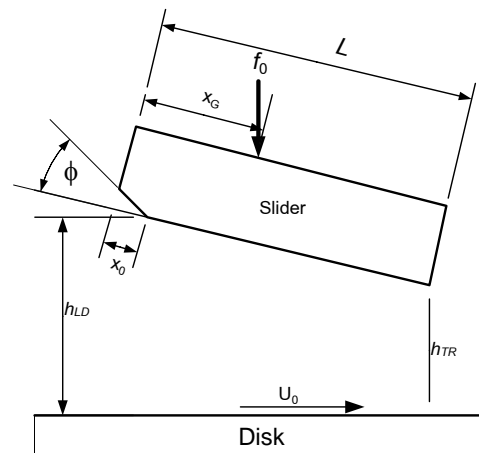
$$R = \frac{L}{W} \quad (5)$$

โดยมีเงื่อนไขขอบ

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

2.2 สมการความหนาของฟิล์มอากาศ

ลักษณะการลอยตัวของหัวอ่านเหนือแผ่นดิสก์ รวมทั้งแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อหัวอ่าน แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงลักษณะของหัวอ่านเหนือแผ่นดิสก์

สมการความหนาฟิล์มอากาศในรูปไร้มิติ

เมื่อ $0 \leq X \leq X_0$

$$H_{X,Y} = H_{TR} + (1-X)(H_{LD} - H_{TR}) + \left(\frac{L}{h_m} \right) (X_0 - X) \tan(\phi) \quad (6)$$

เมื่อ $X_0 < X \leq 1.0$

$$H = H_{TR} + (1-X)(H_{LD} - H_{TR}) \quad (7)$$

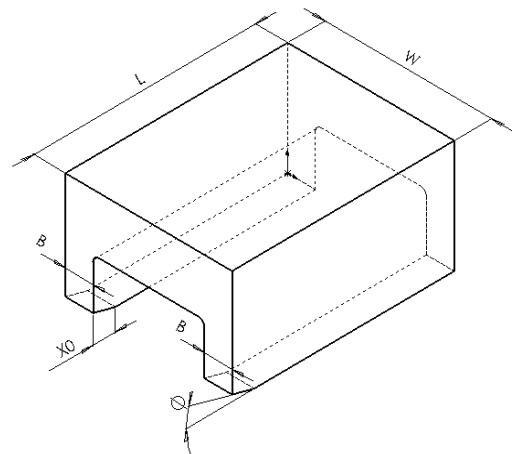
2.3 สมการสมดุลแรงและโมเมนต์

จากรูปที่ 1 สมการสมดุลแรงที่กระทำต่อหัวอ่านแบบโรมิติ

$$\int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} \int_0^1 (P-1) dXdY = \frac{f_0}{p_a LW} \quad (8)$$

สมการสมดุลโมเมนต์แบบโรมิติ

$$\int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} \int_0^1 X(P-1) dXdY = X_G \left(\frac{f_0}{p_a LW} \right) \quad (9)$$



รูปที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของหัวอ่าน IBM 3380

3. ผลการคำนวณ

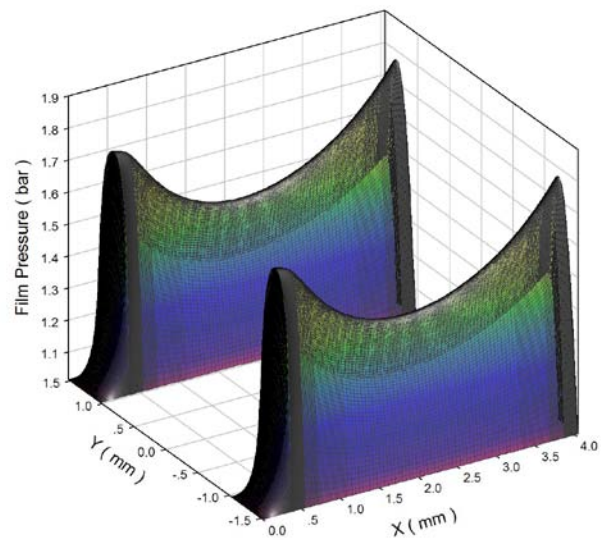
การจำลองการทำงานของหัวอ่าน แบบเทเปอร์ฟเลท ชนิด IBM 3380 ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพ และเงื่อนไขในการทำงานตามตารางที่ 1 และรูปที่ 2

ผล จากคำนวณพบว่า ความดันของฟิล์มอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อ อยู่ในช่วงขอบนำ (Leading Edge) หรือบริเวณทางเข้าใกล้มุมเทเปอร์ จากนั้นความดันมีค่าลดลงในช่วงบริเวณกลางราง และเพิ่มขึ้นอีกครั้ง ในช่วงของขอบท้าย (Trailing Edge) หรือบริเวณก่อนจะถึงด้านทางออกของหัวอ่าน ตามรูปที่ 3 และรูปที่ 4

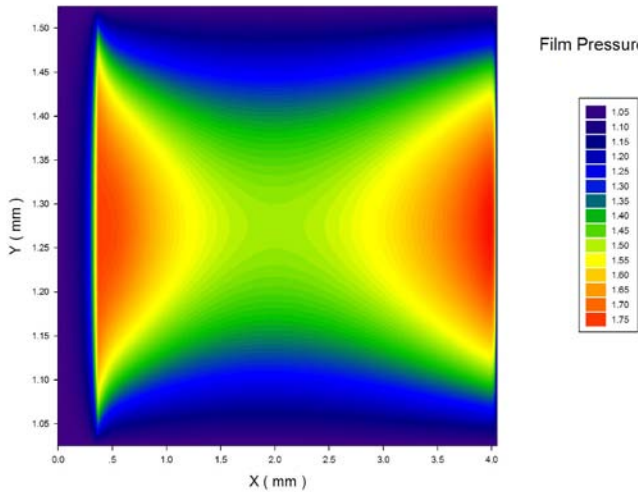
ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพและเงื่อนไขในการทำงานของหัวอ่าน รุ่น IBM 3380

สัญลักษณ์	ขนาด
L	4.05 mm
W	3.05 mm
B	0.5 mm
x_0	0.368 mm
ϕ	15.0 mrad
m	42.3 mg
f_0	147 mN
x_G	2.162 mm

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วพบว่า เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น ระยะการลอยตัวของหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 5 การกระจายความดันของฟิล์มอากาศตามความยาวของตัวหัวอ่าน เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น การกระจายความดันของฟิล์มอากาศที่บริเวณขอบนำและขอบตามมากขึ้นและที่กลางรางมีความดันต่ำลงดังนั้น เสดียรภาพในการทำงานของตัวหัวอ่านลดลง แสดงดังรูปที่ 6

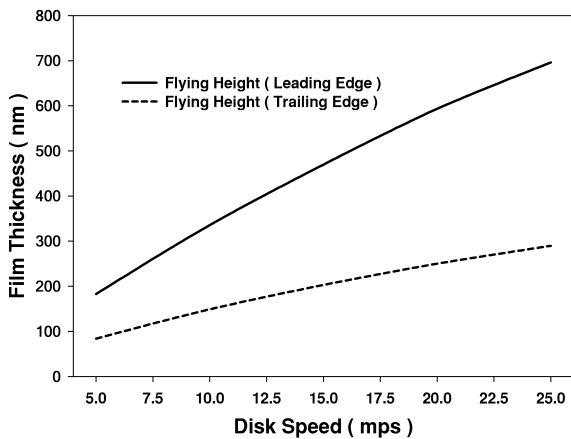


รูปที่ 3 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มอากาศที่อยู่ใต้ Air Bearing Surface ที่ความเร็ว 15 m/s และภาระ (f_0) 147 mN

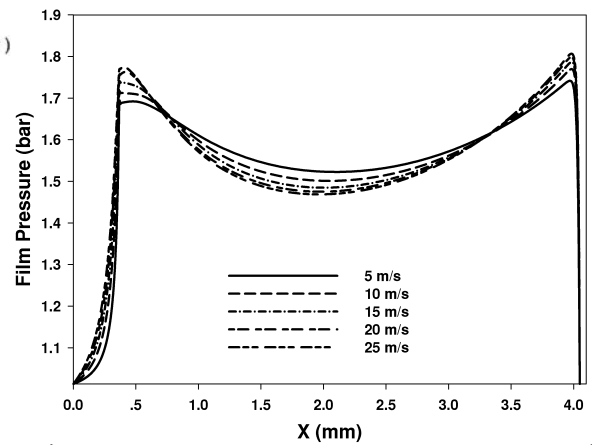


รูปที่ 4 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มอากาศที่อยู่ใต้ Air Bearing Surface

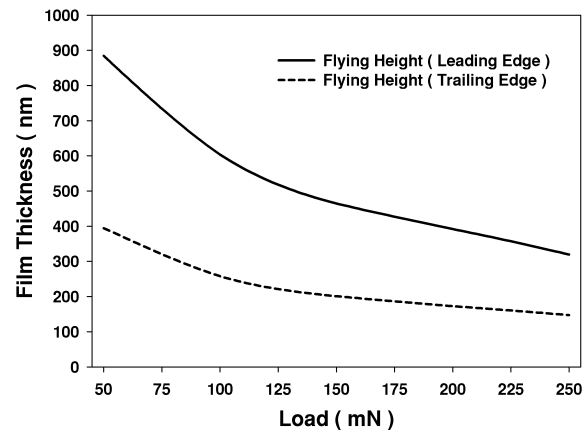
เมื่อเพิ่มแรงที่กระทำบนหัวอ่าน (f_0) พบว่าระยะการลอยตัวของหัวอ่านมีค่าลดลง โดยที่ความแตกต่างระหว่างขอบหน้าและขอบท้ายมีค่าน้อยลงคือหัวอ่านเซ็ดน้อยลง เมื่อเพิ่มภาระ (f_0) แสดงดังรูปที่ 7 การกระจายของความดันเมื่อแรง (f_0) เพิ่มขึ้น ความดันของฟิล์มอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น ลักษณะการกระจายความดัน แสดงดังรูปที่ 8



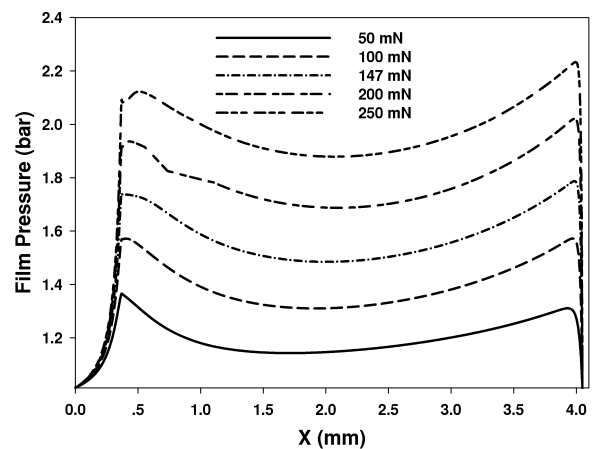
รูปที่ 5 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่าน ที่ขอบหน้า (Leading Edge) และขอบท้าย (Trailing Edge) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็ว



รูปที่ 6 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มอากาศ ที่บริเวณกึ่งกลางรางเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็ว

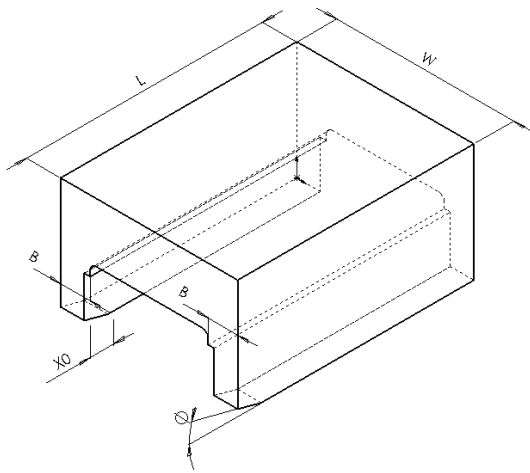


รูปที่ 7 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่านที่ขอบหน้าและขอบตามเมื่อเปลี่ยนแปลงภาระ (f_0) ที่ความเร็ว 15 m/s

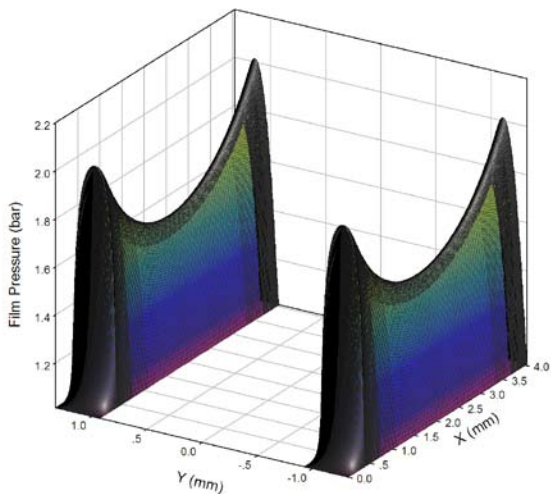


รูปที่ 8 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มอากาศตามความยาวของตัวหัวอ่าน เมื่อเปลี่ยนแปลงภาระ (f_0)

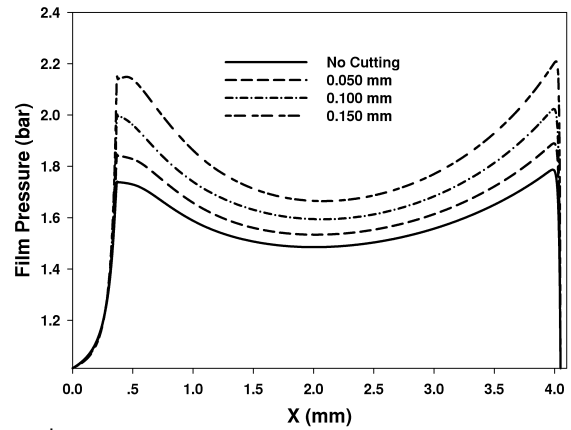
เมื่อทำการเซาะร่องที่ ABS ด้านในของรางหัวอ่าน แสดงดังรูปที่ 9 การกระจายความดันของฟิล์มอากาศที่ ABS แสดงดังรูปที่ 10 เมื่อขนาดของร่อง ด้านในเพิ่มขึ้น การกระจายความดันของฟิล์มอากาศมีความแตกต่างมากขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีร่อง ดังนั้นเสถียรภาพในการทำงานของหัวอ่านลดลง เมื่อขนาดของร่องใหญ่ขึ้น แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 9 แสดงลักษณะของหัวอ่านที่มีการเซาะร่องที่ด้านในของ ABS

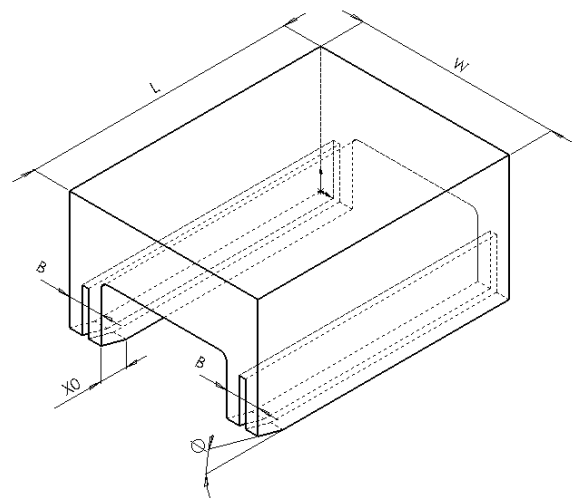


รูปที่ 10 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มอากาศที่อยู่ใต้ ABS โดยทำการเซาะร่องที่ด้านในของรางออก 0.1 mm ที่ความเร็ว 15 m/s และภาระ (f_0) 147 mN

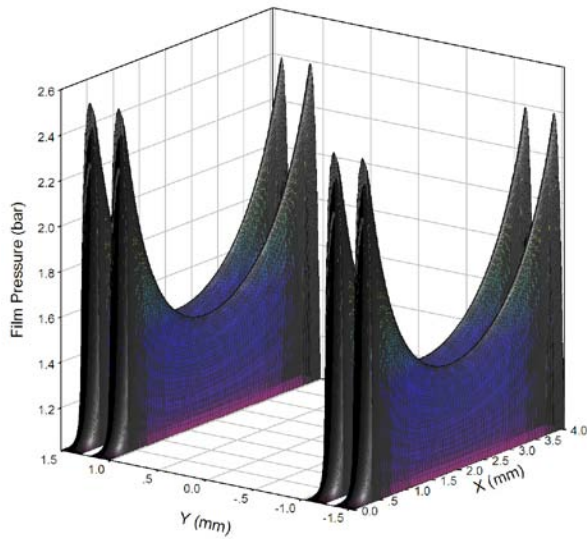


รูปที่ 11 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มอากาศที่บริเวณกึ่งกลางรางโดยเซาะร่องด้านในของหัวอ่านเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดร่องและไม่มีร่อง

เมื่อทำการเซาะร่อง ที่บริเวณกึ่งกลางของราง ลักษณะของร่องแสดงดังรูปที่ 12 พบว่าความดันของฟิล์มอากาศมีค่าสูงขึ้น การกระจายของความดันของฟิล์มอากาศแสดงดังรูปที่ 13 เมื่อพิจารณาผลของขนาดร่องกับการกระจายของความดัน เมื่อร่องมีขนาดใหญ่ขึ้นความดันเพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างของการกระจายความดันเพิ่มขึ้นส่งผลให้เสถียรภาพในการทำงานของหัวอ่านลดลง แสดงดังรูปที่ 14

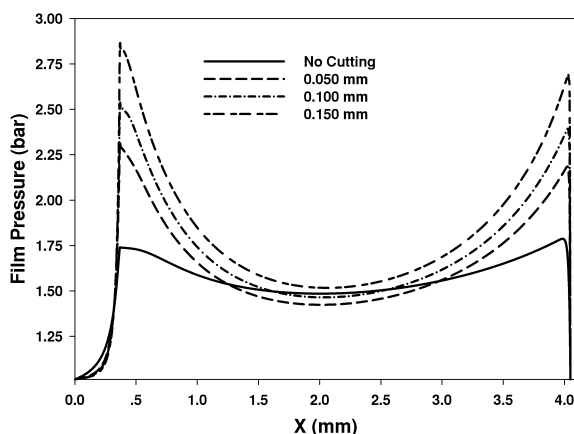


รูปที่ 12 แสดงลักษณะของหัวอ่านที่มีการเซาะร่องที่กึ่งกลางของ ABS

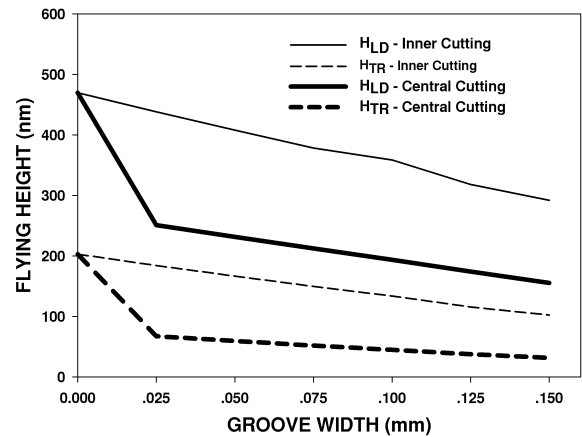


รูปที่ 13 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มอากาศ ที่
อยู่ใต้ ABS โดยเซาะร่องบริเวณกึ่งกลางของรางออก
0.1 mm ที่ความเร็ว 15 m/s และภาวะ (f_0) 147mN

เมื่อพิจารณาผลของการเซาะร่องแบบต่างๆ
กับระยะของการลอยตัวของหัวอ่านพบว่าเมื่อทำการ
เซาะร่องที่รางของหัวอ่าน ระยะการลอยตัวของหัวอ่าน
มีค่าลดลง โดยระยะการลอยตัวของหัวอ่านที่มีการ
เซาะร่องบริเวณกึ่งกลางของรางมีค่าน้อยสุด และ
พบว่าเมื่อขนาดของร่องเพิ่มขึ้น ระยะการลอยตัว
ของหัวอ่านมีค่าลดลง แสดงได้ดังรูปที่ 15



รูปที่ 14 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มอากาศ ที่
บริเวณกึ่งกลางรางโดย เซาะร่องที่กึ่งกลางหัวอ่านเมื่อ
เปลี่ยนแปลงขนาดร่องและเมื่อไม่มีร่อง



รูปที่ 15 แสดงระยะการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อมีการ
เซาะร่องที่ ABS แบบต่างๆ

4. สรุป

จากการจำลอง พฤติกรรมการลอยตัว ของ
หัวอ่านแบบเทเปอร์แพลท(IBM3380) สรุปได้ว่า

1. เมื่อความเร็วของดิสก์เพิ่มขึ้นระยะการลอยตัวของ
หัวอ่านจะมีค่าเพิ่มขึ้น ผลต่างของระยะการลอยตัว ที่
ขอบนำ(Leading Edge) และขอบท้าย (Trailing
Edge) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น
2. เมื่อภาวะ(f_0) เพิ่มขึ้น ระยะการลอยตัวของหัวอ่าน
จะมีค่าลดลง ผลต่างของระยะการลอยตัว ที่ขอบนำ
(Leading Edge) และขอบท้าย (Trailing Edge) มีค่า
ลดลงเมื่อภาวะ(f_0) เพิ่มขึ้น
3. การเซาะร่องที่ ABS ทำให้ความดันของฟิล์ม
อากาศมีค่าเพิ่มขึ้น การกระจาย ความดัน ของฟิล์ม
อากาศมีค่าแตกต่างกัน มากขึ้น ส่งผลให้เสถียรภาพ
ของหัวอ่านที่มีการเซาะร่องดีกว่าหัวอ่านแบบที่ไม่
มีการเซาะร่อง แต่ระยะการลอยตัวของหัวอ่าน ที่มีการ
เซาะร่องมีค่าน้อยกว่า
4. การเซาะร่องที่บริเวณกึ่งกลางของรางหัวอ่าน หรือ
ABS ทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านมีค่าลดลงมาก
ที่สุด และระยะการลอยตัวมีค่าลดลงเมื่อขนาดของร่อง
ใหญ่ขึ้น

5. สัญลักษณ์

- L = ความยาวของหัวอ่าน ,m
 w = ความกว้างของหัวอ่าน, m

B	=	ความกว้างของรางหัวอ่าน, m
U	=	ความเร็วติสก์
y	=	ระยะทางตามความกว้างของหัวอ่าน, m
Y	=	ระยะทางตามความกว้างของหัวอ่านแบบ ไร้มิติ y/W
h	=	ระยะการลอยตัวของหัวอ่าน, m
h_m	=	ระยะการลอยตัวของอ่านน้อยที่สุด, m
h_{TR}	=	ระยะการลอยตัวที่ขอบท้าย, m
h_{LD}	=	ระยะการลอยตัวที่ขอบหน้า, m
H	=	ระยะการลอยตัวแบบไร้มิติ h/h_m
H_{LD}	=	ระยะการลอยตัวที่ขอบหน้าแบบไร้มิติ h_{LD}/h_m
H_{TR}	=	ระยะการลอยตัวที่ขอบท้ายแบบไร้มิติ h_{TR}/h_m
H_{LD}	=	ระยะการลอยตัวที่ขอบหน้าแบบไร้มิติ
f_0	=	แรงกระทำที่ suspension, N
x	=	ระยะทางตามความยาวของหัวอ่าน, m
x_G	=	ระยะทางที่ suspension, m
x_0	=	ระยะทางที่ตำแหน่งมูเมเพอร์, m
X	=	ระยะทางตามความยาวของหัวอ่านแบบ ไร้มิติ x/L
X_0	=	ระยะทางที่ตำแหน่งมูเมเพอร์แบบไร้มิติ x_0/L
X_G	=	ระยะทางที่ suspension แบบไร้มิติ x_G/L
p	=	ความดันของฟิล์มอากาศ, Pa
P	=	ความดันของฟิล์มอากาศแบบไร้มิติ p/p_a
p_a	=	ความดันบรรยากาศ, Pa
Kn	=	Knudsen number λ_a/h_m
λ_a	=	ระยะความสูงของเส้นทางการเคลื่อนที่ อิสระโดยเฉลี่ยของโมเลกุลอากาศ, m
ϕ	=	มุมเทเพอร์, mrad

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Bernard J. Hamrock (2004), *Fundamental of fluid film lubrication*, ISBN: 0-8247-5371-2, Marcel Dekker Inc., New York, USA.
- [2] S. Fukui and Kaneko (1988). Analysis of Ultrathin Gas Film Lubrication Based on Linearized Boltzman Equation, *ASME Journal of Tribology*, 1988. Vol 110, pp.335-341.
- [3] C.H. Venner, A.A. Lubrecht (2000). *Multilevel methods in lubrication*, Elsevier
- [4] Christopher E. Goodyer, Roger Fairlie, Martin Berzins, Laurence E. Scales, (2001). Adaptive Mesh Methods for Elastohydrodynamic Lubrication, *ECCOMAS Computational Fluid Dynamics Conference*, Swansea, Wales, UK.
- [5] William L. Briggs, Van Emaen Hensen, Steve F. McCormick, (2000). *A Multigrid Tutorial*. 2nd edition, ISBN: 0-89871-462-1, Society for Industrial and Applied and Applied Mathematics, USA.
- [6] Steven C. Chapra, Raymond P. Canale (1985). *Numerical Methods for Engineers*, ISBN: 0-07-100412-2, McGRAW-HILL, Singapore.
- [7] Hashimoto H., Mongkolwongrojn M. (1993). *Advanced Lubrication Theory*, KMITL, Bangkok.
- [8] Hashimoto H. and Hattori Y. (2000). Improvement of the Static and Dynamic Characteristics of magnetic head sliders by optimum design, *Trans. ASME. Journal of Tribology*, vol. 122, January 2000. pp. 280-287.
- [9] Lokitsagtong M. and Mongkolwongrojn M. (2000). An Application of a Mathematical Programming Technique on Optimal Slider Head Characteristics in Magnetic Storage Device, *NORDTRIB 2000 Conference*, 2000. pp. 915-922.
- [10] Andras Z. Szeri (1998) *Fluid Film Lubrication*. ISBN: 0-521-48100-7, Cambridge University Press 1998, UK.