

พฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

แบบ Sub Ambient Pressure ในสถานะคงตัว

Characteristics of Flying Height for Time Independent

Sub Ambient Pressure Slider Head

ณัฐกรณัฏฐ์ เจริญ* เจษฎา พานิชกรณ และนิษฐา วงษ์สีดาแก้ว

ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800

Nattapakorn Charoen* Jesda Panichakorn Khanittha Wongseedakaew

Department of Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology

King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800

*Corresponding author Email: nattapakorn_charoen@hotmail.com

(Received: October 19, 2018; Accepted: December 19, 2018)

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาพฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบ Sub Ambient Pressure ในสถานะคงตัว โดยใช้ระเบียบวิธีผลต่างสลับเนื่องร่วมกับระเบียบวิธีนิวตัน-ราฟสัน และระเบียบวิธีมัลติกริดแก้สมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์ เมื่อสารหล่อลื่นเป็นอากาศ โดยคิดผลกระทบจากการสั่นไถลของชั้นโมเลกุลอากาศ เพื่อหาการกระจายตัวของความดันของฟิล์มอากาศและระยะการลอยตัวของหัวอ่าน จากการจำลองพบว่าความดันฟิล์มอากาศเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่บริเวณท้ายขอบรางหัวอ่าน ระยะการลอยตัวของหัวอ่านมีค่าลดลงแต่ความดันฟิล์มอากาศเพิ่มขึ้นเมื่อภาระของหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของอากาศที่เข้าหัวอ่านทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้น และความลึกของร่องหัวอ่านที่เหมาะสมคือ 2 ไมโครเมตร

คำสำคัญ: หัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้า การหล่อลื่นด้วยอากาศ สมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์ ระเบียบวิธีนิวตัน-ราฟสัน ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ABSTRACT

This paper describes the characteristics of flying height time independent sub ambient pressure slider head. The modified Reynold equation was formulated for air lubrication with the effect of molecular slip. Finite difference method, Newton-Raphson method and multigrid technique was implemented to obtain air pressure distribution and flying height of the slider. The simulation results show that the film pressure rapidly increases at the trailing edge region. The flying height decreases with increasing air pressure when increasing load. The flying height increases when

increasing velocity of disk. For increasing of air inlet temperature, the flying height increases. The appropriate of slider head groove depth is 2 μm .

Keyword: Sub ambient pressure alider, Air lubrication, Modified reynold, Newton-Raphson method.

1. บทนำ

เทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลผ่านแผ่นแม่เหล็กถูกพัฒนาตั้งแต่มีการคิดค้นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตัวแรก ในปี ค.ศ. 1956 ซึ่งในปัจจุบันฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ถูกพัฒนาให้มีความจุเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง พื้นที่ในการบันทึกข้อมูลถูกปรับปรุงให้มีขนาดเล็กลงในขณะที่ความจุของข้อมูลเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้การสร้างฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีความจุสูงนั้นมีความท้าทายเป็นอย่างมาก เนื่องจากต้องหาเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อใช้สร้างฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีความจุสูงมากขึ้น

วิธีการหนึ่งของการสร้างฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีความจุสูงคือการลดระยะห่างของช่องว่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ให้น้อยลง โดยหัวอ่านจะลอยตัวอยู่เหนือแผ่นดิสก์ด้วยฟิล์มอากาศที่มีลักษณะการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกส์ เพื่อที่จะสามารถสร้างแม่เหล็กต่อพื้นที่หนึ่งหน่วยได้มากขึ้นและเพิ่มสัญญาณการส่งถ่ายข้อมูลให้มากขึ้น โดยจะต้องควบคุมระยะห่างของช่องว่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ให้เหมาะสม เนื่องจากระยะห่างของช่องว่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ใกล้เกินไปจะทำให้เกิดการขัดขวางระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ได้ ส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดจากการอ่านหรือทำให้แผ่นดิสก์และหัวอ่านเกิดความเสียหายได้ [1]

งานวิจัยจำนวนมากได้มีการศึกษาถึงพฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านเพื่อเป็นแนวทางการลดระยะการลอยตัวของหัวอ่านเพื่อให้ฮาร์ดดิสก์มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น มีการออกแบบและเลื่อนความคุมการลอยตัวของหัวอ่านด้วยความร้อน [2], [3] การศึกษาพฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดเทเปอร์เพลทในสถานะคงตัวที่หล่อลื่นด้วยอากาศ [4] การศึกษาผลกระทบจากความหนืดที่มีต่อพฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านในสถานะคงตัวที่หล่อลื่นด้วยอากาศ [5] การออกแบบ

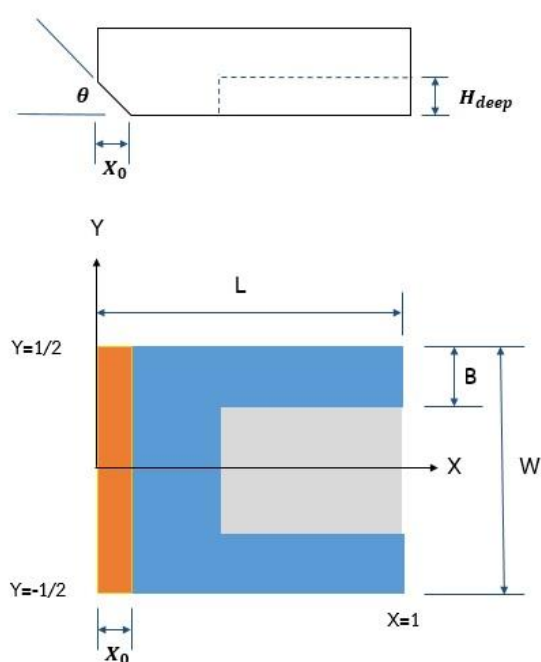
หัวอ่านให้มีรูปทรงที่เหมาะสมเพื่อช่วยลดระยะการลอยตัวของหัวอ่าน [6], [7]

งานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาพฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์แบบ Sub Ambient Pressure ที่ทำงานด้วยอากาศเป็นสารหล่อลื่น โดยการแก้สมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์ [1], [4] โดยใช้ระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่องร่วมกับระเบียบวิธีนิวตัน-ราฟสัน [8], [9] และใช้ระเบียบวิธีมัลติกริด [10], [11] เพื่อหาการกระจายของความดันฟิล์มของอากาศและระยะการลอยตัวของหัวอ่านเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราความเร็วของจานดิสก์ที่ตำแหน่งต่างๆ แรงกดที่กระทำบนหัวอ่าน อุณหภูมิอากาศ และความลึกของร่องหัวอ่าน

2. ทฤษฎี

พฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าในฮาร์ดดิสก์ในสถานะคงตัวตามรูปที่ 1 สามารถอธิบายด้วยสมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์โดยมีอากาศเป็นสารหล่อลื่นแบบอัดตัวได้ เมื่อสมมติให้อากาศเป็นแก๊สอุดมคติ และไม่คิดผลจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของฟิล์มอากาศ

ปีที่ 13 ฉบับที่ 3 เดือน กันยายน - ธันวาคม พ.ศ. 2561



รูปที่ 1 ลักษณะและพิกัดของหัวอ่านที่ใช้ในการจำลอง

2.1. สมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์แบบไร้มิติ

เมื่อคิดผลของการเลื่อนไหลของชั้นโมเลกุลอากาศ จะได้สมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์ในรูปแบบไร้มิติ สำหรับหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าในสภาวะคงตัว เมื่อสารหล่อลื่นเป็นอากาศ

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

โดย

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

เมื่อ $\phi(P,H)$ คือตัวประกอบการไหล

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

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

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

โดยมีเงื่อนไขขอบเขตสมการเรย์โนลด์

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

ความหนืดของอากาศจะแปรผันกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศตามความสัมพันธ์ของสมการ Sutherland [12]

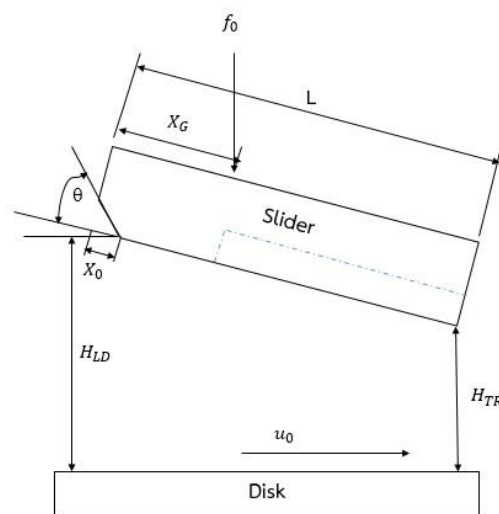
$$\mu = \frac{bT^{3/2}}{S+T} \quad (6)$$

$$\text{เมื่อ } b = 1.458 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{K}^{1/2}}$$

$$S = 110.4K$$

2.2. สมการความหนาฟิล์มอากาศ

ระยะการลอยตัวของหัวอ่าน (Flying height of slider) ที่ตำแหน่งต่างๆของหัวอ่าน จะขึ้นกับมุมเงยของหัวอ่าน θ (rad) และลักษณะการทำงานของหัวอ่านแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะการลอยตัวของหัวอ่านขณะทำงาน

ดังนั้นสมการความหนาฟิล์มอากาศในรูปแบบไร้มิติแสดงดังสมการที่ (7)-(9)

เมื่อ $0 \leq X \leq X_0$

$$H(X,Y) = H_{TR} + (1-X)(H_{LD} - H_{TR}) + \left(\frac{L}{h_d}\right)(X_0 - X) \tan \theta \quad (7)$$

เมื่อ $X_0 < X \leq 1.0$ ในส่วนพื้นที่สีฟ้าที่แสดงในรูปที่ 1

$$H(X,Y) = H_{TR} + (1-X)(H_{LD} - H_{TR}) \quad (8)$$

เมื่อ $X_0 < X \leq 1.0$ ในส่วนพื้นที่สีเทาที่แสดงในรูปที่ 1

$$H(X,Y) = H_{TR} + (1-X)(H_{LD} - H_{TR}) + H_{Deep} \quad (9)$$

2.3 สมการสมดุลแรงและโมเมนต์

ในบทความนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่าน ในสภาวะคงตัว ดังนั้นสมการสมดุลแรงของหัวอ่านในรูปไร้มิติ แสดงดังสมการ

$$\int_{-1/2}^{1/2} \int_0^1 (P-1) dXdY = \frac{f_0}{p_a LW} \quad (10)$$

สมการสมดุลของโมเมนต์ของหัวอ่านในรูปไร้มิติ แสดงดังสมการ

$$\int_{-1/2}^{1/2} \int_0^1 X(P-1) dXdY = X_G \left[\frac{f_0}{p_a LW} \right] \quad (11)$$

โดยที่ X_G คือตำแหน่งที่หัวอ่านยึดติดกับ Suspension

3. ผลการจำลองและวิจารณ์ผล

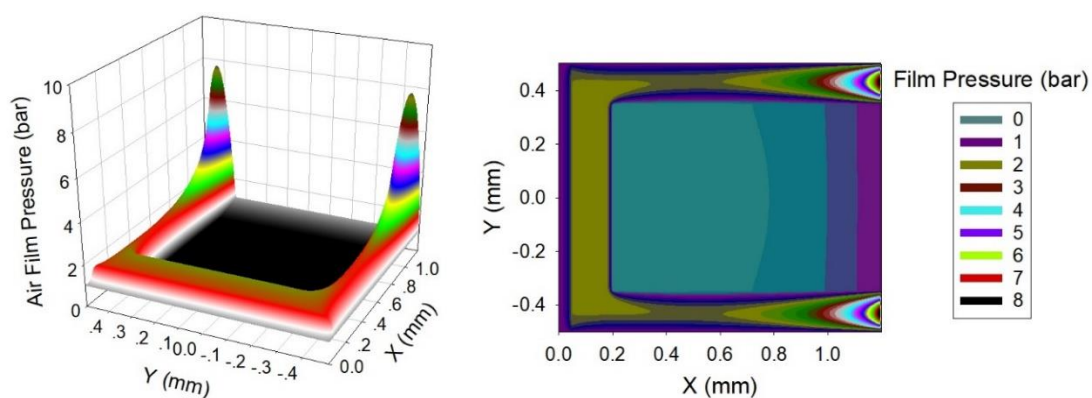
จากการจำลองการทำงานของหัวอ่านที่มีลักษณะทางกายภาพตามรูปที่ 1 และมีเงื่อนไขการทำงานตามตารางที่ 1

การกระจายของความดันฟิล์มอากาศที่เกิดขึ้นบน air bearing surface ที่ความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที ภาระที่กระทำ 10 มิลลินิวตัน แสดงดังรูปที่ 3 พบว่า ความดันของฟิล์มอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออยู่ในช่วงขอบหน้า (Leading Edge) และมีระยะการลอยตัวอยู่ที่ 229.13 นาโนเมตร จากนั้นความดันจะลดลงอย่างฉับพลันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความลึกในบริเวณร่องหัวอ่าน ทำให้เกิดการขยายตัวของอากาศและมีการไหลวนของอากาศเกิดขึ้น ส่งผลให้ความดันลดลงในบริเวณนั้น และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่บริเวณขอบท้าย (Trailing Edge) โดยมีระยะการลอยตัวอยู่ที่ 20.35 นาโนเมตร ความดันสูงสุดที่กระทำบนหัวอ่านเกิดขึ้นที่บริเวณขอบท้าย มีค่าเท่ากับ 7.81 บาร์

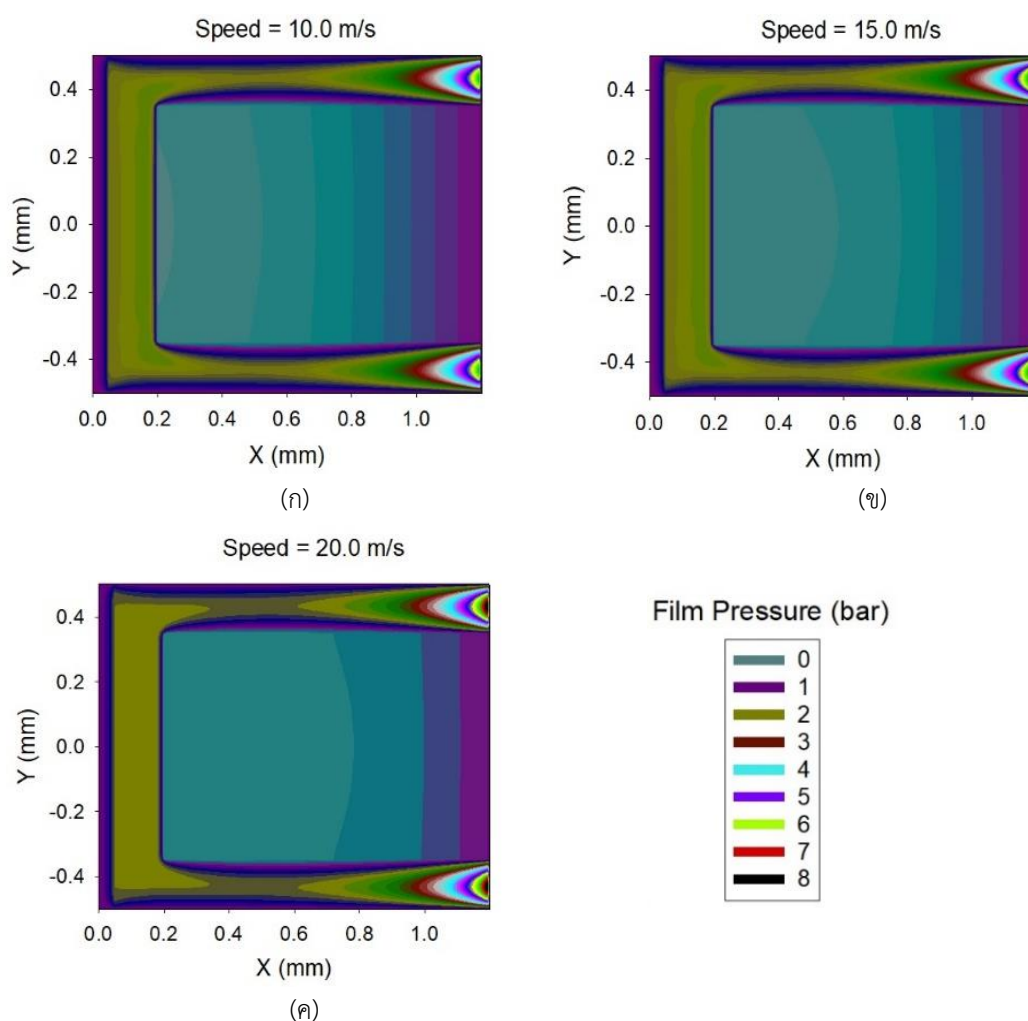
ตารางที่ 1 เงื่อนไขในการทำงานของหัวอ่าน

สัญลักษณ์	ขนาด
L	1.2 mm
W	1.0 mm
B	0.2 mm
x_0	0.025 mm
θ	20 mrad
h_{deep}	2 μ m
U	20 m/s
f_0	10 mN
T	15 $^{\circ}$ C

ปีที่ 13 ฉบับที่ 3 เดือน กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2561



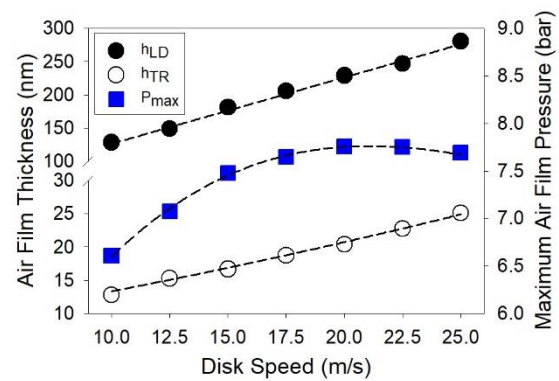
รูปที่ 3 การกระจายความดันฟิล์มอากาศที่อยู่ใต้ Air Bearing Surface ที่ความเร็วของแผ่นจาน (Disk) 20 เมตรต่อวินาที
ภาระที่กระทำ 10 มิลลินิวตัน



รูปที่ 4 การกระจายความดันของฟิล์มอากาศที่อยู่ใต้ Air Bearing Surface ภาระที่กระทำ 10 มิลลินิวตัน
(ก) ความเร็ว 10 เมตรต่อวินาที (ข) ความเร็ว 15 เมตรต่อวินาที (ค) ความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที

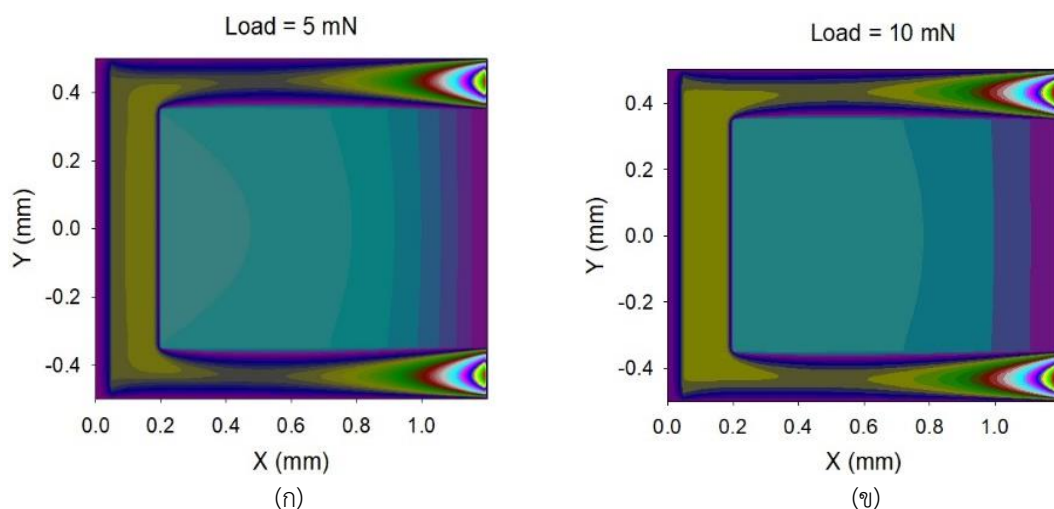
รูปที่ 4 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มอากาศที่อยู่ภายใต้ Air Bearing Surface ที่มีภาระกระทำบนหัวอ่าน 10 มิลลิวัตต์ที่มีความเร็วแผ่นดิสก์ 10 เมตรต่อวินาที 15 เมตรต่อวินาที และ 20 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ พบว่า ความดันของฟิล์มสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณขอบท้ายมีค่าเพิ่มขึ้น รวมทั้งระยะการลอยตัวของหัวอ่านที่ขอบหน้าและขอบท้ายมีค่าเพิ่มขึ้น โดยความดันฟิล์มสูงสุดมีค่าเท่ากับ 6.61 บาร์ 7.48 บาร์ และ 7.76 บาร์ ระยะการลอยตัวของขอบหน้า (Leading Edge) มีค่าเท่ากับ 128.18 นาโนเมตร 181.43 นาโนเมตร และ 229.13 นาโนเมตร และระยะการลอยตัวของขอบท้าย (Trailing Edge) มีค่าเท่ากับ 12.75 นาโนเมตร 16.66 นาโนเมตร และ 20.35 นาโนเมตร เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที 15 เมตรต่อวินาที และ 20 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ อันเป็นผลมาจากความเร็วของแผ่นดิสก์ที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านสูงขึ้น ทำให้แผ่นหัวอ่านยกตัวสูงขึ้นทั้งบริเวณขอบหน้าและขอบท้ายของหัวอ่าน

การเปลี่ยนแปลงของการลอยตัวของหัวอ่านและความดันของฟิล์มอากาศสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วของแผ่นดิสก์พบว่า เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เพิ่มขึ้น ระยะการลอยตัวของหัวอ่านบริเวณขอบหน้า ขอบตามและความดันของฟิล์มอากาศสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 5

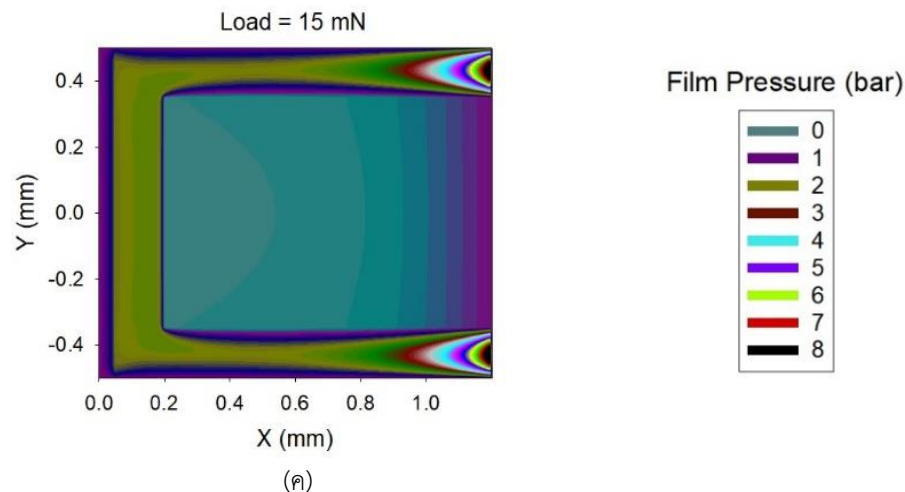


รูปที่ 5 ความดันของฟิล์มอากาศสูงสุดที่อยู่ภายใต้ Air Bearing Surface ระยะการลอยตัวของขอบหน้าและขอบท้ายเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็ว

รูปที่ 6 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มอากาศที่อยู่ภายใต้ Air Bearing Surface เมื่อความเร็วแผ่นดิสก์ 10 เมตรต่อวินาที และภาระที่กระทำกับหัวอ่านมีค่าเท่ากับ 10 มิลลิวัตต์ 15 มิลลิวัตต์ และ 20 มิลลิวัตต์ตามลำดับ พบว่าความดันของฟิล์มอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ระยะการลอยตัวของหัวอ่านที่ขอบหน้าและขอบท้ายลดลง โดยที่ความดันของฟิล์มอากาศสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณขอบท้าย มีค่าเท่ากับ 7.00 บาร์ 7.75 บาร์ และ 8.44 บาร์ เมื่อภาระที่หัวอ่านได้รับเท่ากับ 5 มิลลิวัตต์ 10 มิลลิวัตต์ และ 15 มิลลิวัตต์ ตามลำดับ และระยะการลอยตัวของขอบหน้ามีค่าเท่ากับ 242.12 นาโนเมตร 236.02 นาโนเมตร และ 219.16 นาโนเมตร

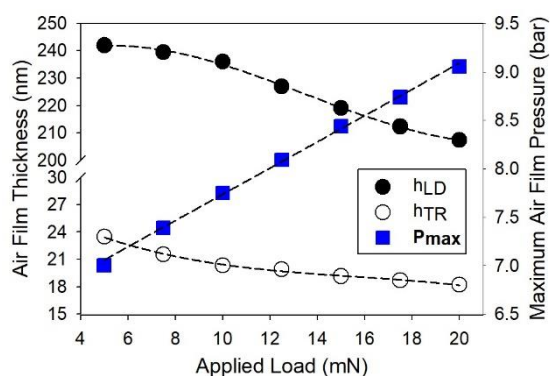


ปีที่ 13 ฉบับที่ 3 เดือน กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2561



รูปที่ 6 การกระจายความดันของฟิล์มอากาศที่อยู่ใต้ Air Bearing Surface ที่ความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที
(ก) ภาระที่กระทำ 5 มิลลินิวตัน (ข) ภาระที่กระทำ 10 มิลลินิวตัน (ค) ภาระที่กระทำ 15 มิลลินิวตัน

ระยะการลอยตัวของข้อเท้ามีค่าเท่ากับ 23.46 นาโนเมตร 20.35 นาโนเมตร และ 19.16 นาโนเมตร เมื่อภาระที่หัวอ่านได้รับเท่ากับ 5 มิลลินิวตัน 10 มิลลินิวตัน และ 15 มิลลินิวตัน ตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มภาระกระทำบนหัวอ่านจะทำให้พื้นที่ใต้หัวอ่านลดลงส่งผลให้ความดันอากาศใต้หัวอ่านเพิ่มขึ้นทำให้ระยะการลอยตัวของหัวอ่านทั้งบริเวณขอบหน้าและขอบท้ายของหัวอ่านลดลง



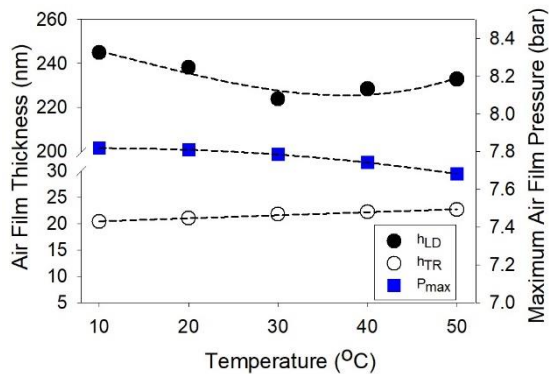
รูปที่ 7 ความดันของฟิล์มอากาศสูงสุดที่อยู่ภายใต้ Air Bearing Surface ระยะการลอยตัวของหน้าและขอบท้ายเมื่อเปลี่ยนแปลงภาระที่กระทำบนหัวอ่าน

การเปลี่ยนแปลงการลอยตัวของหัวอ่านและความดันของฟิล์มอากาศสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงภาระที่กระทำบนหัวอ่านพบว่า เมื่อภาระที่หัวอ่านได้รับ

เพิ่มขึ้น ระยะการลอยตัวของหัวอ่านบริเวณขอบหน้าและขอบตามจะมีค่าลดลง แต่การที่ความดันสูงสุดของฟิล์มอากาศเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เสถียรภาพในการทำงานของหัวอ่านลดลงอย่างรวดเร็วตามไปด้วย ดังที่แสดงดังรูปที่ 7

การเปลี่ยนแปลงของการลอยตัวของหัวอ่านและความดันสูงสุดของฟิล์มอากาศเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าของหัวอ่านเมื่อความเร็วแผ่นดิสก์ 20 เมตรต่อวินาที ภาระกระทำบนหัวอ่าน 10 มิลลินิวตัน ที่อุณหภูมิอากาศ 10, 20, 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียสตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่า ความดันฟิล์มอากาศมีค่าลดลง แต่ระยะการลอยตัวของหัวอ่านที่ขอบท้ายมีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่ความดันสูงสุดของฟิล์มอากาศที่เกิดขึ้นบริเวณขอบท้ายมีค่าเท่ากับ 7.818, 7.811, 7.709, 7.703 และ 7.688 บาร์ เมื่ออุณหภูมิของอากาศที่เข้าหัวอ่านเท่ากับ 10, 20, 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียสตามลำดับ และระยะการลอยตัวของข้อเท้ามีค่าเท่ากับ 20.35, 20.97, 21.74, 22.15 และ 22.60 นาโนเมตรเมื่ออุณหภูมิของอากาศที่เข้าหัวอ่านเท่ากับ 10, 20, 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียสตามลำดับ เนื่องมาจากอุณหภูมิของอากาศที่ถ่ายเทเข้าหัวอ่านสูงขึ้นความหนืดของอากาศมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย ทำให้ความหนาฟิล์มอากาศ

เพิ่มขึ้นหรือการลอยตัวของหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อากาศไหลผ่านได้สะดวกขึ้น การเปลี่ยนความเร็วไปเป็นความดันของอากาศที่อยู่ภายใต้ Air Bearing Surface ลดลงเล็กน้อย ทำให้ความดันฟิล์มอากาศมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิของอากาศที่ถ่ายเทเข้าหัวอ่านเพิ่มขึ้น

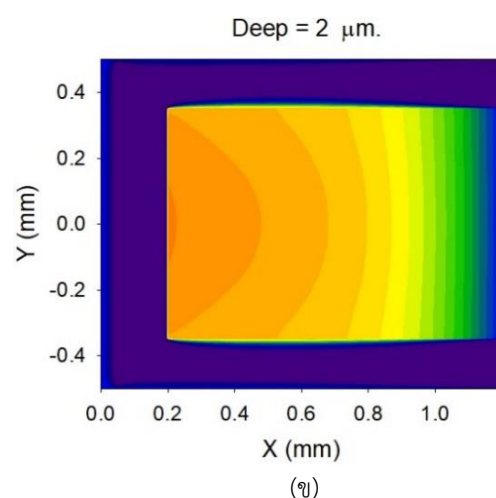
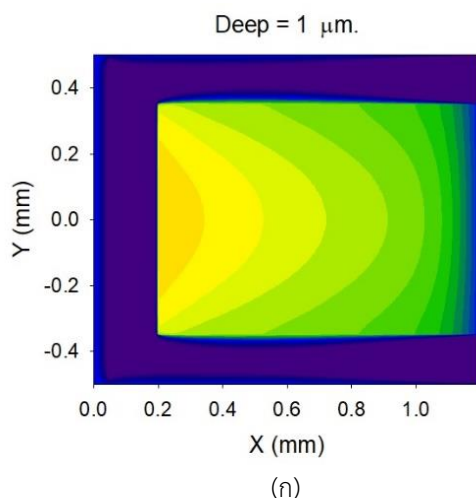


รูปที่ 8 ความดันของฟิล์มอากาศสูงสุดที่อยู่ภายใต้ Air Bearing Surface ระยะการลอยตัวขอบหน้าและ ขอบท้ายเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศ

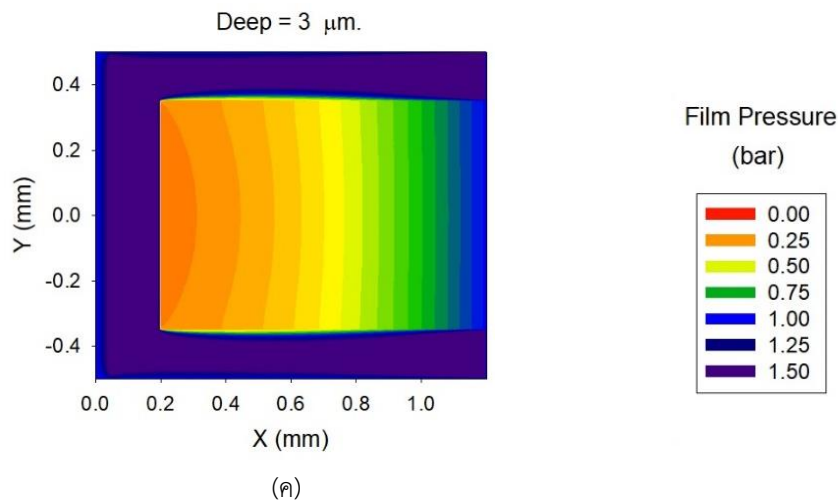
การกระจายความดันฟิล์มอากาศที่เกิดขึ้นในร่องหัวอ่าน ที่ความลึก 1.0 ไมโครเมตร, 2.0 ไมโครเมตร และ 3.0 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 9 ที่ความลึกของร่อง

หัวอ่าน 1.0 ไมโครเมตร การเกิด negative pressure ที่บริเวณร่องหัวอ่านจะมีค่าน้อย ทำให้เกิดการรับแรงที่บริเวณ negative zone ส่งผลให้การลอยตัวขอบหน้าและขอบท้ายสูงขึ้นเท่ากับ 283.78 นาโนเมตร และ 23.56 นาโนเมตร ตามลำดับ ความดันสูงสุดของฟิล์มอากาศที่เกิดขึ้นบริเวณขอบท้ายมีค่าลดลงเท่ากับ 6.74 บาร์

เมื่อเพิ่มความลึกของร่องหัวอ่านที่ 2.0 ไมโครเมตร การเกิด negative pressure ที่บริเวณร่องหัวอ่านจะมากขึ้น ทำให้เกิดการรับแรงที่บริเวณ negative zone น้อยลง ส่งผลให้การลอยตัวขอบหน้าและขอบท้ายลดลงเท่ากับ 238.12 นาโนเมตร และ 20.35 นาโนเมตร ตามลำดับ ความดันสูงสุดของฟิล์มอากาศที่เกิดขึ้นบริเวณขอบท้ายเพิ่มขึ้นเท่ากับ 7.81 บาร์ และเมื่อเพิ่มความลึกของร่องหัวอ่านที่ 3.0 ไมโครเมตร การเกิด negative pressure ที่บริเวณร่องหัวอ่านมีค่าลดลง ทำให้เกิดการรับแรงที่บริเวณ negative zone มากขึ้น ส่งผลให้การลอยตัวขอบท้ายเพิ่มขึ้นเท่ากับ 26.22 นาโนเมตร ความดันสูงสุดของฟิล์มอากาศที่เกิดขึ้นบริเวณขอบท้ายลดลงที่ 6.13 บาร์

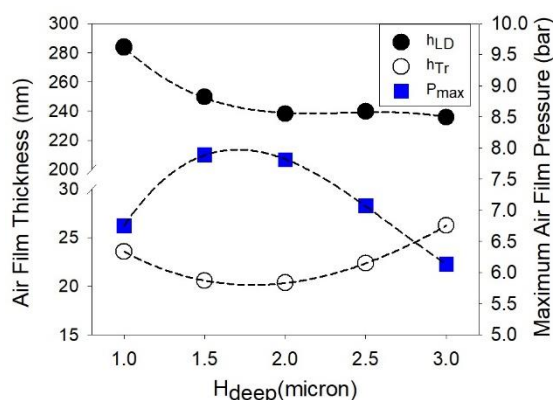


ปีที่ 13 ฉบับที่ 3 เดือน กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2561



รูปที่ 9 การกระจายความดันของฟิล์มอากาศที่บริเวณ Negative Zone ที่ความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที
 ภาระที่กระทำ 10 มิลลินิวตัน (ก) ความลึกของร่องหัวอ่าน 1 ไมโครเมตร (ข) ความลึกของร่องหัวอ่าน 2 ไมโครเมตร
 (ค) ความลึกของร่องหัวอ่าน 3 ไมโครเมตร

การเปลี่ยนแปลงของการลอยตัวของหัวอ่านและความดันฟิล์มอากาศสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อเปลี่ยนแปลงความลึกของร่องหัวอ่าน เมื่อความเร็วแผ่นดิสก์เท่ากับ 20 เมตรต่อวินาที ภาระกระทำบนหัวอ่าน 10 มิลลินิวตัน ที่ความลึกของร่องหัวอ่าน 1.0 1.5 2.0 2.5 และ 3 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 ความดันของฟิล์มอากาศสูงสุดที่อยู่ภายใต้ Air Bearing Surface ระยะการลอยตัวขอบหน้าและขอบท้ายเมื่อเปลี่ยนแปลงความลึกของร่องหัวอ่าน

4. สรุป

การจำลองพฤติกรรมการลอยตัวของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าในฮาร์ดดิสก์แบบ Sub Ambient Pressure ในสภาวะคงตัวสามารถสรุปได้ ดังนี้

1. เมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เพิ่มขึ้นระยะการลอยตัวของหัวอ่านและความดันฟิล์มอากาศสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้น
2. เมื่อภาระที่กระทำบนหัวอ่านเพิ่มขึ้น ระยะการลอยตัวของหัวอ่านมีค่าลดลง ผลต่างการลอยตัวที่ขอบหน้าและขอบท้ายมีค่าลดลง แต่ความดันฟิล์มอากาศสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้น
3. เมื่ออุณหภูมิของอากาศที่เข้าหัวอ่านเพิ่มขึ้น ระยะการลอยตัวของหัวอ่านมีค่าเพิ่มขึ้น ผลต่างการลอยตัวที่ขอบหน้าและขอบท้ายและความดันฟิล์มอากาศสูงสุดมีค่าลดลง
4. เมื่อเพิ่มความลึกของร่องหัวอ่าน พบว่าที่ความลึกของร่องหัวอ่าน 2 ไมโครเมตร ระยะการลอยตัวของหัวอ่านลอยตัวต่ำสุด ดังนั้นความลึกของร่องหัวอ่านที่เหมาะสมในฮาร์ดดิสก์แบบ Sub Ambient Pressure คือ 2 ไมโครเมตร

5. สัญลักษณ์

- L = ความยาวของหัวอ่าน, m
 W = ความกว้างของหัวอ่าน, m
 B = ความกว้างของรางหัวอ่าน, m
 U = ความเร็วแผ่นดิสก์, m/s
 y = ระยะทางตามความกว้างของหัวอ่าน, m
 Y = ระยะทางตามความกว้างของหัวอ่านแบบไร้มิติ
 h = ระยะการลอยตัวของหัวอ่าน, m
 h_a = ระยะการลอยตัวของหัวอ่านน้อยที่สุด, m
 h_{TR} = ระยะการลอยตัวที่ขอบท้าย, m
 h_{LD} = ระยะการลอยตัวที่ขอบนำแบบไร้มิติ, m
 h_{deep} = ความลึกของร่องหัวอ่าน, m
 H = ระยะการลอยตัวแบบไร้มิติ
 H_{TR} = ระยะการลอยตัวของขอบท้ายแบบไร้มิติ
 H_{LD} = ระยะการลอยตัวของขอบนำแบบไร้มิติ
 H_{deep} = ความลึกของร่องหัวอ่านแบบไร้มิติ
 f_0 = แรงที่กระทำที่ suspension, N
 x = ระยะทางตามความยาวของหัวอ่าน, m
 x_G = ระยะทางที่ suspension, m
 x_0 = ระยะทางที่ตำแหน่งมุมเทเปอร์, m
 X = ระยะทางความยาวของหัวอ่านแบบไร้มิติ
 X_0 = ระยะที่ตำแหน่งมุมเทเปอร์แบบไร้มิติ
 X_G = ระยะทางที่ suspension แบบไร้มิติ
 p = ความดันของฟิล์มอากาศ, bar
 P = ความดันของฟิล์มอากาศแบบไร้มิติ
 P_a = ความดันบรรยากาศ, bar
 K_n = Knudsen number
 θ = มุมเทเปอร์, mrad
 T = อุณหภูมิอากาศ, °C

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล
วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าพระนครเหนือที่เอื้อเฟื้อคอมพิวเตอร์เพื่อ
จำลองผลงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Boonsawat and J. Srisertpol, "Study in Head/Disk contact process with Readback Signal under thermal control on variable temperature," in *The 5th International data storage technology conference DST*, Bangkok, Thailand, 2013.
- [2] J. Song and C.D. Yeo, "Finite element analysis simulations of thermomechanical head-disk interface contact in thermal flying-height control slider design," *Tribol. Inter.*, vol. 98, pp. 299-305, June. 2016.
- [3] J. L. Zheng and D. B. Bogy, "Investigation of flying-height stability of thermal fly-height control sliders in lubricant or solid contact with roughness," *Tribol. Lett.*, vol. 38, pp. 283-289, June. 2010.
- [4] G. Waleephan, P. Jesda and A. Chatchai, "Effect of Groove on Slider Rail to Flying Characteristics of the Taper Flat Slider in a Magnetic Storage system," in *The 23st Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*, Chiangmai, Thailand, 2009, TSF-018291.
- [5] G. Waleephan, "The Effect of surface roughness to flying characteristics of the slider in HDD," in *The 24st Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*, Ubonratchathani, Thailand, 2010, TSF 006.
- [6] B. Liu, J. Liu and T.C. Chong, "Slider design for sub-3-nm flying height head-disk systems," *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 287, pp. 339-345, February. 2005.
- [7] J.Y. Juang, D.B. Bogy and C.S. Bhatia, "Design and Dynamics of Flying Height Control

ปีที่ 13 ฉบับที่ 3 เดือน กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2561

- Slider With Piezoelectric Nanoactuator in Hard Disk Drives,” *J. Tribol.*, vol. 129, pp 161-170, January. 2007.
- [8] T. Hayashi, H. Yoshida and Y. Mitsuya, 2009. “A Numerical Simulation Method to Evaluate the Static and Dynamic Characteristics of Flying Head Sliders on Patterned Disk Surface,” *J. Tribol.*, vol. 131, pp 155-200, April. 2009.
- [9] S.C. Chapra and R.P. Canale, “*Numerical Methods for Engineers*”, 6th Ed. New York: McGraw-Hill Inc., 2010.
- [10] L. Li and D.B. Bogy, “Local adaptive multi-grid control volume method for the air bearing problem in hard disk drives”, in *International Joint Tribology Conference*, Colorado, USA, 2012, pp. 185-187.
- [11] Q. Meng , J. Wang, P. Yang, Z. Jina and J. Fisher, “The lubrication performance of the ceramic-on-ceramic hip implant under starved conditions”, *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.*, vol. 50, pp. 70–76, October. 2015.
- [12] PHILIP J. PRITCHARD, “*Introduction to Fluid Mechanics*, 8th Edition, John Wiley & Sons, Inc. USA, 2011.