

การออกแบบหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าชนิด Truncated Cycloidal Optimum Design of the Truncated Cycloidal Magnetic Head Slide.

มงคล มงคลวงศ์โรจน์ และ ขนิษฐา วงษ์สีดาแก้ว

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทร 3269987 ต่อ 103, โทรสาร 0-2326-9053 Email: S3062027@kmitl.ac.th

Mongkol Mongkolwongrojn and Khanittha Wongseedakaew

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Tel: (662) 0-2326-9987 ext. 103, Fax: 0-2326-9053

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่าน Truncated cycloidal ในอุปกรณ์การจัดเก็บข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่สภาวะการทำงานสถิตย์ โดยใช้สมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์ที่คิดผลของการไหลแบบสลิปไกลของโมเลกุล โปรแกรมคณิตศาสตร์ที่ใช้ประกอบด้วยวิธีโบเดน-เฟลทเชอร์-โกลด์ฟาร์บ-ชานโน(BFGS) และวิธีค้นหาเชิงเส้น เพื่อหาความหนาฟิล์มอากาศที่บริเวณขอบท้ายของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าต่ำที่สุด โดยมีความกว้างของรางของหัวอ่านและมุมเทเปอร์เป็น design variables แล้วทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณที่ได้กับหัวอ่านชนิด IBM 3380

Abstract

This paper presented the optimum design of a magnetic head slider in magnetic storage device at statically operating condition. The modified Reynolds equation included molecular slip flow effects has been formulated for the Truncated Cycloidal head slider. The mathematical programming comprised of the Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS) method and the line search method was utilized to minimize the flying heights of magnetic slider bearing. Optimum design variables, rail width and taper angle were obtained and compared with the results from IBM 3380 type head slider.

1.บทนำ

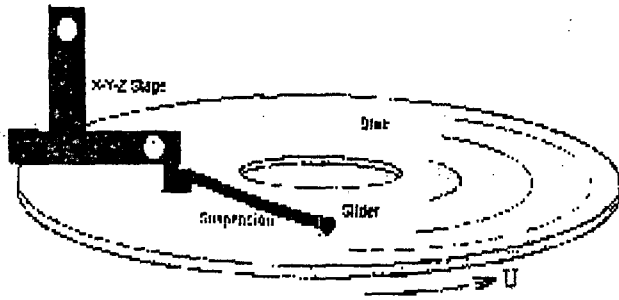
ปัจจุบันเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าของ disk driver มีการพัฒนาเพื่อจัดเก็บข้อมูลในคอมพิวเตอร์สมัยใหม่ การบันทึกข้อมูลทางแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจากการเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ทำการบันทึก โดยหัวอ่านจะลอยอยู่เหนือผิวดิสก์ที่หมุนดังรูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กตามสัญญาณที่ส่งผ่านมายังหัวอ่านจะต้องสัมพันธ์กัน ประสิทธิภาพของการบันทึกข้อมูลขึ้นอยู่กับ

ปัจจัยหลายอย่างเช่น ชนิดของหัวอ่าน ค่าความหนาของฟิล์มอากาศและความสะอาดของอากาศที่รองรับ เป็นต้น

ค่าความหนาฟิล์มอากาศที่หล่อลื่นหรือระยะห่างระหว่างผิวดิสก์และหัวอ่าน เป็นปัจจัยสำคัญมากในการวิเคราะห์การทำงานของหัวอ่าน ซึ่งในปัจจุบันระยะการลอยตัวของหัวอ่านได้พัฒนาให้มีระยะต่ำมาก ๆ เพื่อเพิ่มความสามารถในการเก็บข้อมูลและความเสถียรของหัวอ่านในการทำงาน ดังนั้นความหนาฟิล์มน้อย ๆ จึงเป็นสิ่งที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบหัวอ่านในปัจจุบัน แต่ความหนาฟิล์มต้องบางเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างหัวอ่านและผิวดิสก์ เพราะหากเกิดการสัมผัสกันก็จะส่งผลให้เกิดความเสียหายของข้อมูลเก็บข้อมูลที่เก็บบันทึกไว้ สิ่งสำคัญในการออกแบบหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูลนั้นหัวอ่านจะต้องมีระยะห่างระหว่างหัวอ่านและดิสก์ต่ำที่สุดและจะต้องเสถียร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์หัวอ่านที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานบันทึกข้อมูลของหัวอ่าน

D.H. Choi และ S.J. Yoon, 1994 [3] ศึกษาหาขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าในสภาวะสถิตย์ด้วยเทคนิคทาง Optimization, D.B. Bogy และคณะ, 1998 [1] ศึกษาการออกแบบของหัวอ่านสำหรับการบันทึกข้อมูล และ H. Hashimoto และ Y. Hattori, 2000 [5] ศึกษาการพัฒนาการออกแบบของหัวอ่านในสภาวะทำงานสถิตย์และไดนามิกส์โดยใช้วิธีทาง optimization

บทความนี้ได้เปรียบเทียบพฤติกรรมสถิตย์ของหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal และหัวอ่านชนิด IBM 3380 โดยมีขนาดความกว้างของราง (rail width) ของหัวอ่าน และมุมเทเปอร์ (taper angle) เป็น design variables และสมการวัตถุประสงค์ (Objective function) คือค่าความสูงที่ขอบท้าย (h_{tr}) ต่ำสุด วิธีการ Optimization ที่ใช้ในบทความนี้คือ Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS) และเมื่อได้ขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านแล้วทำการจำลองพฤติกรรมสถิตย์ของหัวอ่านทั้งสองชนิด



รูปที่ 1 ลักษณะของการลอยตัวของหัวอ่านเหนือผิวของดิสก์

2. ทฤษฎี

สมการสมดุลแรงมีดังนี้

$$\begin{aligned} r_1 &= F + mg - W \\ r_2 &= x_F F + x_c mg - x_w W \\ r_3 &= y_F F + y_c mg - y_w W \end{aligned} \quad (1)$$

โดย

$$\begin{aligned} W &= \int (p - p_a) dA \\ x_w &= \int x(p - p_a) dA / W \\ y_w &= \int y(p - p_a) dA / W \end{aligned} \quad (2)$$

หัวอ่านจะอยู่ที่สภาวะสมดุลหรือมีความเสถียรในขณะทำงานเมื่อ

$$r_1 = r_2 = r_3 = 0 \quad (3)$$

โดย r_1, r_2, r_3 คือผลรวมของแรงและผลรวมโมเมนต์, F คือแรงจับยึดหัวอ่าน, m คือมวลของหัวอ่าน, W คือแรงเนื่องจากความดันอากาศโดยรวมที่กระทำต่อหัวอ่าน, x, y คือระยะตามแกน x และแกน y ตามลำดับ, x_c, y_c คือระยะจุดศูนย์กลางมวล, x_F, y_F คือระยะของจุดหมุน, x_w, y_w คือระยะจุดศูนย์กลางของความดัน

การกระจายค่าความดันของฟิล์มอากาศในสภาวะสถิตยสามารถหาได้จากสมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\rho h^3 \frac{\partial p}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\rho h^3 \frac{\partial p}{\partial y} \right] = 6\mu \frac{\partial}{\partial x} (\rho h) + 6\mu \frac{\partial}{\partial y} (\rho h) \quad (4)$$

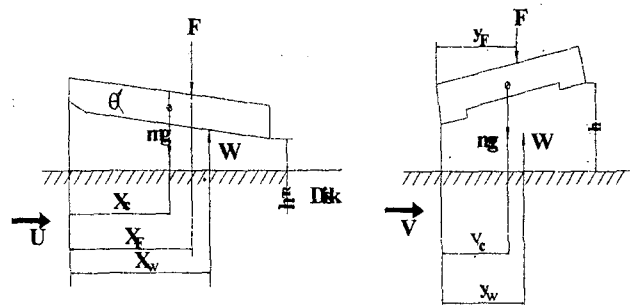
โดย p คือ ค่าความดันที่ตำแหน่งนั้นๆ, h คือ ค่าความหนาฟิล์มที่ตำแหน่งนั้นๆ, μ คือ ค่าความหนืดของอากาศ และ U, V คือค่าความเร็วของการเคลื่อนที่ของพื้นผิวที่มีการเคลื่อนที่(ผิวดิสก์)ตามทิศ x และ y ตามลำดับ สมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์สามารถเขียนในรูปไร้มิติได้ดังนี้

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left[\rho h^3 \left(1 + \frac{6K_0}{\rho h} \right) \frac{\partial p}{\partial x} \right] + \left(\frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial}{\partial y} \left[\rho h^3 \left(1 + \frac{6K_0}{\rho h} \right) \frac{\partial p}{\partial y} \right] \\ &= \Lambda_x \frac{\partial}{\partial x} (\rho h) + \Lambda_y \frac{\partial}{\partial y} (\rho h) \end{aligned} \quad (5)$$

ตัวแปรไร้มิติ คือ

$$\begin{aligned} P &= \frac{p}{p_a}, \quad H = \frac{h}{h_m}, \quad X = \frac{x}{L}, \quad Y = \frac{y}{B}, \quad \Lambda_x = \frac{6\mu UL}{p_a h_m^2}, \\ \Lambda_y &= \frac{6\mu VB}{p_a h_m^2} \text{ และ } K_0 = \frac{\lambda_a}{h_m} \end{aligned}$$

โดย p_a คือค่าความดันบรรยากาศ, h_m คือความหนาฟิล์มต่ำสุดที่ขอบท้าย, L คือ ค่าความยาวของหัวอ่าน, B คือค่าความกว้างของรางของหัวอ่าน, Λ_x, Λ_y คือ ค่าแบร์ริงนัมเบอร์(Bearing number) ตามแนวแกน x และ y ตามลำดับ, K_0 คือค่าเคนูดเซนนัมเบอร์(Knudsen number) และ λ_a คือเส้นทางการเคลื่อนที่อิสระโดยเฉลี่ยของโมเลกุลที่ความดันบรรยากาศ



รูปที่ 2 free body diagrams ของหัวอ่าน IBM 3380

สมการค่าความหนาฟิล์มมีดังนี้

IBM 3380

$$0 \leq x \leq x_{TP}$$

$$h = h_{TR} + (L - x_{TP}) \tan \theta + (x_{TP} - x) \tan \theta_{TP} \quad (6)$$

$$x_{TP} \leq x \leq L$$

$$h = h_{TR} + (L - x) \tan \theta \quad (7)$$

Truncated cycloidal

$$0 \leq x \leq x_{TP}$$

$$h = h_{TR} + (L - x_{TP}) \tan \theta + \tan \theta_{TP} (x_{TP} - x)$$

$$- \frac{x_{TP}}{\pi} \tan \theta_{TP} \sin \left(\frac{\pi(x_{TP} - x)}{x_{TP}} \right)$$

$$x_{TP} \leq x \leq L$$

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

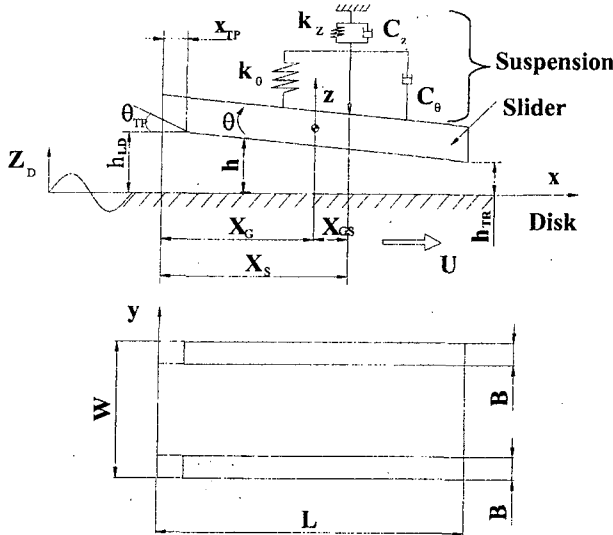
สมการวัดสูงที่สุดคือ

$$f(x) = \min h_{TR}$$

subjected to

$$0.15 \leq B \leq 0.75 \text{ mm}$$

$$10 \leq \theta_{TP} \leq 30 \text{ mrad}$$

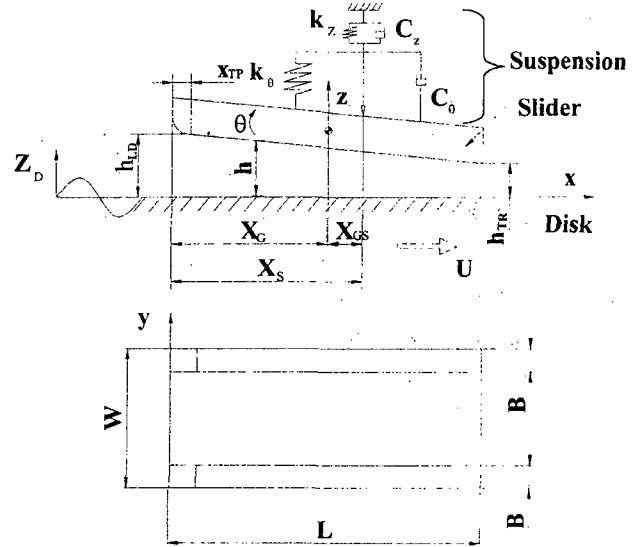


รูปที่3 รูปร่างของหัวอ่านชนิด IBM 3380

(8)

(9)

(10)



รูปที่4 รูปร่างของหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal

3.วิธีการคำนวณเชิงตัวเลข

การคำนวณประกอบด้วยวิธี BFGS และวิธีค้นหาเชิงเส้น สำหรับวิธี BFGS มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

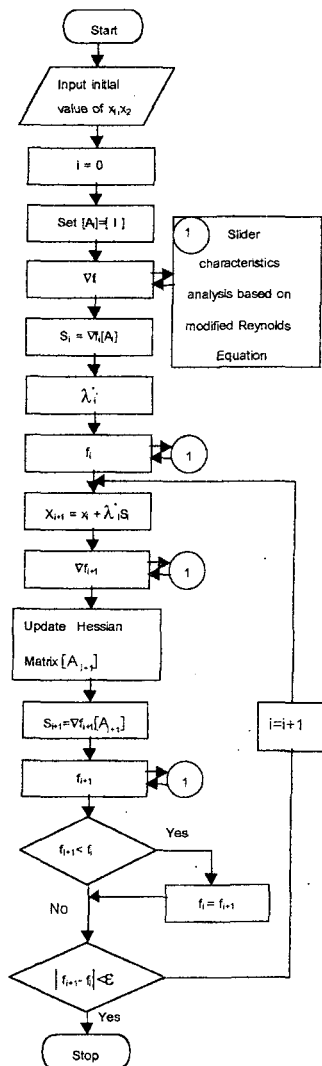
(11)

1. กำหนดค่า $i = 0$
2. กำหนดเวกเตอร์ของจุดเริ่มต้น x^i
3. กำหนดค่าเมตริกเริ่มต้น A^i
4. คำนวณค่าเวกเตอร์เกรเดียนต์ ∇f^i หาค่า f_i โดยการวิเคราะห์การกระจายความดันจากสมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์ และหาทิศทางเคลื่อนที่ของตำแหน่งใหม่ $S^i = \nabla f^i [A]$
5. คำนวณระยะห่างของตำแหน่งใหม่ที่จะเคลื่อนที่ไปยัง λ_i^*
6. นำค่า λ_i^* ไปคำนวณหาค่าเวกเตอร์เริ่มต้นของตำแหน่งใหม่ x^{i+1} และหาค่า ∇f^{i+1}
7. คำนวณค่าของแฮกเซียนเมตริก A^{i+1}
8. คำนวณค่าของ S^{i+1}
9. คำนวณค่าของ λ_{i+1}^* และค่า f_{i+1}
10. ตรวจสอบว่าค่า f_{i+1} ที่ได้มีค่าต่ำสุดและมีค่า $|f_{i+1} - f_i| \leq \epsilon$ หรือไม่ ถ้าไม่เป็นจริงให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 6 ใหม่จนกว่าจะได้ค่าที่เป็นจริง โดยค่า ϵ คือค่าความผิดพลาด

4.ผลการคำนวณ

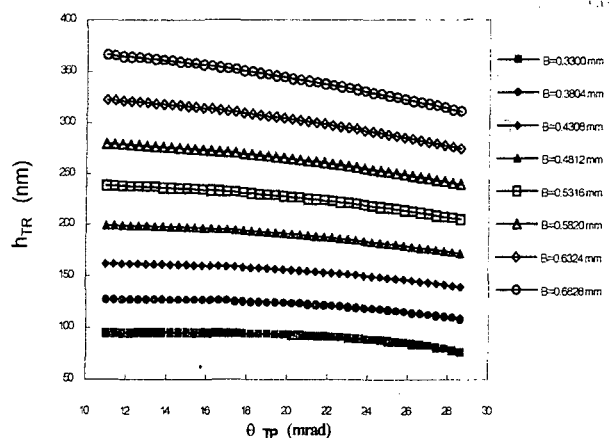
จากการคำนวณพบว่าเมื่อความกว้างของรางของหัวอ่านชนิด IBM 3380 มีขนาดต่ำกว่า 0.33 mm แล้วจะไม่เสถียรในการทำงานและหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal มีความกว้างของรางต่ำกว่า 0.32 mm จะไม่เสถียรในการทำงานเช่นเดียวกัน กล่าวคือไม่เป็นตามสมการที่(3) ขนาดที่เหมาะสมของหัวอ่านชนิด IBM 3380 จะมีความกว้างของรางเท่ากับ 0.33 mm และมีมุมเทเปอร์เท่ากับ 28.6 mrad สำหรับหัวอ่าน

ชนิด Truncated cycloidal มีความกว้างของรางเท่ากับ 0.32 mm และมีมุมเทเปอร์เท่ากับ 11 mrad หัวอ่านชนิด IBM 3380 จะมีความหนาฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายต่ำกว่าหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal โดยหัวอ่านชนิด IBM 3380 มีความหนาฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายต่ำสุดเท่ากับ 76.5 nm และหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal มีความหนาฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายต่ำสุดเท่ากับ 85.6 nm จากรูปที่ 6 และรูปที่ 8 จะพบว่าเมื่อค่าความกว้างของรางเพิ่มขึ้นค่าความหนาฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อค่าของมุมเทเปอร์เพิ่มขึ้นจะได้ค่าความหนาฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายของหัวอ่านชนิด IBM 3380 ลดลงดังรูปที่ 7 แต่หัวอ่านชนิด Truncated cycloidal จะมีค่าความหนาฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายลดลงเมื่อค่ามุมเทเปอร์ลดลงดังรูปที่ 9 ในการคำนวณครั้งนี้ใช้ค่าความหนืดอากาศ (μ) เท่ากับ 1.84×10^{-5} Pas. ค่า λ เท่ากับ $0.065 \mu\text{m}$ ค่า $Pa = 0.101$ Mpa

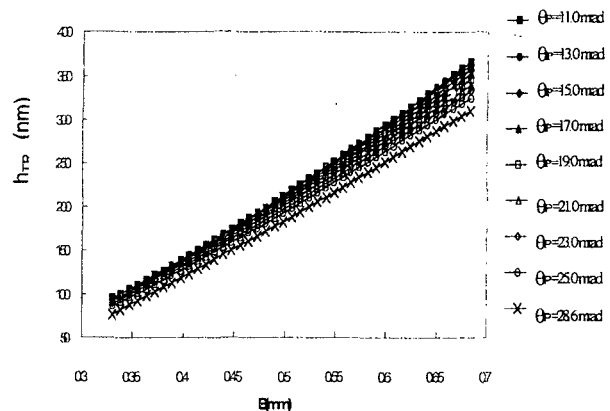


รูปที่ 5 แผนผังขั้นตอนการคำนวณของวิธี BFGS

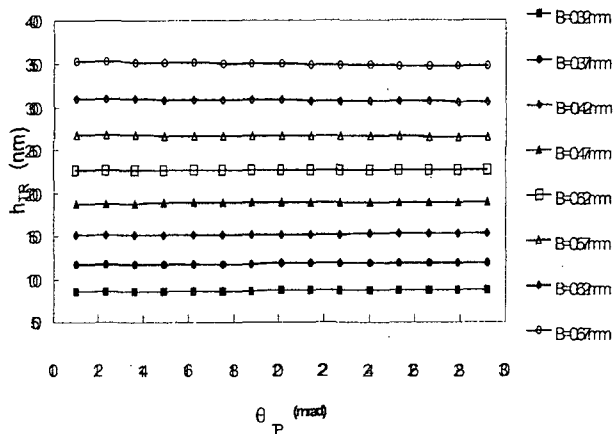
หลังจากนั้นนำหัวอ่านทั้งสองชนิดมาจำลองพฤติกรรมสถิตย์ รูปที่ 10 แสดงความดันกระจายบนพื้นผิวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 จะพบว่าความดันอากาศสูงสุดจะเกิดบริเวณใกล้กับขอบนำและขอบท้าย และแรงดันที่สูงสุดจะอยู่ใกล้บริเวณขอบท้าย ความดันจะลดลงที่ขอบท้ายเนื่องจากการสูญเสียความดันของอากาศบริเวณขอบ(side leakage) รูปที่ 11 แสดงความดันกระจายบนพื้นผิวของหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal จะพบว่าความดันสูงสุดของความดันอากาศสูงสุดจะเกิดบริเวณใกล้กับขอบนำและขอบท้ายเช่นเดียวกัน แต่มีค่าความดันสูงกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 เมื่อเปรียบเทียบความดันที่กึ่งกลางของรางตามแนวความยาวของหัวอ่านทั้งสองชนิดจะพบว่าหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal จะมีค่าความดันสูงสุดมากกว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 และศูนย์กลางของแรงเนื่องจากความดันของหัวอ่านชนิด IBM 3380 จะอยู่ใกล้กับศูนย์กลางมวลของหัวอ่านมากกว่าหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal ดังนั้นหัวอ่านชนิด IBM 3380 จะมีความเสถียรในขณะทำงานดีกว่าหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal ที่สภาวะทำงานสถิตย์ดังแสดงในรูปที่ 12



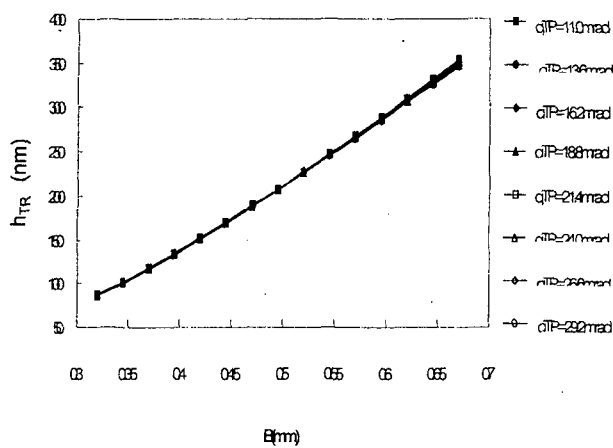
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายและมุมเทเปอร์ของหัวอ่านชนิด IBM 3380



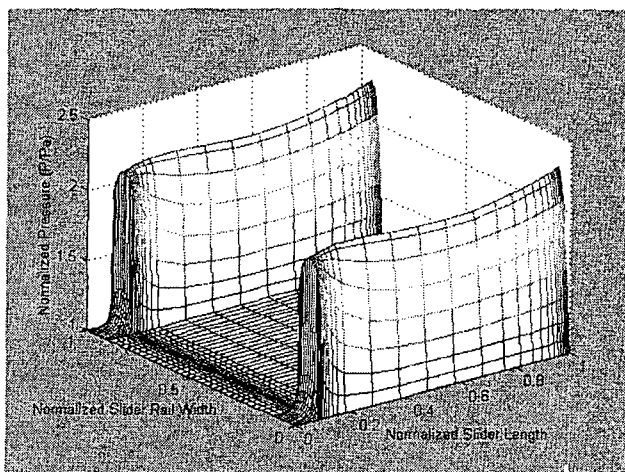
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายและความกว้างของรางของหัวอ่านชนิด IBM 3380



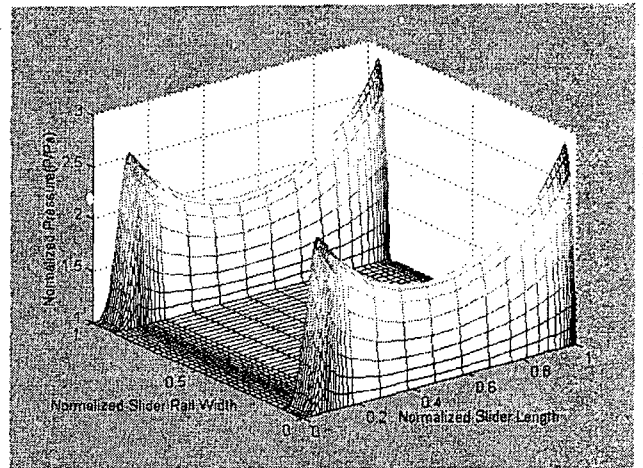
รูปที่8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายและมุมเทเปอร์ของหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal



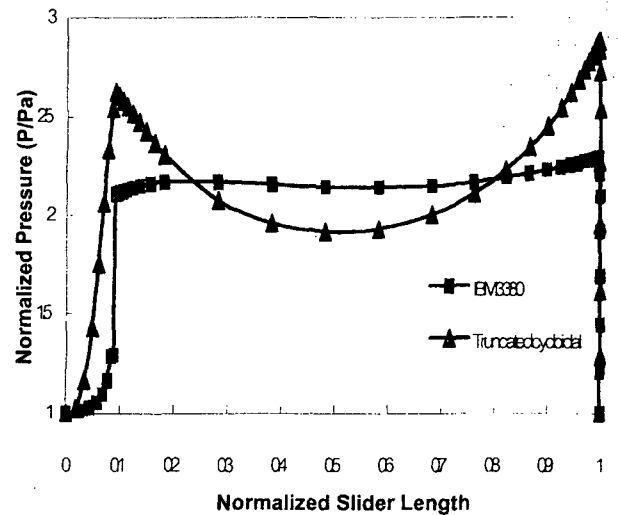
รูปที่9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายและความกว้างของรางของหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal



รูปที่10 ความดันกระจายบนพื้นผิวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 ที่ $B = 0.33 \text{ mm}$ $\theta_{TP} = 28.6 \text{ mrad}$



รูปที่11 ความดันกระจายบนพื้นผิวของหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal ที่ $B = 0.32 \text{ mm}$ $\theta_{TP} = 11 \text{ mrad}$



รูปที่12 เปรียบเทียบความดันกระจายที่กึ่งกลางของรางตามแนวความยาวของหัวอ่านชนิด IBM 3380 และหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal

5.สรุป

การคำนวณหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของขนาดของหัวอ่านแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถใช้วิธีโบรเดน-เฟลทเซอร์-โกลด์เฟรช-เซนโน(BFGS) และวิธีการค้นหาเชิงเส้น เพื่อหาค่าความหนาของฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายต่ำสุด จากการคำนวณพบว่าหัวอ่านชนิด IBM 3380 มีค่าความหนาของฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายต่ำกว่าหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal ถ้าความกว้างของรางเปลี่ยนแปลงจะมีผลทำให้ค่าความหนาฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายมีค่าเปลี่ยนแปลงมาก และค่าความหนาฟิล์มอากาศที่ขอบท้ายจะเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเปลี่ยนแปลงค่ามุมเทเปอร์ เมื่อนำหัวอ่านทั้งสองชนิดที่มีขนาดที่เหมาะสมที่ได้จากการคำนวณไปศึกษาพฤติกรรมการทำงานในสภาวะสถิตย์จะพบว่าหัวอ่าน IBM 3380 จะมีความเสถียรในขณะทำการบันทึกดีกว่าหัวอ่านชนิด Truncated cycloidal

เพราะศูนย์กลางของแรงดันเนื่องจากความดันอยู่ใกล้จุดศูนย์กลางมวล
ของหัวอ่านมากกว่า

6.เอกสารอ้างอิง

- [1] D.B. Boggy, S. Lu, M.A. O'Hara and S. Zhang, "Some Advanced Air-Bearing Design Issues for Proximity Recording", ASME Journal of Tribology, Vol.120, 1998, pp.556-570.
- [2] C.Bagci and A.P. Singh, "Hydrodynamic Lubrication of Finite Slider Bearings: Effect of One Dimensional Film Shape and Their Computer Aided Optimum Designs", ASME Journal of Tribology, Vol.105, 1983, pp.48-66.
- [3] D.H. Choi and S.J. Yoon, "Static Analysis of Flying Characteristics of the Head Slider by Using an Optimization Technique", ASME Journal of Tribology, Vol.116, 1994, pp.90-94.
- [4] G.V. Reklaitis, A. Ravindran and K.M. Ragsdell, "Engineering Optimization", John Wiley&Sons, 1983.
- [5] H. Hashimoto and Y. Hattori, "Improvement of the Static and Dynamic Characteristics of Magnetic Head Sliders by Optimum Design", ASME Journal of Tribology, Vol.122, 2000, pp.280-287.
- [6] M. Avriel, M.J. Rijckart and D.J. Wilde, "Optimization and Design", Prentice-Hall, 1973.