

<論 文>

마그네틱 헤드 슬라이더의 極小 空氣膜에 대한 定常狀態 解析

張 仁 培* · 韓 東 哲**

(1989년 1월 9일 접수)

Steady State Analysis of Magnetic Head Slider at Ultra Low Clearance

In-Bae Chang and Dong-Chul Han

Key Words: Molecular Mean Free Path(분자간 평균 자유비행거리), Slider(슬라이더), Steady State(정상상태), Reynolds' Equation(레이놀즈 방정식), Load Carrying Capacity(하중지지용량)

Abstract

This paper analyze the steady state performance of a self-acting air lubricated slider bearing in hard disk/head system. Modified Reynolds' equation is derived from the steady state compressible Navier-Stokes equation, under slip-flow conditions. Finite difference technique and numerical procedure are described by using Newton-Raphson iteration method to solve the non-linear equations. These techniques are applied to conventional slider bearings and the effects of molecular mean free path(MMFP) for a recording surface of hard disk are shown. The calculation procedure developed here, has wide applicabilities in practical head design procedures, and converges rapidly.

기 호 설 명

- B : 슬라이더 폭
- H : 무차원 공기막두께 ($= h/h_{min}$)
- $h(x)$: 공기막두께
- h_{min} : 최소공기막두께
- K_n : Knudsen 계수
- L : 슬라이더 길이
- L_1 : 슬라이더 전방 모서리 길이
- $O-xyz$: 차원좌표계
- $O-\xi\zeta\psi$: 무차원좌표계
- n : 단위체적당 분자수
- P : 무차원압력 ($= p/p_{amb}$)
- p : 압력
- p_{amb} : 대기압 ($= 1.01325 \times 10^5 N/m^2$)
- s : 분자간 상호 충돌면적

- U : 하드 디스크 선속도
- W : 무차원 하중지지력 ($= w/p_{amb}BL$)
- w : 하중
- \bar{x} : 동작점의 상대위치 (x/L)
- Λ : 베어링계수 ($= 6\mu UL/p_{amb}h_{min}^2$)
- ϕ : 슬라이더 앞 모서리 각
- θ : 피치각

1. 序 論

대용량 磁氣 記憶裝置의 계속적인 성능향상은 최근 들어 컴퓨터의 小型化 및 기억용량의 대형화에 기여하고 있다. 이러한 磁氣 記憶裝置의 성능향상은 헤드와 디스크 사이의 間隙(flying height)을 감소시킴으로써 실현될 수 있다. 이에 따라 高速으로 回轉하는 기억용 디스크(recording disk)에 대하여 마그네틱 헤드(magnetic head)의 精確한 位置設定

*서울대학교 대학원

**정회원, 서울대학교 공과대학 기계설계학과

을 가능하게 하는, 높은 정밀도의 自勵空氣潤滑 슬라이더(self-acting air-lubricated slider)가 개발됨으로써 헤드와 디스크 사이에 과거에는 20 μm 의 間隙을 두고 정보교환되던 것이 최근에는 0.3 μm 내외로 감소되어도 안정된 운전이 보장될 수 있게 되었다.

헤드와 디스크 사이의 間隙 감소에 따른 헤드 슬라이더(head slider)의 設計目標은 디스크의 記憶表面(recording surface)과 헤드표면 사이에 空氣潤滑로서 형성되는 空氣膜을 1 μm 이하로 안정하게 유지하는 것이다. 불안정한 공기막 형성에 의하여 유발되는 슬라이더와 디스크 사이의 접촉은 저장된 정보의 損失뿐 아니라 하드 디스크 전체 시스템의 損傷을 초래할 가능성이 있다. 하드 디스크와 헤드 시스템의 안정된 공기막 형성 여부를 판별할 수 있기 위해서는 공기막의 압력형성을 정확하게 解析하고 헤드 슬라이더의 실제변수들이 공기막 형성에 미치는 영향에 대하여 연구하는 것이 필요하다.

공기를 潤滑劑로 이용하는 공기 베어링에서 윤활 공기막의 두께가 공기 분자의 平均 自由飛行距離(molecular mean free path)에 비하여 매우 크다면 윤활공기막 내에서의 공기유동은 連續體(continuum flow)로 취급하여 일반적인 윤활문제에 적용되는 고전적인 레이놀즈 방정식으로서 해석할 수 있으나, 윤활공기막의 두께가 공기분자의 평균 자유비행거리에 비하여 일정수준 이하로 감소되면, 윤활表面에서의 공기분자의 미끄럼(molecular slip) 현상이 무시될 수 없으므로 이것을 Navier-Stokes 방정식으로부터 레이놀즈 방정식을 유도하는 데에 고려하여야 한다. 이는 Burgdorfer⁽¹⁾에 의해 例示되었는데 공기분자의 平均 自由飛行距離와 最小 潤滑膜(minimum spacing)의 比率인 Knudsen 係數⁽²⁾가 $0.01 < K_n < 15$ 인 영역에서는 공기분자의 側面 미끄럼(molecular slip) 현상을 고려한 수정된 레이놀즈 방정식(modified Reynolds' equation)을 적용하여 공기막 내의 압력을 해석하여야 한다.

本 論文에서는 유한한 폭을 갖는 헤드 슬라이더와 디스크 사이의 극소 공기막에서의 空氣流動을 해석함에 있어 空氣分子的 側面 미끄럼 상태를 고려한 레이놀즈 방정식^(1,2,4)의 수치해석을 통하여 압력분포를 구하고 슬라이더의 기하학적 특성치가 압력분포 및 하중지지력에 미치는 영향을 규명하고자 한다.

2. 지배방정식의 유도

2.1 轉移領域에서의 空氣流動 모델

자기기록용 헤드와 하드 디스크 사이의 空氣膜은 潤滑表面의 特性的 크기(L)가 공기분자의 평균 자유비행거리에 비해 무한히 크다는 가정이 성립하지 않는 저밀도(low density)의 영역에 속한다. 여기서 평균 자유비행거리란 다른 분자와 충돌하기 전까지 분자가 움직이는 평균적인 거리로⁽²⁾

$$\lambda = 2.27 \times 10^{-5} \frac{T}{P} [\text{meter}] \quad (1)$$

와 같이 표시한다.

저밀도 영역에서는 유동이 표면을 따라 움직이는 것처럼 보이며 표면에서 $U \neq 0$ 이다. 이러한 경우의 유동을 전이영역에서의 미끄럼 유동(slip flow)이라 하며, Fig. 1의 (b)에 표시되어 있다. 평면 상에서의 앞서 설명한 세 가지 流動이 Fig. 1에 例示되어 있다⁽³⁾.

轉移領域을 판정하는 가장 중요한 기준은 공기분자의 평균 자유비행거리에 대한 공기막의 두께(air film thickness)의 비이다. 이를 Knudsen 係數라 하며 다음과 같이 표시한다.

$$K_n = \frac{\lambda}{L} \quad (2)$$

本 論文에서는 潤滑表面의 特性的 크기(L)를 슬라이더의 길이로 잡았다.

Burgdorfer는 미끄럼 유동(slip flow) 조건 하에서 작동하는 氣體潤滑 動壓 베어링(gas lubricated hydrodynamic bearing)을 위한 수정된 레이놀즈

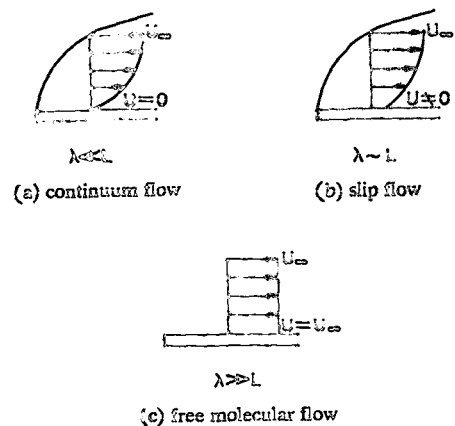


Fig. 1 Three types of flow regimes for flat plate

방정식을 유도하였으며, 임의의 형상을 갖는 베어링의 성능에 氣體分子的 平均 自由飛行距離가 미치는 영향에 대하여 巨視的인 개념과 微視的인 개념을 어느 정도 절충시켜 해석을 수행하였다.

2.2 修正된 레이놀즈 方程式의 誘導

미끄럼 유동(slip flow) 조건 하에서 작동하는 슬라이더의 공기막 내의 압력분포를 구하기 위하여, 공기막내의 미소 체적요소의 관성력, 압력, 마찰력 그리고 외부의 힘 장(중력 등) 사이의 힘의 평형에서 유도된 Navier-Stokes 방정식으로부터 수정된 레이놀즈 방정식을 유도한다. 이 때 적용되는 가정은 다음과 같다.

- (1) 윤활층의 모든 과정은 등온(isothermal)이다. ($p/p_{amb} = \rho/\rho_{amb}$)
- (2) 점도는 균일하다.
- (3) 공기막의 관성력은 마찰력에 비해 매우 작으므로 무시한다.
- (4) 윤활유체의 흐름은 층류이다.
- (5) 정적인 상태에서 슬라이더는 간극함수 $h = h(x)$ 를 갖고 바닥면은 슬라이더의 길이 x 방향으로 속도 U 로 움직인다.

윤활공학에서 얇은 공기막에 대하여 세우는 일반적인 가정 [(1)~(5)]들을 도입하면 다음과 같은 간단한 형태의 Navier-Stokes 방정식

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \tag{3}$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \tag{4}$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = 0 \tag{5}$$

을 얻을 수 있으며, 연속체 방정식(continuity equation)을 연립하여 다음과 같은 관계식을 얻게 된다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\rho \int_0^h u dy \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\rho \int_0^h v dy \right) = 0 \tag{6}$$

만약, 분자의 평균 자유비행거리가 윤활 공기막의 두께와 비교할 정도가 되면, 기체와 베어링 벽면 사이에서 미끄럼(slip) 현상이 발생하며, 粘性의 減少에 따른 현상과 비슷한 효과를 나타낸다. 이러한 경우에 近似的으로 流動은 여전히 일반적인 連續體 이론에 의하여 다루어지지만, 수정된 境界條件이 적용된다.

수정된 경계조건으로는 境界面인 베어링 표면과 바닥면에서 유체가 粘着되어 있는 대신에 미끄럼

속도(slip velocity)가 존재한다는 개념을 도입한다. 미끄럼 속도의 크기는 氣體의 動力學的 理論(kinetic theory)으로부터 얻을 수 있다. 고차항들을 무시하면 미끄럼 속도는 다음과 같이 주어진다⁽¹⁾.

$$U_{slip} = \sigma \frac{2-f}{f} \lambda \frac{\partial u}{\partial y} + \dots \tag{7}$$

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}ns} \tag{8}$$

식 (7)의 상수 σ 와 f 는 1에 近接하므로 식 (7)~(8) 사이에서 $\sigma((2-f)/f) = 1$ 로 놓는다. 따라서 식 (6)에서 속도 u , v 에 대한 경계조건은

$$u_{(y=0)} = U + \lambda \frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{y=0} \tag{9}$$

$$u_{(y=h)} = -\lambda \frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{y=h} \tag{10}$$

$$v_{(y=0)} = \lambda \frac{\partial v}{\partial y} \Big|_{y=0} \tag{11}$$

$$v_{(y=h)} = -\lambda \frac{\partial v}{\partial y} \Big|_{y=h} \tag{12}$$

식 (3)과 (4)를 두 번 적분하여 식 (9)~(12)의 경계조건을 대입하면 공기분자의 벽면 미끄럼 현상을 고려한 유속 u 와 v 를 얻는다.

$$u = -\frac{1}{2\mu} \frac{\partial p}{\partial x} (h\lambda + hy - y^2) + U \left(1 - \frac{y+\lambda}{h+2\lambda} \right) \tag{13}$$

$$v = -\frac{1}{2\mu} \frac{\partial p}{\partial z} (h\lambda + hy - y^2) \tag{14}$$

식 (13)과 (14)를 식 (6)에 대입하면 공기분자의 벽면 미끄럼 현상이 발생하는 전이영역에서 사용할 수 있는 수정된 레이놀즈 방정식에 유도된다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{ph^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \left(1 + 6 \frac{\lambda}{h} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \frac{ph^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial z} \left(1 + 6 \frac{\lambda}{h} \right) \right\} \\ & = 6U \frac{\partial}{\partial x} (ph) \end{aligned} \tag{15}$$

슬라이더의 기하학적 경계면에서는 대기압이 작용한다고 가정하면

$$\begin{aligned} p|x(b), z(b), y=0| &= p_{amb}|x(b), z(b)| \\ b &= \text{boundary} \end{aligned} \tag{16}$$

식 (15)는 식 자체가 갖는 非線形性 때문에 해석 과정에 있어, 反復計算(iteration)을 포함하는 數値解析的인 방법을 사용해야 하며 이 때, 공기막두께와 같은 변수는 여타 변수들에 비하여 매우 작은 값을 가지기 때문에 解析過程에서의 計算誤差(truncation error)에 큰 영향을 미칠 수 있으므로 이를 방지하기 위하여 모든 변수들이 같은 次數(order) 내에 있도록 無次元化시켜야 한다.

Table 1 Reference dimensions for non-dimensionalization

Variable	Reference dimension
Longitudinal direction x	Slider length L
Cross-sectional direction z	Slider Length L
Air film thickness h	Minimum air film thickness h_{min}
Molecular mean free path λ	Minimum air film thickness h_{min}
Pressure p	Ambient pressure P_{amb}

Table 1에 의하여 식 (15)를 무차원화시키면

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial \xi} \left(PH^3 \frac{\partial P}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(PH^3 \frac{\partial P}{\partial \xi} \right) \\ & + 6K_n \left\{ \frac{\partial}{\partial \xi} \left(H^2 \frac{\partial P}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(H^2 \frac{\partial P}{\partial \xi} \right) \right\} \\ & = \Lambda \frac{\partial(PH)}{\partial \xi} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\Lambda = \text{bearing number of } \xi \text{ direction} = \frac{6\mu UL}{p_{amb} H_{min}^2}$$

3. 數値解析

식 (17)을 反復計算(iteration)에 맞도록 線形化 하기 위해서는 $Q = P^2 H^2$ 인 새로운 변수 $Q(P, H)$ 를 도입한다⁽⁴⁾. 식 (17)을 偏微分法則에 의하여 전개한 후, 양변을 정리하여 Q 의 항으로 표시하면

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\partial^2 Q}{\partial \xi^2} \right) + \left(\frac{\partial^2 Q}{\partial \xi^2} \right) + \frac{6K_n}{\sqrt{Q}} \left\{ \left(\frac{\partial^2 Q}{\partial \xi^2} \right) + \left(\frac{\partial^2 Q}{\partial \xi^2} \right) \right\} \\ & = \frac{\Lambda}{H\sqrt{Q}} \left(\frac{\partial Q}{\partial \xi} \right) + \frac{3K_n}{Q\sqrt{Q}} \left\{ \left(\frac{\partial Q}{\partial \xi} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial \xi} \right)^2 \right\} \\ & + \frac{12K_n\sqrt{Q}}{H} \left\{ \left(\frac{\partial^2 H}{\partial \xi^2} \right) + \left(\frac{\partial^2 H}{\partial \xi^2} \right) \right\} \\ & + \frac{2Q}{H} \left\{ \left(\frac{\partial^2 H}{\partial \xi^2} \right) + \left(\frac{\partial^2 H}{\partial \xi^2} \right) \right\} \\ & + \frac{1}{H} \left\{ \left(\frac{\partial H}{\partial \xi} \right) \left(\frac{\partial Q}{\partial \xi} \right) + \left(\frac{\partial H}{\partial \xi} \right) \left(\frac{\partial Q}{\partial \xi} \right) \right\} \end{aligned} \quad (18)$$

으로 나타낼 수 있으며, 이를 다시 線形項과 非線形項으로 나누어 좌변을 L , 우변을 N 으로 표시하면 식 (19)와 같다.

$$L(Q) = N \left(Q, \frac{\partial Q}{\partial \xi}, \frac{\partial Q}{\partial \xi}, \frac{\partial^2 Q}{\partial \xi^2}, \frac{\partial^2 Q}{\partial \xi^2} \right) \quad (19)$$

위의 식은 변수들 간의 심한 連繫(coupling) 때문에 직접계산으로는 해를 구할 수 없으므로, 初期値를 가정하고, 이를 토대로 하여 反復計算 과정을 거쳐 해를 近似的으로 구하는 Newton-Raphson 방법을 사용한다⁽⁴⁾.

식 (19)는 다섯개의 독립변수로 이루어진 비선형 함수이므로 Newton-Raphson Method는 아래와 같이 표시된다.

$$f^{(n+1)} = f^{(n)} + \sum_{k=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_k} \right)^{(n)} (x_k^{(n+1)} - x_k^{(n)}) \quad (20)$$

그러므로 식 (19)를 식 (20)의 형태로 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} L(Q)^{(n+1)} &= N^{(n)} + \left(\frac{\partial N}{\partial Q} \right)^{(n)} (Q^{(n+1)} - Q^{(n)}) \\ &+ \left(\frac{\partial N}{\partial \left(\frac{\partial Q}{\partial \xi} \right)} \right)^{(n)} \left\{ \left(\frac{\partial Q}{\partial \xi} \right)^{(n+1)} - \left(\frac{\partial Q}{\partial \xi} \right)^{(n)} \right\} \\ &+ \left(\frac{\partial N}{\partial \left(\frac{\partial Q}{\partial \xi} \right)} \right)^{(n)} \left\{ \left(\frac{\partial Q}{\partial \xi} \right)^{(n+1)} - \left(\frac{\partial Q}{\partial \xi} \right)^{(n)} \right\} \\ &+ \left(\frac{\partial N}{\partial \left(\frac{\partial^2 Q}{\partial \xi^2} \right)} \right)^{(n)} \left\{ \left(\frac{\partial^2 Q}{\partial \xi^2} \right)^{(n+1)} - \left(\frac{\partial^2 Q}{\partial \xi^2} \right)^{(n)} \right\} \\ &+ \left(\frac{\partial N}{\partial \left(\frac{\partial^2 Q}{\partial \xi^2} \right)} \right)^{(n)} \left\{ \left(\frac{\partial^2 Q}{\partial \xi^2} \right)^{(n+1)} - \left(\frac{\partial^2 Q}{\partial \xi^2} \right)^{(n)} \right\} \end{aligned}$$

식 (21)을 Q 에 대하여 유한차분화시킨 후에 적절한 행렬식을 구성하여 Newton-Raphson algorithm에 의하여 반복적으로 계산한다. 본 연구에서는 계산시간이 매우 짧은 Column method⁽⁴⁾를 이용하여 반복계산을 수행하였다.

4. 定常狀態의 解析

Fig. 2의 슬라이더가 피보팅축(pivoting axe) z_{piv} 을 중심으로 θ 방향으로만 회전가능하고, 바닥면이 x 방향으로 U 의 속도로 진행할 때에 슬라이더와 바닥면 사이에는 動壓이 형성되며, 동압의合力 W 가 피보팅축을 통과하도록, 즉 피보팅축에 대한 θ 방향의 회전 모멘트가 0이 되도록 스스로 θ 의 각을 형성하여 平衡을 이루고 있다. 합력 W

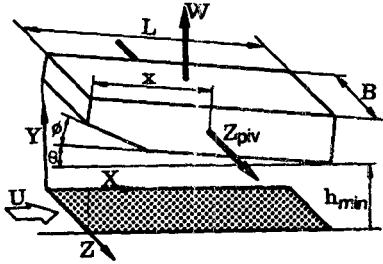


Fig. 2 Slider geometry

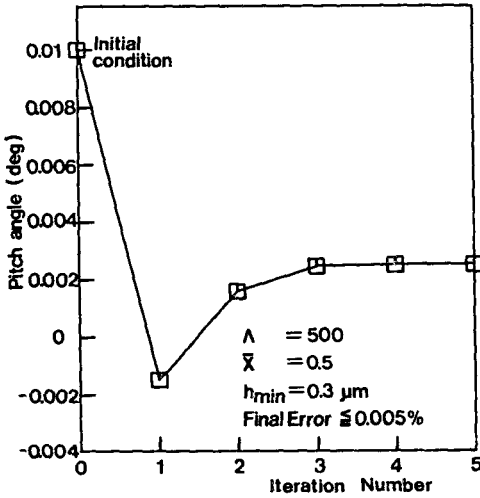


Fig. 3 Convergence of the pitch angle according to a Newton-Raphson method

의 크기와姿勢角 θ 는 최소윤활 공기막 h_{min} 에 따라 변하며, 실제 헤드 시스템의 운전시에는 슬라이더에 작용하는 하중이 동압의 합력 W 와 평형을 이루도록 h_{min} 이 스스로 결정되는 것이다. 슬라이더에 일정한 하중이 작용되고 디스크의 회전속도가 일정하면, 슬라이더는 최소윤활 공기막 h_{min} 과 자세각 θ 를 갖고 힘과 모멘트가 평형을 이루며 시간에 따라 변하지 않는 定常狀態에 있게 된다.

최소윤활 공기막 h_{min} 을 미리 정하고 슬라이더의 정상상태를 구하기 위해서는 슬라이더의 자세각 θ 를 變數로 하고, 피보팅점을 중심으로 한 회전 모멘트가 $M(\theta) = 0$ 이 되도록 반복계산하여야 하며, 빠른 수렴을 위하여 3장에서 언급한 Newton-Raphson 방법을 사용하였다.

Newton-Raphson 방법에 의한 슬라이더의 정상상태 檢索의 收斂性은 Fig. 3에 예시되어 있다. 이 그림은 슬라이더의 정상상태를 구하기 위하여 자세

각을 변화시켰을 때의 피보팅점을 중심으로 발생된 모멘트의 크기를 나타낸 그림으로, 4회의 반복계산으로 이전의 계산값과의 상대오차가 0.5%, 그리고 5회의 반복계산으로는 상대오차가 0.005% 이내로 收斂하는 것을 알 수 있다.

5. 결과의 고찰

5.1 空氣分子的 平均 自由飛行距離의 影響

본 절에서는 動壓 슬라이더가 미끄럼 流動領域 하에서 작동할 때 空氣分子的 平均 自由飛行距離가 슬라이더의 성능에 미치는 影響에 대하여 고찰해 본다.

미끄럼 유동(slip flow)을 가정한 식 (15)의 수정된 레이놀즈 방정식에 의한 近似解法은 주어진 外力에 대한 슬라이더의 擧動을 매우 정확하게 예측할 수 있게 해준다.

Fig. 4는 B/L 이 0.1인 슬라이더가 定常狀態에 있을 때, 최소 윤활 공기막의 변화에 따른 無次元 荷重支持 용량의 변화를 연속체 이론과 미끄럼 유동이론에 따라 비교한 그림이다. 이에 따르면 최소 윤활 공기막의 두께가 $1\mu m$ 이하에서는 연속체 이론에 의한 결과에 비하여, 미끄럼 유동이론에 의한 하중지지력의 감소가 눈에 띄게 나타나며, 이 감소 현상은 점차로 증가하여 최소 윤활 공기막이 $0.2\mu m$ 인 부근에서는 미끄럼 유동이론에 의한 하중지지

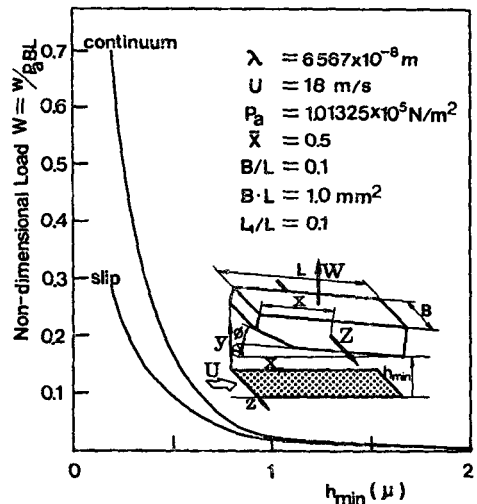


Fig. 4 Effect of molecular mean free path on load capacity

력의 감소가 연속체이론에 비하여 약 60%에 달함을 알 수 있다⁽⁵⁾.

참고로, Mitsuya⁽⁶⁾의 연구에 의하면 공기분자의 평균 자유비행거리를 고려한 수정된 레이놀즈 방정식은 하중지지력의 감소가 60% 이하인 범위에서는 실험과 매우 잘 일치함을 알 수 있다.

5.2 슬라이더의 設計

앞 절에서 살펴본 바와 같이 공기분자의 평균 자유비행거리를 고려한 수정된 레이놀즈 방정식은 슬라이더의 特性을 해석하는 데 좋은 판단기준이 되며, 磁氣 記憶裝置인 헤드가 1 μ m 이하의 間隙을 유지하며 작동할 때의 헤드 設計(head design)에 사용되어야 한다.

본 절에서는 슬라이더의 設計變數인 길이(L), 폭(B), 앞쪽 모서리의 길이(L₁), 피보팅점의 위치(x) 등을 변화시켰을 때 나타나는 슬라이더의 靜的인 特性을 찾아내어 슬라이더의 形狀을 구성하는 각 치수(dimension)들이 슬라이더의 하중지지용량에 미치는 影響을 고려해 본다.

이때 슬라이더의 바닥면의 면적 B·L은 1mm²으로 일정하며 여타의 설계변수들은 각각의 그림에 표시되어 있다.

Fig. 5에서 곡선 상의 각 점은 슬라이더의 바닥면적이 1mm²으로 일정한 상태에서 각각의 슬라이더 形狀에 대하여, 최소 윤활 공기막의 두께를

0.3 μ m로 일정하게 유지하며 4장에서 언급한 Newton-Raphson 방법을 사용하여 슬라이더의 자세각(pitch angle)을 변화시켜 가며 찾은, 定常狀態의 평형점이다. Fig. 5는 베어링 계수의 변화에 따른 무차원 하중지지용량(non-dimensional load)의 변화를 각기 다른 폭비 B/L에 대하여 계산한 결과이다.

이 때 앞 모서리각(leading edge angle) ϕ 는 0.833°, 모서리 길이비(L/L₁)는 0.1, 피보팅점의 위치 \bar{x} 는 0.5로 일정한 값이다.

Fig. 5에 따르면 폭비 B/L이 감소함에 따라, 하중지지용량은 점차로 급격하게 감소함을 알 수 있으며, 이것은 일정한 豫荷重 하에서 最小 潤滑流膜의 두께의 減少를 의미한다.

Fig. 6은 동일한 슬라이더 形狀에 대하여 動作點의 위치 \bar{x} 를 변화시키며 계산한 결과이며, 이에 따르면, 베어링 계수(bearing number = $(6\mu UL)/(Pa h_{min}^2)$)가 낮은 영역에서는 하중지지력이 피보팅점의 위치에 거의 영향을 받지 않으나, 베어링 계수가 약 200보다 커지면 피보팅점의 위치에 따라 하중지지용량은 몇 배의 차이가 보인다.

베어링 계수가 200보다 큰 범위에서는 피보팅점의 위치 \bar{x} 가 뒤쪽으로 갈수록 하중지지용량은 감소한다. 實際 하드 디스크 상에서 헤드의 運轉領域은 베어링 계수가 500~600의 범위에 있으므로 피보팅점의 위치 \bar{x} 가 뒤쪽으로 갈수록 헤드의 운전

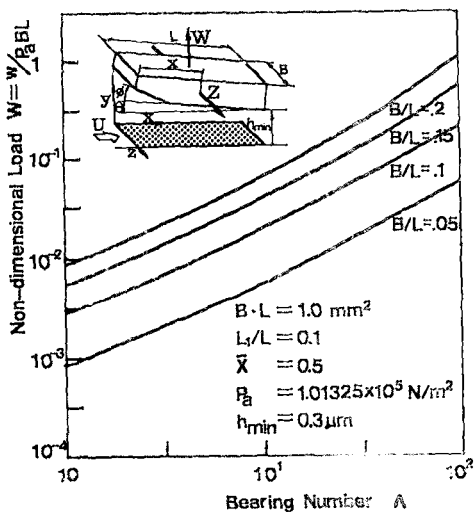


Fig. 5 Effect of width ratio on bearing performance

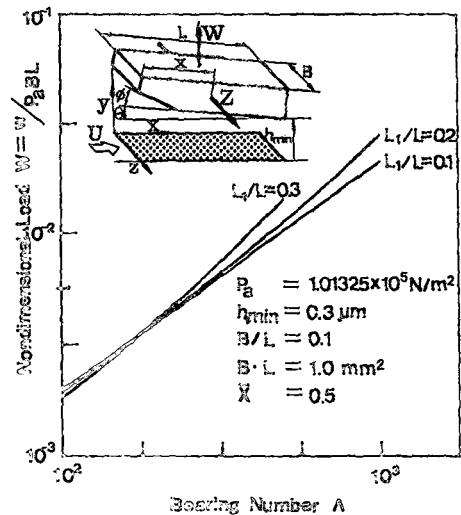


Fig. 6 Effect of pivoting point on bearing performance

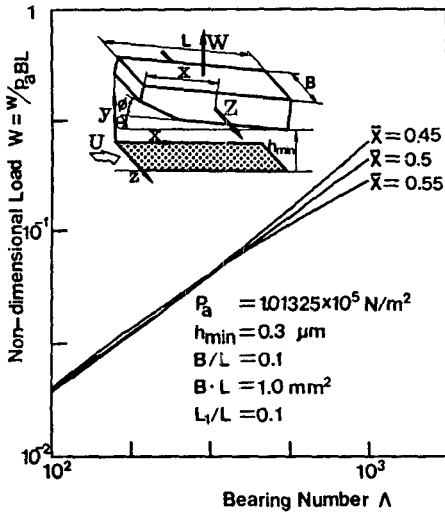


Fig. 7 Effect of L_1/L on bearing performance

영역에서는 최소 윤활 공기막의 두께를 減少시킬 수 있다.

Fig. 7은 슬라이더의 앞 모서리의 길이비 L_1/L 를 변화시키며 계산한 결과로서, 베어링 계수가 낮은 영역에서는 이에 거의 영향을 받지 않으나, 앞서 언급한 헤드의 實際 運轉領域에서는 슬라이더의 앞 모서리의 길이비가 커질수록 하중지지용량은 급격하게 增加함을 알 수 있다. 그러므로 최소 윤활 공기막을 減少시키기 위해서는 슬라이더의 앞 모서리의 길이비를 減少시켜야 한다.

이상으로 슬라이더의 定常狀態에서의 特性을 여러 가지 侧面에서 살펴 보았다. 磁氣 記憶裝置인 하드 디스크에 보다 많은 情報을 記憶시키기 위해서는, 헤드 슬라이더의 動作特性중 定常狀態에서의 最小 潤滑 空氣膜을 減少시키는 것이 필요하다. 슬라이더의 해석을 수행한 결과, 슬라이더의 길이에 대한 폭의 비율(B/L)을 줄일수록, 피보팅점의 위치 \bar{x} 가 뒤쪽으로 갈수록, 슬라이더의 앞 모서리

길이를 減少시킬수록 최소 윤활 공기막의 두께를 減少시킬 수 있음을 알 수 있다.

6. 結 論

(1) 미끄럼 유동을 고려한 수정된 레이놀즈 방정식은 최소 윤활 공기막이 $1\mu\text{m}$ 이하인 영역에서 작동하는 자기기록용 헤드의 거동을 정확히 해석한다.

(2) 슬라이더의 폭비 B/L 이 감소함에 따라 하중지지용량은 점차로 급격하게 감소한다.

(3) 슬라이더의 피보팅점 \bar{x} 가 뒤쪽으로 갈수록 하중지지용량은 감소한다.

(4) 슬라이더의 앞 모서리 길이비 L_1/L 이 감소함에 따라 하중지지용량은 감소한다.

참 고 문 헌

- (1) Burgdorfer, A., 1959, "The Influence of the Molecular Mean Free Path on the Performance of Hydrodynamic Gas Lubricated Bearings", ASME J. of Basic Eng. Vol. 81, No. 3, pp. 94-100.
- (2) Gross, W. A., et al, 1980, "Fluid Film Lubrication", John Wiley & Sons, p. 731.
- (3) Holman, J. P., 1976, "Heat Transfer", Tower Press, p. 454.
- (4) Castelli, V., Pirvics, J., 1968, "Review of Numerical Methods in Gas Bearing Film Analysis", ASME J. of Lub. Vol. 90, No. 4, pp. 777-792.
- (5) Mitsuya, Y., 1979, "Molecular Mean Free Path Effects in Gas Lubricated Slider Bearings (An Application of The Finite Element Solution)", Bulletin of the JSME, Vol. 22, No. 167, pp. 863-870.
- (6) Mitsuya, Y., Kaneko, R., 1981, "Molecular Mean Free Path Effects in Gas Lubricated Slider Bearings (Experimental Studies)", Bulletin of the JSME, Vol. 24, No. 187, pp. 236-242.