

〈論文〉

회전 구동용 헤드 슬라이더의 부상높이에 관한 연구

이재현* · 최동훈** · 윤상준*** · 김광식****

(1991년 5월 7일 접수)

A Study on Flying Height of Head Slider in Rotary Type Actuator

Jae-Heon Lee, Dong Hoon Choi, Sang Joon Yoon and Kwang Sik Kim

Key Words: Hard Disk(하드 디스크), Air-Bearing Force(공기운활력), Head Slider(헤드 슬라이더), Magnetic Head(자기 헤드), Flying Height(부상높이), Pressure Distribution(압력분포), Pitch Angle(자세각)

Abstract

This paper presents a method to predict the flying height of the head slider in a hard disk drive. Quantitative predicts of the flying height according to the variations of the external load and the disk velocity have been done by numerical computation. In addition, the magnitude of the external load to keep flying height constant were also suggested. The Modified Reynolds' equation driven from hydrodynamic lubrication theory under slip flow condition was used to describe air-bearing system under the slider. To solve the equation, a Finite Volume Method(FVM) has been applied. To determine the final minimum flying height and pitch angle of the head slider, the Secant iteration method is used which update initial guess of the minimum flying height and pitch angle of the slider. In this study, the model head slider has been selected from a real hard disk drive which is equipped in many commercial personal computers. As a result, as the disk velocity increases at a constant external load, the minimum flying height and the pitch angle increase due to the increase of the air-bearing force at the bottom of slider.

기호설명

h	: 부상높이	l_t	: 후 공기운활 테이퍼 길이
h_{min}	: 최소 공기막두께	ϕ_1	: 전 공기운활 테이퍼 각
H	: 자세각	ϕ_2	: 후 공기운활 테이퍼 각
l	: 슬라이더 길이	p	: 공기막 압력
b	: 슬라이더 폭	P	: 무차원 공기막 압력 ($P = p/p_{amb}$)
l_p	: 슬라이더 피벗까지의 길이	p_{amb}	: 대기압
l_r	: 전 공기운활 테이퍼 길이	W	: 외부하중
		F	: 공기운활력
		u, v	: x, y 방향 공기유속
		U_x, U_y	: x, y 방향 디스크 선속도
		Kn	: Knudsen 수
		$\Lambda_x \Lambda_y$: x, y 방향 베어링 수

*정회원, 한양대학교 기계공학과

**정회원, 한양대학교 기계설계학과

***정회원, 한양대학교 대학원 기계설계학과

****정회원, 한양대학교 정밀기계공학과

- λ : 공기분자의 평균 자유비행거리
 μ : 공기의 점성계수
 ρ : 공기의 밀도
 x, y, z : 기준 좌표계

1. 서 론

최근들어 자기기록장치(magnetic recording system)의 지속적인 성능향상 추세는 컴퓨터(computer)의 소형화 및 기억용량의 대형화를 추구하고 있으며, 고밀도의 정보처리를 위해 보다 빠르고 보다 큰 용량의 자기기록장치의 출현을 절실하게 요구하고 있다. 이에 따라 하드 디스크 드라이브(hard disk drive, HDD)에 사용되는 자기헤드(magnetic head)의 경우, 여러가지 운행조건하에서도 헤드 슬라이더(head slider)와 하드 디스크(hard disk)사이를 안정되고 좁게 유지하려는 연구가 많이 이루어지고 있으며, 이로 말미암아 정보교환(read/write of data)을 보다 정확하게 수행하도록 하여 자기 기록장치의 성능을 향상시키는데 주력하고 있다.

그러므로 고속으로 회전하는 하드 디스크의 자기헤드를 정확하고 안정된 장소에 위치시키는 자력공기윤활 슬라이더(self acting air-bearing slider)의 부상높이(flying height)에 관한 해석이 최근 중요한 과제로 나타나고 있다.

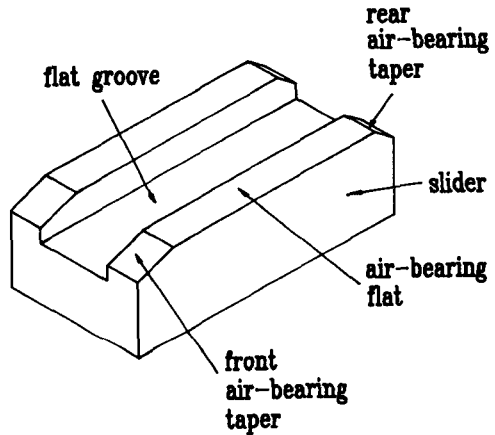
본 연구에서는 부상높이를 예측할 수 있는 방법을 개발하고 연관된 변수들의 변동에 따른 부상높이를 검토함으로써 불안정한 극소 공기막 형성시 유발되는 자기헤드와 하드 디스크간 정보손실 및 하드 디스크의 표면손상을 막고 고성능 자기기록장치 설계에 도움이 되고자 한다.

2. 모델의 설정

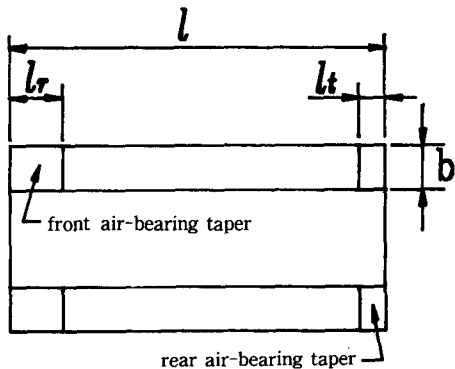
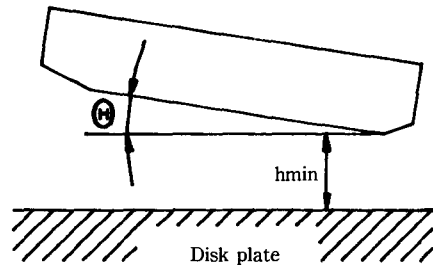
하드 디스크 드라이브는 헤드 슬라이더가 디스크 상의 track을 바꾸는 방법, 즉 디스크 반경방향으로의 이동방법에 따라 선형(linear type)가 회전형(rotary type)으로 나뉜다. 그러나 실제 작동시 선형 구동형 HDD는 최소한의 마찰력으로 헤드를 선형 운송시켜야 한다는 난점에 부딪치게 되므로 현재는 관성과 마찰이 적고 구동력이 적게들어 HDD의 소형화를 이룰 수 있는 회전형이 주로 쓰인다⁽¹⁾. 따라서 본 연구에서도 회전구동형 HDD를 모

델로 선정하였다.

하드 디스크 드라이브에 장착된 자기헤드는 헤드 지지대(actuator)의 끝에 달려있으며 그 모양은 Fig. 1(a)와 (b)에 보이는 바와 같이 하나의 평판 양측에 테이퍼를 가지는 2개 슬라이더로 구성 되어 있다. 헤드의 중앙에 위치한 평평한 홈(flat



(a) schematic view and



(b) side and bottom view

Fig. 1 Geometry of model head slider

groove)은 Fig. 1(a)에서 보는 바와 같이 슬라이더 바닥에 비하여 상대적으로 높게 위치하므로 헤드 부상기구의 압력상승에 거의 영향을 주지 않으며 2개 슬라이더의 역할은 완전히 동일하므로 본 연구에서는 Fig. 1(b)에 보이는 바와 같이 $l \times b$ 의 단면을 가지는 1개의 슬라이더에 관하여 논의하고 이것으로 헤드 전체의 거동을 대표시키고자 한다. 슬라이더의 구체적인 형상은 제작사 마다 약간씩 차이가 있으므로 본 연구에서는 기존의 하드 디스크 드라이브에서 사용되는 슬라이더를 모델로 선택하였다.

이 슬라이더는 양끝에 공기 유향베어링 테이퍼 (air-bearing taper)를 가지는 구조로 되어 있으며 Fig. 1(b)에서 보는 바와 같이 디스크 판 위에서는 정상운전시 최소 공기막두께 (minimum flying height, h_{min}) 만큼 부상하면서 자세각 (pitch angle, θ)의 경사를 가진다. 이는 슬라이더의 후방, 즉 최소공기막을 갖는 부위에 위치한 자기 core가 디스크를 통해 정보를 교환하는데 큰 역할을 담당한다.

스핀들 모터 (spindle motor)에 장착된 하드 디스크가 고속 (정격회전수 : 3557rpm)으로 정속회전하면 Fig. 2에 도시한 바와 같이 슬라이더와 하드디스크 사이에서는 공기유동에 의한 양력 (lift)이 발생되며, 공기 유향력 (air-bearing force)이라 칭하는 이 양력이 외부하중 (W)과 평형을 이루면서 슬라이더는 $h(x)$ 만큼 부상하게 된다. 이때 슬라이더의 자세각은 무게중심점인 피봇 (pivot, Y_{piv})에 관한 모멘트 평형에 의하여 결정된다.

또한 Fig. 2에는 본 연구에서 선택된 x, y, z 좌표계를 표시하였으며 아울러 전 후 공기유향 테이퍼 각도 ϕ_1, ϕ_2 등도 나타내었다.

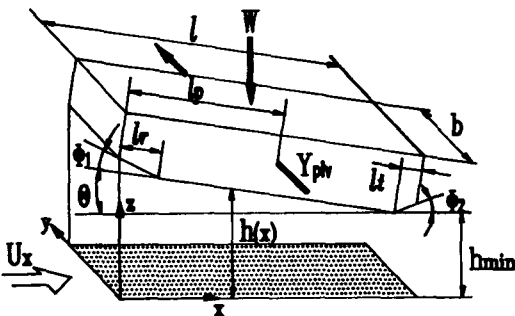


Fig. 2 Operating configuration of head slider

3. 헤드 슬라이더의 부상높이 해석방법

하드 디스크 정지시에 하드 디스크면에 접하고 있던 헤드 슬라이더는 하드 디스크의 회전으로 인하여 일정속도의 공기 흐름이 발생하게 되고 이에 따라 어떤 부상높이로, 즉 z 방향으로 $h(x)$ 만큼 부상하게 되며 이때 부상높이 $h(x)$ 는 Fig. 2에서 처럼 최소 공기막두께라 불리는 h_{min} 과 자세각 θ 에 의하여 결정된다.

여기서 최소 공기막 두께와 자세각을 결정하는 과정은 도식적으로 Fig. 3과 같이 표현할 수 있으며 그 내용은 다음과 같다.

우선, 외부하중 (W), 디스크 선속도 (U_x) 그리고 슬라이더의 상세 치수 ($b, l, \phi_1, \phi_2, l_r, l_b, l_c$; Fig. 2 참조) 등이 입력 자료 (input data)로 주어진다. 이어서 최소 공기막두께와 자세각을 추정한 후 이들을 근거로 공기막 내부에서의 압력분포 $p(x, y)$ 를 구한다.

이 압력을 이용하면 슬라이더 바닥면에 작용하는

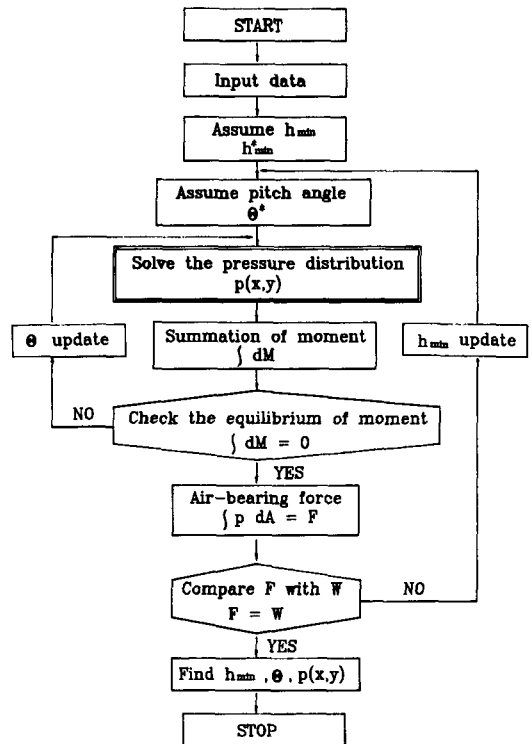


Fig. 3 Flow chart to determine minimum flying height and pitch angle

양력에 의한 슬라이더의 모멘트(moment) 합을 구할 수 있으며 이를 통해 y 방향의 회전축인 슬라이더 피봇에서의 모멘트 평형을 점검할 수 있다. 만약 모멘트 평형이 이루어지면 압력을 슬라이더 면적에 대하여 적분하여 공기 유히력을 구하는 다음 단계로 넘어가고, 그렇지 않으면 Secant 방법⁽²⁾에 의하여 자세각을 개선시키면서 압력분포 계산을 반복 수행하여야 한다.

모멘트 평형이 이루어진 후에는 공기유히력을 구하여 이를 외부하중과 비교하고 일치 되는가를 확인한다. 이때 이것이 일치되지 않으면 다시 Secant 방법으로 최소 공기막두께를 개선하는 단계로 되돌아간다. 이러한 반복을 되풀이 하면 최종적으로는 공기유히력 F 와 외부하중 W 가 일치하게 된다. 이때 결정된 h_{\min} 과 ㉔ 값은 적절한 최소 공기막두께 및 자세각이 된다.

4. 압력분포해석을 위한 기본이론

본 연구에서 관심이 되고 있는 부상높이는 결국 극소 공기막에 작용되는 압력에 의하여 결정되므로 이 압력분포를 구할 수 있는 이론의 전개가 필요하다. 이 공기막은 슬라이더 바닥면과 하드 디스크 사이에 이루어지는 극소 공기막에 관한 것이며 Fig. 2에서 보는 바와 같이 $b \times l \times h(x)$ 의 체적을 가진다고 할 수 있다.

하드 디스크의 회전에 의하여 발생하는 공기의 유동이 극소 공기막내로 유입될 때 헤드 슬라이더는 적절한 자세를 취하며 정상상태를 유지한다. 이때 극소 공기막에서의 힘의 평형은 간단한 수식으로 표현할 수 있으며 이를 위한 가정⁽³⁾은 다음과 같다.

우선 유체의 흐름은 정상 층류유동이고, 점도는 공기막내에서 일정하며 공기의 관성력은 마찰에 비해 매우 작으므로 무시할 수 있다고 가정한다. 또한 극소 공기막의 표면온도는 변함없이 일정하다고 가정한다.

극소 공기막내의 유동은 경계층 유동이고 z 방향 유속은 영으로 가정되며 속도구배중 $\partial u/\partial z$, $\partial v/\partial z$ 항이 다른 것들에 비하여 월등히 크므로 나머지 것들은 모두 무시한다.

여기서 엄밀히 이야기하면 공기막 온도는 위치에 따라 다르지만 그차이가 거의 무시할 수 있을 정도이므로 이를 등은 상태로 가정하고 압력과 밀도의

관계식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{p}{\rho_{amb}} = \frac{\rho}{\rho_{amb}} \quad (1)$$

여기서 하첨자 amb는 기준되는 외기조건을 표시하며, ρ 는 공기의 밀도를 나타낸다.

상기 가정하에서 공기막내의 유동조건을 표현한 운동량 방정식(navier-stokes equation)과 연속 방정식(continuity equation)을 정리하면 식(2), 식(3)과 식(4)로 단순화시킬 수 있다.

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

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \mu \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\rho \int_0^{h(x)} u dz \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\rho \int_0^{h(x)} v dz \right] = 0 \quad (4)$$

여기서 u 와 v 는 각각 x 와 y 방향의 공기유속이며 μ 와 $h(x)$ 는 각각 공기의 점성계수와 헤드 슬라이더의 부상높이이다.

일반적인 유동조건에서 벽면에 인접한 유동은 연속체 유동으로 간주될 수 있으나, 분자의 평균 자유비행거리가 유히공기막의 두께와 비교될 정도가 되는 유동영역에서는 유체와 벽면 사이에 미끄럼(slip)현상이 발생하는 미끄럼 유동이 된다.

유체역학적인 관점에서 볼 때 상기 두가지 유동은 아래에 정의되는 Knudsen 수(K_n)에 의하여 $K_n < 0.01$ 인 경우에는 연속체 유동(continuum flow), $0.01 < K_n < 15$ 인 경우에는 미끄럼 유동(slip flow)영역으로 구분된다.

$$K_n = \frac{\lambda}{h} \quad (5)$$

여기서 λ 는 공기분자의 평균 자유비행거리(mean free molecular path)이다.

본 연구에서 다루는 공기유동은 λ 값이 $6.564 \times 10^{-8}m$ 이고 $h(x)$ 가 약 $0.3\mu m$ 이므로 K_n 은 0.2188 정도가 되어 미끄럼 유동에 해당된다. 따라서 슬라이더 바닥면($z=h(x)$)과 하드 디스크 표면($z=0$)에서는 유체가 완전히 점착되지 않고 어떤 미끄럼 속도를 가지게 되며, 이 미끄럼 속도는 기체의 동역학적 이론으로 부터 다음과 같이 표현된다.

$$u_{(z=0)} = U_x + \lambda \left. \frac{\partial u}{\partial z} \right|_{z=0} \quad (6)$$

$$u_{(z=h(x))} = -\lambda \left. \frac{\partial u}{\partial z} \right|_{z=h(x)} \quad (7)$$

$$v_{(z=0)} = V_y + \lambda \left. \frac{\partial v}{\partial z} \right|_{z=0} \quad (8)$$

$$v_{(z=h(x))} = -\lambda \left. \frac{\partial v}{\partial z} \right|_{z=h(x)} \quad (9)$$

여기서 U_x 와 V_y 는 각각 x 와 y 방향의 디스크 선속도이다.

식(2)와 식(3)을 두번 적분한 후, 식(6), 식(7) 식(8), 및 식(9)를 경계조건으로 대입하면 유속 u, v 는 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$u = -\frac{1}{2\mu} \frac{\partial p}{\partial x} (h\lambda + hz - z^2) + U_x \left(1 - \frac{z + \lambda}{h + 2\lambda}\right) \quad (10)$$

$$v = -\frac{1}{2\mu} \frac{\partial p}{\partial y} (h\lambda + hz - z^2) + V_y \left(1 - \frac{z + \lambda}{h + 2\lambda}\right) \quad (11)$$

식(10)과 (11)을 식(4)에 대입하면 벽면 미끄럼현상을 고려한 수정 레이놀즈 방정식이라 불리는 압력 관계식이 식(12)와 같이 유도된다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left[\rho h^3 \left[1 + 6 \frac{\lambda}{h} \right] \frac{\partial p}{\partial x} \right] \\ & + \frac{\partial}{\partial y} \left[\rho h^3 \left[1 + 6 \frac{\lambda}{h} \right] \frac{\partial p}{\partial y} \right] \\ & = 6\mu U_x \frac{\partial}{\partial x} (\rho h) + 6\mu V_y \frac{\partial}{\partial y} (\rho h) \end{aligned} \quad (12)$$

이때 압력구배를 형성하는 극소 공기막의 경계에서는 대기압이 작용한다는 가정하에 식(13)와 같은 경계조건이 설정된다.

$$p = p_{\text{amb}} \text{ at } x=0, \text{ l or } y=0, \text{ b} \quad (13)$$

5. 압력분포를 위한 수치해석

압력분포를 구하는 실제 계산에서는 서로 다른 차원에 의해 발생하는 오차를 줄이기 위하여 아래에 나열된 무차원 변수를 도입하여 식(12)를 다음과 같은 무차원화된 수정 레이놀즈 방정식으로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} X &= \frac{x}{l}, \quad Y = \frac{y}{l} \\ H &= \frac{h}{h_{\text{min}}}, \quad P = \frac{p}{p_{\text{amb}}} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial X} \left[PH^3 \left(1 + \frac{6K_n}{PH} \right) \frac{\partial P}{\partial X} \right] \\ & + \frac{\partial}{\partial Y} \left[PH^3 \left(1 + \frac{6K_n}{PH} \right) \frac{\partial P}{\partial Y} \right] \\ & = \Lambda_x \frac{\partial (PH)}{\partial X} + \Lambda_y \frac{\partial (PH)}{\partial Y} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\text{여기서 } \Lambda_x = \frac{6\mu U_x l}{p_{\text{amb}} (h_{\text{min}})^2}$$

$$\Lambda_y = \frac{6\mu V_y l}{p_{\text{amb}} (h_{\text{min}})^2}$$

이며 Λ_x 와 Λ_y 는 베어링수라 정의된다.

식(15)를 범용 타원형(elliptic) 방정식 수치해법에 적용시켜 풀기위하여 보존형태의 일반형 방정식으로 식(16)과 같이 표시한다.

$$\frac{\partial}{\partial X} \left[\Gamma \frac{\partial P}{\partial X} \right] + \frac{\partial}{\partial Y} \left[\Gamma \frac{\partial P}{\partial Y} \right] + S = 0 \quad (16)$$

$$\text{여기서 } \Gamma = PH^3 \left(1 + \frac{6K_n}{PH} \right)$$

$$S = -\Lambda_x \frac{\partial (PH)}{\partial X} - \Lambda_y \frac{\partial (PH)}{\partial Y}$$

이다. 무차원 경계조건은 아래와 같다.

$$P = 1 \text{ at } X = 0, \text{ 1 or } Y = 0, \text{ b/l}$$

$$\frac{\partial P}{\partial Y} = 0 \text{ at } Y = b/2l \quad (17)$$

2차 편미분 방정식인 식(16)은 $b \times l$ 인 관심영역이 100×40 개의 작은 제어체적으로 나누어져서 기존 개발된 수치해법⁽⁴⁾에 의하여 풀려졌다.

슬라이더의 기하학적 형상과 하드 디스크 운행조건이 주어진 경우에 적절한 부상높이를 구하기 위한 최소 공기막 두께의 개선은 8회 정도 소요되었으며 최소 공기막 두께의 1회 수정에 모멘트 균형을 위한 자세각 수정 횟수는 평균 6회 소요되었다.

6. 압력분포 해석결과

실제의 하드 디스크에서는 하드 디스크의 트랙(track) 접선과 헤드 슬라이더의 중심선이 미소한 편심각(skew angle)를 가지나 그 각도가 아주 작으므로 본 연구에서는 이 각도를 영으로, 즉 $V_y = 0$ 으로 가정한 후 압력분포를 해석하였다.

6.1 기존 연구와의 비교

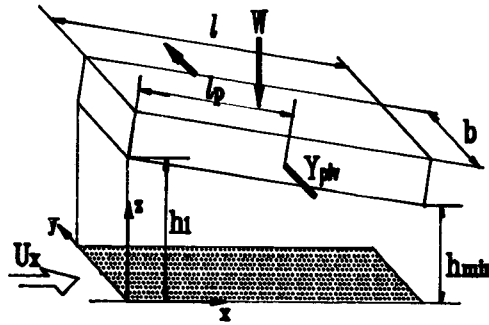
박⁽⁶⁾등은 평판 슬라이더와 리딩에지 슬라이더에 의해 형성되는 극소 공기막내에서의 무차원 압력분포를 예측한 바 있다. 본 연구에서는 상기 연구에서와 거의 동일한 조건으로 압력분포를 예측하여 그 타당성을 입증하고자 한다.

(1) 평판 슬라이더(plane slider)

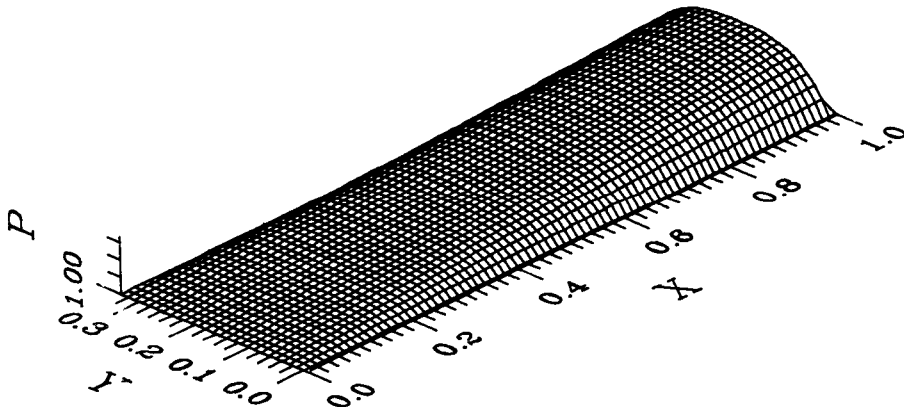
Fig.4 (a), (b)에는 x 방향으로 두께가 일정한 평판

Λ_x	500
K_n	0.2189
b/l	1/3
t_p/l	0.5
h_1/h_{min}	1.1

(a) operating condition



(b) geometry



(c) pressure distribution

Fig. 4 configuration and result from plane slider

슬라이더의 운행조건 및 기하학적 형상이 도식적으로 표시되어 있으며 Fig.4(c)에는 이를 적용하여 계산된 압력분포가 나타나 있다. 이 압력분포에 따르면 대기압으로부터 시작된 공기막 압력은 슬라이더의 후미로 갈수록 점차 증가하게 되고, 슬라이더의 양쪽 측면에서는 대기압의 경계조건을 만족시키기 위하여 압력의 급격한 감소현상이 나타나 있다. 이때 생성되는 무차원 압력의 최대치는 1.096 으로서 박동의 결과와 거의 일치한다.

(2) 리딩에지 슬라이더(leading edge slider)

Fig.5(a)(b)에는 슬라이더 전반부에 전 공기유회를 지닌 리딩에지 슬라이더의 운행조건과 기하학적 형상을 나타내었다. 이러한 형상을 지닌 슬라이더의 극소 공기막내 무차원 압력분포는 Fig. 5(c)에서 보이듯이 전 공기유회를 지니기 위하여 슬라이더 전반부에서 압력의 극대치를 나타내며 다시

x방향 후미로 가면서 평균 슬라이더에서와 마찬가지로 점차적인 압력의 증가를 나타낸다. 이때 압력의 극대치에서 발생하는 슬라이더 바닥면의 무차원 최대압력값은 1.4495로서 역시 박동의 계산값과 거의 일치한다.

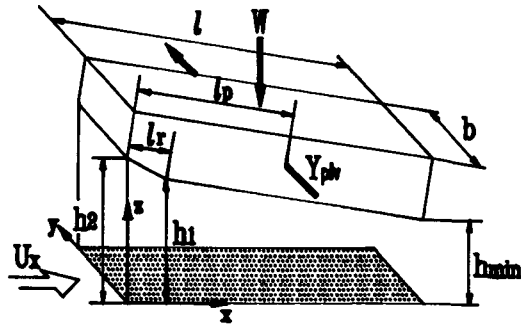
6.2 모델 슬라이더에서의 압력분포

해석모델로 선정된 하드 디스크 드라이브에 장착된 헤드 슬라이더는 정상 운행시 Fig. 6(a)에 나타난 것과 같은 구체적인 사양을 가지고 있으며 Fig. 6(b)에 도시한 것과 같이 단순화된 모델로 나타낼 수 있다.

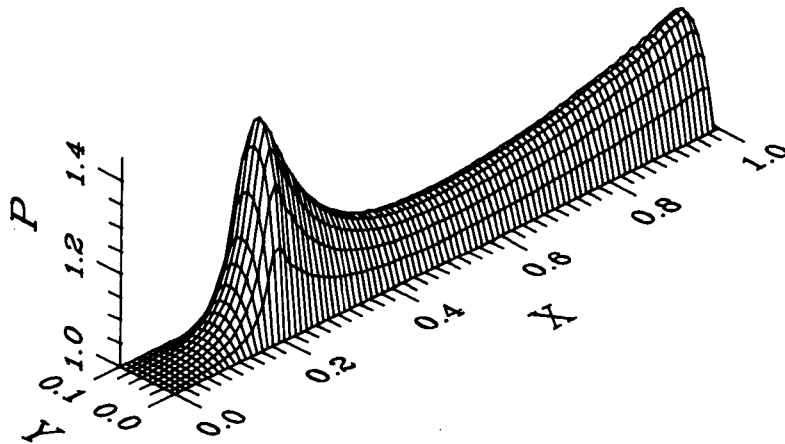
여기서 보면 헤드 슬라이더는 정상운전중에 0.00156 deg의 자세각을 가지고 최소 공기막두께가 0.211 μ m 되도록 부상해 있음을 나타내고 있다. 이때 디스크 선속도 및 공기의 점성계수는 각각

Λ_x	500
K_n	0.2189
b/l	1/10
l_r/l	0.2
l_p/l	0.5
h_1/h_{min}	2
h_2/h_{min}	20

(a) operating condition



(b) geometry



(c) pressure distribution

Fig. 5 Configuration and result from leading edge slider

9.88m/s 및 $180 \times 10^{-7} \text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$ 이다. 또 외기압력과 공기분자의 평균 자유비행거리는 각각 $1.01328 \times 10^5 \text{Pa}$ 및 $6.564 \times 10^{-8} \text{m}$ 이다.

계산결과로 나타난 극소 공기막의 무차원 압력분포는 Fig.6(c)에 나타내었다. 여기서 보면 슬라이더의 전반부에 보이는 급격한 압력상승은 전 공기유회 테이퍼에 의해 발생하는 췌기효과(wedge effect)에 기인되며, x방향 중간부위의 미약한 압력감소는 측면유출(side leakage)로 인한 현상으로 여겨진다. 슬라이더 후미로 가면서 압력은 다시 조금씩 증가하게 되고, 후 공기유회 테이퍼부분에 이르면서 급격한 압력강하가 나타난다. 이때 압력분포가 슬라이더면 전체에 걸쳐 적분된 합력은 $9.2g_f$

이다.

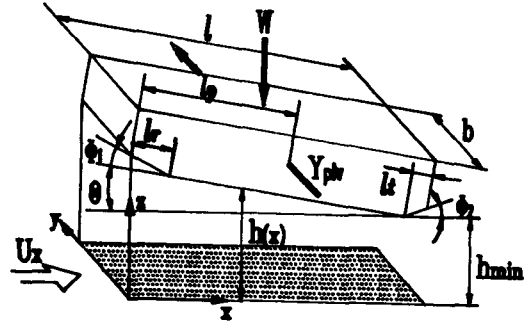
그러나 슬라이더 바닥면의 압력분포는 높은 베어링 수(bearing no.) 때문에 전반적으로 특별한 극치점없이 x방향에 따라 거의 일정하게 유지된다. 이는 낮은 베어링 수, 즉 비압축성 영역에서는 공기유회력이 베어링 수에 비해하지만 높은 베어링 수(즉 압축성 영역)에서는 공기유회력이 베어링 수에 거의 영향을 받지 않게 된다는 설명(6,7)과 일치한다.

모델 슬라이더의 사양에서 보면 외부하중이 $9.5 g_f$ 인 경우에 헤드 슬라이더는 편심각이 영인 트랙에서 $0.211 \mu\text{m}$ 의 최소 공기막두께를 표시하고 있다. 이를 본 프로그램에서 구한 $9.2g_f$ 와 비교하면

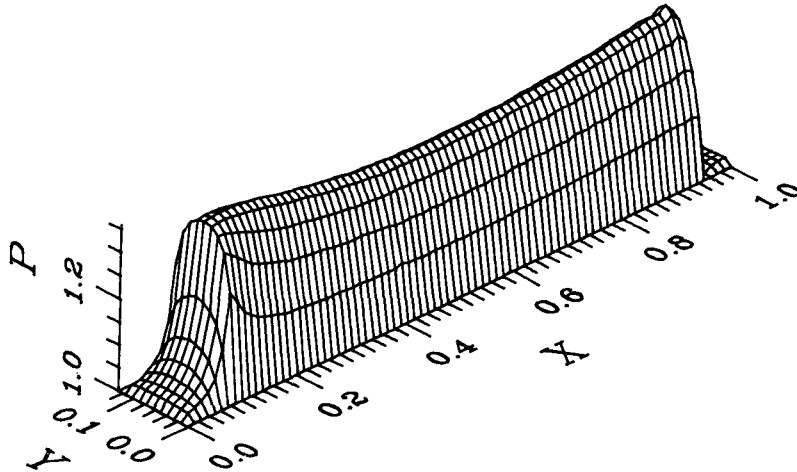
U_x	9.88 m/s
p_{amb}	1.01325×10^5 Pa
λ_{amb}	6.564×10^{-8} m
μ	180×10^{-7} kg/(m·s)
ϕ_1	1 deg
ϕ_2	20 deg
b	0.55 mm
l	4.3 mm
l_p	2.15 mm
l_r	0.4 mm
l_t	0.15 mm

(a) operating condition

h_{min}	0.211 μm
Θ	0.00156 deg



(b) geometry



(c) pressure distribution

Fig. 6 Configuration and result from model slider

비록 약간의 차이는 있으나 여러가지 가정된 사항을 고려해 볼 때 본 연구에서의 타당성은 충분하다고 판단된다.

7. 결과 및 고찰

본 연구에서는 수정 레이놀즈 방정식(modified Reynolds' equation)을 이용하여 하드 디스크와 헤

드 슬라이더 사이의 압력분포 및 슬라이더의 부상높이, 즉 최소 공기막두께(h_{min})와 자세각 Θ 를 해석할 수 있는 프로그램을 개발하였으며 이 프로그램을 이용하여 아래의 세가지 과제를 연구하였다.

먼저 첫번째 과제에서는 헤드 슬라이더가 디스크의 반경방향으로 어떤 고정된 위치에 있을 때, 다시 말해서 디스크 선속도가 일정할 때, 외부하중의 변동으로 인한 부상높이의 변화를 예측하고자 하였

다. 둘째는 외부하중이 일정하고 헤드 지지대의 회전이동으로 인해 슬라이더 위치의 디스크 선속도가 변화할 경우 극소공기막내 압력분포와 이에 따른 슬라이더의 부상높이 변동을 예측하고자 하였다.

실제로 하드 디스크에서는 헤드 지지대의 회전이동에 따라 슬라이더에 가해지는 유체의 선속도가 달라지게 되지만 서로 다른 선속도에서도 부상높이는 일정하게 유지되는 것이 가장 바람직하다. 이를 위하여 본 연구의 세번째 과제로는 슬라이더 위치의 디스크 선속도에 무관하게 부상높이를 일정 유지시키고자할 때 피벗을 통해 자기헤드에 가해져야 하는 외부하중의 분포를 예측하고자 한다.

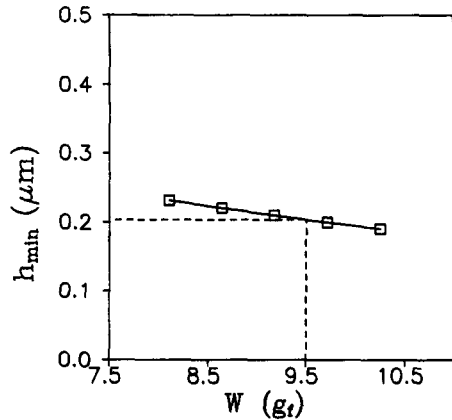
7.1 슬라이더 형상과 운행조건이 주어진 경우에 외부하중의 변화에 의한 최소 공기막 두께와 자세각 변동

본 연구에서 선택한 슬라이더의 기하학적 형상과 운행조건은 Fig.6(a)에 나타나 있으며 이 경우 외부하중이 8.10g_r~10.25g_r으로 변화할 때 최소 공기막두께와 자세각의 변동을 Fig. 7의 (a)와 (b)에 보여준다.

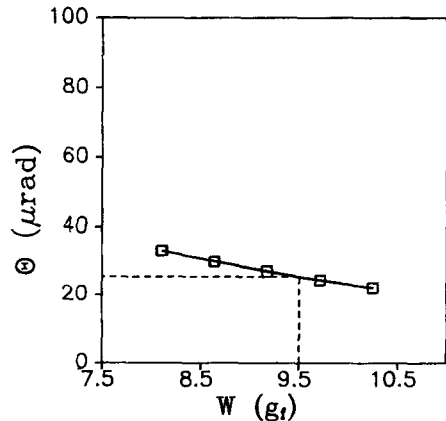
제작가 사양인 9.5g_r의 외부하중이 헤드 슬라이더에 가해지면 Fig. 7(a)의 점선으로 표시한 것처럼 0.204μm의 최소 공기막두께를 가지게 된다. 만약 이런 상태의 슬라이더에 처음 보다 큰 외부하중을 가하게 되면 슬라이더는 이 외부하중에 대응할 수 있는 보다 큰 공기유향력을 요구하게 되고 이에 따라 슬라이더는 보다 작은 공기막두께를 갖게 되는 것이다. 즉 일정한 디스크 선속도 조건에서 힘의 균형을 이루고 있던 헤드 슬라이더가 보다 낮은 부상높이를 가지기 위해서는 보다 큰 외부하중이 필요함을 나타낸다.

또한 Fig. 7(b)에서는 외부하중이 증가함에 따라 모멘트 평형에 의해 결정되는 자세각이 작아짐을 나타내고 있다. 그 이유는 외부하중의 증가에 따라 최소 공기막두께가 감소하고 이어 공기막내의 베어링 수가 증가하게 되어 슬라이더 바닥면의 전반적인 압력분포가 x방향으로 더욱 일정하게 유지되기 때문이다. 결국 슬라이더는 작은 자세각의 변화에서 쉽게 모멘트 평형을 이룰 수 있는 것이다.

Fig. 7(a)와 (b)에서 보면 외부하중 W[g_r]가 증가됨에 따라 최소 공기막 두께 h_{min}[m]와 자세각 Θ[rad]은 모두 감소하게 된다. 본 연구에서 계산한 외부하중 8.10g_r~10.25g_r내에서는 curve fit-



(a) minimum flying height with external load



(b) pitch angle with external load.

Fig. 7 Effects of external load at a constant disk velocity :

ting을 이용하여 대략적으로 다음과 같이 1차식 혹은 2차식으로 된 상관 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$h_{min}(\mu m) = -0.01915 W + 0.386 \quad (18)$$

$$\Theta(\mu rad) = 0.5085 W^2 - 14.34 W + 115.57 \quad (19)$$

상기 관계식을 볼 때 외부하중을 크게 가하기만 하면 부상높이가 감소되어 정보교환의 안정성을 증가시키리라 단순히 판단할 수도 있다. 그러나 실제로 헤드 슬라이더에 가해지는 큰 외부하중은 자칫 하면 자기 디스크 표면위에 치명적인 마모 현상을 일으키기 쉽기 때문에 외부하중을 줄이면서도 부상높이가 크게 증가하지 않을 수 있는 헤드 슬라이더의 최적 설계에 관한 연구가 필요하다고 사료된다.

7.2 슬라이더 형상과 외부하중이 주어진 경우에 하드 디스크의 선속도 변화에 따른 최소 공기막두께와 자세각 변동

해석모델로 선정한 헤드 슬라이더의 경우 헤드 지지대를 통해 자기헤드에 미리 가해지는 외부하중은 거의 변함없이 일정하다. 이처럼 외부하중이 미리 정해져 있을 때 디스크 반경방향으로 슬라이더가 이동하게 되면 디스크면의 선속도 변화는 최소 공기막두께와 자세각에 상당한 영향을 미치게 되며 이 관계는 Fig. 8(a)와 (b)에 나타난 것처럼 선속도가 9.88m/s에서 16.762m/s로 증가할 때 최소 공기막두께와 자세각은 각각 $0.115\mu\text{m}$ 및 $0.337 \times 10^{-4}\text{rad}$ 으로 증가된다.

이 결과는 일반적으로 예상되는 바와 같이 디스

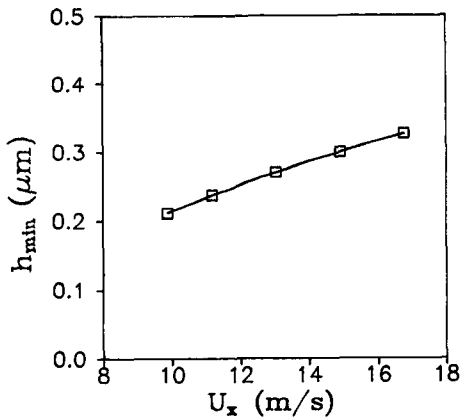
크 선속도가 증가할수록 슬라이더의 부상높이와 자세각이 증가함을 나타낸다. 즉 디스크의 바깥쪽으로 헤드가 이동할수록 슬라이더 바닥면에서는 보다 큰 공기유향력이 발생하며 이것이 일정한 외부하중을 지닌 슬라이더를 더 높이 부상시키는 역할을 하는 것이다.

그러나 그림에서 나타난 디스크 선속도 변화에 따른 부상높이의 변동은 자기헤드와 디스크사이의 정보교환 효율에 좋지않은 영향을 끼치게 되므로 이러한 부상높이의 변동을 줄이기 위한 설계기술이 필요하다고 사료된다.

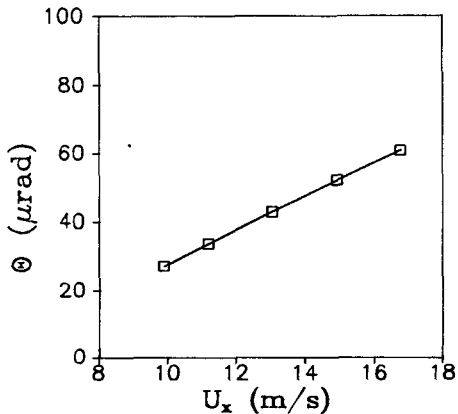
7.3 디스크 선속도에 무관하게 슬라이더의 부상높이를 일정 유지시키기 위한 외부하중의 분포

앞에서 언급한 것과 같이 자기헤드를 부착하고 있는 헤드 지지대의 회전이동에 따라 헤드 슬라이더의 위치가 달라지게 되면 슬라이더에 작용하는 공기의 유입속도가 변화하게 되고 일정한 외부하중을 지닌 슬라이더의 부상높이도 동시에 변화하게 됨을 보았다.

그러나 정보교환의 효율면에서는 자기헤드가 디스크면의 어느 위치에 있더라도 부상높이는 변화되지 않고 유지하는 것이 바람직 하다. 따라서 본 연구에서는 슬라이더의 부상높이를 해석모델의 사양인 $0.211\mu\text{m}$ 로 일정 유지시키기 위한 기초 자료로써 디스크 선속도 변화에 따라 헤드 슬라이더에 가



(a) minimum flying height with disk velocity



(b) pitch angle with disk velocity

Fig. 8 Effects of disk velocity at a constant external load :

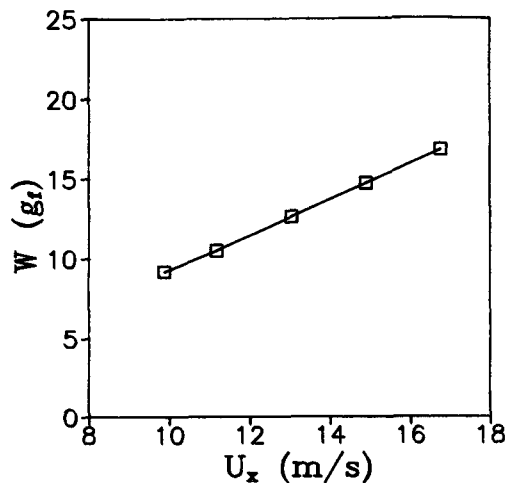


Fig. 9 External load with disk velocity to keep flying height constant

해주어야 하는 외부하중의 분포를 계산하여 Fig. 9에 나타내었다.

여기서 보면 선속도가 빠를 수록, 즉 헤드 슬라이더가 디스크 반경의 바깥쪽으로 이동할수록 큰 외부하중이 소요됨을 보여준다. 예를 들어 헤드 슬라이더의 디스크 선속도가 헤드 지지대의 회전이동에 의해 9.88m/s에서 최대 16.762m/s로 변화하면 약 7.6g_r의 외부하중이 추가되어야만 슬라이더의 최소 공기막두께를 계속 일정하게 유지시킬 수 있음을 나타낸다.

8. 결 론

본 연구에서는 하드 디스크 드라이브에서 슬라이더와 디스크 사이에 생성 되는 공기 분자의 벽면 미끄럼(molecular slip) 현상을 고려한 극소 공기유회활막의 압력을 해석하고 임의의 운전조건 하에서 슬라이더의 최소 공기막두께와 자세각을 고찰할 수 있는 프로그램을 작성하였으며 이를 모델로 선택된 하드 디스크 드라이브에 적용하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 헤드가 디스크의 반경방향으로 어떤 고정된 위치에 있을 때, 즉 디스크 선속도가 일정할 때 외부하중의 변동에 따르는 부상높이의 변화와 자세각은 외부하중 $W[g_r]$ 가 증가할수록 식 (18)과 (19)의 관계로 감소함을 나타냈으며 슬라이더의 자세각은 최소 공기막두께에 의해 결정되는 베어링 수의 증가에 따라 감소함을 보였다. 이는 적절한 외부하중의 선정이 슬라이더의 정보교환 효율에 상당히 중요한 역할을 함을 나타낸다.

(2) 외부하중이 일정한 경우에 디스크 선속도가 9.88m/s에서 16.762m/s로 증가하면 슬라이더 바닥면에서의 공기유회활력 증가로 인하여 최소 공기막두께와 자세각은 각각 $0.115\mu\text{m}$ 및 $0.337 \times 10^{-4}\text{rad}$ 으로 증가한다.

(3) 헤드 지지대의 회전이동에 무관하게 부상높이를 일정하게 유지시키기 위하여 필요한 외부하중

은 선속도가 커질수록 증가되며 본 연구에서 선택된 모델에서는 디스크 선속도가 9.88m/s에서 16.762m/s로 증가될 때 약 7.6g_r의 외부하중이 추가로 요구된다.

후 기

이 논문은 1990년도 문교부지원 한국학술진흥재단의 대학부설 연구소지원(과제명: 고속 경량 Hard Disk Drive의 설계에 관한 연구) 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- (1) Heath, J.S., 1976, "Design of a Swinging Arm Actuator for a Disk File," IBM J. Res. Develop., July, pp.389~397.
- (2) Maron, M.J., 1982, "Numerical Analysis : A Practical Approach," MacMillan Press.
- (3) Burgdorfer, A., 1959, "The Influence of the Molecular Mean Free Path on the Performance of Hydrodynamic Gas Lubricated Bearing," ASME J. of Basic Eng. Vol.81, No.3, Mar., pp.94~100.
- (4) Patankar, S.V., 1980, "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow," McGraw-Hill Book Company.
- (5) 박상신, 장인배, 황평, 한동철, 1991, "극소 공기막을 갖는 공기베어링의 직접 수치해석법을 이용한 정적해석", 대한기계학회논문집, 제15권, 제1호, pp.120~126.
- (6) Mee, C. D., Daniel, E.D., 1990, "Magnetic Recording Handbook," McGraw-Hill Book Company.
- (7) White, J. W., 1983, "Flying Characteristics of the Zero-Load Slider Bearing," ASME J. of Lub., Vol.105, July, pp.484~490.