

하드 디스크 드라이브 내부의 유동장에 관한 수치적 연구

Numerical Prediction of Flow Field in a Hard Disk Drive

이 재 현*, 백 영 렬**, 김 광 식*
Jae-Heon Lee, Y. R. Back, K. S. Kim

Key Words : Hard Disk (하드 디스크), Disk Drive (디스크 드라이브),
Rotational Flow(회전유동), Numerical Flow Field (전산유동장)

ABSTRACT

Flow field in a hard disk drive has been predicted numerically. Theoretical model was constructed based on a commercially available hard disk drive with 40 Mega byte capacity.

Since the gap between disk tip and shroud is not homogeneous in real hard disk drive, three kinds of gap size have been tested as computational model. The discussion has been made on the circumferential velocity, radial velocity, and pressure fields.

As a result, the average shear stress on the disk surface was reduced as the gap size decreased. This means that the shroud should be designed compactly to reduce power consumption of the spindle motor.

기 호 설 명

G : 디스크 가장자리와 슈라우드 사이의 거리

H : 상부 벽면으로부터 하부 대칭면까지의 거리(디스크 드라이브 높이의 1/2)

R : 슈라우드의 반경

R_0 : 허브 가장자리의 반경

R_1 : 디스크의 반경

r, x, θ : 원통 좌표계

V_r, V_x, V_θ : 원통좌표계에서의 속도성분

ν : 동점성계수

μ : 점성계수

ρ : 밀도

τ : 디스크 표면에서의 국소전단응력

τ_{av} : 디스크 표면에서의 평균전단응력

1. 서 론

하드 디스크 드라이브는 컴퓨터를 구성하는 주요 장치 중의 하나이며, 자료와 정보를 수집하여 저장하고 있다가 필요할 때 출력시켜 주는 역할을 한다. 이 장치는 얇은 금속판 위에 자기매체(magnetic medium)을 코팅하여

* 한양대학교 공과대학

** 한양대학원

제작한 원형 디스크와 디스크 위에 저장된 정보와 자료를 입출력하는데 사용하는 헤드 아암 어셈블리(head arm assembly)로 구성되어 있다. 대부분의 전자산업에서와 마찬가지로, 하드 디스크 드라이브의 제작기술도 1955년 IBM사가 1,200rpm으로 회전하는 축에 디스크를 5개 장착하여 제작한 10메가 바이트 용량의 것을 시초로 하여 과거 몇 십년동안 급속도로 발전되어 왔다. 최근에는 직경이 14인치이고 16개의 디스크로 구성된 하드 디스크 드라이브에 2,500메가 바이트를 저장시킬 수 있는 것에까지 개발되었다.¹⁾

하드 디스크 드라이브의 성능 향상에 따라, 하드 디스크의 회전속도가 고속화되고 체적이 소형화되었다. 이러한 회전속도의 고속화 및 체적의 소형화에 따라 이 장치 내부의 유동문제도 야기되었다. 특히, 하드 디스크 드라이브 내부 압력의 불균일성과 비정상적인 공기 유동특성은 헤드 아암 어셈블리의 작동에 영향을 주게 된다. 유동의 불안정에 기인된 불균일한 압력분포는 데이터의 입출력시에 헤드 아암의 진동을 유발하여 데이터의 유실과 헤드 표면의 파괴로 연결될 수 있다. 또한, 디스크 주위의 유동장은 디스크 표면에서의 열발생, 디스크 드라이브의 냉각 및 내부유체에 섞인 입자의 이동 등에 영향을 주게 된다.

위에서 언급한 문제점을 정성적 및 정량적으로 예측하기 위하여 대부분의 연구자들은 하드 디스크 드라이브 내부의 복잡한 기하학적 형상을 2차원 또는 3차원의 비교적 간단한 모델로 변화시켜 고속으로 회전하는 디스크 주위의 유동장 및 압력장을 수치적 및 실험적으로 연구를 수행하고 있다. 그 연구자들 중 1989년 Chang²⁾ 등은 두개의 회전원판을 갖는 하드 디스크 드라이브 내부의 유동장에 관한 수치계산을 수행한 결과, 내부 유동장은 회전원판의 속도와 허브에서의 강제 송풍효과(blowing effect)에 따라 달라진다고 보고했으며, 1989년 Ananth³⁾ 등은 3,600rpm의 회전원판이 존재하는 유동장내에서 입자의 시간에 따른 궤적의 변화를 고찰하기 위하여 유동특성에 관한 수치적 및 실험적 연구를 수행한

바 있다.

그외의 연구가들도 다양한 회전수, 종횡비 및 강제 송풍효과에 관하여 연구결과를 발표한 바 있지만, 하드 디스크 드라이브 내부의 유동에 영향을 주는 요소중 중요한 요소중의 하나라고 예측되는 디스크 가장자리와 슈라이드(shroud) 사이의 간격을 매개변수로 도입한 연구결과는 찾아보기 어렵다. 본 연구에서는 회전원판의 속도를 일정하게 고정시키고 하드 디스크 가장자리와 슈라이드 사이 간격의 변화에 따른 내부 유동장 및 압력장의 변화를 수치적으로 연구하고자 한다.

2. 모델의 선정

공기가 차 있는 하드 디스크 드라이브 내부의 유동장 및 압력장을 수치적으로 연구하기 위하여 본 연구의 기준모델로 선정된 P 회사 제품인 하드 디스크 드라이브의 평면도와 측면도는 Fig.1에 나타난 바와 같다. 이 하드 디스크 드라이브는 40메가 바이트의 용량을 가진 것으로서 국내의 퍼스널에 많이 실장되고 있는 제품이다. 그림에서 ①은 자료와 정보를 저장하는 디스크이며, ②는 자료를 입출력 하는데 이용되어지는 헤드 아암 어셈블리이다. 부품 이외에 하드 디스크 드라이브 내

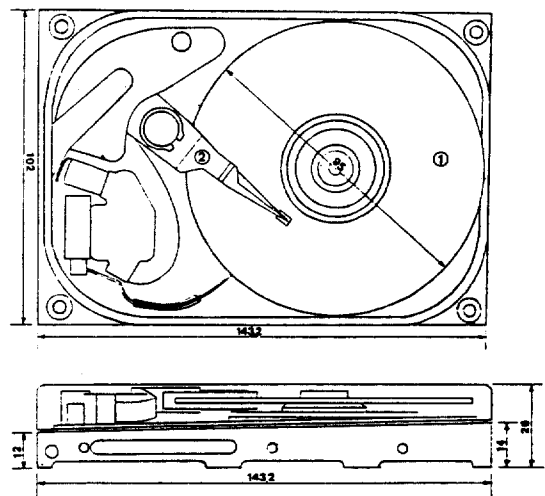


Fig.1 Detail drawing of confined single disk : [unit : mm]

부공간에는 청정공기가 채워져 있다. 그림에서 보는 바와 같이 하드 디스크 드라이브 내부는 필터를 비롯한 여러가지 작은 부품이 탑재하고 있으며, 아주 복잡한 유동통로를 이루므로 실제 유동특성에는 3차원 난류 거동까지 포함될 것이다. 그러나 이에 관한 실제 유동장을 이론적으로 정확하게 예측한다는 것은 현실적으로 쉬운 일이 아니므로 본 연구에서는 디스크 주위의 평균유동에만 관심을 가지고 유동통로를 단순화시켰다.

Fig. 2(a)는 Fig. 1에 나타난 복잡한 형상의 하드 디스크 드라이브 내부의 유동장 및 압력장을 수치적으로 연구하기 위하여 2차원적으로 단순화시킨 수치해석 모델이다. 이 연구모델의 수치계산 영역, 기하학적 형상의 크기 및 좌표계는 Fig. 2(b)에 나타난 바와 같다. Fig. 2(b)에서 윗면과 오른쪽면은 각각 디스크 드라이브를 둘러싸고 있는 상부벽면과 슈라우드이며, 아랫면과 왼쪽면은 각각 하부 대칭면(bottom symmetric plane)과 디스크 회전축이다. 이 그림에서 지시된 중요한 치수들은 P 회사 하드 디스크 드라이브의 실제 규격에서 선택한 것이다. Fig. 1에 나타난 실제의 유동영역을 Fig. 2(a)에서와 같은 이론적 모델로 변화시키는 과정에서 어려운 점은 실제의 하드 디스크 드라이브에서 일정하지 않은 간격 G (디스크 가장자리와 슈라우드 사이의 간격)를 어

떻게 선정하는가이다. 본 연구에서는 실제의 하드 디스크 드라이브에서 나타나는 최대간격 12mm 와, 최소간격 4mm를 고려하여 수치해석 모델에서의 간격 G 를 12mm, 8mm 및 4mm로 선정한 후 각 경우에서의 유동특성을 관찰하였다. 이러한 선정은 거시적으로 보아 실제 하드 디스크 드라이브 내부의 국소적인 유동특성이 상기 세가지의 간격에 관한 유동특성 논의에 포함될 수 있을 것이라는 판단에 따른 것이다. 이어서 본 연구에서는 간격 G 의 변화에 따른 유동특성의 변화를 관찰하여 하드 드라이브의 설계시 디스크 가장자리와 슈라우드 사이의 간격을 정하는 기본 자료를 제공하고자 하였다.

3. 지배방정식 및 경계조건

3.1 지배방정식

본 연구의 모델로 선정된 하드 디스크 드라이브 내부의 속도장과 압력장을 기술하는 지배방정식은 연속방정식과 운동량방정식이며 원통좌표계에 관한 완전한 형태의 지배방정식들은 다음과 같은 가정을 통하여 단순화 되어진다.

1. 유동은 정상상태의 층류유동이다.
2. 압축성에 의한 점성소산과 체력의 효과는 무시된다.
3. 모든 물리량들의 원주방향구배는 무시된다.
4. 작동유체의 모든 물성치들은 일정하게 유지된다.

Lennemann⁶⁾ 등은 디스크 드라이브 내부의 유동장에 관한 실험을 수행한 후 레이놀즈 수가 2.8×10^6 이하이면 내부 유동장은 층류라는 연구결과를 발표하였다. 이 연구결과를 근거로 보면 레이놀즈수가 약 5,000인 본 연구모델의 유동장을 층류로 가정한다는 것은 타당하다 할 수 있겠다. 이때 사용된 레이놀즈수 $Re = (r \omega s / \nu)$ 로 정의되며 여기서, r , ω 및 s 는 각각 디스크 반경, 디스크의 각속도 및 디스크 드라이브 케이스 윗벽면과의 간격이다.

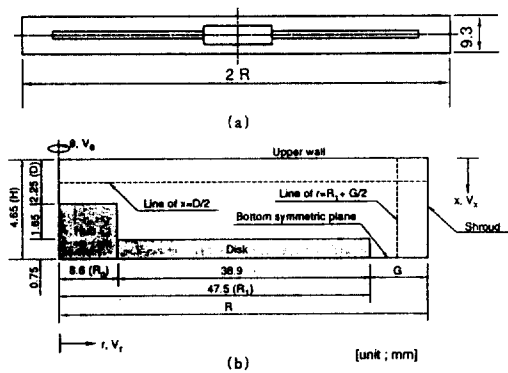


Fig. 2 Two-dimensional model simplified for numerical analysis: (a) Interesting domain; (b) Computational domain. (r -direction is reduced to 1/3.3 for better visualization)

위와 같은 가정을 통하여 단순화된 연속방정식과 운동량방정식은 아래와 같다.

연속방정식

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rV_r) + \frac{\partial V_x}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots (1)$$

운동량방정식

$$V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_r \frac{\partial V_x}{\partial r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial V_x}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 V_x}{\partial x^2} \right] \dots\dots\dots (2)$$

$$V_x \frac{\partial V_r}{\partial x} + V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{V_\theta^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r} + \nu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial V_r}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 V_r}{\partial x^2} - \frac{V_r}{r^2} \right] \dots\dots (3)$$

$$V_x \frac{\partial V_\theta}{\partial x} + V_r \frac{\partial V_\theta}{\partial r} + \frac{V_r V_\theta}{r} = \nu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial V_\theta}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 V_\theta}{\partial x^2} - \frac{V_\theta}{r^2} \right] \dots (4)$$

여기서 V_x , V_r , V_θ 는 각각 축방향속도, 반경방향속도 및 원주방향속도이며, P 는 압력을 나타낸다. 디스크 표면에서의 전단응력의 분포를 고찰하기 위하여 국소전단응력 τ 와 평균전단응력 τ_{av} 를 다음과 같이 정의하였다.

$$\tau = \mu \frac{\partial V_\theta}{\partial x} \dots\dots\dots (5)$$

$$\tau_{av} = \frac{\int \tau dA}{\int dA} \dots\dots\dots (6)$$

상기 식들에서 ρ , ν 및 μ 는 각각 밀도, 동점성계수 및 점성계수이다.

3.2 경계조건

위에서 논의한 지배방정식에 대한 경계조건은 다음과 같이 주어진다.

$$V_x = V_r = V_\theta = 0 \quad \text{at } x = 0$$

$$V_x = 0, \quad \frac{\partial V_r}{\partial x} = \frac{\partial V_\theta}{\partial x} = 0 \quad \text{at } x = H$$

$$V_x = V_r = V_\theta = 0 \quad \text{at } r = R$$

$$V_r = 0, \quad \frac{\partial V_x}{\partial r} = \frac{\partial V_\theta}{\partial r} = 0 \quad \text{at } r = 0$$

4. 수치계산

본 수치 계산에서는 전체 계산영역을 유한한 갯수의 제어체적으로 분할한 다음, 제어체적방법⁴⁾에 의하여 지배방정식을 이산화시켰으며 압력구배의 계산을 위하여서는 SIMPLER 알고리즘을 사용하였다. 회전하는 디스크와 허브는 계산영역 내부에 존재하는 고체블럭으로 묘사하여 처리하였다. 블럭이 존재하는 격자점에는 실제 물리현상에 적합한 속도값을 직접 부여하였으며 이 값들은 수치계산 과정에서 실질적인 경계조건으로 이용된다. 수치계산에서 사용한 작동유체 물성치로는 300 K 공기의 값을 사용하였다.

4.1 격자망의 선정

Fig.3은 본 수치계산에서 사용한 37×21의 비균일 격자망 구조이다. 벽면과 슈라우드의 근처에서는 물리량들의 구배가 다른 영역에서 보다 커지리라 예상되므로 좀 더 조밀하게 격자점을 배치하였다. 그림에서 검은 블럭으로 표시된 부분은 회전하는 허브와 디스크를 나타낸 것이다.

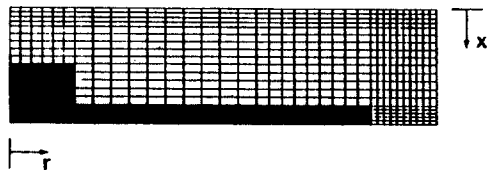


Fig.3 Illustration of grid system. (r-direction is reduced to 1/3.3 for better visualization)

4.2 이산화방정식의 풀이 및 해의 수렴 방법

이산화방정식의 수렴에서는 멱승도식⁴⁾(power law scheme)이 이용되었으며 이산화방정식의 해는 선순분(Line-by-Line method)을

이용한 TDMA 방법에 의하여 얻어진다. 반복 계산시 해의 수렴성을 향상시키기 위하여 하향이완계수를 사용하였다. 이때, 속도 V_r , V_x 및 V_θ 에 대한 이완계수는 0.3, 0.3 및 0.5이며 압력에 대한 이완계수는 0.5이다. 1회 반복계산마다 해의 수렴성을 검토하기 위하여 각각의 제어체적으로 유입되는 유량과 유출되는 유량의 최대 차이를 조사하였으며 그 오차가 10^{-6} [kg/s] 이하이고 주요변수 V_x , V_r , V_θ 의 값들이 유효숫자리 4자리 안에서 10여회 이상 변화하지 않을 때의 값을 수렴된 값으로 간주하였다.

5. 결과 및 고찰

하드 디스크 드라이브 내부 공기의 유동장과 압력장에 관한 수치계산은 디스크 가장자리와 슈라우드 사이의 간격 G (Fig. 2(b) 참조)가 4.8 및 12mm인 경우에 대하여 수행되어졌다. 이때 각각의 계산 경우에 대한 디스크의 회전 속도는 3,600 rpm으로 동일하다. 수치계산의 결과로 얻어진 유동 및 압력분포는 세가지 경우에 대하여 정성적으로 거의 유사하게 나타나므로 간격 G 가 8mm인 경우의 결과만을 Fig. 4(a), (b), (c) 및 (d)에 나타내었다. 이 그림에서 (a)와 (b)는 각각 유동장을 가시화 시켜주는 유선분포 및 속도벡터를 나타내고, (c)와 (d)는 압력분포 및 원주방향속도의 분포를 나타내고 있다. 이 그림에서 각 선에 해당하는 물리량의 정량적인 값과 단위들은 그림에서 지정한 바와 같다. 그림 (a)에서의 수치는 유량함수 Ψ 를 나타내며 $\Psi = \int \rho u dy$ 로 정의된다. 그림 (b)에서 화살표는 유동방향을 나타내고 화살표의 크기는 속도벡터의 상대적인 크기를 나타낸다.

Fig. 4(a)와 (b)에서 보면 유동은 디스크 드라이브의 $r-x$ 평면에서 반시계방향으로 순환하는 구조를 갖는다. 디스크 표면에 인접한 유체들은 디스크가 회전함에 따라 원주방향(θ 방향)으로 회전하게 된다. 이러한 원주방향의 유동은 반경방향으로의 원심력을 발생시키게 되고 이 원심력은 반경방향(r 방향)의 유동을

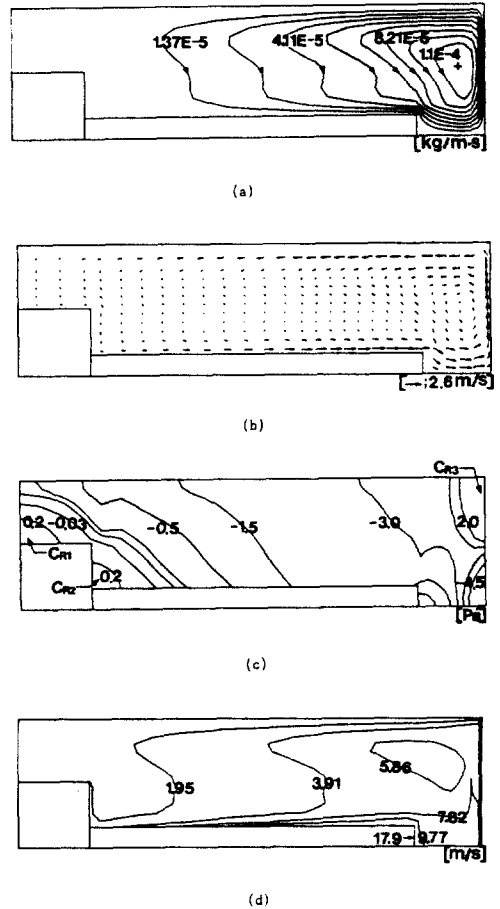


Fig. 4 Visualization of flow characteristic and pressure at rpm=3,600 and $G=8$ mm (r -direction is reduced to 1/3.3 for better visualization): (a) Streamlines; (b) Velocity vectors; (c) Isobars; (d) Circumferential velocity contours

야기시킨다. 즉, 디스크에 인접한 유체는 슈라우드를 향하여 흐르게 되고, 상부벽면에 인접한 유체는 중심선을 향하여 흐르게 되어 반시계방향의 세포유동구조를 형성한다. 이러한 유동형태는 Chang²⁾에 의해서 연구된 결과와 정성적으로 일치된다. 또한 그림들에서 보면 디스크 표면을 따라 슈라우드를 향하여 흐르던 유체는 디스크 가장자리 부분에서 디스크 표면으로부터 박리됨에 따라 하부대칭면을 향하여 경사지게 유입된다. 이러한 유동형상은 슈라우드와 디스크 가장자리부분 사이에서 재

순환 유동을 야기시키는 원인이 될 것이다. 본 모델에서는 디스크의 두께가 0.75mm로 아주 얇으므로 재순환 유동장의 형성이 눈에 띄게 나타나지 않았다.

만약, 재순환 유동장이 상당한 영역에서 형성되어지면 하드 디스크 드라이브 내부에서 발생한 오염입자는 내부에 설치된 필터를 거치지 못하게 되므로 상당한 시간동안 디스크 드라이브 내부를 배회하게 될 것이다. 오염입자가 장시간 동안 유동장 내부를 배회하게 되면 헤드아암 어셈블리의 기능에 치명적인 영향을 주게 될 가능성이 높다. 따라서 이러한 유동 특성은 바람직하지 못한 유동특성이다. Ananth³⁾ 등의 연구 결과에 의하면 디스크 드라이브 내부에서 발생한 오염입자의 시간에 따른 궤적의 변화는 오염입자의 직경과 디스크의 회전속도에 따라 달라지며, 대략 오염입자의 직경이 2.5 μm이고 디스크의 회전속도가 5,000 rpm인 경우 디스크 표면에서 발생한 오염입자는 내부유동을 따라 20회전을 한 후 슈라우드에 정착된다는 보고를 한 바 있다. 본 연구에서는 오염입자의 거동에 대한 직접적인 고찰을 하지는 못하였으나, 재순환 유동장의 형성으로 인하여 오염입자가 장시간 동안 하드 디스크 드라이브 내부에 부유하는 우려 없으리라 사료된다.

Fig. 4(a)에서 중앙 부분의 유선들이 약간 일그러진 형상을 갖고 있는데 이러한 현상은 디스크 표면보다 높게 위치하여 회전하고 있는 허브의 영향 때문에 발생된 현상이라 판단된다. 만약 허브가 존재하지 않는다면 이러한 일그러진 유선은 존재하지 않을 것으로 생각되어진다. 이러한 유동 형태는 Chang²⁾의 연구 결과도 유사하게 나타나 있다. 유동장내에 나타나는 최대 반경방향속도는 2.6 m/s 정도이며 이는 디스크의 최대속도인 17.9 m/s의 14.5%에 해당된다.

압력장을 나타내는 Fig. 4(c)에서 C_{R1} , C_{R2} 및 C_{R3} 로 지시된 모서리 부분의 압력은 중앙 부분에서보다 비교적 높은 것으로 나타나 있다. 이러한 모서리 부분은 유동의 방향이 바뀌거나 유동이 정체되는 영역으로서, 여기서는

동압이 정압으로 전환되기 때문에 높은 압력 값을 나타내는 것이라 생각되어진다. 특히 슈라우드와 윗벽면이 만나는 C_{R3} 영역의 압력은 다른 어떤 부분에서 보다 높게 나타나고 있다. 즉, 디스크 표면을 따라 흐르면서 반경방향으로 가속되어진 유체는 슈라우드 근처에서 유동의 방향을 원주방향 및 축방향으로 바꾼 후 슈라우드를 따라 흐르게 된다. 이 유동은 슈라우드와 상부 벽면이 만나는 모서리 부분에서 정체되어 압력상승을 유발하게 된다. 본 연구에서 선택한 디스크 드라이브 내부에서 발생하는 최대압력은 슈라우드와 상부벽면이 만나는 코너에서 생기며 그 값은 7.13 Pa 이다. 반면, 최소압력은 하부 대칭면과 슈라우드가 만나는 위치에서 발생되며 그 값은 -9.75 Pa 이다. 이 압력값과 외부 대기압과의 관계는 실험적인 방법으로 언어질 수 있을 것이다.

Fig. 4(d)의 원주방향속도분포 그림에서 원주방향의 속도가 일정한 선들은 속도가 반전되고 있음을 나타내주고 있다. 이것은 디스크의 고속회전으로 인하여 발생된 반시계방향의 세포유동구조 때문에 발생된 현상이다. 디스크 가장자리에서의 회전속도가 17.9 m/s임을 감안하면, 이 그림에서 디스크 표면 근처의 원주방향속도의 구배가 내부영역에서 보다 크게 나타남을 알 수 있다. 이러한 속도구배는 유체로부터 디스크 표면으로의 열전달 특성에 지대한 영향을 미치리라 생각되며, 점성소산에 의한 열을 발생시킬 수도 있을 것이다. 한편, Chang²⁾의 연구 결과에 의하면 고속으로 회전하는 두개의 디스크 사이 유체는 강제회전 운동(solid body motion)을 한다고 보고했으나, 본 연구의 모델처럼 하나의 디스크만이 존재하고 윗면이 접촉조건을 갖는 벽인 경우 이러한 유동구조는 나타나지 않았다.

이제 본 연구에서 채택한 세가지 간격 G 의 변화에 따른 유속 및 압력에 관한 국소적인 크기 및 특성들을 이하에서 중점적으로 논의하기로 하자.

$x=D/2$ (Fig. 2(b) 참조)인 축방향 위치에서 반경방향에 따른 원주방향속도 분포를 Fig. 5에 나타내었다. 이 그림에서 원주방향의 속도

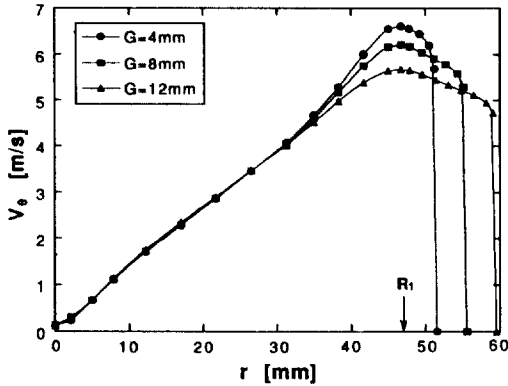


Fig. 5 Circumferential velocities along radial direction at $x=D/2$

들은 슈라우드쪽으로 갈수록 간격 G 의 크기에 관계없이 3가지 G 크기의 경우 모두에서 $r=30\text{mm}$ 인 지점까지 일정하게 선형적으로 증가하는 경향을 보이고 있으며 이것은 반경이 증가함에 따라 디스크의 원주방향속도가 커지므로 인해서 나타나는 정성적인 특성이다. 이러한 선형적인 증가 경향은 반경 $r=30\text{mm}$ 정도에서부터 비선형적인 증가 경향을 가지며 간격 G 가 클 때 보다는 작을 때에 더 큰 원주방향속도를 가진다. 아울러 각각의 경우에 대한 원주방향속도의 최대값은 디스크 가장자리부분(그림의 R_1 위치)에 인접한 영역에서 나타난다. 여기에서 간격 G 가 작을 때 더 큰 원주방향속도가 나타나는 이유는 다음과 같이 설명되어질 수 있다. 디스크 회전에 의한 반경방향 원심력은 세가지 간격 G 에서 유사한 크기로 발생될 것이다. 이러한 원심력은 슈라우드 벽면의 존재로 인하여 대부분이 원주방향운동량으로 전환된다. 같은 크기의 원심력이 작은 간격에서 원주방향운동량으로 전환될 때가 큰 간격에서 전환될 때보다 더 큰 유속을 가지므로 그림에서 보는 바와 같이 $G=4\text{mm}$ 일 때가 $G=8\text{mm}$ 혹은 $G=12\text{mm}$ 일때보다 더 큰 원주방향속도를 보인다고 판단된다.

$r = R_1 + G/2$ 인 반경위치에서 축방향의 변화에 따른 원주방향속도의 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 이 그림에서 축방향의 변

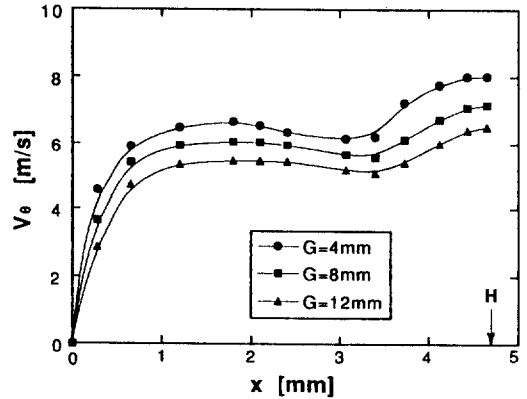


Fig. 6 Circumferential velocities along axial direction at $r=R_1+G/2$

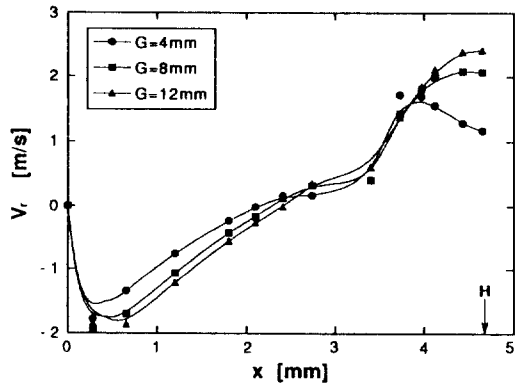


Fig. 7 Radial velocities along axial direction at $r=R_1+G/2$

화에 따른 원주방향의 속도는 $x=1$ 에서 $x=3\text{mm}$ 사이에서 거의 변동이 없다. 그리고 $x=H$ 인 하부대칭면 근처의 원주방향의 속도는 디스크에서 원주방향 속도가 최대가 되는 디스크 가장자리 부분에 인접하고 있으므로 다른 영역의 값보다는 큰 값을 갖는다. 동일한 축방향 위치에서의 원주방향의 속도는 간격 G 가 큰 경우보다는 작은 경우에 보다 큰 속도를 갖게 된다.

Fig. 7은 $r=R_1+G/2$ 인 반경방향 위치에서 축방향의 변화에 따른 반경방향속도의 크기를 나타내주는 그림이다. 유동은 $x=0$ 인 상부벽면 근처에서 회전축을 향하여 윗 벽면에 평행하게 흐르고, 중앙부분에서 세로유동의 중심을 지난후 $x=H$ 근처에서 디스크 회전에 의한 반경방향의 원심력이 증가되므로 그림에 나타난

것과 같이 x 방향의 변화에 따라 감소후 증가하는 경향을 갖는다. 그림에서 보면 반경방향 속도는 하부대칭면을 제외하고는 모든 G 의 경우에 정량적으로 거의 같은 값을 갖지만 하부 대칭면에 해당하는 $x=H$ 인 지점에서의 반경방향의 속도는 간격 G 가 작을 때 보다는 G 가 큰 경우에 크게 나타난다. 이것은 간격 G 가 커짐에 따라 슈라우드의 존재 영향을 상대적으로 적게 받음으로써 나타나는 현상이라 생각되어 진다.

$x = D/2$ 인 축방향 위치에서 반경방향의 변화에 따른 국소 압력분포를 Fig. 8에 나타내었다. 여기서는 반경의 증가에 따른 반경방향속도의 가속화 현상으로 인하여 반경

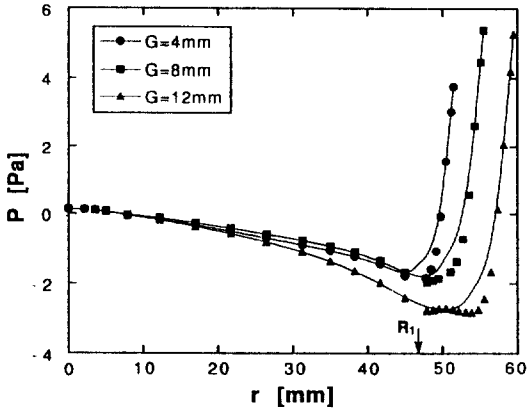


Fig. 9 Shear stress on hub and disk surface along radial direction

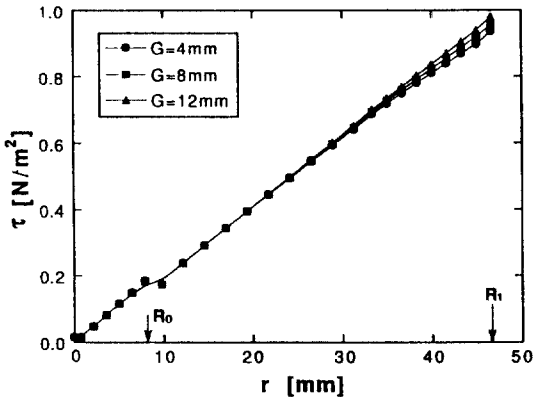


Fig. 8 Pressure distribution along radial direction at $x=D/2$

이 증가함에 따라서 단조적으로 증가하는 부압(negative pressure)이 나타남을 알 수 있다. 또한 슈라우드의 근처에서의 급격한 압력 상승은 디스크의 표면을 따라 흐르면서 반경 방향으로 가속되어진 유체가 슈라우드의 존재로 인하여 유속이 작아져 나타난 현상이다.

반경의 증가에 따른 허브 표면과 디스크 표면에서의 국소전단응력(τ) 분포를 Fig.9에 나타내었다. 이 그림에 나타난 바와 같이 국소전단응력은 반경이 증가함에 따라 선형적으로 증가하는 경향을 갖는다. 이것은 반경이 증가함에 따라 디스크의 원주방향속도가 증가될 뿐만 아니라 원주방향속도의 축방향 구배가 증가됨을 의미한다. 이러한 결과는 디스크가 강제 회전을 하더라도 디스크에 인접한 유체는 강제회전운동을 따르지 않음을 보여주며, 강제 회전을 따르지 않는 정도는 디스크의 반경이 증가되는 위치일수록 더 큼을 의미한다. 간격 G 의 변화에 따른 국소전단응력의 변화를 보면 디스크 가장자리를 제외한 나머지 영역에서 동일한 값을 가지며, 디스크 가장자리에서는 간격 G 가 작을 때 보다는 클 때 더 큰 값을 갖는다.

Table 1 Average shear stress in different gap size

| Gap Size (mm) | Average shear stress(N/m ²) |
|---------------|---|
| 4 | 0.483 |
| 8 | 0.488 |
| 12 | 0.495 |

Table 1은 간격 G 의 변화에 따른 평균전단응력의 변화를 나타내주는 표이다. 이 표에서 평균전단응력은 간격 G 가 커짐에 따라 증가되는 경향을 갖는다. 이것은 Fig.5의 원주방향속도의 분포에서 논의한 바와 같이 디스크 가장자리 부근의 유체는 간격 G 가 클 때 보다 간격 G 가 작을 때 더 큰 원주방향속도를 가지기 때문이다. 따라서 디스크를 구동하기 위한 모터의 설계시에, 동력을 절약하기 위해서는 간격 G 를 크게 하는 것보다 작게 하는 것이 유리하다고 할 수 있다.

지금까지 본 연구에서 언급한 유동특성은 한 장의 디스크를 장착한 하드 디스크 주위의 유동특성이다. 이러한 유동특성은 디스크가 여러개 있는 경우에 동일하게 적용되지 않을 것이다. 다층 구조 하드 디스크 드라이브 내부의 유동장은 디스크와 디스크 사이의 층류영역과 디스크 가장자리와 슈라우드 사이의 난류영역이 공존하는 복잡한 유동형태⁵⁾를 가지리라 예상되어지므로 다층구조 하드 디스크 드라이브 내부의 유동장에 대한 추가적인 연구가 요망된다.

6. 결 론

본 연구에서는 하드 디스크 드라이브 내부의 유동장 특성을 수치적으로 연구하기 위하여 국내에서 많이 사용되고 있는 40메가 바이트 용량의 P 회사 제품인 하드 디스크 드라이브의 대표적인 칫수를 기본으로 하여 하드 디스크 드라이브 내부의 유동장을 해석하기 위한 이론해석 모델을 선정하였다. 이론모델에서는 디스크 가장자리와 슈라우드 사이의 간격을 4.8 및 12mm로 채택하여 각 간격에서의 유동특성과 간격의 변화에 따른 유동특성의 변화를 고찰하였다. 본 연구에서 수치 계산으로부터 얻은 결과를 토의한 후 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 디스크의 회전으로 인하여 $r-x$ 평면에서는 원주방향의 주유동 이외에 반시계 방향의 세포유동이 형성되며 이 유동은 허브의 존재로 인하여 약간 일그러진 경향을 갖는다.

(2) 슈라우드와 상부 벽면이 연결되는 모서리 영역에서 최대압력을 보이며, 슈라우드와 하부 대칭면이 만나는 영역에서는 최소압력을 보인다.

(3) 디스크 가장자리에 인접한 유체의 원주방향속도는 간격 G 가 클 때 보다는 작을 때 더 큰 값을 갖는다.

(4) 디스크 표면에서의 평균전단응력은 간격 G 가 클 때 보다는 작을 때 작은 값을 갖게 되므로 디스크를 구동시키기 위한 모터의 소요 동력을 절약하기 위해서는 간격 G 를 작게 하는 것이 효율적이다.

후 기

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

참 고 문 헌

1. 이재현, 강대진, "하드 디스크 드라이브에서의 열적문제", 1990. 대한기계학회지, 추계특집호, pp.198~295.
2. Chang, C.J., Schuler, C.A., Humphery, J.A.C. and Greif, R., 1989, "Flow and Heat Transport in the Space Between Two Corotating Disks in an Axisymmetric Enclosure," ASME Journal of Heat Transfer, Vol. 111, pp. 625-632.
3. Ananth, G.P. and Liu, Y.H., 1989, "Particle Transport and Deposition in Computer Disk Drives," Proceedings of 35th Annual Technical Meeting, Institute of Environmental Science, Anaheim, California.
4. Patankar, S.V., 1980, "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow," McGraw-Hill, New York.
5. Lennemann, E., 1974, "Aerodynamic Aspects of Disk Files", IBM J. Res. Develop, pp. 480-488.