

Slim-Type ODD 에서 디스크 부상에 관한 연구

이재성*, 임윤철†

Jae-Sung Lee* and Yoon-Chul Rhim†

Abstract

In this paper, we have investigated the disc warping in high-speed slim-type optical disc drive. The track density as well as high rotational speed of the information storage devices must be increased to enhance their recording capacity and data transfer rate. Generally, ODD used in the Lap-top computer has small inner space. So, the flow instability of the inner space is increased rapidly with its rotational speed. In extreme case, the flow instability may cause the malfunction of the read/write pick-up of drives. The experiments and numerical analysis were carried out for several cases and the result shows the influence of airflow to the disc warping.

Key Words : ODD, Disc Warping, Single Rotating disk, Shroud, LDV Measurement

1. 서 론

최근의 광학식 정보저장기기(CD-RW, DVD 등) 관련 연구는 정보 저장용량의 증가와 더불어 데이터의 전송속도 향상을 위하여 많은 노력을 경주하고 있으며, 이의 일환으로 트랙 밀도의 증가와 함께 디스크의 회전 속도 증가는 필수적이라 하겠다.

일반적인 Desk-Top PC 에 많이 사용되고 있는 광학식 드라이브와는 달리 Note-Book PC 에 사용되고 있는 슬림형 광학식 드라이브는 내부 공간이 매우 협소하여 고속으로 회전하는 디스크는 유동의 영향을 매우 많이 받게 된다.

슬림형 드라이브 내부 공간의 공기는 고속으로 회전하는 디스크의 영향으로 여러 종류의 복잡한 유동을 일으키는데 디스크 회전수의 증가에 따라 유동의 강도와 복잡성은 급격히 증가하게 된다.

슬림형 드라이브의 경우 디스크 윗면과 케이싱 사이의 간격이 특히 작는데, 디스크 회전에 의해 유동은 디스크를 따라 돌게 되면서 원심력에 의해

디스크의 가장자리로 빠져나가게 되어 결과적으로 디스크 윗면과 케이싱 사이의 공간은 부압 상태가 된다. 그리고 디스크 아래면도 디스크 트레이와 아주 작은 간격을 사이에 두고 떨어져 있으나 데이터를 읽고 쓰는 광 픽업부를 움직이기 위한 커다란 슬롯과 이밖에 여러 불규칙한 형상으로 제작되어 있어 부압이 형성되기 힘들다. 결국, 고속으로 회전하는 디스크는 상하면의 압력차이에 의해서 케이싱 쪽으로 오목한 변형을 일으키게 되며, 이러한 변형은 디스크의 회전수가 증가할수록, 디스크와 케이싱 사이의 간격이 좁을수록 심하게 나타난다.

이와 같은 현상은 현재 슬림형 드라이브에 잠재해 있는 가장 큰 고질적인 문제 중 하나로서 디스크의 고속 회전에 따른 디스크 변형은 기기의 정상작동에 결정적인 악영향을 미치게 된다. 이러한 변형이 심할 경우 픽업이 데이터를 읽지 못함은 물론이며(Tilting / Focusing Error 발생), 고속으로 회전하고 있는 디스크가 다른 모드의 진동과 함께 소음을 발생시키기도 하고, 극단적인 경우 디스크와 상부 케이싱과의 접촉이 발생할 수도 있어서 디스크 파괴의 원인을 제공하기도 한다.

따라서, 본 연구에서는 실제 드라이브에서 발생하는 디스크 부상량과 내부 압력분포를 확인하여 디스크 부상의 원인을 파악하고, 디스크 부상을

† 연세대학교 기계공학부

E-mail : rhimyc@yonsei.ac.kr

TEL : (02)2123-2820

* 효성중공업

논문접수일(2006 년 5 월 1 일)

억제할 수 있는 비교적 간단한 모델을 제안하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 Ultra Slim-type ODD

Figure 1 은 최신형 노트북에 적용되고 있는 광학식 정보 저장 기기의 상부 케이싱 제거 모습으로 두께가 9.5mm 인 Ultra Slim-type 드라이브이다. 드라이브 중심에 디스크를 고정하는 클램프와 스피들 모터가 일체형으로 장착되어 있고, 디스크 트레이에는 데이터를 읽기 위한 광 픽업부와 광 픽업부의 이송을 위한 커다란 슬롯이 장착되어 있다. 광 픽업부와 스피들 모터 등 중요 부품은 각각 모듈화 되어있으며, 슬림한 크기를 유지하기 위해 사진처럼 여러 불규칙한 형상으로 제작되어 있다.

이와 같은 드라이브 내부에서 디스크가 고속으로 회전할 때 발생하는 디스크의 부상과 내부의 압력 분포를 확인하기 위해 Fig.2 와 Fig.3 과 같은 실험장치를 구성하였다.

Figure 2 는 디스크의 부상 측정 실험을 위한 실험장치 구성으로 상부 케이싱에 작은 슬롯을 가공하고 그 위에 투명 유리를 부착한 후 LDV 를 사

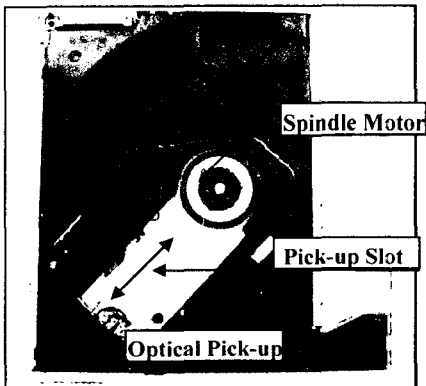


Fig. 1 Photograph of Slim-type ODD



Fig. 2 Test system layout for disc warping

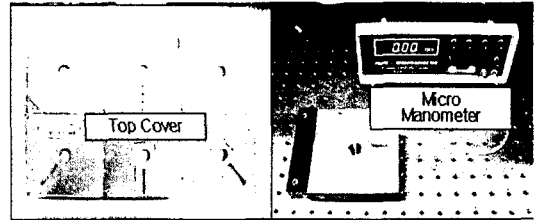


Fig. 3 Test System Layout for pressure

용하여 디스크의 부상량을 측정하였다. 또한 드라이브 내부에서 반경방향으로의 압력 분포는 Fig.3 과 같이 디지털 마노미터를 이용하여 측정하였다. 디스크 부상 측정 실험과 압력 측정 실험에 사용된 디스크의 회전 속도는 5600rpm 이며, 디스크와 상부 케이싱 사이의 간격은 1.25mm, 디스크와 하부 트레이와의 간격은 1.35mm 이다.

2.2 Ultra Slim-type ODD 시뮬레이션

Ultra Slim-type ODD 내부의 압력과 유동장을 시뮬레이션 하기 위해 실제 드라이브 내부 주요부의 형상을 단순하게 모델링 하여 다음과 같은 조건으로 해석하였다. 해석 모델은 Fig.4 와 같이 드라이브 내부에 디스크가 안착 되는 주요부로 구성되어 있으며 픽업부 이송을 위한 커다란 윈도우, 스피들 모터부 등의 주요 형상을 동일하게 적용하여 해석 모델을 구축하였다. 이때 사용된 해석 조건은 Table 1 과 같다.

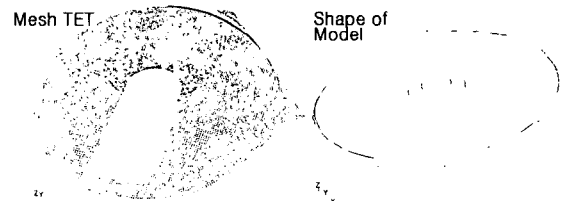


Fig. 4 Simulation model for Ultra Slim-type ODD

Table 1 Simulation conditions

Mesh	22,800 HEX
Viscosity	Turbulent LES / K-E
Condition	Steady State
Velocity	5600 rpm
Criterion	0.0001

3. 실험결과

3.1 디스크 부상 및 압력 실험

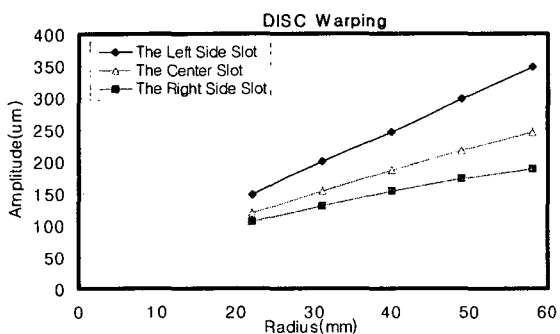


Fig. 5 Distribution of Disc warping of Ultra Slim-Type ODD

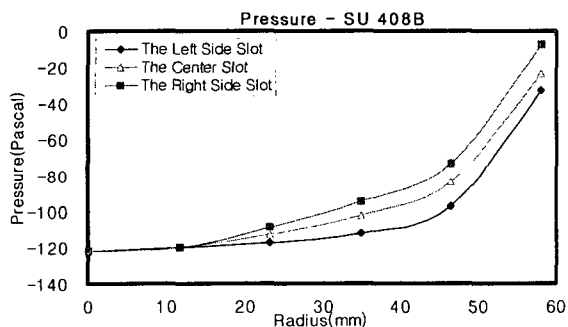


Fig. 6 Distribution of pressure of Ultra Slim-Type ODD

Figure 5 와 6 은 Ultra Slim-type ODD 에서 디스크가 5600rpm 으로 회전시 발생하는 디스크의 부상과 내부의 압력 분포를 나타내고 있다.

픽업 슬롯이 있는 좌측 부분에서 약 350 μm 정도의 디스크 부상이 발생하였고, 가운데 슬롯에서는 250 μm , 우측 슬롯에서는 190 μm 의 부상이 발생하였다. 마찬가지로, 드라이브 내부의 압력분포는 부상이 가장 큰 좌측 슬롯부분에서 가장 큰 부압이 형성되었고, 부상량이 가장 작은 우측 슬롯에서 가장 작은 부압이 형성되었다.

실험 결과에서 알 수 있듯이 부상이 가장 크게 발생한 좌측 슬롯 부분은 디스크의 데이터를 읽기 위한 광 픽업부가 위치해 있는 곳으로서 슬롯을 통해 주변 공기가 유입되어 부압이 거의 발생되지 않는 반면 해당위치의 케이싱쪽은 부압이 발생되어 디스크의 부상량이 최대로 발생하고 있다. 디스크의 부상이 커질수록 광픽업의 정상 작동에 어

려움이 증대되며 전체적으로 시스템에 큰 악영향을 미치게 될 것으로 예상된다.

3.2 Ultra Slim-type ODD 시뮬레이션 결과

Figure 7 과 8 은 Ultra Slim-Type 드라이브에서 디스크가 5,600rpm 으로 회전할 때 발생하는 디스크 윗면과 아래면에서의 압력분포에 대한 해석 결과를 나타내고 있다. 디스크 윗면의 공기는 디스크를 따라 돌면서 바깥으로 빠르게 빠져나가면서 디스크 중심부는 디스크 바깥쪽보다 상대적으로 큰 저압이 형성되어 있고, 디스크의 중심에서 반경방향으로 압력이 상승되는 현상을 확인할 수 있었다.

반면, 디스크 아래면에서의 압력은 디스크 트레이와 광픽업부 이송을 위한 커다란 원도우와 기타 복잡하고 불규칙한 형상으로 인해 디스크 중심부와 바깥쪽에 불규칙적으로 형성되는 것을 확인할 수 있었다.

Figure 9 에서와 같이 내부의 커다란 픽업 슬롯과 불규칙한 형상으로 인해 내부는 균일하지 못한

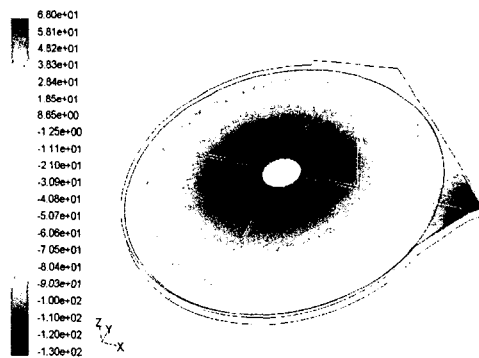


Fig. 7 Distribution of pressure for upper disc surface

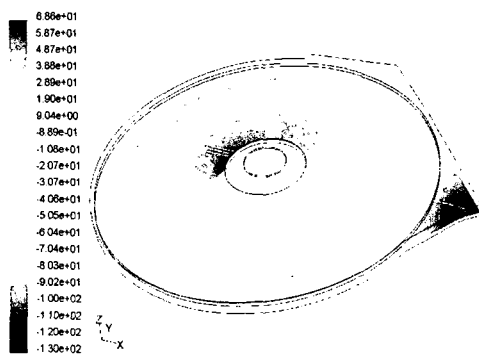


Fig. 8 Distribution of pressure for lower disc surface

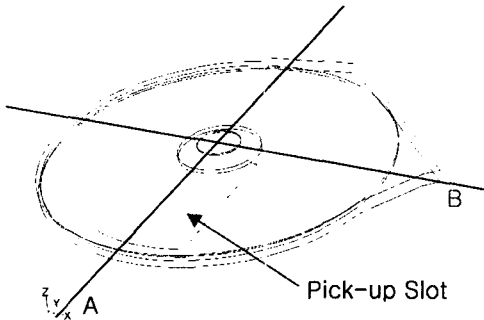


Fig. 9 Sweep surface for Ultra Slim-type ODD

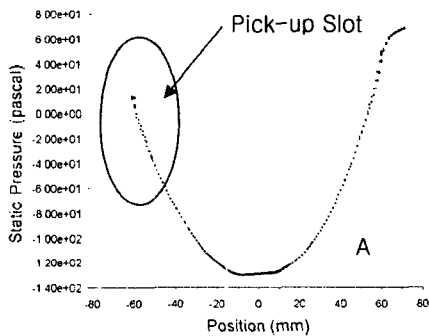


Fig. 10 Distribution of pressure for upper disc surface A

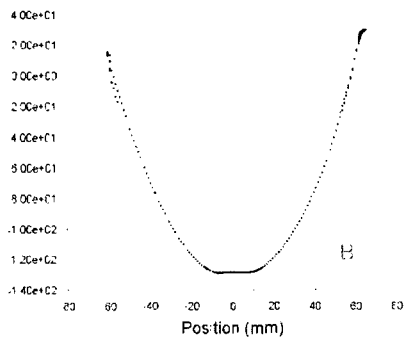


Fig. 11 Distribution of pressure for upper disc surface B

압력이 형성되는데, 픽업 슬롯이 있는 A 부분과 픽업슬롯이 없는 B 부분의 단면을 잘라 디스크 윗면에서의 압력분포를 확인해 보았다.

Figure 10 과 11 은 Fig.9 에서 A, B 단면에 대한 디스크 윗면에서의 압력분포 해석 결과를 보여주고 있다. 해석 결과 광 픽업 슬롯이 있는 A 부근에 불규칙한 압력이 형성되는 모습을 확인할 수 있다. 반대로 광 픽업 슬롯이 없는 B 부근은 A 부근에 비해 어느 정도 균일한 압력이 형성되는 모습을 확인할 수 있었다. 따라서, Fig.5 의 실제

모델 부상 측정 결과와 같이 실제 Ultra Slim-Type 드라이브에서 디스크가 고속으로 회전할 때 광 픽업 슬롯 부근과 광 픽업 슬롯이 없는 부근의 디스크 부상은 다르게 나타나게 된다.

결국, Ultra Slim-type ODD 실험과 내부 유동장 해석을 통해 디스크 윗면의 공기는 디스크를 따라 돌면서 밖으로 빠져나가 드라이브 내부에 부압이 형성되고 이러한 디스크 상·하면 사이의 압력차에 의해 디스크는 위로 휘어져 올라감을 확인할 수 있었다.

3.3 디스크 부상 저감 대책

이와 같은 디스크의 부상은 기기의 정상작동에 결정적인 악영향을 미치므로, 디스크 부상 저감을 위한 대책이 필요하다. Figure 12 와 같이 상부 케이싱에 구멍을 뚫어 부압을 제거하거나 감소시킬 수 있는데 이 경우 외부의 공기가 케이싱 내부로 유입되므로 필터의 적용을 고려해야 하겠다. 그리고 Inward Pumping Type Thrust Bearing 용 Groove 의 적용 등을 통해 부압감소를 통한 디스크의 부상 감소 방안을 모색할 수 있겠다.

Figure 13 과 14 는 Ultra Slim-Type 드라이브와 상부 케이싱에 Hole 을 가공한 모델과 Filter 를 적용한 모델에 대한 디스크 부상 결과를 보여주고 있다. 디스크 바깥쪽에서 실제 모델보다 약 49%의 부상 감소 효과를 보여주고 있으며, 상부 케이싱에 필터를 적용한 모델보다 Hole 을 가공한 모델

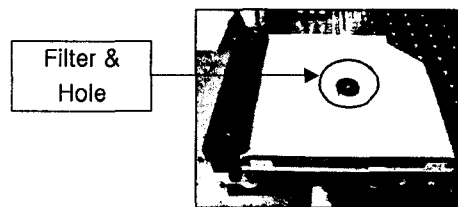


Fig. 12 Top cover modify for Ultra Slim-type ODD

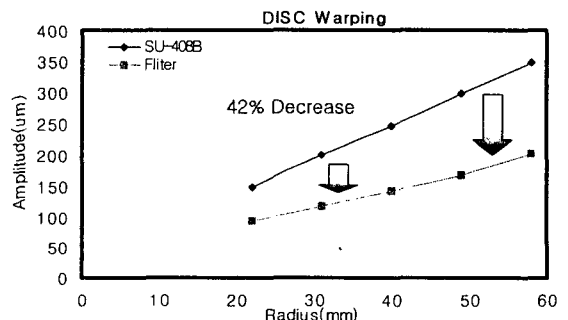


Fig. 13 Distribution of disc warping for filter

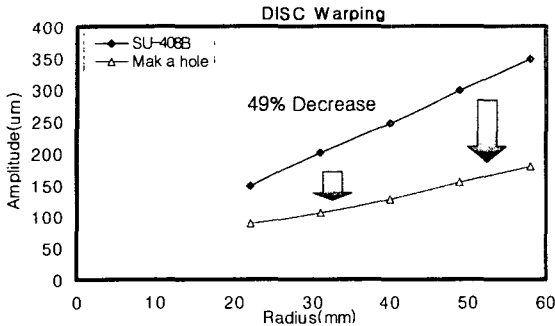


Fig. 14 Distribution of disc warping for hole

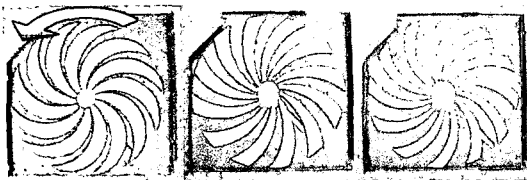
이 디스크 부상 저감에 조금 더 좋은 효과를 나타내는 것으로 확인 되었다 상부 케이싱에 Filter 와 Hole 을 적용하여 디스크 윗면에 공기를 유입시켜 디스크 윗면에 발생하는 부압 형성을 억제 시킴으로 디스크의 부상 감소를 확인할 수 있었지만, 상부 케이싱에 Filter 적용과 Hole 개방은 디스크가 고속으로 회전할 때 진동과 소음의 원인이 되며, 드라이브 내부의 오염이 예상되므로 이와 다른 형태의 부상 저감 대책이 필요하다.

3.4 Pumping Type Thrust Bearing 적용

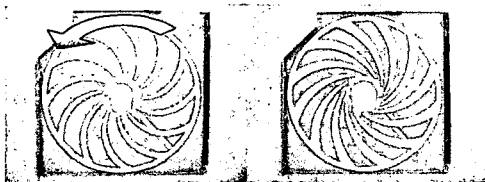
3.4.1 상부 케이싱

FDB(Fluid dynamic bearing)의 기본 원리인 그루브를 이용한 윤활유체의 펌핑메카니즘을 응용하여 디스크 윗면에 발생하는 부압을 디스크의 고속 회전을 이용하여 효과적으로 제어하고 이에 따라 디스크 부상을 억제하는 방법을 제안해 본다.

드라이브 중심부에 공기를 유입 시켜 압력을 상승 시키는 Inward Pumping type 과 디스크 바깥쪽의



▶ Type 1 ▶ Type 2 ▶ Type 3
Fig. 15 Inward Pumping Type Thrust Bearing



▶ Type 1 ▶ Type 2
Fig. 16 Outward Pumping Type Thrust Bearing

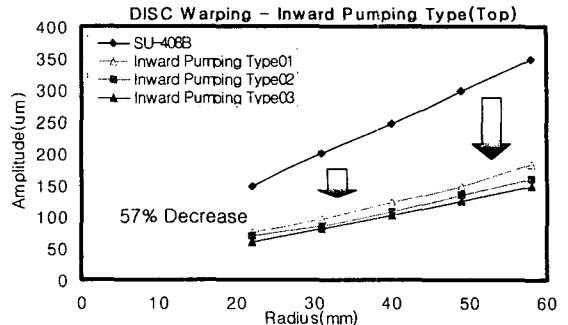


Fig. 17 Distribution of disc warping for inward pumping type thrust bearing

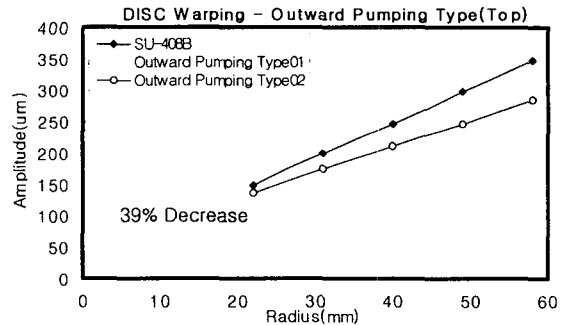


Fig. 18 Distribution of disc warping for outward pumping type thrust bearing

추가적인 압력상승을 야기시키는 Outward Pumping type 의 두 모델에 대한 실험을 수행하였다. Figure 17 은 3 가지 형상의 Inward Pumping Type 의 스러스트 베어링을 상부 케이싱에 적용했을 때의 결과를 보여주고 있다. 베어링을 적용하지 않았을 때 디스크에는 약 350 μm 정도의 부상이 발생했지만, Inward Pumping Type 의 스러스트 베어링을 적용했을 때는 약 150 μm 정도로 부상량이 감소하였다. 이는 Inward Pumping Type 의 스러스트 베어링이 디스크 윗면의 공기를 중심부로 끌어들이면서 중심부의 압력 상승을 야기시켜 디스크 윗면의 부압이 감소되어 부상이 감소되는 것이라 판단할 수 있었으며 Inward Pumping Type 의 스러스트 베어링을 적용했을 때, Ultra Slim-Type 모델에 비해 약 57% 정도의 부상 억제 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

Figure 18 은 Outward Pumping Type 의 스러스트 베어링 적용시 디스크 부상량을 나타내고 있다. 실험 결과 Inward Pumping Type 에 비해 부상 억제 효과가 크지 않았다. 즉, Outward Pumping 작용은 디스크 끝부분은 위에서 아래로 누르는 힘이 발생하여 디스크의 부상 감소 효과를 나타내지만, Inward Pumping 의 경우는 가장 큰 힘이 걸리는 디

스크 중심부의 부압 형성을 직접 억제시켜 디스크의 부상을 현저하게 감소시킬 수 있었다.

3.4.2 디스크 트레이

간격이 좁은 곳에서 디스크가 빠르게 회전할 때 발생하는 디스크 부상을 감소시키기 위해 드라이브 상부 케이싱에 Inward Pumping Type 의 스러스트 베어링을 적용하여 부상 감소 효과를 확인하였다.

실험을 통해 상부 케이싱에 Inward Pumping Type Thrust Bearing 을 적용하여 회전 디스크의 부상 감소를 확인하였다. 따라서, 디스크 트레이에도 상부 케이싱과 같은 방법으로 Inward / Outward Pumping Type Thrust Bearing 을 적용함으로써 디스크 윗면과 아래면에서의 압력차 발생을 줄여 디스크 부상을 억제할 수 있도록 내부 형상을 변경해 보았다. Figure19 는 각각의 디스크 트레이에 적용된 Inward / Outward Pumping Type Thrust Bearing 형상을 보여주고 있으며 실험 결과는 Fig.20 과 같다.

디스크 트레이에는 Outward Pumping Type Thrust Bearing 이 부상 감소에 좀 더 좋은 효과를 보여주었다. 이는 디스크 윗면에 부압 형성을 억제시키는 방법과 반대로 디스크 아래면에 좀 더 큰 부압을 형성시켜 위로 부상하는 디스크를 아래로 끌어 내리는 역할을 해주기 때문으로 판단된다.

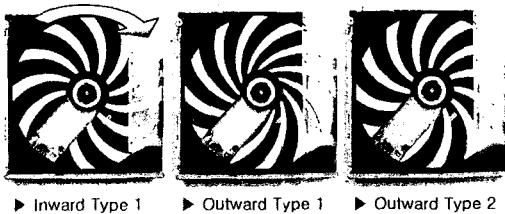


Fig. 19 Inward and Outward Pumping Type Thrust Bearing

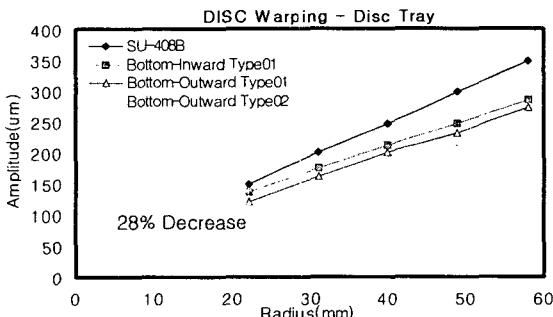


Fig. 20 Distribution of disc warping for inward and outward pumping type thrust bearing

3.4.3 상부 케이싱과 디스크 트레이 동시 적용

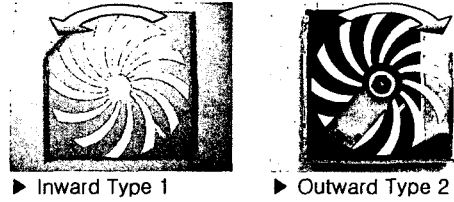


Fig. 21 Pumping Type Thrust Bearing of Top cover and Disc tray

상부 케이싱과 디스크 트레이 실험에 의해 Pumping Type 의 Thrust Bearing 적용시 디스크의 부상 감소 효과를 확인하였다. 따라서, Fig.21 과 같이 상부 케이싱과 디스크 트레이 실험에서 부상 감소 효과가 가장 우수한 각각의 형상을 동시에 적용하여 그 효과를 확인해 보았다.

상부 케이싱과 디스크 트레이에서 부상 억제 효과가 가장 우수한 형상을 각각 동시에 적용한 결과 약 90 μm 정도의 디스크 부상이 발생하였다. Figure 22 의 디스크 부상 결과와 같이 Ultra Slim-Type 드라이브의 디스크 부상량에 비해 약 77% 정도의 부상 감소 효과가 나타났으며, 중심부에 형성되는 부압도 현저하게 감소되는 것을 확인할 수 있었다.

이 같은 디스크의 부상 감소 효과는 디스크 윗면에서 Inward Pumping 작용으로 공기를 디스크 중심부로 끌어들이어 압력을 상승시키고, 디스크 트레이에서 Outward Pumping 작용으로 중심부의 공기를 디스크 밖으로 방출시킴으로 디스크 윗면과 아래면에서 발생하는 압력이 서로 상쇄 되어 디스크의 부상이 거의 발생하지 않는 것임을 확인할 수 있었다. 이때의 디스크 부상과 내부의 압력 분포는 Fig. 22 와 23 의 내용과 같다.

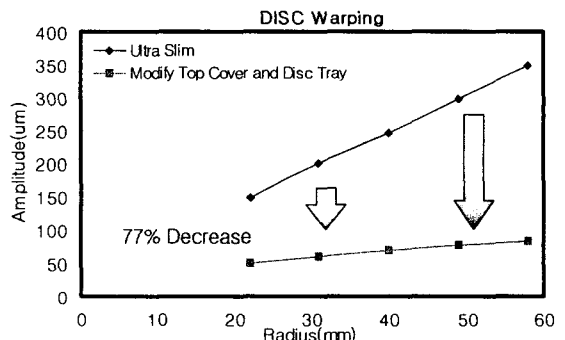


Fig. 22 Comparison of Disc warping of Ultra Slim-Type ODD

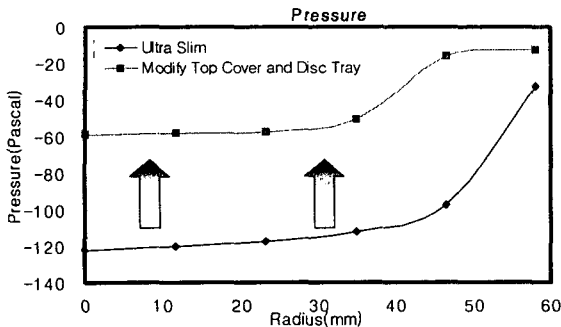


Fig. 23 Comparison of pressure of Ultra Slim-Type ODD

4. 결론

내부 공간이 매우 작은 곳에서 디스크가 빠르게 회전할 때 공기가 원심력에 의해 가장자리로 흘러나가므로 디스크와 케이싱 사이에는 부압이 형성되고 디스크는 케이싱 방향으로 밀려 올라가는 현상이 발생하게 된다. 한편, 디스크 아래면에는 광픽업의 움직임을 위한 슬롯이 있어 이의 영향으로 부압이 거의 형성되지 못하며 따라서 디스크 양면에서 압력차이가 디스크의 회전수 증가와 케이싱 사이의 간격 감소에 따라 증가하면서 디스크의 변형을 일으키고 있다. 이와 같은 디스크의 변형은 기기의 정상작동에 결정적인 악영향을 미치므로, 디스크 부상변형 저감을 위한 방안이 필요하다. 드라이브 내부에 형성되는 부압을 억제하기 위해 FDB의 기본 원리를 응용하여 상부 케이싱에 Inward Pumping Type Thrust Bearing을 장착하여 드라이브 상부에 형성되는 부압을 저감시켜 디스크의 부상을 억제시킬 수 있었다. 일반적인 슬림형 드라이브 모델의 경우 디스크 윗면의 공기가 디스크를 따라 돌면서 밖으로 빠져나가고 이들이 다시 디스크 중심부까지 유입되지 못하지만, 상부 케이싱에 Inward Pumping Type의 Thrust Bearing을 가공한 경우 디스크를 따라 밖으로 빠져 나간 공기들이 다시 디스크 중심부까지 유입될 수 있도록 공기의 유동을 컨트롤 하여 내부에 형성되는 부압이 저감되는 것을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 (주) 삼성전자의 지원(과제번호: 2003-2-0388)과 연세대학교 정보저장기기연구센터의 지원(Grant No. R11-1997-042-12002-0)을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Schlichting, Hermann, 2000, "Boundary layer theory", Springer.
- [2] Takizawa, T., Ikawa, Y., Akimaru, K., Miyata, K., Takemoto, I., and Ohta, H., 1997, "DVD-ROM Drive Mechanism", Natural Technical Report, Vol.43, No.3, pp.283-289(in Japanese).
- [3] D'Angelo, C. III and Mote, C. D. Jr., 1993, "Aerodynamically Excited Vibration And Flutter of A Thin Disk Rotating At Supercritical Speed", Journal of Sound and Vibration, Vol.168, pp.15-30.
- [4] Chonan, S., 1987, "On the Critical Speed of a Rotating Circular Plate", Journal of Applied Mechanics. Vol.54, pp.967-968.
- [5] Elphicd, M., 1997, "DVD Technology: The New Paradigm in Optical Storage", Data storage, pp.52-132.
- [6] Lee, J. S., 2003, "An Experimental Study of Disc Warping in Slim-type Optical Disc Drive", Proceedings of the KSME 2003 Fall Annual Meeting, pp.676-681