

공명기를 이용한 고배속 슬림형 드라이브의 유동기인 소음저감에 관한 연구

Reduction of Aerodynamic Noise for a High-Speed Slim-Type Optical Disk Drive by Applying the Principle of Resonator

양태만[†], 최문호^{*}, 임윤철^{**}, 이인환^{***}, 이한백^{***}, 차익주^{***}

Tae Man Yang, Moon Ho Choi, Yoon Chul Rhim, In-Hwan Lee, Han-Beak Lee and Ik-Joo Cha

Abstract

As the demand for the lap-top computer has been increased, most users ask quiet environment to work comfortably. Therefore, noise problems of an ODD are of great interest. For the high speed ODD, the flow induced noise is caused by the turbulent flow[1], which is known to be a major source of overall noise of a slim type ODD.

In this study, we introduce a new attempt to reduce the noise level using the concept of Helmholtz resonator[2]. The experimental analysis is carried out for several cases at different resonance frequencies and different hole patterns. The results show reductions in the noise level from the acoustic noise absorption point of view.

Key Words : ODD(optical disk drive), resonator(공명기), acoustic sound absorption(흡음)

1. 서론

최근의 광학식 정보 저장기기(CD-RW, DVD, BD 등) 관련연구는 정보 저장용량의 증가와 더불어 데이터의 전송속도 향상을 위하여 많은 노력을 경주하고 있으며, 이의 일환으로 트랙 밀도의 증가와 함께 디스크의 회전 속도 증가는 필수적이라 하겠다. 일반적으로 Desk-Top PC 에 많이 사용되고 있는 광학식 드라이브와 달리 Lap-Top PC 에 사용되는 있는 슬림형 광학식 드라이브는 디스크 회전속도 면에서는 아직 Desk-Top PC 에 미치지 못하지만, 내부 공간이 매우 협소하여 고속으로 회전하는 디스크는 상대적으로 유동의 영향을 매우 많이 받게 된다. 이와 같은 현상은 디스크 부상[3]에 의한 Tilting, Focusing Error 를 발생 시키거나, 극심한 유동소음을 유발하는 결과를 초래한다. 슬림형 드라이브의 소음은 일반기계구조물의

소음에 비하여 그 절대 음압은 낮은 편이나 Portable Device 에 장착되기 때문에 사용자가 근접 위치에서 사용하게 되고, 그 소음성분 역시 인간의 민감가청대역인 고주파수 성분들이 지배적이기 때문에 더욱 철저한 소음제어가 필요하다고 할 수 있다. 이 같은 소음성분들은 대부분이 기구학적 소음보다 공역학적 소음으로 이루어져 있기 때문에 디스크와 드라이브내의 상하부 구조물에 의한 내부 공간은 공력소음형성에 밀접한 관련이 있다.

본 연구에서는 현재 CD 계열의 슬림형 드라이브를 기준으로 시장에 출시되고 있는 24 배속 드라이브가 32 배속으로 증가하면서 발생하는 소음 레벨증가량을 줄이기 위해 기존 24 배속과 32 배속의 차이점을 유동학적으로 분석한다. 먼저 내부 압력분포를 확인하여 고배속에 의해 발생하는 소음의 원인을 Simulation 을 통해 파악한 후 다공판에 의한 공명기 개념을 도입하여 소음저감을 위한 모델을 제안하고자 하였다.

2. Slim-type ODD 내부장 시뮬레이션

2.1 Slim-type ODD 모델링

ODD 내부의 압력과 유동장을 시뮬레이션 하기 위해 실제 모델형상을 기초로 하여 드라이브 내부

[†] 연세대학교 대학원 기계공학과
E-mail : blood828@yonsei.ac.kr
TEL : (02)2123-2820

^{*} 연세대학교 대학원 기계공학과

^{**} 연세대학교 기계공학과

^{***}Hitachi-LG Data Storage, Inc

의 주요부 형상을 모델링 하였다. 픽업부 이송을 위한 윈도우, 스피들 모터부, 디스크 주위를 형성하고 있는 Guide wall 등의 주요형상을 동일하게 고려하여 적용한 최종 모델링은 Figure 1 와 같고, 이때 사용된 해석 조건은 Table 1 과 같다. 모델은 937,000 개의 TET 로 구성되어 있으며 난류모델은 Turbulent LES 와 K-E 을 적용하여 해석하였다.

Table 1 Simulation conditions

Mesh	937,000 TET
Viscous model	Turbulent LES / K-E
Condition	Steady State
Velocity	5200rpm, 7000rpm
Operating fluid	Incompressible air

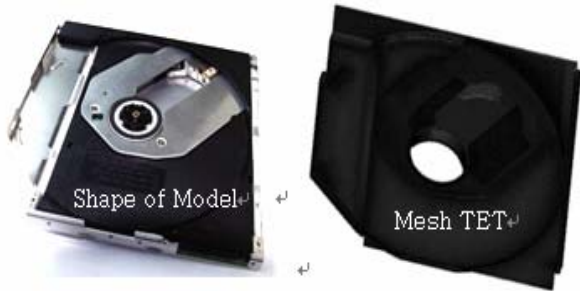


Fig.1 Simulation model for slim-type ODD

2.2 Slim-type ODD 시뮬레이션

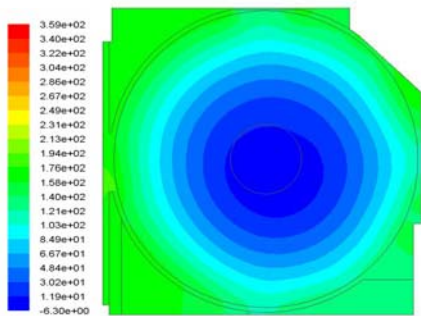


Fig.2 Distribution of pressure for upper disc surface(5200rpm)

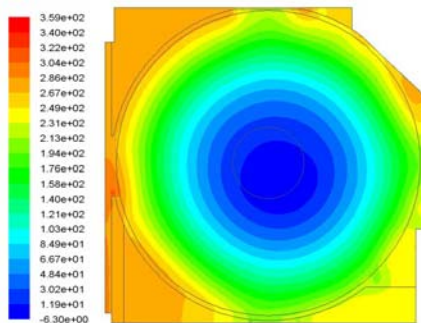


Fig.3 Distribution of pressure for upper disc surface(7000rpm)

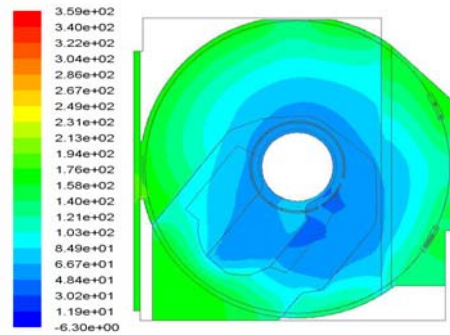


Fig.4 Distribution of pressure for lower disc surface(5200rpm)

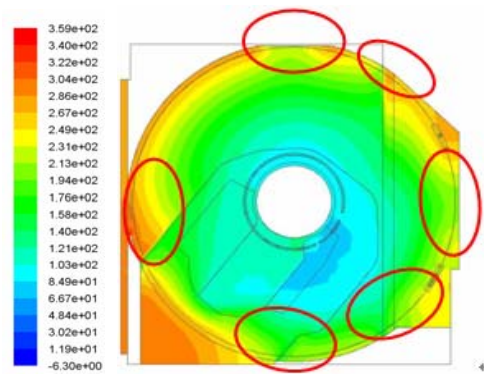


Fig.5 Distribution of pressure for lower disc surface(7000rpm)

Figure 2 와 3 은 5200rpm 에서 7000rpm 으로 디스크의 회전속도가 증가하면서 발생하는 디스크 윗면과 Top-cover 사이에서의 압력분포를 나타내고 있다. 디스크의 회전속도가 증가함에 따라 디스크 외경 주위의 압력분포가 증가하는 반면 중심부의 압력은 상대적으로 크게 변하지 않는 것을 볼 수 있다.

Figure 4 와 5 에서와 같이 디스크 하부에서는 디스크의 회전속도가 증가하면서 디스크 외경의 압력분포가 원주방향에 따라 높은 압력과 낮은 압력의 변동이 점점 심해지는 것을 확인할 수 있었고, 동시에 전체적인 절대압력도 증가함을 보였다. 이는 압력분포의 불균형에 의해 소음레벨 역시 증가할 수 있음을 보여준다.

3. 고배속에 따른 소음레벨 측정

3-1 측정조건

본 연구의 모든 실험은 Figure 6 과 같이 Semi-anechoic chamber 에서 ISO7779 측정 위치에 따라 단일 드라이버 상태에서 측정된다. 본 연구에 사용된 chamber 는 바닥 면에서 다소 반사파의 영향을 줄 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 전무향실에서 실험 결과와 비교해 보았을 때, 소음레벨의 상대적인 비교차원에서는 크게 영향을 주지 않

았다. 소음측정을 위해 컨덴서 타입의 마이크로폰과 FFT analyzer 가 사용 되었다. 소음 측정 시 사용되었던 Filter setup 은 Table 2 와 같고, 인간의 민감가청주파수대역을 고려하기 위해 A-weighted filtering 를 사용하였다.

Figure 7 은 고 배속에 따른 전체 주파수 영역에서의 소음레벨을 보여 주고 있다. 디스크의 회전속도가 증가하면서 상대적으로 고주파수영역의 소음레벨이 전체적으로 유사하게 증가하는 경향을 확인할 수 있었다.

Table 2 Filter setup for noise measurement

Bandwidth	1/3 octave
Lower centre frequency	20(Hz)
Upper centre frequency	20(kHz)
Acoustic weighting	A-weighted



Fig. 6 Semi-anechoic chamber

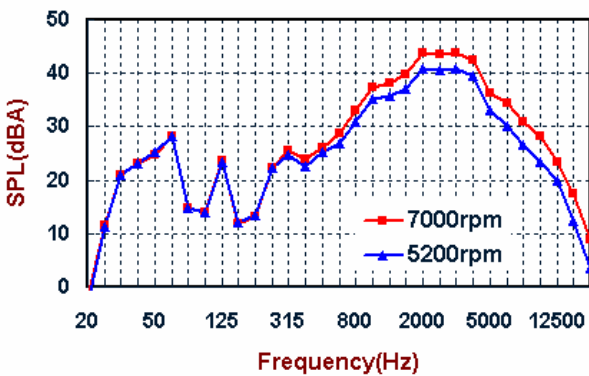


Fig. 7 Sound level according to high rotational speed with constant percentage bandwidth(CPB)

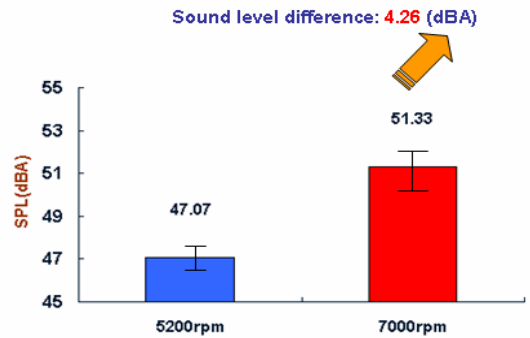
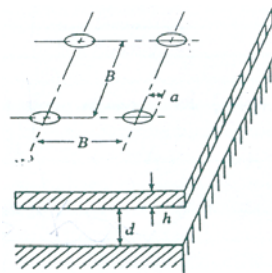


Fig. 8 Increasing of total sound pressure level according to the speed



- h:** Plate thickness
- a:** Radius of hole
- d:** Thickness of air film
- B:** Hole pitch
- C:** Speed of sound in air

Fig. 9 Acoustic absorption on the porous plate

전체소음레벨은 Figure 8 에서 보는 것과 같이 4.26dB 증가한다.

4. 공명기를 이용한 소음저감

4.1 공명기 원리 및 적용

-Helmholtz Resonance

$$f = \frac{C}{2\pi} \sqrt{\frac{\beta}{(h + 1.6a)d}} \text{ (Hz)} \quad \left(\beta = \frac{\pi a^2}{B^2} \right) \quad (1)$$

Figure 9 는 한 개의 다공판과 또 다른 하나의 판 사이에 일정 공기층을 이용한 평판형 공명기의 geometry 를 보여준다. 본 연구에서는 Disc-tray 에 일정간격으로 구멍을 가공함으로써 구멍내부에서의 공명현상을 일으켜 내부소음을 열에너지로 변환시킨다. 이에 따라서 내부공간에서 발생하는 소음을 공명기를 사용하여 특정 주파수영역을 중심으로 감소시킨다. 식(1)의 보정계수[4] 1.6 은 무한한 평판 사이의 원통모양의 구멍을 가진 공명기에서 원통 안의 공기가 진동하면서 추가로 생성되는 공기량을 고려한 값이다. 드라이브 형상은 그대로 유지하고 구멍 사이의 간격을 변화시켜 공명 주파수를 결정하였다. 하지만 실제 Disc-tray 의 하부 평판에서는 모터구동을 위한 PCB 가 부착되어 있고, 이로 인해 정확한 공명주파수에서의 흡음효과에 다소 영향을 줄 수 있다.

4.2 평판형 공명기 적용 모델

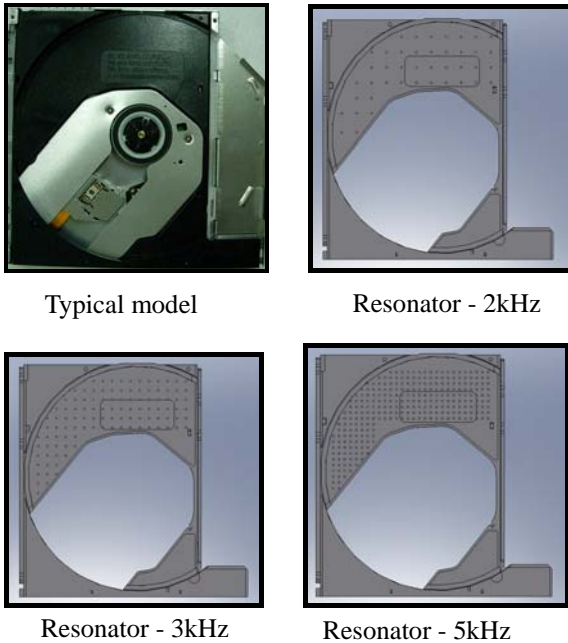


Fig.10 Design modification of the disc-tray by controlling the hole size and spacing according to the resonator theory of Helmholtz

Figure 10 은 3 가지의 서로 다른 공명주파수를 일으키는 다공판 공명기를 만들기 위해 슬림형 드라이브의 Disc-tray 에 반경 0.5mm 의 홀을 가공한 모델을 보여준다. Figure 7 에서 확인한 것과 같이 드라이브에서 발생하는 Air-Borne Noise 의 대부분이 민감가청대역인 2kHz 에서 5kHz 사이의 주파수 대역에 분포하며 대체적으로 높은 소음레벨을 보였다.

이에 따라 본 연구에서도 2kHz, 3kHz, 5kHz 의 공명주파수를 가지는 Disc-tray 형상을 제작하여 각각의 공명기의 흡음효과를 측정해 보았다. Resonator-2kHz 가 사용된 드라이브의 파라미터들과 공명주파수는 Table 3 과 같고, 나머지 공명기는 hole pitch 만 변경하여 제작하였다. 즉, 나머지 공명기의 모든 규격은 Resonator-2kHz 와 동일하게 제작되었으며 Resonator-3kHz 와 Resonator-5kHz 모델은 hole pitch 가 각각 5mm 와 3mm 로 가공되었다.

Table 3 Design parameters for resonator-2kHz

C (Speed of sound in air)	B (Hole Pitch)	Frequency
340m/s	8mm	1850Hz
H (Plate thickness)	a (Radius of hole)	d (Thickness of air film)
1.8mm	0.5mm	4mm

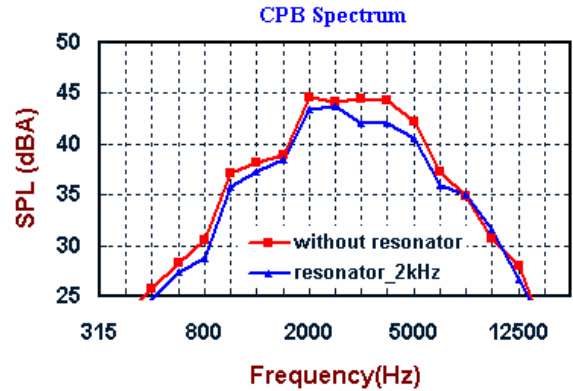


Fig.11 Sound level comparison between a model without a resonator and model with 2kHz resonator with constant percentage bandwidth

4.3 소음측정 결과

4.3.1 Resonators 소음평가결과

모든 Resonator 의 소음측정결과는 표준디스크를 사용하여 32 배속(7000rpm)에서 측정되었다.

Resonator-2kHz 적용 시 소음측정결과는 Figure 11 에서와 같다. 공명기를 적용하지 않은 모델에서는 그래프에서 보는 것과 같이 2kHz 와 5kHz 사이의 소음성분들이 높은 레벨을 가지고 고르게 분포되어 있지만, 공명기를 적용한 모델은 8kHz 이상의 주파수영역을 제외한 모든 주파수영역에서 소음감소효과를 보였다. 그러나 공명주파수인 2kHz 뿐만 아니라 오히려 4kHz 영역에서 더욱 뛰어난 소음감소효과를 보여주었다. 이는 내부공기층 간격의 불규칙성과 유동소음의 주요성분들이 4kHz 와 5kHz 영역에 더욱더 집중되어 있음을 보여준다.

슬림형드라이브는 협소한 내부구조로 인하여 디스크 Chucking 상태에 따라서도 미세한 소음차이를 보인다. 이에 따라 본 연구에서도 이러한 불안정한 Chucking 상태에 따른 소음패턴을 분석하기 위해

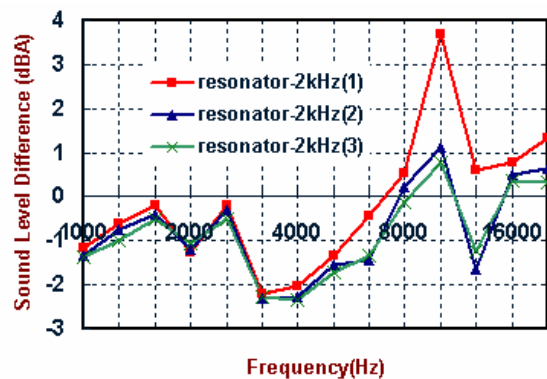


Fig. 12 Sound level difference according to the chucking condition in resonator-2kHz

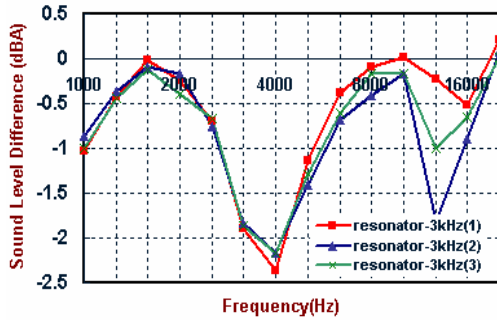


Fig. 13 Sound level difference according to the chucking condition in resonator-3kHz

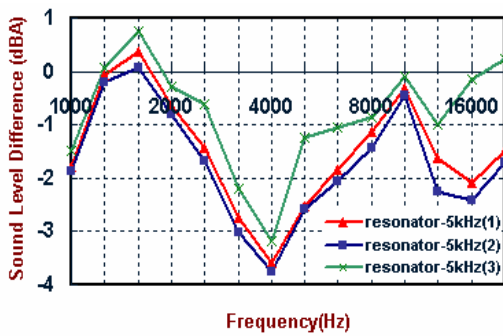


Fig. 14 Sound level difference according to the chucking condition in resonator-5kHz

디스크 탈부착을 달리하여 총 3 회 소음레벨을 측정하였다.

$$\text{Sound level difference} = \text{SPL}_1(\text{with resonator}) - \text{SPL}_2(\text{without resonator}) \quad (2)$$

Sound Level Difference 의 정의는 식(2)와 같다. 공명기가 없는 모델과 각각의 공명기들을 적용한 모델의 각 주파수에서의 Sound Level Difference 를 Figure 12, 13, 14 에서 확인할 수 있다. 전체소음레벨에서는 미세한 차이를 보였지만, 그래프에서 보는 것과 같이 전 주파수영역에서의 감소패턴은 비슷한 양상을 보였다.

4.3.2 각각의 공명기의 Sound level difference 비교

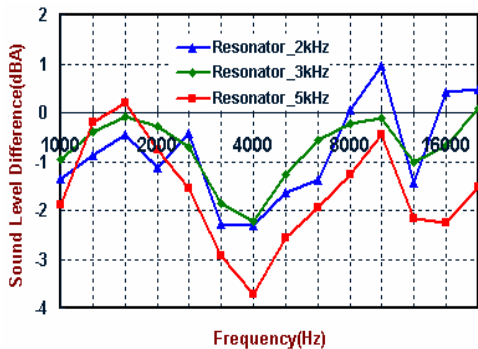


Fig. 15 Sound level difference according to the resonance frequency

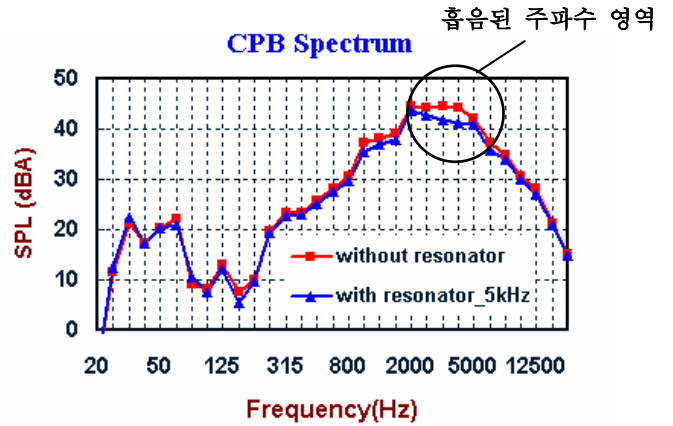


Fig.16 Sound level comparison between a model without a resonator and a model with 5kHz resonator

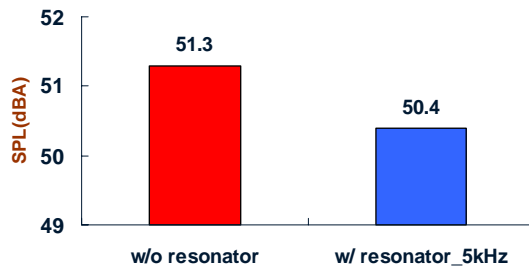


Fig. 17 Total sound level difference between a model without a resonator and a model with 5kHz resonator

Figure 16 은 주파수에 따른 소음감소량을 각각의 공명기별로 비교한 그래프이다. Resonator-2kHz 인 경우 다른 공명기에 비해 2kHz 에서의 감소효과는 제일 크지만 전체적인 다른 주파수에 비해서는 그 효과가 크지 않고, 8kHz 이상의 주파수 영역에서는 오히려 증가하는 경향을 보인다. 하지만 공명기의 공명주파수가 증가함에 따라 점점 고주파수영역의 흡음효과가 향상되었으며 Resonator_5kHz 에서는 4kHz 에서 5kHz 영역에서의 소음감소효과가 두드러지게 증가 하였다. 결과적으로 Figure 16 과 17 에서 보여주는 것과 같이 Resonator-5kHz 를 적용한 드라이브가 전체소음레벨을 0.9dB 감소시킴으로써 가장 뛰어난 감소효과를 보이는 것으로 관찰 되었다.

5. 결론

본 연구는 슬림형 드라이브의 소음레벨 감소를 위하여 Helmholtz resonator 개념을 도입하였다. 드라이브 내부의 Disc-tray 에 hole 을 일정간격과 일

정크기로 가공함으로써 특정 주파수영역을 중심으로 흡음효과를 보여주었다. 특히 민감가청주파수 영역인 4kHz 에서 5kHz 에 집중되어있는 공력소음을 공명주파수 5kHz 의 공명기를 적용한 모델이 가장 효과적으로 감소 시킴을 확인하였다. 전체소음레벨에서도 Resonator-5kHz 모델에서 0.9dB 의 가장 뛰어난 감소효과를 보였다.

후 기

본 연구는 (주)Hitachi-LG Data Storage, Inc 의 지원 (과제번호: 2006-8-1832)을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

- [1] Lighthill, M.J., 1952, "On Sound Generated Aerodynamically", Proc. Royal society of London, A211, pp.564-587.
- [2] Thomas B., Greenslade, Jr., 1996 "Experiments with Helmholtz Resonators", Phys. Teach., 34, pp.228-230
- [3] 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
- [4] R. C .Chanaud, 1994, "EFFECTS OF GEOMETRY ON THE RESONANCE FREQUENCY OF HELMHOLTZ RESONATORS", Journal of Sound and Vibration, 178(3), pp.337-348.