

동흡진기를 이용한 광디스크 드라이브의 진동저감

⁰ 박준민* · 허진욱** · 이영원* · 서영선* · 정진태**

Vibration Reduction of an Optical Disc Drive by Using Dynamic Vibration Absorber

J. M. Park, J. W. Heo, Y. W. Lee, Y. S. Seo and J. Chung

Key Words : Dynamic Vibration Absorber (동흡진장치), Wobbled disc(편향디스크), Focusing Vibration, FRF(주파수 응답함수)

ABSTRACT

A dynamic vibration absorber(DVA) is developed to reduce the excessive focusing vibration of an optical disc drive(ODD) originated from the resonance of a wobble disc. We design the material properties of the DVA by FEM model such as Young's modulus, damping coefficient, shapes and dimensions, analyze its dynamic characteristics and provide its design guide line for suppressing the vibration of an optical disc drive. To examine the performance of the DVA, the vibration of the wobble disc and the feeding system is measured by using a laser vibrometer and the noise level is checked by using microphone. The result shows that the proposed DVA reduces the vibration and the noise in an optical disc drive.

1. 서론

최근 광디스크 드라이브는 오디오용 CD 와 CD-ROM, DVD 등에 저장된 정보를 재생하는 물론 CD 에 정보를 저장하는 CD-RW 로써의 기능까지 갖춘, 여러 광디스크 매체를 동일 드라이브 내에서 사용할 수 있도록 하는 다매체용 멀티 광디스크 드라이브로써의 역할이 요구되고 있다. 이러한 광디스크 드라이브는 광디스크의 종류에 따라, 또는 저장된 정보의 위치에 따라 회전속도가 달라지는데, 이로인해 드라이브 운전속도의 범위가 넓어지면서 이전에 고려하지 않았던 요소들이 제품의 진동과 소음 그리고 동적 안정성에 영향을 끼치게

된다.

정보저장 매체인 광디스크는 탈착식이므로 잦은 사용과 보관 부주의로 인하여 편향성(wobble, 휘어짐)이 발생하며 또한 열이나 외력에 쉽게 변형을 일으키므로 실제로 많은 디스크가 편향디스크(wobbled disc, 휘어짐이 있는 디스크)라 할 수 있다. 이러한 편향디스크를 광디스크 드라이브에 사용하는 경우 일반 디스크를 사용할 때에 비해 과도한 진동이 발생하는 것을 관찰할 수 있는데, 편향디스크에 의한 과도한 진동은 광디스크 드라이브의 오프트랙(off-tracking)이나 오프포커싱(off-focusing) 등 작동오류의 원인이 되며 이에 대한 대책이 필요하다.

광디스크 드라이브의 안정성을 확보하기 위한 다양한 연구⁽¹⁻³⁾가 진행되었고 그에 따라 성능이 크게 향상되어 고배속/고밀도의 광디스크를 자체적으로

* 삼성전자 디지털디미어총괄 ODD 사업부
** 한양대학교 정밀기계공학과 대학원
***한양대학교 공학대 기계공학과

개발하는 단계에 이르렀다. 그러나, 앞서 언급된 바와 같이 광디스크 드라이브의 운전조건이 매우 다양해짐에 따라 이전에 고려하지 못한 요소들이 작동오류의 원인으로 분석되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 편향디스크를 광디스크 드라이브에 사용하는 경우 발생하는 과도한 진동이 편향디스크의 공진에 의한 진동임을 분석하고, 이의 전달경로를 파악하며, 효과적인 진동저감 방안으로 동흡진기⁽⁴⁾를 개발하여 편향디스크에서 발생하는 과도한 진동을 제어함으로써 광디스크 드라이브의 성능향상을 도모하고자 한다.

2. 정지된 편향 디스크의 모드해석

편향디스크의 공진점을 예측하기 위한 기초연구로써 상용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 편향디스크를 모델링하고 모드해석 시뮬레이션을 수행하였다. 디스크는 양끝에 δ 의 초기 변형량을 가지며, 경계조건으로 디스크 내주는 고정되어 있고 외주는 구속되어 있지 않다. 해석을 위해서 실제 광디스크와 같은 물성치를 사용하였다. 이러한 조건하에 변형량을 증가시켜 가며 모드 해석을 수행하고 변형량에 따른 디스크 고유진동수의 변화를 관찰한다.

Figure 1은 초기 변형량을 증가시켜 갈 때 디스크 고유진동수의 변화를 나타낸 그래프이다. 초기

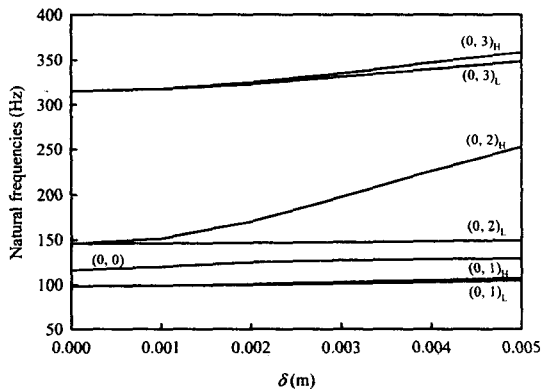


Figure 1. Variation of the natural frequencies for a wobbled disc.

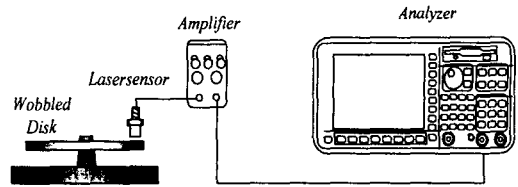


Figure 13. Experimental set-up of vibration test for a wobbled disc

변형량이 증가함에 따라 고유진동수가 점차로 증가함을 알 수 있으며, 대칭모드(symmetric mode)와 비대칭모드(unsymmetric mode)⁽⁵⁾로 갈라지는 현상을 나타낸다. 특이할 만한 사항은 편향디스크의 형상과 비슷한 모드 (0, 2)의 경우 변형량이 증가함에 따라 대칭모드와 비대칭모드가 많은 차이를 나타낼 수 있다. 그러나, 편심량이 1mm 이상인 경우에 그 차이가 크게 나므로 그 이하에서는 큰 변화가 없음을 알 수 있다.

3. 광디스크 드라이브의 진동 원인 분석

광디스크 드라이브에는 다양한 진동원이 있으므로 그 진동 원인을 분석하기 위해 먼저 Figure 2와 같이 편향디스크(초기 휘어짐량 << 1mm)만을 따로 실험용 회전축에 장착하고 회전속도를 0Hz에서 180Hz까지 점차적으로 증가시켰을 때 발생하는 디

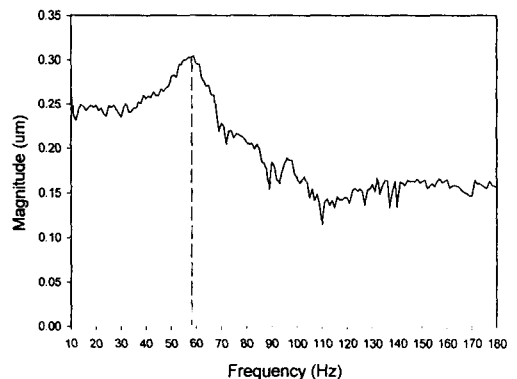


Figure 3. Vibration of a wobbled disc.

스크의 진동신호를 레이저 센서로 받아들여 총 진동량을 계산하였다. 이 때 회전축과 디스크의 고정된 실제 광디스크 드라이브의 조건과 일치시켰다. Figure 3 에서 가로축은 디스크의 회전수를 나타내고 세로축은 디스크의 총진동량을 나타내는데, 회전수가 약 60Hz 되는 곳에서 디스크의 진동량이 크게 증가함을 알 수 있으므로, 편향디스크의 진동이 디스크 드라이브가 60Hz 로 작동할 때 발생하는 과도한 진동의 주요한 원인이 됨을 알 수 있다.

이러한 디스크의 큰 진동은 일반적으로 공진에 의해 발생하는데, 회전디스크의 경우 고유진동수와 회전속도가 일치할 때 디스크는 공진을 일으킨다. Figure 4⁽⁶⁾는 현재 일반적으로 쓰이는 CD-ROM 디스크의 회전속도에 따른 고유진동수를 나타낸다. 그림에서 회전속도가 60Hz 일 때 $(0,1)_B$ 모드를 가지는 고유진동수가 정확히 1X 선을 지나고 있으므로 이 점에서 디스크의 공진이 발생하며, 회전수가 60Hz 보다 약간 낮은 약 58Hz 에서도 $(0,2)_B$ 모드를 가지는 고유진동수가 1X 선과 정확히 만나고 있으므로 이 회전속도에서도 공진이 발생하게 된다. 또한 디스크가 회전할 때 회전수의 3 배에 해당하는 하모닉성분을 가진 외력이 발생한다면, $(0,1)_P$ 모드를 가지는 고유진동수가 60Hz 에서 3X 와 만나고 있으므로 이로 인해 큰 진동이 발생할 수 있다. 이

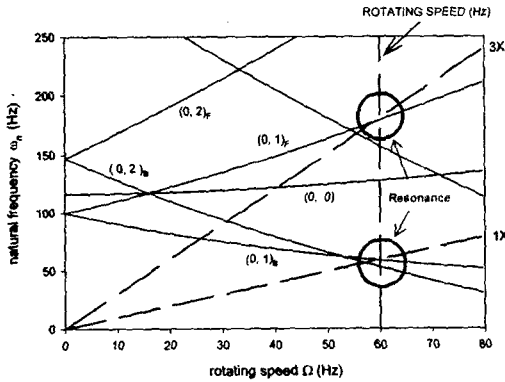


Figure 4. Diagram of the natural frequencies versus rotating speed

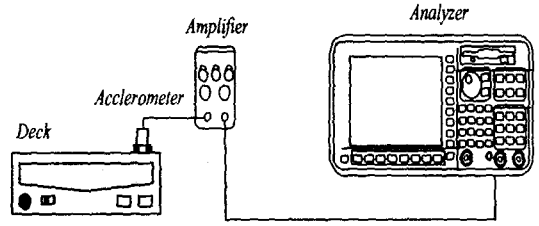


Figure 5. Experimental set-up of vibration test for feeding deck

러한 공진현상을 편향디스크에서도 찾을 수 있다. 앞 절에서 편향디스크의 고유진동수는 일반 디스크의 고유진동수에 비해 약간씩 증가하는 경향을 보이지만, 변형량을 충분히 크게 하여도 $(0,1)_B$ 와 $(0,2)_B$ 모드를 가지는 고유진동수는 변화가 거의 없음을 알 수 있었다. 따라서 편향디스크의 경우에도 약 60Hz 부근에서 큰 진동이 발생하는 것은 $(0,1)_B$ 또는 $(0,2)_B$ 모드의 공진에 의한 것으로 판단할 수 있다.

60Hz 부근의 회전속도에서 디스크 드라이브에 나타나는 진동의 또다른 원인을 분석하기 위한 방법으로, Figure 5 와 같이 디스크를 일반 CD-ROM 에 장착하고 가속도계를 피딩 데크(feeding deck)에 부착하여 디스크의 회전속도가 증가할 때 데크에서 나오는 진동신호를 측정하였다. 이 실험의 결과, Figure 6 에서 보는 바와 같이, 편향디스크에서 나오

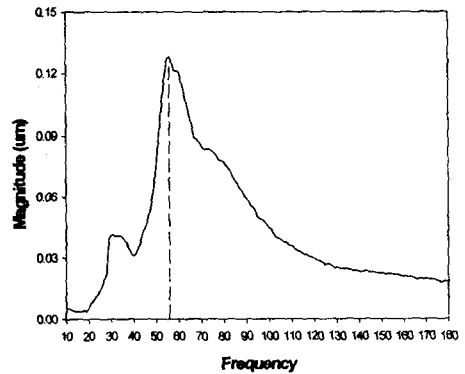


Figure 6. Vibration of a feeding system.

는 진동신호와 비슷하게 약 60Hz 부근에서 큰 진동을 나타내고 있음을 알 수 있는데, 이 때 60Hz는 피딩 테크의 기울어짐(tilting) 모드에서의 고유진동수와 일치한다. 즉, 디스크가 60Hz로 회전할 때 디스크의 공진에 의한 큰 진동이 테크에 전달되며, 전달된 진동이 테크의 고유진동수와 일치하여 테크에서도 공진현상을 일으켜 진동이 증폭됨을 알 수 있다. 즉, 디스크의 큰 진동이 가진원이 되어 피딩 테크가 크게 진동하게 된다.

따라서, 디스크 드라이브가 60Hz 부근에서 작동할 때 발생하는 큰 진동의 원인은 디스크의 $(0,1)_B$ 또는 $(0,2)_B$ 모드의 공진과 더불어 피딩테크의 기울어짐모드에 의한 공진임을 알 수 있다.

4. 동흡진장치의 개발

앞 절에서 언급되었듯이 편향디스크와 피딩 시스템은 60Hz의 회전속도에서 공진현상을 일으키므로, 이를 방지하기 위해서 동흡진기를 적용한다. 동흡진기의 구조는 Figure 7과 같이 고무(rubber)와 Steel Plate를 이용하고, 1차 고유진동수가 60Hz가 되도록 고무의 스프링 상수와 Plate의 질량을 결정하였으며 장착위치는 앞절에서 구해진 편향디스크와 피딩테크의 공진주파수의 모드형상을 고려하여 결정하였다. Figure 8은 1차 고유진동수를 맞추기 위한 FEM 모델링의 모드해석 시뮬레이션한 결과이다. Figure 9는 FEM 시뮬레이션에 의해 계산된

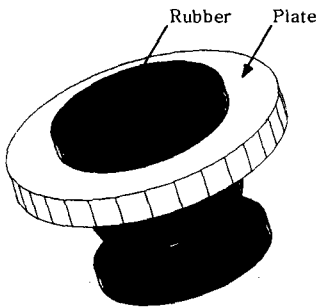


Figure 7. Dynamic Vibration Absorber.

피딩 테크의 주파수응답함수(Frequency Response Function, FRF)이다. 점선은 동흡진기를 부착하지 않은 피딩 테크의 FRF이고 실선은 동흡진기를 부착한 경우의 FRF이다. 60Hz 근처에서 큰 값을 보이던 테크의 진동이 동흡진장치를 부착함으로써 동흡진기에 흡수되어 진동의 크기가 매우 작아짐을 보여주고 있다.

5. 동흡진장치의 성능 실험

제안된 동흡진기를 광디스크 드라이브에 장착하고 편향디스크의 회전수를 0Hz에서 180Hz까지 천천히 변화시켜가며 각 회전수별 진동량을 그래프화 시켰다.

Figure 10에서 보는 바와 같이, 동흡진장치가 없는 경우 60Hz의 공진대역에서 피딩 시스템의 진동이 매우 크게 나타나지만, 동흡진장치를 장착한 경우 피딩 시스템의 진동에너지가 동흡진장치에 의해 흡수되어 피딩 시스템의 진동량이 감소된다. 또한, 공진대역의 회전수 이외의 다른 회전수로 운전되는 경우 진동의 변화가 거의 없으므로 동흡진기가 다른 회전수에서의 진동에는 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

편향디스크의 진동특성 역시 동흡진장치에 의해 편향디스크의 진동에너지가 상당량 흡수되어 Figure 11과 같은 특성을 가진다. 그림에서 빨간색 실선이 동흡진기를 장착한 경우의 디스크 진동량

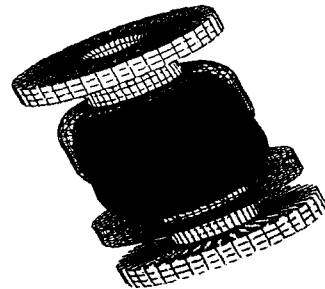


Figure 8. FEM modelling of DVA and an example of modal analysis.

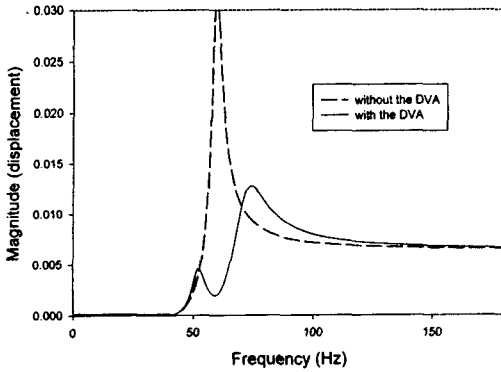


Figure 9. Comparison of frequency response functions.

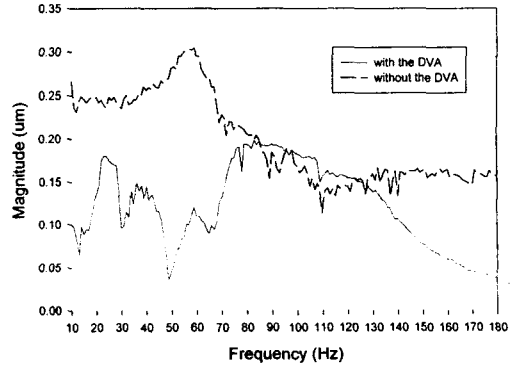


Figure 11. Comparison of the vibration of a disc: with DVA and without DVA.

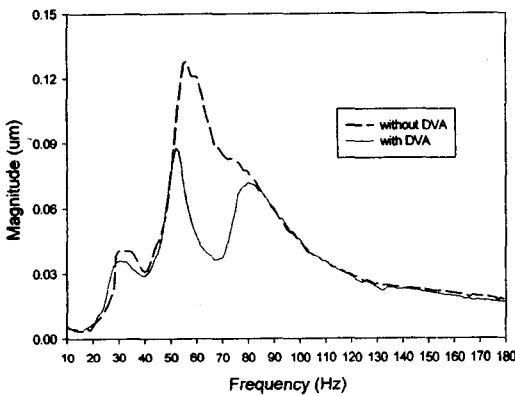


Figure 10. Comparison of the vibration of a deck: with DVA and without DVA.

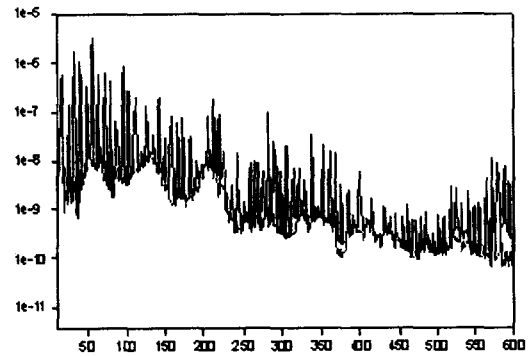


Figure 12. Comparison of noise spectrum with and without the DVA.

을 나타낸 것인데, 60Hz 부근에서 동흡진기가 없는 점선의 경우보다 현저히 낮아짐을 알 수 있다. 그러므로, 동흡진장치를 장착함으로써 디스크의 진동도 감소시키므로 이 역시 서보의 안정성에 큰 효과가 있으리라 판단된다.

Figure 12 는 광디스크 드라이브에서 발생하는 소음을 측정 한 결과를 나타낸다. 동흡진장치가 없을 경우 공진에 의한 진동 때문에 광디스크 드라이브에서 구조소음이 발생하여 그래프와 같이 노이즈 성분이 나타난다. 이 때 음압(sound pressure)은 실험으로부터 약 41~42dBA 의 높은 소음레벨을 나타낸다. 동흡진장치를 사용할 경우 공진에 의한

진동을 동흡진장치가 많은 부분 흡수하기 때문에 테크와 디스크의 진동은 상당량 감소되므로 이에 따라 구조소음 또한 크게 감소된다. 이 때의 음압은 약 35~36dBA 의 소음레벨을 나타낸다.

Table 1. Comparison of the acoustic noise : with the DVA and without the DVA

Without the DVA	With the DVA	비고
41.5dBA	36.0dVA	5.5DbA 감쇠효과

6. 결론

본 연구에서 편향디스크를 사용하는 경우 광디스크 드라이브에서 발생하는 과도한 진동의 원인을 유한요소해석과 실험을 통하여 분석하였고, 이에 대한 대책으로 동흡진기를 개발하여 광디스크 드라이브의 과도한 진동을 제어하는 기술을 개발하였다.

편향디스크가 회전할 때 약 60Hz 에서 (0,1)모드 혹은 (0,2)모드의 역진행파 고유진동수를 가지게 되어 광디스크 드라이브가 60Hz 로 운전될 때 공진이 일어남을 유한요소해석과 실험을 통하여 분석하였다. 또 이 진동이 피딩 테크의 기술어짐 모드를 가진하여 피딩테크에서도 공진이 일어남을 분석하였다.

이렇게 광디스크 드라이브가 60Hz 로 운전될 때 과도한 진동이 발생되며 이러한 진동을 피할 수가 없다. 이에 대한 대책으로 동흡진기를 개발하고, 광디스크 드라이브에 장착하여 편향디스크 및 피딩 테크에서 발생하는 진동에너지 흡수함으로써 진동 및 소음을 크게 저감할 수 있었다. 개발된 동흡진장치는 양산비용이 저렴하고 광디스크 드라이브에 장착이 용이하며, 생산시간 및 재료비를 고려하여 최적화된 형상 및 치수로 쉽게 변경할 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서, 동흡진장치를 이용하여 적은 비용으로 광디스크 드라이브의 동특성을 개선함으로써 픽업의 포커싱 다운을 방지할 수 있고, 서보의 안정성 확보함으로써 광디스크 드라이브의 성능향상에 큰 효과를 기대할 수 있다.

참고문헌

1. J. Chung, J. E. Oh and H. H. Yoo, "Non-Linear Vibration of a Flexible Spinning Disc with Angular Acceleration," Journal of Sound and Vibration, Vol. 231, No. 2, pp. 375~391 (2000)
2. J. Chung and D.-S. Ro, "Dynamic Analysis of an Automatic Dynamic Balancer for Rotating Mechanisms," Journal of Sound and Vibration, Vol. 228, No. 5, pp. 1035~1056 (1999)
3. 정진태, 박준민, 노대성, "CD-ROM 드라이브 피딩 시스템의 댐퍼 최적 위치," 한국소음진동공학회지, 제 7 권, 제 3 호, pp. 239-246, (1997).
4. Clarence W. de Silva "VIBRATION, fundamentals and Practice," CRC PRESS, P787~P805.
5. J. Chung and J. M. Lee, "Vibration Analysis of a Nearly Axisymmetric Shell Structure by Using a New Finite Ring Element," Journal of Sound and Vibration, Vol. 219, No. 1, pp. 35~50 (1999).
6. J. Chung, N.-C. Kang and J. M. Lee "A Study on Free Vibration of a Spinning Disk," KSME International Journal, Vol. 10, No. 2, pp. 138~145 (1996).