

슬림형 광 디스크 드라이브의 축방향 진동에 대한 실험적 해석

Experimental Analysis of Axial Vibration in Slim-type Optical Disc Drive

박대경*· 전규찬*· 이성진**· 장동섭*

Dae Kyong Park, Gyu Chan Jun, Sung Jin Lee and Dong Seob Jang

Key Words : Optical disk drive(광디스크 드라이브), Transmissibility(전달율), Mode shape(모드형상), Natural Frequency(고유 진동수), Experimental analysis(실험적 해석)

ABSTRACT

As the demand for slim laptops requires low-height optical disc drives, vibration problems of optical disc drives are of great concern. Additionally, with the decrease of a track width and a depth of focus in high density drives, studies on vibration resonance between mechanical parts become more important. From the vibration point of view, the performance of optical disc drives is closely related with the relative displacement between a disc and an objective lens which is controlled by servo mechanism. In other words, to read and write data properly, the relative displacement between an optical disc and an objective lens should be within a certain limit. The relative displacement is dependent on not only an anti-vibration mechanism design but also servo control capability. Good servo controls can make compensation for poor mechanisms, and vice versa. In a usual development process, robustness of the anti-vibration mechanism is always verified with the servo control of an objective lens. Engineers partially modify servo gain margin in case of a data reading error. This modification cannot correct the data reading error occasionally and the mechanism should be redesigned more robustly. Therefore it is necessary to verify a mechanism with respect to the possible servo gain plot. In this study we propose the experimental verification method for anti-vibration mechanism with respect to the existing servo gain plot. This method verifies axial vibration characteristics of optical disc drives on the basis of transmissibility. Using this method, we verified our mechanism and modified the mechanism for better anti-vibration characteristics.

1. 서 론

1984년 광디스크가 개발된 이후로 여러 형태의 광디스크 드라이브가 개발되고 그 수요 또한 매우 많이 높아졌다. 오디오기기뿐만 아니라 일반 PC에도 폭넓게 장착되고, 근래에는 초박형 노트북의 개발과 더불어 노트북용 광디스크 드라이브 또한 초박형으로 개발이 되고 있다. 이러한 초박형 드라이브에서는 보다 얇은 제품을 실현시키기 위하여 많은 부품의 두께를 줄이는 과정에서 이전보다 진동에 대한 문제점이 많이 발견되고 있다. 또한, 최근의 고밀도 드라이브의 경우 포커싱 및 트랙킹 허용 진동량이 더욱 작아짐에 의해 기계요소

들의 기계적 공진에 대한 연구가 중요해지고 있다.

통상적으로 진동대책을 강구하기 위한 방법으로 광디스크 드라이브를 진동원, 전달경로, 그리고 리시버로 구분한다. 광디스크 드라이브의 진동원은 크게 내부진동과 외부진동으로 구별할 수 있다. 광디스크의 내부진동은 광디스크의 편향, 편중 그리고 유연재질 디스크의 회전특성등에 의한 진동과 프레임구조 및 스팬들 모터등에 의한 진동특성이 디스크에 영향을 줌에 의한 것이며, 외부특성은 외부환경, 즉 사용자 사용과정에 따른 진동이나 충격에 의한 진동으로 나누어 진다. 실제 광디스크 드라이브에서는 방진고무의 강성이 클수록 메인베이스의 진동이 저감되나 외부로부터의 진동에 대해서는 취약해지는 진동특성이 있기 때문에 내부진동과 외부진동의 영향을 모두 고려하여야 한다. 그리고 전달경로에 해당하는 것은 슬림형 디스크 드라이브의 경우 꽉엄계, 피딩계 및 스팬들계 등을 포함하는 메인베이스계와 메인베이스를 지지하며 여러 부가적 장치가 부착되는 트레이계,

* 삼성전자 디지털미디어 연구소

** 삼성전자 메카트로닉스 센터.

그리고 트레이의 왕복운동을 가능케 하는 가이드계와 케이스등으로 이루어 진다. 이러한 여러 전달경로를 통한 최종적인 드라이브의 성능에 영향을 미치는 꽂업과 광디스크가 리시버에 해당하게 된다. [1]

가장 근본적인 광디스크의 성능에 대한 문제는 결론적으로 리시버에 해당하는 꽂업과 광디스크의 상대운동에 대한 정보라고 할 수 있다. 기본적인 읽고 쓰는 동작을 원활하게 수행하기 위해서는 꽂업과 꽂업이 추종하고 있는 광디스크면의 상대거리가 적절한 수준으로 유지되어야 한다. 본 연구에서는 외부 진동에 따라 리시버에 해당하는 꽂업과 디스크의 상대거리에 대하여 전달경로에 따른 해석을 수행함으로써 가진 진동원에 대한 드라이브의 성능을 예측할 수 있는 방법을 강구하였다.

2. 디스크 진동특성

광디스크는 원형디스크로 진동모드는 절직경과 절원이라 불리우는 각각의 변위가 0인 절선에 의하여 구별이 되며, 통상적으로 절원의 수를 m , 그리고 절직경의 수를 n 으로 표시하여, 모드지수 (m,n) 으로 정의한다. 회전에 따른 디스크 고유진동수의 변화를 실험을 통하여 알아보았다.

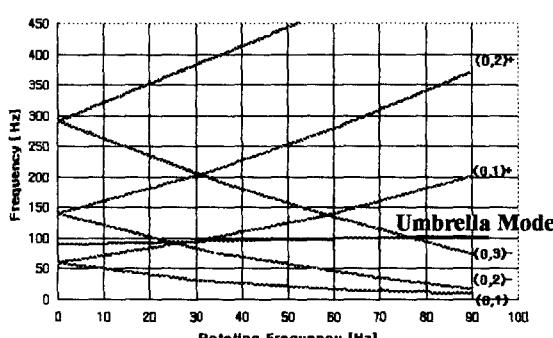
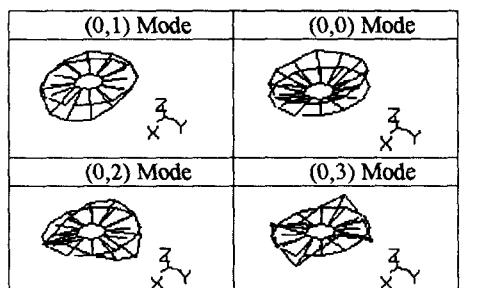


Fig. 1 Mode Shape and Natural Frequency of Rotating Disc.

정지상태의 디스크의 경우 절직경 모드인 $(0,1)$ 모드가 가장 낮은 주파수에 있으며, 회전에 따라 모드가 전진파와 후진파로 분리되는 절선모드에 비하여 절선이 존재하지 않는 Umbrella 모드의 경우 회전에 따라 거의 일정한 수치를 가지고 있다.[2]

Fig. 1 은 스팬들모터에 장착된 광디스크에 대한 회전에 따른 고유진동수의 변화를 도시한 그림이다.

3. 초슬립형 드라이브의 진동특성

광디스크 드라이브에서 진동에 대한 주요한 감쇠역할을 하는 것은 메인베이스와 트레이간에 부착되어 있는 진동댐퍼이다. 고배속화와 외부진동 등에 의한 진동 및 충격에 따른 드라이브 오동작 대응 장치로 사용되는 진동댐퍼는 점탄성 재료가 많이 쓰이며, 이러한 점탄성 재료의 경우 진동을 흡수하는 능력이 우수하며, 경제성과 성형성 면에서 매우 타월하다. 점탄성 재료로는 실리콘계열과 부틸계열 재료가 많이 쓰이며, 특히 슬립형 드라이브에서는 공간적 제약 때문에 과도한 진동에 의한 변형에 따른 찢어짐 특성이 있는 실리콘 계열 대신 부틸계열 재료가 많이 쓰이고 있다. 방진계를 설계함에 있어서 중요한 인자로는 형상과 경도가 있다. 경도의 경우 강성에 따라 내부 및 외부 진동 특성이 trade off 하는 특성을 가지고 있기 때문에 적절한 경도 설정이 중요하다고 하겠다. 그러나 본 실험의 대상계인 초슬립형 드라이브에서는 진동댐퍼의 높이에 대한 제약조건이 3 mm 이하로 형상에 대한 변경은 거의 불가능하기 때문에 경도에 따른 특성을 파악하는 것이 보다 중요하다. 이렇듯 진동댐퍼의 변경을 통한 진동특성 설계가 한계가 있기 때문에 전체 시스템에서의 외부 및 내부진동특성의 파악이 매우 중요하게 된다.

4. 진동전달율을 이용한 꽂업과 디스크 간의 상대거리

4.1 실험장치

본 실험중 메인베이스에 대한 실험장치는 Fig. 2 와 같다. Jig 상에 3 점 지지 고무댐퍼로 연결된 메인베이스 및 디스크 계에 대하여 가진기를 이용하여 20-2000Hz 에서 Sine Sweep 가진실험을 수행하였다. 실험디스크는 표준디스크 (TDV-520A)를 사용하였으며, 입력 가속도는 0.57 Grms, 경도 40

의 방진고무를 사용하였다. 회전속도는 정지상태와 94Hz의 두가지 경우에 대하여 실험하였다. 지그를 통한 가속도 입력에 대하여 디스크, 메인베이스의 픽업홀더부의 가속도 출력값을 이용해 각각의 전달율을 Dynamic analyzer HP35670A를 통하여 계산하였다. 그리고 픽업의 단품실험을 통하여 전달율을 이용하여 입력 가속도에 대한 픽업 Actuator의 전달율을 구하였다.

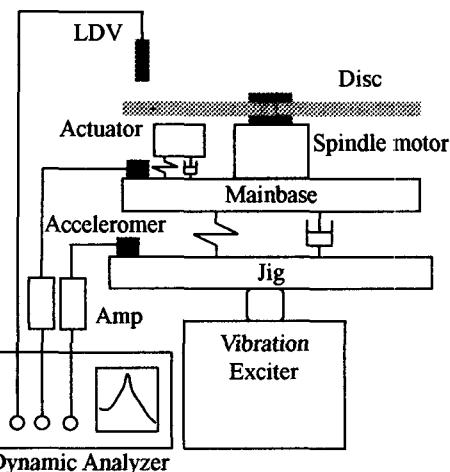


Fig. 2 Schematic Diagram of Experimental Setup for Deck System.

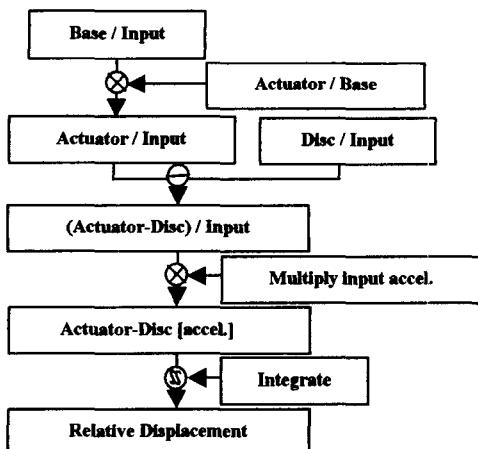


Fig. 3 Flowchart for Calculating Relative Displacement.

디스크와 Actuator에 대한 전달율을 이용하여 입력에 대한 상대가속도 출력을 계산하였고 일정 가속도 입력에 대한 상대거리를 적분과정을 통하여 계산할 수 있었다. Fig. 3은 상대거리 계산을 위한 프로세스이며, 모든 과정은 크기와 위상을 고려하여 계산하였다.

Fig. 4는 픽업홀더부 입력에 대한 광픽업의

Focusing 방향 전달율을 Actuator의 단품실험을 통하여 구한 것이다. 입력에 대한 Actuator의 변위를 측정한 후 이를 무차원화한 것이다. Fig. 5는 본 시스템에서의 Focusing 방향 개루프 서보개인 특성 그래프로 픽업계에 의한 초점심도를 0.23 μm로 하였을 때 픽업과 디스크 간의 상대거리에 대한 비를 이용하여 비교하였다.

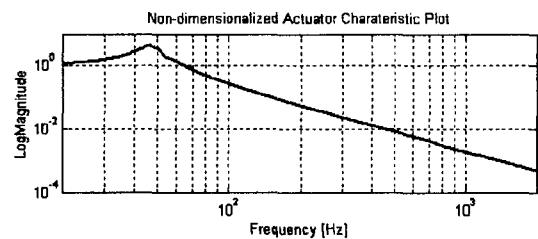


Fig. 4 Non-dimensionalized Actuator Characteristic.

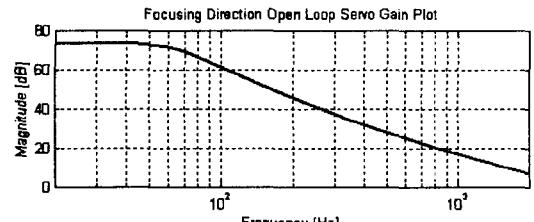
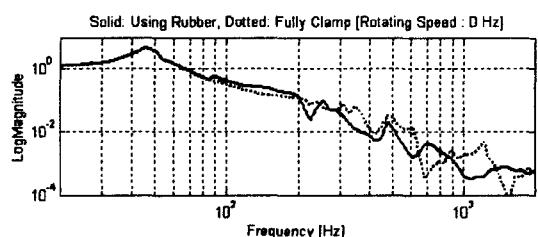


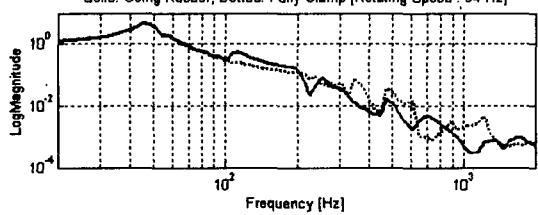
Fig. 5 Focusing Direction Open Loop Servo Gain.

4.2 데크시스템에 대한 실험결과

우선 방진고무에 대한 영향을 살펴보기 위하여 지그상에 메인베이스를 고정시키는 부분을 고무댐퍼가 없는 완전 클램핑조건과 비교하였다.



(a) Stationary Condition.
Solid: Using Rubber, Dotted: Fully Clamp [Rotating Speed : 0 Hz]



(b) 94 Hz Rotatio Speed.
Fig. 6 Transmissibility of Actuator.

Fig. 6에서 45Hz 근방의 피크는 Actuator의 Focusing 방향 공진 주파수이다. 완전클램핑 조건 하에서는 디스크 정지시와 회전시에 비슷한 특성을 보이고 있다. 이는 고무댐퍼에 의한 메인베이스의 강체운동이 없는 상태에서 메인베이스의 유연모드에 의한 가진이 상대적으로 미미함을 알 수 있다. 하지만, 고주파로 갈수록 고무댐퍼 조건 하에 비하여 많은 가진력이 작용하고 있으며 고무댐퍼 조건 하에서는 100Hz 부근에서 디스크 모드에 의한 진동에너지가 전달되고 있음을 볼 수 있다.

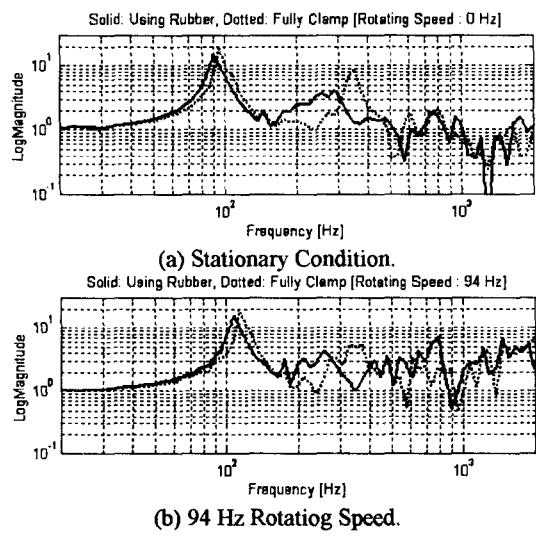


Fig. 7 Transmissibility of Disc.

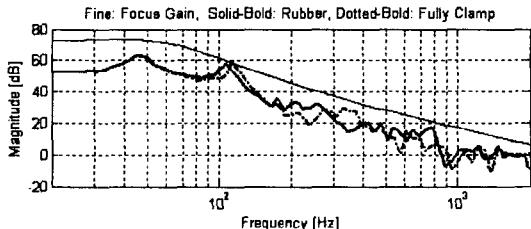


Fig. 8 Relative Displacement.
(94Hz rotating speed)

Fig. 7는 디스크의 전달율 그림으로 가장 큰 피크는 100Hz 부분의 디스크 Umbrella 모드에 해당하는 주파수이다. 축방향 가진에 의하여 디스크는 (0,0)모드가 가장 많이 가진된다. 이론적으로 디스크 (0,0)모드는 회전에 따라서 일정한 주파수를 가져야 하지만, 특히 유연재질의 광디스크의 경우 회전에 따라서 강성 경화 현상에 의해 모드주파수가 다소 증가함을 볼 수 있다. 그리고, 경계조건에 따른 비교시 다소 모드주파수의 변화를 관찰할 수 있다. 그리고 300-400Hz에서 메인베이스의 유연모

드에 의해 디스크에 전동에너지가 전달되고 있음을 볼 수 있다. 고주파에서 디스크의 진동량을 살펴보면, 고무댐퍼의 유무에 따라서 상당한 차이가 있음을 볼 수 있다. 이는 Actuator에 대한 그림에서의 상대적인 수치를 비교할 때 고주파에서는 디스크에 의한 영향이 주도적이며, 올바른 방진성능을 발휘하기 위한 고무댐퍼 설계를 위해서는 고주파에서의 관점이 필요하다고 하겠다.

Fig. 8은 94Hz 회전속도에서 경계조건에 따른 상대거리를 도시한 것이다. Focusing 서보 게인과 관련하면, 현재 방진고무에 의해 디스크 모드주파수에서 피크치와 해당주파수가 줄어들었으며, 고주파에서의 상대적인 값들도 다소 줄어듬을 볼 수 있다.

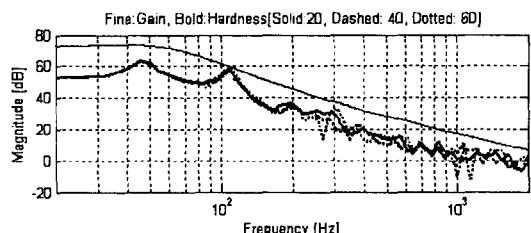


Fig. 9 Relative Displacement according to Hardness.
(94Hz rotating speed)

Fig. 9은 같은 프로세스에 의하여 경도에 따른 상대거리를 계산한 것이다. 경도가 크게 되면 내부 메인베이스 진동은 줄어들게 되나 외부로의 진동전달은 커지게 된다. 하지만, 본 시스템에서는 저주파에서 Actuator에 의한 주파수에서의 상대거리를 살펴보면, 차이가 없음을 볼 수 있다. 그리고 디스크 모드에 의한 피크치도 거의 변화가 없다. 이는 박형의 설계에 따른 두께 등의 조건이 열악하기 때문에 댐퍼 고유진동수를 이들 주파수보다 낮게 설계할 수 없기 때문이다. 따라서 이와 같은 설계조건에서는 고무댐퍼의 강성조절등에 의한 설계보다 저주파에서 문제가 될 수 있는 디스크 모드의 진동량을 줄이기 위하여 스판들 모터의 클램핑력을 조절하거나 스팬들모터의 구조적 진동, 즉 모터축의 베어링등에 의한 모드가진 현상이 발생하지 않도록 설계를 하여야 한다.

방진고무로 사용되는 부털, 실리콘 계열의 고무는 이와 같은 설계에서 더욱 낮은 경도의 것을 사용할 경우 찢어짐 현상등에 의한 신뢰성 문제가 발생될 여지가 많다. 그럼에서 경도 20에 비하여 40, 60의 경도일 때 고주파에서의 진동량이 상대적으로 작으며, 내부진동을 고려할 때 경도 40의 고무가 보다 좋은 진동특성을 보일 것으로 예상할 수 있다.

4.3 전체시스템에 대한 실험결과

Fig. 10 는 슬립형 드라이브에서 메인베이스 외에 트레이, 가이드장치, 그리고 케이스등을 포함한 전체세트와 비교한 그림이다. 지그상 메인베이스 상에서의 상대거리와 저주파역에서의 차이가 생기고 있다. 가장 특이한 점은 메인베이스 상에서 디스크의 Umbrella 모드가 전체 시스템으로 되면서 트레이등의 시스템과 연성되었으며, 더불어 Air damping 에 의하여 디스크의 진동량이 다소 줄어들었다.

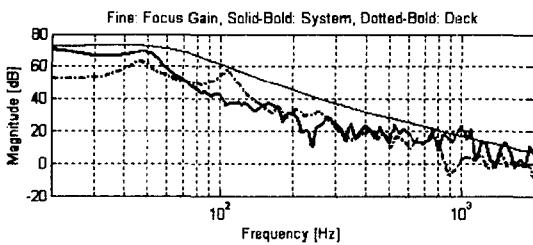


Fig. 10 Relative Displacement according to System.
(94Hz rotating speed)

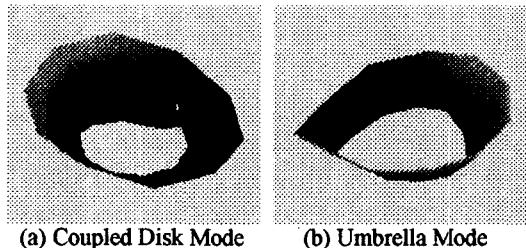


Fig. 11 Comparison of Disc Mode according to System

메인베이스계와 비교할 때 전체시스템으로 되면서 매우 복잡한 형태의 모드형상이 형성되며, 이는 슬립형 드라이브에서 유연재질의 트레이의 사용과 메인베이스와 스펀들, 피딩계에 의한 국부적 질량분포, 그리고 가이드에 관련한 진동등에 기인한다. 고주파에서의 진동량의 증가는 각 부품의 조립에 의한 특성으로 전체 세트상에서 가이드와 락킹장치 등의 적절한 고정 메커니즘이 중요하게 작용한다.

Fig. 11 은 해당 주파수역에서 Scanning LDV 를 이용하여 측정한 디스크의 모드형상이다. Fig. 13 의 모드형상은 메인베이스계에서의 디스크의 (0,0) 모드가 전체계에서는 메인베이스, 트레이, 디스크등이 연성되면서 보다 낮은 주파수에서 나타남을 보여주고 있다. 이 연성된 모드는 Actuator 와 공진을 일으켜서 60Hz 부근에서 진동량이 다소 증가함을

볼 수 있다. 이 연성 모드의 경우 박형화에 따른 트레이의 구조가 취약해 짐에 의해 생기는 것으로 문제가 심각해 질 경우 부가적인 강성보강을 위한 설계가 필요하다.

앞서 설명한 고주파역에서의 진동현상은 서보계 인측면에서 볼 때 취약함을 볼 수 있다. 실제 계에 있어서 고주파에서의 서보특성은 저주파에 비해 강건한 특성을 보이지만 보다 안전한 설계가 필요하다 하겠다. 따라서 Fig.12 와 같이 초슬립형 드라이브를 개발함에 따라서 제약된 동작성을 확보하고 슬립구조를 형성하기 위하여 기존 드라이브의 가이드 구조에 비해 취약한 특성을 보이고 있는 가이드에 대해 실험을 하였다. 트레이와 케이스간의 가이드레일을 완전 고정하여 비교 검토를 수행하였다.

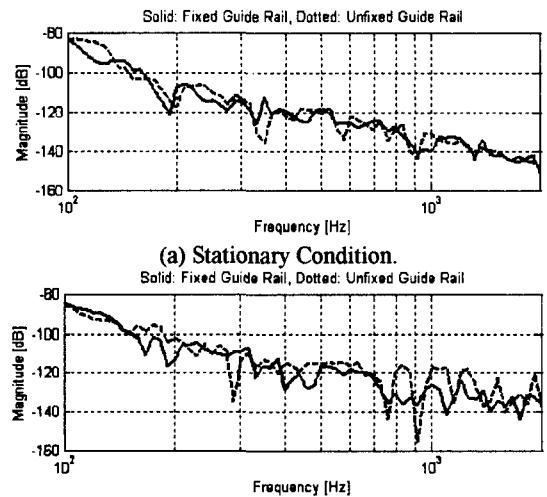


Fig. 12 Vibration Characteristics of Disk
according to Guide Rail.

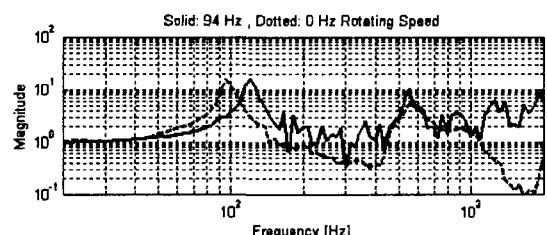


Fig. 13 Transmissibility of Disk
in Spindle Motor and Disk System.

정지상태에 있어서는 고주파에서의 진동량의 차이가 거의 없으나 회전상태에 있어서 차이가 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 고주파에서의 진동 가진원은 모터에서부터 기인하는 것으로 판단할

수 있으며, 이는 Fig.13 의 모터단품 가진 실험으로부터 알 수 있다. 본 초슬립형 드라이브에 사용되는 스픈들 모터의 경우도 매우 박형화된 구조로 스픈들 축을 감싸는 고체마찰영역의 길이가 매우 짧아짐에 따라 진동특성이 취약해 질 수 밖에 없다. 이러한 진동성분을 충분히 감쇠시키지 못하고 기존 드라이브에 비해 취약한 구조의 Tray 를 통하여 진동이 전달되어 드라이브의 진동특성에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 진동특성에 대한 대응책으로 가이드 레일의 경우 단힘상태에서 Tray 를 보다 단단히 고정해 줄 수 있는 설계가 필요하다.

4.4 설계변경을 통한 개선

Fig. 14 는 추가실험을 통하여 가이드 레일의 앞부분 진동절연장치가 취약함을 파악하고 이를 보완하기 위한 설계변경에 대한 그림이다. Tray 의 구조적 취약성과 가이드레일의 역할을 보충하기 위한 구조로 Tray 상단부에 돌출부를 추가하고 축면에 판스프링 구조를 첨부하였다.

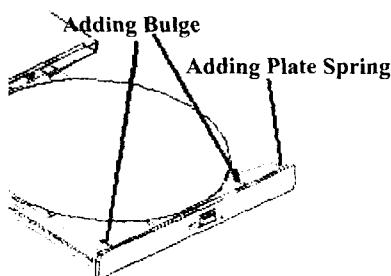


Fig.14 Illustration of Modified Tray

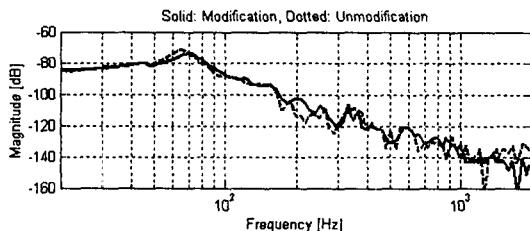


Fig.15 Comparison of the Results by Modification of Tray

Fig. 15 와 같이 설계변경에 의해 Tray 연성 디스크 모드의 주파수와 그 피크치가 줄어듬을 볼 수 있다. 서보제인특성에서 볼 때도 디스크 모드 주파수가 역추에이터와 공진되지 않는 한 저주파역에 존재하는 것이 유리하므로 바람직한 현상으

로 볼 수 있다. 그리고, 문제시 되었던 고주파(1~2kHz 역)에서의 Overall RMS 진동량이 설계변경에 따라서 25%정도 줄어 들었다.

5. 결 론

본 연구에서는 서보제어 성능과 관련하여 구조적 문제점에 대한 시스템 진동해석과 방진부의 설계 파라미터에 따른 성능을 검토하고, 초박형 슬립 드라이브에서 외부진동에 대한 구조적 설계방향을 제시하기 위한 방법으로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 서보제어성능과 연계하여 시스템의 구조적 성능과 문제점을 파악하기 위한 실험적 프로세스를 제안하고 진동전달경로에 대한 해석을 수행하였다.
- (2) 초슬립화를 통한 가이드레일과 Tray 의 구조적 취약성을 보완하기 위한 설계변경과 이의 검증을 수행하였다.

참고문헌

- (1) Sang-Kyoung Oh, Gyu-Chool Kim, Jin-Seung Son and Jae-Man Joo, "A Study on the Skipping of Compact Disk Player", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.38, No.3, August 1992.
- (2) S. Barasch and Y. Chen, "On the vibration of a rotating disk", in Transactions of ASME j. of Applied Mechanics, vol. 39, pp. 1143, 1972.
- (3) J.C.Harrison, C.W.Miller, F.E.Talke, "Disk Surface Acceleration Effects Due to Air Flow Induced by Rotation", ASME Adv. Info. Storage Syst., Vol.1 pp.155-169, 1991
- (4) Seok-Tae Park, Kyung-Ryul Chung, Chong-Won Lee and Kwang-Joon Kim, "Dynamic Modeling of Rubber Elements in an Engine Mount System" KSME vol.10, No.5, pp.689-697, 1986