

자동차용 CD/DVD 데크의 진동 저감 및 성능 향상에 관한 연구

박 영 필[†] · 정 두 한* · 정 진 태**

A Study on the Vibration Reduction and Performance Improvement of the CD/DVD is used from the Vehicle

Youngpil Park, Duhan Jung and Jintal Chung

Key Words : Vibration Reduction(진동저감), Signal Analysis (신호분석), Frequency Response Function (주파수 응답함수), Performance Estimation(성능평가)

Abstract

Dynamic characteristic of CD/DVD deck for vehicle is analyzed in this paper. Generally CD/DVD deck for vehicle is used from inferior environment with the vibration of the vehicle and shock of outside and so on. Therefore it must have the structure which is stabilized from the vibration to prevent read error. For this purpose, vibration characteristic of the deck for vehicle should be identified. To analyze characteristic of the deck system, we perform the signal analysis and modal testing using the FFT analyzer. Also we change the design factor degrading the performance of the deck system and verify the efficiency improvement using the acceleration measurement occurring to the sound discontinuation.

1. 서 론

자동차용 CD/DVD 메커니즘(mechanism)은 음악 감상을 위한 CD 와 영상을 위한 DVD 용으로 출시되고 있는 카오디오 데크(deck)를 지칭하는 것으로, 최근 자동차 관련 산업 분야에서 시장성이 급부상하고 있는 추세이다. 자동차용 CD/DVD 데크는 광디스크 드라이브(optical disk drive)와는 달리 자동차의 운전 여건에 따른 열악한 환경에서 사용되는 제품이므로 제품 성능의 우수성과 까다로운 고객의 요구조건을 만족시키기 위해서는 진동에 강인한 구조를 지니고 있어야 한다.

외부충격에 의해 발생하는 진동의 영향을 최소화하기 위해서 방진기술(isolation)과 오일 댐퍼(oil damper)를 사용하고 있으나 일부 특정 주파수 대역에서 낮은 진동 가진력에도 불구하고 데이터 취득 오작동 및 음질의 끊어짐이 발생하는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 향후 신뢰성 있는 제품을

개발하기 위해서 특정주파수의 낮은 가진력에서 트랙킹(tracking)과 포커싱(focusing) 서보 제어의 안정성을 확보하기 위한 자동차용 CD/DVD 데크의 진동 신호분석과 가진기를 이용한 시스템 분석을 수행하였다. 실험 결과를 바탕으로 시스템의 고유진동수와 고유모드를 확인하여 진동원인을 규명하였고, 유한요소해석 프로그램의 결과와 비교하였다. 또한 시스템의 설계 변경 전, 후의 음단절 한계 가속도 실험을 수행하여 특정주파수에 대한 성능향상을 검증하였다.

2. 진동신호분석(Signal Analysis)

자동차용 CD/DVD 데크의 개략적인 구조는 Fig.1 과 같다. 광디스크는 다이렉트 로딩(direct loading)되어 스피들 모터(spindle motor)와 클램프에 의하여 장착되고, 액츄에이터와 연결된 피딩 모터(feeding motor)가 대각선 방향으로 왕복운동을 하여 광디스크에 입력된 데이터를 취득하는 구조로 되어있다.

진동 신호분석은 알려지지 않은 어떠한 가진입력에 대한 시스템의 응답을 분석하여 동적 시스템의 거동을 예측하는 신호 분석방법이다. Fig.2 에

[†] 책임저자, 한양대학교 정밀기계공학과
E-mail : pyfeel77@ihanyang.ac.kr
TEL : (031)501-4590 FAX : (031)501-4590

* 한양대학교 대학원 정밀기계공학과

** 정회원, 한양대학교 기계정보경영공학부

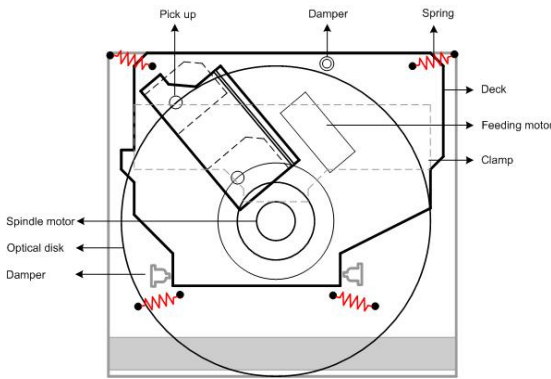


Fig.1 Schematic of the vehicle deck

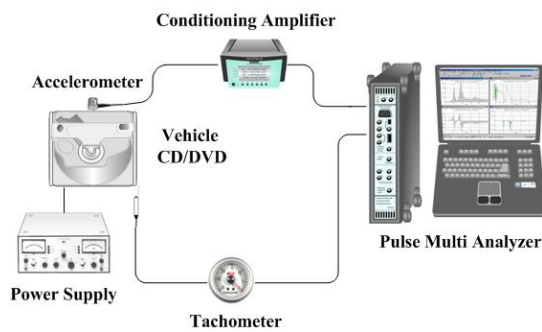


Fig.2 Experimental set-up for the signal analysis

도시된 실험장치를 바탕으로 자동차용 CD/DVD 데크의 신호 분석을 위하여 스피들 모터의 운전 속도영역(200~1000rpm)에서 회전수를 변화시키며 데크의 진동신호에 대한 일련의 파워 스펙트럼(power spectrum)을 계측하였다. 회전속도를 여러가지로 세분화하기 위해서 데이터가 기록된 규격디스크의 음원을 재생하는 방식으로 정속 운전을 구현하였다. 규격디스크의 내주 및 외주에 이르는 트랙(track)의 정확한 회전수를 측정하기 위해서 타코미터(tachometer)를 사용하였고, 계측된 신호는 주파수 분석기(pulse multi analyzer)를 이용하여 분석하였다. 또한 이러한 워터폴(waterfall) 신호 계측으로부터 데이터를 획득하여 회전속도에 따른 전체적인 진동량을 Fig.3 과 같이 평가하였다.

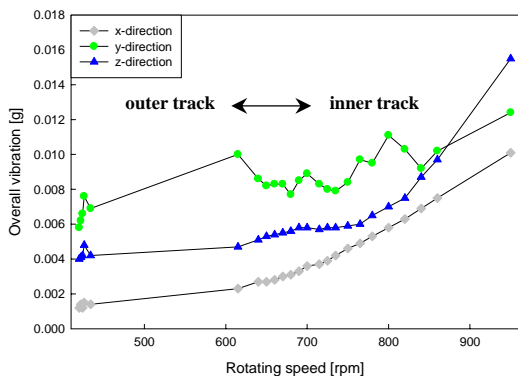


Fig.3 Overall vibration of the deck

픽업 주위의 데크에서 신호를 계측한 결과, x 방향의 경우 회전속도에 따른 1X 진동성분이 지배적으로 발생하였고 y, z 방향의 경우 1X 진동성분 뿐만 아니라 조화성분이 주되게 발생하였다. 자동차용 CD/DVD 데크는 단위 시간당 일정한 분량의 데이터를 취득하기 위해서 일정 선속도 방식(Constant Linear Velocity)을 채택하고 있다. 따라서 스피들 모터에서 발생하는 회전속도의 영향으로 인해 x, y, z 모든 방향에서 내주의 진동이 외주에 비하여 비교적 크게 발생하는 것을 Fig.3 에서 확인할 수 있다.

각각의 회전수에 대한 전체적인 진동량은 y 방향이 면외방향에 비하여 1 번 트랙을 제외한 모든 부분에서 크게 발생하는 것을 확인할 수 있는데 이는 y 방향과 직접적으로 연결된 댐퍼가 존재하지 않고 스프링 체결방향의 영향으로 y 방향의 스프링강성이 부족하기 때문이다. y 방향의 진동은 픽업의 트랙킹 제어에 영향을 끼치게 되므로 향후 데크의 안정성을 확보하기 위해서는 y 방향의 강성을 고려해야 한다는 것을 확인할 수 있다.

3. 모드해석

3.1 유한요소해석을 이용한 시뮬레이션

시스템 분석 실험을 하기에 앞서 유한요소해석 프로그램인 앤시스(ansys)를 사용하여 모드해석을 수행하였다. 데크의 질량을 측정후 실제 해석하기 위한 모델에 적용하여 Fig.4 와 같이 고유진동수와 고유모드를 확인하였다. 유한요소해석 결과 첫번째 고유진동수는 187Hz 에서 굽힘변형이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 굽힘변형은 데크의 요구사양인 10~200Hz 의 주파수 영역에

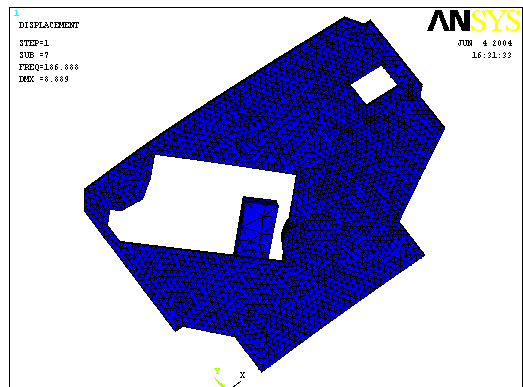


Fig.4 First mode shape of the deck

서 광픽업의 오작동 뿐만 아니라 테크의 안정성 확보에도 악영향을 끼치게 된다. 따라서 187Hz 부근에서 테크의 안정성을 확보하기 위해서는 설계 변경을 통한 테크의 강성 증가가 요구된다.

3.2 시스템 분석(System analysis)

시스템 분석(Signal analysis)은 시스템의 고유한 특성을 추출하기 위하여 측정 가능한 힘으로 가진 시키고 응답/입력 비를 계측하는 실험 방법으로 시스템 분석을 위하여 Fig.4 와 같이 실험장치를 구성하였다.

광디스크가 체결된 상태에서 테크 시스템의 고유한 특성을 파악하기 위해 주파수 분석기를 이용하여 각 방향에 대한 주파수 응답함수(Frequency Response Function)를 구하였다. 광디스크 체결로 인한 공간상의 제약으로 다섯 지점에 대한 신호를 취득하여 시스템의 물성치, 테크 시스템의 고유진동수와 고유모드를 추출하였다.

Table 1 은 시스템 분석 실험을 통하여 구한 각 방향에 대한 물성치를 나타낸다. 오일 댐퍼에 의해서 발생하는 테크 시스템의 감쇠비는 Q-Factor 를 이용하여 식(1)~(3)으로 구하였고 강성계수는 실제 시스템의 감쇠영향을 고려해야 하므로 식(4)로 정의되는 감쇠고유진동수를 사용하여 강성계수를 계산하였다. Table 2 는 차량용 CD/DVD 테크의 전체 시스템에 대한 고유진동수를 정리한 도표이다.

$$Q = \frac{|\ddot{X}|}{|\ddot{Y}|} = \frac{|\omega^2|}{|\omega^2 Y|} = \frac{\sqrt{1 + [2\xi(\omega/\omega_n)]^2}}{\sqrt{[1 - (\omega/\omega_n)^2]^2 + [2\xi(\omega/\omega_n)]^2}} \quad (1)$$

$$Q = \frac{\omega_n}{\Delta\omega} = \frac{1}{2\xi} \quad (2)$$

$$\xi = \frac{\Delta\omega}{2\omega_n} \quad (3)$$

$$k = m\omega_d^2 \quad \text{where} \quad \omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2} \quad (4)$$

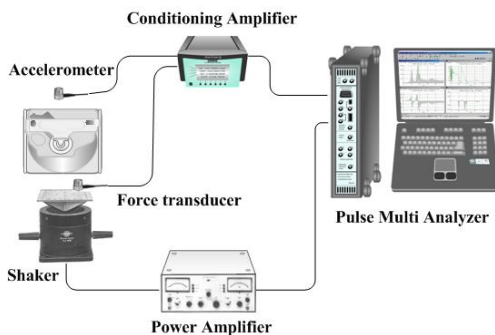


Fig.4 Experimental set-up for the system analysis

Table 1 Material property in the x, y and z direction

| | x direction | y direction | z direction |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|
| Stiffness [N/m] | 998 | 1377 | 1552 |
| Damping factor | 0.5582 | 0.4066 | 0.4083 |

Table 2 Natural frequency of the deck mechanism

| | |
|-------|---|
| 17Hz | Deck translation in the x, y, z direction |
| 53Hz | Deck translation and tilting |
| 93Hz | Deck tilting by the optical disk |
| 117Hz | Deck translation and out side frame bending |
| 187Hz | Deck bending |

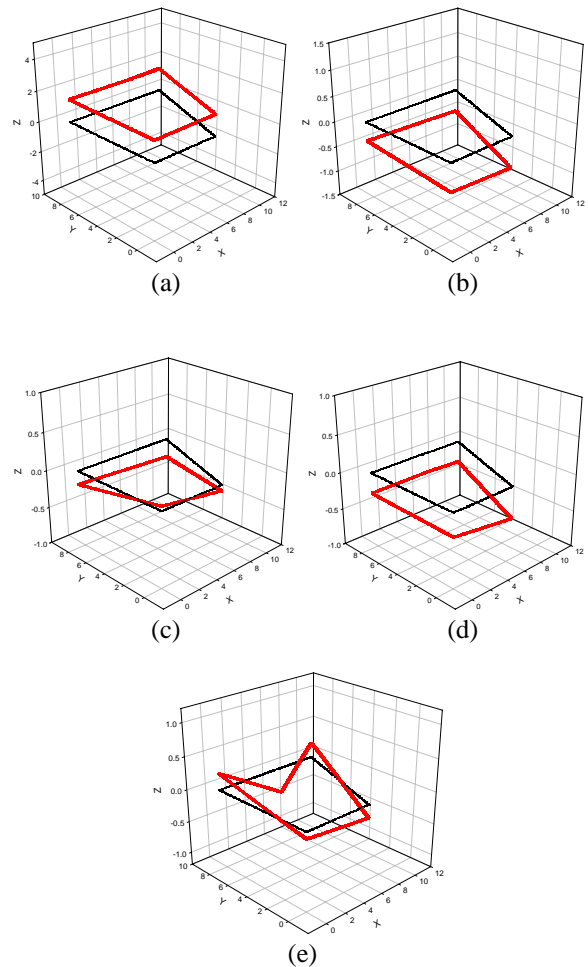


Fig.5 Natural frequency and mode shape of the deck in the z-direction: (a) 17Hz; (b) 53Hz; (c) 93Hz; (d) 117Hz; and (e) 187Hz

x, y 방향의 시스템 분석결과 스프링-댐퍼 시스템에 의한 고유진동수가 각각 17Hz 부근에서 병진운동을 하고 있는 것을 확인하였고, 결과적으로 각 방향의 강제운동이 17Hz 부근에서 연동되어 발생하는 것을 알 수 있다.

z 방향의 경우 광디스크가 클램프에 장착되면서 광디스크에 의한 고유진동수가 93Hz 와 117Hz 에서 추가적으로 발생하는 것을 확인할 수 있고, 유한요소해석 결과와 마찬가지로 187Hz 에서 데크의 굽힘변형이 발생하는 것을 확인하였다.

Fig.6 은 광디스크가 스핀들 모터와 클램프에 의하여 체결되었을 때 픽업부분의 광디스크와 데크의 주파수 응답 함수의 크기를 나타낸다. 광픽업부분 광디스크의 주파수 응답 함수 크기가 데크에 비하여 크게 발생하는 것을 확인할 수 있는데 이는 클램프의 체결력 부족으로 인하여 광디스크와 광픽업이 상대운동을 하게 되어 상대적인 거리가 증가하는 것을 의미한다. 이러한 상대운동은 광픽업의 포커싱 제어에 커다란 영향을 끼치게 된다. 따라서 광디스크와 데크가 강제운동을 할 수 있도록 클램프의 체결력을 강화시키는 것이 필요하다는 결론을 얻을 수 있다.

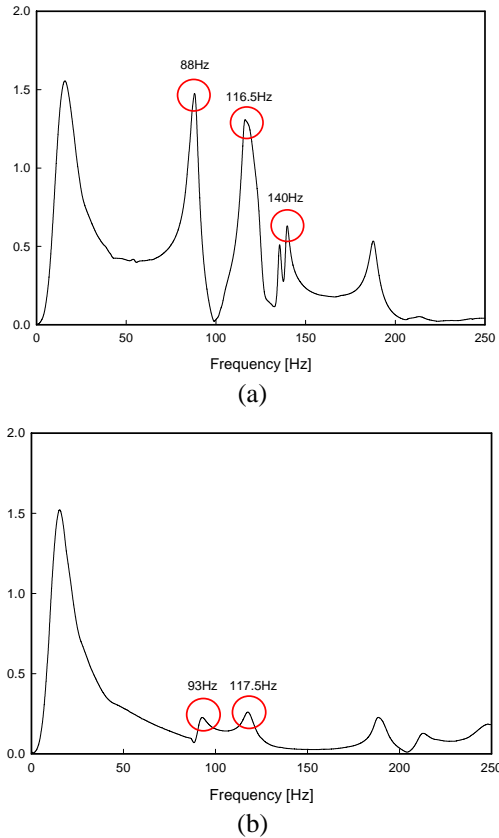


Fig.6 Frequency response function: (a) the optical disk; (b) the deck

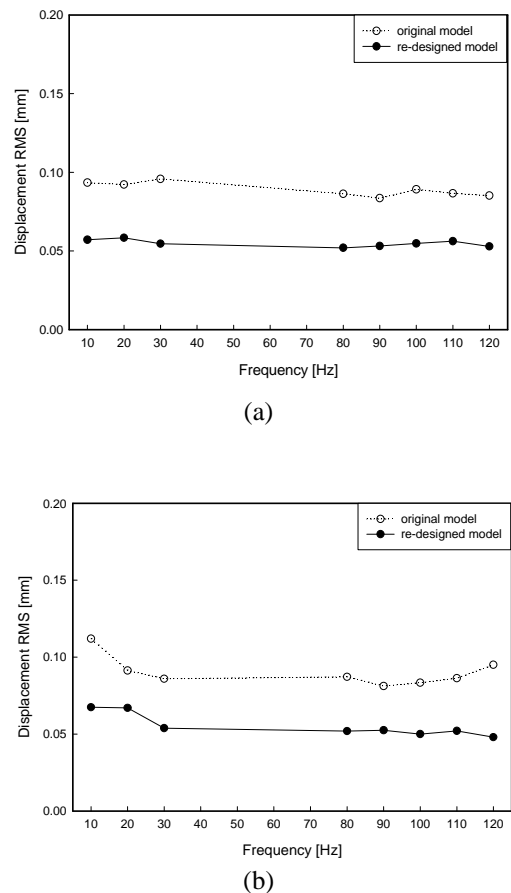
4. 데크의 평형을 고려한 설계변경

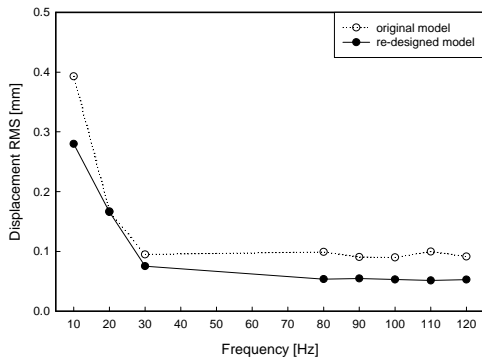
신호분석에서 언급했던 것처럼 y 방향으로 직접적으로 연결된 댐퍼와 스프링 강성이 부족하여 y 방향으로 전체적인 진동값이 가장 크게 나타나는 것을 알 수 있고 주파수 응답 함수의 크기도 x, z 방향에 비하여 상대적으로 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

기울어짐 모드와 y 방향의 안정성을 확보하기 위하여 프로그램을 이용해 스프링 강성값을 도출하였다. 질량중심과 y 방향의 체결지점을 고려하여 스프링을 제작하였다. 주파수 분석기에서 정현파 신호를 입력하여 가진기를 10~30Hz, 80~120Hz 까지 각각의 주파수로 가진한 후 가속도계를 이용하여 광픽업 주위의 가속도 신호를 획득하였다. Fig.7 은 스프링 변경 전,후의 변위에 대한 RMS 값(Root mean square value)을 나타낸다.

Fig.7 에 나타나는 것처럼 z 방향으로 가진하였기 때문에 면내방향에 비하여 면외 방향의 RMS 값이 큰 것을 확인할 수 있다.

스프링 변경을 통하여 데크 시스템의 스프링-댐퍼에 의한 고유진동수가 20Hz 부근으로 상향 이동





(c)

Fig.7 Comparison between original and re-designed model of the RMS: (a) x-direction; (b) y-direction; and (c) z-direction

하면서 이 주파수에서 RMS 값이 비교적 커지는 것을 확인할 수 있지만 그 외 모든 주파수에서 상대적으로 작아지면서 테크의 진동이 안정화되었다.

5. 음단절 한계 가속도

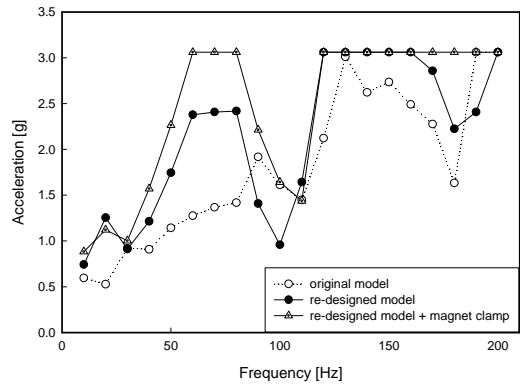
음단절 한계 가속도 실험은 자동차에 장착된 테크의 열악한 사용환경에 대한 작동 성능을 검증하기 위하여 데이터 취득 오작동이 발생하는 각 주파수의 가속도 범위를 확인하기 위한 실험이다.

진동 신호분석과 시스템 분석의 결과를 토대로 차량용 테크의 설계변경을 하였다. 테크의 굽힘변형의 상향 이동시키기 위하여 변형이 일어나는 직각방향으로 비드라인을 추가하였다. 유한요소프로그램을 이용하여 해석을 수행한 결과 224Hz 까지 상향 이동하는 결과를 확인하였다.

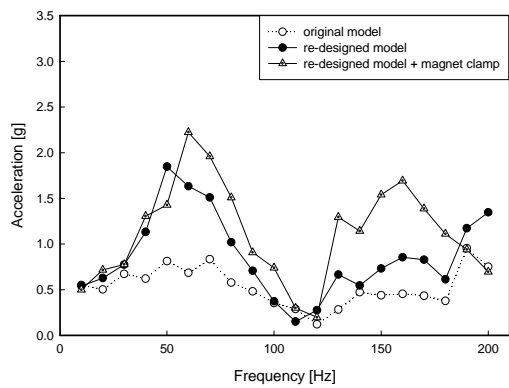
외장 프레임의 굽힘변형에 의한 영향을 최소화하기 위하여 체결지점의 강성을 증가시켜 200Hz 까지 상향 이동시켰다. 또한 기울어짐 모드와 y 방향의 강성을 고려하여 제작한 스프링을 체결하였고 광디스크와 광픽업의 상대거리를 최소화하기 위하여 설계 변경된 테크에 마그네틱 클램프를 부착하여 광디스크의 체결력을 증가시킨 후 음단절 한계 가속도 실험을 수행하였다. 실험결과는 Fig. 8 과 같다.

Fig.8 에 나타난 것처럼 내주와 외주의 성능의 차이가 발생하는 이유는 광픽업이 외주에 있을 때 내주에 비하여 광픽업과 광디스크의 상대거리가 증가하여 광픽업의 서보제어에 영향을 끼친다는 결론을 얻을 수 있다

테크의 설계 변경 전, 후의 성능을 비교하면 디스크의 공진 이전 주파수 영역에서 내, 외주 모두



(a)



(b)

Fig.8 Comparison of acceleration value of the sound discontinuation limit: (a)inner track (b)outer track

현격한 성능의 향상을 확인할 수 있고 디스크 공진 이후의 주파수에서 외장 프레임과 테크의 강성 증가로 고유진동수의 상향 이동으로 성능이 향상되는 결과를 확인할 수 있다.

또한 마그네틱 클램프를 체결하여 스핀들 모터와 후크부분의 체결을 견고히 하였을 경우 광디스크와 광픽업의 상대운동이 억제되면서 테크 시스템의 성능이 모든 주파수 영역에 걸쳐서 현격하게 향상되었다.

6. 결론

본 연구에서는 차량용 CD/DVD 테크의 진동 신호분석을 통하여 진동이 발생하는 주된 방향을 확인하였고 유한요소해석 프로그램을 이용한 모드해석과 시스템 분석을 통하여 고유진동수와 고유모드를 비교하여 상호 해석결과가 일치하는 것을 확인하였고 이러한 실험 분석 결과를 토대로 하여 차량용 테크의 성능 저하 원인을 분석

하였다.

테크의 기울어짐과 y 방향의 스프링 강성을 고려하여 테크의 설계 변경 전, 후에 대한 변위의 RMS 성분을 비교하여 테크의 안정화를 확인하였고 제품의 설계 변경 후 진동 저감과 더불어 테크의 동적인 성능이 향상되는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- (1) Chung, J., Park, J. M., Ro, D. S., 1997, "Optical Position of the Dampers in a CD-ROM Drive to Remove the Tilting vibration mode", Journal of Sound and Vibration, Vol. 7, No2, pp.393~399
- (2) Seo, J. K., Jeong, H. S., Park, K. H., 2000, "Analysis and Reduction of Subsidiary Resonance of an Optical Pickup Actuator", Transaction of the Korean Society of Mechanical Engineers(A), Vol. 24, No3, pp.728~734
- (3) Shin, K. S., Chung, J., Kim, W. S., 2004, "Dynamic Characteristics of an Optical Pick-up Actuator Considering the Motion of a Feeding Deck", Journal of Sound and Vibration, Vol. 14, No1, pp.10~16
- (4) Shin, C. H., Lee, D. C., Kim, W. H., Choi, T. J., Chung, J., 2004, "A Study on the Failure Analysis and Performance Improvement of a Decanter", Transaction of the Korean Society of Mechanical Engineers(A), Vol. 28, No5, pp.586~592