

< 기술논문 >

자동차용 CD/DVD 테크의 진동 저감 및 성능 향상에 관한 연구

박영필* · 정두한* · 정진태†

(2004년 12월 27일 접수, 2005년 5월 1일 심사완료)

A Study on the Vibration Reduction and Performance Improvement of the CD/DVD for the Vehicles

Youngpil Park, Duhan Jung and Jintai Chung

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

Abstract

Dynamic characteristics of CD/DVD deck for vehicle are analyzed in this paper. Generally CD/DVD deck for vehicle is used from inferior environment with the vibration of the vehicle, 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 메커니즘은 음악감상을 위한 CD와 영상 재생을 위한 DVD 용으로 출시되고 있는 카오디오 테크(deck)를 지칭하는 것으로, 최근 자동차 관련 산업 분야에서 시장성이 급부상하고 있는 추세이다. 자동차용 CD/DVD 테크는 광디스크 드라이브(optical disk drive)와는 달리 지반의 굴곡, 차체의 진동, 급출발, 급정지 등 자동차의 운전 여건에 따른 열악한 환경에서 사용되는 제품이므로 까다로운 고객의 요구조건을 만족시키기 위해서는 진동에 강인한 구조로 우수한 성능을 지니고 있어야 한다.

현재 외부충격에 의해서 발생하는 진동의 영향을 최소화하기 위해서 자동차용 테크에 오일 댐퍼(oil damper)를 이용한 방진기술(isolation), 메모리 칩을 이용한 전송 데이터의 저장기술 등을 사용하고 있다. 그러나 일부 특정 주파수 대역에서는 낮은 가진력에도 불구하고 데이터 취득 오작동 및

음질의 끊어짐 현상이 발생하고 있는 실정이다.

진동저감과 더불어 데이터 전송의 안정성을 확보하기 위한 방안으로 여러 가지 연구가 수행되었다. 트래킹 서보 제어에 악영향을 끼치는 테크의 기울어짐 운동을 제거하기 위한 방안으로 연성된 강성행렬을 대각행렬이 되도록 하는 댐퍼의 최적 위치 선정에 대한 연구가 chung⁽¹⁾에 의해서 수행되었다. 동흡진장치를 이용하여 테크의 동적 안정성을 확보하기 위한 연구는 Heo⁽²⁾ 등이 수행하였다. 또한 액추에이터의 제어성능 향상을 통해 데이터 전송의 안정성 확보를 위한 연구가 Seo⁽³⁾ 등에 의해서 수행되었다. 하지만 기존 연구의 대상은 CD-ROM, CD-RW, DVD-COMBO와 같은 외부의 충격력이 가해지지 않는 시스템의 이론적 해석 및 동특성 해석에 집중되어 본 연구대상에 동일하게 적용할 수 없는 한계성을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 특정주파수의 낮은 가진력에서 발생하는 음질의 끊어짐 및 오작동 원인을 규명하기 위해서 진동 신호분석과 시스템 분석을 수행하였다. 실험 결과를 바탕으로 시스템의 고유진동수와 고유모드를 확인하여 진동원인을 규명하였고, 유한요소해석 프로그램의 결과와 비교하였다. 또한 시스템의 구조 변경 전, 후의 음단절 한계 가속도 실험을 수행하여 특정주파수에 대한 성

† 책임저자, 회원, 한양대학교 기계정보경영공학부
E-mail : jchung@hanyang.ac.kr
TEL : (031)400-5287 FAX : (031)406-5550

* 한양대학교 대학원 정밀기계공학과

능향상을 검증하였다.

2. 진동신호분석(Signal Analysis)

자동차용 CD/DVD 테크의 개략적인 구조는 Fig. 1과 같다. 광디스크는 다이렉트 로딩(direct loading)되어 스피들 모터(spindle motor)와 클램프에 의하여 장착되고, 액추에이터와 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. 2에 도시된 실험장치를 바탕으로 자동차용 CD/DVD 테크의 신호 분석을 위하여 스피들 모터의 운전 속도영역(200~1000rpm)에서 회전수를 변화시키며 테크의 진동신호에 대한 일련의 파워 스펙트럼(power spectrum)을 계측하였다. 회전속도를 여러가지로 세분화하기 위해서 데이터가 기록된 규격디스크의 음원을 재생하는 방식으로 정속운전을 구현하였다. 규격디스크의 내주 및 외주에 이르는 트랙(track)의 정확한 회전수를 측정하기 위해서

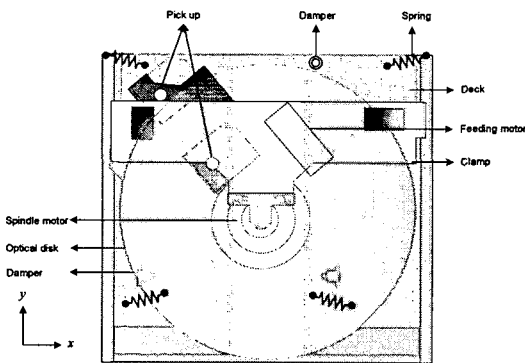


Fig. 1 Schematic of the vehicle deck

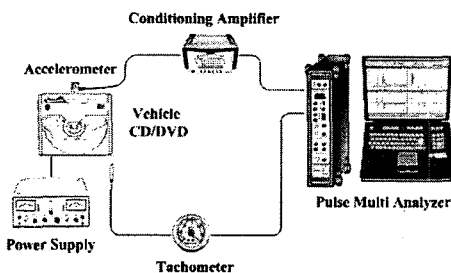


Fig. 2 Experimental set-up for the signal analysis

타코미터(tachometer)를 사용하였고, 계측된 신호는 주파수 분석기(pulse multi analyzer)를 이용하여 분석하였다. 또한 이러한 폭포도표(waterfall) 신호 계측으로부터 데이터를 획득하여 회전속도에 따른 전체적인 진동량을 평가하여 Fig. 3에 나타내었다.

픽업 주위의 테크에서 신호를 계측한 결과, x 방향의 경우 회전속도에 따른 1X 진동성분이 지배적으로 발생하였고 y, z 방향의 경우 1X 진동 성분뿐만 아니라 조화성분이 주되게 발생하였다. 본 연구의 대상인 CD/DVD 테크는 단위 시간당 일정한 분량의 데이터를 취득하기 위해서 외주로 갈수록 회전속도가 감소하는 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. 3에서 확인할 수 있다. 또한, 실험에서 구한 x, y, z 방향의 진동량은 비교해보면 y 방향의 진동량이 가장 크게 발생하는 것을 확인할 수 있다. 테크에 있는 스프링은 Fig. 1에 도시한 바와 같이 모두 x 방향으로 체결되어 있어 y 방향 강성효과가 적고, 댐퍼는 x 방향으로 2 개 z 방향으로 1 개가 있어 y 방향의 감쇠 효과는 거의 없다. 일반적으로 면내방향의 진동은 픽업의 트랙킹 제어에 영향을 끼치게 되므로 향후 테크의 안정성을 확보하기 위해서는 y 방향의 강성과 감쇠를 검토해야 함을 알 수 있다.

3. 모드해석

3.1 유한요소해석을 이용한 시뮬레이션

시스템 분석 실험을 하기 위해 앞서 유한요소해석 프로그램인 앤시스(Ansys)를 사용하여 모드해석을 수행하였다. 테크의 질량을 측정 후 실제 해석

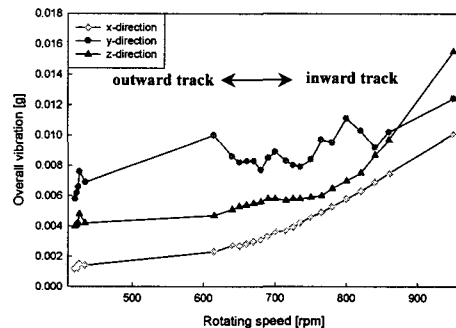
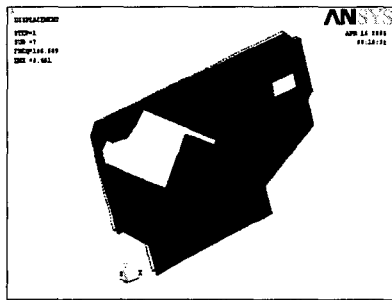
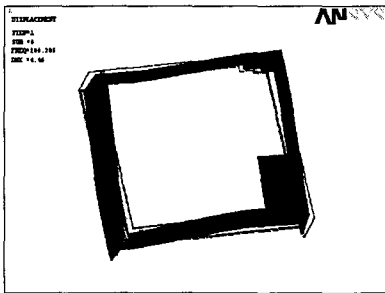


Fig. 3 Overall vibration of the deck

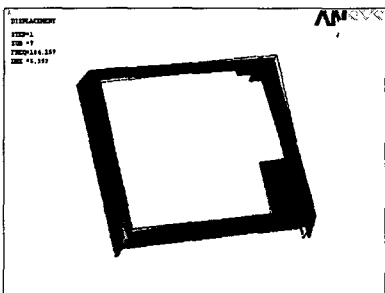
하기 위한 모델에 적용하여 Fig. 4 와 같이 고유진동수와 고유모드를 확인하였다. 유한요소해석 결과 테크의 1st 고유진동수는 187Hz 에서 굽힘 변형이 발생한다. 스프링-댐퍼로 테크를 지지하는 메인 프레임의 경우 1st 고유진동수는 104Hz, 2nd 고유진동수는 208Hz 이다. 이러한 굽힘변형에 의한 고유진동수는 자동차용 테크의 요구사항인 10~200Hz 의 주파수영역에서 광픽업의 오작동을 야기할 수 있을 뿐만 아니라 테크의 안정성 확보에도 악영향을 끼치게 된다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 4 Mode shapes of the deck and main frame :(a) 1st mode shape of the deck; (b) 1st mode shape of the main frame; (c) 2nd mode shape of the main frame

3.2 시스템 분석(System analysis)

3.2.1 테크의 시스템 분석

시스템 분석은 시스템의 고유한 특성을 추출하기 위하여 측정 가능한 힘으로 가진시키고 응답/입력 비를 계측하는 실험 방법으로 시스템 분석을 위하여 Fig. 5 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 획득하여 시스템의 물성치, 테크 시스템의 고유진동수와 고유모드를 추출하였다.

Table 1 은 시스템 분석 실험을 통하여 구한 각 방향에 대한 감쇠고유진동수를 사용한 강성계수와 Q-Factor 를 이용한 감쇠비를 나타내고 Table 2 는 차량용 CD/DVD 테크의 전체 시스템에 대한 고유진동수를 정리한 도표이다.

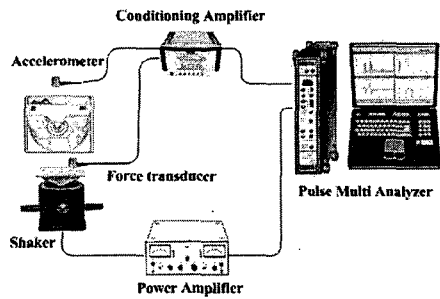


Fig. 5 Experimental set-up for the system analysis

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

	x direction	y direction	z direction
Stiffness [N / m]	998	1377	1552
Damping ratio	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
225Hz	Deck bending

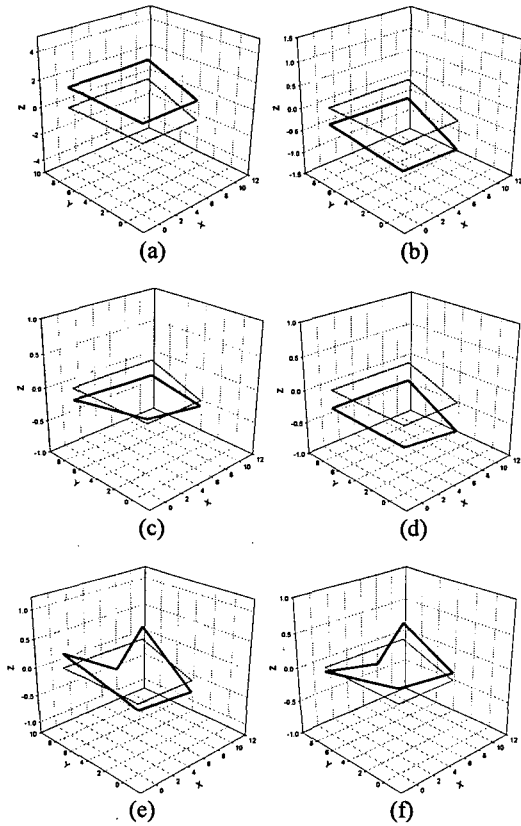


Fig. 6 Natural frequency and mode shape of the deck in the z-direction: (a) 17Hz; (b) 53Hz; (c) 93Hz; (d) 117Hz; (e) 187Hz and (f) 225Hz

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 93Hz 와 117Hz 에서 추가적인 고유진동수가 발생하는 것을 확인할 수 있고, 유한요소해석 결과와 마찬가지로 187Hz 에서 데크의 굽힘변형이 발생하는 것을 확인하였다.

상용프로그램을 이용한 시뮬레이션과 데크의 시스템 분석으로부터 데크의 안정성을 확보하기 위해서는 구조 변경을 통한 데크의 강성 증가와 더불어 질량-스프링 밸런스가 중요한 인자임을 알 수 있다.

3.2.2 메인프레임의 시스템 분석

데크는 메인 프레임에 스프링-댐퍼로 직접 연결

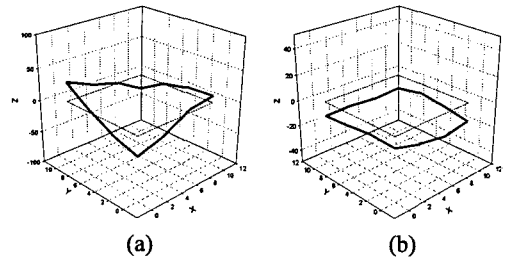


Fig. 7 Natural frequency and mode shape of the main frame: (a) 106Hz; (b) 201Hz

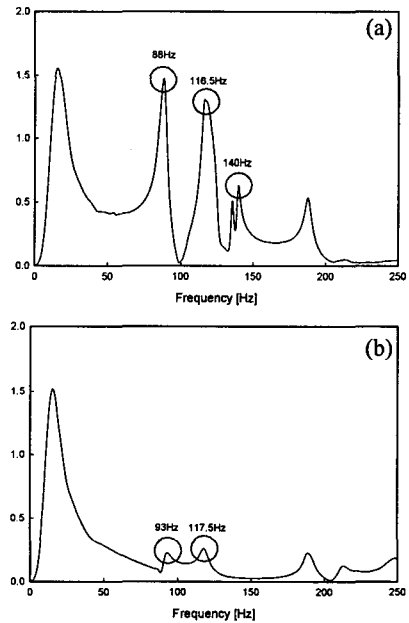


Fig. 8 Frequency response function: (a) the optical disk; (b) the deck

되어 있다. 따라서 운전영역에서 발생하는 메인 프레임의 굽힘변형은 데크의 성능에 악영향을 끼치게 되므로 데크의 안정성을 위해서는 구조강성을 검증해야 한다. 메인 프레임을 12 개의 지점으로 나누어 충격햄머(Impact Hammer) 실험을 수행하였다. 충격 햄머를 이용하여 메인 프레임의 시스템 분석을 수행한 결과 1st 고유진동수 106Hz 에서 굽힘변형을 나타내고 2nd 고유진동수 201Hz 에서 병진운동과 굽힘변형이 발생하는 것을 확인하였다. 실험결과로부터 얻은 메인 프레임의 고유모드형상은 Fig. 7 과 같다. 상용프로그램과 실험으로부터, 제품의 동적 안정성 및 성능을 향상시키기 위해서는 메인 프레임의 강성증가와 더불어 접합력 증가가 요구된다.

3.2.3 광디스크와 테크의 주파수 응답함수

Fig. 8은 광디스크가 스핀들 모터와 클램프에 의하여 체결되었을 때 픽업부분의 광디스크와 테크의 주파수 응답 함수의 크기를 나타낸다. 광픽업 부분 광디스크의 주파수 응답 함수 크기가 테크에 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 테크가 강제운동을 할 수 있도록 클램프의 체결력을 강화시키는 것이 필요하다는 결론을 얻을 수 있다.

4. 광디스크의 진동 저감 검증

Fig. 8에서 확인된 것처럼 광디스크와 테크의 주파수 응답함수를 비교하면 광디스크의 주파수 응답 함수 크기가 테크에 비하여 크게 발생하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 광픽업의 안정적인 제어를 위해서는 상대운동을 제거해야 한다. 광픽업의 제어성능에 커다란 영향을 끼치는 상대운동을 제거하기 위하여 가진기와 테크가 강제운동을 할 수 있도록 실험장치를 구성하였고 마그네틱 클램프(magnet clamp)를 스핀들모터와 후크부 사이에 체결하여 광디스크의 진동저감을 확인하였다. 마그네틱 클램프가 스핀들 모터에 체결된 상태의 주

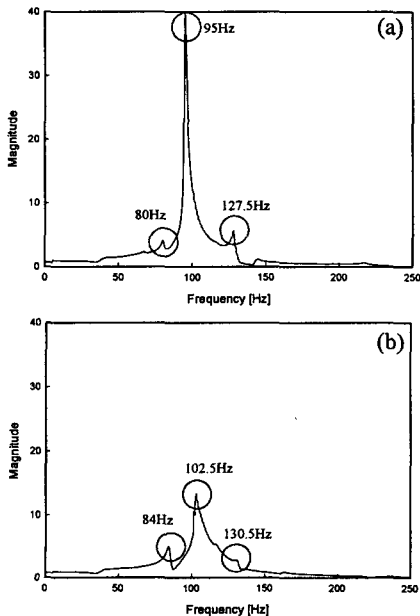


Fig. 9 Frequency response function of the disk: (a) before magnet clamp; (b) after magnet clamp

파수 응답함수의 크기는 Fig. 9 와 같다. 광디스크의 체결력을 강화하였을 경우 강성의 증가로 인해 고유진동수가 상향 이동하였고 광디스크의 진동이 64%이상 저감되는 것을 확인하였다.

5. 테크의 평형을 고려한 구조변경

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. 10은 스프링 변경 전, 후의 변위에 대한 RMS 값(Root mean square value)을 나타낸다.

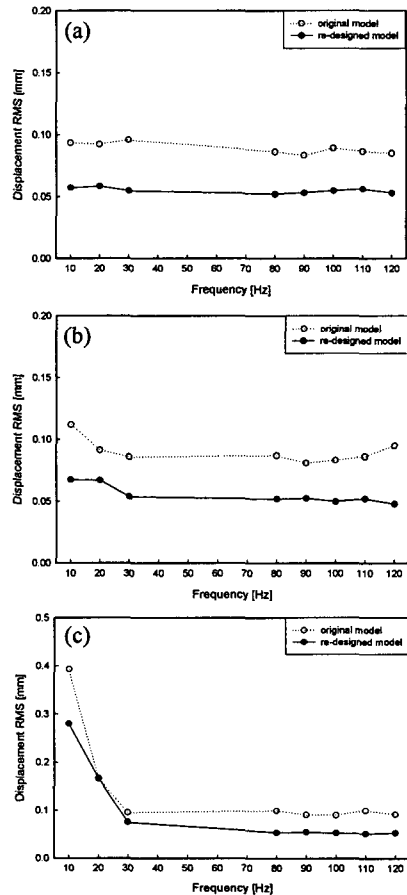


Fig. 10 Comparison between original and re-designed model of the RMS: (a) x-direction; (b) y-direction; and (c) z-direction

본 실험에서 가진의 방향은 면의 방향에 해당하는 z 방향이므로 면내 방향에 비하여 면의 방향의 RMS 값이 더 크게 나타난다.

스프링 변경을 통하여 데크 시스템의 스프링-댐퍼에 의한 고유진동수가 20Hz 부근으로 상향 이동하면서 이 주파수에서 RMS 값이 비교적 커지는 것을 확인할 수 있지만 그 외 모든 주파수에서 상대적으로 작아지면서 데크의 진동이 안정화 되었다.

6. 음단절 한계 가속도

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

진동 신호분석과 시스템 분석의 결과를 토대로 차량용 데크의 구조를 변경하였다. 데크의 굽힘변형에 대한 고유진동수를 상향 이동시키기 위하여 변형이 일어나는 직각방향으로 비드라인을 추가하였다. 유한요소프로그램을 이용하여 해석을 수행한 결과 224Hz 까지 상향 이동하는 결과를 확인하였다.

메인 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 구조 변경된 데크에 마그네틱 클램프를 부착하여 광디스크의 체결력을 증가시킨 후 음단절 한계 가속도 실험을 수행하였다. Fig. 11에 나타난 실험 결과처럼 내주와 외주의 성능의 차이가 발생하는 이유는 광픽업이 외주에 있을 때 내주에 비하여 광픽업과 광디스크의 상대거리가 증가하여 광픽업의 서보제어에 영향을 끼친다는 결론을 얻을 수 있다.

데크의 구조 변경 전, 후의 성능을 비교하면 디스크의 공진 이전 주파수 영역에서 내, 외주 모두 현격한 성능의 향상을 확인할 수 있다. 외주의 경우 디스크 공진 이후의 주파수, 특히 굽힘변형이 발생하는 180Hz 부근에서 메인 프레임과 데크의 강성 증가로 인한 고유진동수의 상향 이동으로 음단절 한계 가속도 성능이 62% 향상되었다.

또한 마그네틱 클램프를 체결하여 스핀들 모터와 후크부분의 체결을 견고히 하였을 경우 데크 시스템의 성능이 모든 주파수 영역에 걸쳐서 현격하게 향상되었고 특히, 180Hz 부근에서 음단절 한계 가속도 값이 300% 향상되었다.

7. 결론

본 연구에서는 차량용 CD/DVD 데크의 동특성을 파악하고 음질이 끊어짐 및 오작동이 발생하는 원인을 규명하였다. 또한 시스템의 구조해석을 수행하여 향후 신뢰성 있는 제품 개발을 위한 방안을 제시하였다.

(1) 데크의 성능을 향상시키기 위해서는 트랙킹 제어에 영향을 미치는 면내 y 방향의 강성과 감쇠 부족이 주된 인자임을 확인하였다.

(2) 데크의 동특성을 향상시키기 위해서는 주파수범위 10~200Hz 에 존재하는 데크와 메인 프레임의 고유진동수를 상향 이동시키기 위한 강성 증가가 필요하다.

(3) 데크의 구조 변경 전, 후에 대한 변위의 RMS 성분을 비교하여 데크의 안정화를 확인하였고 제품의 구조 변경 후 진동 저감과 더불어 데크의 동적인 성능이 향상되는 것을 확인하였다.

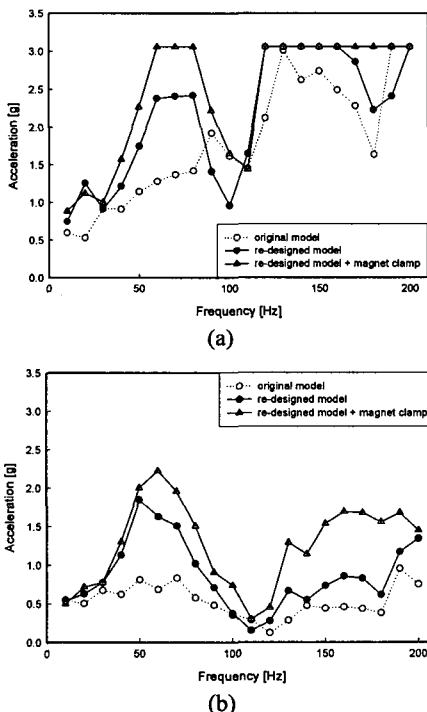


Fig. 11 Comparison of acceleration value of the sound discontinuation limit: (a)inner track; (b)outer track

참고문헌

- (1) Chung, J., Park, J.M. and Ro, D.S., 1997, "Optimal Position of the Dampers in a CD-ROM Drive to Remove the Tilting Vibration Mode," *Transaction of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 7, No. 3, pp. 393~399.
- (2) Heo, J.W., Park, J.M. and Chung, J., 2002, "Vibration Reduction of an Optical Disk Drive by Using Dynamic Absorber," *IEEE Transaction on Consumer Electronics*, Vol. 48, No. 4, pp. 874~878.
- (3) Seo, J.K., Jeong, H.S. and 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, No. 3, pp. 728~734.
- (4) Shin, K.S., Chung, J. and Kim, W.S., 2004, "Dynamic Characteristics of an Optical Pick-up Actuator Considering the Motion of a Feeding Deck," *Transaction of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 14, No. 1, pp. 10~16
- (5) Shin, C.H., Lee, D.C., Kim, W.H., Choi, T.J. and 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, No. 5, pp. 586~592.
- (6) Lee, D.J., Chung, J. and Ro, D.S., 1999, "Vibration Reduction of an Optical Disk Drive Using an Automatic Ball Balancer," *Transaction of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 9, No. 2, pp. 355~362.