

# 차량 탑재용 콤팩트 디스크 플레이어의 전달률에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study of the Transmissibility of Vehicle Compact Disk Player

이 태 근\* · 김 병 삼†

Tae-Keun Lee and Byoung-Sam Kim

(2005년 5월 10일 접수 : 2005년 6월 8일 심사완료)

**Key Words** : Mainbase Assembly(메인베이스부), Transmissibility(전달률), Vehicle Compact Disk Player(차량용 콤팩트 디스크 플레이어)

### ABSTRACT

This study investigates the 3-axis transmissibility of the vehicle compact disk player's mainbase which is supported by dampers and springs. These dampers and springs as the important element determining the vibration performance of vehicle compact disk player are used to minimize the vibration which is induced by driving the vehicle. In order to determine the analysis frequency band, we investigated the excitation frequency of road from the vehicle test. As the characteristics of damper and spring were changed, we carried out the vibration test and investigated the change of transmissibility. Also, we carried out the sensitivity analysis for transmissibility and we found out that the properties of damper were the dominant element in the vibration performance of vehicle compact disk player.

### 1. 서 론

컴팩트 디스크 플레이어(compact disk player : 이하 "CDP"라고 함)는 디스크에 작은 피트로 기록된 신호를 광 픽업(pick-up)이 비접촉으로 읽어 재생하는 장치이다. CDP의 가장 중요 기능은 음의 재생이며 CDP의 진동성능에 따라 차량 주행중 발생하는 진동에 의해 음의 재생성이 저하될 수 있다. 이러한 성능을 진동음비(sound skip)라 정의하며, 광 픽업과 구동 시스템을 포함한 메인베이스부(mainbase assembly)의 진동특성과 픽업을 구동하는 서보제어(servo control)에 의해 성능이 좌우된다. 대부분의 진동음비는 시스템의 고유진동수에서 급격한 성능저하를 보이

고 있으며 이에 대한 회피설계 및 방진설계가 매우 중요하다.

초기의 CDP는 진동이나 충격에 매우 취약하였으나, 서보(servo)제어기술이나 메모리 장치의 발달로 인해 CDP가 진동이나 충격에 견딜 수 있는 한계를 대폭 증가시켰고 현재의 CDP는 가정용으로부터 휴대용이나 차량용으로 까지 그 사용범위가 확대되고 있다. 그러나 CDP가 진동이나 충격에 강해졌다고 하지만 CDP의 동작원리 및 특성을 고려해 볼 때 차량에 CDP를 탑재하고 사용할 때 노면으로부터 CDP에 작용하는 진동이나 충격조건은 대단히 가혹한 조건이다.<sup>(1)</sup> 따라서 차량 주행시 발생하는 진동이 차량에 탑재된 CDP에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 광 픽업을 포함한 CDP의 구조물, 즉 메인 베이스부는 스프링과 댐퍼로 지지되어 있다. CDP를 지지하는 댐퍼와 스프링의 위치 및 물성은 CDP의 진동성능을 좌우하는 중요한 요소이며 노면에 의해 발생하는 진동의 지배적인 주파수와 메인 베이스부의 고유진동수가 일치되지 않도록 하여 광 픽업에 전달되는 진동

† 책임저자 : 정희원, 순천제일대학 자동차기계과  
E-mail : anvkbs@suncheon.ac.kr  
Tel : (061) 740-1309, Fax : (061) 742-3027

\* 삼성전기(주) RF사업부 Speaker\_CDD그룹

전달률을 최소화하여야 한다.

이 연구에서는 주행하는 차량에 탑재된 CDP의 메인 베이스부에 있어서 댐퍼와 스프링에 의해 지지되는 구조물에 대한 전달률을 파악하였다. 실차시험을 통해 CDP장착위치에서 노면에 의해 발생하는 진동의 지배적인 주파수를 파악하였으며, CDP를 지지하는 댐퍼와 스프링의 물성변화에 따른 전달률의 변화를 조사하였다.

## 2. 진동전달률의 정의

Fig. 1은 차량 탑재용 CDP의 구조를 보이고 있다. Fig. 1과 같은 차량 탑재용 CDP의 구조에 있어서 CDP 진동성능을 좌우하는 중요한 요소는 광 픽업을 포함한 메인 베이스부이다. 전달률 측정을 위한 가진 방향은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 상하(z), 전후(y), 좌우(x)와 같이 정의한다. 각 가진 방향에 대한 메인 베이스의 전달률을 정의하기 위해 다음과 같은 1자유도 모델을 고려한다.

Fig. 2의 모델에 대한 운동방정식은 식 (1)과 같다.

$$m\ddot{x} + c(\dot{x} - \dot{x}_b) + k(x - x_b) = 0 \quad (1)$$

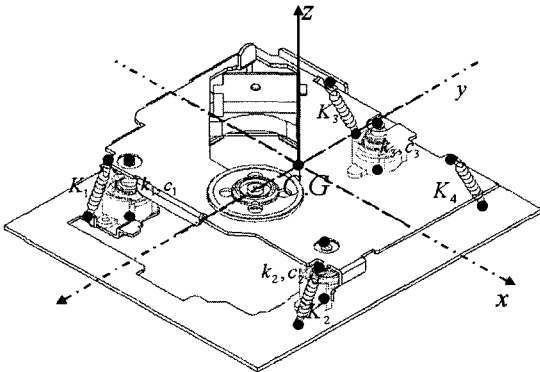


Fig. 1 Structure of vehicle compact disk player

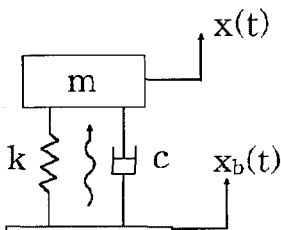


Fig. 2 Vibration model to introduce transmissibility

여기서,  $\omega$ 를 가진 주파수이고,  $x(t)$ 와  $x_b(t)$ 를 식 (2)와 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} x &= X \cdot e^{i\omega t} \\ x_b &= X_b \cdot e^{i\omega t} \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)을 대입하면 식 (1)은 식 (3)과 같이 정리된다.

$$(-m\omega^2 + ic\omega + k)X = (ic\omega + k)X_b \quad (3)$$

따라서, 진동전달률(transmissibility)은 식 (4)와 같이 정의할 수 있다.<sup>(2)</sup>

$$TR = \left| \frac{X}{X_b} \right| = \frac{\sqrt{1 + [2\zeta(f/f_n)]^2}}{\sqrt{[1 - (f/f_n)^2]^2 + [2\zeta(f/f_n)]^2}} \quad (4)$$

여기서,  $f$ 는 가진 주파수이고  $f_n$ 은 시스템의 고유진동수이다.

## 3. 실험 및 결과 고찰

### 3.1 노면에 의해 가진되는 주파수 파악

차량은 여러 가지 노면을 주행하게 되며, 노면의 특성에 따라 여러 가지 주파수로써 차량을 가진하게 된다. 이에 따라 CDP가 장착되는 위치에서 노면가인에 의해 발생하는 진동특성을 고려하여 설계하는 것이 필요하다. 이 연구에서는 자동차가 주로 주행하는 아스팔트(asphalt) 노면과 CDP의 실차 성능평가에 이용되는 벨지안(belgian road) 노면을 주행할 때 CDP가 장착되는 위치에서의 상하/전후/좌우방향 진동을 측정하였다.

Fig. 4는 50 km/h로 주행시 노면으로부터 CDP 장착 위치에 가해지는 주파수 특성을 보이고 있다. 여기서 S/S는 CD 삽입방향을 기준으로 좌우방향, F/B는 전후방향, U/D는 상하방향을 의미한다. Fig. 4로부터 관심 주파수 대역을 500 Hz 이내로 선정하였다. Table 2는 측정방향에 따른 진동량을 보여 준다. 노

Table 1 Test road & condition

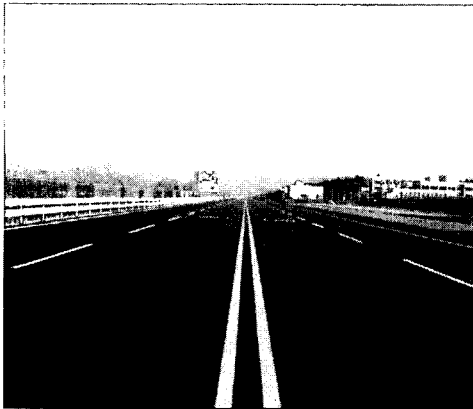
Road	Test speed	Usage
Asphalt	50 km/h	-
Belgian	30~50 km/h	Ride, NVH, Endurance test

면의 특성에 따라 측정 방향별 진동량이 변화함을 볼 수 있다.

### 3.2 전달률 측정 및 고찰

#### (1) 진동 전달률(transmissibility) 측정

이 연구에서는 외부로부터 입력되는 진동에 대한 메인 베이스부의 진동 전달률 측정을 수행하였다. 외부로부터 가진되는 진동원으로는 가진기(exciter)를



(a) Asphalt



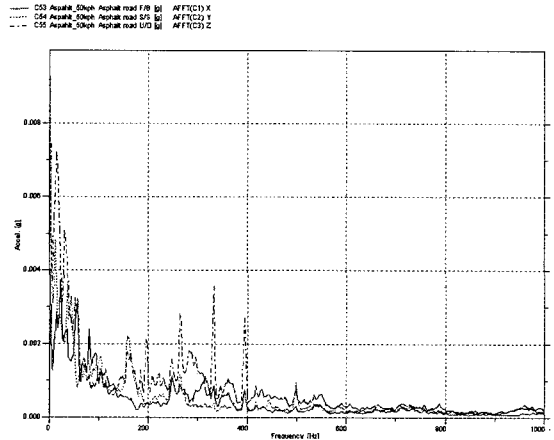
(b) Belgian road

Fig. 3 Photograph of test road

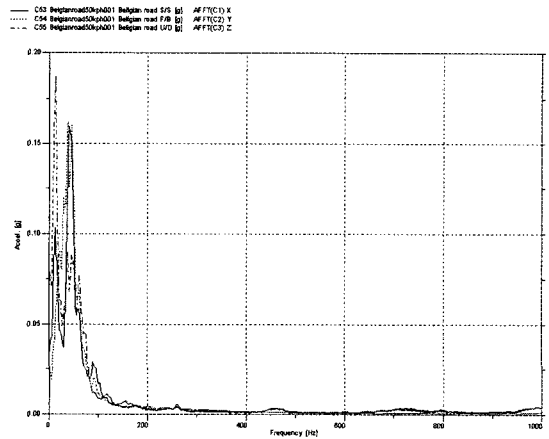
Table 2 The measured vibration level for each direction(50 km/h)

Road	Direction	Maximum	RMS
Asphalt	S/S	0.077G	0.018G
	F/B	0.049G	0.013G
	U/D	0.081G	0.024G
Belgian	S/S	1.726G	0.377G
	F/B	2.021G	0.418G
	U/D	1.952G	0.394G

이용하였으며, CDP의 CD 삽입부를 기준으로 상하/전후/좌우방향으로 가진하였다. 메인 베이스부를 지지하고 있는 댐퍼와 스프링의 영향을 조사하기 위하



(a) Asphalt road (50 km/h)



(b) Belgian road (50 km/h)

Fig. 4 Frequency characteristics of vibration at CDP mounting position when vehicle driving

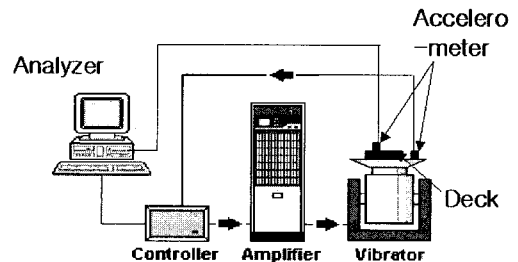


Fig. 5 Experimental setup for transmissibility test

여 댐퍼와 스프링의 특성을 변경하며 전달률을 측정하였다. Fig. 5는 전달률 측정을 위한 실험장치도이다.

분석기(analyzer)로부터 외부 진동입력에 대한 가진 주파수와 진폭에 대한 정보가 제어기(controller)에 전달된다. 전달된 신호는 증폭기(amplifier)에 의해 증폭되고 가진기를 구동시키게 된다. 가진되는 정보를 얻기 위해 가진기에 설치된 수직판/수평판(slip table) 위에 가속도계를 설치하였고, 메인 베이스부의 질량중심 및 픽업에서의 전달률을 구하기 위해 가속도계를 설치하였다. 노면주행시 CDP에 전달되는 가해지는 주파수 측정결과로부터 관심주파수 대역을 500 Hz 이내로 선정하였으며, 가진 신호는 5~500 Hz, 1G의 스위프사인(sweep sine)을 사용하였다. 또한, 픽업의 위치는 진동성능에 가장 약조건인 최외주에 위치하게 하였다. 특히, 전달률에 대한 스프링과 댐퍼의 영향을 파악하기 위해 스프링의 강성과 댐퍼의 점도 및 댐퍼 고무의 경도를 변경시키며 실험을 수행하였다.

Fig. 6은 질량중심과 픽업에서의 상하방향 전달률과 기여도(coherence)를 보이고 있다. 메인베이스부 질량중심에서의 전달률은 21 Hz와 345 Hz 주파수 대역에서 피크를 가지고 있으며, 이는 모드 해석(modal

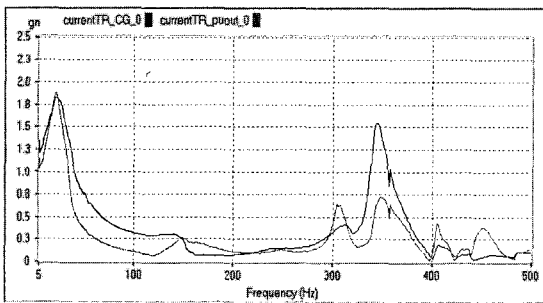
analysis)으로부터 구한 고유진동수와 일치한다. 픽업에서의 전달률은 메인베이스부에서 나타난 피크 외에 304 Hz에서 피크를 가진다. 이는 픽업의 이송부(feeding system)에 대한 고유진동수로 판단된다.

Fig. 7은 전후/좌우방향의 전달률 측정결과이다. 좌우방향 전달률에서도 픽업의 이송부(feeding system)에 대한 영향을 볼 수 있으나, 전후방향에서는 소멸하였다.

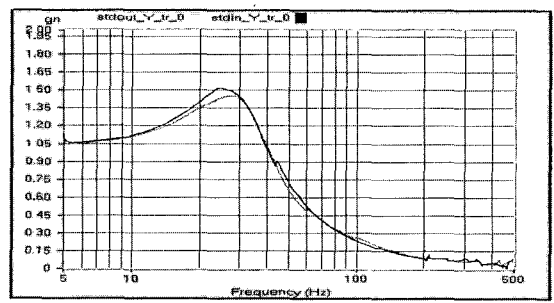
(2) 진동 전달률에 대한 설계인자의 영향도

광픽업을 포함하는 메인베이스부의 진동성능과 관련된 설계인자로는 스프링과 댐퍼가 있다. Fig. 1의 스프링  $k_1 \sim k_3$ 와  $K_1 \sim K_4$ 는 메인베이스의 자중과 외부의 변위에 따른 댐퍼의 영구변형을 방지하고, 정지시에 정적평형위치를 유지하기 위한 목적으로 사용되며 상하방향 변위가 발생시에 정적평형위치로의 복귀를 용이하게 하기 위해 적절한 물성의 조합으로 설계된다. 이와 더불어 외부로부터의 가진력에 따른 기울어짐 진동모드(tilting vibration mode)나 비틀림 진동모드(torsional vibration mode)를 최소화하도록 스프링의 위치를 선정하게 된다.

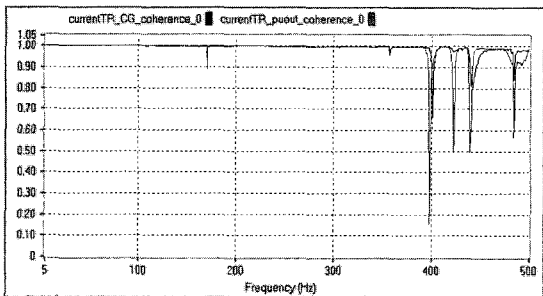
오일댐퍼는 외부로부터의 진동이나 충격력을 감소



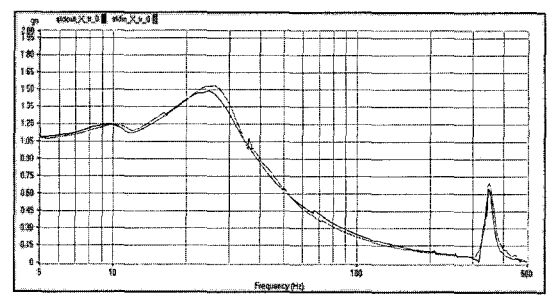
(a) Transmissibility in up-down(z) direction



(a) Front-back(y) direction



(b) Coherence in up-down(z) direction



(b) Side-side(x) direction

Fig. 6 Transmissibility and coherence at C.G of mainbase system and pick-up

Fig. 7 Transmissibility in the front-back and side-side direction

하는 기능을 가지며, Fig.1과 같은 고무형상을 가진 고무 본체내에 점성이 큰 오일을 봉입한다. 메인베이스와 댐퍼는 메인베이스에 부착된 축(shaft)으로 연결되며, 외부력에 의한 변형에 따라 이 고무본체가 변형하여 내부의 오일점성에 의한 에너지 손실을 유발하여 감쇠효과를 일으키게 한다. 오일댐퍼의 위치 선정시에는 메인베이스의 질량중심과 댐퍼의 3지점의 도심이 일치하도록 하여 기울어짐 진동모드를 방지한다.<sup>(3)</sup>

이 연구에서는 진동 전달률에 대한 설계인자의 영향도를 조사하기 위해 픽업을 포함한 메인베이스와 관련된 스프링과 오일댐퍼의 물성을 변화시키며 실험을 수행하였다. 실험결과, 이 연구에 사용된 CDP의 고유진동수는 20~30 Hz 사이에 존재하고 설계특성을 고려한 경우의 스프링 변화를 통해서 이 주파수 대역을 벗어날 수 없기 때문에 고유진동수의 이동보다는 이 주파수 대역에서의 전달률 변화에 대해 중점적으로 고찰하기로 한다.

가. 스프링의 영향

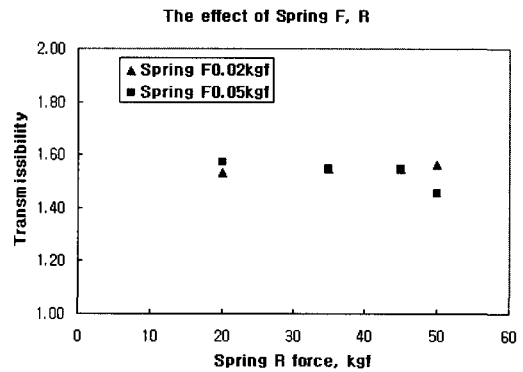
스프링의 영향을 조사하기 위해 Fig.1에 나타난 K1, K2 스프링을 Spring F로, K3, K4에 대한 스프링을 Spring R 이라고 정의하고, k1, k2는 Spring-damper F로, k3는 Spring-damper B로 정의하였다. 여기서 스프링력(spring force)은 일정 변위를 발생시키는 데 필요한 힘을 의미한다. Table 3은 실험에 사용된 스프링력이다.

Spring R 증가에 따라 상하방향 전달률은 증가하고, Spring F의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. 전후방향의 경우, Spring F의 증가에 따라 전달률은 감소하였고, 좌우방향 전달률은 동일하였다. 이는 스프링에 가해지는 가진력의 방향 및 스프링의 작용위치에 기인된 결과이다. 또한 Spring F 및 R이 50 gf로 동일할 때 전달률은 다른 조합에 비해 전반적으로 낮은 값을 보였다(Fig. 8). 메인베이스를 지지하고 있는 Spring-damper의 스프링력의 변화는 상하방

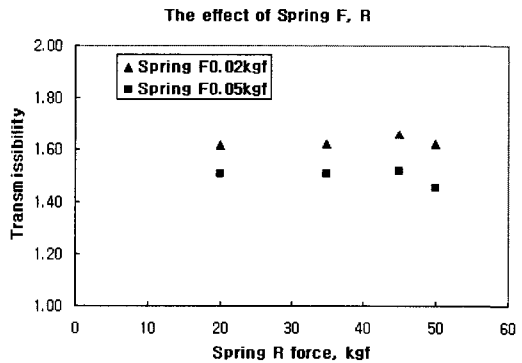
Table 3 Used spring and spring force

Spring	Spring force(kgf)
Spring F	0.02, 0.05
Spring R	0.02, 0.035, 0.045, 0.05
Spring-damper F	0.07, 0.10, 0.12
Spring-damper B	0.07, 0.10, 0.12

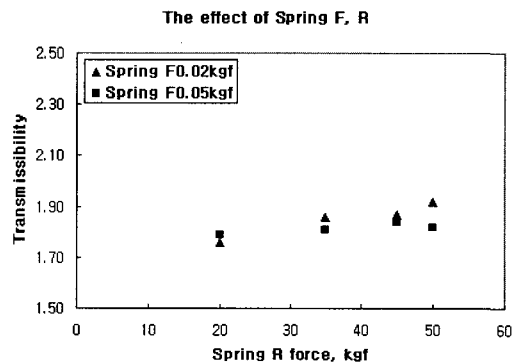
향의 전달률에 민감함을 볼 수 있다. 이는 스프링의 특성이 상하방향으로 설치된 압축코일 스프링에 기인한 효과로 판단된다. 상하방향 전달률은 Spring-damper F와 B의 스프링력이 동일한 조합에서 낮게 나타난다. 이는 Spring-damper의 3지점의 도심과 질량중심의 일치하고 정적으로 평형상태에 위치함을 의



(a) x-direction

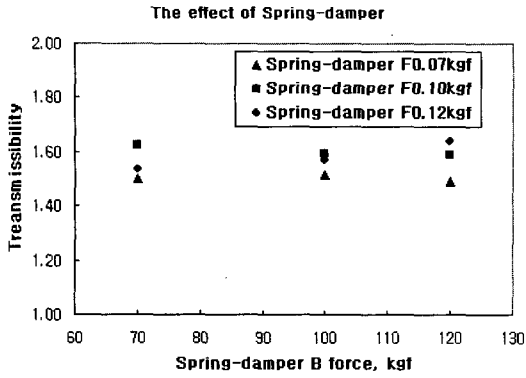


(b) y-direction

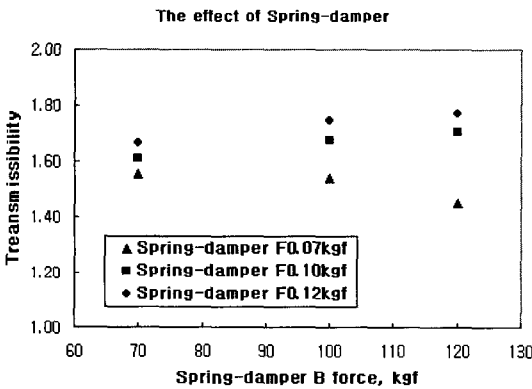


(c) z-direction

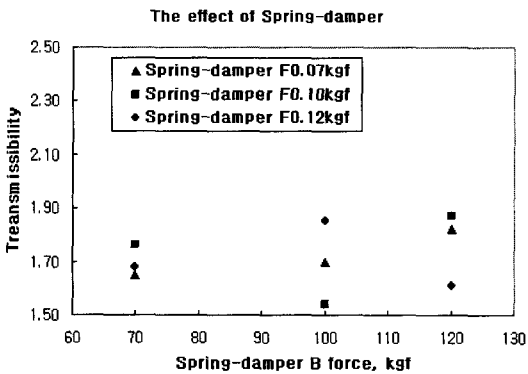
Fig. 8 The effect of spring F and spring R for transmissibility



(a) x-direction



(b) y-direction



(c) z-direction

Fig. 9 The effect of spring-damper F and B for transmissibility

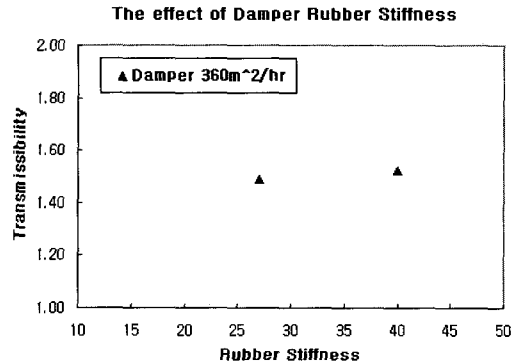
Table 5 used oil damper

Items	Characteristics
Rubber hardness	25, 40
Viscosity(m <sup>2</sup> /hr)	108, 360, 540

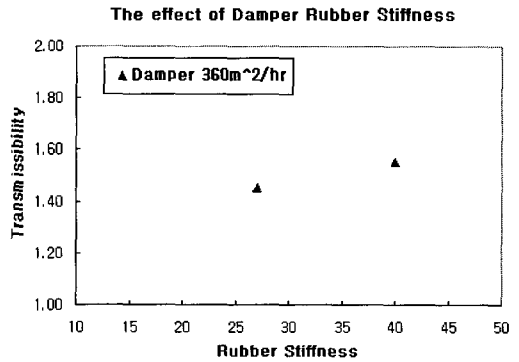
미한다. 이 경우 스프링력이 100 gf인 경우가 최적의 전달률을 가진다. 전후/상하방향 전달률은 스프링력이 120 gf인 경우, Spring-damper F 및 B의 증가에 따라 증가함을 볼 수 있다(Fig. 9).

나. 오일댐퍼(oil damper)의 영향

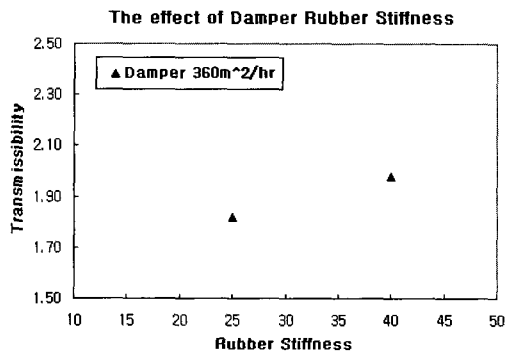
오일댐퍼의 영향을 조사하기 위해 댐퍼고무의 경도와 점도를 Table 5와 같이 변경시키며 실험을 수행하였다.



(a) x-direction



(b) y-direction



(c) z-direction

Fig. 10 The effect of damper rubber hardness for transmissibility

오일댐퍼의 고무경도 증가에 따라 3방향 전달률이 증가하였다. 이는 댐퍼의 크기와 형상의 특성상, 메인 베이스와 댐퍼를 연결하는 축(shaft)이 외부진동에 의해 댐퍼의 고무 본체와 접하기 때문에 발생하는 것

으로 판단되며 보다 부드러운 고무를 사용하는 것이 진동성능 측면에서 바람직 할 것으로 판단된다. 또한, 댐퍼의 점도 증가는 전달률을 급격히 감소시키는 효과를 볼 수 있다(Fig. 10, 11). 오일댐퍼의 점도 증가는 고유진동수 대역의 진폭을 크게 감소시키는 효과가 있으나, 300 Hz 이상의 주파수 특성이 열세로 나타나고 있어(Fig. 12) 점도 선정 과정에 있어서 주의 를 기울여야 할 것으로 판단된다.

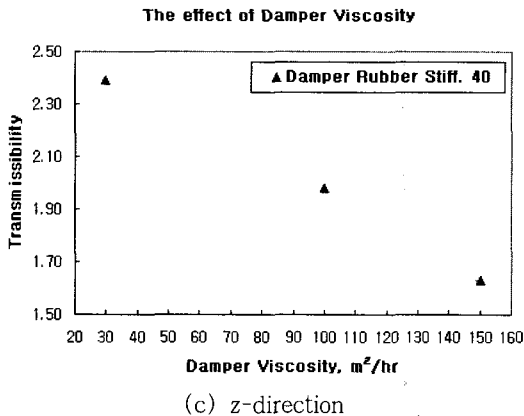
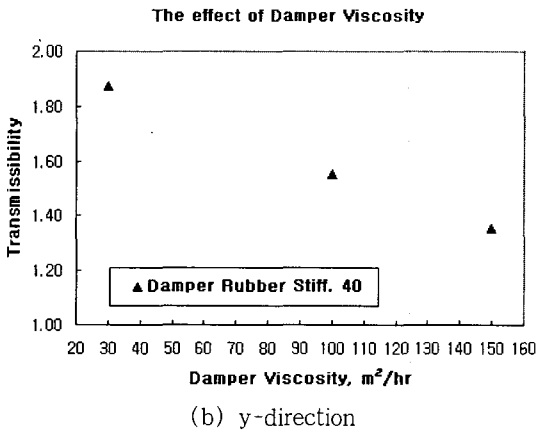
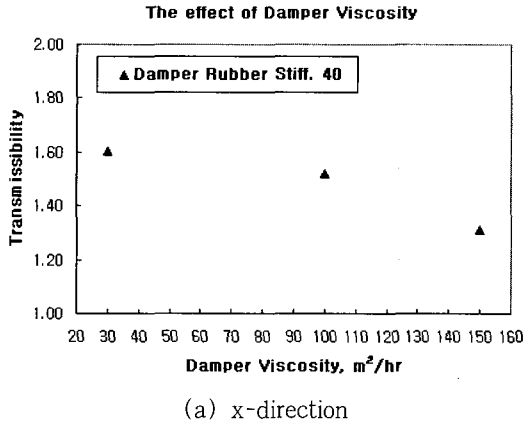


Fig. 11 The effect of damper viscosity for transmissibility

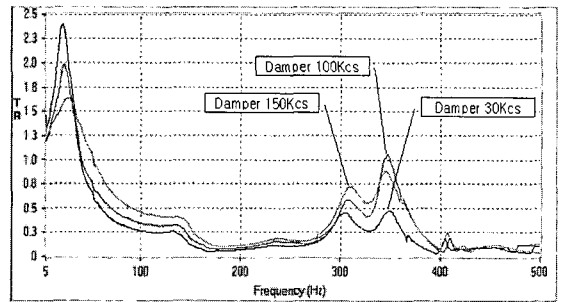


Fig. 12 The transmissibility according to increased damper viscosity

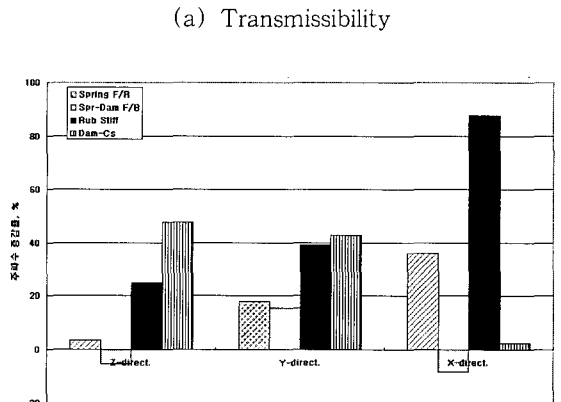
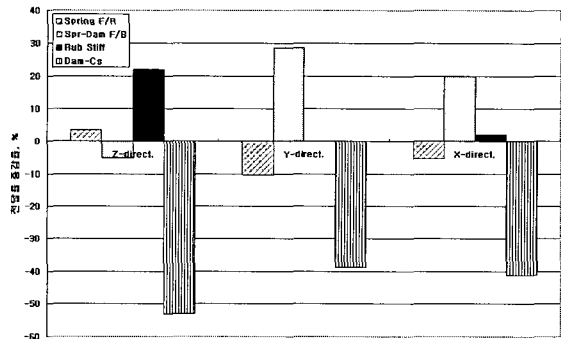


Fig. 13 The sensitivity analysis for spring & damper

### 3.3 진동전달률에 대한 설계인자 민감도 분석

CDP의 메인베이스 진동과 관련된 설계인자의 진동 전달률에 대한 민감도 분석을 위해 Spring F, Spring R, Spring-damper F, Spring-damper B, Oil damper의 고무경도 및 오일점도를 각각 2.5배 증가시켜 전달률을 측정하였다.

상하방향의 경우 댐퍼의 점도, 댐퍼고무의 경도가 전달률 특성에 가장 민감하게 작용함을 볼 수 있다. 전후/좌우방향의 경우에는 댐퍼의 영향도가 상대적으로 감소하였고 댐퍼고무의 영향은 없는 것으로 분석되었으며, 스프링의 영향은 증가함을 볼 수 있다(Fig. 13(a)). 메인베이스의 병진운동에 대한 고유진동수도 전달률과 유사한 경향을 나타냄을 볼 수 있다(Fig. 13(b)). 이러한 결과는 가진방향에 대한 댐퍼나 스프링의 설치방향에 따른 영향이 크게 작용하기 때문으로, 이 연구에 사용된 CDP와 유사한 구조에서는 댐퍼와 스프링의 설치방향에 따라 진동저감효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

전달률의 감소를 위해서는 댐퍼의 점도를 변경시키는 것이 가장 효과적이며, 주파수 변경을 위해서는 댐퍼점도, 댐퍼고무의 경도를 변경시키는 것이 효율적임을 알 수 있다. Fig. 13에서 '+'는 전달률의 증가, '-'는 감소를 의미한다.

## 4. 결 론

차량 탑재용 콤팩트 디스크 플레이어의 전달률에 대한 실험결과로부터 스프링과 댐퍼의 특성변경에 따른 진동 전달률 특성을 파악하였고, 최적의 전달률을 가지는 스프링조합 및 댐퍼조합을 제시할 수 있게 되었다. 또한, 전달률에 대한 스프링과 댐퍼의 설계인자 민감도 해석을 수행하였으며, 오일 댐퍼의 물성이 큰 영향을 미치고 있음을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

- (1) 손진승 외3, 1997, "차량탑재용 CD 플레이어의 방진설계", 한국소음진동공학회논문집, 제 7 권, 제 6 호, pp. 894~898.
- (2) Inman, D. J., Engineering Vibration, Prentice-Hall International, Inc., pp. 73~76.
- (3) 정진태 외2, 1997, "기울어짐 진동모드 제거를 위한 CD-ROM 드라이브의 댐퍼최적 위치", 한국소음진동공학회논문집, 제 7 권, 제 3 호, pp.393~399.
- (4) Ewins, D. J., Modal Testing : Theory and Practice, Research Studies Press.