

# 차량 탑재용 CD 플레이어의 방진 설계

손진승 · 김규출 · 방정훈 · 오상경

(삼성전자 기술총괄)

## 1. 머리말

CD(compact disk) 플레이어는 디스크에 기록된 작은 피트로 기록된 신호를 광 픽업이 비접촉으로 읽어내어 재생하는 장치로 CD 플레이어가 처음으로 개발되었을 당시 CD 플레이어는 진동이나 충격에 매우 취약하여 전시장에서 진동이나 충격에서 격리된 유리 상자 안에 조심스럽게 전시될 정도였다.

그러나 근래에 들어서의 서보제어등 기술의 발달은 CD 플레이어가 진동이나 충격에 견딜 수 있는 한계를 대폭 증가시켰으며 이에 따라 CD 플레이어는 좀더 열악한 진동이나 충격 환경 하에서도 사용할 수 있게 되어 현재에 와서는 휴대용이나 차량 탑재형으로 까지 그 사용 범위가 확대되고 있다.

비록 현재의 CD 플레이어가 진동이나 충격에 있어서 과거의 CD 플레이어 보다 강해졌을 뿐 아니라 CD 플레이어가 장착되는 차량도 주행중 탑승자나 탑재 장치들이 받는 진동이나 충격이 최소화 되도록 만들어졌지만 CD 플레이어의 동작원리 및 특성상 차량의 주행중 진동이나 충격은 악조건이 아닐 수 없다. 따라서 이들이 적절한 진동에 대한 대책이 없이 차량과 같이 심한 진동과 충격이 발생하는 곳에 사용된다면 CD가 재생되는 도중 음이 끊기거나 음의 재생 자체가 불가능해지게 된다. 차량 탑재용 디스크 플레이어의 최대 문제는 이러한 진동에 의한 음비(音飛, skipping) 현상을 극복하는 것이다.

차량 탑재용으로는 한 장의 CD 만을 재생하는 CD 플레이어와 여러장의 CD를 메거진에 보관하고 있다가 사용자가 정해진 순서

따라 CD를 바꾸면서 재생하는 CD 체인저가 있는데 차량 탑재형 CD 플레이어나 CD 체인저가 운행중인 차량과 같은 열악한 진동 환경에서 성능을 발휘하기 위해서는 환경을 고려한 방진 설계가 필수적이다.

본 글에서는 차량 탑재형 CD 체인저를 중심으로 차량 탑재형 디스크 플레이어의 방진 설계 절차 및 CD 체인저의 방진장치로 가장 적합한 오일 댐퍼의 특성과 그 설계법에 대하여 기술하고자한다.

## 2. 방진 설계의 순서

그림 1은 차량 탑재형 CD 체인저의 개략도이다. 차량 탑재형 CD 체인저는 재생부와 여러장의 디스크를 저장하는 메거진으로 구성된 데크부, 진동 절연 요소인 스프링과 댐퍼, 이를 지지하는 브라켓과 커버샤시로 구성되는데 진동과 충격에 잘 견디기 위해서는 기본적

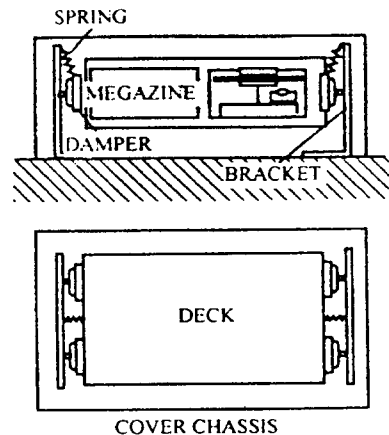


그림 1 Suspension structure of car CD changer

으로 데크부와 커버샤시가 충분한 강성을 가져야할 뿐 아니라 스프링과 댐퍼로 구성되는 진동 절연 요소가 사용 진동 환경과 세트의 특성에 맞게 적절히 설계되어야 한다.

진동 절연 요소를 적절히 설계하기 위해서는 그림 2의 순서도에 표시된 것과 같은 과정을 따르는 것이 좋다. 차량 탑재형 CD 체인저의 사용환경을 조사하고 방진이 되지 않은 상태에서 데크가 견딜 수 있는 진동의 크기를 미리 측정하여 방진 목표를 세우고 여기에 맞는 방진 요소를 설계한다. 이렇게 설계된 세트가 미리 조사된 진동 환경에서 충분히 성능을 발휘하는지를 검토하고 차량에 장착된 상태에서 주행 시험을 하여 실제 사용조건에서 문제점을 찾아 개선한다.

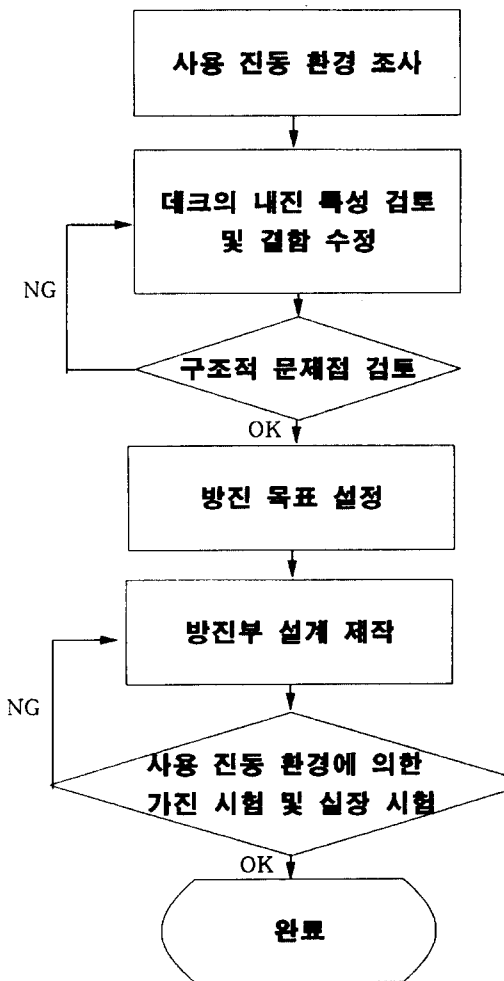


그림 2 방진설계의 순서도

### 3. 방진 요소의 설계

#### 3.1 방진 목표의 설정

차량 탑재용 CD 체인저의 방진설계를 하기 위해서는 우선 사용환경, 즉 진동 환경에 대한 조사가 필요하다. 사용환경이 미리 표준화되어 규정되어 있다면 그 것을 그대로 사용해도 무방하지만 그렇지 않을 경우에는 CD 체인저가 장착될 수 있는 다양한 종류의 차량이 포장 도로 및 비포장 도로, 각종 장애물 등을 통과할 때를 비롯한 여러 종류의 도로를 다양한 속도로 달릴 때의 진동 및 문과 트렁크의 여달음에 의한 진동을 CD 체인저가 부착되는 위치에서 직접 측정한다.

다음으로는 방진설계의 대상이 되는 CD 체인저에 대한 내진 한계를 조사해야한다. 내진 한계는 방진을 하지 않은 데크를 고정 지그를 사용하여 가진기 위에 설치하고 관심 주파수 대역에서 각 주파수 마다 음비 현상 (skipping phenomenon) 이 발생하지 않고 디스크에 기록된 신호가 재생될 수 있는 진동 레벨을 측정함으로써 얻을 수 있다. 관심 주파수 영역은 자동차가 주행할 때 CD 체인저가 설치된 부위에서의 진동은 낮은 주파수가 대부분이므로 150 Hz 이하면 충분하다. 관심 주파수 대역에서의 내진 한계를 여러 개의 데크에 대해 좁은 주파수 간격으로 구하려면 시간과 노력이 많이 요구되므로 가능하면 이 과정을 자동화 하는 것이 좋다. 자동화를 하는데 있어서 가장 어려운 점은 음비 현상이 발생하였는지를 자동적으로 판단하게 하는 것인데, 측정 시작 주파수에서 낮은 진동 레벨로 가진하면서 일정한 주파수가 기록된 테스트 CD를 사용하여 신호를 재생시키고 음성 출력단에 카운터를 연결하여 컴퓨터로 카운터를 계속 모니터링하여 디스크에 기록된 신호가 이상없이 재생되는지를 판단한다. 이상이 없으면 가진기 콘트롤러를 컴퓨터로 제어하여 재생신호에 이상이 발생할 때 까지 가진 레벨을 지속적으로 올려 이상이 발생하기 시작하는 진동레벨을 구하고 다음 주파수로 이동하는 과정을 반복하도록 하면된다.

이 때 방진부를 제외한 데크의 구조가 결함이 있거나 강성이 부족하면 내진 한계가 비정상적으로 내려가게 되는데 이 과정을 통하여

취약한 부분을 보완한다.

사용 환경과 데크의 내진 한계가 조사되면 두 정보를 바탕으로 방진 목표를 설정한다. 이 방진 목표는 데크의 내진 특성 곡선을 사용 환경 곡선으로 나누어줌으로서 구할 수 있는데 이를 "필요최소방진곡선 (Required Minimum Vibration Isolation Performance Curve, RMVIP CURVE)" 으로 정의하며 다음과 같이 표시된다.

$$RMVIP\ CURVE = \frac{NON - ISOLATED\ VIBRATION\ ENDURANCE\ LIMIT}{VIBRATION\ LEVEL\ OF\ ENVIRONMENT}$$

그림 3은 이렇게 구하여진 필요최소방진곡선이다. 여기서 볼 수 있듯이 필요최소방진곡선에 의하여 진동 전달률은 두 영역으로 나뉘어 진다. 필요방진곡선의 윗부분은 "위험 영역 (dangerous region)"으로, 아랫 부분은 "안전 영역 (safe region)"으로 정의 된다. 즉 세트의 진동 전달률을 측정하여 보았을 때에 그 진동 전달률 곡선의 일부가 위험 영역으로 들어간다면 진동 환경하에서 피절연부 즉, 세트의 데크가 받게 되는 진동이 데크의 내진 한계를 넘게 되므로 재생중에 음비현상이 나타날 확률이 높게된다. 따라서 차량 탑재용 디스크 플레이어에 자동차에 장착되기 위하여서는 진동 전달률 곡선이 전 관심 주파수영역에서 안전영역에 있어야한다. 필요최소방진곡선은 데크의 진동 특성을 포함하고

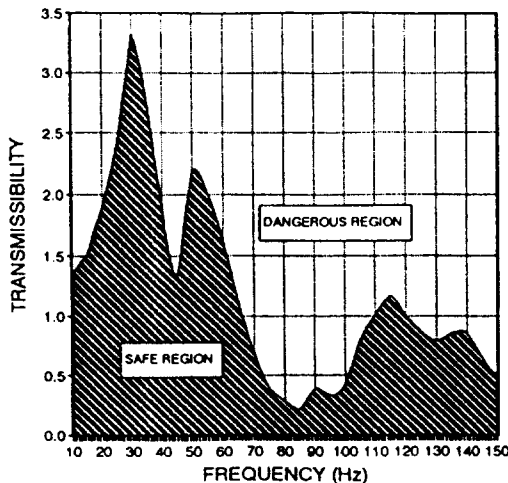


그림 3 RMVIP Curve

있으므로 필요최소방진곡선과 진동전달률곡선

을 비교함으로써 내진 성능에 문제가 있을 때에는 그 문제점과 대책을 용이하게 찾아낼 수 있게된다.

### 3.2 복소강성계수에 의한 진동전달률 측정

방진요소의 댐퍼를 개발할 때 댐퍼의 특성이 변화함에 따라 디스크 플레이어 방진 시스템의 진동 전달률이 변화하게 되므로 적합한 댐퍼를 개발하기 위해서는 댐퍼의 특성을 조금씩 변화시켜가면서 진동 전달률이 만족스러운지를 검토해야한다. 진동 전달률 측정을 위해서 가장 간단한 방법은 디스크플레이어에서 실제로 방진요소의 특성을 바꾸어가며 직접적으로 진동전달률을 측정하는 것이지만 이 방법으로 댐퍼의 특성에 영향을 미치는 파라미터를 다양하게 바꾸어서 실험을 하려면 많은 노력과 시간이 소요되므로 다음과 같이 댐퍼 단품의 복소강성계수를 측정하여 실제 시스템에서의 진동전달률을 측정하는 방법을 사용하는 것이 좋다.

차량의 질량은 차량에 탑재되는 디스크 플레이어에 비하여 훨씬 크므로 디스크 플레이어 방진의 관점에서 차량과 디스크 플레이어의 데크, 방진요소는 그림 4와 같은 1자유도 계로 단순화되어 모델링될 수 있다. 여기서 피방진 질량  $m$ 은 디스크 플레이어의 데크이며  $K^*$ 는 복소강성계수로 표시된 스프링과 댐퍼로 구성된 방진요소이고 베이스는 차량이다.

이러한 모델의 베이스의 조화운동에 대한 운동 방정식은 다음과 같다.

$$m\ddot{x} = -K^*(x - y) \tag{1}$$

여기서

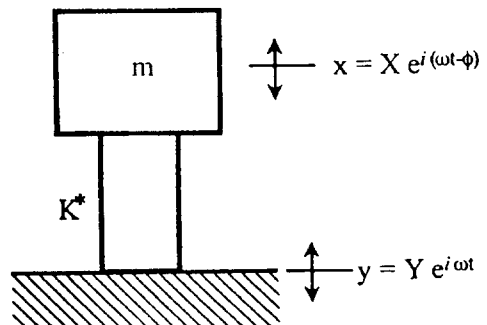


그림 4 Vibration isolation system with mass and complex stiffness

$$K^* = K_R + K_I i \quad (2)$$

$$x = X e^{i(\omega t - \phi)} \quad (3)$$

$$y = Y e^{i\omega t} \quad (4)$$

이때  $K^*$  는 스프링과 댐퍼를 포함하는 방진 요소의 복소강성계수이다.

복소강성계수의 개념을 사용하여 진동의 절대 전달률을 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\left\| \frac{X}{Y} \right\| = \sqrt{\frac{K_R^2 + K_I^2}{(K_R - M\omega)^2 + K_I^2}} \quad (5)$$

지지용 스프링은 실수 강성 (real stiffness) 값만을 가지고 있고 댐퍼는 가진 주파수의 함수인 복소 강성 (complex stiffness) 값을 가지므로 이 계의  $K_R$  과  $K_I$  는 상수가 아닌 가진 주파수의 함수이다. 따라서 댐퍼의 복소 강성계수를 알 수 있다면 직접적으로 방진계의 진동 전달률을 구하지 않고도 간접적인 계

산에 의하여 진동 전달률을 구할 수 있게 된다.

이 진동전달률에 대한 간접적인 측정 방법을 사용하면 진동전달률을 쉽게 측정할 수 있을 뿐 아니라 데크의 무게와 지지용 스프링의 강성이 다른 경우에 대해서도 진동 전달률을 예측할 수도 있다.

댐퍼의 복소강성계수는 다음의 그림 5와 같은 강제 진동의 벡터 다이어그램에 의하여 식 (6), 식 (7) 과 같이 표현될 수 있다.

$$K_R = \frac{F}{X} \cos \phi \quad (6)$$

$$K_I = \frac{F}{X} \sin \phi \quad (7)$$

이 관계에 의하여 댐퍼의 복소강성계수는 시편에 가해진 변위와 이에 의한 힘, 변위와 힘 사이의 위상을 측정함으로써 구할 수 있다. 그림 6은 복소탄성계수 측정 및 진동 전달률 계산을 위한 장치의 구성도이다.

### 3.3 댐퍼의 개발

디스크 플레이어의 진동절연 요소로 사용되는 댐퍼는 그 구조에 따라 고무의 복소탄성을 그대로 이용하는 고무 댐퍼와 고무로 주머니를 만들고 그 주머니의 한 쪽에 미세한 구멍을 형성하여 진동에 의해 고무 주머니가 변형하면 내부의 공기가 고무주머니를 드나들며 에너지 손실이 일어나도록 만들어진 에어 댐퍼, 그리고 고무 주머니에 점성이 큰 오일을 봉입하여 진동에 의해 주머니가 변형하면서 봉입된 오일의 점성에 의한 에너지 손실이 일어나도록 만들어진 오일 댐퍼의 3 종류로 분류된다. 차량 탑재용 디스크 플레이어에는 주로 에어 댐퍼와 오일 댐퍼가 사용되는데, 그림 7은 그림 6의 장치를 사용하여 CD 체인저에 이 3종류의 댐퍼를 사용하였을 때의 전달률을 측정 한 것이다. 그림 7에 나타난 바와 같이 고무 댐퍼와 에어 댐퍼는 높은 주파수 대역에서는 진동 전달률이 낮아 충분히 외부로부터 들어오는 진동을 절연시켜 주지만 진동 전달률 곡선의 공진점에서의 피크가 높아 필요최소방진 곡선의 위험 영역을 침범하게 된다. 따라서 이러한 종류의 댐퍼는 적합한 방진 장치가 되지 못함을 알 수 있다.

이러한 시스템의 방진을 위하여서는 공진 주파수에서 낮은 피크를 갖는 댐퍼가 필요하

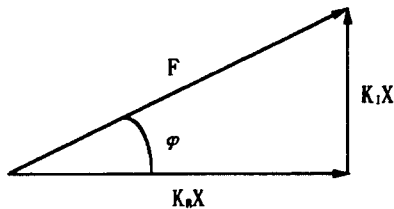


그림 5 강제진동의 벡터 다이어그램

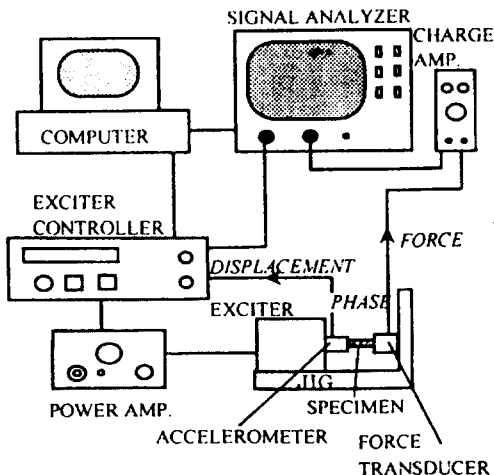


그림 6 Set-up for complex stiffness measurement and transmissibility calculation

며 댐퍼의 성능중 가장 중요한 인자는 공진 주파수에서의 피크가 되므로 댐퍼 개발의 목표는 높은 주파수에서의 전달률을 높이지 않은 상태에서 낮은 피크를 갖는 댐퍼를 만드는 것이다.

일반적으로 오일 댐퍼는 높은 허수 강성(imaginary stiffness) 계수를 가지므로 공진 주파수에서 낮은 피크를 갖는다. 그림 8은 오일 댐퍼의 구조를 나타내는데, 오일 댐퍼는 고무 용기(rubber container)에 실리콘 오일과 실리카 분말의 혼합물이 봉입된 것으로, 고무 용기에는 교반작용에 의하여 에너지를 소산시키는 교반기(agitator)가 달려있다.

낮은 공진 피크의 오일 댐퍼를 만들기 위하여 고무 주머니 구조와 칫수, 고무 경도, 오일 점도, 오일에 혼합되는 분말의 종류와 양을 바꾸어서 오일 댐퍼를 만들고 그 성능을 측정하여보면 합리적인 범위 안에 있는 구조

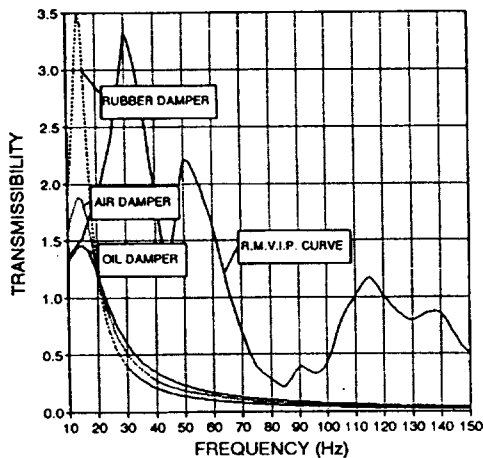


그림 7 Transmissibility when some kinds of dampers used

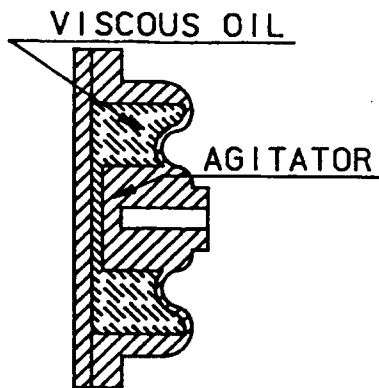


그림 8 Structure of oil dampers

와 칫수, 경도, 점도, 분말의 종류와 양 중 에서 오일의 점도와 오일과 혼합되는 분말의 종류와 양이 공진 피크를 낮추는 가장 중요한 인자임을 알 수가 있으며 오일의 점도와 분말의 종류 및 함유율의 적절한 조합에 의하여 공진 주파수에서 낮은 피크를 갖는 댐퍼를 만들 수 있다.

분말을 섞지 않고 오일만을 사용할 경우에는 점도가 높은 오일을 사용하더라도 피크 값은 그리 작지 않게 나타나는데, 단순한 오일 점도만의 증가에 의하여서는 공진 주파수에서의 낮은 피크를 얻을 수 없다.

여기서 사용하는 분말은 에너지 손실을 크게 하기 위해 표면적이 큰 형상을 갖는 것이 좋고 화학적으로도 안정하여 오일과 서로 반응하지 않아야 할 뿐 아니라 분말이 가라앉지 않게 하기 위하여서는 비중도 오일과 크게 차이가 나지 않아야 한다. 공진 주파수에서의 피크 값은 이 분말의 종류에 크게 연관되어 있다.

그림 9는 오일 댐퍼를 사용하는 방진요소를 채용하여 개발된 차량 탑재용 CD 체인저의 내진 성능을 보여준다. 이 그래프 상에서 CD 체인저가 만족할만한 내진 성능을 갖기 위해서는 내진한계곡선이 가진의 크기 보다 모든 주파수 범위에서 높게 있어야 한다. 진동 절연이 되지 않은 상태에서의 내진한계를 가진의 크기와 비교하여보면 높은 주파수 영역에서의 내진한계가 가진의 크기 보다 작음을 알 수 있다. 그러나 오일 댐퍼를 채용할 경우 내진 한계가 낮은 주파수에서는 다소 낮아 졌지만 모든 주파수 영역에서 가진의 크기 보다 높게 위치하여 방진 목표를 만족시킨다.

#### 4. 맺 음 말

근래에 들어 차량의 사양이 고급화하면서 오디오용 디스크 플레이어 뿐 아니라 차량 자동 항법장치와 같은 첨단 장치들이 차량에 장착되고 있는 추세이며 이들의 성능이 안정적으로 발휘되기 위해서는 뛰어난 방진 설계가 필수적임은 물론이다. 현재 차량에 장착되어 사용되고 있는 이러한 기기들이 아직도 진동과 충격에 대한 충분한 대응 설계가 되고있지 못하는 현실을 생각할 때 차량 탑재용 전자 기기에 대한 방진 설계의 기법이나 혁신적인 방진 구조에 대한 아이디어, 방진 재료의 개발이 앞으로도 계속되어야 할 것으로 생각된다.