

진동/충격 완화를 위한 차량용 거치대의 개발

임형빈[†] · 박기선^{*} · 김두환^{*} · 정진태^{**}

Development of a Car Holder for Absorbing Vibration and Shock

Hyungbin Im, Kisun Park, Doohwan Kim and Jintai Chung

Key Words : Car Holder(차량용 거치대), Finite Element Analysis(유한요소 해석), Modal Analysis(모우드 해석), Signal Analysis(신호 분석)

Abstract

In this paper, vibration sources of a car-holder are identified and the car vibrations are reduced by structural modification. For vibration identification, vibration signals are measured by an accelerometer when the car is moving. From some experiments and finite element analyses, it is also found that resonances occur because the natural frequencies of the car exist in usual driving speed range. To shift the natural frequencies outside the driving speed range, the connection part is modified to increase stiffness. It is verified that considerable amount of vibration are reduced by the structural modification.

1. 서론

현재 차량용 AV 시스템(DMB, Navigation 시스템 등)의 수요 급증과 다양한 콘텐츠(동영상, MP3 등)의 사용자 요구에 따라 대용량 저장장치인 외장형 HDD의 사용이 급증하고 있는 추세이다. 그런데, 이런 외장형 HDD를 차량에서 많이 사용함에 따라 충격이나 진동에 의한 오작동의 문제점이 대두되고 있다. 외장형 HDD를 완충/방진 처리 없이 차량의 임의 위치에 거치하게 되면, 급가속이나 급정차 또는 비포장 도로의 주행 등, 차량의 주행 상태에 따라 인가되는 진동이나 충격력이 HDD에 그대로 전달된다. 이런 진동이나 충격력으로 인하여 내부 HDD가 심하게 흔들리게 되며, 이에 따

라 HDD의 오작동과 파손을 유발시키고, 때에 따라서는 심한 소음을 일으킬 수 있다. 따라서 차량용으로 사용되는 경우 차량 운행 중에 발생하는 진동에 대해 효과적으로 차단할 수 있는 방진/완충 장착구조를 마련하는 것이 매우 중요하다.

자동차용 거치대에 대한 기존 연구는 거의 없다. 본 연구에서는 모달 테스트 이론을 통하여 모달 해석⁽¹⁾을 수행하였고, 진동학에 대한 기초이론을 토대로 고유진동수⁽²⁾⁻⁽⁴⁾를 추출하였다. 또한, 유한요소해석 툴인 ANSYS⁽⁵⁾를 이용하여 설계변수를 도출하였다.

앞서 설명하였듯이, 본 연구에서의 차량용 거치대는 차량의 주행 시 외장형 HDD가 외부로부터의 진동이나 충격을 효과적으로 막을 수 있게 하는 차량용 거치대이다. 거치대는 AV 시스템(DMB, 네비게이션 등) 등의 차량용 전자기기를 거치하여 오작동 없이 편리하게 사용 가능케 하는 장치이다. 특히, 본 연구에서 개발한 거치대는 AV 시스템의 보조 저장매체인 외장형 HDD를 다양한 충격이나 진동이 발생하는 차량에 거치하여 오작동 없이 그

[†] 책임저자, 한양대학교 일반대학원 기계공학과

E-mail : vinceim@hanyang.ac.kr

TEL : (031)501-4590 FAX : (031)406-6964

^{*} 한양대학교 일반대학원 기계공학과

^{**} 한양대학교 공학대학 기계공학과

기능을 발휘할 수 있게 해 주는 기능을 가지고 있다. 이러한 거치대는 현재 사용이 급증하고 있는 여타의 차량용 또는 휴대용 전자기기에 사용되는 거치대에 널리 응용될 수 있다.

본 연구의 목표는 차량의 외부 충격 및 진동량을 기존의 거치대보다 70%이상 완화할 수 있는 차량용 외장형 HDD 의 거치대를 개발하는 것이다. 차량용 거치대가 외부 충격이나 진동에 견딜 수 있는 안정적인 구조를 개발하기 위해서는 외부 가진에 대한 분석이 필요하고, 그 가진에 대해 강한 구조를 가질 수 있는 거치대의 구조와 체결부의 정적/동적 안정성을 확보하여야 한다. 이를 위하여 우선, 차량에서 차량용 거치대에 영향을 줄 수 있는 가진원의 진동량을 채집하여 분석하였다. 그리고 기존의 거치대에 외장형 HDD 를 장착하여 차량에서 가진되는 진동량이 얼마나 영향을 주는 지 파악하는 실험을 하였다. 이를 통해 개발하고자 하는 새로운 거치대에 적합한 설계 인자를 바탕으로 기본 구조를 유한요소로 모델링하여 구조적 특성과 동적 특성을 파악하였다. 또한, 유한요소해석으로 특성이 파악된 기본 구조를 이용하여 시작품을 제작하여 실험적 방법을 통해 기본 구조의 동적 특성을 검증하였다. 마지막으로, 완충/방진에 적합한 차량용 거치대의 구조 설계안을 제시하였다.

2. 차량 진동의 가진원 분석

본 연구는 차량용 거치대의 동특성을 분석하여 완충/방진을 할 수 있는 구조에 관한 연구이다. 차량용 거치대의 전체적인 구조는 Fig.1 에 나타나 있다. 그림에 나타나 있듯이 거치대는 거치부, 연결부, 그리고 차량 접합부로 구성되어 있다. 거치부는 외장형 HDD, Navigation 등의 전자기기를 거치할 수 있는 부분이고, 차량 접합부는 차창 등에 거치대를 부착하는 기능을 한다. 그리고, 연결부는 거치부와 차량 접합부를 연결하여 거치부의 위치를 조절하는 기능을 가지고 있다. 차량용 거치대의 진동은 대부분 연결부와 거치부, 연결부와 차량 접합부의 체결부에서 많이 발생한다. 이는 체결부의 접촉불량 혹은 체결부의 구조적 결함 등에 의해서 발생한다. 본 연구는 연결부와 체결부의 구조변경을 통해서 차량 가진에 의한 거치대의 구조적 진동을 얼마나 감소시키는지에 초점을 맞추고 있다.

본 연구는 외장형 HDD 의 진동/충격 완화를



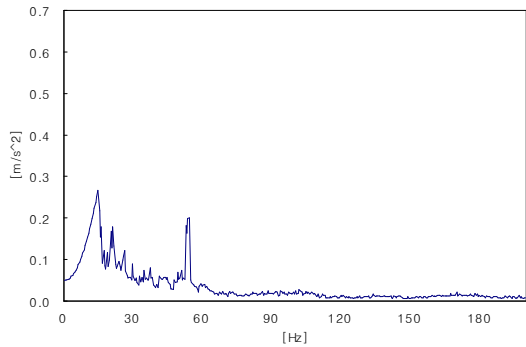
Fig. 1. Schematics of the car-holder



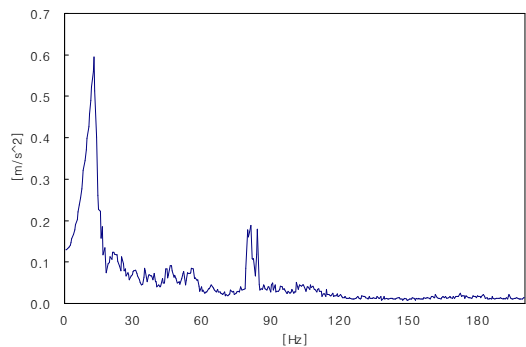
Fig. 2. 3-axis accelerometer setup

위한 차량용 거치대의 개발에 대한 것이다. 따라서, 차량 주행 시 거치대에 가진을 줄 수 있는 차량 진동의 가진원을 분석하는 작업이 선행되어야 한다. 가진원인 차량 진동을 분석하기 위해서 3축 가속도계를 Fig.2 와 같이 거치대가 접합하는 차창 부분에 장착하였다. 장착한 3 축 가속도계의 xyz 방향은 그림에 도식화하였다.

차량 진동 신호를 측정하기 위한 조건 중, 차량은 H 사의 준중형 자가용을 모델로 삼았다. 차량 주행 조건은 국도에서 시속 60km, 고속도로에서 시속 100km 로 20 초간 일정하게 주행했을 때의 2 가지 경우로 하고, 20 초간 0~200Hz 의 진동 신호를 가속도계와 신호분석기를 통하여 측정하였다. Fig.3 은 차량 진동 신호의 3 축 방향 중 y 축 방향의 진동 신호를 나타내고 있다. y 축 방향의 진동 신호만을 본 이유는 다른 축에 비해 y 축 방향의 진동 신호가 상대적으로 크기 때문이다. 그림에서 (a)는 국도에서 시속 60km 로 달렸을 때의 신호이고, (b)는 고속도로에서 시속 100km 로 주행했을 때의 신호이다. 그림의 차량 진동 신호를 보면, 시속 60km 일 경우 13.5Hz 에서 피크를 나타내고 있고, 시속 100km 에서도 13.5Hz 에서 피크가 나타나



(a) Velocity : 60 km/h



(b) Velocity : 100 km/h

Fig. 3. Frequency spectrum of the y-direction of the car

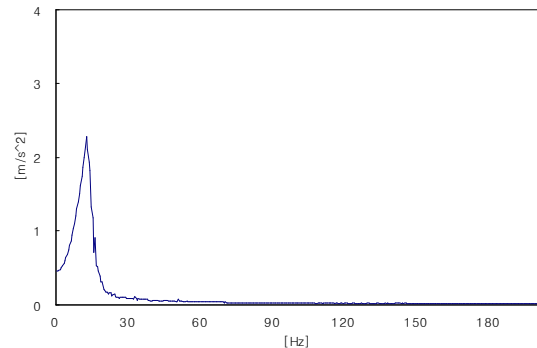
고 있다. 따라서 거치대의 공진을 회피하기 위해서는 대략 30Hz 이내에서는 공진주파수가 존재하지 않는 차량용 거치대를 연구개발해야 한다.

3. 기존 거치대의 분석

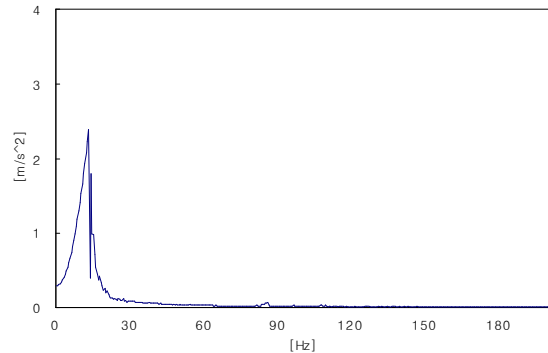
새로운 거치대의 연구개발을 위해서 기존의 거치대가 실제 차량에 장착되었을 때 어떤 동특성이 나타나는지를 파악하는 것이 필요하다. 따라서 기존에 많이 사용되고 있는 거치대를 선택하여 외장형 HDD 를 장착한 후에 거치대가 외장형 HDD 에 어떠한 영향을 주는지 파악하는 실험을 하였다. 이 실험에서 차량 주행 조건은 2 절의 차량 진동 신호 측정과 같은 조건으로 하였다. 가속도계의 위치는 Fig.4 에서 나타내고 있다. 장착한 3 축 가속도계의 xyz 방향은 그림에 붉은 좌표로 도식화 하였다. 2 절에서의 차량 진동 신호 분석과 마찬가지로 기존의 거치대 장착 시 y 축 방향의 신호를 Fig.5 에 보이고 있다. 신호 분석 결과 기존의 거치대 역시 y 축 방향의 진동 신호가 상대적으로 크다는 것을 알 수 있었다. 즉, 차량의 진동 가진의 주방향은 y 축 방향(상하 방향)이라는 것을 알



Fig. 4. 3-axis accelerometer setup



(a) Velocity : 60 km/h



(b) Velocity : 100 km/h

Fig. 5. Frequency spectrum of the y-direction of the existed car-holder

수 있다. Fig.5 에서 보면, 13.5Hz 근처에서 상당한 공진 현상을 보이고 있는데 이는 거치하고 있는 전자기에 악영향을 줄 수 있다.

기존 거치대의 실차 테스트를 수행한 후 모달 테스트를 통해 시스템을 분석한다. Fig.6 은 기존 거치대의 모달 테스트 장치 구성도를 나타내고 있다. 모달 테스트를 통해서 기존 거치대의 고유진동수와 모드 셰이프를 구할 수 있다. Fig.7 은 모달 테스트 시 여러 포인트 중 z 축 방향에 있는 한

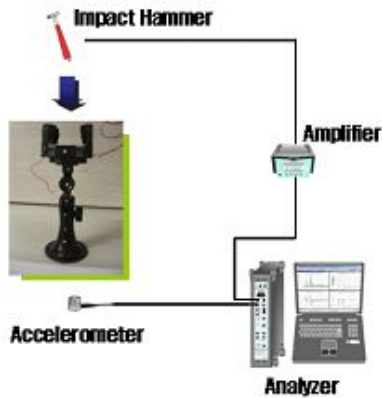


Fig. 6. Experimental setup for the modal testing

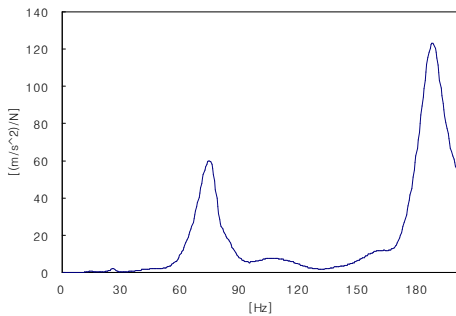


Fig.7. Frequency response function of the existed car-holder

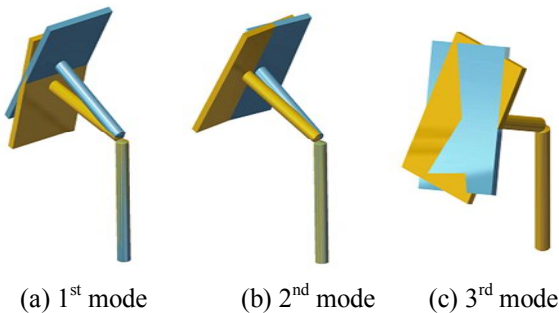


Fig. 8. Mode shapes of the existed car-holder

포인트를 나타내고 있다. 이를 주파수 응답함수라고 한다. 모달 테스트의 결과인 주파수 응답함수를 모두 중첩하여 모드 셰이프를 구하면 Fig.8 과 같다. 그 결과를 확인해 보면 공진 주파수가 13.5Hz (상하 벤딩 모드), 15Hz (좌우 벤딩 모드), 그리고 26Hz (틸팅 모드)가 나타남을 알 수 있다. 이 중에 1 차와 2 차 모드 셰이프는 연결부의 공진이라는 것을 알 수 있다. 1 차, 2 차, 그리고 3 차 고유진동수를 살펴보면, 차량 진동 신호의 공진주

파수와 일치하여 실차 테스트 시 심한 진동을 일으킨다는 것을 알 수 있다. 따라서 새로운 거치대는 이런 공진주파수 대역을 피할 수 있는 설계 구조가 필요하다.

4. 유한요소해석을 통한 설계변수 도출

기존 거치대의 유한요소해석 모델을 가지고 시뮬레이션을 통해서 완충/방진이 가능한 차량용 거치대의 설계변수를 도출한다. 설계변수를 도출하기 위해서는 기존 거치대의 유한요소해석 모델이 개연성이 있는가를 실험결과와 비교 검토해야 한다. Fig.9 는 기존 거치대의 유한요소해석 모델을 보이고 있다. 이 유한요소모델을 가지고 ANSYS 를 이용하여 모달 해석을 한 결과를 Fig.10 에 나타내었다. Fig.10 을 보면 앞 절의 실험결과와 대부분 일치함을 알 수 있다. 따라서 Fig.9 의 모델은 실제 모델과 개연성을 가지고 있다고 할 수 있다. Fig.9 의 유한요소해석 모델을 가지고 새로운 거치대의 설계 변수를 도출할 수 있다.

유한요소해석을 통해 설계변수를 도출할 수 있었다. Fig.11 은 새로운 거치대의 설계변경 모습이 다. 그림에서 ①의 회전 유격을 제거하기 위해서 연결부와 거치부를 일체형으로 하였고 ②는 거치부의 위치를 제어하기 위해서 볼 조인트로 교체하였다. 그리고 연결부는 그림에서 보는 바와 같이

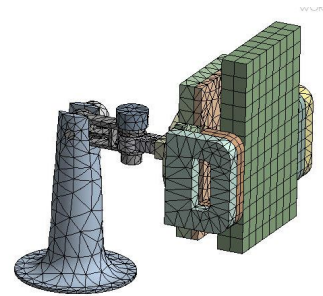


Fig. 9. Finite element model of the existed car-holder

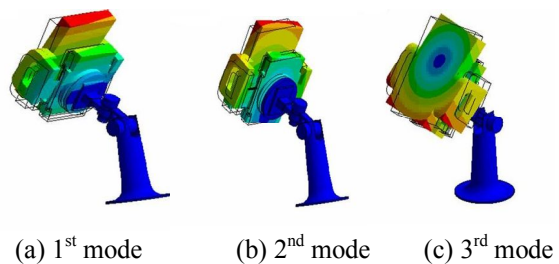


Fig. 10. Mode shapes of the existed car-holder

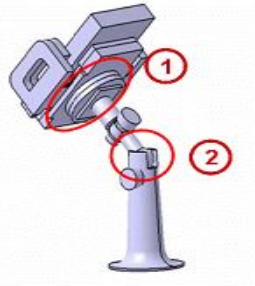


Fig. 11. Schematics of the new car-holder

Table 1. Results of the ANSYS modal analyses

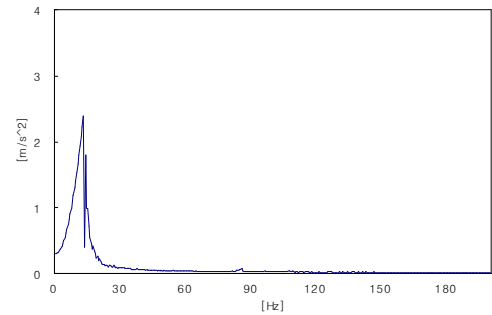
Natural frequency	Existed model	New model (Al)	New model (Plastic)
1 st	13.1 Hz	99.8 Hz	40.6 Hz
2 nd	14.9 Hz	101.5 Hz	41.3 Hz
3rd	26.4 Hz	170.1 Hz	66.7 Hz

벤딩 모멘트에 강한 원통형으로 형상을 변화하였다. 설계 변경한 Fig.11 의 모델을 ANSYS 를 이용하여 모달해석을 하면, 모드 셰이프는 Fig.10 과 같은 형태이다. 그 결과인 고유진동수를 Table.1 에 정리하였다.

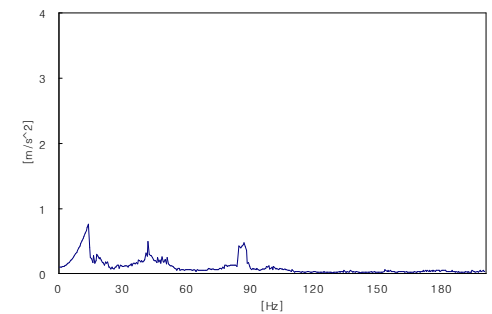
새로운 개선모델을 2 가지 재질로 하였다. 첫 번째 개선모델은 알루미늄 재질이고 두 번째 개선모델은 플라스틱 재질이다. 두 가지 재질로 한 이유는 거치대가 알루미늄의 금속계도 양산 가능하기 때문에 선택을 하였다. 플라스틱은 일반적으로 많이 사용하는 재질이기에 때문에 알루미늄 재질의 양산 비용이 높다면 대체할 방법으로 선택하였다. 두 가지 개선 모델이 모두 차량 진동의 가진에 대해 공진을 회피할 수 있는 모델이라 할 수 있다. 앞으로 본 논문에서는 알루미늄 개선모델을 1 차 시작품이라 하고 플라스틱 개선모델을 2 차 시작품이라 명명할 것이다.

5. 시작품 제작 및 실험적 검증

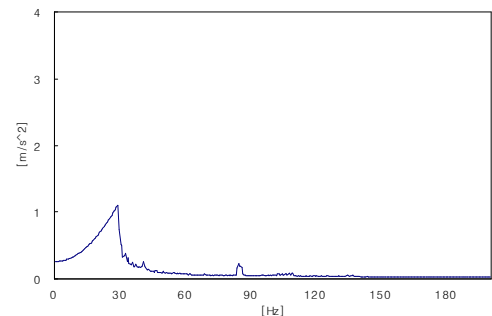
설계 변경안을 도입하여 1 차 시작품을 알루미늄 재질로, 2 차 시작품을 플라스틱 재질로 제작하였다. 실험적 검증은 앞서 실험한 실차 테스트와 시스템 분석인 모달 테스트를 실시하였다. 모달 테스트 결과 1 차 시작품은 1 차 고유진동수 95Hz, 2 차 97Hz, 그리고 3 차 165Hz 가 나타났다. 2 차 시작품은 1 차 고유진동수 33.5Hz, 2 차 47Hz, 그리고 3 차 73Hz 가 나타났다. Fig.12 는 기존 거치대의 실차 테스트와 1 차, 2 차 시작품의 실차 테스트를 비교한 것이다. Fig.12 는 시속 100km 를 기준으로 본 데이터이다. 이유는 시속 60km 보다 공진현상



(a) Existed car-holder



(b) 1st trial product



(c) 2nd trial product

Fig. 12. Frequency spectrum of the y-direction

이 조금 더 뚜렷하게 나타나기 때문에 시속 100km 를 기준으로 기존모델과 시작품을 비교하였다. 그래프를 비교하면 13.5Hz 에서 기존 모델의 진동량이 2.39m/s^2 인데 반해서 1 차 시작품은 0.79m/s^2 으로 약 70%가량 줄었고 2 차 시작품은 0.62m/s^2 으로 약 75%가량 줄었다. 또한, 0~200Hz 사이에 큰 피크점 없는 안정적인 구조이므로 외장형 HDD 의 신뢰성을 확보할 수 있다.

6. 결론

2 차에 걸쳐 설계 변경안을 적용한 시작품을 제작하여 실험 검증한 결과 진동량의 약 70%가량을 줄일 수 있었다. 그리고 시작품은 기존품에 비해서 차량 가진에 공진을 회피할 수 있는 구조이다.

Table 2. Experimental results of the natural frequencies

Natural frequency	Existed model	1 st trial product	2 nd trial product
1 st	13.5 Hz	95.0 Hz	33.5 Hz
2 nd	15.0 Hz	97.0 Hz	47.0 Hz
3rd	26.0 Hz	165.0 Hz	73.0 Hz

Table 3. Results of the overall vibration

	Existed model	1 st trial product	2 nd trial product
Overall vibration	2.39 m/s ²	0.79 m/s ²	0.62 m/s ²

기존품과 시작품의 고유진동수 비교를 Table 2 에
 서 나타냈고, Table 3 에서는 진동량을 비교 정리하
 였다. 본 연구 결과에서는 알루미늄 재질의 1 차
 시작품과 플라스틱 재질의 2 차 시작품의 결과 진
 동량이 약 70% 감소한 것으로 나타났다. 하지만
 알루미늄 재질은 플라스틱 재질보다는 내구성이
 좋으나 양산 비용을 고려한다면 2 차 시작품인 플
 라스틱 재질로 양산을 하여야 할 것이다.

후 기

이 논문은 2007 년도 2 단계 두뇌한국 21 사업에
 의하여 지원되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) D. J. Ewins , *Modal Testing:Theory and Practice*,
 Bruel & Kjaer Korea Ltd.
- (2) Leonard Meirovitch, 1967, *Analytical Methods in
 Vibrations*, Macmillan Publishing Co.,Inc. New York,
 pp. 1~19.
- (3) Leonard Meirovitch , 1970, *Meirovitch Methods of
 Analytical Dynamics*, McGraw-Hill Book Company,
 pp. 45~100.
- (4) Willam T. Thomson, Marie Dillon Dahleh, 1993,
Theory of Vibration with Application, Fifth Edition,
 PRENTICE HALL, pp. 49~81.
- (5) Ansys, Inc., *Ansys Dynamics*, Users Guide for
 Revision 5.1