

주행조건에 따른 자동차 시트 진동특성 연구

강재영¹⁾ · 김기선^{*1)} · 최석민²⁾ · 최태진²⁾

공주대학교 기계자동차공학부¹⁾ · (주)다이모스 시트시험팀²⁾

Vibration Analysis of Vehicle Seat Depending on Driving Condition

Jaeyoung Kang¹⁾ · Keysun Kim^{*1)} · Seokmin Choi²⁾ · Taejin Choi²⁾

¹⁾Division of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University, Chugnam 330-240, Korea

²⁾Seat Testing & Research Team, DYMOS INC, Hwaseong-si, Gyeonggi 445-810, Korea

(Received 27 August 2009 / Accepted 26 October 2009)

Abstract : This paper studies the vibration characteristics of a vehicle seat on several driving conditions. Modal test for a vehicle seat is conducted for the three different boundary conditions: on the rigid jig, BIW and the full vehicle. In driving on various road conditions and speeds, vibration level is measured at several locations including seat mounting and seat-back. The vibration pattern for each driving condition is found where the suspension mode and the 1st bending and torsion modes of the seat make the major contribution on it.

Key words : Vehicle seat(자동차 시트), Vibration(진동), Transmissibility(전달함수), Modal test(고유모드시험)

1. 서론

현재 자동차 전반에 걸쳐 소음, 진동 저감 기술은 비약적으로 발전하고 있으며, 아울러 승객과 가장 밀접한 위치에 있는 시트 역시 다양한 방법으로 평가와 개선을 시도하고 있다.¹⁻⁶⁾ 또한, 노면 입력에 대한 써스펜션 경유 진동특성 등이 이론적으로 정립되어 왔다.^{7,8)} 하지만 이에 앞서 차량과 시트의 시스템적 관계가 정의되어야 할 것이며 실제 주행 중에 일어나는 시트의 진동특성을 분석해야 할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 소비자가 진동, 소음으로 불만을 제기할 가능성이 있는 조건의 도로를 선정하고 실차 주행시험을 실시하여 노면 조건과 주행 속도에 따라 시트로 입력되는 진동 특성을 분석한다. 또한 모달 테스트를 통하여 주행 조건 별 시트로 전달되는 진동특성과 시트의 고유진동특성 및 문제가 되는 진동모드의 형상을 규명하고자 한다.

2. 모달 테스트

시트의 모달 테스트를 위해 총 10개의 가속도를 Fig. 1과 같이 주요 부위에 부착하였다. 가속도계와 햄머는 (B&K Type 4520-001), (PCB Impact Hammer Model 086C02)를 각각 사용하여 계측하였다. 모달 테스트의 정확성 및 차체강성의 영향도 확인을 위해 다음과 같은 세 가지 경계조건에 대해 시험을 진행하였다. (JIG에 장착된 상태, BIW에 장착된 상태, 실차에 장착된 상태)

세 개의 서로 다른 장착조건에 대한 모달 테스트 결과가 Fig. 2에서 보여진다. 모든 경계조건에서 10에서 15Hz 근방에 두 개의 고유진동모드가 존재함을 알 수 있고, 이는 각각 시트 시스템의 1차 및 2차 진동모드가 되며, 3차 이상의 진동모드는 20Hz 이상에서 존재함을 알 수 있다. 이 모달 테스트에서 중요한 점은 Table 1에 정리되어 있듯이 시트 시스템의 1, 2차 진동모드는 BIW 및 실차장착상태에서는

*Corresponding author, E-mail: keysun@kongju.ac.kr

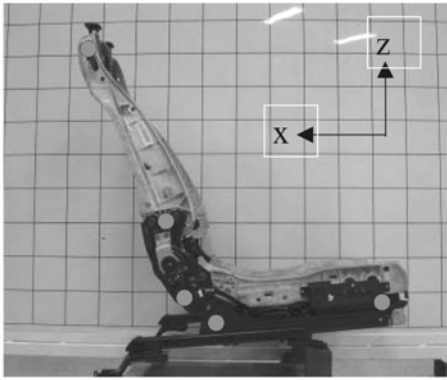


Fig. 1 모달테스트 가속도 장착부위(좌우대칭 총 10개)

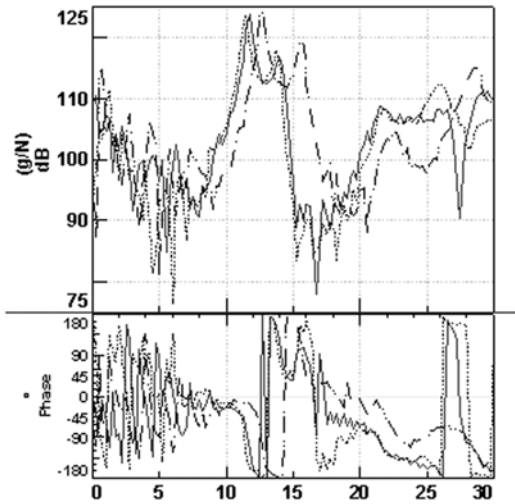


Fig. 2 경계조건별 모달테스트 결과, 시트 상단 부 X성분 (이점쇄선: JIG 장착상태, 가는점선: BIW 장착상태, 실선: 실차 상태)

Table 1 경계조건별 시트 고유주파수(Hz)

모드 No.	JIG	BIW	실차
1	12.64	11.42	11.72
2	15.67	13.87	14.12

거의 동일하나, JIG 장착상태에서의 결과와는 차이가 크게 발생함을 알 수 있다. 이는 차체의 유연성 (flexibility)이 시트의 고유주파수에 영향을 미쳐서 고유주파수를 낮추는 효과를 내기 때문이며, 설계 단계에서 시트의 고유주파수를 해석할 때, 이를 반드시 고려하여야 한다.

상기 측정된 고유 주파수에 대한 진동모드형상

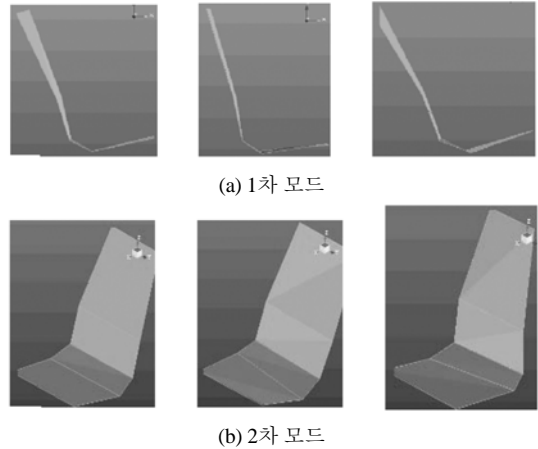


Fig. 3 진동모드형상(각 3개의 프레임)

(vibration mode shape)을 형상화하기 위해 소프트웨어(LMS Test.Lab)를 사용하였다. Fig. 3에서처럼 모달 테스트 결과 첫번째 모드는 굽힘에 의한 대변위 위주로 나타나고, 두번째 모드는 비틀림에 의한 대변위가 주를 이루었다. 따라서 처음 두 개의 저주파 모드를 이하 각각 1차 굽힘 모드와 1차 비틀림 모드로 명명하기로 한다. 특히 이러한 1차 굽힘 모드 및 1차 비틀림 모드가 써스펜션의 상하진동모드에 가깝게 배치되어 있으므로^{7,8)} 실차 주행시험에서의 진동특성을 다양하게 살펴 볼 필요가 있다. 또한, 주행 노면 및 주행속도별로 노면에서 들어가는 가진 입력이 다양하므로, 이들에 대한 시트시스템에 대한 진동특성화 작업이 시트시스템 설계단계에서 부터 요구되어 왔다.

3. 실차 주행 테스트

실차 주행 시 전달되는 진동을 파악하기 위해 현재 양산중인 중대형급 차량을 대상으로 차량 시험 평가로에서 주행시험을 실시하였다. 주행로는 각각 벨지안로, BSR로, 도심로 및 고속주행로에서 그에 맞는 속도로 시험을 실시하였다. 가속도계는 조수석의 마운팅 세 점(Z방향, 앞 2점, 뒤 내측 1점) 및 시트 상단부(X방향, 1점)에 부착하여 Fig. 4에서 보듯이 가속도를 실시간으로 측정하였다.

우선 각 시트의 마운팅 부로 전달되는 진동을 대표적인 두 주행조건에 대해 각각 비교해 보았다.

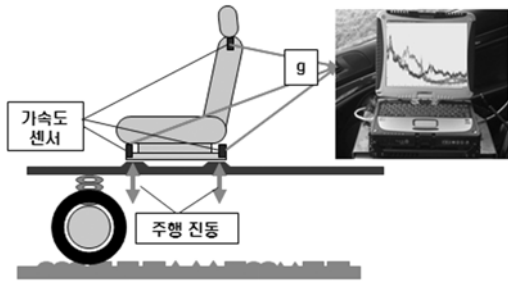


Fig. 4 실차 주행시험 계략도

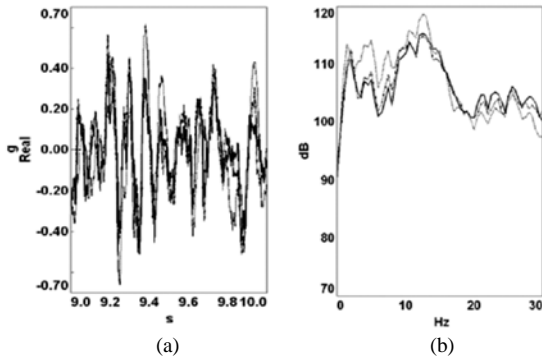


Fig. 5 시트 마운팅 부위별 진동(벨지안로 20kph, Z축) (실선: 앞 내측, 점선: 앞 외측, 이점쇄선: 뒤 내측) (a) 시간데이터 (b) FFT

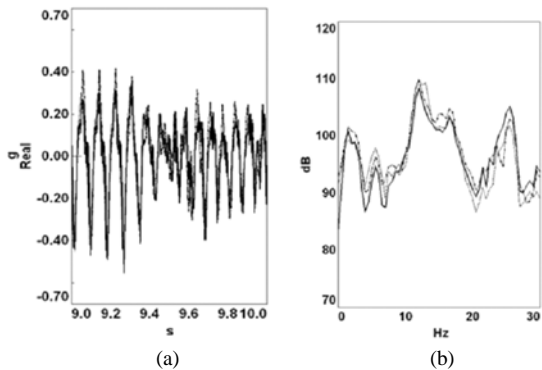
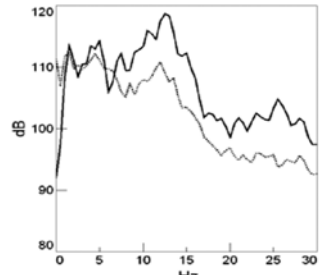
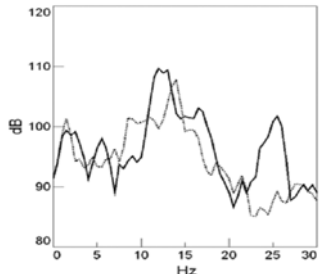


Fig. 6 시트 마운팅 부위별 진동(BSR로 30kph, Z축) (Z축) (실선: 앞 내측, 점선: 앞 외측, 이점쇄선: 뒤 내측) (a) 시간데이터 (b) FFT

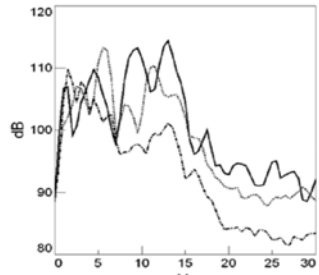
Fig. 5와 Fig. 6에서 보듯이 벨지안로 20kph 및 BSR로 30kph 주행 시 시트의 3점 마운팅 부로 전달된 진동은 실시간 진동 데이터 및 FFT 변환 그래프에서 유사성을 갖고 있음을 확인하였다. 이를 통해 이하 주행테스트에서는 앞 내측부의 진동데이터만 사용하여 주행조건별 진동특성을 연구하였다.



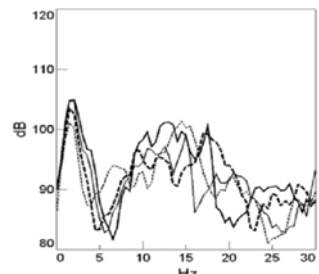
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 7 시트 마운팅 진동, (a) 벨지안로(점선:10kph, 실선: 20kph), (b) BSR로(점선: 15kph, 실선: 30kph), (c) 도심로(점선: 15kph, 이점쇄선: 30kph, 실선: 50kph), (d) 고속주행로(가는점선: 80kph, 굵은점선: 100kph, 가는실선: 120kph, 굵은실선: 140kph)

Fig. 7에서와 같이 시트 마운팅으로 전달되는 진동을 측정하여 노면 및 속도별로 비교하였다. 이 그림에서 보면 모든 주행조건에서 공통적으로 차체의

풀링거림 모드(1~2Hz)와 서스펜션 모드(10~15Hz)에서 진동이 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 하지만 주행 조건별로 각각 특징을 갖고 있다. 벨지안로(Fig. 7(a))의 경우 속도가 증가하면 서스펜션 모드의 진동크기가 두드러지게 증가하는 것을 볼 수 있다. BSR로(Fig. 7(b))와 도심로(Fig. 7(c))의 경우 속도변화에 따라 노면입력 주파수 분포가 약간 변하지만 여전히 10~15Hz에서 시스템 민감도가 크다는 것을 알 수 있다. 고속주행(Fig. 7(d))의 경우는 상대적으로 차체의 풀링거림 모드가 두드러지며, 또한 1차 회전주파수에 의한 가진 때문에 10~20Hz에서 보다 넓게 분포하는 것을 볼 수 있다. 예를 들어 타이어 동반경 35mm에 대해 속도(kph) 80, 100, 120, 140의 경우 각각 10.1Hz, 12.6Hz, 15.2Hz, 17.7Hz에 대한 회전성분이 나타나게 된다.

시트설계의 궁극적 목표는 노면입력에 따라 차량에 장착된 시트의 진동을 억제하는데 있기 때문에 차량시스템 전체를 동시에 해석할 필요가 있다. 하지만 이는 많은 시간과 비용을 필요하기 때문에 시트 단품에 대한 진동문제로 간략화해야 한다. 이를

위해서 시트의 진동 입력점은 시트 마운팅으로 보고 시트의 진동 출력점은 시트 상단부로 정한다. 여기서 주의할 점은 시트 마운팅에서 측정된 진동이 노면입력뿐만 아니라 시트 자체의 진동에 의한 입력일 수 있다. 이를 확인하기 위하여 조수석의 시트를 탈거하기 전과 탈거한 후의 데이터를 비교하였다. Fig. 8에서와 같이 시트의 장착여부가 시트 마운팅에 전달되는 진동에 크게 영향을 미치지 않는다고 판단된다.

Fig. 9와 같은 주행 조건 별 시트 마운팅 진동에 따라 시트 상단부로 전달되는 진동을 동시에 계측하였다. Fig. 9에서 보는 바와 같이 모든 주행조건에서 시트의 1차 모드와 2차 모드에서 가장 크게 나타났다. 특히 실제 주행 시의 노면 입력에서 시트 상단부로 진동이 전달되는 과정에서 시트의 1차 비틀림 모드 역시 1차 굽힘과 같이 주요한 공진모드임을 확인하였다. 주행 시 시트 시스템의 공진주파수는 Table 1과 같이 실차 장착상태의 시스템 고유주파수인 11.7Hz, 14.1Hz 부근이어야 함은 예상했던 바이다. Fig. 2의 실차 장착상태의 햄머링 테스트 결과를 보면 시트의 상단 부에서 나타나는 주요 진동은 실차 장착 하에서의 시트의 고유주파수와 일치함을 알 수 있다. 또한 이때의 시트 고유진동수가 차량의 중저대역 모드(10~15Hz, 서스펜션 모드^{7,8)})와 가깝게 설정되어 있기 때문에 진동 전달측면에서 악영향을 미치고 있음을 Fig. 7과 Fig. 9를 비교해보면 알 수 있다. 특히 BSR로(Fig. 9(b))의 경우 3차 이상(20~30Hz) 부근에서도 큰 피크를 보이기 때문에 이를 확인할 필요가 있다.

4. 결론

JIG, BIW 및 실차에 장착된 차량 시트에 대한 모달 테스트를 각각 수행하여 경계조건의 영향도를 확인하였다. 또한 실차 시험을 통해 노면 및 주행속도별로 차량 시트의 마운팅 및 시트 상단부에 전달되는 진동특성을 파악하였다. 이를 바탕으로 다음과 같은 결론을 낼 수 있다.

- 첫째, 각종 시험노면에서 시트로 진동이 전달될 때 차량시스템 모드, 특히 서스펜션 모드가 중요하다.
- 둘째, 주행 시험 시 각종 시트 마운팅 입력에 대한

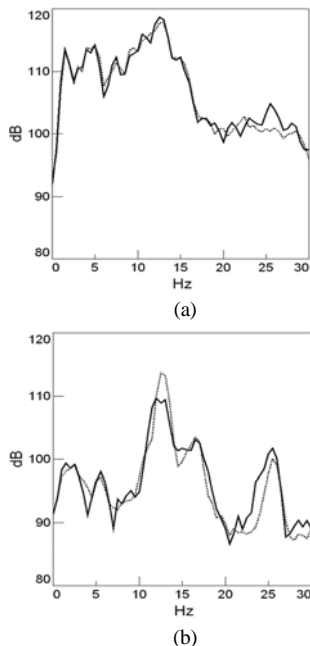


Fig. 8 시트 장착여부에 따른 시트마운팅 진동비교, (a) 벨지안로(20kph), (b) BSR로(30kph), (실선: 장착, 점선: 미장착)

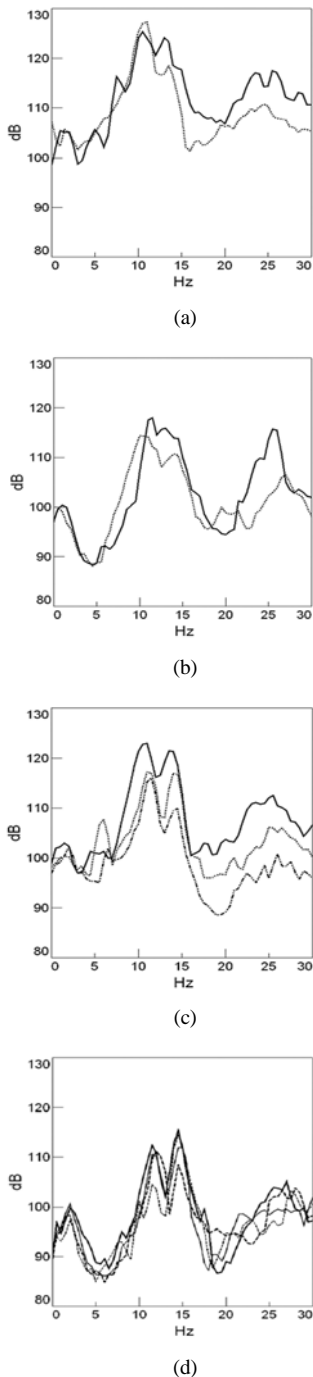


Fig. 9 시트 상단 부 진동, (a) 벨지안로(점선: 10kph, 실선: 20kph), (b) BSR로(점선: 15kph, 실선: 30kph), (c) 도심로(점선: 15kph, 이점쇄선: 30kph, 실선: 50kph), (d) 고속주행로(가는점선: 80kph, 굵은점선: 100kph, 가는실선: 120kph, 굵은실선: 140kph)

시트 진동은 특히 1차 굽힘 모드와 1차 비틀림 모드가 크게 반응한다.

셋째, 주행 시험 중 나타나는 시트의 진동 주파수는 실차 장착시의 시트 고유주파수로 예측해야 한다.

마지막으로 노면입력에 대한 시트 상단부의 진동 민감도를 낮추기 위해서는 서스펜션 모드와(실차 장착상태) 시트의 고유주파수와 분리해야 한다.

본 연구에서는 정량적 개념으로 네 개의 진동 입력점(또는 시트 마운팅 부)에 대한 시트 상단부 간 전달계수(transmissibility)는 제외하였다. 하지만 향후 연구에서는 네 개의 진동 입력점을 여섯 방향의 힘과 모멘트 성분으로 치환하는 6축 진동 시험기(다이모스㈜ 보유)를 통해 정량적인 시트 진동 전달계수를 다룰 예정이다. 또한 시트의 고유주파수를 효과적으로 바꿀 수 있는 방안에 대해 eigenvalue sensitivity 해석 및 시험검증을 통해 지속적으로 연구해 나갈 예정이다.

References

- 1) M. G. Kim, W. S. Yoo and J. H. Kim, "Evaluation of Ride Comfort Considering Seat and Ride Vibration Modes," Transactions of KSAE, Vol.10, No.4, pp.93-99, 2003.
- 2) J. H. Kim, D. W. Park, S. Y. Lee and W. S. Yoo, "Comparison of Vehicle Experiment and Computer Simulation of Seat Vibration Using Korean Dummy Model," Transactions of KSAE, Vol.12, No.1, pp.145-152, 2004.
- 3) H. K. Jang, "Design Guideline for the Improvement of Dynamic Comfort of a Vehicle Seat and Its Application," Int. J. Automotive Technology, Vol.6, No.4, pp.383-390, 2005.
- 4) H. K. Jang, "Survey on Development of High Comfort Vehicle Seat," Auto Journal, KSAE, Vol.23, No.5, pp.48-59, 2001.
- 5) D. W. Park, M. S. Kim, S. J. Park and W. S. Yoo, "Comparison of Computer Simulation and Real Experiments for Ride Comfort Evaluations Adjusting Seat Properties," Proceedings of the KSME Annual Spring Conference, pp.1290-1295, 2005.
- 6) M. J. Griffin, Handbook of Human Vibration,

Academic Press, London, 1996.

- 7) T. D. Gillespie, Fundamentals of Vehicle Dynamics, SAE, Warrendale, PA, USA, 1992.
- 8) J. Y. Kang, "Forced Vibration Analysis for Dynamic Coupling of Finite-element Spring-reduced Suspension System," Proc. IMechE, Part C: J. Mech. Eng. Sci., Vol.222, pp.349-356, 2008.