< 기술논문 >

위치별 진동 측정을 통한 차체강성평가

이 경 태¹⁾ · 전 용 두²⁾ · 최 두 석^{*2)}

공주대학교 대학원 기계공학과¹⁾ · 공주대학교 기계자동차공학부²⁾

Evaluation of Vehicle Body Stiffness by Measuring Local Vibration

Kyung Tae Lee¹⁾ · Yong Du Jun²⁾ · Doo Seuk Choi^{*2)}

¹⁾Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju National University, Chungnam 331-717, Korea

²⁾Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University, Chungnam 331-717, Korea

(Received 1 July 2013 / Revised 18 July 2013 / Accepted 26 July 2013)

Abstract : Road loads data are indispensable in the evaluation of BSR (Buzz, Squeak, and Rattle) of automotive parts/modules. However, there are uncertainties on the best measurement locations for representative body motion and for seat systems. In the present study, we measure road loads at four different locations of a body. A-pillars on the driver and passenger sides and left and right frame fronts of the front passenger seat mountings are selected to study the acceleration behavior at different locations. The measurements are conducted with passenger cars driving local roads at 50km/hr. The measured time-acceleration data are then transformed into PSD (power spectral density) data to compare the characteristics of local accelerations. By defining the deviated acceleration components from rigid body motion, the stiffness of vehicle body could be simply expressed in a quantitative basis. Measured data from two different vehicles are presented to demonstrate their relative vehicle body stiffness.

Key words : Road test(주행 시험), BSR(Buzz, Squeak, Rattle, 잡음, 이음), PSD(Power Spectral Density, 파워스펙트럼 밀도), Vibration(진동), RMS(평균값)

1. 서 론

최근 자동차 실내에서 발생하는 부품간의 간섭 혹은 마찰에 의한 소음이 고객의 불만사항으로 제기되면서 완성차 및 부품/모듈 제작사들의 관심이 높아지고 있다.¹⁾

자동차 및 부품의 소음은 발생기구별로 구분하여 BSR(Buzz, Squeak, Rattle), 이음·잡음 혹은 잡소리로 불리기도 한다. 이와 같은 소음은 이종재질이나 부품의 결합과정에서 발생하는 설계자가 의도하지 않은 간헐적이고 비정상적인 소리로서 운전자의 신경을 거슬리게 하거나 짜증을 유발하는 요인이 된다. 또한 BSR문제가 발생되면 소비자는 성능문제

가 아닌 품질문제로 인식하는 경향이 있고, 자동차 보증수리비의 최소 50%가 자동차 실내의 미세소음과 관련되는 등²⁾ 자동차의 BSR문제는 감성품질을 결정하는 매우 중요한 요소로 인식되고 있다.

자동차 소음의 질적 수준 향상을 위해서는 물리적 소음저감 뿐 아니라 감성적 소음저감 기술 또한 중요하며³⁾ BSR 소음은 주로 비설계적인 요인으로 현재 Fig. 1과 같은 과정으로 재현 시험을 통해 소음 인자를 도출하고 개선하려는 노력이 진행되고 있다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 BSR 재현시험을 위해서는 실제 도로에서 발생하는 진동 데이터 자료의 확보가 필수적이다. 차량마다 차체의 강성이 다르므로 차체의 운동을 대변하는 부위(A-C pillar)와 각

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

Fig. 1 Road load simulation process

부품 혹은 모듈의 진동에 직접적인 영향을 미치는 마운팅 부위의 진동특성은 다르게 나타날 수 있으므로 이에 대한 검토는 반드시 필요한 작업이라 할 수 있다.

본 연구에서는 시트시스템을 위한 가진 프로파일의 적정성을 판단하기 위하여 차체의 운동을 대표할 수 있는 A-Pillar와 시트모듈의 마운팅에서 가속도를 측정하였고, 측정된 자료를 바탕으로 강성의 차이를 정량적으로 표현하기 위한 가상적인 강체 차체로부터의 상대운동의 정도(가속도)를 정량적 표현방법으로 제안하였다. 또한 차량에 따라 이러한 상대운동(가속도)의 정도를 파악하기 위해 2대의 차량을 대상으로 노면부하시험을 수행하고 비교 분석하였다.

2. 시험방법

2.1 시험차량 및 노면특성

시험 대상 차량은 2,000cc급 차량으로 총 주행거리 200,000km 이상의 양산 10년이 지난 노후 차량 A와 총 주행거리 8,000km 미만의 차량 B로 선정하였다. 가속도 측정부위는 차체운동을 대변할 수 있는 A-pillar(P-1, P-2)와 관심대상 모듈인 전열시트의 가진 점인 조수석 시트 마운팅의 전면 좌우 지점(S-1, S-2)으로 선정하였다. Fig. 2는 본 연구에서 측정한 가속도 측정위치를 나타낸다.

가속도의 측정은 일반적으로 조건 중 비교적 가혹한 조건인 블록 형태의 도로에서 50 km/h의 속도로 30초 동안 측정하여 기록하였다.

	Acceleration system	Passenger Seat
P-1	X,Y,Z	A pillar_Right
P-2	X,Y,Z	A pillar_Left
S-1	X,Y,Z	Front_Outside
S-2	Z	Front_Inside

Fig. 2 Accelerometers position

Fig. 3 Test road

2.2 실험장치 및 구성

가속도 측정은 LMS사의 Test.Lab (SCM 16 Ch.)을 사용하였고, 가속도 센서는 PCB Piezoelectronics사의 ICP type 제품으로 감도는 3축 센서의 경우 10 mV/g, 단축의 경우 100 mV/g를 사용하였다. 가속도 센서와 장비의 사양은 Table 1에 제시하였고 Fig. 4는 전체적인 시험 수행과정을 나타내고 있다.

3. 주행 시 차체 진동특성

3.1 위치별 평균 가속도(RMS)

Table 2는 각 위치에서 측정된 가속도-시간 자료를 PSD(Power Spectral Density) 선도로 변환하여 Total RMS(Root Mean Square) 값으로 차량 A와 B의 진동 수준을 비교한 것이다.

Table 1 Measurement analysis system and accelerometer specification

LMS Test.lab (SCM)	
Channel	16
Bandwidth per channel	51.2kHz
A/D Converter / Sampling rate	24bit / 102.4k
Size	340×78×295mm

PCB piezotronics		
	1-Axis	3-Axis
Sensitivity	100mV/g	10mV/g
Range	0.5-10kHz	1-6kHz
Size	7mm	14mm
Type	ICP	ICP

Fig. 4 Road load test process

Table 2 Measured vibration level-total RMS

Position		RMS (m/s ²)/Hz					
		Vehicle A			Vehicle B		
		X	Y	Z	X	Y	Z
1	P-1	0.64	0.65	1.66	0.53	0.58	1.45
2	P-2	0.67	0.73	1.68	0.52	0.65	1.33
3	S-1	0.44	0.64	1.30	0.40	0.54	1.11
4	S-2	-	-	1.15	-	-	0.81

제시된 자료에 따르면, 두 차량 모두 수직방향(Z) 기준으로 X, Y방향의 가속도 크기는 50% 이하 수준으로 수직 방향 가속도가 실차 주행 시 발생하는 진동의 주성분임을 알 수 있다. 또한 수직방향 가속도 성분의 경우 차량 중심부인 시트 마운팅 부(S-2)는 A-pillar의 최대가속도에 비해 차량 A는 68%(1.15/1.68), 차량 B는 56%(0.81/1.45) 수준으로 낮게 나타나, 위치별 수직가속도 수준은 차량에 관계없이 A-pillar(P-1 및 P-2)가 시트 전열 조수석 마운팅(S-1, S-2)보다 크게 나타남을 확인할 수 있었다. 이는 노면으로부터의 진동이 현가장치와 가까운 A-Pillar에 직접적으로 작용하기 때문인 것으로 판단된다.

3.2 주파수 특성

실차 주행 시 전달되는 진동을 주파수 대역별로 분석하기 위해 측정된 실시간 데이터를 PSD로 변환하였다. 주파수 분석 범위는 1kHz까지 수행한 결과, 차체 진동의 주성분인 수직방향(Z축)의 가속도는 대부분 0~40Hz 구간 이하임을 확인하였고, 이를 통해 이하 연구에서는 수직방향(Z축)을 기준으로 40Hz이하 에서만 분석을 실시하였다.

Fig. 5는 동일한 도로 주행 시 차량 A와 차량 B에서 측정된 수직방향 진동가속도의 주파수분석 자료이다.

차량 A의 경우 전반적인 가속도 수준이 차량 B에 비하여 높을 뿐 아니라, 10 Hz 이상의 주파수대에서 차량 B에 비하여 진동수준이 높은 특성을 나타내고 있다. 부위별로는 시험차량 A와 B의 경우 모두 차량의 중심으로 갈수록 낮은 진동수준이 나타남을 알 수 있다. 단, 차량 A(Fig. 5(a))의 경우 진동피크 수준이 S-1과 S-2간 역전되는 부분은 구조물의 모드특성이 반영된 것으로 보인다.

(a) Vertical acceleration of vehicle A

(b) Vertical acceleration of vehicle B

Fig. 5 Road frequency analysis

3.3 차체에 대한 상대운동

차체거동(P-1, P-2)과 시트 마운팅(S-1, S-2)의 진동거동이 다르게 나타나는 것은 운동의 기구학적 특성과 재료의 강성적 특성을 반영하는 것으로 볼 수 있다.

이 중 기구학적 특성은 강체운동으로 대표할 수 있으므로 전체 운동관계식에서 강체운동의 기구학적 성분을 제거하면 재료의 특성을 반영하는 강체로부터의 이탈정도를 확인할 수 있다.⁴⁾ Fig. 6과 같이 측정된 4 부위(P-2, S-2, S-1, P-1)가 일직선상에 있고 차체바닥은 강체라고 가정한 경우, 중간지점에 위치한 S-2와 S-1의 운동은 P-2와 P-1의 운동에 의해 지배된다. 이 경우 S-1와 S-2의 위치에서 예상되는 상대가속도는 식 (1)과 식 (2)에 의해 구할 수 있다.

그러나 실제 차체바닥은 강체가 아니므로 변형과 모드특성을 나타내어 실제로는 식 (3)과 식 (4)로 표현되는 값을 갖게 된다. 동일 위치에서 얻어지는 두 가속도의 차이가 곧 차체바닥의 강성을 판단하는 ‘강체로부터의 이탈정도’에 해당하는 물리량(가속도)이며, 이를 이용한 분석 개념을 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 7은 본 모델링을 위한 개념도이다.

P-1에서 P-2, P-1에서 S-2, 그리고 P-1에서 S-1까지의 거리를 각각 L, a, b라 하면 독립적인 입력이 가해지는 P-1과 P-2 사이에 위치한 S-1과 S-2에서의 가속도 a_{S-1}^0 , a_{S-2}^0 는 차체바닥을 강체로 가정했을 경우 좌우 A-pillar에서의 진동 입력에 따른 가속도 성분은 식 (1)과 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$a_{S-1}^0(t) = \frac{a_{P-2} - a_{P-1}}{L} \times b \quad (1)$$

Fig. 6 Analysis process

Fig. 7 Accelerometer position length

$$a_{S-2}^0(t) = \frac{a_{P-2} - a_{P-1}}{L} \times a \quad (2)$$

한편 강체가 아닌 실제의 차체바닥의 시트 마운팅에서 측정되는 가속도는 각각 a_{S-1} , a_{S-2} 이다. 강체운동으로부터 이탈된 정도의 상대적인 가속도 성분은 다음의 식 (3)과 식 (4)로 표현된다.

$$a'_{S-1}(t) = a_{S-1}(t) - a_{S-1}^0(t) \quad (3)$$

$$a'_{S-2}(t) = a_{S-2}(t) - a_{S-2}^0(t) \quad (4)$$

측정된 가속도-시간 성분에 대한 연산을 수행한 후 FFT 변환을 통하여 주파수 대역별로 진동가속도 성분에 대한 분석이 가능하다. Fig. 8 및 Fig. 9는 P-1 및 P-2로부터의 입력가속도에 따른 S-1 및 S-2에서의 주파수 대역별 가속도 분석결과이다. Fig. 8은 차체바닥을 강체로 가정한 경우이며, Fig. 9는 강체로부터 이탈된 가속도 성분을 나타낸다. 분석된 결과로부터 시트 마운팅이 위치한 S-1, S-2에서의 진동 특성은 강체바닥으로 가정된 경우에 비하여 강체로부터 이탈된 진동가속도의 수준이 S-1의 경우 57.8% 및 67%, S-2의 경우 80% 및 86.3% 수준을 나타냈다.

진동가속도의 RMS값은 전체 진동의 수준을 나타낼을 고려한다면, 차체 바닥면이 강체운동보다는 감쇄된 진동특성을 보인다는 것을 알 수 있다. 또한

(a) Vehicle A_S-1_a°

(a) Vehicle A_S-1_a'

(b) Vehicle A_S-2_a°

(b) Vehicle A_S-2_a'

(c) Vehicle B_S-1_a°

(c) Vehicle B_S-1_a'

(d) Vehicle B_S-2_a°

(d) Vehicle B_S-2_a'

Fig. 8 FFT of rigid motion

Fig. 9 FFT of relative motion

강체운동에서 볼 수 있듯이 상대적으로는 차량의 중앙에 가까운 S-2에서 S-1보다 낮은 가속도 성분이 기대되나, 실제로는 차량 A의 경우에 S-1의 가속도 수준이 높게 나타났다. 이는 Fig. 5(a)에 나타난 바와 같이 특정주파수에서의 공진특성이 나타난 것으로 판단할 수 있다.

차량별로는 차량A의 강체로부터 이탈가속도 수준(RMS)이 차량 B에 비해 상대적으로 높으며, 이를 통하여 차량 A가 차량 B보다 강성이 취약함을 알 수 있었다.

4. 결 론

실차 주행테스트를 통해 A-pillar로 대표되는 도면부하의 가진점에서의 진동특성과 전열시트 마운팅부의 진동특성을 비교 분석하였다. 시트 마운팅부의 진동가속도 측정 결과를 차체의 강성과 연계하여 분석하기 위하여 측정된 가속도 성분을 가정된 강체바닥으로부터의 이탈가속도로 표현함으로써, 정량적인 분석방식을 제시하였다. 본 연구를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 시험 차량의 경우, 도면부하에 따른 차체의 진동 가속도 성분은 수직방향 가속도가 전후 및 횡방향의 2배 이상으로 가장 크며, 그 다음으로 횡방향, 전후방향 순으로 나타났다.
- 2) A-Pillar와 시트 마운팅(S-1, S-2)의 진동 주파수 특성은 대체적으로 유사한 주파수특성을 보이나, 위치 및 차체바닥의 특성에 따라 영향을 받는다.
- 3) 시트마운팅 부위(S-1, S-2)의 진동특성을 설명하

기 위하여 측정된 가속도 성분에서 바닥의 강체운동성분을 제거함으로써, 해당부위 운동이 강체운동으로부터 이탈된 정도를 정량적으로 표현하는 방법을 제시하였다. 이를 통하여 마운팅 부위의 진동특성이 강체조건으로부터 이탈정도를 파악할 수 있었다.

후 기

본 연구는 지식경제부 지정 공주대학교 자동차의장 및 편의부품 지역혁신센터의 지원에 의한 것입니다.

References

- 1) S. H. Shin, C. C. Jung and S. S. Jung, "Experimental Evaluation of Buzz, Squeak and Rattle Noise of Vehicle Doors and Its Prevention," Transactions of KSNVE, Vol.17, No.12, pp.1217-1222, 2007.
- 2) E. Mattingly-Hannigan(Ed.), Vibration Testing on the Job, Mattingly Publishing Co. Inc., pp.55-57, 2008.
- 3) S. H. Shin, C. C. Jung, S. S. Jung and D. H. Kang, "A Study on BSR Noise and Sound Quality Property for Vehicle Interior Module," Transaction of KSNVE, Vol.22, No.6, pp.550-555, 2012.
- 4) Y. D. Jun, K. T. Lee and Y. J. Lee, "6 DOF Motion Characterization of a Driven Vehicle Body," Transaction of AVEC 12-207, 2012.