

주행 중 실내소음과 Wheel의 Lateral Dynamic Stiffness와의 상관관계에 대한 시험적 연구

김병진* · 사정환* · 박진성* · 박현우* · 조성근* · 정헌술**†

* 전북자동차기술원, ** 군산대학교 기계자동차공학부

The Experimental Study on the Correlation of the Interior Noise of a Driving Vehicle with Lateral Dynamic Stiffness of the Wheel

Byung-Jin Kim*, Jung-Hwan Sa*, Jin-Sung Park*, Hyun-Woo Park*, Seong-Keun Cho* and Heon Sul Jeong**†

* Jeonbuk Institute of Automotive Technology

** School of Mechanical Engineering, Kunsan Nat'l Univ.

(Received February 6, 2014 ; Revised March 27, 2014 ; Accepted March 29, 2014)

Key Words: Lateral Dynamic Stiffness(횡동강성), Road Noise(도로소음), Vehicle Wheel(자동차 휠) Modal Test(강성시험), Indoor Noise(실내소음)

초록: 현재 소비자들이 자동차를 선택하는 여러 이유 중에서, NVH 성능이 아주 중요한 역할을 하고 있다. 근래 하이브리드 및 전기자동차들은 전통적인 차량의 주요 소음원 이었던 엔진의 소음이 거의 발생되지 않아 자동차 실내의 소음에 대한 관심은 더욱 커지고 있다. 해외 참고문헌에 의하면 자동차 휠의 높은 Lateral Dynamic Stiffness(LDS)가 운전 중 발생하는 Structure Bone Noise(SBN)를 저감시키는 것으로 기술되어 있다. 하지만 유효한 기준 및 시험적 결과가 미비하여, 본 연구에서는 LDS가 서로 다른 휠에 동일 타이어를 부착하여 실내소음을 시험 측정하였다. 그 결과 휠의 LDS에 따라 실내소음이 변화되는 것을 확인하였다. 이는 휠의 최적설계로 실내소음의 저감이 가능할수 있다.

Abstract: Nowadays, among several reasons for customers to choose their own cars, NVH performance plays much important role. The concern for the car interior noise is increasing recently, because electric cars and hybrid cars generate less engine noise which was the main noise of traditional cars. According to oversea references, high Lateral Dynamic Stiffness (LDS) of vehicle wheels is described to reduce Structure Bone Noise (SBN) which is being generated while driving cars. However available test standards and test results are not enough, in this study the interior noise has been measured after attaching a same tyre to several wheels which has different Lateral Dynamic Stiffness. The test has verified that the interior noise differs depending on Lateral Dynamic Stiffness of wheels. As to this, the reduction of the interior noise can be possible with the optimal design of the wheel.

1. 서론

소비자들의 자동차 선택 시 주요 고려 사항들 중 NVH 성능의 중요성이 최근에 점점 확대되고 있다. 그러나 아직도 많은 소비자들이 주행 중 발생하는 자동차 실내소음 및 진동에 불만을 느끼고 있으며 이를 해결하기 위해 자동차회사 및 부품회사에서 많은 인력과 비용을 투자하고 있다. 또한 하이브리드 및 전기자동차의 개발로 실내소음의 주요 원인인 엔진 소음이 거의 발생되지 않아 과거에는 중요시 생각되

† Corresponding Author, hsjeong@kunsan.ac.kr

지 않던 소음들의 저감 필요성이 강조되고 있다.^(1,2)

실내소음의 주요원인은 주행 시 노면의 가진에 의해 발생된 진동이 타이어와 현가장치를 통하여 차량의 실내로 전달되는 도로소음이다. 도로소음은 타이어나 현가장치의 공진에 의해 발생하는 저주파수 성분의 저속부밍과 타이어 패턴에 의한 500 Hz 이상의 고주파 성분으로 나누어진다.⁽⁴⁾ 업계에서는 타이어 패턴 및 재질의 변화를 통해 많은 소음저감을 가져 왔으나, 타이어의 성능 향상만으로 소비자가 원하는 수준의 실내소음을 구현하는 데는 한계가 있다.

주행 중 운전자가 느끼는 소음은 Air Bone Noise(ABN)와 Structure Bone Noise(SBN)로 구별되며 도로소음은 SBN의 주요 인자 중 하나이다. 해외문헌⁽³⁾에서는 자동차 휠의 Lateral Dynamic Stiffness(LDS)가 도로소음의 정도를 좌우하는 주요 인자로 고려되고 있다. 즉 LDS가 높을수록 도로소음이 감소하여 운전자에게 전달되는 SBN이 감소시키는 것으로 기술되어 있다. 그러나 구체적인 도로소음 감소를 위해 필요한 LDS의 기준 값이 없어 국내 휠 생산업체들은 제품생산 시 많은 시행착오를 겪고 있다.

이에 본 논문은 3종류의 휠을 이용하여 모달 테스트와 주행시험을 진행하여 주행소음과 LDS와의 상관관계를 시험적으로 접근하고자 한다.

2. LDS의 이론적 배경

일반적으로 모달 테스트를 통해 얻어진 제품의 주파수응답함수 그래프는 Fig. 1과 같다. f_1 은 고유진동수로 제품의 외력이 가하면 공진이 발생하는 주파수이다. f_2 는 반공진주파수로 공진의 반대 개념이며, 일반적으로는 두 개의 공진주파수 사이에서 나타난다. 모달 테스트를 통해 검출된 f_1 , f_2 를 이용하여 LDS를 계산하게 된다.⁽³⁾

이때 각 지점에서의 입력함수와 출력함수의 관계를 고려하여 국부 주파수응답선도를 구하고, 이를 활용하여 휠 전체의 주파수응답선도를 도출할 수 있다. LDS의 도출을 위해 다음과 같은 식을 사용하였다.

$$hecl = (2 \cdot \pi \cdot f_2)^2 \left[1 - \left(\frac{f_2^2}{f_1^2} \right) \right] \quad (1)$$

여기서, f_1 과 f_2 는 모달 테스트로 얻어진 공진점과 반공진점을 의미하고, M_T 는 타이어 질량을 뜻한다.

3. 모달 테스트 결과를 이용한 LDS 측정

모달 테스트를 수행하기 위해 가속도계, 임팩트 해머, DAQ system을 이용하여 시험 시스템을 구성하였으며 시험을 진행하였다. LDS 도출 시 휠과 타이어가 결합된 상태 또는 휠 단독 상태에서 모달 테스트를 수행하여 도출할 수 있으며, 본 논문에서는 타이어의 영향을 최대한 배제하기 위해 휠 단독상태로 시험을 진행하였다.

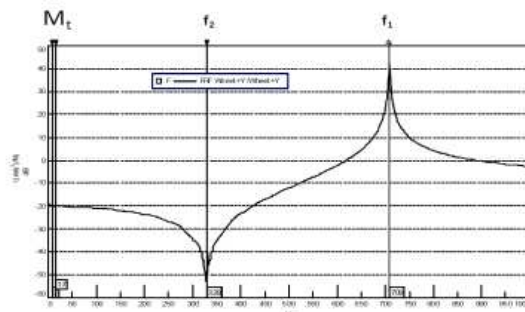


Fig. 1

Table 1 Test results of lateral dynamic stiffness

Index	Type A	Type B	Type C
Lateral dynamic stiffness	50.85 kN/mm	73.05 kN/mm	99.88 kN/mm

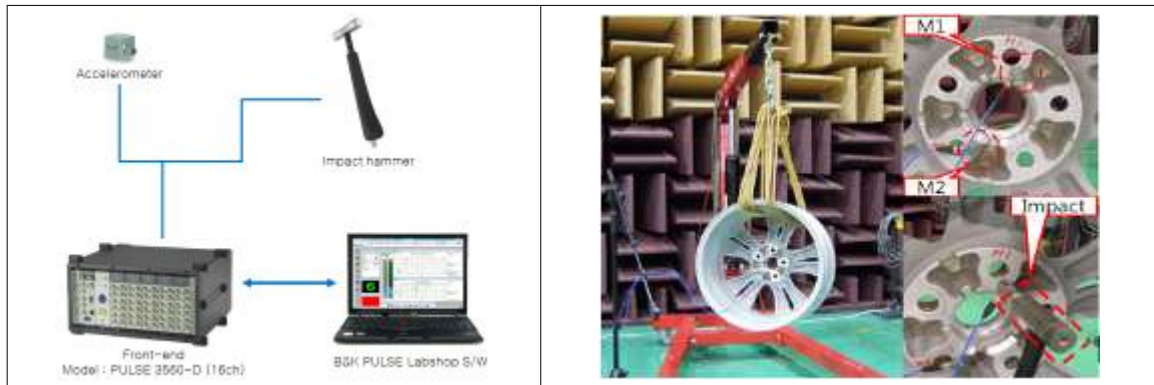


Fig. 2 Test equipment and setup

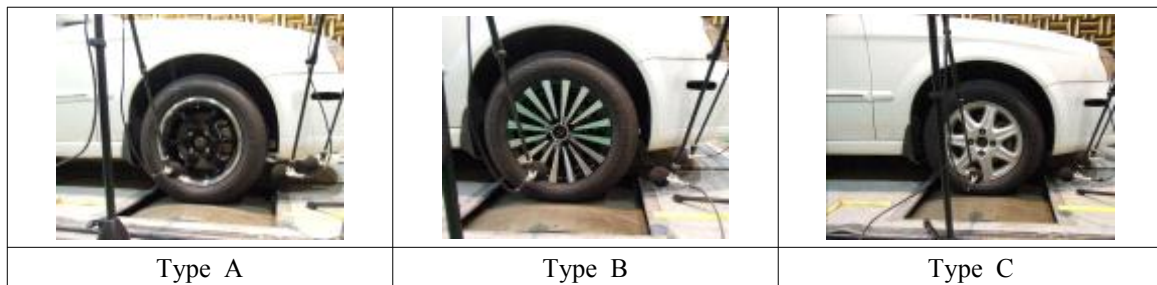


Fig. 3 Wheels to calculate LDS

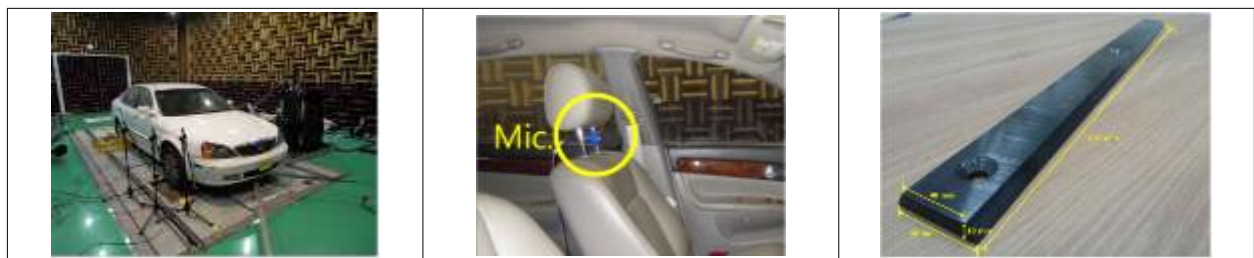


Fig. 4 Vehicle setup and impact bar

시험에 사용된 휠은 소형 자동차에서 일반적으로 사용되는 3종류의 15인치 알루미늄 휠을 선정하였다. 선정 이유는 소형 자동차의 경우 외부와의 흡·차음 성능이 낮기 때문에 LDS가 변할 경우 운전석에서 주행 소음 변화가 명확하기 때문이다. 시험에 사용된 휠은 Fig. 3과 같다.

모달 테스트를 통해 도출된 f_1 , f_2 를 이용하여 계산된 LDS는 Table 1과 같다.

4. 주행소음과 LDS와의 상관관계

휠의 주행소음을 측정하기 위해 새시다이내미에서 차량 주행시험을 실시하였으며 엔진 및 흡배기 소

음을 제거하기 위해 자동차 key-off 상태에서 새시디나모를 구동시켰다. SBN는 도로 요철에 의해 발생된 진동이 소음원이기 때문에 새시디나모 휠에 대칭으로 임팩트를 바(Fig. 4)를 설치하여 도로 요철을 재현하였다. 주행속도는 운전자가 과속방지턱 또는 파손된 도로 등에서 감속 운행함을 고려하여 20, 30 km/h로 결정하였다. 소음측정은 차량 외부 타이어 근접소음과 실내 운전석 위치에서 각각 측정하였다.

각 휠 별 평균 소음(overall)과 최대 소음(max.)은 Table 2와 같다. 비교결과 LDS와 주행소음과의 상관관계를 알 수 있다. LDS가 증가함에 따라 실내소음의 평균소음과 최대소음 모두가 감소되었으며, 이는 20 km/h와 30 km/h 동시에 확인이 되었다. LDS가 최대인 type C의 평균 소음이 최소인 type A 보다 약 3 dB(A) 정도 낮게 측정되었으며, 최대 소음은 약 5 dB(A)가 낮게 측정되었다. 일반적으로 약 3 dB(A) 정도의 소음은 사용자가 인지할 수 있는 정도의 레벨이며, 에너지기준으로 약 2배 정도가 감소된 결과이다.

주파수 분석결과 실내 주행 소음이 감소한 주요 주파수는 약 240 ~ 500 Hz의 대역임을 확인할 수 있었으며, 이는 LDS가 SBN에 영향을 미치는 주파수영역으로 확인 수 있다. 하지만 type B와 type C의 실내의 도로소음 및 최대 소음이 1 dB(A) 이내의 차이가 발행함으로 최적의 LDS가 존재함을 예측할 수 있었다.

Table 2 Test results of the interior noise of a driving vehicle

	Lateral dynamic stiffness (kN/mm)	20 km/h		30 km/h	
		Overall(dB(A))	Max.(dB(A))	Overall(dB(A))	Max.(dB(A))
Type A	50.85	50.1	59.7	54.5	60.9
Type B	73.05	48.0	55.2	51.5	58.3
Type C	99.88	47.2	54.7	52.0	58.0

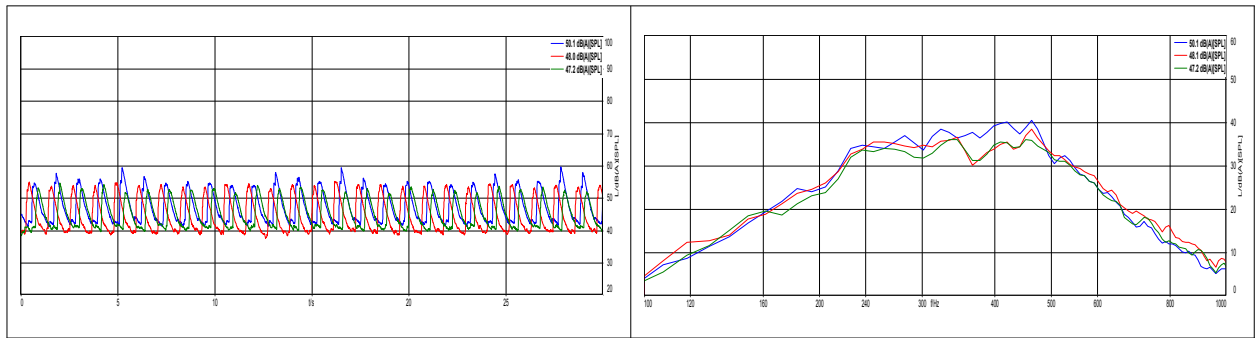


Fig. 5 The graph of interior noise(20 km/h)

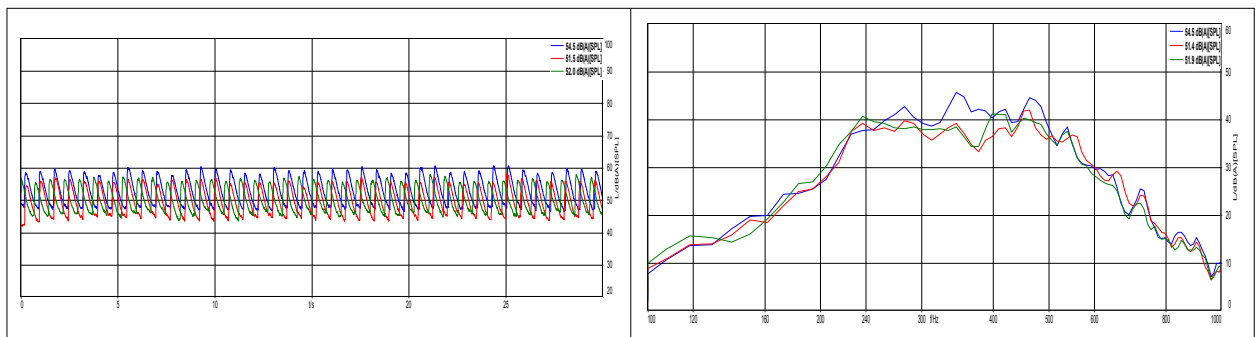


Fig. 6 The graph of interior noise(30 km/h)

5. 결론 및 향후 추진과제

본 연구를 통해 LDS와 도로소음과의 상관관계를 비교한 결과 그 상관성이 매우 높음을 확인 할 수 있었다. LDS가 높은 제품의 SBN 저감이 확인되었으며, 최적의 LDS가 존재함 또한 예측할 수 있었다. 전기자동차 및 하이브리드 자동차의 개발로 엔진 및 흡배기 소음등 각종 외부소음이 저감됨으로써 도로 소음이 부각될 수 있는 가까운 미래에 본 연구를 통해 확인된 LDS와 실내소음과의 상관관계를 연구하고 이를 휠 설계에 반영한다면 보다 효과적으로 주행 중 실내소음을 저감할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 CAE프로그램을 이용한 구조해석을 통해 LDS를 높일 수 있는 인자가 무엇인지 연구 할 필요가 있다. 해석을 통해 디자인, 구조(Hub, Rim, Spoke)에 따른 LDS의 상관관계를 분석하여 최적설계방안 도출된다면 불필요한 제작을 줄일 수 있어 원가를 절감하고 개발기간을 단축 할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 휠 강성의 정량적 분석이 가능하여 유지관리 및 사후관리 비용 절감이 도움이 될 것으로 예상된다.

참고문헌 (References)

- (1) Kim, B. J., Moon, N. S., Park, J. S. and Park, H. W., 2010, "Experimental Evaluation Method for Investigating BSR Noise of Vehicle Seats," *Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference*, pp.425~426.
- (2) Kim, B. J., Moon, N. S., Park, J. S., Kim, M. S. and Park, H. W., 2010, "Squeak and Rattle Noise with Vibration Durability Test for a Cluster," *Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference*, pp.346~347.
- (3) GMW14188, 2009, "Tire Force Transmissibility and Wheel Lateral Stiffness Evaluation Procedure," Worldwide Engineering Standards, General Motors Corp.
- (4) Sa, J. S., 2003, "The understanding of the car vibration and noise," Cheong moon gak, Seoul, pp. 126~132.