

노면 변화에 따른 타이어 소음 특성 연구

A Study on Tire Noise Characteristics for Various Road Surfaces

남경탁† · 강영규 · 이동하 · 김기전 *

Kyung-Tak Nam, Young-Kyu Kang, Dong-Ha Lee, Gi-Jeon Kim

Key Words : Tire Noise, Contact Force, Power Spectrum Density, Inverse Filter, Impulse Response

ABSTRACT

Roughness of a road is an important parameter which not only indicates vehicle's vibration and noise, but it is also related to the contact force of the tire which is induced by tire's deformation and vibration. Since tire noise indeed comes from this deformation and vibration, the estimation of the force is the key factor for the reduction of tire noise. Because of the difficulty of directly measuring the contact force, the indirect estimation is enforced from the vibration signature measured on the tire support. This study suggests the "inverse filtering" technique well known in modern digital signal processing, so as to reform the tire contact force from monitored vibration signals.

1. 서론

노면과 타이어 사이의 소음 발생 기구를 보면 노면의 거칠기와 노면과 타이어 사이의 접촉력이 소음 발생의 가장 큰 인자이다. 실제 노면의 거칠기는 차량의 진동과 소음에 영향을 주고, 타이어의 진동과 소음을 야기하는 접촉력(contact force)과 관계가 있다. 타이어 접촉력에 대한 연구는 타이어 소음 저감을 위한 가장 중요한 요인 중 하나이다. 하지만 타이어 접촉력은 차량 주행 시 노면과 타이어 사이에 발생하는 힘으로 계측 장비를 통한 계측이 어려웠다. 실제 노면에서의 접촉력을 계산하기 위해서는 시험에 대한 정확한 이해와 디지털 신호 처리 과정에 대한 적절한 모델링이 필요로 한다

본 연구에서는 실제 노면의 Power spectrum density 를 구하기 위해 Smooth Pattern Tire(SMT)를 사용하여 Smooth Asphalt 및 Rough Asphalt 노면에서 Tire-wheel Axle 하단부의 가속도를 계측하여 주행 시 노면별 가진 주파수를 구하고, Shaker 를 이용하여 Tire-wheel Axle System 의 응답 특성 (Impulse Response) 를 구한 다음, 이 결과에 "inverse filtering"의 디지털 신호 처리 기법을 적용하여 노면별 타이어 접촉력을 estimation 하였다.

2. Inverse Filtering

실제 차량 주행 시 노면 가진에 의한 소음의 전달 경로는 노면과 Tread 사이에서 발생된 노면 접촉력은 Tire 의 Sidewall 을 통해 Wheel 과 차량으로 전달된다. 이를 수식으로 나타내면 식(1) 과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(n) = h(k) * x(n) + n(n) \quad (1)$$

식 (1)에서 $x(n)$ 은 노면 접촉력, $y(n)$ 은 Tire-wheel Axle 부에서 계측된 가속도이고, $h(k)$ 는 이 시스템의 응답특성을 나타내며, $n(n)$ 은 가속도 계측과 관련된 noise 를 나타낸다.

식(1)을 z-transform 변환을 하면 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Y(z) = H(z) * X(z) + N(z) \quad (2)$$

식(2)에서 계측된 noise 를 무시할 수 있다면 입력 신호 $x(n)$ 는 $Y(z)/H(z)$ 의 z-transform 의 역변환을 통해 구할 수 있다.

3. 실험

3.1 노면 Power spectrum density 측정

실차 실험은 차량의 Tire-wheel Axle 하단부에 가속도계를 Fig. 1 과 같이 설치하고 Smooth

† 금호타이어 기술연구소 NVH 팀

E-mail : mars1@tire.kumho.co.kr

Tel : (062) 940-2804, Fax : (062) 940-2850

* 금호타이어 기술연구소 NVH 팀

Asphalt 와 Rough Asphalt 에서 각각 80, 60 KPH 로 정속으로 주행하며 노면에서의 가속도를 계측하였고, 계측에 사용한 장비는 LMS 사의 Pimento 를 사용하였다.

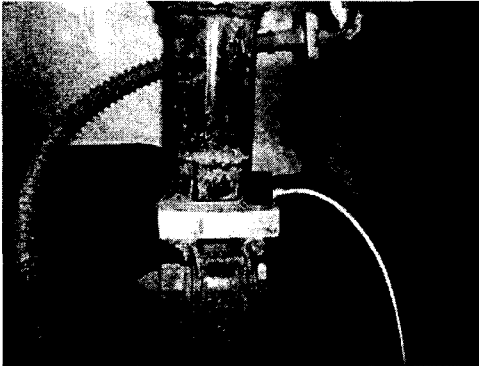


Fig. 1 Accelerometer Installation

시험에 사용한 타이어는 215/65R15 의 Smooth Pattern Tire(SMT)를 사용하였으며, 각각의 노면에서의 가속도는 Fig. 2 와 같이 나타나고, 가속도 Spectrum 분석 결과는 Fig. 3 이다.

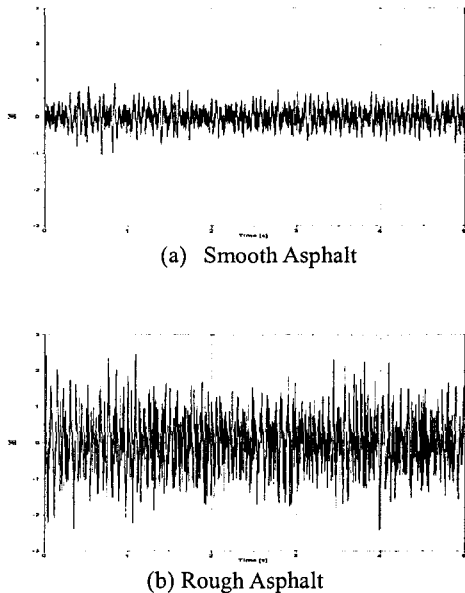


Fig. 2 Real time data of the acceleration

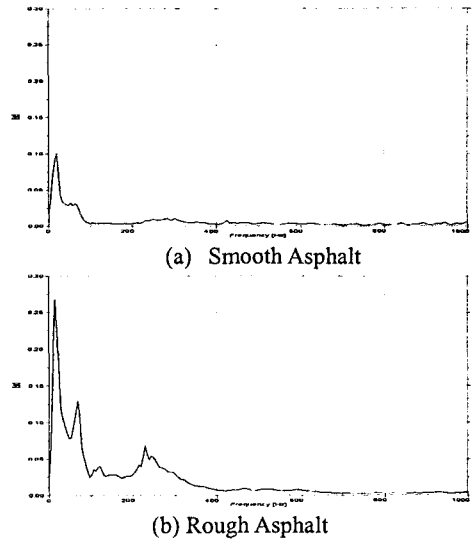


Fig. 3 Frequency Spectrum of the acceleration

가속도 Spectrum 을 나타낸 Fig.3 의 (b) 에서 Rough Asphalt 노면의 경우, Smooth Asphalt 와 달리 15Hz 대의 가속도가 크게 증가 하였고, 68 및 230Hz 대에서의 가속도 역시 Smooth Asphalt 대비 높아짐을 확인할 수 있다.

3.2 Tire Impulse Response 측정

실내 시험은 Fig. 4 와 같이 Electromagnetic Shaker 를 사용하여 타이어를 면가진하였다. Shaker 의 Stinger 부에 Force Transducer 를 설치하여 차량에 전달되는 가진력을 계측하였고 차량의 Tire-wheel Axle 하단부의 가속도를 계측하여 LMS 사의 CADA-X 를 사용해 임펄스 응답 (Impulse Response) 을 구하였다.

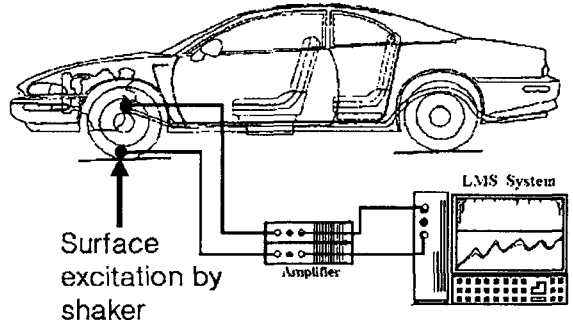


Fig. 4 Diagram of the Impulse Response Test

실내 시험에 사용한 차량은 실차 시험에 사용한 차량과 동일한 차량을 사용하였으며, 차량의 가속도 계측 위치도 노면 Power spectrum 계측 시험과 동일하다.

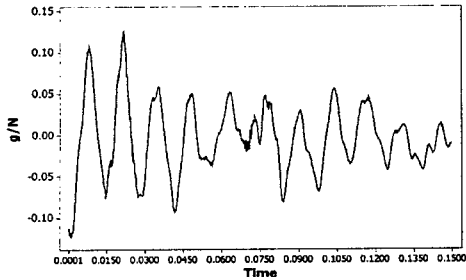


Fig. 5. Impulse Response between the impact force on the tire and the wheel support structure

Fig. 5 는 실내 시험을 통해 구한 임펄스 응답의 결과이다.

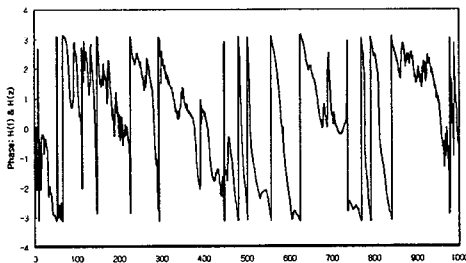
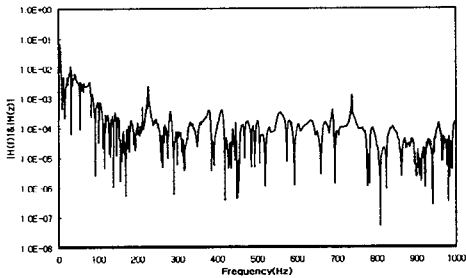


Fig. 6 Comparison Between the measured response $H(f)$ and the Filtered model $H(z)$

Fig. 6 은 Fig. 5 의 임펄스 응답의 주파수 분석 (Frequency Response)과 Phase 의 결과이다.

4. 노면 가진력 Estimation

실차 시험을 통해 구한 노면의 가속도 성분과 실내시험을 통해 구한 임펄스 응답의 결과를 통해 노면 가진력을 계산하였다. Fig. 7 은 Smooth Asphalt 의 임의의 구간의 Real time 데이터이다.

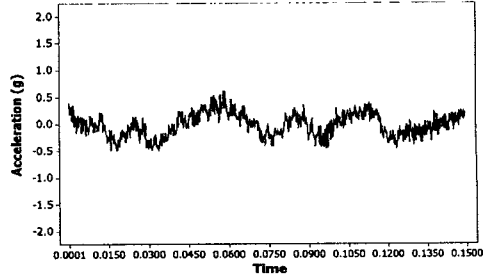


Fig. 7 Acceleration of the Smooth Asphalt

Smooth Asphalt 에서 계측된 Tire-wheel Axle 부의 가속도에 실내시험에서 구한 임펄스 응답을 적용하여 실제 노면에서 가진되는 가진력을 구하면 Fig. 8 과 같이 구할 수 있다.

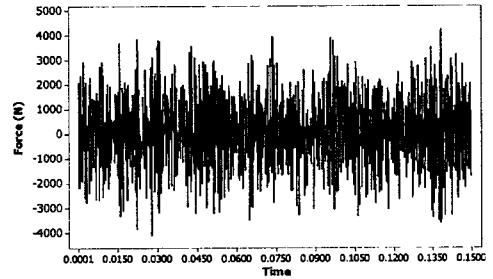


Fig. 8 Force from the Smooth Asphalt

동일한 방법으로 Rough Asphalt 에 적용한 결과 노면에서의 가속도와 노면 가진력을 Fig. 9, 10 과 같이 나타낼 수 있다.

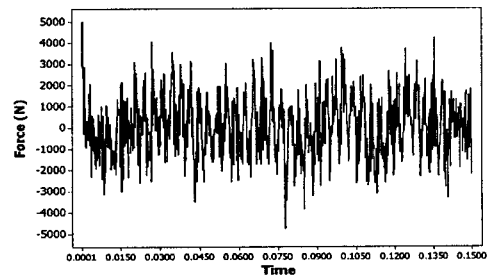


Fig. 9 Acceleration of the Rough Asphalt

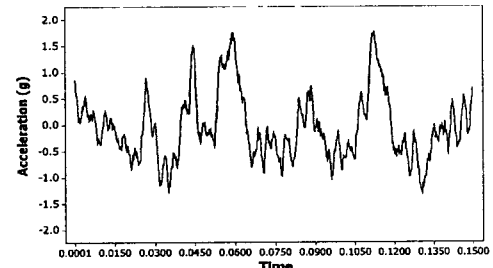


Fig. 10 Force from the Rough Asphalt

Fig. 7 과 9 의 각 노면에서의 가속도를 비교하면 Smooth Asphalt 의 경우 노면과의 접촉이 Rough Asphalt 보다 빈번함을 알 수 있다. 이는 Fig. 8 의 Smooth Asphalt 접촉력에서도 Fig. 10 의 Rough Asphalt 접촉력보다 크기는 작지만 계속적인 가진이 입력됨을 알 수 있다.

5. 결 론

차량 주행시 타이어가 받는 노면력을 계산하기 위하여 차량의 Tire-wheel Axle 부에 가속도계를 장착하여 실차 주행시 발생하는 가속도를 측정하고, Impulse Response 시험을 통해 노면과 타이어 사이의 응답 특성을 구해 노면 접촉력을 Estimation 하였다.

본 연구를 통해 구한 노면 접촉력 계산 방법은 여러 연구에 응용될 수 있으며, 차량의 승차감 및 소음 개선을 위한 연구에 유용하게 적용될 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) K.Plofkin, M..Montroll and W.Fuller, 1980, The Generation of Tire Noise By Air Pumping and Carcass Vibration, Inter Noise 80, (Miami, Florida, USA)
- (2) L.E.Kung, W.Sodel and T.Y.Yang, 1987, On the Vibration Transmission of a Rolling Tire on a Suspension System Due to Period Tread Excitation, JSV, Vol.115, pp. 37-63
- (3) R.H.Lyion, 1987, Machinery Noises and Diagonostics, Butterworth, London
- (4) A.V.Oppenheim and R.W.Schafer, 1975, Digital Signal Processing, Prantice-Hall
- (5) W.S.Cheung, B.D.Lim and H.J.Eun, 1994, Recovery of Source Waveforms from Measured Vibration Signals, XIII IMEKO World Congress(Torino, Italy), Vol 2, pp. 1201-1204
- (6) T.W.Parks and C.S.Bussus, 1987, Digital Filter Design, John Wily&Sons, New York