

음향진동 상반 정리를 이용한 차량 전달 특성 분석 기법 구축 A Analysis on Road Noise Based on Vibro-Acoustic Reciprocity Theory for Automotive Tire

박종호* · 이상권† · 황성욱**

Jongho Park, Sangkwon Lee, Sungwook Hwang

1. 서 론

자동차의 소음의 원인 규명은 저 소음 자동차의 개발에 대한 기본 요구이며 원인의 명확한 규명은 소음 개선의 지름길이 된다. 일반적으로 자동차 타이어의 주요소음은 두 가지로 분류되는데 고체 전달음인 로드노이즈(Road-noise)와 공기전달음인 타이어 패턴노이즈(Pattern-noise)로 분류된다. 패턴소음은 주로 500Hz 이상에서 발생하며 로드노이즈는 그 이하에서 주로 발생한다. 패턴소음은 타이어 자체 문제이지만 로드노이즈는 타이어 및 차체와 타이어의 연관된 문제로서 분석과 개선이 난해하다. 본 연구에서는 로드노이즈에 대한 타이어영향을 분석하기 위해서 음향 상반정리 (Vibro-Acoustic Reciprocity) 기술을 도입하여 차량 실내에서 로드노이즈의 기여도를 분석하고 향후 타이어 소음 개선에 대한 방향을 제시하고자 한다.

2. 차량 전달 특성 분석 기본 이론

차량 전달 특성을 분석하기 위한 기본 적인 필요 조건으로써 타이어의 전달함수를 구해야 한다. Fig.1 과 같이 타이어의 선단부(Leading Edge)의 반지름방향(r) 및 접선방향(t)과 차축과 연결되는 부분의 휠 부근에 가속도센서를 부착하고 휠과 가장 가까운 차축부분을 임팩 해머로 가진하면 두 가지의 전달함수를 얻게 된다. 식(1)과 (2)의 전달함수에 Fig.1 의 아래의 그림과 같이 상반성이론 (Reciprocity Theory)을 적용하면 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} a_r \\ a_t \end{pmatrix}_{Tire\ Leading\ Edge} = \begin{bmatrix} H_{rx} & H_{ry} \\ H_{tx} & H_{ty} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \end{pmatrix}_{Axle} \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} a_x \\ a_y \end{pmatrix}_{Wheel\ Near\ Axle} = \begin{bmatrix} H_{xx} & H_{xy} \\ H_{yx} & H_{yy} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \end{pmatrix}_{Axle} \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} a_x \\ a_y \end{pmatrix}_{Axle} = \begin{bmatrix} H_{xr} & H_{xt} \\ H_{yr} & H_{yt} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} F_r \\ F_t \end{pmatrix}_{Tire\ Leading\ Edge} \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} a_x \\ a_y \end{pmatrix}_{Axle} = \begin{bmatrix} H_{xx} & H_{xy} \\ H_{yx} & H_{yy} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \end{pmatrix}_{Wheel\ Near\ Axle} \quad (4)$$

다음으로는 Fig.2와 같이 타이어를 탈거하고 차축과 휠이 연결되는 부위에 가속도 센서를 장착하고 음향가진기(Q-source)를 이용하여 차량 실내의 음압 측정위치에서 Monopole Source로 가진하면 다음과 같은 전달함수가 측정되며, 이를 음향진동상반 정리를 이용하여 정리하면 다음과 같다.

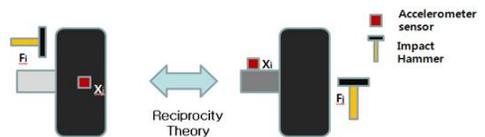


Fig. 1 Tire transfer function & Reciprocity Test

† 교신저자; 정회원, 인하대학교 기계공학과

E-mail : sangkwon@inha.ac.kr

Tel : 032-860-7305, Fax : 032-868-1716

* 인하대학교 기계공학과

** 넥센타이어

$$\begin{pmatrix} H_x \\ H_y \end{pmatrix}_{\text{Vibro-Acoustic Transfer Function}} = \begin{pmatrix} \ddot{x}_x \\ Q \\ \ddot{x}_y \\ Q \end{pmatrix}_{\text{Axle Near Wheel}} = - \begin{pmatrix} p \\ F_x \\ p \\ F_y \end{pmatrix}_{\text{Vehicle inside}} \quad (5)$$

이러한 방법을 통해 측정된 행렬 및 벡터 형태의 세가지의 전달함수를 수학적으로 계산하여 정리하면 타이어의 선단부에서 차량 내부의 음압측정지점까지의 경로를 가지는 단일의 전달함수를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} [H]_{\text{Transfer Function}}^{\text{Vehicle}} &= \begin{bmatrix} H_{xr} & H_{xt} \\ H_{yr} & H_{yt} \end{bmatrix}_{\text{Tire Leading Edge}} \\ &\times \begin{bmatrix} H_{xx} & H_{xy} \\ H_{yx} & H_{yy} \end{bmatrix}_{\text{Wheel Near Axle}}^{-1} \times \begin{pmatrix} H_x \\ H_y \end{pmatrix}_{\text{Vibro-Acoustic Transfer Function}} \end{aligned} \quad (6)$$

다음 단계는 주행 중 타이어와 노면 형상을 측정하고 이를 타원체 요철화 한 후 타이어의 선단부에서의 상호작용에 의해 발생하는 힘을 계산하는 것이다. 이 힘을 구하기 위해 실제 주행 노면의 적용하는 이론은 Hertzian의 충격 모형이다. Hertzian의 충격 모형을 이용하여 충돌하는 구의 접촉면에서의 압력분포와 충격력을 구하기 위해서 탄성체 역학을 이용하여 유도된 방정식으로 충돌하는 두 탄성체의 충돌에 대한 역학적인 관계를 해석한다. 타이어와 노면의 요철이 충돌할 때 타이어의 선단부에서 충격 힘이 발생한다. 이러한 관계를 수식적으로 표현하면 식(7)과 같고, 이를 개략적으로 Fig.3으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} F_r &= n^{\frac{2}{5}} \left(\frac{5V_a^2}{4n_1} \right) \cos \theta, \quad F_t = n^{\frac{2}{5}} \left(\frac{5V_a^2}{4n_1} \right) \sin \theta \\ n &= \sqrt{\frac{16R_1R_2}{9\pi^2(k_1+k_2)^2(R_1+R_2)}} \quad k_1 = \frac{1-v_1^2}{\pi E_1}, \\ k_2 &= \frac{1-v_2^2}{\pi E_2}, \quad n_1 = \frac{m_1+m_2}{m_1m_2}, \quad V_a = \sqrt{x_p^2+y_p^2} \times \omega, \\ \theta &= \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \frac{y_p}{x_p} - \tan^{-1} \frac{R_e - y_p}{x_p} \end{aligned} \quad (7)$$

k : Poisson's Ratio, E : Young's Modulus,
 m : Mass of Impactor

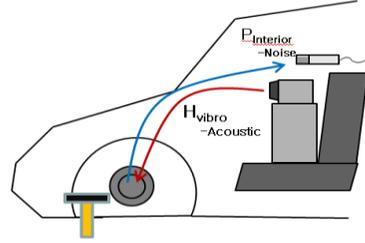


Fig. 2 Vibro-acoustic Transfer Function Test

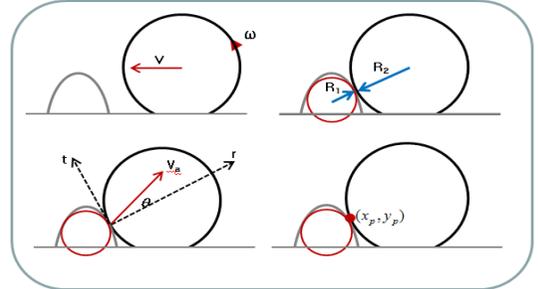


Fig. 3 Tire modeling for Hertzian impact model

이렇게 구한 차량 전달함수와 타이어 선단부의 가진력을 이용하면 다음과 같이 차량 내부의 소음을 예측 할 수 있다.

$$(p)_{\text{Vehicle Inside}} = [H]_{\text{Transfer Function}}^{\text{Vehicle}} \times (F)_{\text{Tire Leading Edge}} \quad (8)$$

3. 결 론

기존의 방법으로는 차량의 주행 중에 실내에서 발생하는 여러 가지의 소음원을 분석하는 방법 가운데 타이어와 노면과의 상호작용에 의한 소음을 예측하는 데는 많은 어려움이 있다. 본 연구에서 제시하는 방법은 실제 노면의 형상에 따른 타이어 로드 노이즈의 분석을 보다 이론적인 근거에 의해 접근하는 것이다. 이러한 연구를 통해 로드노이즈의 분석기법을 확대하고 차량의 소음 개선에 대한 방향을 제시할 수 있을 것이다. 본 연구는 실제 측정 및 실험 Data를 통해 실 차량에서 발생하는 로드노이즈 분석에 대해 진행 중에 있다.

후 기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었으며, 넥센타이어(주)의 많은 지원에 감사드립니다.