

다차원 스펙트럼 해석에 의한 모운 노이즈 발생 원인 규명 Moan-Noise Identification by Multi-dimensional Spectral Analysis

이선훈** · 정운창* · 김진수* · 윤정민* · 오재응†

Sun-Hun Lee, Un-Chang Jeong, Jin-Su Kim, Jung-Min Yoon, Jae-Eung Oh

1. 서 론

차량 소음은 로드 노이즈, 엔진 가진시 차체 진동에 의한 소음 등 여러 종류가 있다. 그 중 모운 노이즈는 Brake 작동시 Brake pad 와 Disk 사이의 불균형 마찰에 의해 발생하는 비정상 소음으로 승객에게 불쾌감과 불안감을 유발시킨다. 본 연구에서는 실차 주행시험을 통해 모운 노이즈를 재현하였고, 모달 테스트를 통해 모운 노이즈 성분을 가지는 CTBA Module 부품을 규명하였다. 또한, 다차원 스펙트럼 해석에 의해 전달경로 해석 및 기여도 해석을 실시하여 모운 노이즈를 발생시키는데 기여도가 큰 부품을 규명하였다.

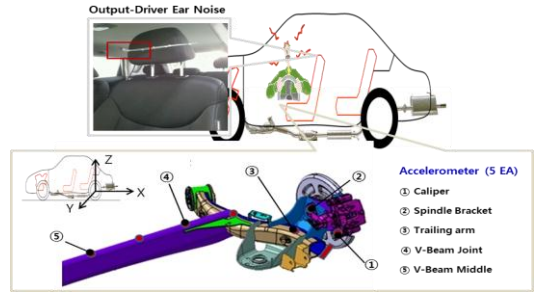


Figure 1. The Measuring instrument set up for measurement of vibration and interior noise at driving test

2. 모운 노이즈 분석을 위한 실차 실험

2.1 실험 장치 및 실험 방법

실험에 사용된 차량은 CTBA Module이 장착된 1600cc의 소형 차량이다. 모운 노이즈 특성을 알아보기 위하여 실차 주행 실험을 통한 모운 노이즈 재현 실험을 실시하였다. 이 때 모운 노이즈는 저운 조건에서 자주 발생하므로 120분간 냉동 챔버에 차량을 방치 후 전/후 방향으로 저속 주행을 하였다. 소음과 진동을 측정하기 위해 Figure 1과 같이 실내 운전석 귀높이 소음과 CTBA Moduel의 전달경로 상의 5개 지점에 진동을 측정하였다. 모운 노이즈가 발생했을 때 좌/우측륜에서 측정된 가속도 응답이 동일하므로 우측륜을 대상으로 측정결과를 분석하였다.

2.2 실차 실험 결과 분석

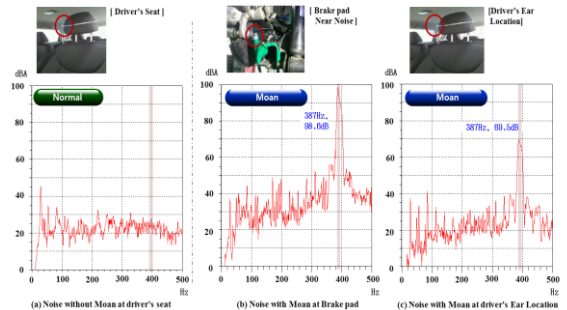


Figure 2. Comparisons between without and with moan noise

모운 노이즈가 발생한 경우 Figure 2의 (c)와 같이 387 Hz에서 높은 피크가 발생하였다. 이 때 Brake Pad 근접 소음 확인을 통해 제동계로부터 원인이 발생하는 것으로 확인하였다. 이들 모두 X 축 방향에서 가장 높은 응답을 나타내어 X 축 방향으로의 진동 응답을 분석하였다. 제동계로부터 CTBA Module까지의 전달경로 진동 응답을 387 Hz 성분을 기준으로 분석하여 Table 1에 나타내었다. Spindle Bracket, Trailing Arm, V-Beam Joint, V-Beam Middle 부의 전달력이 모운

† 교신저자 ; 한양대학교 융합기계공학과
E-mail : jeoh@hanyang.ac.kr
Tel : 02-2220-0452 , Fax : 02-2299-3153
* 한양대학교 융합기계공학과
** 한양대학교 융합기계공학과

노이즈를 발생시키는 주요 부품임을 알 수 있었고, 모달 테스트 결과에서도 확인되었다.

Table 1. Vibration level of system components with moan noise at 387 Hz

	Caliper	Spindle Bracket	Trailing Arm	V-Beam Joint Section	V-Beam Middle Section
X-axis	140.9	151.3	147.3	149.8	143.8
Y-axis	143.2	127.5	104.3	132.7	129.8
Z-axis	146.8	128.8	128.5	131.5	135.3

모두 제동계와 CTBA Module과 같이 여러 전달경로가 결합되어 있기 때문에 전달경로간의 상관성을 고려하여 CTBA Module의 진동과 실내 소음간의 명확한 전달경로 해석 및 기여도 해석이 요구되어 다차원 스펙트럼 해석을 수행하였다.

3. 다차원 스펙트럼 해석에 의한 모운 노이즈 발생 원인 규명 및 기여도 해석

3.1 제동계-CTBA Module의 다중입력/단일출력 모델링에 의한 전달경로 해석 및 기여도 평가

2장에서 확인한 주요 부품 4가지를 입력으로 귀높이 소음을 1출력으로 선정하여 Figure 3과 같이 다중입력/단일출력에 따른 전달경로 해석을 수행하였다.

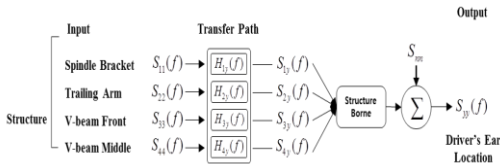


Figure 3. 4-input and 1-output model

먼저, 입력간 및 입출력간에 상관 관계가 얼마나 존재하는지를 일반 기여도 함수(Ordinary Coherence Function : OCF)의 식(1)에 의해 계산하였고, 그 결과를 Table 2에 나타내었다.

$$\gamma_{ij}^2(f) = \frac{|S_{ij}(f)|^2}{S_{ii}(f)S_{jj}(f)} \quad (i=1,2,\dots,q; j=1,2,\dots,q; i \neq j)$$

$$\gamma_{iy}^2(f) = \frac{|S_{iy}(f)|^2}{S_{ii}(f)S_{yy}(f)} \quad (i=1,2,\dots,q)$$

Table 2. Ordinary coherence values between input and output signals (interior noise) at 387 Hz

Frequency (Hz)	γ_{1y}^2	γ_{2y}^2	γ_{3y}^2	γ_{4y}^2
387	0.90	0.67	0.91	0.62

Table 2의 입출력간 OCF 결과를 통해 387 Hz에서 모두 0.5 이상의 상관을 가지는 것을 확인하였다. 또한, 입력간 OCF 결과에서도 모두 0.5이상의 상관을 나타냈었다. 따라서 CTBA Module에서의 입력간 및 입출력간의 기여도가 유효한 상관관계를 갖고 있음을 알 수 있다. 그러나 입출력간의 OCF 결과만으로 각 신호의 순수 기여도를 알 수 없기 때문에 상관 관계를 고려한 잔차 순수 입력원의 부분 기여도(Partial Coherence Function : PCF) 식(2)를 이용하여 계산하여 Table 3에 나타내었다. 그 결과 Spindle Bracket이 모운 노이즈 발생에 가장 크게 기여하는 부품임을 규명하였다.

$$\gamma_{y^{(i-1)}y}^2(f) = \frac{|S_{y^{(i-1)}y}(f)|^2}{S_{y^{(i-1)}y}(f)S_{yy^{(i-1)}y}(f)} \quad (i=1,2,\dots,q) \quad \text{식 (2)}$$

Table 3. Partial coherence values between input and output signals (interior noise) at 387 Hz

Frequency (Hz)	γ_{1y}^2	γ_{2y1}^2	$\gamma_{3y1,2}^2$	$\gamma_{4y1,2,3}^2$
387	0.93	0.74	0.91	0.73

4 개의 입력이 출력에 충분히 고려되었는가를 알기 위해 다중 기여도 함수(Multiple Coherence Function : MCF) 식 (3)을 이용하여 387Hz에서의 값을 계산하였다.

$$\gamma_{y^{(q)}y}^2 = 1 - [(1 - \gamma_{1y}^2)(1 - \gamma_{2y1}^2) \cdots (1 - \gamma_{qy^{(q-1)}y}^2)] \quad \text{식 (3)}$$

그 결과 0.98의 값이 계산되었으며, 이를 통해 4 입력만으로도 출력에 기여 관계를 적절히 알 수 있음을 확인하였다.

3. 결론

본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 모운 노이즈 재현 실험을 통해 387 Hz에서 모운 노이즈가 발생하는 주파수 성분임을 확인하였다.
- (2) 실험을 통해 측정된 응답들을 다차원 스펙트럼 해석에 의해 Spindle Bracket이 모운 노이즈 발생에 가장 크게 기여하는 부품임을 확인하였다.