

# 기여도 함수 기법에 의한 차량 시트의 래틀 노이즈 규명

## Evaluation of Vehicle Seat Rattle Noise Using Coherence Function Technique

서 범 준\* · 정 재 은\* · 박 군 동\* · 김 학 균\*\* · 박 상 도\*\* · 오 재 응†

Bum-June Seo, Jae-Eun Jeong, Goon-Dong Park, Hak-Gyun Kim, Sang-Do Park and Jae-Eung Oh

(2011년 7월 12일 접수 ; 2011년 8월 8일 심사완료)

**Key Words** : Rattle Noise(래틀 노이즈), Vehicle Seat(차량용 시트), Coherence Function Technique(기여도 함수 기법), Sound Source Visualization(소음원 가시화), Modal Test(모달 테스트)

### ABSTRACT

Recently, customers have been concerned about vehicle NVH depending on vehicle designing and manufacturing technologies development. In choosing vehicle, vehicle NVH is becoming the most important factor to customers. Especially, a seat is the final stage of vibration transfer path to passengers from all sources of vibration like engine, transmission and etc. And seat is the nearest component from driver's ear. For this reason, seat is the most important component that directly related to ride comfort for passengers. And driver can be influenced sensitively by BSR caused by seat. Thus, evaluating the vibration characteristics of vehicle seat and BSR caused by vehicle seat is necessary to reduce the seat BSR. The rattle noise occurred from seat has evaluated through sound source visualization and multi-dimensional spectral analysis - coherence function technique in this paper. Vibration characteristics of the seat has verified through modal test.

### 기 호 설 명

### 1. 서 론

$S_{ii}(f)$  :  $i$ 신호의 자기스펙트럼

$S_{ij}(f)$  :  $i$ 신호와  $j$ 신호의 상호스펙트럼

$S_{ij,r}(f)$  : 잔차 스펙트럼

$L_{ij}(f)$  : 최적 전달함수

$\gamma_{ij}^2(f)$  : 부분 기여도 함수

$\gamma_{y,qi}^2(f)$  : 다중 기여도 함수

자동차의 성능과 기술이 점차 발전함에 따라 차량의 정숙성은 소비자의 차량 선택에 있어, 중요한 영향을 미치고 있다. 차량의 정숙성을 위한 진동·소음 분야에서의 연구는 많은 발전을 이루었고, 이러한 기술적 발전은 파워트레인, 구동계 등에 의해 발생하는 소음, 공력소음 등과 같은 기존의 주 소음을 크게 개선시켰다. 이로 인해 기존에 대두되지 않았던 각 부품 간의 마찰 및 간섭 또는 품질 문제로 야기되는 이음(buzz/squeak/rattle; BSR) 문제에 대한 관심이 높아지고 있다. 차실 내에서의 이음은 대표적으로 대쉬보드(instrument panel)나 시트, 도어 등에서 발생하며<sup>(1)</sup>, 주로 이웃한 부품 간의 유

† 교신저자; 정회원, 한양대학교 기계공학부  
E-mail : jeoh@hanyang.ac.kr  
Tel : (02)2294-8294, Fax : (02)2299-3153

\* 한양대학교 기계공학과

\*\* 현대자동차

격으로 인한 충격음인 래틀 노이즈가 문제가 되고 있다. 특히 근래 들어 차량의 품질 보증 비용에 있어, 시트의 이음을 개선하기 위한 비용이 증가하고 있다.

시트의 이음 규명을 위하여 일반적으로 N10 Loudness, Kurtosis 등 시간 영역의 신호 처리를 통한 연구가 진행되고 있으며<sup>(2,3)</sup>, 이 방법은 이음의 발생 여부를 정량적으로 판단할 수 있으나, 정확한 발생 위치를 알 수 없는 단점이 있다. 이의 보완을 위하여 소음원 가시화를 통한 연구가 이루어지고 있으며<sup>(4-6)</sup>, 소음원 가시화는 소음원을 쉽게 확인할 수 있는 장점이 있으나, 주파수 별로 소음원을 분류하기는 쉽지 않은 단점이 있다. 소음원 가시화를 위해서는 전자식 단축 가진기를 이용한 로드 프로파일 가진기나 정현파 스위프(sine-sweep), 백색 잡음의 가진이 주로 이루어지고 있다. 전자식 가진기는 작동 소음이 작아 소음원 검출에 용이한 장점이 있으나, 동시에 2축 이상을 가진하는 데에는 어려움이 많아 각 축을 독립적으로 가진하여 측정해야 하는 단점이 있다. 시트의 이음 규명을 위한 연구 역시 시간 영역의 신호처리나 소음원 가시화를 통하여 이루어 졌으며<sup>(2,5,6)</sup>, 이 방법들은 공통적으로 이음의 주파수 영역 해석을 포함하지 않는다. 주파수 영역에서의 소음원 규명을 위한 방법으로 다차원 스펙트럼 해석법(multi-dimensional spectral analysis; MDSA)을 이용한 기여도 평가 및 전달경로 해석이 이루어지고 있다. 특히, 다차원 스펙트럼 해석법은 PDP TV나 진공청소기, 세탁기 등 가전제품의 소음 규명이나 차량 주행 시 발생하는 로드노이즈, 또는 엔진 노이즈의 전달경로 해석 등 다양한 분야에서 적용되어 왔다<sup>(7,8)</sup>. 다차원 스펙트럼 해석법 중 기여도 함수 기법(coherence function technique)은 입력(소음원) 간의 상관관계를 제거하여 각 입력의 순수한 기여도를 평가할 수 있는 장점이 있다.

이 연구에서는 시트에서 발생하는 이음 중 가장 문제가 되는 것으로 알려져 있으며 통상적으로 2000 Hz 이하의 주파수 영역에서 나타나는 래틀 노이즈에 주목하였다. 중형 승용 차량의 운전석 매뉴얼 시트에 대하여 유압식 6축 가진기를 이용한 가진 시의 소음원 가시화를 수행한 후, 소음원들의 근접 소음에 대하여 기여도 함수 기법을 적용하였으며, 이를 통하여 소음원들간의 상관관계를 제거하여

운전자 귀 위치 소음에 대한 소음원들의 순수한 기여도를 평가하였고, 운전자 귀 위치에서 측정된 소음의 특성을 분석하여 래틀 노이즈를 규명하였다. 또한, 모달 테스트를 통하여, 측정된 래틀 노이즈가 시트의 진동 특성에 기인한 것임을 검증하였다.

## 2. 기여도 함수 기법

다중입력/단일출력 모형에 대한 입력과 출력 및 그 관계를 Fig. 1에 나타내었고, 이를 푸리에 변환하여 그 관계를 나타내면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Y(f) = \sum_{i=1}^q H_i(f)X_i(f) + N(f) \quad (1)$$

여기에서  $N(f)$ 는 잡음 성분을 의미한다. 이러한 계의 출력 스펙트럼을 구하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_{yy}(f) = \sum_{j=1}^q H_j^*(f)S_{y_j}(f) + S_{nn}(f) \quad (2)$$

다중입력/단일출력 모형에서 입력들 사이의 상호 상관이 존재할 경우, 일반 기여도 함수(ordinary coherence function; OCF)에 의해서 출력에서 차지하는 각각의 입력들의 파워의 양을 파악하는 것은 어렵다. 그러나 입력들 사이의 상관관계를 알 수 있으면 이에 따라 새로운 모형을 도입한 뒤 다차원 스펙트럼 해석법을 적용하여 입력원을 규명하는 것이 가능하게 된다.

입력 간의 상관관계를 제거하여 순수한 입력에 대한 출력의 비를 나타내는 최적 전달함수를 이용하여 다중입력/단일출력 모형에서 입력들 사이의 상관

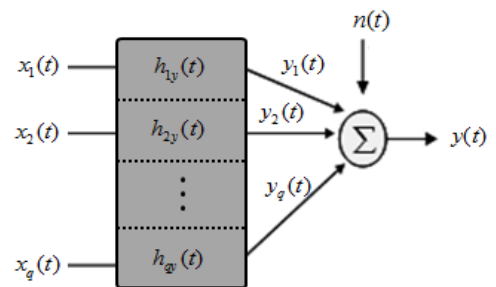


Fig. 1 Multiple input/single output model

성분을 제거한 형태의 모형으로 바꾸어 표현할 수 있다.

$$Y(f) = \sum_{i=1}^q L_{iy}(f) X_{i(i-1)}(f) + N(f) \quad (3)$$

Fig. 2에 최적 전달 함수를 사용하여 간단한 형태로 다시 구성한 모형을 나타내었고, Fig. 3에 이 연구에 적용한 헤드레스트 스테이 상단 및 하단/슬라이드 전방/리클라이너의 4입력에 대한 입력들 사이의 최적 전달함수를 사용한 조건 다중 입력 모형을 나타내었다.

입력 간 및 입/출력 간의 기여 관계를 나타내는 일반 기여도 함수는 다음과 같이 정의한다.

$$\gamma_{ij}^2(f) = \frac{|S_{ij}(f)|^2}{S_{ii}(f)S_{jj}(f)} \quad (4)$$

$$\gamma_{ij}^2(f) = \frac{|S_{ij}(f)|^2}{S_{ii}(f)S_{yy}(f)} \quad (5)$$

$(i=1,2,\dots, j=1,2,\dots, i \neq j)$

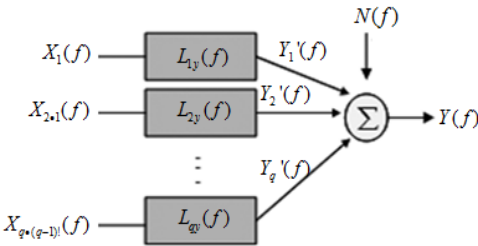


Fig. 2 Conditioned multiple input/single output model

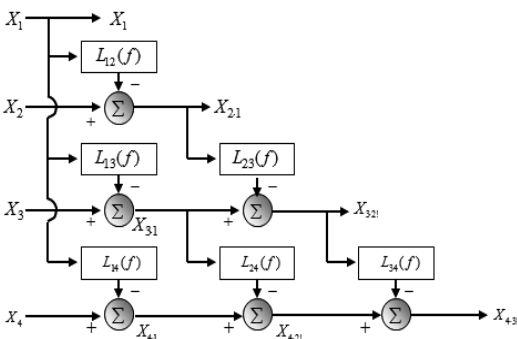


Fig. 3 Conditioned 4-input modeling for correlated inputs

입력 간의 상관관계를 제거하는 과정을 거쳐 각 입력원의 출력에 대한 순수한 기여도를 나타낸 부분 기여도 함수(partial coherence function; PCF)를 다음과 같이 정의한다.

$$\gamma_{iy;q}^2(f) = \frac{|S_{iy;q}(f)|^2}{S_{ii;q}(f)S_{yy;q}(f)} \quad (6)$$

$(q < i, i=1,2,\dots,q)$

위 식을 이용하여 출력의 파워 중 고려된 입력으로부터 전달되는 파워의 비율을 나타내는 다중 기여도 함수(multiple coherence function; MCF)를 구하면 다음과 같이 나타내어진다.

$$\gamma_{y;q}^2 = 1 - (1 - \gamma_{1y}^2)(1 - \gamma_{2y,1}^2) \cdots (1 - \gamma_{qy,(q-1)}^2) \quad (7)$$

다중 기여도 함수는 출력에 영향을 주는 입력원들이 모두 고려되었는가의 판단 기준이 될 수 있다. 실제로 입력원을 검출하려면 입력들의 출력에 대한 순수한 기여량을 계산할 필요가 있으므로, 실험으로부터 측정된 출력 스펙트럼과 기여도 함수와의 잔차 스펙트럼(residual spectrum)을 이용하게 된다. 잔차 스펙트럼은 다른 모든 입력들에 의해서 나타나는 선형적 효과를 제거했을 때 특정 입력의 순수한 영향에 의해서 생기는 출력에서의 파워 양을 의미한다.

q개의 입력을 가지는 다중입력/단일출력 모형에서 순수한 기여량을 나타내는 잔차 기여 스펙트럼은 다음 식에 의해 계산된다.

$$S_{y;j,(n-1)}(f) = \gamma_{iy,(n-1)}^2(f) S_{yy,(n-1)}(f) \quad (8)$$

### 3. 시트 래틀 노이즈의 소음원 검출

#### 3.1 소음원 가시화를 통한 입력원 선정

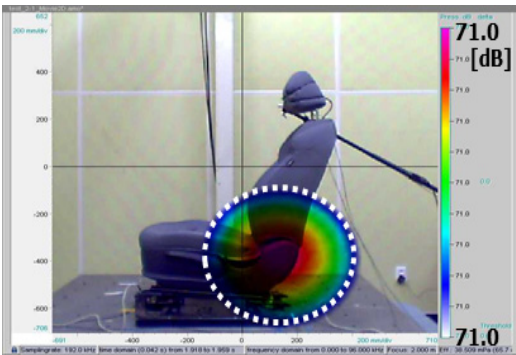
시스템에 대하여 다중입력/단일출력 모형을 적용하였을 때, 입력 및 출력을 선정하는 것이 중요하다. 연구 대상 시트의 진동 특성에 따른 래틀 노이즈의 발생 위치를 확인하고, 입력원을 선정하기 위하여 백색 잡음 가진 시의 소음원을 가시화하였다. 가진을 위하여 6축 동시 가진이 가능한 유압식 가진기를 사용하였고, 측정을 위하여 GFal社의 48채널의 링 타입 마이크로폰 어레이(Array-Ring48-75)가

적용된 음향 카메라를 사용하였다.

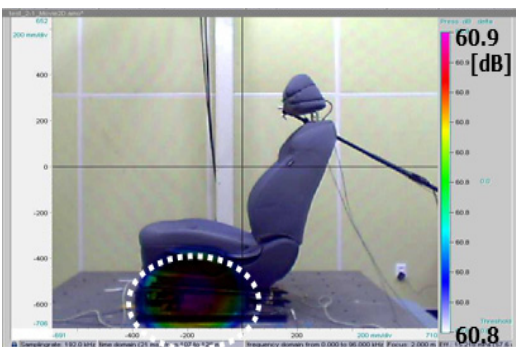
소음원의 가시화는 통상적으로 래틀 노이즈의 발생 범위를 포함하는 0~2000 Hz의 주파수 범위에 대하여 수행하였으며, 소음원 가시화 결과, Fig. 4에 나타난 것과 같이 슬라이드 앞 부분, 리클라이너 및 헤드레스트 스테이에서의 이음이 발생하는 것이 확인되었고, 이들을 다중입력/단일출력 모형의 입력으로 선정하였다.



(a) H/R stay



(b) Recliner



(c) Slide front

Fig. 4 Results of sound source localization using acoustic camera

### 3.2 시트 가진에 따른 래틀 노이즈 특성 해석

연구 대상 시트는 운전석 시트이기 때문에 실 차 상태에서는 항상 인원이 좌좌한 상태이며, 이에 따라 좌좌 시의 소음 측정을 수행하였다. 또한 다중입력/단일출력 모형에서의 출력을 운전자의 귀 위치로 설정하여 소음을 측정하였다.

시트의 진동에 따른 소음의 영향을 알아보기 위하여 시트를 가진기에 장착하지 않았을 때의 가진기 작동 소음과 시트를 장착하였을 때의 소음을 비교하였고, 이를 Fig. 5에 나타내었다.

가진기에 시트를 장착하지 않았을 때에 비하여 가진기에 시트를 장착하였을 때 400 Hz를 제외한 전 주파수 영역에서 높은 음압 레벨을 나타내었으며, 58 Hz의 피크가 관찰되었다. 또한, 암소음과 가진기 대기 상태의 소음 측정을 통하여 400 Hz의 소음은 가진기의 유압 장치에 의한 소음 성분임을 확인하였다.

좌좌 시 시트에서 발생하는 소음을 Fig. 6에 컬러 맵으로 나타내었다. 10~800 Hz 대역에서 래틀 노이즈가 발생하는 것을 확인하였으며, 50~100 Hz 대역에서 상대적으로 높은 레벨을 나타내었다. 이에 따라 0~100 Hz 대역에 대하여 다차원 스펙트럼 해석법을

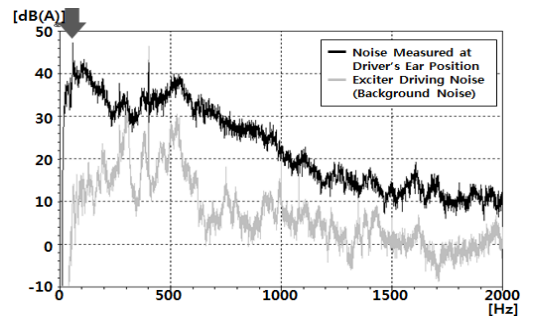


Fig. 5 A comparison of background noise and occupied seat noise at driver's ear position

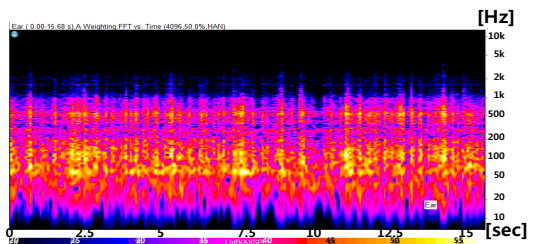


Fig. 6 Colormap of noise at driver's ear position

적용하였으며, 58 Hz성분에 대하여 주목하여 분석하였다.

### 3.3 시트 래틀 노이즈의 기여도 평가

앞서 소음원 가시화의 결과를 통하여 시트에서 구조 상 이음이 발생할 수 있는 위치는 슬라이드 전방과 리클라이너 및 헤드레스트 스테이임을 확인하였다. 이에 따라 시트의 래틀 노이즈 규명을 위하여 운전자 귀 위치에서의 소음 및 소음원에 대한 근접소음 측정을 수행하였다. 근접소음 측정 위치 중 헤드레스트 스테이에서는 헤드레스트 스테이와 가이드 간의 유격으로 인한 래틀 노이즈가 발생할 수 있으며, 또한 헤드레스트 자체의 떨림에 의한 이음 역시 발생이 가능함에 따라 헤드레스트 스테이 상단 및 하단으로 나누어 근접소음을 측정하였다.

소음원들에 대한 근접소음 측정 위치 및 출력 소음 측정 위치를 Fig. 7에 나타내었고, 측정 결과는

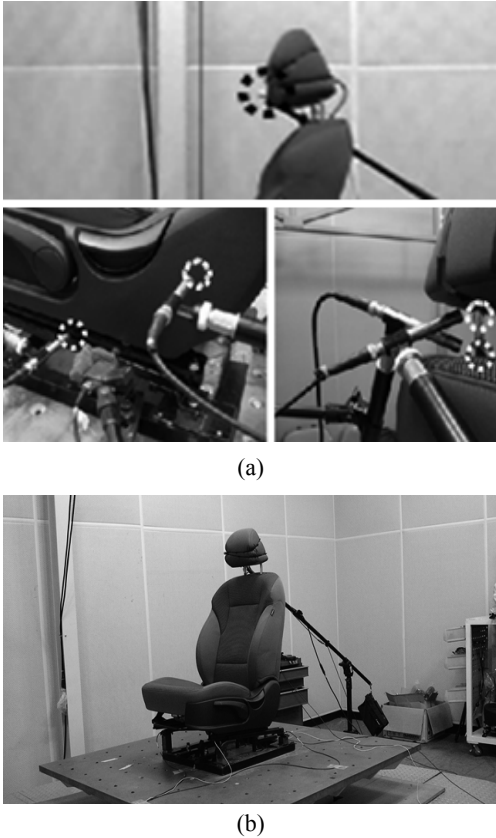


Fig. 7 (a) Sound pressure measurement point and (b) experiment setup

Fig. 8과 같다.

Fig. 9에 나타난 일반 기여도 함수를 통하여 입력 간 또는 입/출력 간 상관관계를 확인할 수 있으며, 근접소음 측정 결과, 대체적으로 입력 간의 상관관계는 높지 않게 나타났다. 헤드레스트 스테이 하단과 상단 간, 슬라이드 전방과 리클라이너 간의 상관관계가 특정 주파수 대역에서 높은 것을 확인할 수 있으나, 전체적으로 모두 높게 나타난 것은 아니므로 다차원 해석법을 적용하기에 무리가 없다고 판단되었다. 일반 기여도 함수 값에서 알 수 있듯이, 입/출력 간의 일반 기여도 함수를 살펴보면, 전체적으로 높지 않다. 그러나 58 Hz에서 높게 나타나는 것으로 미루어 해당 주파수에서는 입력원이 타당하게

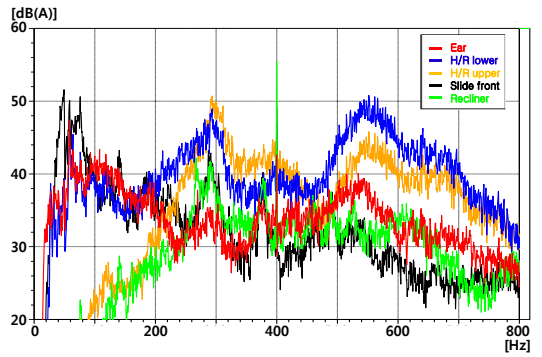


Fig. 8 Measured close proximity noise and noise at driver's ear position

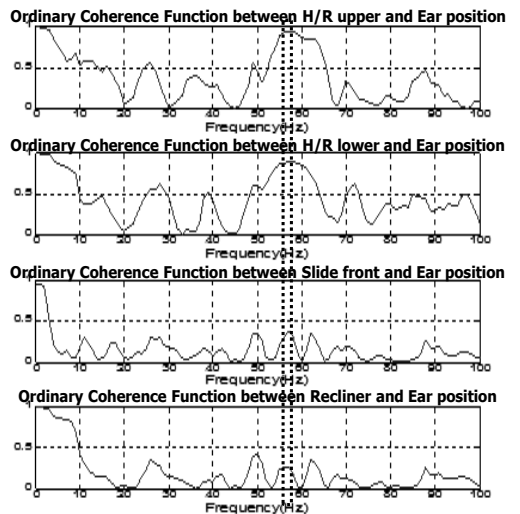


Fig. 9 Ordinary coherence functions between inputs and output

고려가 되었다고 볼 수 있다.

시트 소음에서도 가장 큰 피크를 나타내며, 입/출력 간 일반 기여도 함수 값 역시 가장 크게 나타나는 58 Hz의 입/출력 간 일반 기여도 함수 값을 기준으로 입력원 순서를 배열 하여 다차원 스펙트럼 해석을 수행하였다.

58 Hz에서의 부분 기여 출력 스펙트럼 값을 확인해 보면, Fig. 10에서 알 수 있듯이 헤드레스트 스테이 하단 > 슬라이드 전방 > 헤드레스트 스테이 상단 > 리클라이너 순으로 출력에 크게 기여하는 것을 알 수 있다.

또한, 다중 기여도 함수를 통하여 58 Hz 성분의 출력 소음에 기여하는 입력원들이 빠짐없이 고려 된

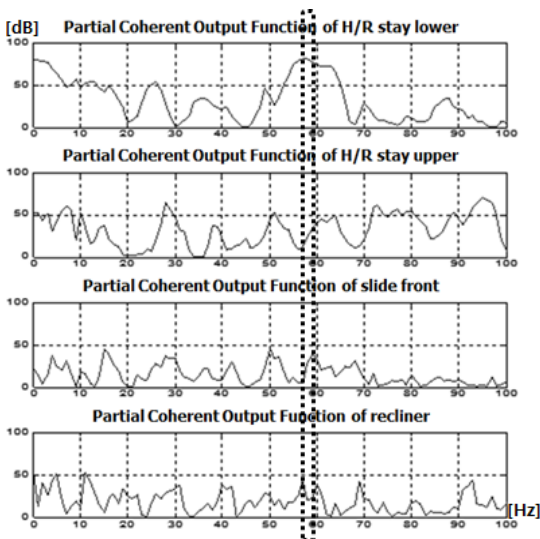


Fig. 10 Partial coherent output spectrum of inputs

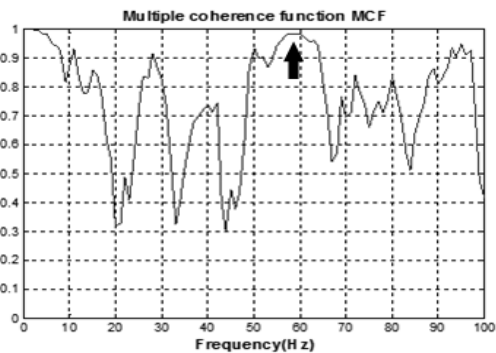


Fig. 11 Multiple coherence function between inputs and output

것을 확인할 수 있으며, 이를 Fig. 11에 나타내었다.

### 3.4 모달 테스트를 통한 시트 헤드레스트의 진동 특성 검증

가진기를 이용한 백색 잡음 가진 시 시트 헤드레스트 스테이에서 58 Hz 성분의 래틀 노이즈가 발생하는 것으로 나타났으며, 58 Hz 성분의 래틀 노이즈가 시트의 진동 특성으로 인하여 나타남을 검증하기 위하여 모달 테스트를 통하여 시트의 진동 특성을 확인하였다.

모달 테스트를 수행하기 위하여 시트의 14개 지점에 3축 가속도계를 각각 부착하였으며, 시트의 결합 부위인 시트 마운팅 브라켓을 충격 망치를 이용하여 가진하였을 때 각 위치에서의 응답을 확인하였다. 시험 장치 및 응답 측정 위치는 Fig. 12와 같이 구성하였다.

앞선 시험 결과 래틀 노이즈가 발생하는 위치인 헤드레스트 스테이의 종 방향(x방향) 주파수 응답을 0~100 Hz범위에서 확인하였고, 그 결과를 Fig. 13에 나타내었다.

23 Hz와 58 Hz의 주목할 만한 공진주파수가 확인되었으며, 이 중 23 Hz의 공진주파수는 시트 백의 전/후 방향 모드가 나타나며, 래틀 노이즈에 크게

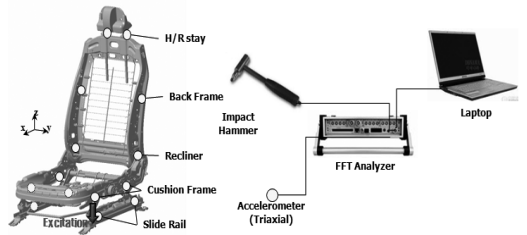


Fig. 12 Experiment setup for seat modal test

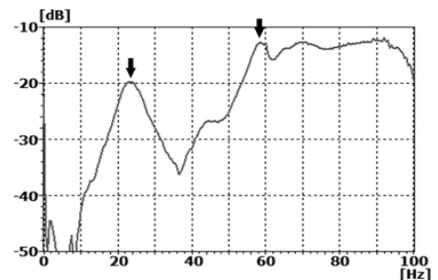


Fig. 13 Frequency response at head-rest stay in direction of x

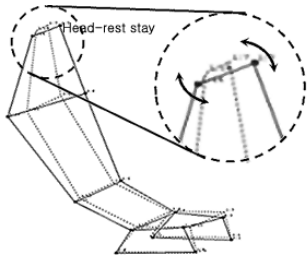


Fig. 14 Mode shape of the seat at 58 Hz

영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다. 또한, 58Hz의 공진주파수는 래틀 노이즈가 발생한 주파수와 일치함을 알 수 있다. 이로부터 앞서 수행한 가진기 시험에서 확인한 58 Hz성분의 래틀 노이즈는 시트의 진동 특성으로 인해 발생한 것을 알 수 있다. Fig. 14에 58 Hz의 모드 형상을 나타내었다.

58 Hz의 모드 형상은 시트 백의 뒤틀림 모드로 나타나며, 헤드레스트 스테이 하단에 해당하는 시트 백 상단의 변위는 시트 백의 중간 부분을 제외하고 가장 큰 것으로 확인되었다. 58 Hz에서 가장 큰 변위가 발생하는 시트 백의 중간 부분은 래틀 노이즈를 발생시킬 만한 메커니즘이 없는 것으로 확인되며, 두 번째로 큰 변위가 발생하는 시트 백 상단에서 헤드레스트 스테이와 가이드 간의 유격으로 인하여 래틀 노이즈가 발생함을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

이 연구에서는 백색 잡음으로 시트를 가진하였을 때의 소음원 가시화를 통하여 확인한 시트 래틀 노이즈의 소음원들에 대하여 기여도 함수 기법을 적용하였다. 기여도 함수 기법을 통하여 소음원들 간의 상관관계를 제거하고 출력에 대한 각 소음원의 순수한 기여도를 확인하였으며, 이를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 가진기를 이용하여 시트를 백색 잡음으로 가진하였을 때 헤드레스트 스테이, 리클라이너 및 슬라이드 전방에서 래틀 노이즈가 발생하였다.
- (2) 운전자 귀 위치에서 측정된 소음은 50~100 Hz 영역에서 높은 레벨을 나타내며, 래틀 노이즈로 판단되는 58 Hz를 목적주파수로 선정하였다.
- (3) 58 Hz의 목적주파수에 대한 모든 소음원의 기여도 평가 결과, 헤드레스트 스테이 하단에서 래틀

노이즈가 발생함을 알았다.

(4) 모달 테스트를 통하여 58 Hz의 래틀 노이즈는 시트의 진동 특성에 의한 것으로 확인되었다.

58 Hz 성분의 래틀 노이즈는 헤드레스트 스테이와 가이드 간의 유격으로 인하여 발생하며, 향후 이의 방지를 위하여 헤드레스트 스테이의 결합부를 구조적으로 개선하여야 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- (1) Gosavi, S. S., 2005, Automotive Buzz, Squeak and Rattle(BSR) Detection and Prevention, SAE Paper No. 2005-26-056.
- (2) Jay, M., Gu, Y. and Liu, J., 2001, Excitation and Measurement of BSR in Vehicle Seats, SAE Technical Paper, No. 2001-01-1552.
- (3) Cerrato-Jay, G., et al., 2001, Automatic Detection of Buzz, Squeak and Rattle Events, SAE Technical Paper, No. 01NVC-43.
- (4) Shin, S. and Cheong, C., 2010, Experimental Characterization of Instrument Panel Buzz, Squeak, and Rattle(BSR) in a Vehicle, Journal of Applied Acoustics, Vol. 71, pp. 1162~1168.
- (5) Kim, B., et al., 2010, Experimental Evaluation Method for Investigating BSR Noise of Vehicle Seats, Proceedings of the KSNVE 20th Annual Spring Conference, pp. 425~426.
- (6) Jeon, J., et al., 2006, An Experimental Approach and Improvement of Buzz, Squeak and Rattle Noise from a Seat, Proceedings of the KNSVE Annual Autumn Conference, No. KSNVE06A-19-01.
- (7) Oh, J.-E., 1983, Application of Multi-dimensional Spectral Analysis for Noise Identification on Mechanical Structures, Thesis of Doctor Eng. Tokyo Institute of Technology.
- (8) Kim, D. K., Oh, J.-E., et al., 1996, Identification of Transfer Characteristics of Engine Noise by Multi-dimensional Spectral Analysis, Journal of Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 4, No. 3, pp. 40~49.