

# 자동차 BSR 소음특성과 음질 인덱스 개발

## Development of Sound Quality Index with Characterization of BSR Noise in a Vehicle

신수현† · 김덕환\* · 정철웅\*\*

Su-Hyun Shin, Duck-Whan Kim, Cheolung Cheong

**Key Words** : Buzz(버즈), Squeak(스퀴크), Rattle(래틀), Sound quality(음질), Vehicle(자동차)

### ABSTRACT

Among the various elements affecting a customer's evaluation of automobile quality, buzz, squeak and rattle (BSR) are considered to be major factors. In most vehicle manufacturers, the BSR problems are solved by find-fix method with the vehicle road test, mainly due to various excitation sources, complex generation mechanism and subjective response. The aim of this paper is to develop the integrated experimental method to systematically tackle the BSR problems in early stage of the vehicle development cycle by resolving these difficulties. To achieve this aim, the developed experimental method ought to include the following requirements: to find and fix the BSR problem for modules instead of a full vehicle in order to tackle the problem in the early stage of the vehicle development cycle; to develop the exciter system including the zig and road-input-signal reproducing algorithm; to automatically localize the source region of BSR; to develop sound quality index that can be used to assess the subjective responses to BSR.

Also, the BSR sound quality indexes based on the Zwicker's sound quality parameters using a multiple regression analysis. The four sound metrics from Zwicker's sound quality parameter are computed for the signals recorded for eight BSR noise source regions localized by using the acoustic-field visualized results. Then, the jury test of BSR noise are performed for participants. On a basis of the computed sound metrics and jury test result, sound quality index is developed to represent the harsh of BSR noise. It is expected that the developed BSR detection system and sound quality indexes can be used to reduce the automotive interior BSR noise in terms of subjective levels as well as objective levels.

### 1. 서 론

자동차 소음진동 기술의 비약적인 발전은 과거 주요 소음원으로 여겨왔던 파워트레인, 구동계, 노면 진동에 기인한 실내 소음은 크게 개선시켰다<sup>(1)</sup>. 그러나 이러한 소음원의 감소로 인한 차량 전체 소음

레벨의 저감에도 불구하고 실내 소음의 음질(sound quality) 문제는 지속적으로 발생하고 있다. 그 중 부품간의 마찰과 간섭 등에 의한 BSR(Buzz, Squeak, Rattle)소음은 계속 증가하고 있다.

이처럼 차량 실내 소음의 질적 수준 향상을 위해서는 물리적 소음저감 만큼이나 감성적 소음저감 기술이 역시 중요하다 할 수 있으며<sup>(2)</sup>, BSR 소음 개선에 있어서는 단순히 물리적 음압레벨 감소가 아닌 운전자의 심리 음향학적 영향에 기초한 연구가 필요하다 할 수 있다.

† 교신저자; 정회원, 울산테크노파크 자동차부품기술연구소  
E-mail : suhyun@utp.or.kr

Tel : 052)219-6646, Fax : 052)219-6744

\* 정회원, 울산테크노파크 자동차부품기술연구소

\*\* 정회원, 부산대학교 기계공학부

한편, 과거 BSR과 관련한 초기 연구의 대부분은 근본적인 해결보다는 엔지니어의 감성평가에 의존한 설계 인자의 변경 등과 같은 기초적인 연구에만 그쳤으나 2000년대 이후 운전자의 심리음향학적 반응을 고려한 다양한 연구 등이 진행되고 있다<sup>(2,3,4)</sup>. 이들 연구들은 BSR 소음의 시간-주파수-음압레벨 특성과 소음발생 메커니즘, 소음에 대한 인간의 주관적 반응, BSR 평가 알고리즘 등을 설명하고 있다.

일반적으로 squeak은 접하고 있는 면 사이에 스틱-슬립(stick-slip) 현상의 전단(shear)운동에 의한 마찰 소음이며, rattle은 요소 또는 부품 사이에 짧은 시간의 부딪힘에 의한 상대운동이라 할 수 있다. 한편 buzz는 넓은 의미로는 구조진동과 관련한 고주파수의 rattle이라 할 수 있다<sup>(3)</sup>.

이 논문에서는 자동차 인테리어 모듈(interior module) 중 BSR 발생 인자의 70 % 이상을 차지하는 IP (Instrument Panel) 모듈과 시트 모듈에 대한 BSR 소음을 측정 분석하고, 이들 소음에 대한 객관적-주관적 음질평가를 통해 최종 BSR 음질 인덱스를 개발하고자 한다.

## 2. 자동차 BSR 소음 측정

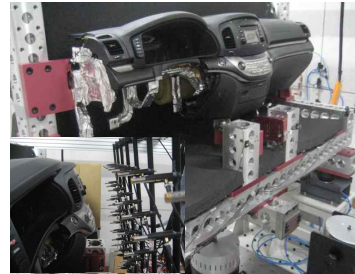
이 장에서는 차량 인테리어 모듈에 대한 BSR 발생 메커니즘을 규명하기 위해 소음진동 측정시스템과 음장가시화(sound field visualization) 기법을 적용하였다.

### 2.1 BSR 측정시스템

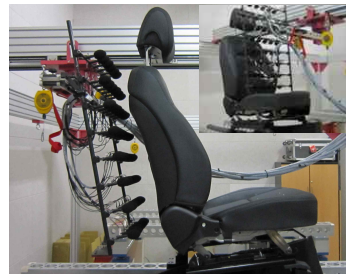
주행 시 노면에 의한 차체 진동은 다양한 경로로 인테리어 모듈에 전달되고, 이들 진동에너지는 부품간의 마찰과 부딪힘의 상대운동을 발생시켜 BSR 소음으로 나타난다. 그러나 대부분의 진동에너지는 타이어와 현가장치의 저역통과필터(low-pass filter)와 같은 작용으로, 대체로 100 Hz 이하의 비교적 낮은 저주파수의 진동 에너지만 인테리어 부품으로 전달이 된다.

Fig. 1과 같이 실차조건과 유사한 지그(jig)를 제작하였으며, 진동가진 주파수 영역에서의 공진을 저감하기 위해 모드 해석을 통해 진동 취약점에 다이내믹 댐퍼를 적용하였다. 진동 가진을 위해서는 진동 시스템(B&K 4828)과 진동신호 피드백 시스템

(VR 8500)을 이용하여 진동 재현성을 높였다. IP 모듈과 시트 모듈의 소음원 추정을 위해서 48 채널의 소음 측정시스템(B&K 3560D)과 인텐시티 마이크로폰 어레이(B&K 4951), 측정 분석프로그램(B&K 7712)을 사용하였다.



(a) Instrument panel



(b) Seat module

Fig. 1 Experimental set-up for sound-field visualization over the IP and seat module

### 2.2 BSR 소음 음장가시화

거친 노면에서 측정된 IP 모듈과 시트 모듈의 입력 진동신호와 Fig. 1의 측정시스템을 통해 Fig. 2의 음장가시화 결과를 각각 나타내었다. 이들 결과는 시간변화에 따른 음압레벨 중 음향 강도 및 소음 발생 빈도가 높은 데이터이다.

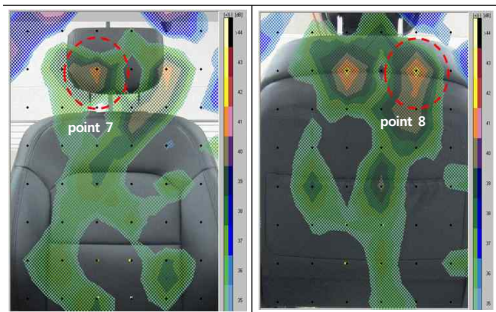
선행연구<sup>(5)</sup>에서는 Fig. 1의 측정 시스템을 적용한 BSR 소음이 비틀림 모드에서 발생하는 squeak 소음보다 rattle 소음의 발생 빈도가 높았는데, 이는 수직의 진동가진 조건이기 때문이다. 실제 비틀림 모드와 진동 모드를 다 같이 재현하기 위해서는 다축진동 가진 시스템과 실차 주행 시험을 통해 BSR 소음을 평가할 수 있다. 그러나 이들 평가 방법은 또 다른 측정 변수와 복잡성을 내포하고 있다<sup>(6)</sup>. 최근 BSR 평가는 모듈 및 부품 BSR 평가와 실차

BSR 주행 시험을 병행하고 있으며<sup>(7)</sup>. 소음원에 대한 음질 연구도 진행되고 있다.

음장가시화를 통해 추정된 여덟 지점(point 1~8)은 인텐시티 마이크로폰을 이용하여 음원을 32 비트, 20 초의 웨이브(wave) 파일로 저장하였다. 저장된 음원은 200 Hz 이상의 high-pass filter를 이용하여 낮은 저주파수 소음은 배제하였다. 이는 BSR 소음에 대한 인간의 인지 주파수 범위는 rattle의 경우 200~2,000 Hz, squeak의 경우 200~10,000 Hz이며, 시간발생 측면에서는 10 ms이하의 매우 짧은 음향 특성을 나타내기 때문이다<sup>(8)</sup>. 이들 8개의 소음원들은 객관적, 주관적 음질평가를 위한 데이터로 사용하였다.



(a) Instrument panel



(b) Seat module

Fig. 2 Visualized sound fields over the instrument panel and seat module

### 3. BSR 음질 평가와 음질 인덱스

측정된 BSR 소음원은 Fig. 3의 알고리즘과 같이 객관적-주관적 음질평가 후 다중회귀분석(multiple regression analysis)을 통해 최종적으로 BSR 소음에 대한 음질 인덱스를 계산하였다.

객관적 음질평가를 위해서 Zwicker<sup>(9)</sup> 파라미터를 적용하였으며, 주관적 음질평가는 청음평가를 위한 피험자를 선정한 후 otto<sup>(10)</sup>의 수치 등급평가(numeric rating method)와 의미 분별법(semantic differential method), 요인 분석법(factor analysis method)을 적용하였다.

음장가시화를 통해 측정된 8개의 BSR 소음원은 Fig. 4와 같이 정밀 헤드폰(Sennheiser HT0017)과 음향 신호 증폭기를 이용하여 객관적 분석은 헤드토르소 시뮬레이터(B&K 4100D)를, 주관 평가는 사람(피험자)을 대상으로 각각 실시하였다.

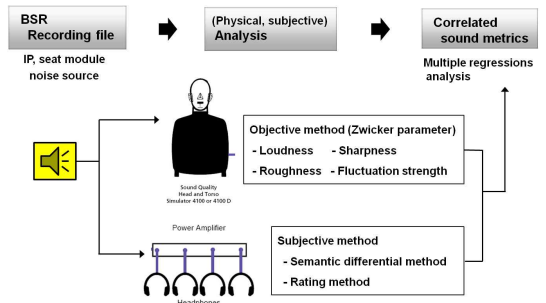


Fig. 3 Block diagram of the procedure for sound quality analysis of BSR noise



Fig. 4 Photography of objective evaluation with the head & torso simulation system and human's subjective evaluation

### 3.1 BSR 소음의 객관적-주관적 음질분석

Table 1은 8개의 소음원을 음질 분석 프로그램 (B&K 7698)을 통해 분석한 음질 파라미터이며, Fig. 5는 각 소음원에 대한 주파수별 음압레벨이다. 각 소음원에 대한 비교 평가에서는 point 1의 스피드 미터가 음압레벨과 라우드니스 레벨이 가장 높았으며, 특히 200~1,200 Hz의 주파수 영역에서 음압레벨이 가장 높았다.

point 2의 전기전자부품으로 구성된 오디오 및 온도 조절장치는 비교적 높은 주파수 영역(1 kHz 이상)에서 음압레벨이 높았으며, 반면 point 5의 에어벤트(air-vent)와 point 6의 글로브 박스(glove box) BSR 소음은 500 Hz 이하에서 높은 음향특성을 나타내었다.

point 7과 8의 시트모듈의 소음특성은 다른 소음원보다 전체적인 소음 레벨은 낮으며, 500~600 Hz 소음은 BSR 소음보다는 시트 프레임의 공진에 의한 소음임을 진동 모달 실험을 통해 판단하였다. 또한 러프니스는 point 2~4, point 7, 변동강도는 point 4, point 7이 상대적으로 높았으며, 샤프니스는 소음원간 큰 차이가 없었다.

1차 청감실험에서는 BSR과 관련성이 높은 7개의 질의어쌍을 구성하고 의미분별법과 수치등급평가를 이용하여 주관평가를 진행하였으며, 8개의 BSR 소음원에 대해 약 10초간 가청한 후 7단계(10점~4점)로 청감실험을 실시하였다.

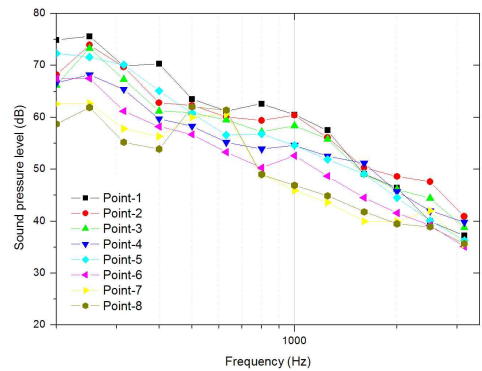
평가 결과, 1차 청음평가에서 사용된 질의어는 의미 분별력이 떨어지기 때문에, Matlab 프로그램의 요인분석을 통해 각 질의어 사이의 상관관계가 높은 변수끼리 묶었다. 최종 질의어는 좋지 않은 느낌의 질의어군을 선택하여 “시끄러운”과 “거친”, “날카로운”으로 압축하였다.

다시 “거친”의 질의어를 이용하여, 각 소음원을 12명의 정상 청력을 보유한 젊은 남녀(남자 8명, 여자 4명, 25~34세)를 대상으로 주관적 감성평가를 실시하였다. 이를 위해 수치등급평가를 실시하여 Table 2와 같은 감성 평가 결과를 나타내었다.

Table 1의 객관적 음질 분석결과와 Table 2의 주관적 음질 평가와의 상관도는 러프니스가 0.85로 가장 높았으며, 다음으로 라우드니스가 0.46을 나타내었다.

**Table 1** Sound quality values for each potential source regions for instrument panel and seat

Noise point	Overall SPL (dB)	Loudness (sone)	Sharpness (acum)	Roughness (asper)	Fluctuation strength (vacil)
1	80.1	20.5	0.76	0.73	1.45
2	76.4	17.6	0.84	0.94	2.35
3	75.4	16.3	0.83	0.93	1.88
4	72.1	14.3	0.86	0.91	2.67
5	76.4	16.7	0.77	0.75	2.20
6	71.2	12.7	0.79	0.62	1.71
7	69.3	10.4	0.90	0.92	2.58
8	68.6	12.3	0.89	0.63	1.49



**Fig. 5** Sound pressure levels from the localized BSR noise source regions on the Instrument panel and seat module by the head-torso simulator

**Table 2** Subjective rating levels of "harsh" for each of the selected noise sources in jury test

Noise point	Subjective rating (mean)	Noise point	Subjective rating (mean)
1	6.75	5	6.75
2	8.25	6	6.08
3	8.33	7	6.58
4	7.58	8	5.75

### 3.2 BSR 음질인덱스

3.1장에서 객관적-주관적 음질 평가 결과에 대한 음질 인덱스를 모델링하기 위해 상대적으로 적은 데이터의 수와 간단한 계산이 가능한 다중선형회귀곡선을 이용하였다.

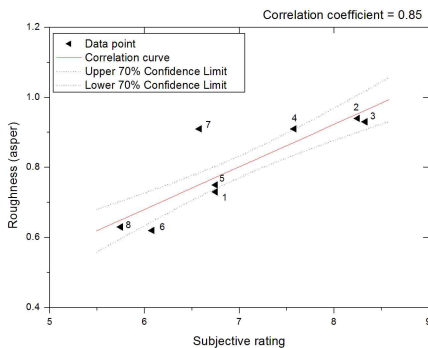
주관적 평가레벨과 낮은 상관관계를 가지는 음질 파라미터는 음질 인덱스에 중요한 영향을 주지 않으며<sup>(11)</sup>, 실제 4개의 음질 파라미터를 적용 시 샤프니스, 변동강도의 상관관계는 낮았다. 이를 통해 이 논문에서는 "거친"의 주관적 감성반응과 이에 대응하는 라우드니스와 러프니스의 음질 인덱스를 계산하였다. 또한 2차 청음평가를 통해 얻은 주관 평가 결과와 상관도가 높은 러프니스와 라우드니스의 음질 파라미터를 연관지어 음질 인덱스를 식(1)과 식(2)와 같이 모델링하였다.

$$BSR\ Index(harsh) = \alpha_h + \beta_1 x_{1L} + \beta_2 x_{2R} \quad (1)$$

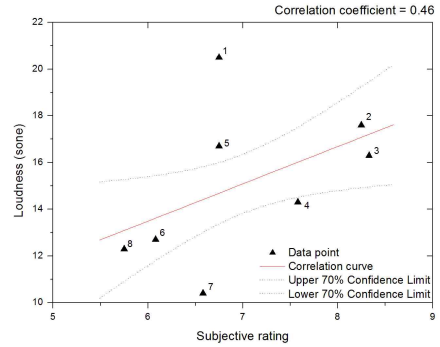
상관계수가 높은 음질인자를 독립변수( $x_{1i}, x_{2i}$ )로 하고, 주관평가 결과는 종속변수( $y_i$ )로 하여 다중회귀식을 가정하고, 최소제곱법으로 음질인덱스를 계산하였다. 여기서  $x_{1L}$ 과  $x_{2R}$ 은 상관계수가 높은 라우드니스와 러프니스의 독립변수이며, "거친"에 대한 각각의 음질 요인값과 주관 평가값은 선형회귀분석을 통해 식(2)와 같이 얻을 수 있다.

$$y_{harsh} = 0.83 + 0.11x_L + 5.63x_R \quad (2)$$

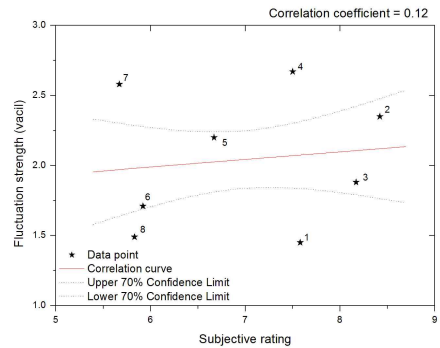
회귀식은 IP와 시트 모듈의 BSR 소음원의 음질 인덱스라 할 수 있으며, 이들 음질인자의 독립변수( $x_1, x_2$ )값이 주어지면 음질인덱스 값을 얻을 수 있다. "거친"의 음질 인덱스를 이용한 소음도와 실제 청감실험의 결과를 이용한 상관관계는 Fig. 6과 같으며, 음질 인덱스와 주관평가와의 상관계수는 0.93으로 높음을 알 수 있다.



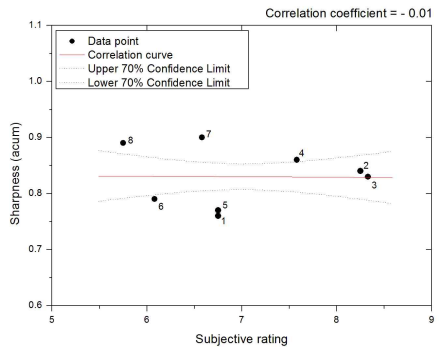
(a) Roughness



(b) Loudness



(c) Fluctuation strength



(d) Sharpness

Fig. 6 Least-square linear regression analysis between the sound metrics and the subjective rating of "harsh" in 2nd jury test

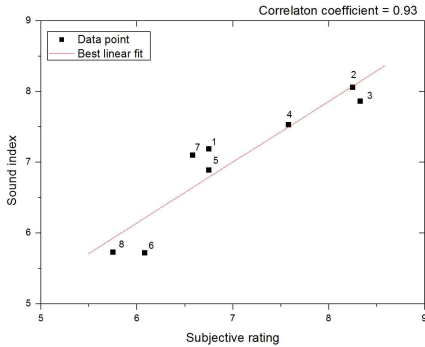


Fig. 7 Least-square linear best linear fit of sound quality index of "harsh" for subjective ratings of 8 BSR noise sources

#### 4. 결 론

이 논문에서는 자동차 실내 BSR 소음원을 분석하고, 소음원에 대한 BSR 음질 인덱스를 개발하였다. 이를 위해 실차 진동 입력신호와 BSR 소음진동 측정시스템을 통해 IP와 시트 모듈에 대한 8개의 BSR 소음 데이터를 측정하였다. 측정된 BSR 소음원은 객관적·주관적 음질 평가와 다중회귀분석을 통해 BSR 인덱스를 계산하였다.

이 논문을 통해 개발된 BSR 음질 인덱스는 헤드-토르소 시뮬레이터나 마이크로폰을 이용한 객관적 음질 파라미터를 적용하여 최종적으로 주관적 인자를 포함하는 객관적 평가 결과를 얻을 수 있다. 이로 인해 엔지니어의 감성평가에 의존하는 기존 방법의 문제점을 해결할 수 있으며, 음질 인덱스를 정량 평가에 기초로하여 BSR 소음을 간략하게 데이터베이스화 할 수 있게 되었다.

#### 참 고 문 헌

(1) Mohan D. Rao, 2003, "Recent applications of viscoelastic damping for noise control in automobiles and commercial airplanes", Journal of Sound and Vibration, Vol 262, pp. 457~474.

(2) Shin S. H., Cheong C., 2010, "Evaluation of BSR noise properties of instrument panel in a vehicle", Journal of Korean Society for Noise and Vibration Engineering. Vol. 20, No. 7, pp. 644~650.

(3) Shin S. H., Cheong C., 2010, "Experimental characterization of instrument panel buzz, squeak and rattle in a vehicle", Journal of Applied Acoustics, Vol. 71, issue 12, pp. 1162~1168.

(4) Unnikrishnan Kuttan Chandrika, Jay H. Kim, 2010, "Development of an algorithm for automatic detection and rating of squeak and rattle events", Journal of Sound and Vibration, Vol. 329, pp. 4567~4577.

(5) Shin S. H., et al., 2010, "Development of experimental procedure for detecting and evaluation squeak and rattle noise emission from the instrument panel in a vehicle" Proceedings of international Congress on Acoustics, 20th ICA 2010.

(6) G. Cerrato-Jay, et al, 2001, "Automatic Detection of Buzz, Squeak and Rattle Events" SAE Technical Paper, 2001-01-1479.

(7) Trapp M., Chen F., 2011, Automotive Buzz, Squeak and Rattle, Butterworth-Heinemann.

(8) Society of Automotive Engineers, [http://www.sae.org/automag/nvh\\_reduction/](http://www.sae.org/automag/nvh_reduction/).

(9) Fastl H., Zwicker E., 2006, Psychoacoustics: facts and models, 3rd ed., Springer.

(10) Otto N., Amman S., et al., 1999, Guidelines for jury evaluations of automotive sounds, SAE paper 199-01-1822.

(11) Lee S. K., Kim H. W., et al., 2010, "Improvement of impact noise in a passenger car utilizing sound metric based on wavelet transform", Journal of Sound and Vibration, Vol. 329, pp. 3606~3619.