

자동차 인테리어 모듈의 BSR 소음과 음질 특성 연구

A Study on BSR Noise and Sound Quality Property for Vehicle Interior Module

신수현†·정철웅*·정성수**·강대환***

Su-Hyun Shin, Cheolung Cheong, Sung-Soo Jung and Dae-Hwan Kang

(2012년 3월 27일 접수 ; 2012년 5월 7일 심사완료)

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) have been 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. To systematically tackle the BSR problems in early stage of the vehicle development cycle, these difficulties should be resolved. The aim of the present paper is to characterize the sound quality property of BSR noise that can be used to assess the subjective responses to BSR. 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. On the basis of the computed sound metrics and jury test result is evaluated to represent the harshness of BSR noise. It is expected that the developed BSR measuring system and sound quality properties can be used to reduce the automotive interior BSR noise in terms of subjective levels as well as objective levels.

1. 서론

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

소음 레벨의 저감에도 불구하고 자동차 실내 소음의 음질(sound quality) 문제는 지속적으로 발생하고 있다. 그 중 부품간의 마찰과 간섭 등에 의한 BSR(buzz, squeak, rattle)소음은 소비자의 자동차에 대한 품질 평가에 직접적으로 영향을 주는 중요한 요소이다.

이처럼 자동차 소음의 질적 수준 향상을 위해서는 물리적 소음저감 만큼이나 감성적 소음저감 기술 역시 중요하며⁽²⁾, BSR 소음 개선에 있어 단순한 음압레벨 감소가 아닌 운전자의 심리 음향학(psycho-acoustics)에 기초한 연구가 필요하다.

BSR과 관련한 초기 연구의 대부분은 근본적인 해결보다는 엔지니어의 감성평가에 의존한 설계 인자의 변경 등과 같은 현장중심의 연구에만 그쳤으

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

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

* 정희원, 부산대학교 기계공학부

** 정희원, 한국표준과학연구원 기반표준부

*** 울산테크노파크 자동차부품기술연구소

이 논문의 일부는 2012년 춘계 소음진동 학술대회에서 발표되었음.

나 2000년대 이후 운전자의 심리음향학적 반응을 고려한 다양한 연구 등이 진행되고 있다^(2,3,4). 이들 연구들은 BSR 소음의 시간-주파수-음압레벨 특성과 소음발생 메커니즘, 소음에 대한 인간의 주관적 감성 반응, BSR 평가 알고리즘 등을 설명하고 있다.

이 논문에서는 자동차 인테리어 모듈(interior module) 중 BSR 발생 인자의 65% 이상을 차지하는 IP(instrument panel) 모듈과 시트 모듈에 대한 BSR 소음을 측정 분석하고, 이들 소음에 대한 객관적-주관적 음질평가를 통해 상관관계를 분석하고자 한다.

2. 자동차 실내 BSR 소음측정

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 부품 간의 마찰과 부딪힘의 운동을 발생시켜 BSR 소음으로 나타난다⁽³⁾. 그러나 대부분의 진동에너지는 타이어나 현가장치의 저역통과필터(low-pass filter)와 같은 작용으로, 대체로 100 Hz 이하의 비교적 낮은 저주파수의 진동에너지만 인테리어 부품으로 전달이 된다.

차체가 무겁고, 방진이 잘된 고급 차종일수록 입력 가진 주파수는 더욱 낮아진다. 차체의 진동 전달 경로와 진동 크기는 국부적으로 차이가 있으나, 자동차 실내 BSR 소음의 대부분은 주행 중 노면을 통해 전달되는 진동에너지가 주된 원인이라 할 수 있다⁽⁵⁾.

선행연구⁽⁶⁾에서와 같은 방법으로 대형 고급 차량을 거친 노면(rough road)에서 일정한 속도로 주행하고, 차체 유입 진동신호를 측정하여 IP와 시트 모듈의 진동신호로 정량화하여 BSR 입력 진동가진신호로 사용하였다. 또한 이들 진동신호는 100 Hz 이하의 저역통과필터를 사용하여 비교적 낮은 저주파수만을 사용하였다.

Fig. 1과 같이 실차조건과 유사한 지그(jig)를 제

작하였으며, 진동가진 주파수 영역에서의 공진을 저감하기 위해 모드 해석을 통해 진동 취약점에 다이나믹 댐퍼를 적용하였다. 진동가진은 전자식 진동가진기(B&K 4828)와 진동신호 피드백 시스템(VR 8500)을 이용하여 진동 재현성을 높였다. IP 모듈과 시트 모듈의 음장가시화를 위해서는 48채널의 소음 측정시스템(B&K 3560D)과 인텐시티 마이크로폰 어레이(B&K 4951), 측정 분석프로그램(B&K 7761, 7712)을 사용하였다.

2.2 BSR 소음 음장가시화

거친 노면에서 측정된 IP 모듈과 시트 모듈의 입력 진동신호와 Fig. 1의 측정시스템을 사용하여 얻은 음장가시화 결과를 Fig. 2에 각각 나타내었다. 이들 데이터는 상대적으로 음향 강도 및 소음 발생 빈도가 높게 나타나는 위치를 소음 국부화 하였으며, IP 모듈의 경우, 부품 간의 부딪힘에 의한 rattle 소음과 IP 트림(trim) 접촉면의 스틱-슬립(stick-slip)의 운동에 의한 squeak 소음이라 할 수 있다.



(a) Instrument panel



(b) Seat module

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

시트 모듈은 헤드레스트 핀과 홀(hole)간의 부딪힘에 의한 rattle 소음이 지배적이었다. 한편 내부의 복잡한 메커니즘으로 구성된 헤드레스트 BSR 소음은 운전자의 귀와 가장 근접하기 때문에 더욱 더 중요한 소음 개선 대상이라 할 수 있다.

음장가시화를 통해 측정된 Fig. 2의 여덟 지점(point 1~8)은 인텐시티 마이크로폰을 이용하여 음원을 32비트, 20초의 웨이브(wave) 파일로 저장하였다. 저장된 음원은 200 Hz 이상의 high-pass filter를 이용하여 저주파수 소음은 배제하였다.

이와 같은 이유는 BSR 소음에 대한 인간의 인지 주파수 범위는 rattle의 경우 200~2,000 Hz, squeak의 경우 200~10,000 Hz이며, 시간발생 측면에서는 10 ms 이하의 매우 짧은 음향특성을 나타내기 때문이다⁽⁷⁾. 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 요소와 음질 특성

기존의 자동차 BSR 소음의 음질 연구는 음의 크기와 관련한 라우드니스 레벨 측정이 대부분이며, 이 같은 점은 BSR 소음의 다양한 감성 반응을 객관화 또는 정량화하기에는 부족하다. 이 장에서는 BSR 소음에 대해 음질 요소와 주관적 평가 사이의 상관관계를 분석하였다.

이를 위해 측정된 BSR 소음을 Fig. 3의 알고리즘과 같이 객관적-주관적 음질 평가를 수행한 후 상관관계를 계산하여 이들 상호간의 연관성을 분석하였다.

객관적 음질 평가를 위해서 Zwicker⁽⁸⁾ 음질 요소의 라우드니스(loudness), 샤프니스(sharpness), 러프니스(roughness) 그리고 변동강도(fluctuation strength)를 사용하였으며, 주관적 음질 평가는 청음실험을 위해 피험자를 선정한 후 Otto⁽⁹⁾의 수치 등급평가(numeric rating method)와 의미분별법(semantic differential method)을 적용하였다.

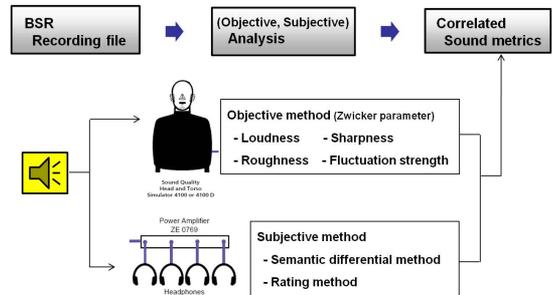


Fig. 3 Block diagram of the procedure for sound quality analysis of the localized BSR noise source data



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

2장의 음장가시화를 통해 측정된 8개의 BSR 음원은 Fig. 4와 같이 정밀 헤드폰(sennheiser HT0017)과 음향 신호 증폭기를 이용하여 객관적 분석은 헤드-토르소 시뮬레이터(B&K 4100D)를, 주관 평가는 사람(피험자)을 대상으로 각각 음질 평가를 실시하였다.

3.1 BSR 소음의 객관적 분석

Table 1은 8개의 소음원을 헤드-토르소 시뮬레이터와 음질 분석 프로그램(B&K 7698)을 이용해 분석한 결과이며, Fig. 5에서는 이들 소음원에 대한 주파수별 A-가중 음압레벨을 나타내었다.

각 소음원에 대한 비교에서는 point 1의 스피드 미터가 음압레벨과 라우드니스 레벨이 가장 높았으며, 특히 200~1,200 Hz의 주파수 영역에서 음압레벨이 가장 높았다. Point 2의 전기전자부품으로 구성된 A/V(audio/video) 시스템은 비교적 높은 주파수 영역(1 kHz 이상)에서 음압레벨이 높았으며, point 6의 글로브 박스(glove box) 소음은 전체적으로 낮은 음향특성을 나타내었다.

Point 7과 8의 시트 모듈의 소음특성은 다른 소음원보다 전체적인 소음 레벨은 낮으나, 500~600 Hz의 높은 음압레벨은 시트 헤드레스트 핀과 홀 간의 부딪힘에 의한 rattle 소음이라 할 수 있다.

Fig. 6은 point 8의 BSR 소음에 대한 시간-주파수-음압레벨이며, 임의의 시간에 발생된 BSR 소음 신호의 검출 및 분석에 유용하게 사용될 수 있다. 즉,

단순한 주파수 분석만으로는 BSR 신호의 해석이 불가능하지만, Fig. 6과 같은 시간-주파수-음압레벨 분석에서는 BSR 소음 발생 메커니즘을 시간 정보를 바탕으로 순간적이며 비주기적으로 발생하는 소음특성을 이해하는 데 도움이 된다.

3.2 BSR 소음의 주관적 분석

BSR 소음의 주관적 음질 평가와 관련한 1차 청감 실험에서는 자동차 BSR 소음과 관련성이 높은 5개의 질의어쌍을 구성하고, 의미 분별법과 수치 등급평가를 이용하여 주관평가를 진행하였다. 이를 위해 실험자에게 8개의 BSR 소음을 약 10초간 가청하게 한 후 7단계(10점~4점)의 범위로 값을 기록하게 하였다. 전체 실험자의 평균과 상관계수가 0.7 이하의 실험결과를 나타낸 청음자의 결과는 제외하였다.

이때 두 확률변수 간의 선형관계를 나타내는 척도를 상관계수(correlation coefficient)라 하며 상관계수(r)의 범위는 $-1 \leq r \leq 1$ 이며, 식 (1)과 같다.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

여기서 X_i, Y_i 는 각각 확률변수의 i 번째 변수이며, \bar{X}, \bar{Y} 는 확률변수의 평균을 나타낸다.

1차 청음평가에서 사용된 질의어는 의미 분별력이 떨어지기 때문에, Matlab 프로그램의 요인분석

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

Noise point	Overall SPL (dBA)	Loudness (sone)	Sharpness (acum)	Roughness (asper)	Fluctuation strength (vacil)
1	72.7	20.5	0.76	0.73	1.45
2	70.3	17.6	0.84	0.94	2.35
3	69.0	16.3	0.83	0.93	1.88
4	65.8	14.3	0.86	0.91	2.67
5	69.4	16.7	0.77	0.75	2.20
6	63.9	12.7	0.79	0.62	1.71
7	63.6	10.4	0.90	0.92	2.58
8	64.0	12.3	0.89	0.63	1.49

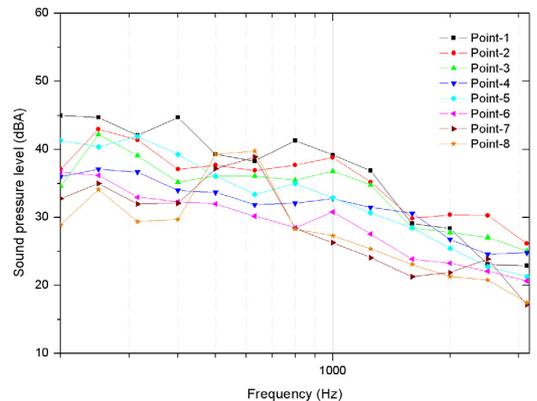


Fig. 5 Sound pressure levels from the localized BSR noise source regions on the Instrument panel and seat module by the head-torso simulator

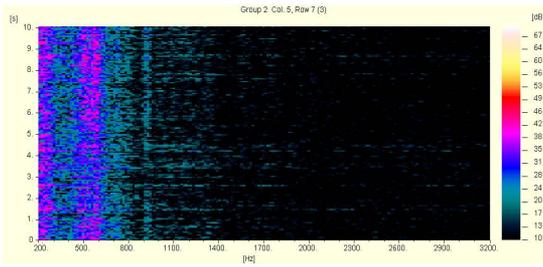
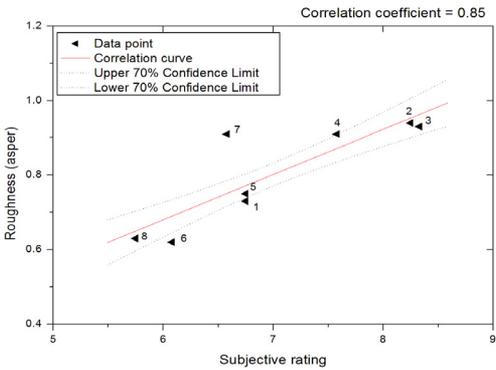


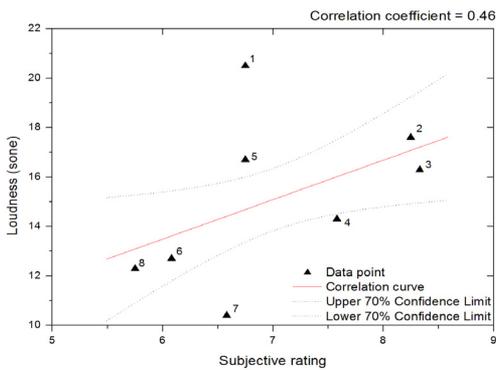
Fig. 6 Time-frequency map of the SPL form the localized noise source regions on the seat back-plate; (point 8)

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

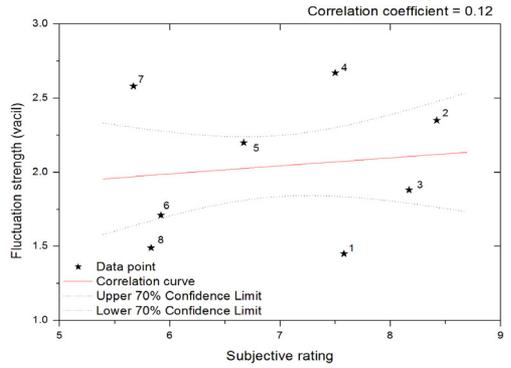
Noise point	Subjective rating (mean)	Noise point	Subjective rating (mean)
1	6.75	5	6.74
2	8.25	6	6.08
3	8.33	7	6.53
4	7.58	8	5.75



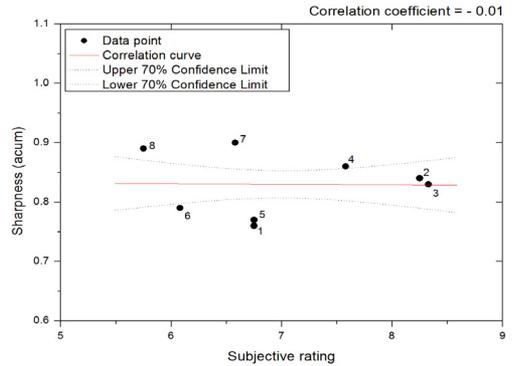
(a) Roughness



(b) Loudness



(c) Fluctuation strength



(d) Sharpness

Fig. 7 Correlation analysis between the sound quality parameter and the subjective rating of “harsh” in 2nd jury test

법(factor analysis method)을 통해 각 질의어 사이의 상관관계가 높은 변수끼리 묶어 서로 상관관계가 없는 “시끄러운”과 “거친”, “날카로운”의 질의어 군으로 압축하였다. 그러나 “거친”의 질의어가 요인 분석에서 대표성이 가장 높았으며, 8개의 BSR 소음원을 표현 할 수 있는 하나의 질의어로 판단하여, 2차 청음평가를 위한 질의어로 선정하였다.

다시 “거친”의 질의어를 이용하여, 각 소음원을 12명의 정상 청력을 보유한 젊은 남녀(남자 8명, 여자 4명, 25~34세)를 대상으로 청감실험을 실시하여 Table 2와 같은 감성 평가 결과를 얻을 수 있었다. 12명의 피험자는 point 2와 3의 A/V 시스템의 소음원에 대해 높은 감성 반응을 나타낸 반면, point 8의 시트 후면부(back-plate)의 BSR 소음에 대해서는 비교적 낮은 감성 반응을 나타내었다. 이와 같은 이유는 500~600 Hz의 소음특성이 “거친”에 대한 감성반응 보다는 다른 질의어에 감성 반응이 높을

것이라 사료된다. Table 1의 각각의 음질 요소와 Table 2의 주관적 음질 평가와의 상관계수는 Fig. 7과 같이 러프니스가 0.85로 가장 높았으며, 다음으로 라우드니스가 0.46의 순서를 나타내었다.

4. 결 론

이 논문에서는 자동차 실내 BSR 소음을 측정하여, 소음원에 대한 객관적-주관적 음질 상관관계를 연구하였다. 실차 입력 진동 신호와 소음진동 측정 시스템을 이용하여 자동차 IP와 시트 모듈의 BSR 소음을 측정하였으며, 이들 소음원은 객관적-주관적 음질 분석을 통해 상관계수를 계산하였다. Zwicker의 대표적인 음질 요소와 “거친”의 질의어를 이용한 8개의 BSR 소음원에 대한 청감 실험결과와의 상관관계는 러프니스와 라우드니스 순으로 관련성이 높았다.

향후 다양한 질의어를 선정하여, 자동차 실내 BSR 소음에 대한 인간의 감성 반응을 객관화, 정량화 등의 연구를 진행 할 예정이다.

후 기

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

(1) Rao, M. D., 2003, Recent Applications of Viscoelastic Damping for Noise Control in Automobiles and Commercial Airplanes, Journal of

Sound and Vibration, Vol. 262, Issue 3, pp. 457~474.

(2) Shin, S. H., Cheong, C., et al., 2010, Evaluation of BSR Noise Properties of Instrument Panel in a Vehicle, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, No. 7, pp. 644~650.

(3) Shin, S. H. and 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) Chandrika, U. K. and Kim, J. H., 2010, Development of an Algorithm for Automatic Detection and Rating of Squeak and Rattle Events, Journal of Sound and Vibration, Vol. 329, Issue 21, pp. 4567~4577.

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

(6) 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.

(7) Society of Automotive Engineers, http://www.sae.org/automag/nvh_reduction/.

(8) Fastl, H. and Zwicker, E., 2006, Psychoacoustics: Facts and Models, 3rd ed., Springer.

(9) Otto, N., Amman, S., et al., 1999, Guidelines for Jury Evaluations of Automotive Sounds, SAE Paper 199-01-1822.