

차량 주행소음을 고려한 자동차 오디오 음질 개선법 연구

박석태*, 김경환, 이종규
고등기술연구원

A Study on the Car Audio Sound Quality Enhancement under Vehicle Noise

Seok Tae Park*, Jong Kyu Lee, Kyung Hwan Kim
Design Technology Lab., Institute for Advanced Engineering
spark@iae.re.kr

요약

자동차 오디오는 차량의 상품성에 큰 영향을 미치고 있다. 고급 차량일수록 또한 젊은 층일수록 차량 구매시 선택의 기준이 되기도 한다. 그러나, 자동차 오디오는 크게 두가지 면에서 가정용 오디오와 차이가 있다. 첫 번째는 청취공간이 매우 협소하다는 것이고 둘째로는 주행시 차량소음이 차 실내로 유입되어 오디오 음질에 영향을 미친다. 차 실내는 좁은 공간 음향특성으로 인한 음향 dip 현상이 발생하며 이는 오디오 음질의 왜곡을 가져오므로 이를 개선하기 위해서는 라우드스피커 최적배치 뿐 아니라 주행소음에 대한 시험 및 분석을 하여 오디오 음질에 영향을 주는 주파수 밴드를 파악하여야 한다. 본 논문에서는 오디오 음에 차량소음이 섞인 경우에 대하여 차량의 라우드스피커 위치는 변경하지 않고 라우드스피커의 주파수 밴드별 출력을 디지털 필터를 이용하여 수정하는 방법으로 음질 개선을 제안하였다. 디지털 필터의 보정치는 차량 주행소음 특성과 차 실내 음향특성을 고려하였다. 차량소음 분석은 주파수 옥타브 밴드 분석법을 이용한 객관적인 분석과 감성적 분석법인 NCB곡선으로 차량소음을 분석하여 디지털 필터 보정치를 구하는데 사용하였다. 제안한 9가지 디지털 필터를 이용하여 차량소음과 음악을 합성하였고 이 중에서 좋은 음질에 대한 판정을 하기 위해 Scheffe 가 제안한 7점 주관 평가법을 사용하여 64명이 내린 주관평가를 수행하였다.

1. 서론

차실내라는 좁은 공간에서 음을 듣게 되면 공간의 영향을 받게 된다. 또한, 차실내에서는 정지상태 뿐만 아니라 주행시에도 오디오를 듣게 되므로 오디오 음질은 차

량의 주행소음등에도 영향을 받고 있다. 이러한 주변 및 차량자체 소음을 저감하기 위하여 차실내를 흡차음재 처리를 하므로 차실내에 있는 고객들은 짧은 잔향시간으로 풍부도등이 저하된 음을 듣게된다. 이전의 차실내에서의 오디오 음질 개선 연구로는 오디오 단품 자체를 개선하는 연구, 차실내에서의 라우드스피커의 최적배치를 통한 음질개선 연구 및 DSP를 응용한 음장재현법등으로 다양한 음장을 재현하여 좁은 공간감에서 차실내의 고객들이 마치 현장에 있는듯한 느낌을 주도하고 있다[1-3]. 그러나, 이러한 연구들은 차량의 주행소음을 고려하지 못하고 있으며 오디오 음질을 개선하기 위해서는 이들을 고려해야 한다. 본 논문은 크게 3가지 부분으로 구성된다. 첫 번째는 차량 주행소음을 주요 소음 주파수 밴드별로 분석하여 이 소음 주파수 대역에 있는 오디오 음질 보상방안을 찾는 것이다. 두 번째는 공간 음향특성을 반영하도록 기존의 오디오 시스템 개선안을 제시한다. 세 번째는 이를 검증하는 방법으로 샘플음원을 제작하여 주관평가를 시행하여 좋은 오디오 음질을 구현하는 것을 제안하였다.

2. 차량 주행소음 특성

실제 운전자가 많이 사용하게 되는 운전상황을 6가지 주행모드인 무부하 idle, 부하 idle, 정속 60km/h, 80km/h, 100km/h 및 120km/h 로 하여 차실내 소음을 분석하였다. 전방 조수석에 토르소를 설치하여 토르소의 양귀에 설치되어 있는 마이크로 폰으로 binaural recording을 하였다. 시험차량은 중형 승용차와 대형 승용차를 사용했다. 사람의 귀는 소리를 주파수에 대하여 대수적이 아닌 로그 스케일로 느끼므

로 이 같은 방식인 옥타브 분석으로 차실내 소음을 분석했다. 시속 60km에서 120km 까지의 4가지 주행 모드에 대하여 시험차량 A의 실내소음을 1/3 옥타브 주파수밴드로 분석한 결과를 Fig. 1에 나타냈다. 차량의 속도가 증가함에 따라 소음이 증가하는 경향을 보이며 특히 100Hz에서 400Hz 영역에서 크게 증가하는 경향을 보이므로 차량설계시 이 영역을 저감하는 방향이 필요하리라 생각되며 오디오 음질은 이 주파수 영역에서의 영향을 받으리라 추정된다.

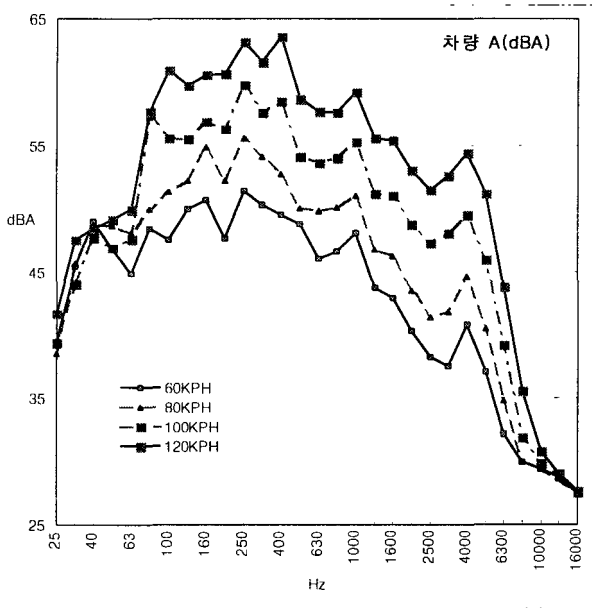


Fig. 1 SPL of cabin noise of test vehicle A, 1/3 octave band

3. NCB 분석

2절에서의 분석은 소리의 물리적인 크기만을 다루었지만 사람이 소음에 대하여 괴로움(annoyance)을 고려한 NCB(Balanced Noise Criterion Curves, NCB) 곡선을 이용하여 차실내 소음을 분석하였다 [4]. NCB곡선을 차실내 소음에 적용하면 실내소음에 대해 수용자가 어느 주파수 영역의 소음에 대하여 불만이 있고 어느 정도의 소음량을 낮추어야 만족할 지를 파악할 수 있어서 오디오 밴드에 영향을 주는 영역을 조사할 수 있다. Fig. 2는 시험차량 A가 시속 100 km로 주행할 때 조수석에 설치한 토르소의 오른쪽 귀에서 측정된 실내소음을 NCB법으로 분석한 결과이다. SIL=55이므로 저주파 불균형을 파악하기 위해 NCB 58곡선과 시험데이터를 비교한 결과 63Hz, 125Hz alc 250Hz 주파수 영역에서 각각 5dB, 10dB 및

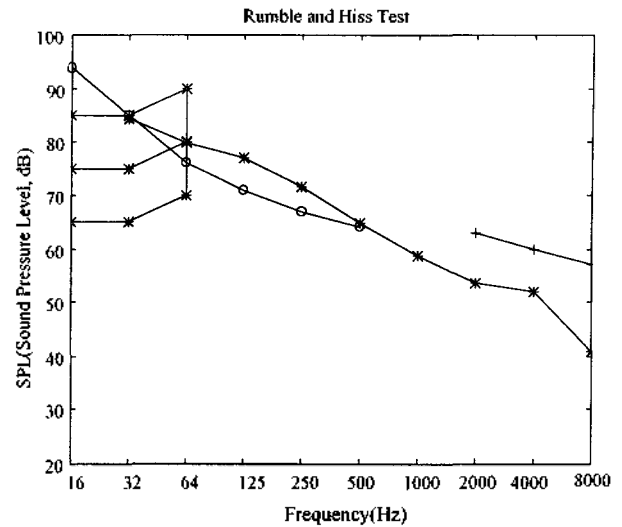


Fig. 2 NCB analysis for cabin noise of test vehicle A at 100km/h

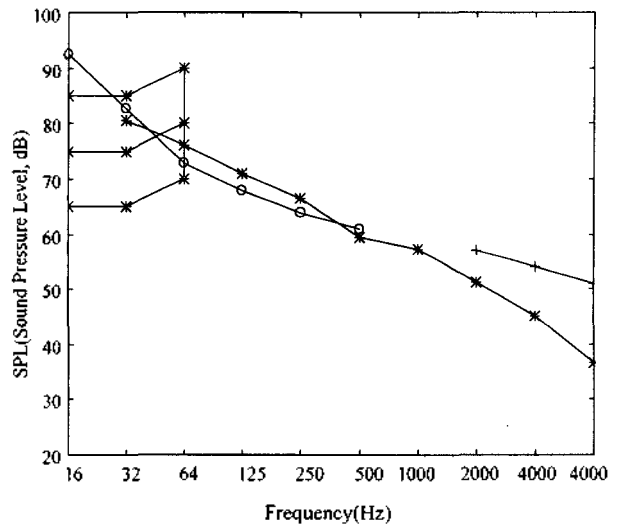


Fig. 3 NCB analysis for cabin noise of test vehicle B at 100km/h

6dB 차가 있음을 보여주므로 저주파 불균형으로 인해 조수석에서 승객이 심리적으로 짜증이 심할 것으로 예측된다. 100km/h로 주행하는 시험차량 B의 실내소음을 분석한 결과인 Fig. 3을 보면 저주파 불균형이 거의 없으므로 시험차량 A는 시험 차량 B보다 저주파에서 승객이 불만족할 확률이 높다. 따라서, 시험차량에서는 저주파 영역의 소음개선이 필요함을 나타냈다.

4. 차실내의 공간음향특성

수용자가 차실내에서 듣는 오디오 음은 앰프나 라우드

스피커 특성 및 차실내 공간특성에 영향을 받는다. 특히 차실내는 가정이나 음악당에 비해 좁은 공간이며 소음저감을 위해 흡차음재 처리를 하므로 음의 손실이 크며 라우드스피커의 음의 방사특성으로 인하여 장착위치와 장착각도에 따라 수음자는 왜곡된 음을 들을 수 있다. 차실내 공간음향 특성을 알기위해 2가지 시험을 하였다. 첫 번째는 라우드스피커를 white noise 신호로 직접 가진하여 오디오 앰프에 의한 영향을 배제하고 라우드스피커와 수음자간의 음향특성을 얻었다. Fig. 4는 시험차량 A의 조수석에 설치한 토르소의 오른쪽 귀에서 측정된 음향특성을 나타낸 것으로 300Hz에서 800Hz 까지 dip이 발생하였다.

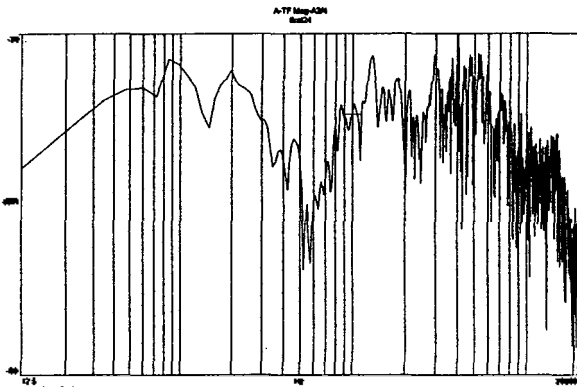


Fig. 4 Frequency response function of right ear response/loudspeaker input at front passenger seat, test vehicle A

따라서, 앰프에서 전 주파수 영역에 걸쳐 일정한 크기로 신호를 보내도 수음자는 이 주파수 영역에서는 왜곡된 오디오 음을 듣게 된다. 이러한 왜곡을 보상하려면 라우드스피커의 장착위치나 장착각도를 변경하거나 앰프에서 보상하여야 좋은 음질을 들을 수 있다. 두 번째는 white noise 신호로 라우드스피커를 직접 가진하는 대신에 오디오 앰프의 특성이 포함되도록 가진하는 방법을 사용했다. 이렇게 함으로 현 차량상태의 오디오 시스템의 특성을 파악하였다. 시험차량 A에서 이렇게 구한 음향특성을 100km/h로 주행중 실내소음과 비교한 결과를 Fig. 5에 나타냈고, 시험 차량 B의 경우에는 Fig. 6에 각각 나타냈다. 시험차량 A의 경우(Fig. 5)는 2000Hz 까지는 차실내 소음이 오디오 음에 영향을 줄을 알 수 있다. 시험차량 B의 경우(Fig. 6)는 500Hz 이상에서는 차량소음이 오디오 음에 영향을 주지 못함을 보여준다. 따라서, 시험차량 B는 오디오 시스템이 시험차량 A보다 우월함을 나타냈다. 다음절에서는 시험차량 A의 오디오 음질 개선을 위한 과정을 기술하였다.

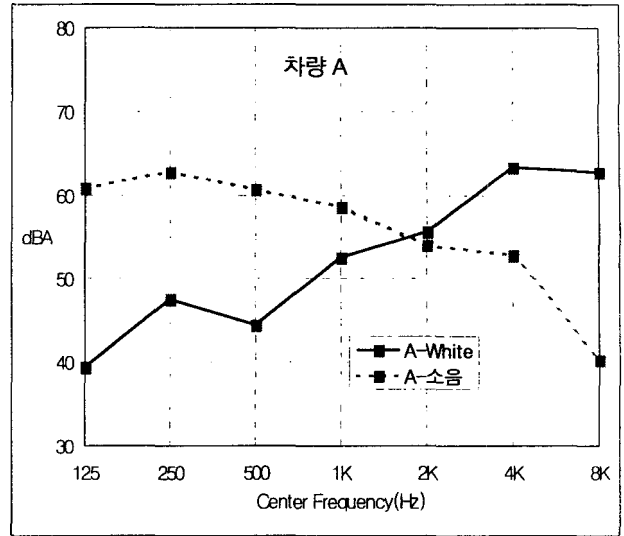


Fig. 5 Comparison of SPL and frequency response of cabin noise at front passenger's right ear for test vehicle A

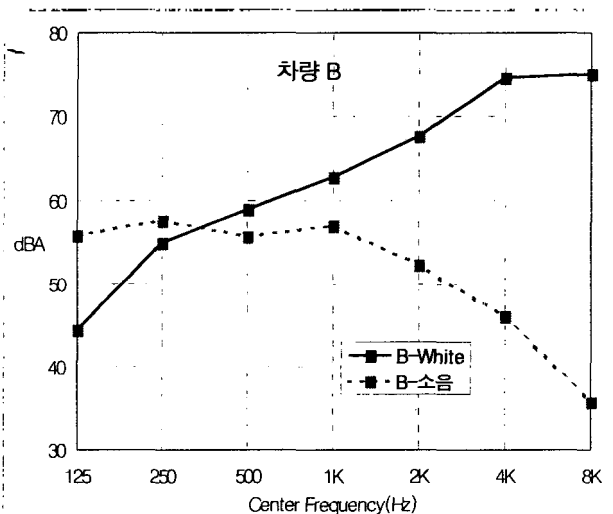


Fig. 6 Comparison of SPL and frequency response of cabin noise at front passenger's right ear for test vehicle B

5. 음질 주관평가

주행중에 실내소음이 유입되는 상황을 고려하여 오디오 음질을 개선하기 위하여 디지털 필터를 사용하였다. 오디오 음질개선 대상은 시험차량 A로 시험차량 A가 100km/h로 주행할때의 실내소음을 고려하였고 시험차량 A와 시험차량 B의 정지상태에서 차실내에서 녹

Table 1 Characteristics of digital filter design for audio sound enhancement

필터	Boost 패턴 결정 근거
1	시험차량 A
2	주행 소음과 오디오 시스템 응답 특성의 결과를 이용한 차량 A 장착 Equalizer 선정
3	주행 소음과 오디오 시스템 응답 특성의 결과를 이용한 차량 A 장착 Equalizer 선정
4	차량 A 오디오 시스템의 Pop Mode
5	차량 B의 데이터를 고려하여 각 주파수 밴드별 패턴에 따라 파워를 Boost 시킨 후, 전 주파수 밴드에서 파워를 차량 A 수준으로 저감 시킴
6	차량 B의 데이터를 고려하여 각 주파수 밴드별 패턴에 따라 파워를 Boost
7	차량 B의 파워 수준을 차량 A 수준으로 저감
8	시험차량 B
9	마스킹 고려 : 주행 소음의 마스킹을 고려 했으나 저주파 보강효과로 booming 발생

음한 음악에 Table 1에 정리한 7가지의 디지털 필터를 적용하여 총 9가지의 음악 샘플을 만들었다. 샘플 음원 제작 및 재생은 SDRC Sound Quality 소프트웨어를 이용하였다[5]. 샘플링 주파수는 48kHz 였다. 총 9가지의 음악원에 시험차량 A가 100km/h 로 주행할때의 소음을 workstation에서 mixing 한 후에 음질 평가자들에게 들려주고 좋은 음악을 선택하도록 하였다. 총 9개의 음원에 대한 주판을 위하여 scheffe가 제안한 7점법을 사용하였다[6]. 비교음원이 9개이고 2개씩 쌍을 이루어 비교하므로 평가들은 36가지의 쌍에 대하여 어느쪽이 좋은지를 점수로 평가하였다. 음악을 듣게 되는 순서도 평가에 영향을 줄수 있으므로 순서를 랜덤화 시켰다. 평가에는 남자 43명과 여자 21명으로 총 64명이 참여하였다. 64명의 평가자들에 대하여 음원 8을 기준으로 하면 음악원에 대한 선호도 순서는 8>6>3>2>4>1>9>7>5 이다. 음원 6을 기준하면 6>3>2>4>1>9>7>5 이다. 음원 3을 기준하면 3 ? 2>4>1>9>7>5 이다. 음원 2를 기준하면 2>4>1>9>7>5 이다. 음원 4를 기준하면 4>1>9>7>5 이다. 음원 1을 기준하면 1>9>7>5 이다. 음원 9를 기준하면 9 ? 7 ? 5이다. 즉, 음원 9를 기준하면 9, 7.5의 선호도를 비교할 수 없다. 음원 7과 5도 선호도를 알 수 없다. 따라서, 위의 결과를 종합하면 95% 신뢰도로서 다음의 선호도 순서결과를 얻었다. 8>6>3?2>4>1>9>7>5 이다.

총 16명의 평가자들이 참여한 경우

각 평가자들에 대한 일의성 계수를 구하여 점정에 통과한 16명의 평가자들이 제출한 평가서로 9개 음원에 대한 선호도 분석을 하였다. 9개의 음원 샘플에 대한 16명의 판정자들이 내린 선호도를 분석한 분산분석표를 Table 2에 나타냈다. Table 2를 보면 주효과, 주효과*개인 및 조합 효과가 특히 유의함을 알 수 있다. 즉, 9개의 음악원들 사이에는 차이가 있음을 알 수 있다. 또한, 음악원의 비교쌍에 대한 조합효과도 유의함을 알 수 있다.

Table 2 Analysis of jury test

번호	요인	F ₀	F ₉₅	F ₉₉
1	주효과	505.099**	1.948	2.529
2	주효과*개인	16.778**	1.239	1.352
3	조합효과	8.213**	1.488	1.744
4	순서효과	0.000	3.851	6.661
5	순서*개인	0.000	1.677	2.057
	오차			
	총평방근합			

6. 결론

차실내에 음의 왜곡현상이 있음과 주행소음이 오디오 음질에 영향을 미치는 것을 보였다. 시험차량을 이용하여 주행소음과 실내 음향 특성을 고려하여 음질 개선을 위한 7개의 필터를 설계하였고 음악 음질에 대한 주관 평가를 실시하여 최적의 필터를 결정하였다.

참고문헌

- [1] T. Phono, S. Fujimono et al, "Sound Field Control in a Car Compartment", SAE 880235
- [2] S. Ishikawa, et al, "A method of Sound Field Simulation for Automobile Passenger Compartment", SAE 840085
- [3] H. Kondo, et al, "Development of Sound Localization Control System for Car Stereo", SAE 880083
- [4] L.L. Beranek, "Application of NCB noise Criterion Curves", v.33, no.2, pp45-56, Noise Control Engineering Journal, 1989
- [5] SDRC Ideas Sound Quality 3.0 User's Guide
- [6] Sensory Evaluation Handbook, Union of Japanese Scientists and Engineers, 1973