

차량 주행소음을 고려한 자동차 오디오 음질 개선 및 주관적 음질평가 연구

A Study on the Car Audio Sound Quality Enhancement under Vehicle Noise and Its Subjective Evaluation

박 석 태*
(Seok Tae Park*)

요 약

본 연구에서는 차실내의 공간 음향특성으로 인한 음향왜곡과 주행소음으로 인한 오디오 음질 저하를 동시에 개선하기 위한 디지털 필터를 설계하여 음질을 개선하는 방법을 제안하였다. 라우드스피커의 입력에 적용할 디지털 필터는 차량 주행소음 특성과 차 실내의 음향특성을 고려하여 설계하였다. 차량소음 분석은 주파수 옥타브 밴드 분석법을 이용한 객관적인 분석과 감성적 분석법인 NCB 곡선법을 사용했다. 그 결과를 이용하여 오디오 유니트의 11밴드 디지털 필터 보정치를 구하는데 사용하였다. 최적 음질 구현을 위해 7가지 형태의 디지털 필터를 설계하여 기준 음악원에 적용하여 음악원 샘플을 얻었고, 여기에 100km 차량 주행소음을 합성한 9가지의 음악원 샘플을 제작하였다. 64명의 평가자를 대상으로 Scheffe'가 제안한 7점 주관 평가법을 사용하여 9가지 음악원 샘플에서 최적음질을 나타내는 디지털 필터를 선택하였다.

ABSTRACT

In this study we suggested a digital filter method to enhance car audio sound quality against the sound distortion due to cabin's acoustic characteristics and car driving noises. The digital filters designed were based on the characteristics on car driving noises and cabin acoustic characteristics. Car driving noises were analyzed by two ways; one is an objective method, octave band frequency analysis method. The other is a subjective method; sensory evaluation method, NCB method. On these results, seven sets of modified coefficients of eleven band digital filters were obtained. To find optimum audio sound quality among nine sound samples filtered by designing seven types of digital filters, which were mixed car driving noises at 100km/h, subjective evaluation method was used, paired comparison method; Scheffe' seven point method.

I. 서 론

좁은 공간에서는 공간 음향특성에 의한 음향 모우드등이 발생하여 주파수 별로 음의 응답수준이 일정치 않게 되는 음의 왜곡 현상이 발생하여 음악음질에 영향을 주게 된다. 특히, 차실내는 좁으면서도 복잡한 형상을 하고 있어 공간 음향특성은 매우 복잡한 양상을 나타낸다. 또한 차실내의 청취자는 차량이 정지상태 뿐만 아니라 주행 시에도 오디오 음을 듣게 되므로 오디오 음질은 차실내의 공간 음향특성외에도 주행소음에 큰 영향을 받고 있다. 한편 차량 제작자들은 주변 및 차량자체에서 발생하는 소음을 저감하기 위하여 차실내를 흡차음재 처리를 하므로 차실내의 잔향시간은 매우 짧게되어 풍부도등이 저하된 음을 듣게된다[1]. 한편, 차량 오디오 음질개선을 위한 여러

연구들이 있었다[1-8]. 그 중에는 오디오 유니트 단품 자체를 개선하는 연구와 차실내 음장 조절법[2], 차실내에서의 라우드스피커의 최적배치를 통한 음질개선 연구[2-5] 및 DSP를 응용한 음장 재현법등[6,7]으로 다양한 음장을 재현하여 좁은 공간에서 차실내의 고객들이 마치 현장에 있는 듯한 느낌을 주는 연구도 있었다. 그러나, 이러한 연구들은 차량의 주행소음을 충분히 고려하지 못하였다.

본 논문은 3가지 부분으로 구성되었다. 첫째, 차량 주행소음을 주파수 밴드별로 분석하여 오디오 음질에 영향을 주는 주파수 밴드별 보상안을 찾는다. 둘째, 차실내의 공간 음향특성을 반영하도록 각 주파수 밴드별 디지털 필터 특성을 제시하여 기존의 오디오 시스템 음질 개선안을 제시한다. 셋째, 설계된 디지털 필터가 최적 음질인지를 검증하기 위하여 시험차량 A를 대상으로 기준음원에 설계된 7개의 디지털 필터를 적용하여 샘플음원을 제작하고 여기에 주행소음을 섞은 샘플음원들을 평가자들로 주관 평가

* 고동기술연구원 설계기술연구소
접수일자: 1999년 10월 14일

하게 하여 최적 오디오 음질을 구현하는 최적 디지털 필터를 찾았다.

II. 차량 주행소음 특성

시험을 간략화 하기 위하여 많이 사용하는 운전상황을 6가지 주행모드, 무부하 idle, 부하 idle, 정속 60km/h, 80km/h, 100km/h 및 120km/h, 로 가정하였다. 이에 대한 차실내 소음을 측정하고 분석하였다. 전방 조수석에 토르소를 설치하여 토르소의 양귀에 설치되어 있는 마이크로 폰으로 binaural recording법으로 소음을 측정하였다. 시험차량 A(중형 승용차)와 시험차량 B(대형 고급 승용차)를 사용했다. 사람의 귀는 소리를 주파수에 대하여 대수적이 아닌 로그 스케일로 느끼므로 소음분석도 이 같은 방식인 옥타브 분석법을 사용하였다. 시속 60km에서 120km 까지의 4가지 주행모드에 대하여 시험차량 A의 실내소음을 1/3 옥타브 주파수밴드로 분석한 결과를 그림 1에 나타냈다. 차량속도가 증가함에 따라 소음이 증가하는 경향을

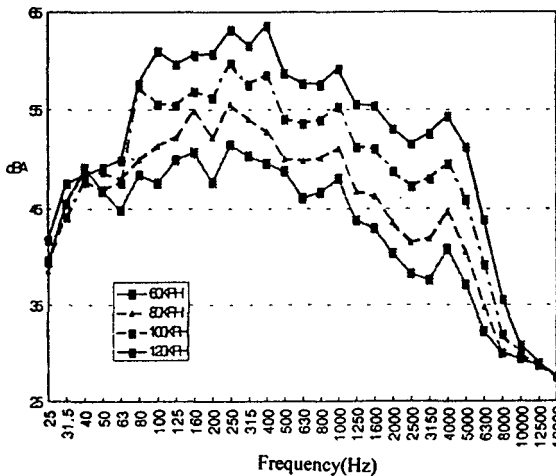


그림 1. 시험차량 A의 캐빈소음수준, 1/3 옥타브밴드
Fig. 1. SPL of cabin noise of test-vehicle A, 1/3 octave band.

보이며 특히 100Hz에서 400Hz 에서 소음이 크게 증가하는 경향을 보였다. 차량설계시 이 영역의 소음을 저감하는 방법이 필요하며 오디오 음질도 이 주파수 영역에서 영향을 받으리라 추정됐다. 디지털 필터를 설계할 때 이 주파수 영역을 고려해야만 한다.

III. NCB 분석

NCB(Balanced Noise Criterion Curves, NCB) 곡선[9]을 이용하여 차실내 소음에 대해 사람이 느끼는 괴로움(annoyance)정도를 감성적으로 분석했다. NCB곡선을 차실내 소음에 적용하여 청취자가 어느 주파수 영역의 소음에 대하여 불만이 있고 소음량을 어느 정도 낮추어야 만족할

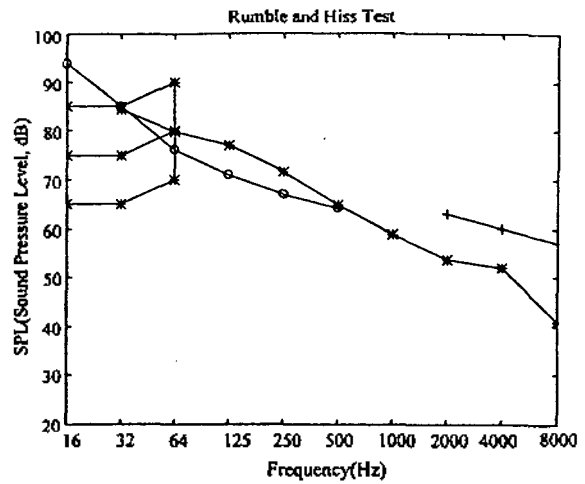


그림 2. 시속 100km/h에서 시험차량 A의 캐빈소음의 NCB분석 (*-: 시험결과; o-o: 저주파 불균형 기준선; +-: 고주파 불균형 기준선)
Fig. 2. NCB analysis for cabin noise of test vehicle A at 100km/h(*-: test; o-o: reference line for low frequency unbalance; +-: reference line for high frequency unbalance).

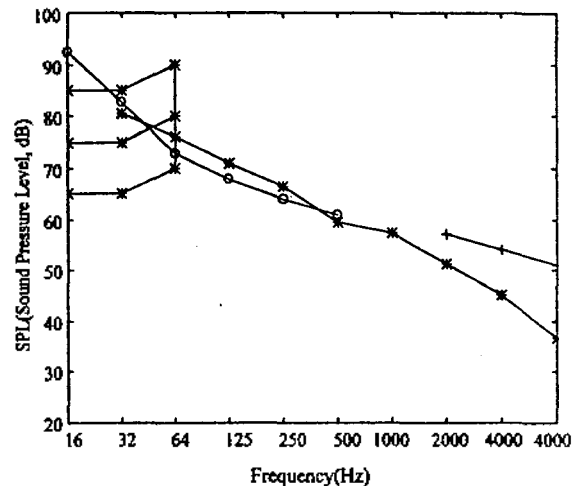


그림 3. 시속 100km/h에서 시험차량 B의 캐빈소음의 NCB분석 (*-: 시험결과; o-o: 저주파 불균형 기준선; +-: 고주파 불균형 기준선)
Fig. 3. NCB analysis for cabin noise of test vehicle B at 100km/h(*-: test; o-o: reference line for low frequency unbalance; +-: reference line for high frequency unbalance).

지를 파악할 수 있어서 오디오 밴드에 영향을 주는 영역을 조사할 수 있었다. 그림 2는 시험차량 A가 시속 100 km/h로 주행할 때 조수석에 설치한 토르소의 오른쪽 귀에서 측정된 실내소음을 NCB법으로 분석한 결과이다. SIL(Speech Interference Level, SIL)값은 55였고 저주파 불균형을 파악하기 위해 NCB 58곡선과 시험데이터를 비교했을 때 63Hz, 125Hz 와 250Hz 주파수 영역에서 각각 5dB, 10dB 및 6dB 크게 나타나므로 저주파 불균형으로 인해 조수석에서 청취자가 심리적으로 짜증이 심할 것으로 분석되었다. 시험

차량 B의 실내소음을 분석한 결과(그림 3)를 보면 저주파 불균형이 거의 없으므로 시험차량 A가 시험차량 B보다 저주파에서 승객이 불만족할 확률이 높다. 따라서, 소음의 감성측면을 고려할 때에 시험차량 A에서는 저주파 영역의 소음개선이 필요함을 나타냈다.

IV. 차실내의 공간음향특성

청취자가 차실내에서 듣게되는 오디오 음은 오디오앰프나 라우드스피커의 특성 및 차실내 공간 음향특성에 영향을 받는다. 특히 차실내는 가정이나 음악당에 비해 좁은 공간이며 소음저감을 위해 흡차음재 처리를 하므로 주파수 대역별로 음의 손실이 크며 실제의 라우드스피커는 주파수 밴드별 음의 방사특성이 다르므로 라우드스피커의 장착위치와 장착각도에 따라 수음자는 왜곡된 음을 듣게된다. 본 연구에서는 차실내 공간 음향특성 파악을

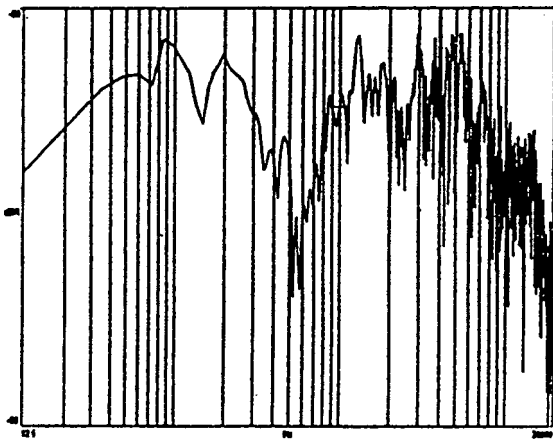


그림 4. 전방 승객석의 오른쪽 귀위치에서의 응답/라우드스피커 입력인 주파수 응답함수, 시험차량 A

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

위해 2가지 시험을 하였다. 첫째, 오디오 앰프에 의한 영향을 배제하기 위하여 라우드스피커를 랜덤소음(white noise) 신호로 직접 가진하여 라우드스피커와 청취자간의 공간 음향특성을 측정하였다. 그림 4는 시험차량 A의 조수석에 설치한 트르소의 오른쪽 귀에서 측정한 음향특성을 나타낸 것으로 300Hz에서 800Hz 까지 dip이 발생하였다. 따라서, 앰프에서 전 주파수 영역에 걸쳐 일정한 크기로 신호를 보내도 수음자는 300Hz에서 800Hz 사이에서는 왜곡된 오디오 음을 듣게 된다. 이러한 왜곡을 개선하려면 라우드스피커의 장착위치나 장착각도를 변경하거나 헤드 유닛에서 보상하여 좋은 음질을 구현한다. 둘째, 라우드스피커를 직접 가진하는 대신에 헤드유닛의 특성이 포함되도록 가진하는 방법을 사용했다. 즉, 오디오 헤드 유닛에서 랜덤소음 신호가 기록된 CD를 제

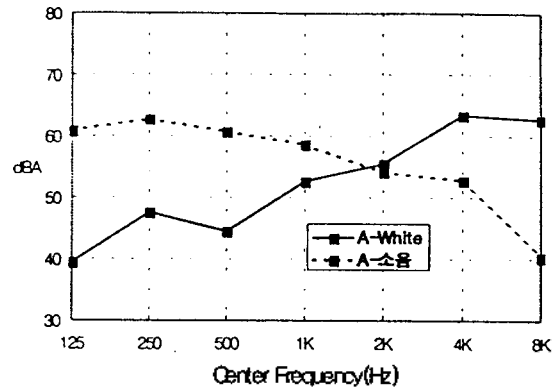


그림 5. 시험차량 A에서 전방 승객석에서 소음수준과 주파수 응답의 비교

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

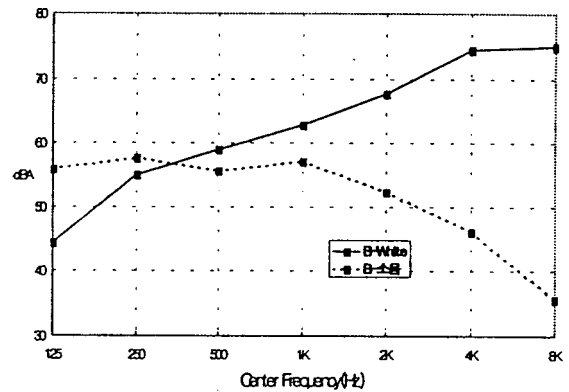


그림 6. 시험차량 B에서 전방 승객석에서 소음수준과 주파수 응답의 비교

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

생함으로써 오디오 헤드유닛에서 라우드스피커를 가진하여 발생한 음을 전방 조수석에 장착한 트르소의 양귀에서 측정하여 오디오 유닛, 라우드스피커 및 전방 조수석까지의 공간 음향특성을 측정하였다. 시험차량 A의 음향특성과 100km/h로 주행중 실내소음을 비교한 결과를 그림 5에 나타냈고, 시험차량 B의 경우에는 그림 6에 각각 나타냈다. 시험차량 A의 경우(그림 5)에 2000Hz까지는 차실내 소음(점선)이 오디오 음(실선)에 영향을 주고 있음을 나타냈다. 시험차량 B의 경우(그림 6)는 500Hz 이상에서는 차량소음(점선)이 오디오 음(실선)에 영향을 주지 못함을 보여준다. 따라서, 시험차량 B는 오디오 시스템이 시험차량 A보다 우월함을 나타냈다. 다음절에서는 2절에서 4절까지 분석한 데이터를 이용하여 시험차량 A의 오디오 음질 개선을 위한 과정을 기술하였다.

V. 음질주관 평가법(10)

여러 시험샘플에서 샘플을 2개씩 서로 비교하여 선호

도를 평가하는 쌍대 비교(paired comparison)를 하면 서로 모순되는 현상이 발생할 수 있다. 따라서, 쌍대 비교를 할 때에는 평가자들이 제대로 평가를 하고 있는지 또는 평가자들이 평가할 능력이 있는지를 파악할 필요가 있다. 이를 판단하는 통계적인 방법으로 일의성 계수(coefficient of consistency)가 있으며 이는 다음과 같이 구할 수 있다.

일의성 계수, ξ

평가자가 A, B, C 3개의 샘플에 대해 2개씩 쌍을 이루어 평가를 할 때 A보다 B가 좋고, B보다 C가 좋다고 하면 평가자가 당연히 A보다는 C가 좋다고 할 것으로 기대하는데 실제의 경우에는 그렇지 않은 경우도 있다. 이 경우 모순된 일순 삼각형(circular triad) 형태를 나타낸다. 평가가 정당한 지를 평가할 일의성 계수는 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$\xi = 1 - \frac{2Ad}{k^3 - 4k} \quad (k: \text{even}) \quad (1)$$

$$= 1 - \frac{2Ad}{k^3 - k} \quad (k: \text{odd})$$

$$d = \frac{1}{6} k(k-1)(k-2) - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k a_i(a_i-1) \quad (2)$$

여기서,

- ξ : 일의성 계수
- d : 일순 삼각형의 수
- a_i : 두 개의 샘플 쌍들을 비교할 때 기준 샘플 i 보다 우수하다고 평가한 샘플의 수
- k : 평가할 샘플의 숫자

일의성 계수 $\xi=1$ 은 일순 삼각형이 하나도 없다는 것으로서 평가자의 모든 판단이 일관성 있게 행해졌음을 의미한다. 일의성 계수의 값이 작을수록 즉 일순 삼각형의 수가 증가할수록 평가자 개인의 평가는 일관성이 없음을 나타낸다.

검정

평가자 개인이 올바른 판정을 하고 있는지를 95%의 신뢰도 또는 5%의 위험률 한계치인 $d_{0.05}$ 를 사용하여 검정한다. 위험률 5% 한계치인 $d_{0.05}$ 를 구하여 $d \leq d_{0.05}$ 이면 판정자는 식별능력이 있다고 검정한다. 또한 샘플들간에 차이가 있다는 판단을 할 수 있다. 샘플수가 7보다 크면 χ^2 검정을 하며 χ_0^2 는 식 (3)과 같다.

$$\chi_0^2 = \frac{8}{k-4} \left\{ \frac{k(k-1)(k-2)}{24} - d + \frac{1}{2} \right\} + f \quad (3)$$

여기서, 자유도 f 는

$$f = \frac{k(k-1)(k-2)}{(k-4)^2} \quad (4)$$

이다. 자유도 f 에서 χ^2 분포의 5% 점인 $\chi^2(f, 0.05)$ 와 χ_0^2 를 비교하여 $\chi_0^2 \geq \chi^2(f, 0.05)$ 이면 평가자가 식별능력이 있거나 샘플들간에 식별할 수 있는 차이가 있다고 판단한다. 한편, 같은 샘플들에 대하여 여러 명의 평가자들이 한 일은 선호도 결과가 서로 모순되지 않고 일관성이 있는지를 검정하는 척도로 일치성 계수가 있다.

일치성 계수, u

일치성 계수는 평가자 상호간의 일치성을 판단하는 것으로 식 (5)로 표현된다.

$$u = \frac{2\sum_i x_{ii}}{nC_2 kC_2} - 1 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \sum_i x_{ii} &= nC_2 kC_2 - \sum_{i \neq j} x_{ij}(n - x_{ij}) \\ &= nC_2 kC_2 + \sum_{i \neq j} x_{ij}^2 - n \sum_{i \neq j} x_{ij} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서, u 는 일치성 계수, n 은 평가자의 수, k 는 평가할 샘플들의 수를 나타내며 x_{ij} 는 샘플 A_i 보다 샘플 A_j 를 좋다고 하는 사람의 수를 나타낸다. n 사람의 판정이 완전히 일치하고 x_{ij} 가 0 또는 n 값을 가질 때 $u=1$ 이 된다.

검정

식 (7)을 사용하여 χ^2 검정을 한다.

$$\chi_0^2 = \frac{4}{n-2} \left\{ \sum_i -\frac{1}{2} nC_2 kC_2 \frac{n-3}{n-2} \right\} \quad (7)$$

여기서, 자유도 f 는 식 (8)과 같다.

$$f = kC_2 \frac{n(n-1)}{(n-2)^2} \quad (8)$$

만일, $\chi_0^2 \geq \chi^2(f, 0.05)$ 이면 95%의 신뢰도로 판정할 때에 n 사람의 판단은 일치성이 있다고 말할 수 있다.

Scheffe'의 주관평가법

Scheffe'는 7점법을 사용하는 쌍대 비교법을 사용하여 샘플에 대해 사람들이 선호하는 순서를 찾는 방법을 제안하였다[10,11]. 임의의 2개의 샘플을 A_i 와 A_j 라 하고, 평가자에게 A_i 를 먼저 그리고 A_j 를 나중에 보이거나 들려 주어 다음과 같이 점수를 평가자들이 선택하도록 하였다.

- +3 : A_i 가 A_j 보다 상당히 좋다.
- +2 : A_i 가 A_j 보다 꽤 좋다.
- +1 : A_i 가 A_j 보다 조금 좋다.
- 0 : A_i 가 A_j 보다 같다.
- 1 : A_i 가 A_j 보다 조금 나쁘다.

- 2 : A_i 가 A_j 보다 꽤 나쁘다.
- 3 : A_i 가 A_j 보다 아주 나쁘다.

k 개의 샘플을 2개씩 쌍으로 나누어 n 명의 평가자들에게 비교 시킬 때에 샘플 쌍들의 수는 $\frac{1}{2}k(k-1)$ 이다.

VI. 음질주관 평가시험

6.1 음악샘플 제작

시험차량 A의 조수석에서 최적음질이 구현되는 음질 개선안을 제시하고자 하였다. 음질 개선방법으로 라우드 스피커 출력을 보상하기 위해 라우드스피커 입력에 적용

표 1. 오디오음질개선을 위해 설계된 디지털필터특성
Table 1. Characteristics of digital filter designed for audio sound enhancement.

필터	Boost 패턴 결정 근거
1	시험차량 A
2	주행 소음과 오디오 시스템 응답 특성의 결과를 이용한 차량 A 장착한 Equalizer set 1 선정
3	주행 소음과 오디오 시스템 응답 특성의 결과를 이용한 차량 A 장착 Equalizer set 2 선정
4	차량 A 오디오 시스템의 Pop Mode
5	차량 B의 주행소음 데이터를 고려하여 각 주파수 밴드 별 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 시킴
7	차량 B의 파워 수준을 차량 A 수준으로 저감
8	시험차량 B
9	마스킹 고려 : 주행 소음의 마스킹을 고려 했으나 저주파 보강효과로 booming 음 발생

할 디지털 필터를 설계하였다. 최적 음질을 구현하기 위해 2절, 3절 및 4절의 분석 결과를 이용하여 7가지의 디지털 필터를 설계하였고 이 중에서 최적 디지털 필터는 음질 주관 평가를 통해 선택하였다. 기준음원으로는 입의로 pop 음악을 선정하였고 차량의 오디오 유니트 상태는 표준 사양을 사용하였다. 차실내의 조수석에 torso를 장착하여 binaural 방식으로 DAT에 음을 저장하여 이를 기준음원으로 하였다. 기준음원의 재생시간은 약 30초 정도였다. 기준음원에 설계한 디지털 필터를 적용하여 9가지의 1차 샘플 음악음원을 제작하였다. 디지털 필터의 설계기준은 조수석에서의 차량의 공간음향 특성을 고려하고 동시에 차량 주행소음을 보정하도록 제작하였다. 1차 음원 샘플들이 시험차량 A가 시속 100km/h로 주행할 때 조수석에서 측정된 실내소음을 섞어서 9개의 음원샘플들을 제작하여 음질 주관평가에 사용하였다. 이 작업들은 SDRC사의 음질 소프트웨어를 사용하였고[12] 샘플링 주파수는 48kHz 였다. 9가지 음원 샘플들을 만들기 위해 설계한 7

가지의 디지털 필터를 표 1에 나타냈다. 디지털 필터는 W/S에서 SDRC사의 음질 전용 소프트웨어에서 제공하는 2차 IIR 필터를 사용하여 11개의 주파수 밴드별로 차실내의 공간 음향특성과 주행소음을 고려하여 디지털 필터로 Boost/Cut하여 만들었고, 여기에 차량 주행소음을 섞어서 만들었다[13]. 11개의 주파수 밴드를 사용한 이유는 시험차량 A가 11개의 주파수 밴드 이퀄라이저를 사용하고 있으므로 설계된 디지털 필터를 실제 이퀄라이저에 구현할 수 있도록 하기 위함이었다.

6.2 음질 주관평가 실행

평가하고자 하는 음원은 9개이고 2개를 한 쌍으로 하여 음악을 각각 들려주고 평가하도록 하였다. 평가는 5절에서 기술한 Scheffe'의 7절법을 사용하였다. 예를 들어 평가자가 먼저 들은 음악이 나중에 들은 음악보다 상당히 좋다고 판단되면 +3점을 주도록 하였다. 비교할 전체 샘플 쌍들은 $9 \times 8 / 2 = 36$ 가지였으며 음원을 일정한 순서로 배열하면 평가자들이 반복적으로 나타나는 음원샘플에 익숙해져서 평가 신뢰도가 떨어지므로 음원 샘플 쌍들을 무질서하게 배열하였다. 또한, 평가자가 음원샘플을 초기에 듣게 될 때는 익숙하지가 않아서 평가의 정확도가 떨어지므로 표 2와 같은 평가표의 처음의 4가지 쌍의 평가는 반영하지 않았다. 1명의 평가자가 총 40쌍의 음원샘플들을 비교 평가하는데 평가시간은 대략 50분 정도 소요되었다. 4명의 평가자가 동시에 헤드폰으로 평가를 하였고 평가 중간에 10분간의 휴식시간을 주었다. 평가 초기에 가벼운 음악과 여러 효과음들을 들려주어 평가자가 심리적으로 부담이 덜 가도록 하였다. 총 64명의 평가자가 참여하였고, 남자는 43명, 여자는 21명이었고, 연령층은 20대에서 40대 까지 였다. 표 2에 한 평가자가 평가한 결과를 나타냈다. 표 2에서 두 번째 행을 보면 첫 번째 비교 쌍에 대해 이 평가자는 첫 번째 음악이 두 번째 들은 것보다 꽤 좋다(+2점)고 평가함을 나타냈다. 각 평가자들이 내린 평가표(표 2)들을 재배열시켜서 주관평가를 위한 프로그램의 입력형태로 바꾼 것을 표 3에 나타냈다. 표 3에서 검게 표시된 부분은 평가자는 샘플 h 를 샘플 a 보다 상당히 좋다(점수 +3)고 평가하였음을 의미한다.

표 2. 한 사람이 수행한 평가결과
Table 2. Jury test result by one person.

번호	첫번째	점수표							두번째
		3	2	1	0	-1	-2	-3	
1	A_1		v						A_2
2	A_1						v		A_2
3	A_1				v				A_2
40	A_1							v	A_2

표 3. 한명이 행한 평가시험결과와 전산입력 데이터
Table 3. Input data for computer program of jury test result by one person.

	a	b	c	d	e	f	g	h	i
a		-1	2	2	0	3	0	3	0
b	1		0	1	-1	2	-1	3	-1
c	-2	0		1	-1	3	-2	3	-2
d	-2	-1	-1		-2	2	-2	3	-2
e	0	1	1	2		3	0	3	0
f	-3	-2	-3	-2	-3		-3	1	-3
g	0	1	2	2	0	3		3	-1
h	-3	-3	-3	-3	-3	-1	-3		-3
i	0	1	2	2	0	3	1	3	

일의성 계수 계산

평가자 개개인의 평가가 올바른 가를 95% 신뢰도로 분석하였다. 표 4에 평가자들에 대한 일의성 계수들의 결과를 나타냈다. 표 4의 두 번째 행에서 첫 번째 열은 평가자를 나타내며 두 번째 열의 "0"은 이 사람의 판단이 95% 신뢰도에서 실패함을 뜻한다. 세 번째 열은 식 (2)를

표 4. 평가자들에 대한 일의성 계수들
Table 4. Coefficients of consistency for juries.

평가자	인자	d	ξ	χ_0^2	χ^2
1	0	33.000	-.100	1.600	31.410
2	0	22.000	.267	19.200	31.410
3	1	7.000	.767	43.200	31.410
-					
64	0	20.000	.333	22.400	31.410

사용하여 계산한 일순 삼각형의 갯수를 나타냈다. 네 번째 열은 일의성 계수들을 나타낸다. 즉, 이 값이 +1에 접근하면 100% 정확하게 일관성 있게 평가를 내림을 뜻한다. 다섯 번째열은 평가자가 올바르게 평가하는 가를 검증하기 위한 계수인 χ_0^2 를 나타낸다(식 (3)참조). 여섯 번째 열은 χ^2 로 자유도와 위험률 α 의 함수로 $\chi_0^2 > \chi^2(f, \alpha)$ 이면 평가자의 평가가 신뢰도 $1-\alpha$ 로 유의함을 나타낸다. 표 4에서 첫 번째 평가자는 $\chi_0^2 > \chi^2(f, \alpha)$ 을 만족시키지 못하므로 이 사람의 평가는 신뢰도 95%로 평가할 때 유의하지 않음을 알 수 있다. 위와 같은 방법으로 총 64명의 평가자들에 대한 일의성 계수 및 평가가 옳은지를 검증한 결과를 표 4에 간략히 나타냈다. 표 4에서 95%의 신뢰도로 볼 때 올바른 평가를 한 사람은 총 평가자 64명 중 16명이었다. 이는 다음과 같은 원인 때문이 아닌가 추정되었다. 첫째, 많은 평가자들이 무성의하게 평가를 하였다. 둘째, 비교되는 음원 샘플 쌍들 사이에는 별 차이가 없어서 평가에 혼동을 주고 있다. 셋째, 평가자들이 명확한 기준 없이 많은 비교 쌍들을 평가함으로써 평가에 혼동이 왔다. 먼저, 첫 번째 경우는 논의에서 제거되었다. 왜냐하면, 평가 실험에 임하는 평가자들이 진지하게 평가를 하였기 때문이었다. 두 번째 경우가 가장 그럴

듯하다는 결론을 얻게 되었다. 그 이유는 제작된 9가지의 음원들 모두가 명확한 차이를 갖고 있다고 볼 수는 없기 때문이었다. 세 번째의 경우도 고려해야 할 사항으로 평가자가 많은 비교 음원 쌍을 듣고 상대적인 점수를 주어야 하기 때문에 피곤이 누적되어 혼동할 수 있기 때문이었다. 다음은 평가에 참여한 총 64명의 평가자들의 판정의 방향이 일치하는지를 판정하는 일치성 계수를 분석하였다.

일치성 계수 계산

일치성 계수 $u = 0.5027$ 이었다. $\chi_0^2 = 1214.7$ 이고, 자유도 $f = 37.76$ 였다. $\chi^2(37.76, 0.05) = 53.1$ 이므로 $\chi_0^2 > \chi^2(37.76, 0.05)$ 이 되어 95% 신뢰도 평가에 의하여 64명의 모든 평가자들의 의견이 아무렇게나 판단했다고 볼 수 없었다.

Scheffe'법에 의한 주판평가(총 64명의 평가자)

9개의 음원 샘플에 대한 64명의 판정자들이 내린 선호도를 분석한 분산분석표를 표 5에 나타냈다. 표 5를 보면 주효과, 주효과*개인 및 조합 효과가 특히 유의함을 알 수 있다. 즉, 9개의 음악원들 사이에는 차이가 있음을 알 수 있다. 또한, 음악원의 비교 쌍에 대한 조합효과도 유의함을 알 수 있다. 이같은 결과는 9개의 음원샘플들이 차이가 있는데, 특정한 음악원 쌍들에 대해 판정에 어려움이 있을 수 있음을 나타냈다.

표 5. 64명에 대한 분산 분석표
Table 5. Table of variance analysis for 64 persons.

요인	F0	F95	F99
주효과	1887.646**	1.941	2.516
주효과*개인	9.615**	1.113	1.163
조합효과	20.680**	1.479	1.729
순서효과	0.000	3.844	6.641
순서*개인	0.000	1.313	1.466
오차			
총평방근합			

신뢰구간 분석

9개의 음원 샘플에 대한 신뢰구간을 분석한 결과를 표 6에 나타냈다. 신뢰도 95%로 분석한 선호도 순서(총 64명 참여)는 다음과 같았다. 음원 8을 기준으로 하면 64명이 내린 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. 여기서 ?는 두 개의 순서를 구별할 수 없음을 나타낸다. 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 5는 선호도를 알 수 없다. 따라서, 위의 결과를 종합하면 95% 신뢰도로서 선호도 순서

는 8>6>372>4>1>9>7>5 이었다.

표 6. 9개의 음원샘플에 대한 쌍대비교의 신뢰구간 표(평가자 수 : 64명)

Table 6. Confidence interval for 9 music samples by paired comparison method.

		95 % 신뢰구간	
i	j	$\hat{a}_i - \hat{a}_j + Y_{0.05}$	$\hat{a}_i - \hat{a}_j - Y_{0.05}$
8	6	0.680	0.469
8	3	1.665	1.453
8	2	1.682	1.471
8	4	2.071	1.860
6	5	2.352	2.141
3	2	0.123	-0.088
3	4	0.512	0.300
1	9	0.295	0.083
1	7	0.357	0.146
1	5	0.364	0.153
9	7	0.168	-0.043
9	5	0.175	-0.036
7	5	0.113	-0.099

일의성 계수를 통과한 16명의 평가자들의 경우

각 평가자들에 대한 일의성 계수를 구하여 검정에 통과한 16명의 평가자들이 제출한 평가서로 9개 음원에 대한 선호도 분석을 하였다. 9개의 음원 샘플에 대한 16명의 판정자들이 내린 선호도를 분석한 분산분석표를 표 7에 나타냈다. 표 7을 보면 총 64명의 평가자들이 내린 결과와 일치함을 보이며, 주효과, 주효과*개인 및 조합 효과가

표 7. 16명에 대한 분산 분석표

Table 7. Table of variance analysis for 16 persons.

요인	F0	F95	F99
주효과	505.099**	1.948	2.529
주효과*개인	16.778**	1.239	1.352
조합효과	8.213**	1.488	1.744
순서효과	0.000	3.851	6.661
순서*개인	0.000	1.677	2.057
오차			
총평균근합			

특히 유의함을 알 수 있다. 즉, 16명이 내린 판정에서도 9개의 음악원들 사이에는 차이가 있었고 또한, 음악원의 비교쌍에 대한 조합효과도 유의했다.

신뢰구간 분석

신뢰도 95%로 분석한 선호도 순서(총 16명 참여)는 다음과 같았다. 음원 8을 기준으로 하면 16명이 내린 선

호도 순서는 8>6>2>3>4>1>9>5>7 이다. 음원 6을 기준하면 6>2>3 >4>1>9>5>7이다. 음원 2를 기준하면 273 >4>1>9 >5>7 이다. 음원 3을 기준하면 3>4>1>9>5>7 이다. 음원 4를 기준하면 4>1>9>5>7 이다. 음원 1을 기준하면 1>9 >5>7 이다. 음원 9를 기준하면 9 ? 5이다. 즉, 음원 9를 기준하면 음원 9와 음원 5의 선호도를 비교할 수 없다. 그러나, 9>7 이다. 음원 5와 음원 7은 선호도를 알 수 없다. 따라서, 위의 결과를 종합하면 95% 신뢰도로써 다음과 같은 선호도 순서를 얻었다. 8>6>2? 3>4>1>9>7 ? 5 이다. 종합적으로 판단할 때 평가자 전원(64명)과 일의성 계수 검정을 통과한 평가자(16명)들 및 64명에 평가한 9개의 음악샘플에 대한 선호도를 그림 7에 나타냈다. 그림 7에서 선호도 순서는 8>6>2>3 >4>1>9>5>7 이었다. 디지털 필터 8은 시험차량 B에서 측정된 음악원에 시험차량 A의 100km/h 주행소음을 섞은 것이고, 필터 6은 시험차량 A의 음향특성을 시험차량 B와 같도록 디지털 필터를 설계한 것이다. 그런데, 시험차량 B의 경우에 오디오 앰프의 가격 및 성능이 시험차량 A보다 월등히 좋다는 점과 필터 6의 경우 소프트웨어 상에서는 구현 가능하지만 시험차량 A에 장착된 앰프로는 현실적으로 불가능하였다. 따라서, 시험차량 A의 오디오 앰프를 시험차량 B와 같은 것으로 또는 오디오 앰프 출력이 좋은 것으로 교체하면 음질개선이 이뤄진다. 차선책은 시험차량 A의 오디오 앰프를 사용하면서 필터 2를 적용하는 것이었다.

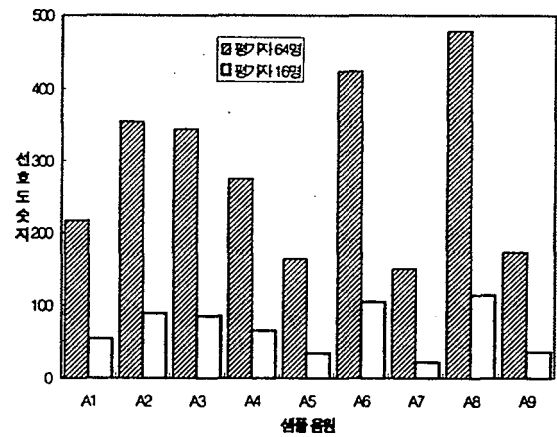


그림 7. 9개 샘플음악에 대해 평가자들에 의한 선호도 비교
Fig. 7. Comparison of preference for nine music samples by juries.

VII. 결 론

차실내에서는 공간음향특성으로 인한 음의 왜곡현상이 있음과 주행소음이 오디오 음질에 영향을 미치는 것을 보였다. 시험차량을 이용하여 주행소음과 실내 음향 특성을 고려하여 음질 개선을 위한 7개의 디지털 필터를 설계하였다. 설계한 디지털 필터로 제작한 샘플 음악들에

대해 음질 주관 평가를 실시하여 최적의 필터를 결정하였다. 최적 필터 6을 적용하려면 시험차량 A에 장착한 양산용 오디오 앰프로는 출력이 나오지 않음으로 출력이 큰 오디오 앰프를 장착해야 하므로 비용추가를 감수해야 한다. 필터 2의 경우에 시험차량 A에 장착한 오디오앰프로도 실현가능하여 추가 비용없이도 기존의 시험차량 A에서 평가자들의 음질 선호도를 50% 이상 높일수 있고 고가의 오디오로 교환하지 않고도 기존의 오디오앰프 출력단의 이퀄라이저 밴드를 보정하는 필터계수를 설계적용하여 음질개선이 가능함을 보였다. 이 결과를 이용하면 차량 오디오 설계자들이 차량의 주행소음과 차량의 실내 음향특성을 고려하면서 여러 오디오 앰프에 대해 가격대비 차량의 오디오 음질수준을 미리 예측해 볼 수 있는 지침으로 사용될수 있다.

후기

본 논문은 공업기반기술사업인 "자동차 음향 최적화 시스템 개발과제"의 위탁개발과제로 고등기술연구원에서 1997년 1월부터 1998년 12월까지 수행한 연구의 일부입니다. 한국음향기조조합의 이용철 국장님과 한국산업기술평가원의 조병걸님 및 대우전자 오디오 사업부 관계자들과 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Seok-Tae Park, Jong-Yoon Lim and Suk-Yoon Hong, "The Objective and Subjective Evaluation for Car Audio Sound Quality," Proceedings of International Symposium on Vehicle NVH, Seoul, Korea, pp. 11-25, June 1996
2. H. Kondo, et al, "Development of Sound Localization Control System for Car Stereo," SAE 840083, pp. 1510-1520, 1984
3. 박석태, "자동차 오디오 시스템의 음질개선 연구," 한국소음진동공학회지 1995년도 추계학술대회논문집 pp. 123-129, 1995
4. Seok-Tae Park, "Study of Sound Quality Improvement for Car Audio System," Proceedings of Inter-Noise 96, Liverpool, UK, pp. 3239-3242, July 1996
5. S. Ishikawa, et al, "A method of Sound Field Simulation for Automobile Passenger Compartment," SAE 840085, pp. 35-44, 1984
6. T. Chono, S. Fujimono et al, "Sound Field Control in a Car Compartment," SAE 880235, pp. 51-57, 1988
7. T. Asami, et al, "Development of a practical DSP Car Audio System," SAE Paper 920081, pp.1-13, 1992
8. 박석태 외 2인, "차량주행소음을 고려한 자동차 오디오 음질 개선법 연구," 1999년 한국음향학회 학술발표 논문집 제 18 권 제 (s)호 pp. 274-277, 1999
9. L.L. Beranek, "Application of NCB noise Criterion Curves," v. 33, no. 2, pp. 45-56, Noise Control Engineering Journal, 1989
10. Sensory Evaluation Handbook, Union of Japanese Scientists and Engineers, pp. 349-393, 1973

11. H. Scheffe, "An analysis of variance for paired comparisons," J. Am. Stat. Ass., vol. 47, pp. 381-400, 1952
12. SDRC Ideas Sound Quality 3.0 User's Guide
13. 박석태 외 2인, "Car Audio를 위한 차량주행소음 측정 및 분석기술개발," 고등기술연구원 과제완료 보고서 98-24, 1998

▲박 석 태(Seok Tae Park)

1999년 2월: 아주대학교 시스템공학과(공학박사)
한국음향학회지 17권 7호 참조