

직교배열법을 이용한 차량 음향 시스템의 음질평가

An Assessment on the Sound Quality of the Car Audio System Using the Orthogonal Designs

두 세 진*, 최 경 미**
(Sejin Doo*, Kyungmee Choi**)

*동아방송예술대학 미디어기술학부, **홍익대학교 과학기술대학
(접수일자: 2008년 3월 10일; 수정일자: 2008년 6월 2일; 채택일자: 2008년 7월 14일)

음향 튜닝 과정을 통하여 카오디오의 음질은 개선되며 완성차의 품질 또한 향상된다. 하지만 소비자를 대상으로 한 선호도 조사 없이 소비자가 만족하도록 카오디오를 튜닝하는 것은 쉽지 않은 일이다. 소비자의 기호를 조사하기 위하여 주파수 특성, 밸런스, 공간감 등과 같은 매우 다양한 음향특성을 조사해야 하지만, 조사할 음향특성 항목이 많아질수록 비교 청취해야 하는 음원의 수가 급격히 증가하므로 여러 가지 문제점이 발생한다. 평가자의 피로도 증가로 인하여 실현이 어려워질 뿐 아니다. 개개의 음향특성과 전체의 음질의 연관성을 파악하는 것 또한 쉽지 않다. 본 연구에서는 음질 선호도를 조사할 때에 비교 청취되는 음원의 수를 크게 줄일 수 있도록 통계적 직교배열법을 사용하였으며, 분산분석법을 이용하여 청취실험 자료를 분석하였다. 특히, 직교배열법을 사용하여 어떤 가지 음향특성들의 256 가지 조합으로 이루어진 음향 환경을 16 가지 비교음원을 사용하여 재생하였다. 분산분석 결과, 팝 음원의 경우에는 Treble이 일반적으로 재생된 음향의 음질 선호도에 가장 유의한 영향을 미치는 음향특성임을 밝혔다. 그 밖에도 Deep Bass와 SAD 및 Treble과 SAD의 교호작용 등이 유의한 음향특성으로 나타났다. 클래식 음원의 경우에는 SAD가 유일하게 유의하게 나타났다.

핵심용어: 차량, 카오디오, 음질, 선호도, 직교배열법, 분산분석

투고분야: 음악음향 및 음향심리 (8.7)

Audio tuning improves not only the sound quality of the car audio but also the quality of the completed car itself. However without the subjective assessment on the users' preferences, it is hard to tune the car audio satisfying them. Even though there are lots of factors to be considered to assess the preferences, only a restricted number of factors should be included in the experiment because the total number of experiments increases rapidly as the number of factors in the experiment increases. A large number of factors make it hard to explore the relationship between the sound quality and the sound characteristics and also makes the panels exhausted. In this paper, 8 sound characteristics, each with 2 levels, are considered for the experiment. An orthogonal design of experiment is suggested to reduce the number of experiments from 256 to 16. The analysis of variance is applied to show that Treble is the most significant characteristic of the reproduced sound of the given pop music. Also Deep Bass, SAD, and the interaction between Treble and SAD are found to be significant. For the given classic music, SAD is the only characteristic which turns out to be significant.

Keywords: vehicle, car audio, sound quality, preference, orthogonal designs, analysis of variance

ASK subject classification: Musical Acoustics and Psychoacoustics (8.7)

I. 서론

자동차의 주행 성능이 향상됨에 따라 차량 구매 시 차량의 승차감과 정숙성에 대한 비중이 점차 높아지고 있으

며, 이것이 고급차의 중요한 기준이 되고 있다. 차량이 정숙해짐과 더불어 차량 실내에서 소비자가 듣는 오디오의 음질에 대한 중요도 역시 상승하고 있다. 그러므로 연주 현장에 있는 것과 유사한 느낌을 주는 높은 성능을 가진 오디오를 제공하는 것이 자동차 제작사가 추구해야 할 중요한 목표 중 하나가 되었다.

자동차의 좁은 실내 공간, 사면을 둘러싼 유리창과 낮은

책임저자: 최 경 미 (kmchoi@hongik.ac.kr)
339-701 충녕 연구관 조지원을 홍익대학교 과학기술대학
(전화: 041-860-2291; 팩스: 041-863-2648)

천장, 복잡한 형태의 시트 등과 같은 여러 경계조건 때문에 청취자의 귀에 전달되는 카오디오 음향은 스피커로부터 출력되는 처음 음향과는 크게 달라진다. 이러한 경계 조건은 고정되어 있어서 변경 또는 개선될 수 없으므로 오디오의 음질을 개선시키기 위해서는 음향의 변형 정도를 감소시키는 '튜닝'을 실시해야 한다. 여기서 튜닝이란 스피커, 앰프 등 사용할 음향기기의 결정과 스피커의 위치 선정, 장착방법 선정 및 전기적인 조절, 즉 필터(filter), 이퀄라이저(equalizer), 딜레이(delay) 장치 등을 사용하여 음질을 보정하는 과정을 의미한다.

튜닝을 '어떻게' 할 것인지 결정하는 것은 쉬운 일이 아니다. 주파수특성을 튜닝하는 경우를 예로 들어 보면, 전체 주파수를 평탄하게 만들 것인지, 저음을 강조할 것인지, 고음을 강조할 것인지를 결정해야 한다. 또한, 앞뒤 스피커의 레벨을 어느 비율로 할 것인지도 결정해야 하며, 좌우 레벨을 어떻게 분배할 것인지도 결정해야 한다. 지금까지는 튜닝 담당자 혹은 책임자가 청취평가를 통하여 튜닝의 방향을 결정하는 경우가 많았다. 하지만, 튜닝 담당자 혹은 책임자 개인의 기호가 전체 소비자들의 취향과 일치하지 않으면, 시장에서 음질에 대한 소비자들의 평가가 좋지 않을 위험이 있다.

지금까지 차량 음질의 평가에서는 카오디오 관련 협회 및 동호회가 주도적인 역할을 해 왔다. 1987년에 미국에서 결성되어 국제적인 단체로 발전한 IASCA (International Auto Sound Challenge Association)와 미국의 USACI (United States Autosound Competition International), MECA(Mobile Electronics Competition Association), 그리고 유럽의 EMMA (European Mobile Media Association) 등은 각자의 음질평가 기준을 정하고 매년 많은 횟수의 음질평가 대회를 개최해오고 있으며, 우리나라에서도 자동차오디오 동호회들을 중심으로 음질평가 대회를 개최하고 있다. 이 단체들은 음질을 결정하는 각 요소들에 대한 가중치를 추정하여, 이들을 이용한 가중 합(weighted sum)을 기준으로 우수 차량을 결정하였다. 하지만, 몇 안 되는 음질평가자의 주관적 판단에 의존하는 이 방법은 그 공평성에 대해 많은 논란을 겪었다.

1970년대부터 오디오의 음질 선호도를 결정짓는 요소에 대한 과학적인 연구가 본격적으로 이루어졌다. Gabrielsson과 Sjögren은 음향기기의 음질을 규정하는 형용사적 변수들을 찾고 이들과 물리적인 음향특성과의 관계를 규명하고자 하였으나 시도에 그쳤다 [1][2]. 그 후 주파수특성과 수준(level) 등을 대상으로 한 기초적인 선호도의 기여도 조사가 이루어졌다 [3]-[5]. 멀티채널 오디오가 보

편화된 2000년대에 들어서는 기존의 스테레오로부터 서라운드 공간음향으로 그 연구의 범위가 확대되었다 [6]-[9].

1990년대에 들어서야 차량에 대한 음질 선호도 연구가 시작되었는데, 이들은 주로 차량 음질의 선호도를 결정짓는 인자를 찾거나 음질과 물리적 음향특성과의 연관관계를 밝히는 데에 중점을 두고 진행되었다 [10]-[14].

카오디오의 음질을 결정짓는 요소에는 주파수 특성(저음, 중음, 고음의 밸런스), 음장, 왜곡, 스테이지 등이 있다. 하지만 음질비교를 위해서는 각 요소마다 둘 이상의 청취샘플을 제시하여야 하므로 음질 평가 요소의 수가 많아질수록 청취해야 하는 샘플의 수가 기하급수적으로 늘어난다. 따라서 대부분의 기존 연구들은 네 가지 이상의 음향특성을 동시에 고려하지 못하였다. 또한 기존의 연구들은 통계적 실험계획법을 적용하지 않아서 제시 평가음원이 음향특성들의 균형 잡힌 조합을 만들어 내지 못하였으며, 이로 인하여 단순한 평균선호도 이상의 분석결과를 제시하지 못하였다.

본 연구에서는 최소한의 실험횟수로 다양한 음향 특성 조합을 만들어내고 분석하기 위하여 최경미와 두세진 [15], 임도형 [16]에서 사용되었던 통계적 직교배열법 [17]을 이용하였다. 이때 음향특성 별로 각각의 선호도를 조사하는 [15] 대신, 각 샘플 음원 별로 한 개의 종합선호도만을 사용한다. 이렇게 함으로써 음질을 결정짓는 여러 가지 요소에 대한 주관적인 선호도를 한 번에 조사할 수 있으며 각 요소에 대한 가중치도 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

II. 차량음질의 평가항목

음질에 대한 선호도를 조사할 때 언어로 표현된 설문문항들을 사용하는 것이 가장 일반적이다. 오디오 기기의 음질을 평가하기 위하여 Gabrielsson 등은 loudness, clarity, fullness, spaciousness, brightness, softness/gentleness, nearness 등을 평가하였으며 [2][3], 각자 규정을 정하여 대회를 개최하는 IASCA와 같은 카오디오 협회에서는 Sound Stage (distance, width, height, depth), Sound Image (position, focus), Tonal Accuracy (sub-bass, bass, mid, high), Spectral Balance, Ambience, Distortion 등을 평가항목으로 사용하고 있다. 차량의 경우, 공간이 협소하고 짧은 시간 안에 초기반사음이 많이 형성되어서 주파수특성이 심하게 왜곡되거나 음상이 변

형되기 쉬우므로 카오디오 협회의 평가항목이 연구논문의 경우보다 세분화되어 있다.

본 연구의 대상이 차량이므로 여기서는 카오디오 협회에서 채택한 항목과 유사한 Deep Bass (DB)와 Bass (B), Treble (T), Sum of Absolute Deviation (SAD), Dynamics (D), Stage (S), Ambience (A), Clarity (C)의 8가지를 평가항목으로 결정하였다. 여기서 DB, B, T, SAD는 주파수 재생 특성을 나타내는 변수로써, DB는 100Hz 이하의 초저음의 양을, B는 100Hz~1kHz 대역의 주파수 가중한 저음의 양을, T는 1kHz~20kHz 대역의 주파수 가중한 고음의 양을 나타내고 SAD는 주파수 특성의 불균일한 정도를 나타낸다. 또한 D는 음의 역동성 및 Transient 특성을 나타내고, S는 연주무대의 재현능력을 나타내는 변수이다. 그리고 A는 청취자가 음에 둘러싸인 듯이 느끼는 공간감의 정도를 나타내고, C는 음의 투명도를 나타내는 것으로서 Distortion을 의미한다. Gabrielsson 등의 연구 결과 [2][3]와 비교하면 brightness는 T와, spaciousness는 A와, softness/gentleness는 B 및 T와, fullness는 DB/B/T/SAD와, nearness는 S/A와 관련이 깊고 Clarity는 본 연구의 평가항목과 동일하다. 본 연구에서 음질평가는 일정한 음량으로 고정된 상태로 이루어졌으므로 loudness와 관련된 항목은 평가항목에서 제외하였다.

III. 평가차량

청취실험을 위하여 국산 5인승 대형승용차를 선택하였으며, 평가시 차량 오디오의 품질에 따른 영향을 최소화

화하기 위하여 카오디오 업계에서 고급제품으로 평가되고 있는 제품을 실험 대상 차량에 별도로 장착하였다. 그림 1은 본 연구를 위하여 장착한 카오디오 시스템 구성도이다. 스피커로는 Scanspeak D2904 / 600000 트위터, Scanspeak 15W / 8530K00 미드우퍼, Skanning 12인치 서브우퍼, 앰프로는 Brax X-2400.2 및 Brax X-2000.2를 사용하였다. 음향이 각 스피커로부터 청취자의 귀에 도달하는 시간을 조절할 수 있도록 스피커 별로 시간 지연이 가능하게 하였고, 각 채널 별로 모두 크로스오버 및 1/3 옥타브 이퀄라이저를 이용하여 음질 조절이 가능하도록 시스템을 구성하였다.

스피커 장착 전에 장착 가능한 부위들에 대한 임펄스 응답을 측정하여, 음상에 크게 영향을 미치는 트위터로부터의 초기반사음의 영향이 가장 작은 위치에 스피커의 위치를 선정하였다. 본 연구에 사용한 측정시스템은

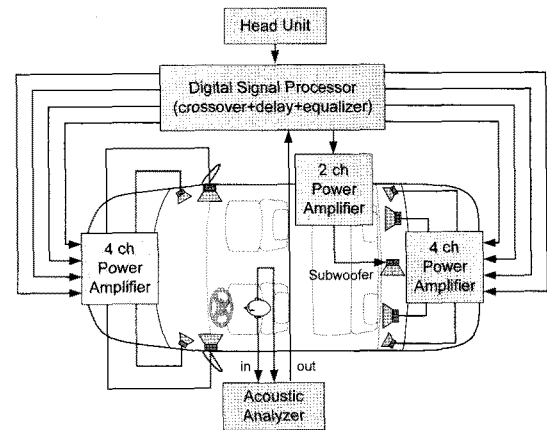


그림 1. 시험차량에 장착한 음향 시스템
Fig. 1. Audio system installed in the test vehicle.

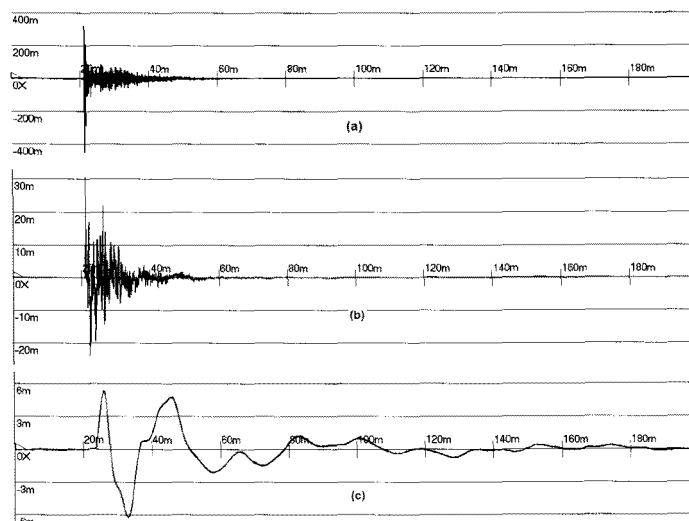


그림 2. 각 스피커로부터의 임펄스 응답의 예. (a) 앞좌측 트위터 (b) 앞좌측 미드우퍼 (c) 서브우퍼
Fig. 2. Examples of impulse responses from the speakers. (a) Front left tweeter (b) Front left mid-woofer (c) Subwoofer.

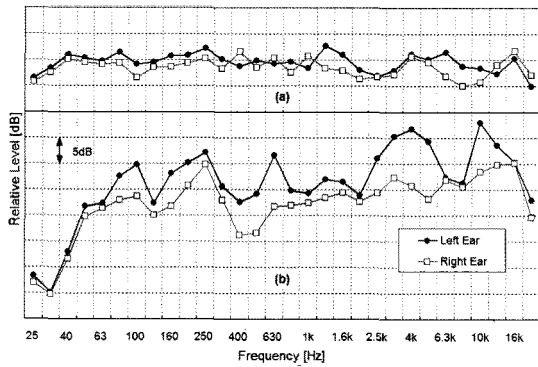


그림 3. 스피커-바이노럴 마이크로폰간의 1/3 옥타브 주파수 스펙트럼 (a) EQ 적용 이후 (b) EQ 적용 이전
 Fig. 3. 1/3 Octave frequency spectra from speaker to binaural microphones : (a) After equalization (b) Before equalization.

Liberty Instrument 사의 Praxis 시스템이며, 임펄스 응답의 Swept-sine (Chirp) 신호를 사용하여 측정하였다. 그림 2는 각 스피커로부터 측정된 임펄스 응답의 예이다. 스피커 장착 후 크로스오버와 딜레이, 그리고 1/3 옥타브 필터를 사용하여 각 스피커로부터 청취자까지의 전달함수가 평탄해지도록 만들어서 주파수영역에서 발생할 수 있는 coloration을 최소화하였다.

차량의 종류 및 마감방법에 따라 음원 (스피커)과 경계 조건 (반사, 흡음특성 등)이 달라지므로 시스템의 음향 전달함수는 차량마다 차이가 있고 따라서 음질 또한 차량의 종류에 따라 달라진다. 본 논문에서는 이러한 차량에 따른 차이를 최소화하기 위하여 청취실험을 하기에 앞서 청취자 (마네킹)의 귀에 바이노럴 마이크로폰을 설치하여 시스템의 임펄스 응답을 측정된 후 1/3옥타브 필터를 이용하여 역필터링을 수행하고 Delay 기기를 이용하여 각 스피커로부터 청취자의 귀에 이르는 시간차를 동일하게 조절함으로써 음질의 컬러레이션 (coloration)과 음상 (imaging)의 이동을 최대한 방지하도록 하였다. 본 논문에서 조작한 8요인은 이러한 이퀄라이징 (equalizing) 이후 인위적 조작을 통해 만들어졌다. 그림 3은 청취평가를 위해 이퀄라이징 수행 전후의 주파수 전달함수 특성을 보여준다. 이퀄라이징 이전에 산과 골이 심하던 주파수 특성이 이퀄라이징 이후 $\pm 3\text{dB}$ 내외로 평탄해져 차량의 종류에 따른 차이를 크게 완화할 수 있게 되었다.

IV. 평가 음원

같은 음향 특성에 대하여도 재생되는 음원의 장르에 따라서 평가자가 느끼는 선호도가 달라질 수 있다고 판단

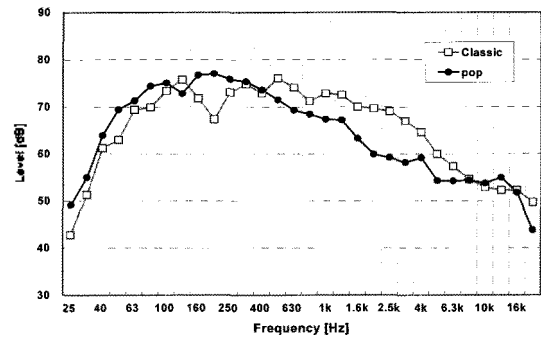


그림 4. 테스트 음원의 스펙트럼
 Fig. 4. Spectra of test sound clips.

표 1. 음향변수별 음원 가공의 범위
 Table 1. Ranges of the acoustic variables in the test.

Acoustic Variables	Variation Range 1	Variation Range 2
DB [dB]	5	10
B [dB]	-6	6
T [dB]	-6	6
SAD [dB]	0	20
S [msec]	0.6	1.8
A [%]	0	50
D [%]	0	5
C [%]	0	5

하여 팝과 클래식을 청취음악의 장르로 선정하고, 각 장르별로 한 곡을 선정한 후 각 곡의 50초 분량을 사용하였다. 음원은 팝의 경우 Rebecca Pidgeon의 "Spanish Harlem", 클래식의 경우는 Elmer Bernstein의 "Magnificent Seven" 중에서 발췌하였다. 그림 4는 평가음원의 전체 구간에 대한 1/3 옥타브 주파수 특성을 나타내는데 전체 가청 주파수 대역에 걸쳐 통상적인 주파수 스펙트럼을 보이고 있다. 본 평가 음원의 경우 400Hz를 기준으로 이하의 저음은 팝이, 이상의 고음은 클래식이 더 높은 음에 에너지를 가지고 있는 것을 볼 수 있다.

다음 표 1에서와 같이 평가항목 (음향변수) 별로 각 음원을 변형하여 다양한 음원을 제작하였고, 이들을 청취자들이 비교 평가하도록 하여 선호도를 조사하였다. 표 1에서 스테이지 S는 좌우 스피커간의 시간지연으로서 우측 스피커에 대한 좌측 스피커의 지연시간이다. 그리고 앰비언스 (공간감) A는 프론트와 리어 스피커 간의 수준 차로 조절하였는데, 그 값이 0인 경우는 모든 음이 프론트 스피커로부터 출력되는 경우를 의미하고 50%인 경우는 프론트와 리어로부터의 음량이 동일함을 의미한다. 음향변수의 의미별 그림을 이용하여 그림 5에 설명하였다.

음향변수가 8가지이므로 표 1에서와 같이 각 특성별 실험수준을 2로 잡으면 변형음원 수는 클래식과 팝 각

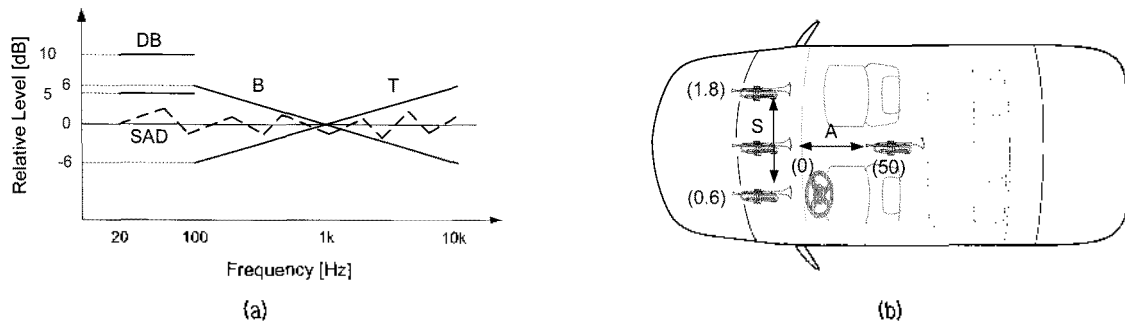


그림 5. 음향변수의 그림설명

(a) 주파수 스펙트럼에 대한 변수 DB, B, T, SAD

(b) 공간감에 대한 변수 S(괄호 안의 숫자는 좌측 스피커의 지연시간: 단위는 msec), A(괄호 안의 숫자는 뒤쪽 스피커의 상대적 음량: 단위는 %)

Fig. 5. Graphical explanations for :

(a) the variations of DB, B, T, SAD and

(b) the variations of S (numbers in parenthesis denote the delay of the left speakers in msec) and A (numbers in parenthesis denote the relative volume of the rear speakers in %).

장르에 대하여 각각 2^8 (256)개가 되며, 만일 수준 수를 3가지로 잡으면 각 음악장르별로 변형음원 수는 3^8 (6561)가지로 커진다. 한 평가자가 피로감을 느끼지 않고 실험을 지속할 수 있는 한계를 고려하면 실험수준을 2로 하는 것이 그나마 현실적이다. 하지만 2^8 은 여전히 매우 큰 수로써, 한 사람이 2^8 개의 조합음원에 대하여 평가를 내린다는 것은 거의 불가능하다. 왜냐하면 다양한 음악 샘플들을 청취한 후 음질을 평가하는 작업은 높은 집중력을 요구하므로 시간이 길어질수록 평가자의 피로도가 높아지고 집중력과 분별능력이 낮아지기 때문이다 [10]. 본 연구의 실험에서는 각 평가음원의 길이가 50초이므로, 512가지 평가음원을 연속해서 듣는다면 적어도 7시간이 넘게 되어 평가자가 한번에 청취실험을 하는 것이 불가능하다.

V. 통계학적 방법을 사용한 청취음원의 선정

평가자의 청취 피로도를 줄여 재생된 음향의 음질에 대한 선호도 평가가 최대한 객관성을 유지할 수 있도록 하기 위해서는 8개 음향변수의 수준조합의 수를 최소로 하여야 한다. 음향변수의 수가 많거나 실험에 사용되는 각 음향변수의 값이 많아질수록 실험조합의 수가 기하급수적으로 커지므로, 통계적 실험계획의 적용이 필수적이다. 따라서 본 논문에서는 2^8 보다는 훨씬 적은 2^4 번의 실험만으로 균형 잡히고 일반화된 음향 환경을 구현한 후, 중요한 요인과 교호작용의 유의성을 검증할 수 있게 해주는 통계적 직교배열법 [17]을 사용한다.

지금까지 이 분야의 연구들이 실험에 통계적 실험계획

법을 사용하지 않아서 실험횟수에 비해 상대적으로 적은 수의 특성값만을 분석하였기 때문에 이들 실험의 효율성이 다소 낮다. 기존의 연구들은 실험에 네 개 이하의 요인을 포함시켰으며, 각 요인은 둘 또는 셋의 수준을 갖도록 정하여 비교적 적은 횟수의 실험을 하였다 [3][10][13]. 예를 들어 Farina와 Ugoletti 가 수행했던 실험 [10]에서 사용된 실험의 구조를 그림으로 살펴보면 다음 표 2와 같다. 이 경우 음의 왜곡이 있고, 스테레오인 경우에 해당하는 조합을 실험하지 않음으로써, 음의 왜곡여부와 스테레오 여부 사이에 발생할 수 있는 교호작용을 분석할 수 없게 된다. 즉, 음이 모노일 때와 스테레오일 때, 음의 왜곡에 대한 평가자의 반응이 다를 수 있는데, 이들이 실험한 자료로는 이에 대한 분석을 할 수 없다. 음의 왜곡 효과와 음의 스테레오 효과뿐만 아니라, 음의 왜곡여부와 스테레오여부 사이에 발생할 수 있는 교호작용까지를 모두 분석하고자 한다면 표 2의 2^4 요인배치법에서처럼 음향이 스테레오이면서 왜곡이 되어있는 조합을 하나 더 추가하면 된다.

본 연구에서는 교호작용이 존재할 수 있다고 판단되는 요인들 DB, B, T, SAD을 선택하여 2^4 요인배치법에 따른 사전실험을 실시하여 DB와 B, T와 SAD 사이에 유의한 교호작용이 있음을 밝혔다 [15]. 따라서 본 연구에서는

표 2. Farina-Ugoletti의 실험조합 (O는 실험한 조합, X는 실험하지 않은 조합)

Table 2. Combinations of experimental levels by Farina-Ugoletti (O for the experimented combinations and X for the omitted combination).

	No distortion	Distortion exists
Mono	O	O
Stereo	O	X

표 3. $L_{16}(2^{15})$ 형 직교배열표에 따른 8인자 배치
(0은 표 1의 실험수준1의 값을 나타내며, 1은 실험수준2의 값을 나타낸다.)

Table 3. $L_{16}(2^{15})$ Orthogonal array for 8 factors
(0 is for the lower level and 1 is for the higher level of Table 1).

Test Sequence		Acoustic Variables							
Pop	Classic	DB	B	T	SAD	S	A	D	C
1	16	0	0	0	0	0	0	0	0
11	1	0	0	0	1	1	1	0	1
16	7	0	0	1	0	0	1	1	1
4	8	0	0	1	1	1	0	1	0
8	12	0	1	0	0	1	1	1	1
10	4	0	1	0	1	0	0	1	0
13	3	0	1	1	0	1	0	0	0
5	9	0	1	1	1	0	1	0	1
9	10	1	0	0	0	1	0	1	1
15	11	1	0	0	1	0	1	1	0
12	14	1	0	1	0	1	1	0	0
2	16	1	0	1	1	0	0	0	1
7	13	1	1	0	0	0	1	0	0
3	2	1	1	0	1	1	0	0	1
6	5	1	1	1	0	0	0	1	1
14	6	1	1	1	1	1	1	1	0

표 4. 음향의 음질 특성을 설명하는 반응 변수의 척도
Table 4. Scale of the response variable explaining the characteristics of the reproduced sound.

Assessment Item	Acoustic Variable Scores (7-point Scale)
Sound Quality Preference	z : Bad (-3) - Good (3)

표 4의 $L_{16}(2^{15})$ 형 직교배열표를 만드는 과정에 8가지 음향특성과 DB와 Bass, T와 SAD 사이의 교호작용이 분석될 수 있도록 요인들을 배치하였다.

표 3의 음향특성조합에 따라 팝과 클래식에 대한 16가지의 평가음원을 만들면, 통계적 실험계획을 사용하지 않을 경우 512가지였던 평가음원 수는 청취평가가 충분히 가능한 16가지로 줄어든다. 이 직교배열법에 따라 평가자는 16가지의 음향특성 조합으로 만들어진 음원의 음질에 대한 주관평가를 한다. 이때, 평가자는 주어진 기준 음원을 기준으로 16가지 평가음원의 음질에 대한 주관평가를 한다 [17].

VI. 청취실험

청취평가자 선정을 위해 일반 대학생들을 대상으로 예비 청취실험을 한 결과 데이터가 랜덤하여 의미있는 결과를 찾을 수 없었다. 카오디오의 음질에 관심을 가지고 좋

고 나쁨을 말하는 사람들은 많은 시간을 음악청취를 위해 할애하는 사람들이라는 판단 하에 본 연구에서는 자동차 오디오를 취미로 삼아 매주 정기적인 청취 모임을 갖는 동호회 회원들을 평가자로 선택하기로 하였다. 그러나 이는 평가자의 선호도가 동호회의 기호 쪽으로 편향(biased)될 수 있음을 의미한다. 또한 카오디오에 대한 전문적인 지식을 갖춘 여성 평가자를 찾기 어려워서, 본 실험의 평가자들은 모두 20-30대 남자로 구성되었다. 그러나 이것 역시 성별이 음질 선호도에 편향된 영향을 미칠 수 있음을 의미한다. 이와 같은 문화적 또는 성별 요인으로 인한 편향을 조정하기 위하여 팝과 클래식의 음악 장르를 실험 요인으로 사용하였다.

음향특성들 중 실험에서 그 값을 조정할 수 있는 요인, 즉 평가항목들을 설명변수로 두고 이들의 조합에 따라 재생된 음원의 음질에 대하여 평가자가 내린 선호도 점수를 반응변수로 정하였다.

반응변수를 얻기 위하여 평가자가 각 음향 특성의 조합으로 재생된 음질에 대한 감성적 선호도를 숫자로 표기하도록 하였는데, 이것이 이 실험의 반응변수 ($y_i, i = 1, \dots, 8$)가 된다. 이로써 재생된 음향의 음질에 대한 청취자의 감성적인 느낌이 객관화된 선호도로 나타나며, 이 선호도의 분석을 통하여 음향특성의 조합에 대한 일반화된 주관평가를 얻을 수 있다.

주관평가를 할 때 SD (semantic differential) 척도 [18][19]를 쓰는 것이 효과적이므로 [20], 기준음원에 대한 선호도 0을 중심으로 제시된 음원에 대한 상대 선호도를 표 1에서와 같이 -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3의 7점 척도의 SD 척도로 나타내도록 하였다. 3가지 이상의 음원을 한꺼번에 평가하는 것이 쉽지 않으므로 평가자는 새로운 음원을 청취하기에 전에 음원을 가공하기 이전 상태인 기준음원을 먼저 청취한 후 제시된 평가대상 음원을 청취하여 상대평가 하도록 하였다. 이때, 평가자들이 각 평가 음원에 앞서 기준음원을 듣게 되면, 평가자들이 들어야 하는 총 음원의 수는 평가대상 음원의 2배가 된다. 따라서 본 실험에서는 16번의 기준음원과 16 가지의 음향특성 조합으로 재생된 음원으로 이루어진 32개의 평가음원을 듣고 주관평가를 하며, 또한 팝과 클래식에 대하여 각각 실험하게 되므로 청취하는 횟수는 총 64번이 된다. 단, 팝과 클래식을 나누어 청취실험을 하였고, 팝과 클래식 음원 평가 사이에 평가자들이 휴식을 취하도록 하였다. 평가음원과 기준음원의 재생시간은 각각 50초였으며 평가자는 평가음의 재생 중 언제라도 기준음원을 다시 들을 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 최종적으로 어떤 음향변수($x, i = 1, \dots, 8$)가 전체 음질의 선호도에 통계적으로 유의한 영향을 미치는지 알아보며, 또한 어떤 음향변수가 각각의 개별 음질 선호도에 유의한 영향을 미치는지 살펴보기 위하여 분산분석 [17][21][22]을 실시하였다.

VII. 통계분석

통계분석에서 검정통계량을 이용하여 해당하는 변수의 효과가 유의한지를 판단하기 위하여 해당 검정통계량의 유의확률을 미리 정한 유의수준과 비교한다. 이 때, 유의수준이란 통계적 판단을 내릴 때 발생하는 오류에 대한 허용된 확률로써, 분석 전에 미리 정해두는 값이다. 본 연구에서는 경우에 따라 0.1 또는 0.05를 쓰도록 한다. 자료를 분석하여 얻어지는 검정통계량의 유의확률이 미리 정한 유의수준보다 작으면 이 통계량이 유의하다고 이야기하는데, 이것은 해당하는 변수가 통계적으로 중요하다는 것을 뜻한다. 즉, 한 변수의 변화가 상대 변수의 변화에 통계적으로 유의할 만큼 크다는 의미이다. 반대로 유의확률이 유의수준보다 크면 얻어진 검정통계량이나 해당하는 변수가 유의하지 않거나 중요하지 않다고 결론짓는다. 즉, 주어진 변수 값의 변화가 다른 변수의 변동에 별 영향을 미치지 않는다고 생각할 수 있다.

본 연구는 응답을 측정하기 위하여 평가자들에게 제시된 기준음원에 대한 감정적 선호도를 0으로 하여 다른 음원에 대한 상대 선호도를 -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3의 7점의 SD 척도법을 사용하였다. SD 척도 자료 중에서 분포가 언덕모양을 이루는 자료에 한하여 Student t-분포에 적용되는 검정법을 사용하는 것이 통용되고 있다 [19][22][23]. 그러나 여기서는 분석을 위하여서는 평가자 사이의 평균 차이가 없도록 평균을 조정한 값을 반응값으로 사용하였다. 이렇게 하면 실제 분석에 사용되는 반응값이 원래의 7점 척도보다 훨씬 다양한 값을 가지게 되므로, SD 척도나 리커트 척도 자료가 정규분포 가정을 따를 수 없어서 발생하는 문제가 자연스럽게 해결된다.

음향특성이 음질특성 대한 선호도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 분산분석법을 실시하였다. 자료가 정규성을 갖도록 만들기 위하여 얻어진 자료로부터 평가자 평균을 제거한 후 선형모형을 세웠으므로 평가자에 의한 블록 효과가 제거되었다. 이렇게 할 경우, 자료의 반복수가 늘어나는 효과가 있다. 예를 들어, $z_{ij}, i = 1, \dots, 9, j = 1, \dots, 16$ 을 i 번째 사람이 j 번째 실험에서 내린 선호도라면, 수정

된 선호도 sz_{ij} 는 다음 식 (1)과 같이 얻어진다.

$$sz_{ij} = z_{ij} - (\bar{z}_i - \bar{z}_.) \tag{1}$$

여기서 \bar{z}_i 와 $\bar{z}_.$ 는 각각 i 번째 평가자 내의 선호도평균과 전체 평가자의 선호도평균이다. 수정된 선호도를 종속변수로 하는 분산분석 모형은 다음 식 (2)와 같다.

$$\vec{sz} = M\vec{x} + \vec{e} \tag{2}$$

여기서 독립변수는

$$\vec{x} = (DB, B, T, SAD, S, A, D, C)^T \tag{3}$$

이고, 종속변수는 조정된 선호도를 성분으로 갖는 벡터

$$\vec{sz} = (szDB, szB, szT, szSAD, szS, szA, szD, szC)^T \tag{4}$$

이다. 또한 M 은 계수행렬이며 오차 \vec{e} 는 정규성을 만족해야 한다.

7점 척도의 SD 척도법은 정규분포 가정을 만족시킬 수 없지만, 이를 평가자의 평균에 대하여 수정한 값은 정규분포에 가까운 모양을 보임을 확인할 수 있었다. 우선 음질의 특성 DB에 대한 조정된 선호도를 그림 3과 같이 히스토그램으로 그려 보았는데, 막대의 모양이 정규곡선에 잘 들어맞는 것을 볼 수 있었다. 나머지 음질 특성의 조정된 선호도에서도 같은 결과를 볼 수 있었다. 또한 각각의 조정된 선호도를 종속변수로 두고, 8개의 음향변수를 독립변수로 하는 중회귀분석을 실시하여 잔차분석을 하였다. 그림 3은 종합선호도에 대한 QQ-plot으로서 잔차들과 정규분포로부터 생성된 난수들의 순서자료 (Order Statistics)를 쌍으로 찍어보는 것으로 주어진 자료의 정규성을 확인할 수 있는데, 본 자료의 경우 이들이 일직선상에 위치하므로 자료가 정규분포를 따른다고 볼 수 있다. 따라서 얻어진 자료가 정규분포의 가정을 만족시킨다고 보고 분산분석을 실시하여 팍과 플래식에 대하여 표 5와 표 6의 분산분석표를 얻었다.

재생된 팍의 전체 음질 선호도에 영향을 미치는 음향요인을 살펴보기 위하여 F-통계량의 p-값을 표 5에 나타내었다. 유의수준 0.05에서 음향특성 중 T와 SAD가 음질 선호도에 유의한 영향을 미치며, 유의수준 0.1에서 음향특성 중 DB와 T*SAD가 음질 선호도에 유의한 영향을 미

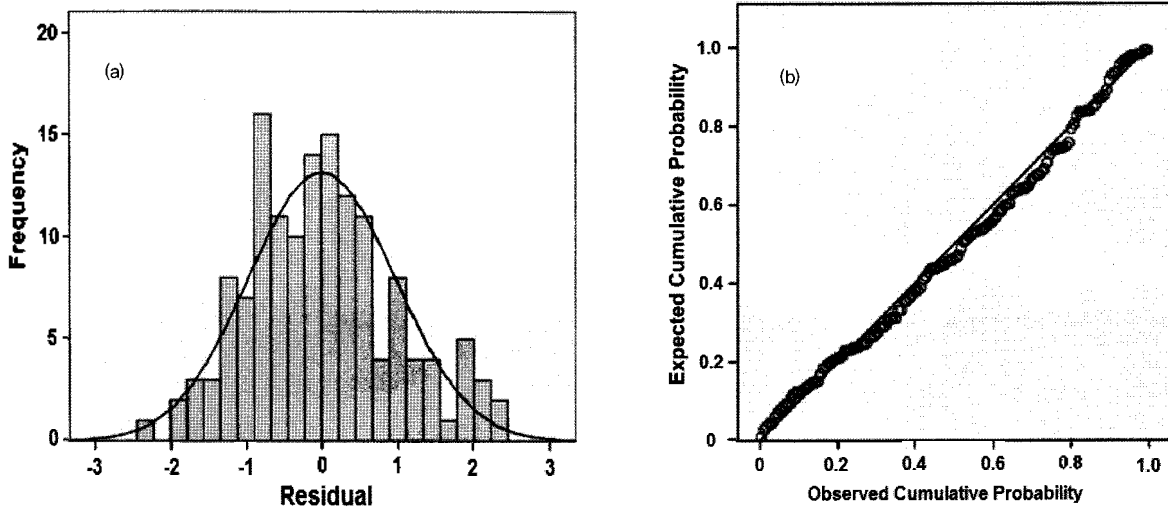


그림 3. 음질선호도에 대한 잔차 히스토그램과 표준화 잔치의 QQ 도표 (a) 잔차 히스토그램 (b) 표준화 잔치의 QQ도표
 Fig. 3. Histogram of the residuals from the preferences of the sound quality and QQ plot. (a) Histogram of the residuals (b) QQ plot of the standardized residuals.

표 5. 팝 음질의 선호도에 영향을 미치는 요인을 찾기 위한 일변량 분산분석(* 유의수준 0.1에서 유의함 ** 유의수준 0.05에서 유의함)
 Table 5. Univariate analysis of variance to test significant factors which affects the preferences of the sound quality of pop music (* Significant at the significance level 0.1, ** Significant at the significance level 0.05).

Overall Preference	Acoustic Variables									
	DB	B	T	SAD	S	A	D	C	DB*B	T*SAD
sz	.052*	.292	.000**	.011**	.651	.651	.880	.880	.880	.011*

표 6. 클래식 음질의 선호도에 영향을 미치는 요인을 찾기 위한 일변량 분산분석(* 유의수준 0.1에서 유의함)
 Table 6. Univariate analysis of variance to test significant factors which affects the preferences of the sound quality of classic music (* Significant at the significance level 0.1).

Overall Preference	Acoustic Variables									
	DB	B	T	SAD	S	A	D	C	DB*B	T*SAD
sz	.648	.948	.474	.080*	.474	.845	.397	.948	.397	.329

친다. 주어진 음질의 선호도를 음향특성 별로 따로 측정하여 다변량 분산분석에 의한 결과 [15]와 비교해보면, T, SAD, T*SAD가 유의하게 나타난 점은 동일하나, B와 S 대신 DB가 유의하게 나타난 점은 다르다. 특히 주목할 부분은 두 분석 모두에서 T의 유의확률이 상대적으로 매우 낮아서, 평가자들이 많은 음향특성 중에서 T의 변화에 가장 예민하게 반응함을 알 수 있다. 다변량 분산분석의 개체 간 효과검정에서도 비슷한 점을 발견할 수 있었는데, 평가자들은 음향특성 T를 조정하는 것에 따라 거의 대부분 영역에서 음질 선호도의 차이를 뚜렷하게 느끼고 있었다 [15]. 이것은 음향 엔지니어들이 기계적으로 음향을 설계할 때, 특히 음향특성 T, 즉 Treble에 세심한 주의를 기울일 필요가 있음을 의미한다.

재생된 클래식의 전체 음질 선호도에 영향을 미치는 음향요인을 살펴보기 위하여 F-통계량의 p-값을 표 6에

나타내었다. 유의수준 0.1에서 음향특성 중 SAD만이 음질 선호도에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이것은 유의수준 0.05에서 음향특성 중 T와 D만이 전체 음질 선호도에 유의한 영향을 미친다고 결론을 내리는 다변량 분산분석 결과 [15]와 다소 차이가 있다. 팝 경우에는 선호도를 표현하는 반응변수를 다르게 하여도 일치하는 결과를 얻을 수 있었던 것에 비하여, 클래식의 경우에는 그렇지 못함을 알 수 있다. 음악의 장르가 클래식일 때에는 평가자들이 음질 전체에 대하여 내린 선호도와 음향특성별로 내린 음질 선호도가 일관되게 나타나고 있지 못하다. 이는 아마도 평가자들이 평소 클래식보다는 팝에 더 익숙하였기 때문이거나, 혹은 팝이 클래식보다 평가 면에서 쉬운 장르일 수 있음을 의미한다. 향후에 팝뿐 아니라 클래식에서도 좋은 청취력을 갖춘 소위 Concert-Goer를 평가자로 확보하는 것이 매우 중요할 것이다.

VIII. 결론

지금까지 이 분야의 연구는 얻어진 자료의 평균을 구하는 수준에 머물렀는데, 본 연구에서는 일변량 분산분석을 적용하여 어떤 음향 특성이 어떤 음질 특성에 통계적으로 유의한 영향을 미치는지 통계적으로 분석하였다.

차량의 음질에 오디오기기의 품질에 의한 영향을 최소화하기 위하여 고품질의 카오디오 기기를 별도로 장착하였으며 차량의 종류 및 바깥 조건이 주는 영향을 최소화하기 위하여 각 채널별로 1/3옥타브 이퀄라이저 및 달레이기기를 이용하여 주파수특성을 교정한 후 청취시험을 하였다.

본 논문에서는 통계학적인 실험계획법의 직교배열법을 사용하여 기존의 연구들이 시너 게 이상의 음향변수를 실험에 포함시키지 못한 한계를 극복하였으며 실제로 단지 16개의 평가음원을 이용하여 8가지의 음향특성에 대한 선호도를 조사할 수 있었다.

평가자의 칭취를 용이하게 함으로써 높은 신뢰도의 데이터를 얻기 위하여, 평가자들이 기준음원을 0으로 두고 시험대상 음원을 상대평가 하도록 하였다.

본 논문에서는 또한 재생된 음향의 음질에 대한 여러 평가자들의 주관적 선호도를 일변량 분산분석법으로 분석하여, 일반적으로 전체 음질의 선호도를 결정짓는 음향특성을 찾아냈으며 각각의 음질 선호도에 유의한 영향을 미치는 개별 음향 특성을 찾아내었다. 일변량 분산분석 결과, 재생된 팝음악의 음질에 대한 전체 선호도에 영향을 미치는 음향특성들은 유의수준 0.05에서 T와 SAD가 음질 선호도에 유의한 영향을 미치며, 유의수준 0.1에서는 DB와 T*SAD가 음질 선호도에 유의한 영향을 미친다. 팝음악에서와는 달리 클래식음악에서는 음질에 대한 전체 선호도가 유의수준 0.1에서 음향특성 중 SAD에 의해서만 영향을 받고 있었다. 재생된 음질의 음향특성별로 선호도를 측정하여 다변량 분산분석을 하여 얻어진 결과와 비교해볼 때, 팝의 경우에는 선호도 변수의 형태가 바뀌어도 평가자들이 비교적 일관된 평가를 하는 것에 비하여 클래식의 경우에는 그렇지 못함을 알 수 있었다. 또한, 팝의 경우 평가자들이 Treble의 변화에 가장 예민하게 반응함을 알 수 있었고, SAD에 대하여도 팝과 클래식 모두에서 유의한 반응을 보임을 알 수 있었다. 이외에도 평가자들이 DB에 대하여도 예민하게 반응하고 있음을 알 수 있었다.

지금까지 자동차 제작사에서는 소수의 음향 엔지니어가 자신 혹은 관세자의 선호도에 맞도록 음향을 튜닝하여

왔다. 하지만 본 연구의 결과를 활용하면 오디오를 사용할 일반 소비자의 음향적 기호가 어떠한지 발견할 수 있다. 또한 향후 소비자를 만족시킬 수 있는 카오디오 튜닝의 방향을 제시하였다는 점에서 본 연구가 갖는 의미가 크다.

본 논문에서는 정차된 상태에서의 음질 선호도를 조사하였지만 차량이 주행할 경우는 주행소음이 발생하여 마스크 현상이 발생하게 되고 음질 선호도에도 변화가 발생한 것이 분명하다. 따라서 향후 연구에서는 주행소음을 포함하는 청취시험을 할 필요가 있다. 나아가 음질 선호도에 비선형적인 현상을 보일 것으로 예상되는 일부 음향 특성들을 분석하기 위해서는 3수준 실험이 필요하다. 그러나 이것은 직교배열법을 적용한다 하더라도 실험회수가 2수준의 경우보다 월등히 많아지고 또 다른 종류의 실험계획법 개발이 필요할 수도 있다.

감사의 글

이 논문은 2006년도 홍익대학교 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

1. A. Gabrielsson, U. Rosenberg, and H. Sjögren, "Judgments and dimension analyses of perceived sound quality of sound-reproducing systems," *J. Acoust. Soc. Am.*, **55**, 854-861, 1974.
2. A. Gabrielsson and H. Sjögren, "Perceived sound quality of sound-reproducing systems," *J. Acoust. Soc. Am.*, **65**, 1019-1033, 1979.
3. A. Gabrielsson, B. Hagerman, T. Bech-Kristensen, and G. Lundberg, "Perceived sound quality of reproduction with different frequency responses and sound levels," *J. Acoust. Soc. Am.*, **88**, 1359-1366, 1990.
4. F. Toole, "Loudspeaker measurement and their relationship of listener preferences: Part 2," *J. Audio Eng. Soc.*, **34**, 323-341, 1986.
5. A. Gabrielsson and B. Lyndstrom, "Perceived sound quality of high-fidelity loudspeakers," *J. Audio Eng. Soc.*, **33**, 33-53, 1985.
6. F. Rumsey, "Spatial quality evaluation for reproduced sound: terminology, meaning and a scene-based paradigm," *J. Audio Eng. Soc.*, **50**, 651-666, 2002.
7. C. Guastavino and B. F. G. Katz, "Perceptual evaluation of multi-dimensional spatial audio reproduction," *J. Acoust. Soc. Am.*, **116**, 1105-1115, 2004.
8. F. Rumsey, S. Zieliski, R. Kassier, and S. Bech, "On the relative importance of spatial and timbral fidelities in judgments of degraded multichannel audio quality," *J. Acoust. Soc. Am.*, **118**, 968-976, 2005.

9. S. Chaisel and F. Wickelmaier, "Evaluation of multichannel reproduced sound: Scaling auditory attributes underlying listener preference," *J. Acoust. Soc. Am.* **121**, 388-400, 2007.
10. A. Farina and E. Ugolotti, "Subjective comparison of different car audio systems by the auralization technique," *Proc. Audio Eng. Soc.* 103rd Convention, 26-29, New York, Sep. 1997.
11. 오양기, 이희선, 두세진, "자동차 실내음향의 공간적 인상에 관한 연구," *대한건축학회 학술발표대회 논문집* **20(1)**, 521-524, 2000.4.
12. 오양기, 두세진, 주현경, "자동차오디오 장착 및 튜닝의 음향적 프로세스," *주성대학 스피커음향 기술혁신센터 음향기술전시회 및 학술발표대회*, 주성대학, 2001.5.
13. J. Freeman and J. Lessiter, "Here, there, and everywhere: the effects of multichannel audio on presence," *Proc. 2001 International Conf. on Audio Display*, 231-234, Espoo, Finland, Jul. 2001.
14. E. Ugolotti, G. Gobbi, and A. Farina, "IPA-A Subjective Assessment Method of Sound Quality of Car Sound Systems," *Proc. Audio Eng. Soc.* 110th Convention, Amsterdam, May 2001.
15. 최경미, 두세진, "차량 음향 시스템의 음질평가를 위한 다변량 분산분석," *응용통계연구*, **20(3)**, 475-485, 2007.
16. 임도형, "제품의 음질특성에 관한 연구: 진공청소기예의 응용," *한국과학기술원, 기계공학과 석사학위 논문*, 대전, 2000.
17. 박성현, *실험계획법* (대영사, 서울, 2003).
18. L. Osgood, *Method and Theory in Experimental Psychology* (Oxford Univ. Press, New York, 1968).
19. W. Mendenhall, J. E. Reinmuth, and R. J. Beaver, *Statistics for Management and Economics* (Brooks Cole, Florence, 1993).
20. N. C. Otto, "Listening Test Methods for Automotive Sound Quality," *Proc. Audio Eng. Soc.* 103rd Convention, New York, Sep. 1997.
21. W. Krzanowski, *Principles of Multivariate Analysis: A User's Perspective* (Oxford Univ. Press, New York, 2000).
22. R. Johnson and D. Wichern, *Applied Multivariate Statistical Analysis, 5th ed.* (Pearson, New York, 2002).
23. P. Bickel and K. A. Doksum, *Mathematical Statistics, Basic Ideas and Selected Topics* (Pearson, New York, 2001).

저자 약력

• 두 세 진 (Sejin Doo)



1983년 2월: 서울대학교 전자공학과 학사
 1983년~1984년: 삼성전(주) 비디오 설계실
 1987년 2월: 서울대학교 대학원 전자공학과 석사
 1994년 2월: 서울대학교 대학원 전자공학과 박사
 1994년~1995년: 자동차부품연구원 선임연구원
 1995년~1997년: PAS A/V Consulting 대표
 1997년~2008년: 현재 동아방송예술대학 미디어 기술학부 교수
 2007년~2008년: Rensselaer Polytechnic Institute (USA) Visiting Scholar
 ※주관심분야: 전기음향 시스템, 멀티미디어 기기의 음향신호처리, 차량 음향, 건축음향 설계, 건축재료의 음향특성 연구 등.

• 최 경 미 (Kyungmee Choi)



1987년 2월: 서울대학교 계산통계학과 학사
 1989년 2월: 한국과학기술원 산업공학과 석사
 1989년~1990년: 한국전기통신공사 사업지원단 트래픽실 선임연구원
 1995년 5월: University of Illinois at Urbana-Champaign 박사
 1995년~2008년: 현재 홍익대학교 조차원캠퍼스 교수
 2003년~2004년: Carnegie-Mellon University (USA) Visiting Scholar
 ※주관심분야: 다변량통계, 비모수통계, 클러스터링, 감성공학, 신호처리