

## 차량 음향 시스템의 음질평가를 위한 다변량 분산분석\*

최경미<sup>1)</sup> 두세진<sup>2)</sup>

### 요약

본 연구의 목적은 자동차 오디오에서 재생된 음향의 음질에 대한 청취자의 주관적인 선호도를 객관화된 설문 등을 통하여 측정하고 그 결과를 통계적으로 분석하여 일반화시키는 것이다. 직교배열법을 사용하여 여덟 가지 음향특성들의 조합으로 이루어진 음향 환경을 객관적으로 재현하였으며, SD 7점 척도를 사용하여 청취자의 주관적 음질 선호도를 객관화시켰다. 재생된 음향의 음질에 대한 여러 청취자들의 선호도를 다변량 분산분석법을 이용하여 분석한 후, 일반적으로 전체 음질의 선호도를 결정짓는 음향특성을 찾아냈으며, 각각의 음질 선호도에 유의한 영향을 미치는 개별 음향 특성을 찾아내었다.

주요용어: 음향특성, 음질선호도, 직교배열법, 다변량분산분석.

### 1. 서론

자동차 오디오에서 재생된 음향 (sound)의 음질 (quality)을 평가할 때에는 음향의 특성을 각 주파수 영역에서 음의 왜곡 정도에 따라 물리적이고 기술적으로 측정하거나 음질에 대한 청취자의 주관적인 선호도를 그래픽 또는 설문 등을 이용하여 측정한다. 여기서 음향의 특성은 물리적이고 기술적인 요소에 근거하므로 객관적인 반면, 음질의 특성은 청취자의 선호도와 감성적 판단에 근거하므로 (Letowski, 1989) 주관적이 된다. 이 주관평가를 과학적인 근거에 따라 객관화시키려는 노력은 다양한 방법으로 계속 되어왔다.

대부분의 기존 연구들은 네 가지 이상의 음향특성을 동시에 고려하지 못하였다. Gabrielson과 Hagerman (1990), Freeman과 Lessiter (2001)가 각각 둘 또는 셋의 음향 특성의 조합을 음원으로 제작하여 음질에 대한 선호도를 측정하는 주관평가 실험을 하였다. 가장 최근의 연구로는 Farina와 Ugolotti (1997a, 1997b)가 제안한 필터링이 되지 않은 경우, 모노, 저주파필터 (low-pass filter), 고주파필터 (high-pass filter), 음의 왜곡 등 세 음향특성의 다섯 가지 조합에 대한 실험이 있다. 그러나 이들은 모두 통계적 실험계획법을 따르지 않아서 다양한 음향특성들의 균형 잡힌 조합을 만들어내지 못하였으며, 또한 단순한 평균선호도 이상의 분석결과를 제시하지 못하였다.

\* 이 논문은 2006년도 홍익대학교 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음.

1) (339-701) 충남 연기군 조치원읍, 홍익대학교 과학기술대학, 부교수

E-mail: kmchoi@hongik.ac.kr

2) (456-717) 경기도 안성시 삼죽면 진촌리 632-18, 동아방송예술대학 방송기술계열, 부교수

E-mail: akustica@dima.ac.kr

본 연구에서는 최소한의 실험회수로 다양한 음향 특성 조합을 만들어내기 위하여 직교 배열법 (박성현, 2003)을 이용하였다. 본 논문의 목표는 이렇게 재생된 음향의 음질에 대한 주관평가들을 다변량 분산분석법 (Johnson과 Wichern, 2002; Krzanowski, 2000)을 이용하여 분석한 후, 전체 음질 선호도에 유의한 영향을 미치는 음향 특성을 찾아내는 것이다. 더불어 각각의 음질 선호도에 유의한 영향을 미치는 음향 특성도 찾아내고자 한다. 이때, 음향특성들의 조합을 만들기 위한 과학적인 실험설계만큼 중요한 것이 평가자의 주관적 판단을 객관적으로 측정하는 방법이다.

음질에 대한 선호도나 감성 등 평가자의 주관적인 의견을 측정하기 위하여 그림을 사용한 경우 (Ford 등, 2002)도 있었으나, 언어로 표현된 설문문항들을 사용하는 것이 가장 보편적이다. 음향의 음질을 평가할 때 가장 일반적인 주관평가 방법은 평가자 또는 피실험자가 재생되는 음향의 음질을 결정하는 다양한 요소들에 대한 설명이나 선호도 등을 단일 순위 변수로 평가한 값들의 평균을 사용하는 것이다 (Rumsey, 2002). 지금까지 사용되어온 음질평가에 대한 문항들로는 loudness와 clarity, fullness, spaciousness, brightness, softness/gentleness, nearness (Gabrielsson과 Sjogren, 1979; Gabrielsson과 Hagerman, 1990) 등이 있었다. 또한 Farina와 Ugolotti (1997a, 1997b)가 사용한 질문들은 음향의 음질에 대한 선호도를 묻기보다는 평가자가 음향의 기계적인 변화를 알아차리는지를 묻는 청취력 검사에 더 가까운 질문이었다. 본 논문에서는 음질특성을 음향특성과 일대일 대응이 되도록 설정한 후, 재생된 음향의 음질에 대한 평가자의 감성적 선호도를 언어로 된 설문문항을 사용하여 측정하였다. 이때 음향의 음질에 대한 주관평가에서 평가자의 청취력은 실험의 신뢰도를 크게 좌우한다.

평가자가 실험대상이 되는 한 차 또는 여러 차에 들어가서 다양한 음악 샘플들을 청취한 후 음질을 평가하는 작업은 매우 길고 지루하여 평가자의 피로도가 높아지기 쉽다 (Farina와 Ugolotti, 1997a, 1997b). 또한 일반적으로 사람은 둘 이상의 음향의 차이를 구분하기 어렵다. 그러나 기준음원에 대한 평가를 0으로 잡도록 평가자들을 교육하며, 평가자들이 매 음원마다 기준음원을 먼저 듣고 난 후 평가 대상 음원을 상대평가 하도록 하면 평가의 신뢰성이 높아질 수 있다. 이 경우에 평가자들이 들어야 하는 총 음원의 수는 항상 평가대상 음원의 2배가 된다.

음향의 특성 이외에도 음악의 장르와 성별, 나이 등이 음질의 선호도에 영향을 미칠 수 있으나 음악의 장르에 따른 음질 선호도가 더 중요하다는 전문가들의 판단에 따라, 본 연구에서는 음원을 팝과 클래식으로 구분하여 주관평가를 실시하였다.

2절에서는 실험 및 분석에 사용되는 변수들을 설명하고, 3절에서는 각 변수 값의 조합을 결정짓는 직교배열에 대하여 알아본다. 지금까지 이 분야의 연구는 얻어진 자료의 평균을 구하는 수준에 머물렀는데, 본 연구의 4절에서 얻어진 자료를 다변량 분산분석을 적용한 후, 어떤 음향 특성이 어떤 음질 특성에 통계적으로 유의한 영향을 미치는지 분석하여 본다. 5절에서는 이 실험에서 나타난 문제점과 향후 연구에 대하여 토의한다.

## 2. 설명변수와 반응변수의 결정

본 논문에서는 음향특성을 나타내는 요인들 중 실험설계가 가능한 요인들을 설명변수로

두었고, 설명변수들의 조합에 따라 재생된 음원의 음질에 대한 평가자들의 선호도 점수를 반응변수로 정하였다. 기존의 연구들 (Gabrielsson과 Hagerman, 1990; Freeman과 Lessiter, 2001; Farina와 Ugolotti, 1997a, 1997b)에서는 실험에 포함시킨 요인의 수가 네 개 이하이며, 각 요인이 둘 또는 셋의 수준을 갖도록 정하였으나 균형 잡힌 다양한 조합을 고려하지는 못하였다. 실험설계에 포함되는 음향특성의 수와 함께 특성 값이 많아질수록 조합의 수가 엄청나게 커지므로 실험계획법의 직교배열법을 적용하는 것이 필수적이다 (임도형, 1999). 여기서는 음향전문가들이 중요하다고 판단한 8가지 음향특성의 수준 수를 동일하게 잡은 후, 직교배열법을 적용하여 균형 잡히고 일반화된 음향 환경을 구현해 주려 하였다.

고려된 음향 특성들은 음질을 결정하는데 중요한 역할을 하는 것으로 알려진 Deep Bass(DB)와 Bass(B), Treble(T), Sum of Absolute Deviation(SAD), Dynamic(D), Stage(S), Ambience(A), Clarity(C)이며, 이들은 실험 설계에서 조정이 가능하다. 여기서 DB, B, T, SAD는 주파수 재생 특성을 나타내는 변수로써, DB는 100Hz 이하의 초저음의 양을, B는 100~1KHz 대역 내의 저음의 양을, T는 1KHz~20KHz 대역의 고음의 양을, SAD는 주파수 특성의 불균일한 정도를 나타낸다. D는 음의 역동성을 나타내고, S는 연주무대의 재현 능력을 나타내는 변수이다. 그리고 A는 청취자가 음에 둘러싸인 듯이 느끼는 공간감의 정도를 나타내고, C는 음의 투명도를 나타낸다.

이외에도 음의 왜곡이 재생된 음향의 음질에 중요한 영향을 미치는데, 이 영향은 비선형으로 알려져 있다. 소음이나 음의 왜곡과 관련된 많은 연구들은 다른 음향요인과는 분리되어 실험이 행해진 경우가 대부분이다 (박석태, 1995; 박석태 등, 1999; Azzali 등, 2005; Farina와 Ugolotti, 1997a). 본 연구에서는 정지된 차 내부에서 실험을 실시하여서 소음과 음의 왜곡이 생기기 어려운 환경이었으므로 자연스럽게 소음과 음의 왜곡을 실험에서 제외하였다.

평가자의 청취 피로도를 줄여 재생된 음향의 음질에 대한 선호도 평가가 최대한 객관성을 유지할 수 있도록 하기 위하여 8개 음향특성의 수준조합의 수를 최소로 하여야 한다. 이를 위하여 음향특성들의 수준의 수를 둘로 동일하게 제한하였는데, 구체적인 수준들을 정하기 위하여 예비실험을 실시하였다. 실제의 오디오를 생산하는 현장에서는 음향 음질 중 한 요소를 평가하기 위하여, 담당 엔지니어가 최적이라고 짐작되는 값에 나머지 음향특성들을 고정시킨 후, 평가 대상이 되는 한 개의 음향특성을 이리저리 바꾸어가며 이 음향특성의 최적을 찾으려고 하였다. 이때, 담당 엔지니어는 자신이 만족할 때까지 모든 음향특성 값들을 바꾸어가며 이 과정을 반복하였다. 이것은 반응표면분석 (박성현, 2003; Montgomery, 2004)의 과정과 닮은 점이 있다. 그러나 이 과정에서는 주어진 음원에 대한 선호도를 숫자로 표현하기 어렵고, 단지 두 음원의 음질 중 어느 것이 더 좋은지만 알 수 있다는 점에서 일반적인 실험계획법들과 차이가 있다. 그럼에도 불구하고, 이 과정이 적어도 좁은 범위 내에서는 재생된 음원에 대한 청취자 선호도의 국소적 최적점을 찾아줄 수 있을 것이라 판단되어서, 이를 실험에 사용될 음향 특성 중 DB, B, T, S, A의 수준을 점추정하기 위한 실험 방법으로 채택하였다. 이 실험에서는 13명의 평가자가 재생된 음향의 음질에 만족할 때까지 이 과정을 다섯 변수에 대하여 반복하도록 하였다. 이렇게 얻어진 다섯 음향특성에 대한 국소적 최적선호도의 평균과 표준편차와 음향전문가의 전문지식에 근거하여 각 음향특

표 2.1: 음향의 음질 특성을 설명하는 반응 변수들의 척도

평가항목	음질특성 평가점수 7점척도
DB	$y_1$ : 나쁘다(-3) - 좋다(3)
B	$y_2$ : 나쁘다(-3) - 좋다(3)
T	$y_3$ : 나쁘다(-3) - 좋다(3)
SAD	$y_4$ : 나쁘다(-3) - 좋다(3)
S	$y_5$ : 나쁘다(-3) - 좋다(3)
A	$y_6$ : 나쁘다(-3) - 좋다(3)
D	$y_7$ : 나쁘다(-3) - 좋다(3)
C	$y_8$ : 나쁘다(-3) - 좋다(3)

성의 수준을 선택하였다.

이외에도 피실험자의 연령대와 성별, 음악의 종류 등이 중요한 요인이 될 수 있다. 본 연구에서는 자동차 오디오를 취미로 삼아 매주 정기적인 청취 모임을 갖는 동호회 회원들을 평가자로 선택하였는데, 이들은 20-30대 남자였다. 청취자들의 문화적인 배경이나 성별이 재생되는 음향의 음질에 대한 선호도에 영향을 미칠 수도 있다는 가능성을 배제할 수 없었으나 여성 평가자를 찾기 어려웠으므로 이 두 요인들 대신 조정하여 사용할 수 있는 음악의 장르를 새로운 요인으로 선택하였다. 즉, 성별이나 문화적인 배경과 무관하게 재생되는 음원에 사용되는 음악의 장르가 무엇이냐에 따라서 같은 음향 특성에 대하여도 평가자가 느끼는 선호도는 달라질 수 있다고 판단하였다. 선택된 음악의 장르는 팝과 클래식이다.

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. 평가의 객관성을 얻기 위하여 평가자는 기준음원을 먼저 청취한 후 제시된 음원을 청취하여야 하며, 기준음원에 대한 선호도를 0으로 하여 제시된 음원에 대한 상대 선호도를 -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3의 7점 척도의 SD 척도 (Osgood, 1968; Mendenhall 등, 1993)로 나타내어야 한다 (표 2.1). 본 연구에서는 최종적으로 어떤 음향변수 ( $x_i, i = 1, \dots, 8$ )가 전체 음질의 선호도에 유의한 영향을 미치는지 알아보며, 또한 어떤 음향변수가 각각의 개별 음질 선호도에 유의한 영향을 미치는지 살펴보기 위하여 다변량 분산분석 (박성현, 2003; Johnson과 Wichern, 2002; Krzanowski, 2000)을 실시한다.

### 3. 직교배열을 이용한 실험계획

관심의 대상이 되는 음향특성들은 모두 8개나 되므로 이들의 가능한 조합은 매우 크다. 실험의 크기를 줄이기 위하여, 음향전문가가 교호작용이 존재할 수 있다고 지적한 요인들 DB, B, T, SAD을 선택하여  $2^4$  요인배치법 (박성현, 2003)에 따라 사전실험을 실시하였다.

사전실험에서는 총 11명의 평가자를 모집하여 요인분석을 실시하였고, 그 결과 유의수준 0.05에서 DB와 B, T와 SAD 사이의 교호작용이 유의함을 알 수 있었다. 따라서 8가지 음향 특성과 DB와 Bass, T와 SAD 사이의 교호작용을 배치하기 위하여 실험계획법의  $L_{16}(2^{15})$ 형 직교배열표 (박성현, 2003)를 사용하였다. 한 평가자는 16번의 기준음원 평가와 16 가지의 음향특성 조합으로 재생된 음원의 음질에 대한 주관평가를 하게 된다. 그런데 팝과 클래식 에 대하여 각각 32번씩 실험하게 되므로 총 실험회수는 64번이 된다.

#### 4. 음질 선호도에 영향을 미치는 음향 요인

음질 선호도에 영향을 미치는 음향특성을 찾아내기 위하여 실시된 실험에서는 여덟 개의 음향 변수들이 사용되었는데, 이들은 DB, B, T, SAD, D, S, A, C이다. 이들의 주효과 및 DB와 B, T와 SAD의 교호작용을 검정할 수 있는 실험계획법으로  $L_{16}(2^{15})$ 형 직교배열표가 사용되었다. 평가자들에게 기준음원에 대한 감성적 선호도를 0으로 하여 제시된 음원에 대한 상대 선호도를 -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3의 7점 척도의 SD 척도법 (Osgood, 1968; Mendenhall 등, 1993)으로 나타내도록 하였다. 이 실험에는 총 9명의 평가자들이 참가하였는데, 이들은 자동차 오디오를 취미로 하는 20대 또는 30대 남성들이었다.

음향특성 8개가 음질특성 대한 선호도 8개에 미치는 영향을 분석하기 위하여 다변량분산분석법 (Johnson과 Wichern, 2002; Krzanowski, 2000)을 실시하였다. 여기서 평가자를 선형모형에 블록요인으로 포함시킬 수도 있었으나, 자료가 정규성을 갖는지 구체적으로 알아보기 위하여, 얻어진 자료로부터 평가자 평균을 제거한 후 선형모형을 세웠다. 예를 들어,  $y_{ij}, i = 1, \dots, 9, j = 1, \dots, 16$ 을  $i$ 번째 사람이  $j$ 번째 실험에서 내린 선호도라면, 수정된 선호도  $sy_{ij}$ 는 다음 식과 같이 얻어진다.

$$sy_{ij} = y_{ij} - (\bar{y}_i - \bar{y}..).$$

여기서  $\bar{y}_i$ 와  $\bar{y}..$ 는 각각  $i$ 번째 평가자 내의 선호도평균과 전체 평가자의 선호도평균이다. 수정된 선호도를 종속변수로 하는 다변량분산분석 모형은 다음 식과 같다.

$$\vec{sy} = B\vec{x} + \vec{e}.$$

여기서 독립변수는

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

이고, 종속변수는 조정된 선호도를 성분으로 갖는 벡터

$$\vec{sy} = (syDB, syB, syT, sySAD, syS, syA, syD, syC)^T$$

이다. 또한  $B$ 는 계수행렬이며 오차  $\vec{e}$ 는 정규성을 만족해야 한다.

7점 척도의 SD 척도법 (Osgood, 1968; Mendenhall 등, 1993)은 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 히스토그램으로 그림

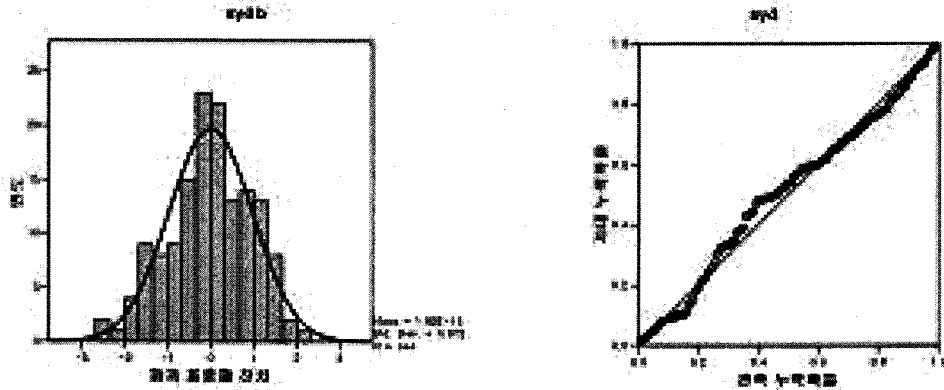


그림 4.1: 잔차 히스토그램과 표준화 잔차의 PP 도표의 예: 팝

4.1과 같이 그려보았는데, 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 4.1의 QQ-plot은 DB에 대한 것으로 잔차들의 정규성을 확인할 수 있으며, Shapiro의 정규성 검정에  $p$ -값은 0.395로 이 자료는 정규분포를 따른다. 같은 결과를 다른 음질특성에서도 얻을 수 있었다. 따라서 얻어진 자료가 정규분포의 가정을 만족시킨다고 보고 다변량 분산분석 (Johnson과 Wichern, 2002; Krzanowski, 2000)을 실시하여 팝과 클래식에 대하여 표 4.1과 표 4.2의 분산분석표를 얻었다.

표 4.1에서는 재생된 팝의 전체 음질 선호도에 영향을 미치는 음향요인을 살펴보기 위하여 다변량 통계량인 윌크스의 램다의  $p$ -값과 함께 개체 간 효과검정 결과를 나타내었다. 우선 윌크스람다의  $p$ -값을 살펴보면, 유의수준 0.05에서 음향특성 중 B와 T, SAD, S, T\*SAD가 전체 음질 선호도에 유의한 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 즉, 음향특성 B와 T, SAD, S의 값을 바꾸면, 평가자들이 재생된 음향의 음질이 유의하게 달라진다고 느낀다. 여기서 음향특성 DB가 전체 음질 선호도에 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났는데, 이것은 음향 특성들 중 DB가 재생된 음질의 전체 선호도에 가장 큰 영향을 미칠 것이라는 현장의 음향 엔지니어들의 짐작과 다소 차이가 있는 결과이다. 그러나 실험에 사용된 음원이 DB를 주요 음향특성으로 사용하는 음악이 아닌 일반 팝이었음을 고려하면 타당한 결과라 여겨진다.

표 4.1에서 다변량 검정에서 유의하다고 판단된 음향특성들의 개체 간 효과검정을 살펴보자. 우선, 음향특성 B가 T와 SAD의 음질 선호도에 특히 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 또한 음향특성 T는 S를 제외한 모든 음질 선호도에 유의한 영향을 미치고 있다. 즉 음

표 4.1: 팝의 음질에 영향을 미치는 요인을 찾기 위한 다변량 분산분석

음향특성	다변량	개체간 효과검정 (일변량)							
		syDB	syB	syT	sySAD	syS	syA	syD	syC
DB	.368	.926	.796	.184	.022**	.042**	.024**	.496	.177
B	<b>.005**</b>	.226	.344	<b>.000**</b>	<b>.093*</b>	.217	.255	.826	.246
T	<b>.003**</b>	<b>.033**</b>	<b>.005**</b>	<b>.001**</b>	<b>.002**</b>	.849	<b>.003**</b>	<b>.001**</b>	<b>.035**</b>
SAD	<b>.043**</b>	.114	<b>.033**</b>	<b>.043**</b>	<b>.004**</b>	<b>.005**</b>	.201	.163	<b>.021**</b>
S	<b>.012**</b>	.640	.344	.441	.645	<b>.000**</b>	<b>.066*</b>	.390	.561
A	.118	.226	.103	.528	.168	.126	.156	.299	.177
D	.827	.926	.931	.294	.878	.193	.887	.689	.439
C	.377	.513	.931	.441	.126	.316	.669	.264	.013**
DB*B	.506	.305	.931	.833	.357	.849	.319	.826	.246
T*SAD	<b>.048**</b>	<b>.004**</b>	<b>.002**</b>	<b>.060*</b>	.220	.625	.887	.826	.439

\*유의수준 0.1에서 유의함 \*\*유의수준 0.05에서 유의함

향특성 중 T를 조정하면, 재생된 음질에 대한 선호도가 전체적으로 바뀐다. 음향특성 SAD는 B, T, SAD, S, C의 음질 선호도에 영향을 미치고 있음을 알 수 있으며, 음향특성 S는 S와 A의 음질 선호도에 영향을 미친다고 볼 수 있다. 이외에도 음향특성 T와 SAD의 교호작용이 DB, B, T의 음질 선호도에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 여기서 음향특성 DB는 개체검정에서 SAD, S, A의 음질 선호도에 영향을 미치는 것처럼 보이지만, 이것이 전체 음질 선호도를 바꿀 만큼의 영향력을 갖지는 못하다. 즉, 음향특성 DB를 주요 음으로 사용하는 음악이 아닌 일반 팝에서는 평가자들은 음향특성 T를 조정하는 것에 따라 거의 대부분 영역에서 음질 선호도의 차이를 뚜렷하게 느낀다. 이것은 음향 엔지니어들이 기계적으로 음향을 설계할 때, 특히 음향특성 T에 세심한 주의를 기울일 필요가 있음을 의미한다.

표 4.2에서는 재생된 클래식 음질의 전체 음질 선호도에 영향을 미치는 음향특성을 살펴보기 위하여 다변량 통계량인 윌크스 람다의  $p$ -값과 함께 개체 간 효과검정 결과를 나타내었다. 우선 윌크스 람다의  $p$ -값을 살펴보면, 유의수준 0.05에서 음향특성 중 T와 D만이 전체 음질 선호도에 유의한 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 즉, 음향특성 중 T와 D만을 조절해도, 평가자들은 재생된 음향의 음질이 전체적으로 바뀐다고 느낀다. 이는 앞의 팝 경우와는 다른 결과로써, 평가자들이 평소 클래식보다는 팝에 더 익숙하였기 때문일 수 있으며, 또는 음악의 장르에 따라 재생되는 음향의 음질 선호도가 달라질 수 있는 것으로 추측된다. 따라서 향후에는 팝과 클래식에 익숙한 청취력이 좋은 평가자를 충분히 확보하는 것이 매우 중요하다.

표 4.2에서 다변량 분산분석에서 유의하다고 판단된 음향특성들의 개체 간 효과검정을 살펴보면, 음향특성 T가 T, S, A, D, C의 음질 선호도에 특히 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 또한 음향 특성 D는 DB와 B에 대한 음질 선호도에 유의한 영향을 미치고 있었다. 그러나 개체 간 효과검정에서 음향특성 B가 DB와 C의 음질 선호도에, 음향특성 SAD가 D와

표 4.2: 클래식 음질에 영향을 미치는 요인을 찾기 위한 다변량 분산분석

음향특성	다변량	개체간 효과검정 (일변량)							
		syDB	syB	syT	sySAD	syS	syA	syD	syC
DB	.467	.615	.672	.317	.649	.111	.863	.421	.921
B	.181	.100*	.672	.475	.745	.317	.731	.325	.014**
T	<b>.006**</b>	.173	.481	<b>.001**</b>	.136	<b>.029**</b>	<b>.040**</b>	<b>.006**</b>	.620
SAD	.518	.943	.324	.475	.218	.230	.170	.072*	.039**
S	.872	.615	.481	.668	.745	.548	.606	1.000	.372
A	.448	.282	.888	.567	.948	.423	.731	.742	.061*
D	<b>.076*</b>	<b>.002**</b>	<b>.018**</b>	.567	.218	.230	.123	.325	.276
C	.975	.351	.672	.886	.558	.689	1.000	.742	.921
DB*B	.715	.829	.672	.391	.558	.317	.491	.511	.921
T*SAD	.116	.019**	.036	.317	.270	.317	.229	.141	.001**

\*유의수준 0.1에서 유의함 \*\*유의수준 0.05에서 유의함

C의 음질 선호도에, 음향특성 A가 C의 음질 선호도에, 음향특성 T와 SAD의 교호작용이 DB와 C의 음질 선호도에 각각 영향을 미치는 것처럼 보이지만, 모두 전체 음질 선호도에 영향을 미칠 만큼 유의하지 못하다.

## 5. 결론

자동차 오디오에서 재생된 음향(sound)의 음질(quality)을 평가할 때에는 음향의 특성을 물리적 또는 기술적으로 측정하거나 음질에 대한 청취자의 주관적인 선호도를 설문 등을 이용하여 측정한다. 이때 다양한 음향특성들을 한꺼번에 고려하여 음원을 제작하는 것은 쉽지 않은데, 본 논문에서는 실험계획법의 직교배열법을 사용하여 균형 잡히고 객관화된 재생된 음원을 제작할 수 있었다. 또한 청취자의 감성적 판단에 근거하는 음질 선호도를 객관화시키기 위하여 재생된 음향의 음질에 대하여 평가자가 느끼는 선호도를 7점 척도의 설문을 통하여 측정하였다. 재생된 음향의 음질에 대한 여러 평가자들의 주관적 선호도를 다변량 분산분석법으로 분석하여, 일반적으로 전체 음질의 선호도를 결정짓는 음향특성을 찾아냈으며 각각의 음질 선호도에 유의한 영향을 미치는 개별 음향 특성을 찾아내었다.

우선 음향을 결정짓는 중요한 특성들로 Deep Bass(DB)와 Bass(B), Treble(T), Sum of Absolute Deviation(SAD), Dynamic(D), Stage(S), Ambience(A), Clarity(C)를 선택하였으며, 각각에 대한 2개의 수준을 사전실험과 전문가의 전문지식을 이용하여 결정하였다. 평가자의 청취력에 대한 신뢰도를 높이기 위하여, 평가자들이 어떤 음원을 평가할 때에는 기준음원을 0으로 두고 상대평가 하도록 하였다. 또한 음향에 대한 음질 평가를 일반화시키기 위하여 성별, 나이 대신 음악의 장르를 팝과 클래식으로 구분하여 음원을 제작하여, 다양한 환경에서 적용이 가능한 일반화된 선형모형을 찾아내려고 하였다.



다변량 분산분석 결과에 따르면, 재생된 팝의 음질에 대한 전체 선호도에 영향을 미치는 음향특성들은 유의수준 0.05에서 B와 T, SAD, S, T\*SAD이었다. 특히 음향특성 중 T가 바뀔 때 평가자들이 가장 예민하게 반응하였는데, T를 조정하면 재생된 음원의 모든 음질 영역에 대한 선호도가 유의하게 달라졌다. 팝에서와는 달리 클래식에서는 음질에 대한 전체 선호도가 유의수준 0.05에서 음향특성 중 T와 D에 의해서만 영향을 받고 있었다. 즉 음향특성 중 T와 D를 바꾸면 재생된 음향의 음질에 대한 전체적인 선호도가 바뀐다고 말할 수 있다. 여기서도 역시 음향특성 DB보다는 T가 더 중요하게 받아들여짐을 알 수 있다. 즉, 재생되는 음악이 DB를 주요한 음향특성으로 사용하지 않는 일반 팝이나 클래식에서는 보통의 청취자들이 음향특성 T의 변화에 가장 예민하여, T의 변화가 재생된 음향의 음질 선호도에 가장 중요한 영향을 미침을 알 수 있다. 이것은 음향 특성들 중 DB가 재생된 음질의 선호도에 가장 큰 영향을 미칠 것이라는 현장의 음향 전공 엔지니어들의 짐작과 다소 차이가 있는 결과여서 이후 많은 논의가 필요한 부분이다.

자동차 오디오를 비롯한 오디오의 제작하는 현장에서는 소수의 음향 엔지니어가 음향을 물리적 또는 기계적으로 조작하여 제작자의 선호도에 맞는 음향을 결정하였는데, 본 연구에서 오디오를 사용할 소비자로 하여금 재생된 음질에 영향을 미치는 음향을 결정하도록 하였다는데 큰 의의가 있다. 또한 실험계획법의 직교배열법을 이용함으로써 기존의 연구들이 서너 개 이상의 음향변수를 실험에 포함시키지 못한 한계를 극복하였으며, 단순한 선호도 평균 이상의 다변량 통계량을 적용하여 재생된 음향의 음질 선호도에 전체적으로 영향을 미치는 음향특성을 찾아내었다. 이는 이후의 오디오 제작현장에서 어떤 음향특성에 특히 기술개발을 집중하여야 할 것인지 방향을 제시하였음을 의미한다. 하지만 아직 음질의 선호도에 영향을 미치는 음향특성을 찾아내는 문제가 완전히 해결된 것은 아니다.

본 논문에서는 잡음과 음의 왜곡을 실험설계단계에서 제외하였는데, 이후의 연구에서는 이들을 포함하는 실험설계를 하여야 할 것이다. 또한 팝뿐만 아니라 클래식에 대하여도 청취력이 뛰어난 평가자를 확보해야 하는데, 이는 평가자에 대한 실험 전 청취교육으로 극복될 수도 있다. 나아가 음질 선호도에 비선형적인 영향을 미칠 것으로 판단되는 일부 음향특성들을 구체적으로 살펴보기 위해서는 3수준 실험이 필요하다. 그러나 이것은 실험회수의 증가를 불러와서 평가자의 피로도를 크게 높게 되므로 단순한 직교배열법 식의 실험계획이 다른 종류의 실험계획법 개발이 필요할 수도 있음을 시사한다.

## 참고문헌

- 박석태 (1995). 자동차 오디오 시스템의 음질개선 연구, <한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집>, 123-129.
- 박석태, 김경환, 이종규 (1999). 차량주행소음을 고려한 자동차 오디오 음질 개선법 연구, 한국음향학회, <학술발표대회논문집>, 18, 274-277.
- 박성현 (2003). <실험계획법>, 대영사, 서울.
- 임도형 (1999). 제품의 음질특성에 관한 연구: 진공청소기에의 응용, 한국과학기술원, 기계공학과 석사학위 논문, 대전.

- Azzali, A., Bilzi, P., Carpanoni, E. and Farina, A. (2005). Comparison of different listening systems for speech intelligibility tests, *Audio Engineering Society Convention*, **118**, Barcelona, Spain.
- Farina, A. and Ugolotti, E. (1997a). Subjective comparison of different car audio systems by the auralization technique, *Audio Engineering Society Convention*, **103**, New York, aurora-plugins.com.
- Farina, A. and Ugolotti, E. (1997b). Subjective evaluation of the sound quality in cars by the auralisation technique, *Proceedings of 4th International Conference and Exhibition Comfort in the Automotive industry-Bologna*, **4**, Italy.
- Ford, N., Rumsey, F. and Nind, T. (2002). Subjective evaluation of perceived spatial differences in car audio systems using a graphical assessment language, *Audio Engineering Society Convention*, **112**, Munich, Germany.
- Freeman, J. and Lessiter, J. (2001). Here, there, and everywhere: the effects of multichannel audio on presence, *Proceedings of 2001 International Conference on Audio Display*, Espoo, Finland.
- Gabrielsson, A. and Sjogren, H. (1979). Perceived sound quality of hearing aids, *Scandinavian Audiology*, **8**, 159-169.
- Gabrielsson, A. and Hagerman, B. (1990). Perceived sound quality of reproductions with different frequency responses and sound levels, *Journal of the Acoustical Society of America*, **88**, 1359-1366.
- Johnson, R. and Wichern, D. (2002). *Applied Multivariate Statistical Analysis*, 5th ed., Pearson.
- Krzanowski, W. (2000). *Principles of Multivariate Analysis: A User's Perspective*, Oxford, UK.
- Letowski, T. (1989). Sound quality assessment: cardinal concepts, *Journal of Audio Engineering Society*, **37**, 1062.
- Mendenhall, W., Reimuth, J. and Robert, J. (1993). *Statistics for Management and Economics*, Beaver Publisher.
- Montgomery, D. (2004). *Design and Analysis of Experiments*, John Wiley & Sons, Inc.
- Osgood, L. (1968). *Method and Theory in Experimental Psychology*, Oxford University Press, New York.
- Rumsey, F. (2002). Spatial quality evaluation for reproduced sound: terminology, meaning, and a scene-based paradigm, *Journal of Audio Engineering Society*, **50**, 651-667.

[ 2007년 4월 접수, 2007년 6월 채택 ]

# A Multivariate Analysis of Variance Applied to the Subjective Test of the Sound Quality of the Car Audio System\*

Kyungmee Choi<sup>1)</sup> Sejin Doo<sup>2)</sup>

## ABSTRACT

In this work we measured and analyzed the subjective opinions of consumers towards the sound quality of car audios through a questionnaire. First of all, we chose eight controllable factors which had been known to affect the quality of reproduced sound. An orthogonal design of experiments was used to imitate the objective sound environments by reproducing the combinations of 8 sound characteristics, each with two levels. Then we defined 8 corresponding response variables to measure the subjective opinions towards the quality of reproduced sound. Finally, we applied the Multivariate Analysis of Variance to explore the significant sound characteristics which affected the subjective opinions towards the quality of reproduced sound.

*Keywords:* Multivariate analysis of variance, characteristics of sound, subjective test of sound quality, orthogonal designs.

---

\* This work was supported by 2006 Hongik University Research Fund.

1) Associate Professor, College of Science and Technology, Hongik University, Jochiwon, Yungi, Chungnam 339-701, Korea

E-mail: kmchoi@hongik.ac.kr

2) Associate Professor, Division of Broadcasting Engineering, Donga Institute of Media and Arts, Jinchon 632-18, Samjuk, Ansan, Gyeong-gi 456-717, Korea

E-mail: akustica@dima.ac.kr