한국소음진동공학회지 제 10 권 제 2 호, pp. 254~260, 2000.

〈논 문〉

차량 실내 소음의 음질 분석 및 모델화

Model Development and Analysis of the Car Interior Sound Quality

허 덕 재*· 조 연**·김 희 석**·이 근 수**·박 태 원***

Deog Jae Hur, Yeon Cho, Hee Seok Kim, Keun Soo Lee and Tae Won Park

(1999년 9월 29일 접수 : 2000년 3월 20일 심사완료)

Key Words : Sound Quality(음질), Psychoacoustics(심리음향), NVH(진동소음), Semantic Differential Scaling(의미분별척도법), Paired Comparisons(쌍대비교), Linear Regression(선형회귀), Factor(요인)

ABSTRACT

The reduction of the interior noise level has been the main interest of NVH engineers in the development of vehicles. However, the consumer's perception on the car noise is affected largely by the psychoacoustic characteristics of the noise, as well as the sound pressure level. In this study, the quality of the vehicle interior noise is analyzed by employing the subjective evaluations and by representing them in terms of the objective quantities. The subjective evaluations were performed for the seven vehicles in the range of subcompact to luxury cars. The methods of paired comparisons and semantic differential were used to study the preference, the quality of interior noise and their correlation. The linear regression models were obtained for the subjective evaluation and the sound quality metrics.

1. 서 론

최근까지 차량의 진동 소음 개발업무는 주로 차량의 실내외 소음의 저감위주로 진행되어 왔으며 이에 따라 차량의 소음도 지속적으로 저감되었다. 그러나 이같이 차량소음의 음압을 저감하는 방법은 다음과 같은 문제점을 갖고 있다. 첫째, 사람의 청각기능은 매우 정교하고 복잡하여 소음의 음압을 저감하여도 차량소음에 대한 승객의 인지도가 반드시 개선되는 것이 아니며 둘째, 차량 소음이 저감됨에 따라 묻혀있던 다른 소음이 또 다시 문제가 되는 경우가 많고 셋째, 차량의 특정한 소음은 소비자에게 차량의 상태를 알려주기 때문에 저감되기보다는 듣기 좋게 만드는 것이 차량에 대한 소비자의 호감도를 높이는 효과적인 방법이다.[1]

차량 소음의 평가 방법은 주관적 평가와 객관적 평가로 나눌 수 있는데, 객관적 평가는 차실 소음을 dB(A) 척도에 의하여 평가하고 주관적 평가는 실차 시승에 의한 차량 평가 방법을 사용하고 있다. 그러나 시승 평가시 평가 기준이 모호하고 평가자의 자질과 상태에 따라서 평가가 달라질 수 있으며 또한 객관적 측정결과 (objective data)와 주관적인 평가(subjective rating)와의 일관성이 없는 경우가 종종 발생한다. 따라서 객관적 측정결과에 바탕을 둔 차량 개발로서는 주관 평가의 목표치(subjective target)를 만족시키기 어렵기 때문에 상호간의 관계규명이 요구되어 왔다.[2]

본 연구에서는 차량 실내 소음에 대한 주관 평가로 선호도를 파악하고 음질의 특성을 분석한 후, 선호도와 음질인자와의 상관 관계를 도출하였다. 또 차량의 실내 소음의 음질 선호도와 음질인자를 소음의 특성을 나타내는 물리량인 음질 메트릭스(sound quality metrics)로 표현하는 선형 모

* 정회원, 고등기술연구원, 아주대학교 대학원

** 정회원, 고등기술연구원

*** 아주대학교 공과대학 생산공학과

델을 구축하였다. 이 모델을 사용하면 음질의 선호도와 음질인자를 추정할 수 있으며, 인자공간상에 음질 위치화가 가능하다.

2. 음질 분석의 개념 및 방법

2.1 음질 분석의 개념

Fig. 1은 본 연구에 적용된 음질 분석의 개념도이다. 음원에서 발생한 소음이 전달되면 청취자는 소음의 특성을 감지하게 되고, 그 소음의 특성은 청취자의 소음에 대한 선호도에 영향을 미치게 된다. 따라서 음질의 주관 평가시 소음에 대한 선호도와 음질 특성 및 이들 사이의 상관 관계가 분석되어야 한다. 주관평가의 결과와 추정이 가능한 물리량과의 관계가 규명될 때 실내소음의 음질개선 및 타 차종과의 비교가 소음에 대한 물리적인 량에 근거하여 이루어 질 수 있다.

본 연구에서는 쌍대비교법(the method of paired comparisons)을 사용하여 선호도를 분석하였고 음질 특성을 파악하기 위하여 의미분별척도법(semantic differential scaling method)을 사용하였다. 아울러 선호도와 음질인자의 상관 관계 규명 및 이들과 음질 메트릭스(sound quality metrics) 간의 선형 모델 구축은 선형 중회귀 분석을 이용하였다.

2.2 쌍대비교법

이 방법은 평가대상인 소음을 두 가지씩 한 쌍으로 조합을 만들어 평가음의 모든 조합에 대하여 평가함으로써 각 소음의 상대적인 특성의 정도를 추정하는 방법이다. 쌍대비교법은 두 가지의 평가음에 대한 상대적인 비교 판단을 하게되므로 평가가 쉬우며 평가자들의 판단에 대한 차이도 적은 것이 특징이다. 평가의 신뢰도를 높이기 위하여 실내소음의 평가 순서를 무순서화 하였다.

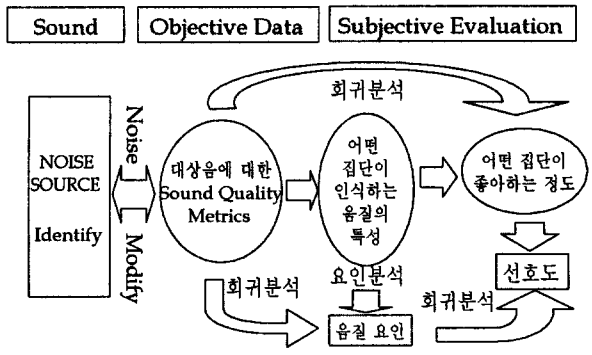

Fig. 1 The concept of sound quality analysis

쌍대비교법에서 여러 조합을 평가하면 모든 조합에 대해서 일관된 기준으로 평가하지 못하는 경우가 발생하는데, 이것은 일순삼각형 (circular triad)의 수로 나타난다. 일순삼각형의 수 d는 다음 식으로 얻을 수 있다.[3]

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

여기서 k는 평가 대상 소음의 수, a_i는 두 소음을 비교평가하여 열등하다고 판정한 수를 나타낸다. 각 평가자의 평가능력을 나타내는 일의성 계수(coefficient of consistency) ζ는 다음과 같다.

k가 짝수이면 $\zeta=1-\frac{24d}{k^3-4k}$ (2)

k가 홀수이면 $\zeta=1-\frac{24d}{k^3-k}$ (3)

또한 각 평가자의 평가 능력은 χ^2분포를 이용하여 검정이 가능하다. $k\leq 7$인 경우 각 유의 수준에 해당하는 일순삼각형의 임계치를 기준으로 하고 $k>7$이면 식 (5)을 사용하여 검정통계량을 구한다.

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

여기서 자유도 f는 $\frac{k(k-1)(k-2)}{(k-4)^2}$ 이다.

한편 평가자 상호간의 판정의 일치성의 검정 또한 χ^2분포를 사용하여 판별할 수 있으며 식 (6)을 사용한다.

$$\chi_0^2=\frac{4}{n-2}\left[\Omega-\frac{1}{2}\binom{n}{2}\binom{k}{2}\frac{n-3}{n-2}\right] \qquad (5)$$

여기서 $\Omega=\binom{n}{2}\binom{k}{2}+\sum_{j>i}x_{ij}(n-x_{ij})$ 이며 자유도 f는 $\binom{k}{2}\frac{n(n-1)}{(n-2)^2}$ 이며, n은 평가자의 수이고 x_{ij}는 선호행렬의 대각행렬의 위 삼각요소를 나타낸다. 또한 $\binom{\cdot}{\cdot}$은 조합(combination)을 나타낸다.

2.3 의미분별척도법(Semantic Differential Scaling Method)[4]

어떠한 소음에 대한 주관적인 느낌을 여러 가지 표현어휘에 의해 평가하는 방법으로, 한가지 소음을 들려주고 대치되는 의미의 어휘로서 5단계 혹은 7단계로 평가한다. 평가에 사용된 어휘들 사이에 공통적으로 존재하는 인자를

찾기 위하여 통계적 방법인 인자분석법을 이용하여 음질의 특성을 나타내는 음질인자를 결정하게 된다.

인자분석법은 측정된 어휘들간의 상관이 있는 변량(특성치)이 가지고 있는 정보를 소수개의 잠재적인 "인자"로 압축하는 하나의 통계적인 방법이다. p개의 변량 Z_i간의 상관이 m개의 인자 f_i에 의하여 모형화가 된다고 가정하면 아래의 행렬식으로 표현된다.

$$\underset{p\times 1}{Z_i} = \underset{p\times m}{A}\ \underset{m\times 1}{f_i} + \underset{p\times 1}{e_i}, \quad i = 1,2,\cdots,n \tag{6}$$

여기서, A는 인자부하량 이고, e_i는 유일 인자의 득점이다. 인자부하량과 유일인자의 분산은 변량벡타의 공분산 또는 상관행렬의 특이 분석에 의하여 이루어진다.

식 (6)으로 나타난 모형으로부터 구한 인자를 독립된 축으로 하는 공간을 구성하고, 각각의 소음에 대한 인자득점을 이공간 상에 위치시킴으로써 평가소음에 대한 음질특성을 나타내게 된다.

3. 실험 및 결과분석

3.1 실험 및 평가

실내 소음의 평가 대상 차량으로서 Table 1과 같이 소형에서 대형까지의 일곱 가지의 차종을 선정하였다. 이 차량을 시험 전용도로에서 주행하면서 Head Acoustic System Bas 4.3을 사용하여 운전자 귀 위치에서 실내 소음을 녹음하였다.

2000 rpm~3500 rpm이 차량 주행시 상용 rpm이나 엔진 투과 소음이 크고, 주행 소음 평가에서 가장 가혹한 조건으로 5000 rpm 정속에서 녹음된 실내소음을 해드폰으로 청취하면서 평가하였다. 주관 평가는 20~40대의 차량 NVH 엔지니어 30명을 대상으로 평가하였다.

3.2 쌍대비교법에 의한 선호도 평가 결과[5,6]

(1) 평가자 개인의 결과

2단 5000 rpm 주행시 차량 실내소음에 대한 평가자 개인의 평가 결과를 행렬방식으로 Table 2와 같이 나타낼 수 있다.

Table 2의 한 요소를 x_{ij}로 나타내면 이 값은 i번 행의 차량과 j번 열의 차량 소음의 조합에 대한 비교평가 결과를 나타내며 x_{ji} 또한 같은 조합의 평가 결과를 나타내게 된다. 이때 선호한 차량의 소음을 x_{ij}에, 비 선호차량의 소음을 x_{ji}에 각각 1과 0을 대입하여 표시한다. 이 경우 평가음 조합의 수는 행렬의 대각선 요소를 제외한 대각행렬 위

Table 1 Test cars used for the subjective and the opbjective evaluations

차량	ENGINE	T/M
A	1.5 DOHC	A/T
B	1.6 DOHC	M/T
C	1.5 DOHC	A/T
D	2.0 DOHC	A/T
E	2.0 DOHC	A/T
F	2.2 DOHC	A/T
G	2.5 V6	A/T

Table 2 A preference matrix of a jury

	A	B	C	D	E	F	G	Total
A		0	1	0	0	1	0	2
B	1		0	0	0	0	0	1
C	0	1		0	0	0	0	1
D	1	1	1		1	1	0	5
E	1	1	1	0		1	0	4
F	0	1	1	0	0		0	2
G	1	1	1	1	1	1		6

Table 3 The circular triad and the coefficients of consistency distribution for the juries

d	0	1	2	3	4	5	6	7
ζ	1	0.93	0.86	0.79	0.71	0.64	0.57	0.5
평가자수	10	5	4	1	4	2	2	2

또는 아래의 삼각 요소의 수와 같아서 본 연구의 경우 7종의 평가음으로 구성된 21개의 조합의 소음을 평가하였다. 또한 각 행의 합은 해당 행의 차량소음의 타 차량소음에 대한 선호 횟수를 나타낸다.

평가인 30명의 판정능력을 나타내는 순환삼각형의 수와 일의성계수를 각각 식 (1)과 (2)로부터 구하여 Table 3에 표시하였다. χ^2검정으로 각 평가자의 능력을 판정하면 유의 수준 5%에서의 순환삼각형의 임계치 $d_{0.05}$는 3개 이므로 $d\leq 3$이면 판단 능력이 있다고 생각한다. 즉 주관 평가에 참여한 평가원 30명 가운데 20명이 95%이상의 신뢰도로 판정을 내렸다고 생각할 수 있다.

(2) 평가자 전체의 결과

각 평가자의 평가 행렬을 모두 합하면 그룹 선호 행렬(group preference matrix)로 나타낼 수 있다. 30명의 판정 결과는 Table 4와 같다. 여기서 각 행의 선호횟수를 더하면 각 차량 당 다른 차량에 대한 총 선호 횟수가 된다.

상기 평가 결과에서 각 차량 당 총 선호 횟수를한 차량

당 최대 선택할 수 있는 180으로 나누고 100을 곱하면 그 차량의 선호도 백분률이 된다.

또한 평가자 30 명과 판정 능력을 검정한 20명의 두 집단의 일치성에 대한 검정은 식 (5)로부터 구하면 χ_0^2값은 315.09이고, 유의수준 5%와 자유도 24의 $\chi^2(24,0.5)=36.415$가 된다. 따라서 $\chi_0^2 > \chi^2$되어 두 집단의 일치성이 인정되었다.

평가자 30명과 판정 능력을 검정한 19명의 선호도를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2는 차량 소음에 대한 선호 경향이 95% 판정 능력의 기준과 관계없이 잘 일치하고 있는 것을 보여준다.

Table 4 Total preference matrix

	A	B	C	D	E	F	G	Total
A		2	10	2	2	7	2	25
B	28		12	3	4	10	2	59
C	20	18		4	7	12	3	64
D	28	27	26		22	27	3	133
E	28	26	23	8		17	3	105
F	23	20	18	3	13		3	80
G	28	28	27	27	27	27		164

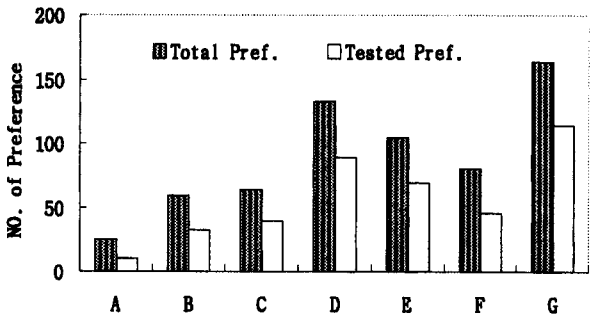

Fig. 2 Total and hypothesis teasted preferences

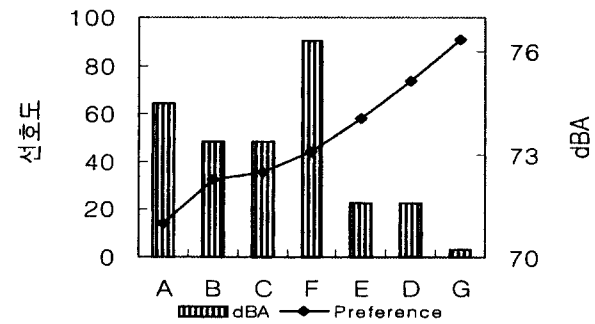

Fig. 3 The comparison of the preference and the sound pressure level

(3) 음압 수준 (dBA) 과 선호도의 비교

차량실내소음의 Overall 음압 수준과 전체 평가자 30명의 선호도 백분율을 차량별로 비교하면 Fig. 3과 같다. Fig. 3에서와 같이 음압 수준의 차이가 극히 미미하거나 동등하여도 평가자들은 그 소음의 차이를 확실히 느끼고 있음을 알 수 있다. 예를 들어 수입중형차의 하나인 F차량의 경우 평가차량 중에서 음압 수준은 가장 높으나 선호도는 중간 정도의 수준으로 나타나 음압 수준에 의한 평가로는 차량 소음을 대표할 수만은 없다는 것을 알 수 있다.

3.3 의미 분별 척도법에 의한 평가[7,8]

(1) 평가어휘의 선정

의미분별척도법의 경우 평가에 사용되는 어휘는 발생 소음에 대한 청취자의 감성을 적절히 표현할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 Table 5에 나타난 14쌍의 어휘를 사용하여 7단계로 차량소음을 평가하였다. 적절한 어휘를 선정하기 위하여 우선 소음에 관련된 80개의 어휘를 다른 연구자료를 통하여 얻고, 이들로부터 10여명에게 차량의 소음을들려주면서 연상되는 어휘를 선택하도록 하는 음원기술선택법[9]으로 자동차 소음에 어울리는 어휘 50개를 추출하였다. 또 이 50개 어휘를 대상으로 차량 NVH를 담당하는 엔지니어들의 협의를 거쳐 최종적으로 14쌍의 어휘를 확정하였다.

음질평가를 위하여 선정된 표현어휘의 신뢰성을 측정 항목의 수와 분산의 관계에 의한 내적 일관성 신뢰도인 식 (7)의 Cronbach α 계수를 사용하여 검증하였다. Table 5에 나타난 바와 같이 각 어휘들에 대한 Cronbach α값은 0.7 이상의 높은 값을 보이고 있으므로 인자분석에 선택된 어휘들이 신뢰성 있게 선택되어 있음을 알 수 있다.

$$\alpha = \frac{k}{k-1}\left(1-\frac{\sum\sigma_i^2}{\sigma_y^2}\right) \tag{7}$$

여기서 k : 측정항목 수

σ_i^2 : 측정항목들의 총분산

σ_y^2 : 측정항목의 분산

Table 5 Crombach α of the vocabularies

어 휘	Crombach α	어 휘	Crombach α
무거운: 가벼운	0.8034	시끄러운: 조용한	0.7364
박력있는: 박력없는	0.8099	값싼:고급의	0.7322
거친:매끄러운	0.7342	경쾌한: 중후한	0.7673
날카로운: 부드러운	0.7415	산만한: 정연한	0.7315
탁한:밝은	0.7482	어두운:밝은	0.7594
답답한: 시원시원한	0.7590	Booming감 있는:없는	0.7478
약한:힘있는	0.8033	불쾌한: 유쾌한	0.7316

(2) 차량소음의 인자분석

전 절에서 설명한 어휘로서 얻은 주관평가 자료를 통계분석 전용 소프트웨어인 SAS를 사용하여 인자분석을 수행하였다.

7개의 차량실내소음의 주관평가 데이터에 대한 상관 관계를 분석한 결과 세 개의 인자에 의하여 전체의 상관성 특성을 나타낼 수 있었다. 인자 선택은 일반적으로 어휘간 상관 행렬의 특성치가 1보다 큰 인자의 갯수를 선택하거나, 크기가 급격하게 감소하는 특성치의 전후에서 결정한다. 여기서는 이 두가지 조건을 만족하는 것이 Fig. 4와 같이 3번째 인자로 나타나 인자를 세 개로 선택하였다.

주인자분석법으로 인자부하량(factor loading)을 얻은 후 분석을 용이하게 하기 위하여 베리맥스(Varimax)법[7]으로 인자축을 회전한 결과는 Table 6과 같다. 또한 각 인자 별로 인자 부하량이 큰 어휘를 묶고 각 인자 축을 명명하면 Table 7과 같이 쾌적감, 밝은감, 박력감으로 표현할 수 있었다.

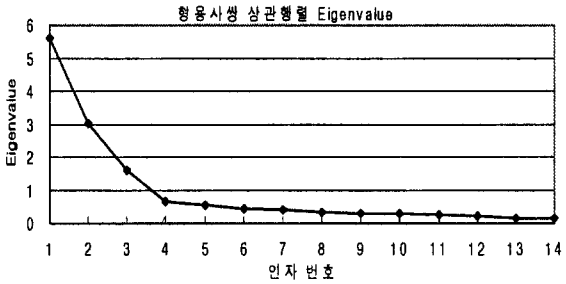

Fig. 4 The eigenvalues of correlation matrix of pairs of adjective

Table 6 The values of factor loading

어 휘	제 1인자	제 2인자	제 3인자
무거운-가벼운	-0.265	0.720	-0.124
박력있는-박력없는	-0.206	0.131	0.861
거친-매끄러운	0.831	0.141	-0.150
날카로운-부드러운	0.869	-0.043	-0.129
탁한-맑은	0.329	0.763	0.073
답답한-시원시원한	0.153	0.709	0.446
약한-힘있는	-0.108	0.043	0.913
시끄러운-조용한	0.880	0.060	-0.209
값싼-고급의	0.912	0.005	-0.019
경쾌한-중후한	0.677	-0.453	-0.018
산만한-정연한	0.845	0.110	-0.020
어두운-밝은	0.125	0.870	0.120
Boomin있는-없는	0.533	0.401	-0.299
불쾌한-유쾌한	0.746	0.372	0.026

(3) 인자득점(factor score)

각 인자공간에 차량의 위치를 표시하기 위하여 각 차량의 인자득점을 구해야 한다. 이를 위하여 주관 평가에 의하여 얻은 전체의 데이터로부터 각각의 평가자에 대한 인자(factor)의 득점을 구하고 차량별로 분류하여 그 인자 득점의 평균값을 차량의 인자득점으로 하였다. 인자득점의 추정방식의 하나인 회귀추정법으로 얻은 결과는 Table 8과 같다.

인자공간상에 차량별 인자득점과 평균의 95% 신뢰구간을 표시하여 Fig. 5, 6을 얻었으며 이 그림으로부터 인자공간상에서 차량음질 인자의 특성을 분석할 수 있다.

Table 7 The sound quality factors and related vocabularies

인자	관련 어휘	인자명
제 1 인자	거친-매끄러운, 날카로운-부드러운, 시끄러운-조용한, 값싼-고급의, 산만한-정연한, 불쾌한-유쾌한	쾌적감 Pleasantness
제 2 인자	탁한-맑은, 어두운-밝은	밝은감 Brightness
재 3 인자	박력없는-박력있는, 약한-힘있는	박력감 Powerfulness

Table 8 The factor scores of the interior noise of seven vehicles

차 량	쾌적감	밝은감	박력감
A	-0.95	0.12	0.25
B	-0.56	-0.26	0.42
C	-0.89	0.23	0.21
D	0.77	-0.12	-0.60
E	0.07	0.007	-0.18
F	0.40	-0.46	-0.00
G	0.73	0.19	-0.65

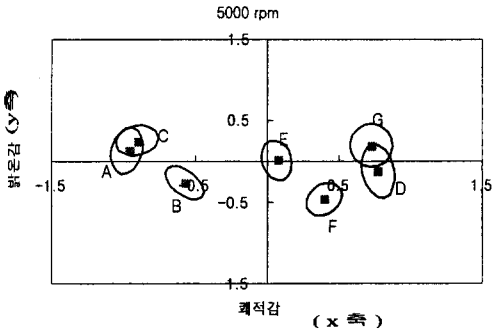

Fig. 5 The position of vehicle interior noise in the 1st-2nd factor space

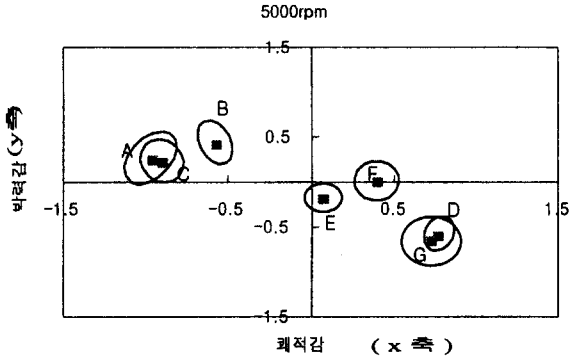

Fig. 6 The position of vehicle interior noise in the 1st-3rd factor space

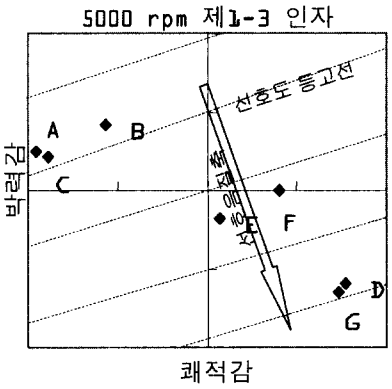

Fig. 7 The preference axis in the factor space

Fig. 5, 6에서 보면 통상 고급차로 알고 있는 차량은 쾌적감이 높은 것으로 나타났다. 또한 박력감의 경우 차 실내 소음 수준이 높은 차가 박력감이 있는 것으로 나타났으나, 밝은감의 경우는 겉보기에 큰 차이점을 쉽게 찾을 수가 없다.

3.4 선호도 및 음질 특성의 관계 분석 및 모델링

전 절에서 일대 비교법에 의한 선호도 와 의미 분별 척도법에 의한 차량 음질인자를 각각의 독립적인 분석에 의하여 그 특성을 고찰하였다. 여기서는 이들의 상호 관계성을 바탕으로 Fig. 1에 나타난 바와 같이 회귀분석을 통하여 모델을 구성하고 이들에 대한 분석을 수행하였다. 또한 선호도 및 음질인자가 어느 음질 메트릭스에 의하여 잘 표현될 수 있는가를 분석하기 위하여 음질 메트릭스 사이의상관성을 바탕으로 군집 분석을 먼저 실행하고 대표적인 인자들에 대하여 회귀 분석을 수행하였다.

(1) 선호도와 음질인자와 관계

음질인자 평면에서 차량의 위치화는 인자의 득점에 의하여 표현 될 수있다. 그러나 이들에 대한 개선방향의 목표를 설정하기 위해서는 선호도가 상대적 기준이 되어야한다. 따라서 음질인자 평면에 선호 음질축을 반영함으로 개선 및 개발 차량의 목표 위치화가 가능하다. 이를 위하여 음질축과 선호도와의 관계를 중회귀 분석을 통하여 모델을 구성하고 선호도 등고선을 형성하여 이에 대한 가장 최적의 선호 음질축을 구성하였다. 선호도와 음질의 관계를 분석한 결과 밝은감과는 상관성이 매우 작게 나타나 쾌적감과 박력감 인자에 대하여 모델을 구성하였으며, 그결과 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있었다.

$$\text{선호도} = 0.1 \times \text{쾌적감} - 0.4 \times \text{박력감} + \alpha \qquad (8)$$

식 (8)로부터 선호도는 쾌적감에 양의 관계를 박력감은 음의 관계를 나타내고 있고, 그 정도는 약 1 : 4인 것을 알 수 있다. 또한 식 (8)을 음질인자 공간에 나타내면 Fig. 7과 같이 나타난다.

(2) 음질 메트릭스에 의한 모델링

차량 소음의 주파수 특성은 구조 기인 소음이 주를 이루는 엔진 회전의 2차 성분의 저-중주파수대역 과 공기 기인 소음의 고주파대역으로 분류할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 평가 신호 분석을 기본 데이터뿐만 아니라 200 Hz이하, 200 ~ 500 Hz, 500 Hz 이상의 3단계로 가중치를 적용하여 SDRC Sound Quality 상용 소프트웨어[10]를 사용하여 음질 메트릭스를 분석하였다. 각 주파수 영역별 음질 메트릭스의 표기는 메트릭스 기호 뒤에 2, 25, 혹은 5를 덧붙여 구별하였다.

음질 메트릭스는 dBA이외에 음의 크기(Loudness), 샤프니스(Sharpness), 음의 거칠기(Roughness) 등 기본 20가지 외에 메트릭스(Metrics)와 함께 주파수별 가중치를 적용한 요소를 포함하여 모두 80가지의 음질 메트릭스를 사용하였다(Table 10).

또한 이들 요소들과 음질인자 그리고 선호도간의 중회귀분석은 독립변수간의 공선성을 피하기 위하여 변수간 상관성이 낮은 독립변수를 선택하는 방법으로 군집분석(Clustering)을 먼저 실시하였다. 실시결과 5000 rpm 주행의 경우 10개의 군집으로 분류되었으며 각 그룹별로 종속변수(선호도, 음질)와 결정 계수가 높은 독립변수를 선택하여 중회귀 분석을 실시하였다. 그 결과 Table 9와 같이 평가 모델식이 유도된다. 또한 전체의 변동 가운데, 회귀에 의하여 설명되는 부분의 크기의 비율을 나타내는 각각의 결정계수는 약 0.95 이상으로 나타나고 있다.

Table 9 The regression model of the preference and the sound quality factors

5000	Modeling	결정계수
선호도	(2622 - 44.16 CRP25)/180	0.97
쾌적감	17.03 - 0.28 SB25 - 0.52 Louds5	0.98
밝은감	-6.54 + 1.14 Kurt2 + 1.16 Sharp5 + 31.48 Fstren5	0.98
박력감	-13.3+0.1dBA25+0.2Louds5	0.94

Table 11 The sound quality metrics used in the regression model

약어	Metrics	의미
Tlouds	Time varying loudness	ISO 532B에 정의된 Loudness의 sone 단위 값
Kurt	Kurtosis	尖度
Sharp	Sharpness	$0.11\frac{\int_0^{24Bark} N'g(z)zdz}{\int_0^{24Bark} N'dz}$
CRP	Composite rating preference	$\sqrt{dBA^2-1.5HF^2+0.5SB^2}$ HF = dBA - SIL SB = LF - SIL SIL = $(SPL_{1k}+SPL_{2k}+SPL_{4k})/3$
Fstren	Fluctuation strength	$\frac{0.032\int_0^{24}\log(\frac{N'_{max}}{N'_{min}})dz}{(\frac{T}{0.25s})+(\frac{0.25s}{T})}$

$g(z)$ = A weight function which weight higher frequencies more, 1 for critical band rate values below 16 Bark and increased exponentially beyond this point to a value of 4 at 24 Barks.

$N'(z)$ = Specific loundness at the z^{th} Bark.

SB = Spectrum balance.

SPL_{ik} = Sound pressure level at ikHz

LF = Arithmetic mean of all unweighted octave bands blow the firing frequency.

4. 결 론

차량의 음질 평가 시스템 개발을 위하여 주관평가 방법과 인자분석 등의 통계적 방법을 통하여 평가 모델의 모델링 과정을 정립하고 모델을 구축하였다. 즉, 차량의 음질 특성은 3개의 주요 인자인 쾌적감, 밝은감, 박력감으로 나타났으며, 쾌적감, 박력감은 선호도와 강한 상관을 보이고 있으나 밝은감은 상관성이 매우 작은 것으로 나타났다. 또한 선호도와 음질인자와의 관계에서 차량의 음질 특성을 한 공간상에 위치할 수 있는 방법을 보였으며, 이는 개발 및 개선 차량의 음질 특색화를 위한 목표 설정이 가능하고 또 선호도와의 관계에 의하여 음질 위치화가 가능한 방법으로 제시하였다.

선호도 및 음질인자와 음질 메트릭스와의 관계에서 선호도는 CRP와 주 상관을 보이고 있으며, 결정계수의 값은 0.95보다 큰 값을 보이고 있다. 또한 주파수 대역별 가중치 분석의 결과 200~500 Hz의 가중치 함수에 의하여 수정된 CRP의 결정 계수는 0.97로 매우 높은 상관성을 보이고 있다. 따라서 차량소음의 200 Hz~500 Hz의 주파수 영역의 소음이 차량소음 음질에 크게 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 또한 음질인자는 각각의 객관적 데이터인 음질 메트릭스로 선형 모델을 형성하여 음질인자의 결정에 필요한 객관화된 데이터의 근간을 만들 수 있었다.

참 고 문 헌

(1)田中, 1995, "機械音の音色改善設計" 日本機械學會誌 98-917 pp.55~59.

(2) 今井, 1989, "自動車騷音・音質評價技術の最近の動向",自動車技術 43-12 pp. 59~65.

(3) 三浦 외, 1995, "新版 官能檢査ハンドブック" 日科技連 官能檢査委員會.

(4) 김선우 외 3명, 1993, "음향심리실험에 의한 음의 유형화에 관한 연구" 한국음향학회지 12-6.

(5) Schiffbanker, H. 외, 1991, "Development and Application of an Evaluation Technique to Assess the Subjective Character of Engine Noise" SAE 911081.

(6) Mushtaq 외, 1991, "Statistical Evaluation of an Annoyance Index for Engine Noise Recordings" SAE 911080.

(7) 김관영 외 "다변량통계해석법" 자유아카데미.

(8) 김충련 "SAS라는 통계 상자" 데이터리서치.

(9) 정광용 외2명, 1999, "공동주택 설비소음의 심리평가를 위한 한국어 어휘에 관한 연구", 한국소음진동공학회지, 제9권, 제1호, pp. 77~84.

(10) "IDEAS Sound Quality 3.0 User's Guide".