

## 승용차소음의 주관적 음질평가 실험연구

### Experimental Study on Subjective Sound Quality Evaluation of Vehicle Noises

최 병 호†

Byongho Choe

(2003년 11월 20일 접수 : 2004년 11월 22일 심사완료)

**Key Words** : Psychoacoustics(심리음향학), Sound Quality Evaluation(음질평가), Psychological Measurement(심리측정), Multidimensional Scaling(다차원측정), Preference Mapping(선호도 매핑)

#### ABSTRACT

This study is directed toward determining the number and characteristics of psychologically meaningful perceptual dimensions required for assessing the sound quality with respect to vehicle noises, and toward identifying the acoustical and/or psychoacoustical bases underlying the preference and similarity judgments. For the purpose of analyzing the paired comparison data produced by subjective ratings we used nonmetric multidimensional scaling(MDS). The perceptual dimensions based upon preference ratings could explain 76.3 % of the variance by maximum dB(A) and sharpness acum. The correlation between objective and subjective positions of the stimuli is  $R^2=0.97(F(1,13)=195.45, p<.01)$ , corrected  $R^2=0.93$ . The less the intensity of the stimulus the more becomes the subjective position would be over-estimated relative to the objective one. The same is valid for the opposite case. The perceptual dimensions based upon similarity judgments could be accounted for 47.8 % and 23.5 % of the variance, each of which might be a match for the maximum dB(A) and the sharpness acum, respectively. The correlation between objective and subjective positions of the stimuli is  $R^2=0.94(F(1,13)=92.38, p<.01)$ , corrected  $R^2=0.87$ . The more the intensity of the stimulus the more becomes the subjective position would be over-estimated relative to the objective one. The same is valid for the opposite case. In other words, it is likely that the larger the amount of two stimuli which to compare would be judged similar. So far it should be further clarified that whether the relationship between preference ratings and psychological distances may be optimized through which psycho-physical models.

#### 1. 서 론

1970년대 서유럽에서 sound quality가 경제적인 금액가치로 환원될 수 있고 경쟁관계에 있는 유사 제품의 분별을 가능케 하는 디자인요소의 한 종류로 인식되면서 승용차소음의 음질에 대한 관심도 커지기 시작

하였다.(Schick, 1992) 승용차 소음의 주관적 음질평가를 통한 인지적, 심미적 경험내용을 음향적, 디자인적 요소로 환원하는 문제는 심리음향학의 핵심과제이다.(Schick, 1994) 특히 1990년 중반에 들어서면서 승용차소음에 대한 주관적 음질평가는 다차원적 특성을 갖고 있다는 인식이 확대되면서 소음특성과 관련한 감각요인의 존재를 규명하거나 입증하는 일련의 경험사례(Blauert & Jekosch, 1997; Bodden, 1997; Bisping, 1994, 1997 등)가 발표되었다. 최근 불란서에서는 맥아덤스(Susini et al., 1997; McAdams, et al, 1998)를

† 책임저자 : 정회원, 교통안전공단  
E-mail : byongho.choe@kotsa.or.kr  
Tel : (02) 2066-1346, Fax : (02) 2066-1347

중심으로 승용차소음의 음질을 향상시키기 위해 주관적 평가차원과 연관되는 심리음향학적 공학계수에 기초하여 음질평가행동의 다차원적 선호지도를 제작하는 체계적인 연구가 진행되고 있다. 특히 독일을 중심으로 활발한 심리음향연구가 수행되고 있으며, 음질평가의 심리적 판단차원과 밀접한 연관성을 가진 심리음향학적 공학계수가 개발되어 DIN, ISO 표준으로 정착되었다. 한편 한국에서는 최근에 들어서 산업제품 음향분석에 협목적인 수준에서 주관적 음질평가가 시도되고 있으며, 일부 연구그룹(Hur et al., 2000)에 의해 음질평가행동의 감각요인 또는 판단차원을 발견하여 음향적 및 심리음향학적 특성과의 관계를 요인분석(factor analysis, 이하 FA)기법을 이용하여 계량화하려는 노력이 진행되고 있다. 이 연구에서는 승용차소음 음질평가의 기저에 놓여있는 감각요인 또는 판단차원을 규명하고 어떠한 음향적 및 심리음향학적 특성이 승용차소음 음질평가행동에 영향을 미치고 있는 가를 규명하고자 새롭게 다차원측정(multidimensional scaling, 이하 MDS)기법을 적용하였다. 이는 주로 유사성 판단과 대상인지에 기초한 인지구조 또는 감각적 mapping을 위한 분석도구로 이용되고 있다. 한편 음향분야에 있어서 MDS를 적용한 외국사례는 Lakatos, McAdams, Chausse(1997)의 환경소음원의 특성분석과 Jones, MacCallum(1987)의 Auditory Pattern 인지 등 일부 연구가 이루어진 바 있으나 승용차소음의 주관적 음질평가 데이터에 대한 MDS 연구는 전무한 상태이다.

## 2. 방 법

MDS는 적은 집단을 대상으로 자극사이의 주관적으로 인지된 유사성(proximity)을 토대로 자극 간 거리를 계량화하여 다차원공간에 표상하는 분석기법이다. MDS가 가능한 데이터는 예컨대 쌍대비교를 통해 자극 간 선호도 또는 유사성을 평가하거나, 자극의 서열을 평정하거나, 쌍대비교를 통해 비교자극 중 하나를 선택하거나, 구체적인 특성에 대한 자극의 비율을 판단하는 것이다. MDS는 다변량적 행동정보를 계량화하고 구조화하는 방법으로서 통계적인 방법으로 보기보다는 심리측정이론의 한 분야로 이해될 수 있다.(참조, Ahrens, 1974) metric MDS(이하 MMDS)와 달리 이 연구에서 분석에 적용한 nonmetric MDS(이하 NMDS)는 주관

평가 데이터에서 모델을 이용하여 계산한 자극 간 유사성을 가능한 적은 차원수의 거리수치로 환원하는 절차를 분리하지 않고 통합하였고 궁극적으로 심리적 거리와 기하학적 거리와의 Monotonous 관계가설에서 출발한다.(참조, Torgerson, 1958; Shepard, 1957, 1966) 즉, 관찰된 자극 간 유사성의 서열을 모델에 의거해 계산된 거리서열로 최적화하는 데에 목표를 두기 때문에 Ordinal MDS로 불리기도 한다. 자극쌍 ( $i, j$ )에 대한 주관적 판단 값 proximity value  $p_{ij}$ 는 자극 간 유사정도(dissimilarity)를 표현하며, 수치가 작을수록 자극  $i$ 와  $j$ 는 유사하지 않다고 해석한다. 데이터의 구조는 자극  $n \times n$  - 매트릭스의 형태를 취하며,  $p_{ij}$ 의 global distance,  $d_{ij}$ , 즉 심리적 거리와 자극차원  $k$ 에 대한 specific distance,  $d_{ij}$ , 즉 기하학적 거리가 Monotonous 관계를 형성하는지 여부를 분석한다. 관찰된 데이터에 대한 일반적인 공간모델로 민콥스키(Minkowski) 모델을 사용한다.

$$d_{ij} = \left[ \sum_{a=1}^m |x_{ia} - x_{ja}|^r \right]^{1/r} \quad (1.1)$$

여기서  $r \geq 1$ 은 Minkowski 상수이며, 모든  $r$ -계수는  $r = 2$ 를 제외하면 영점(zero point)의 이동에 대해 영향을 받지 않는다. 분석프로세스는 주관평가 값  $p_{ij}$ 를 거리 값  $d_{ij}$ 로 환원하여 특성  $k \in \{1, 2, \dots, m\}$ 을 갖는  $x_{ik}, x_{jk}$ 의 최적 공간(configuration)을 도출하는 것이다. 주관평가 데이터 매트릭스(proximity matrix)의 서열이 거리 매트릭스(distance matrix)의 서열과 가장 완벽하게 일치하는 rank image  $d_{ij}^*$ 에 도달하기 위해서 분석은 iterative 성격을 갖고 있다. 즉, 자극  $n$ 을 갖는 configuration( $t$ )에서 configuration( $t+1$ )의 변환은 다음과 같은 iteration method를 통해 진행된다.

$$x_{ia}^{(t+1)} = x_{ia}^{(t)} + \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[ \left( \frac{d_{ij} - d_{ij}^*}{d_{ij}} \right) (x_{ja} - x_{ia}) \right] \quad (1.2)$$

임의적인 configuration의 개별적 자극쌍의 거리를 계산한다. 연이은 두개의 거리의 서열이 일치하지 않는 경우 평균값으로 대체된다. 이러한 과정은  $p_{ij}$ 와  $d_{ij}$ 를 대치시킨 shepard diagram(Shepard, 1962)에서 monotonous 회귀곡선이 도출될 때까지 반복된다. 거의 완벽한 다차원해결, 즉 최적의 configuration에

도달한다면 관찰된 거리와 예측된 거리, 즉 rank image와의 편차( $d_{ij} - d_{ij}^*$ )는 0에 가까울 것이다. 이를 가시화 한 것이 residue diagram 혹은 image diagram이다. 거의 완벽한 또는 충분히 정확한 configuration의 신뢰도를 평가하는 방법은 deviation,  $e_{ij}^2 = (d_{ij} - \delta_{ij})^2$ , 합을 통해 추정한다.(kruskal, 1964a, 1964b)

$$\text{Stress} = \sqrt{\frac{\sum_{i < j}^n (d_{ij} - \delta_{ij})^2}{\sum_{i < j}^n d_{ij}^2}} \quad (1.3)$$

Stress는 해결공간에서 유사도 서열과 거리서열 간 관계의 왜곡정도를 암시해 주는 지표이다. 만약에  $d_{ij} = \delta_{ij}$ 인 경우, 즉 최종 configuration이 완벽한 해결인 경우 stress는 0에 가깝다. 아렌스(Ahrens, 1974)는 stress=0.1을 sufficient, stress=0.05를 good, stress=0.025를 excellent로 다차원해결의 신뢰도 평가기준을 제시하였다. 주관평가 데이터의 계량적 공간표상에 대한 내용적-심리학적 해석은 군집분석을 통해 해결한다. 이 연구에서는 도출된 공간표상의 모 범적 데이터가 존재하지 않기 때문에 extern analysis는 수행하지 않았다.

## 2.1 실험 1

### (1) 실험조건 및 방법

청각테스트를 통한 청각능력이 모두 정상인 30명의

**Table 1** Categories of experimental stimuli

No.	Stimuli(coding)
1	Generator engine noise(GG)
2	Cooling fan engine noise(AVG)
3	Turbo engine combustion noise(VMG)
4	Injection pump engine noise(ASG)
5	Booming engine noise(DG)
6	Noise from transmission case(TGG)
7	Clutch operating transmission noise(KG)
8	Brake squeak transmission noise(BQG)
9	Road noise(W1G)
10	Road noise(W2G)
11	Tyre noise(R1G)
12	Tyre noise(R2G)
13	Air-conditioner compressor vibration noise(KAG)
14	Instrument panel radiation vibration noise(IBG)
15	Gear shift lever vibration noise(GHG)

독일인 피험자를 대상으로 하였으며 이들의 평균나이는 27살이고 남녀 각 15명이었다. 실험은 1999년 독일 Institute for Research into Man-Environment-Relations 실험실에서 진행되었으며 이 실험실은 외부로부터 소음차단이 가능하다.

사용한 소음원은 5명의 독일인 피험자를 대상으로 1994년 society of automotive engineers of Japan에서 제작한 mimic sound expression for vehicle noise 가운데 추출하였다.(Table 1) 승용차내부소음 친숙도 평가실험에서 상위에 속하는 15개 음원을 선정 한 것이다. 15개 음원의 이론적인 쌍대비교는 210개 - Symmetry를 고려하지 않은 경우 105개 - 의 조합이 가능하나 각 피험자가 일정시간 즉 50분 이내에 수행 가능하고 누적된 피로에 의한 영향을 최소화하기 위해 과제의 수를 40개로 제한하였다. 음원은 CD-ROM에서 아날로그 상태로 SENHEISER headphone을 통해 피험자에게 제시되었다. 선호도 평정은 PC용 주관평정 프로그램(noise evaluation, 이하 NOVAL)을 개발하여 진행하였다. 이 프로그램은 DELPHI로 구성되어 윈도우 환경에 최적화 되어 있으며 PC와 CD-ROM을 연결해 준다. 이는 100스텝을 가진 척도로 피험자가 프로그램 인터페이스에서 track-bar를 마우스로 움직여 결정을 할 수 있도록 하였다. 평정척도 레벨은 다음과 같다: 자극 1이 아주 좋다.(-50) 자극 1이 다소 좋다.(-25) 별 차이가 없다.(0) 자극 2가 다소 좋다.(+25) 자극 2가 아주 좋다.(+50) 실험은 다음과 같이 진행하였다. 각 피험자는 본 과제를 수행하기 전에 과제내용과 프로그램의 기술적 측면을 숙지하기 위해 3개의 연습과제를 수행하였다. 음원은 피험자가 스스로 만족한 평가결과에 이르기까지 반복해 들을 수 있도록 하였다. 과제수행 종료 직후 피험자는 인터뷰(structured interview technique)를 통해 음질 평가에 사용한 주관적 판단준거를 기술하도록 하였으며 음원의 지속시간은 음질평가에 대한 시간적 영향을 최소화하기 위해 15초로 하였고 본 과제수행의 총 소요시간은 평균 45분이었다.

### (2) 결과

총 1200개의 데이터 세트를 수집하였으며, 30명의 피험자의 개별 데이터를 aggregation하여 210개의 셀을 지닌 dissimilarity matrix를 생성하였다. 따라서 각 셀은 최소한 5명의 피험자가 평가한 결과이다. aggregated dissimilarity matrix를 작성한 것은

individual difference보다 음질평가행동의 다차원구조의 전반적인 경향을 규명하고자 함에 있다. symmetry 검사의 결과에서 조건이 충족되지 않는 경우 데이터 값은 -1, 충족인 경우 +1로 데이터를 재계산하여 도합 18개의 위반사례를 확인하였다. symmetry 충족건수가 데이터의 0~20%를 차지하면 very low, 20~40%이면 low, 40~60%이면 high, 60~80%이면 very high, 80% 이상은 supreme high로 설정기준을 정하였다. 평가결과, 충족하지 않는 경우의 수가 8.5%에 머물러 symmetry 조건이 충족된 것을 확인하였다.

다차원분석결과, 모델상수가 2이고 차원수가 3인 경우 stress가 가장 낮은 것으로 나타났다. 모델상수가 2에서 3으로 전환될 때 stress는 더 이상 개선되지 않았다.(Table 2) 이는 유클리드 공간모델이 음질평가 데이터를 가장 잘 설명한다는 것을 의미한

다. 또한 감각차원수가 1차원에서 2차원으로의 진행 과정에서 뚜렷한 ELBOW EFFECT가 나타났으며, (Fig.1) stress 낮아지던 이후의 추가적인 차원의 도입은 stress의 개선을 보여주지 않았다. 심리적 거리(dissimilarities)와 기하학적 거리(distances)는 monotonous 관계를 보여주었다.(Fig. 2) 즉, 자극 간 거리가 작을수록 자극 간 유사성은 높아지는 것으로 나타났다.

분산분석결과, 전체 변량에 대하여 1차 감각차원(dimension I)은 65.7%, 2차 감각차원(dimension II)은 9.6%, 그리고 3차 감각차원(dimension III)은 7.0%의 변량(variances)을 각각 설명하였다. 비 차원적 분석은 군집분석(cluster analysis)기법을 통해 음질평가 데이터의 신뢰할 만한 군집을 유추하였다. (Fig. 3) 실험종료 직후 실시한 인터뷰를 통해 파악된 선호 음원과 그렇지 않은 음원에 대한 형용사는 다

Table 2 Metric coefficient and stress

R-metrics	Stress
1	0.0606
2	0.0327
3	0.0419
4	0.0458
5	0.0473
6	0.0489
7	0.0499
8	0.0506
9	0.0511
10	0.0515

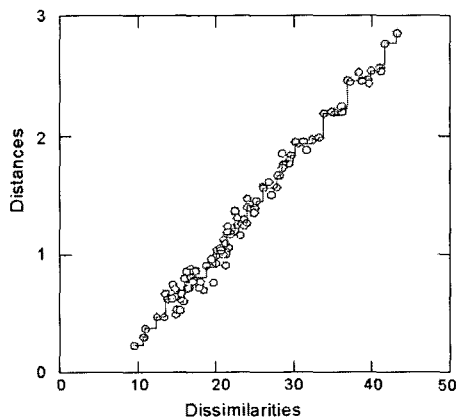


Fig. 2 Shepard diagram

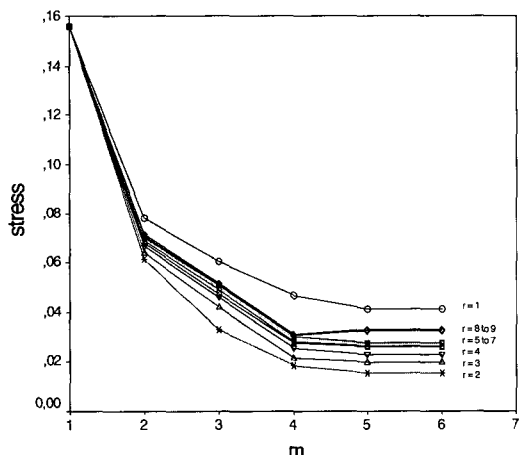


Fig. 1 Stress vs. dimensionality

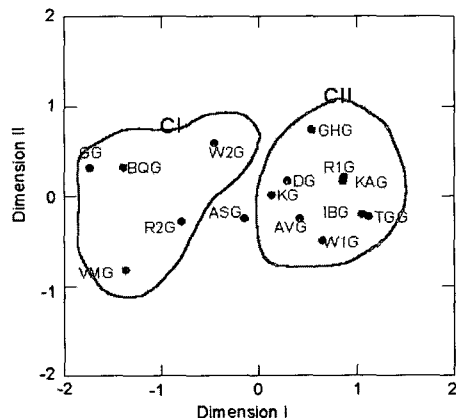


Fig. 3 Stimulus clusters

음과 같다: 선호하는 음원에 대해서는 quiet, smooth, soft, low, windy, regular, dull을, 선호하지 않는 음원에 대해서는 loud, accelerating, high, shrill 등을 평가어로 활용한 것으로 파악되었다. 1차 감각차원은 low 또는 soft한 것으로 판단된 군집을 accelerating 또는 loud한 것으로 판단된 군집과 대응시키고 있으며, 2차 감각차원은 irregular 또는 unrhythmic한 것으로 판단하거나 음원 VMG, R2G처럼 shrill 또는 high 여부에 따라 음원을 분별하는 것으로 해석된다.

### 2.2 실험 II

선호도 평정에 기초한 음질평가의 다차원구조와 유사성 판단에 의거한 다차원구조가 동일한 감각차원에 기반하고 있다는 기존 가설(Carroll & Chang, 1970)을 검증하고자 2차 실험을 수행하였다.

#### (1) 실험조건 및 방법

1차 실험에 참여한 피험자 중 23명을 대상으로 실시하였으며 이들의 평균 나이는 28세이고 남자 11명 여자 12명이었다. 실험은 1차 실험 30일 후에 실시하였으며 1차 실험과 동일한 실험실에서 진행하였다. 유사성 판단 실험은 100스텝을 가진 rating scale을 사용하였으며, 프로그램 인터페이스에서 Track-Bar를 마우스로 이용하여 결정할 수 있도록 하였다. 척도의 의미는 '두 자극은 전혀 다르다(-50)', '두 자극은 전적으로 같다(+50)'로 척도 극단에 언어적 label을 배치하고 척도중간에는 label을 두지 않았다. 사용한 음원을 비롯한 그 밖의 실험조건은 1차 실험과 동일하다.

#### (2) 결과

총 920개의 데이터 세트를 수집하였으며, 23명의

피험자의 개별 데이터를 aggregation하여 210개의 셀을 지닌 dissimilarity matrix를 생성하였다. 따라서 각 셀은 최소한 4명의 피험자가 평가한 결과이다. symmetry 검사는 특정한 자극이 비교 자극과 다르거나 같은지를 결정하는 판단기준으로 사용할 수 없는 관계로 symmetry 평균 -0.27은 피험자가 유사성보다는 차이성의 관점에서 과제를 수행했을 가능성을 암시한다. 다차원분석결과, 모델상수가 2이고 차원수가 3인 경우 stress(=0.0286)가 가장 낮은 것으로 나타났다. 모델상수가 2에서 3으로 전환될 때 stress는 더 이상 개선되지 않았다.(Table 3)

이는 유클리드 공간모델이 유사성 판단에 기초한 음질평가행동을 설명하는 가장 적합한 cognitive combination rule임을 나타낸다. 한편 감각차원수가 1차원에서 2차원으로의 진행과정에서는 뚜렷한 elbow effect가 나타났으며,(Fig. 4) Stress 낮아지점 이후의 추가적인 차원은 stress의 개선을 보여주지 않았다. 심리적 거리(dissimilarities)와 기하학적 거리(distances)는 monotonous 관계를 보여주었다.(Fig. 5) 즉, 자극 간 거리가 작을수록 자극 간 유사성은 높아지는 것으로 나타났다. 분산분석결과, 전체 변량에 대해서 1차 감각차원(dimension I)은 47.8 %, 2차 감각차원(dimension II)은 23.5 %, 그리고 3차 감각차원(dimension III)은 7.9 %의 변량(variances)을 각각 설명하였다.

군집분석에서는 3개의 신뢰할 만한 군집을 형성하였다.(Fig. 6) 실험종료 직후 실시한 인터뷰를 통해 파악된 형용사는 1차 실험에서 나타난 의미론적 형용사, 예컨대 loud, quiet, high, dull, rhythmic, accelerating,

Table 3 Metric coefficient and stress

R-metrics	Stress
1	0.0759
2	0.0286
3	0.0291
4	0.0332
5	0.0364
6	0.0384
7	0.0404
8	0.0420
9	0.0433
10	0.0444

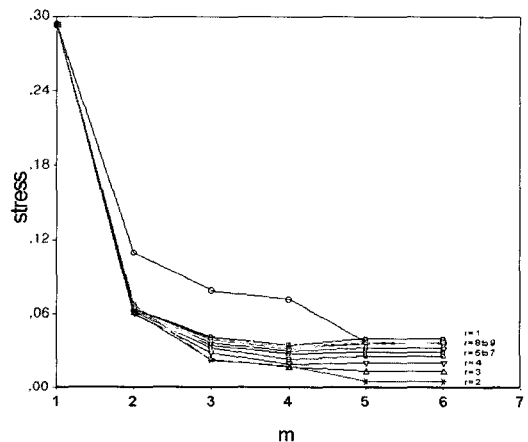


Fig. 4 Stress vs. dimensionality

regular, beating, topic 등과 크게 다르지 않았다. 즉 1차 감각차원은 low 또는 soft 한 특성을 지닌 음원군집을 accelerating 또는 loud한 특성을 지닌 음원군집과 대응시키는 반면, 2차 감각차원은 discontinuous 또는 disrhythmic한 특성을 지닌 음원군집을 shrill 또는 high한 특성을 지닌 음원군집과 대응시키는 것으로 해석된다.

### 3. 음질평가행동 모델링

1, 2차 실험을 통해 구축된 다차원 구조 내 감각차원이 경험데이터의 심리구조를 적절히 표현하는지, 공통적인 판단기반 위에 성립된 것인지를 규명하고자 하였다. 이를 위해 20가지의 음향적 및 심리음향학적

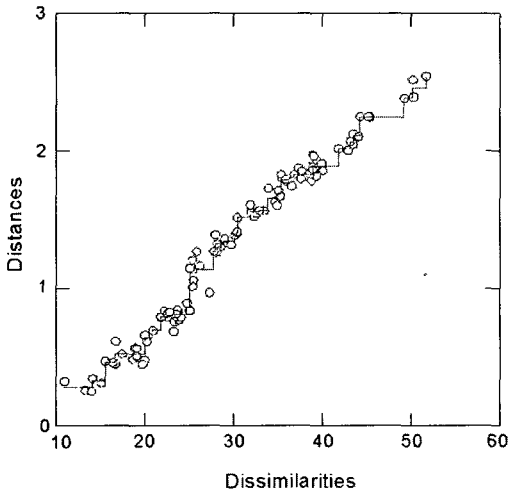


Fig. 5 Shepard diagram

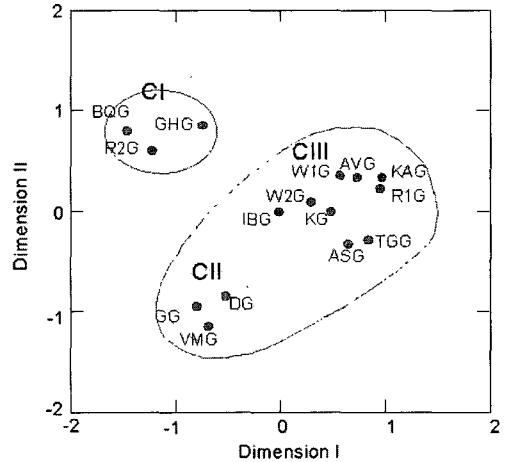


Fig. 6 Stimulus clusters

Table 4 Instrumental analysis

	GG	AVG	VMG	ASG	DG	TGG	KG	BQG	W1G	W2G	R1G	R2G	KAG	IBG	GHG
dB max	86	90.7	86.90	86.59	91.7	91.7	89.90	82	90.09	88.2	89.09	86.7	91.3	92	84.59
dB Leq	82.5	85.2	84.2	82.3	86.59	85.90	88.09	76.40	84.7	84	84.59	83.2	83.8	87.09	71.09
dB(A) max	81	67.3	83.2	72	75.40	65.7	72.5	78.09	66.2	75.8	66.7	81.8	61.4	58.8	72.8
dB(A) Leq	78.5	65.09	80.90	69	70.8	58.5	70.59	71.59	61.9	73	60.5	75	58.9	56.7	55.1
sone max	55	22.8	60.7	27.9	35.6	21	27.5	42.8	20.2	38.3	18	44.3	12.9	13.5	24.6
sone Leq	43.7	19.2	50.9	21.8	27.2	12	24.3	20.7	13.7	29.2	11.8	31	11.2	11.7	4.1
vacil Leq	3.11	2.35	1.91	2.26	1.97	2.37	1.87	4.92	2.47	3.27	2.32	4.18	2.02	2.16	2.51
vacil max	2.42	2.06	1.71	1.85	1.65	1.93	1.66	3.81	2.04	2.64	1.53	3.57	1.68	1.82	1.59
acum max	3.61	2.7	4.14	1.47	2.21	1.56	1.17	4.48	1.41	1.91	1.34	3.51	1.34	1.4	4.74
acum Leq	3.16	1.56	3.82	1.3	1.96	1.25	1.07	2.75	1.11	1.64	0.98	2.32	1.2	1.31	1.91
tu max	0.245	0.209	0.321	0.194	0.438	0.457	0.5	0.225	0.169	0.261	0.448	0.125	0.2	0.122	0.389
tu Leq	0.115	0.046	0.206	0.043	0.186	0.101	0.37	0.039	0.023	0.057	38	0.03	0.092	0.064	0.118
asper max	4.09	1.97	4.29	2	3.94	1.03	1.52	12.2	1.55	3.77	0.786	5.72	0.845	0.767	2.06
asper Leq	3.1	1.62	3.57	1.62	2.78	0.69	1.16	7.4	0.92	2.3	0.516	3.79	0.615	0.633	0.3
iu max	8.619	4.9	4.66	8.609	6.77	5.66	0.527	9.630	29.1	6.93	0.9	4.91	0.974	2.67	2.28
iu Leq	0.35	0.33	0.27	0.34	0.89	0.29	0.13	3.61	0.4	0.41	0.31	0.79	0.231	0.58	0.61
mod max	113.6	150.9	180.4	98.90	331.6	99.2	95.3	181.4	299.8	280.9	132.4	150	106.4	108.3	150.2
mod Leq	64	62.3	66.59	64.2	82	61.8	63.4	99	68.5	64.7	68.5	75.2	67.5	72.5	36.2
prm max	13.7	10.2	16.7	10.5	13.2	14.3	10	26.7	9.6	12.5	9.69	17.2	14.2	15.2	15.7
prm Leq	7.3	5.2	8.300	5.5	6.8	6.5	6.2	7.8	5.3	7.2	5	5.9	8.300	9.4	10.5

공학계수를 이용하여 분석한 음원특성수치를 다차원적으로 분석한 결과와 주관평가 데이터의 구조분석결과를 least squares 회귀분석을 수행해 계량적 함수관계를 구하였다.(Fig. 7) 음원의 물리적 계량화(Table 4)는 HEAD acoustics binaural analysis system ("BAS", 1996)을 사용하였다. BAS의 계산모델은 아우레스(Aures, 1985)가 감각적 쾌적음향(sensorischer wohlklang)을 예측하기 위해 제안한 모델에 이론적 기반을 두고 있다.(Table 5)

Fig. 8, 9는 음원의 물리량에 대한 구조분석을 통해 추출한 공통자극공간에 대비하여 선호도 및 유사성에 기초한 음질평가의 구조분석에 근거한 자극배치를 기하학적 framework에 투영한 결과이다. 주관평가 데이터의 구조분석을 통해 추출한 다차원해결의 차원과 음원의 물리량과의 다변량 회귀분석(multiple

regression analysis) 결과,(Table 6) 선호도 평정에서는 다차원 구조의 1차 감각차원(Pref\_DimI)과 음향계수(dB(A) Max) 간에는  $R_2 = .919(p < .01)$ 의 상관이 보여 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다.

유사성 판단에서는 다차원 구조의 1차 감각차원(Sim\_DimI)과 음향계수(dB(A) Max) 간에는  $R^2 = .846(p < .01)$ 의 상관이 보여 통계적으로 유의미한 것으로 나타났고, 2차 감각차원(Sim\_DimII)도 심리음향계수(Acum Leq) 간에  $R^2 = .661(p < .05)$ 의 상관이 나타났다.

선호도 평정에 의거한 음질평가 행동의 모델링을 앤더슨(Anderson, 1973a,b)의 모델에 의거해 나타내면  $X_{pref} = -5.51 + 1.08 [dB(A) Max] \pm 1.66$ 으로 자극의 객관적 위치와 주관적 위치와의 거리차이(= 0.29)를 데시벨 수치로 환산하면 평균 1.66에 상응한

Table 5 BAS algorithm

Metrics	Calculation
Loudness	$\frac{N'}{sone / Bark} = K_2 \left( \frac{1}{s} \right)^{e_2} 10^{0.1e_2 L_{HS}} [(1 - s + s \cdot 10^{0.1(L_E - L_{HS})})^{e_2} - 1]$
Sharpness	$S = C \cdot \frac{\int_{z=0}^{24 Bark} N'(z) \cdot g'(z) dz}{\ln \left( 0.05 \frac{N}{sone} + 1 \right) sone} acum$ $g'(z) = \exp \left( \frac{0.171 \cdot z}{Bark} \right)$
Roughness	$R = C \cdot \int_{z=0}^{24 Bark} r'(z) dz$ $r'(z) = C \cdot m^2 \frac{asper}{Bark}$
Fluct. Strength	$F = \frac{0.36}{Bark} \cdot \int_0^{24 Bark} \log \left( \frac{N'_{max}}{N'_{min}} \right) dz$ $(T / 0.25s) + (0.25 / T) vacil$
Tonality	$K = C \cdot W_N^{0.79} \sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} [W_1(\Delta z_i) W_2(f_i) W_3(L_{\Delta,i})]^2}^{0.29}$ $W_1(\Delta z_i) = \left( \frac{0.13}{\Delta z / Bark + 0.13} \right)^{1/0.29}$ $W_2(f_i) = \frac{1}{\sqrt{1 + 0.2(f_i / 0.7kHz + 0.7kHz / f_i)^2}}$ $W_3(L_{\Delta,i}) = \left( 1 - e^{-\frac{L_{\Delta,i}}{15dB}} \right)$

다. 여기서 1.66으로 일종의 gain factor로 squared sum of standard errors를 경감시키는 역할을 한다. 또한 자극의 객관적 위치와 주관적 위치 간에는  $R^2 = 0.97(F(1,13)=195.45, p < .01)$ 의 상관인, corrected  $R^2 = 0.93$ 의 상관이 나타났다. 즉, 승용차소음에 있어 선호도 평정 데이터 변량의 93%를 dB(A) Max로 설명할 수 있음을 의미한다. 이것은 자극의 dB(A) Max 값이 변화하는 정도에 따라 주관적으로 느끼는

감각정도도 그에 상응하여 변화하며 평가행동에 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다. 물리량이 작은 자극일수록 자극의 객관적 위치에 비해 훨씬 긍정적인 평가, 즉 overestimation 경향을, 물리량이 클수록 자극의 객관적 위치에 비해 훨씬 부정적인 평가, 즉 underestimation 경향을 나타낸다. 다시 말해, 두 비교자극의 물리량이 작을수록 그렇지 않은 경우보다 선호경향이 더욱 높아지는 것으로 해석할 수 있다. 한편 선호도 평정과 sharpness 간에는 통계적인 의미를 확보하지 못하였다. 선호도 평정에서 나타난 contrast 효과는 유사성 판단에서도 관찰할 수 있었다. 유사성 판단에 의거한 음질평가 행동의 모델링 결과는  $X_{sim} = 7.16 + 0.9[dB(A) Max] \pm 2$ 로 자극의 객관적 위치와 주관적 위치와의 거리차이(=0.35)를 데시벨 수치로 환산하면 평균 2.0에 상응한다. 또한 자극의 객관적 위치와 주관적 위치 간에는  $R^2 =$

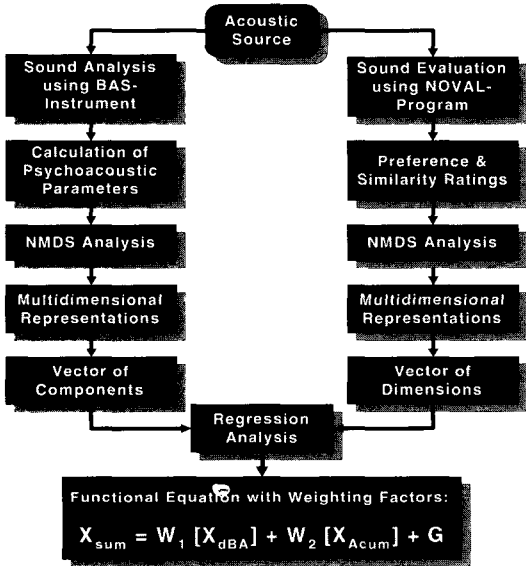


Fig. 7 Modeling of perceived similarity

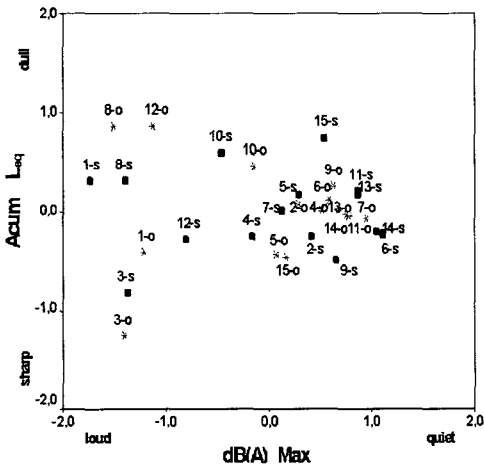


Fig. 8 Arrangement of acoustic sources based on objective solution (★) and preference ratings (■)

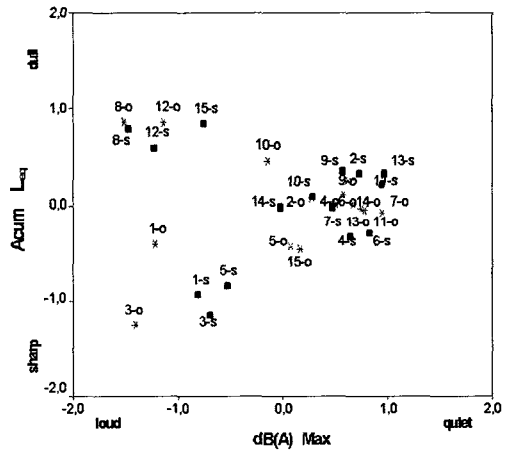


Fig. 9 Arrangement of acoustic sources based on objective solution (★) and similarity ratings (■)

Table 6 Correlation coefficients between psychological reference-axes and stimulus characteristics

	dB(A) Max	Acum Leq	Vacil Leq
Sim_DimI	0.846**	0.077	0.017
Sim_DimII	0.220	0.661*	0.134
Sim_DimIII	0.218	0.268	0.036
Pref_DimI	0.919**	0.043	0.220
Pref_DimII	0.043	0.351	0.069
Pref_DimIII	0.025	0.371	0.155

\*\* correlation coefficient is significant at 0.01.

\* correlation coefficient is significant at 0.05.



0.94( $F(1,13)=92.38$ ,  $p < .01$ )의 상관인, corrected  $R^2 = 0.87$ 의 상관인 나타났다. 즉, 승용차 소음에 있어 유사성 판단 데이터 변량의 87%를 dB(A) Max로 설명할 수 있음을 의미한다. 즉 물리량이 작은 자극은 객관적 위치에 비해 훨씬 부정적인 평가, 즉 underestimation 경향을, 물리량이 큰 자극에 대해서는 객관적 위치에 비해 훨씬 긍정적인 평가, 즉 overestimation 경향을 보여준다. 다시 말해, 두 비교 자극의 물리량이 클수록 그렇지 않은 경우에 비해 유사한 것으로 판단할 가능성이 높은 것으로 해석할 수 있다. 한편 유사성 판단과 sharpness 간에는 통계적인 의미를 확보하지 못하였다.

#### 4. 결론 및 향후 과제

음향분야에서 MDS를 사용하여 주관적 음질 평가가 어떻게 형성되는지를 연구한 성과는 아직 미비한 형편이다. 특히 이상의 연구에서는 선호도 평정과 심리적 거리 간의 관계성 여부확인이 절실히 필요하다. 그러나 아직 선호도 평정이 심리적 거리와 비례하는지, logarithmic function 또는 negative exponential function이 선호도 평정과 심리적 거리의 심리물리학적 함수로 적합한지의 여부를 결정하는 과제는 여전히 남아있는 실정이다. 따라서 이 연구에서는 MDS를 사용하여 선호도 평정과 자극 간 심리적 거리의 상관성을 확인하였다. 또한 음질평가 행동을 Minkowski-공간과 같은 기하학적 구조로 표현해야 된다는 당위성은 없으나 음질평가 행동 패턴 비교를 위한 baseline으로 시도할 수 있다. MDS 기법을 이용하여 승용차 소음의 유사성 판단에 기초한 음질평가에서 발견된 level-sharpness 효과에 대한 이 연구의 결론이 승용차 음향학 뿐만 아니라 산업 및 환경 소음 연구에 있어서 방법론적 가능성에 대한 후속연구를 자극하기를 기대한다.

#### 참고 문헌

(1) Ahrens, H. J., 1974, Multidimensionale Skalierung: Methodik, Theorie und Empirische Gültigkeit mit Anwendungen aus der Differentiellen Psychologie und Sozialpsychologie. Weinheim: Beltz.  
 (2) Anderson, N. H., 1973, Algebraic Models in

Perception. In Carterette, E. C. and Friedman, M. P. (Eds.), Handbook of Perception. New York: Academic Press.

(3) Anderson, N. H., 1973, Cognition Algebra: Integration Theory Applied to Social Attribution. In Berkowitz, L. (Ed.), Advances in Experimental Social Psychology. Vol. 7. New York: Academic Press.

(4) Aures, W., 1985, Berechnungsverfahren für den Sensorischen Wohlklang Beliebiger Schallsignale. Acustica 50, 130~141.

(5) Bisping, R., 1994, Digital Generation of Acoustical Targets for Car Sound Engineering Based on Psychometrical Data. Proceedings Internoise 94, Vol. 2, Japan, 869~876.

(6) Bisping, R., 1997, Car Interior Sound Quality: Experimental Analysis by Synthesis. Acustica, 83, 813~818.

(7) Blauert, J. and Jekosch, U., 1997, Sound Quality Evaluation. A Multi-layered Problem. Acustica, Vol. 83, 747~753.

(8) Bodden, M., 1997, Instrumentation for Sound Quality Evaluation. Acustica, 83, 775~783.

(9) Borg, I., 1981, Anwendungsorientierte Multidimensionale Skalierung. Berlin: Springer.

(10) Borg, I. and Staufenbiel, T., 1997, Theorien und Methoden der Skalierung: Eine Einführung. Bern: Huber.

(11) Carroll, J. D. and Chang, J. J., 1970, Analysis of Individual Differences in Multidimensional Scaling via an N-way Generalization of Eckart-Youngs Decomposition. Psychometrika, Vol. 35, 283~319.

(12) Choe, B., 2000, A Nonmetric Multidimensional Analysis of 15 Complex Sounds: a Comparison of Preferences and Similarities Evaluations. Reports from the Institute for Research into Man-Environment-Relations, No. 35, November 2000, Oldenburg.

(13) Choe, B., 2001, Nonmetric Multidimensional Scaling of Complex Sounds: Dimensions of Preference Ratings and Perceived Similarity of Vehicle Noises. Shaker Verlag Aachen.

(14) Hur, D. et al., 2000, Model Development and Analysis of the Car Interior Sound Quality. Transaction of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol.10, No.2, 254~260.

(15) Jones, M. R. and MacCallum, R., 1987, An Application of Principal Directions Scaling to Auditory Pattern Perception. In F. W. Young and R. M. Hamer (eds.), Multidimensional Scaling: History, Theory, and Applications, 259~278. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

(16) Kruskal, J. B., 1964, Multidimensional Scaling by Optimizing Goodness of Fit to a Nonmetric Hypothesis, Psychometrika, 29, 1~27.

(17) Kruskal, J. B., 1964, Nonmetric Multidimensional Scaling: A Numerical Method. Psychometrika, 29, 115~129.

(18) Lakatos, S., McAdams, S. and Chausse, R., 1997, The Representation of Auditory Source Characteristics: Simple Geometric form. Perception and Psychophysics, 59, 1180~1190.

(19) McAdams, S., Susini, P., Misdariis, N. and Winsberg, S., 1998, Multidimensional Characterisation

of Perceptual and Preference Judgments of Vehicle and Environmental Noises. Euro-Noise 98: Designing for Silence, München, 561~566.

(20) Schick, A., 1992, Aktuelle Probleme der Schallwirkungsforschung. HNO, 40, Springer-Verlag, 37~40.

(21) Schick, A., 1994, Zur Geschichte der Bewertung von Innengeräuschen in Personenwagen. Zeitschrift für Lärmbekämpfung, Vol. 41, 61~68.

(22) Shepard, R. N., 1957, Stimulus and Response Generalization: A Stochastic Model for Relating Generalization to Distance in Psychological Space. Psychometrika, 22, 325~345.

(23) Shepard, R. N., 1966, Metric Structure in Ordinal Data. Journal of Mathematical Psychology, 3, 287~315.

(24) Susini, P., McAdams, S. and Winsberg, S., 1997, Perceptual Characterization of Vehicle Noises. EEA Symposium: Psychoacoustic Industry and Universities, Janvier.

(25) Torgerson, W. S., 1958, Theory and Methods of Scaling. New York: Wiley.