

음질을 고려한 환경소음 평가 인자의 기여도분석에 관한 연구

A Study of the Sound Quality Characteristics for Environmental Noise Assessments Parameters

허덕재*, 조경숙*, 조연*, 황대선*
(Deog-Jae Hur*, Kyoung-Sook Jo*, Yeon Cho*, Dae-Sun Hwang*)

*고등기술연구원 제품기술연구센터 NVH&Design

(접수일자: 2006년 2월 1일; 수정일자: 2006년 3월 24일; 채택일자: 2006년 4월 11일)

소음에 대한 인간의 심리적 인지는 소음의 여러 가지 물리적 요인에 의하여 영향을 받는다. 그러나 현재의 환경소음 평가는 A 기준치 등과 소음 수준을 기준으로 평가되고 있으며 인간의 다양한 감성적 요인을 반영하지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 환경소음 평가를 위하여 환경소음원 43개에 대하여 주관평가와 통계적 분석방법을 사용하여 인간의 감성에 영향을 주는 음질인자 (Sound quality factor)를 분석하였다. 분석방법은 먼저 다양한 환경소음원에 대한 음질 물리량 (Sound quality metrics)을 분석하여 음원을 분류하였으며 분류된 음원의 주된 음질 물리량을 고찰하였다. 그리고 쌍대비교법 (Paired comparisons method)과 어의분별척도법 (Semantic differential method)을 사용하여 주관 평가를 실시하고 음질의 요인을 분석하였으며 물리량과의 관계를 규명하였다. 마지막으로 요인에 대한 물리량의 기여도를 분석함으로써 환경소음의 감성적 인지에 대한 기초 물리량을 설정하였다.

핵심용어: 환경소음, 음질평가, 심리음향 물리량, 음질인자

투고분야: 소음 및 공력음향 분야 (10.4)

For the environmental noise assessments. A weighted equivalent noise level (LeqA) is used to measure the time varying environmental noise. However, it is not appropriately reflect various environmental noise features and human emotions. The human perception of the noise is affected largely by the psychoacoustic characteristics of noise as well as the sound pressure level. In this study, the effective factors of noise quality are analyzed using the subjective assessment and statistical analysis of environmental noise, such as road traffic noise, construction site noise, noise in daily living, and other. The analysis methodology is composed to three steps as follows: firstly, the values of the sound quality metrics of various noise sources were analyzed. And to classify the noise sources, we conducted a cluster analysis using sound quality metrics. Secondly, subjective jury testing was carried out using the methods of paired comparisons and semantic differential. Finally, the correlation between the subjective parameters and the noise quality metrics were analyzed. As a result, the human perception characteristics of the various environmental noise are described in some physical parameters of the noise quality metrics.

Keywords: Environmental Noise, Sound Quality Evaluations, Sound Quality Metrics, Sound Quality Factors

ASK subject classification: Noise and Aeroacoustics (10.4)

I. 서 론

소음은 듣기 싫은 소리로 정의하며, 육체적 측면과 정신적 측면의 부정적 영향을 나타낸다. 문화와 문명의 발

달로 생활의 변화가 지속적으로 변하고 있으며 안락한 주거 및 생활환경에 대한 요구가 증대하고 있다. 그러나 지속적인 교통시설의 확충과 소음배출 공간 (공장, 건설 현장 등)의 증가로 소음피해가 점차 확대되고 있으며, 특히 공공 공간의 소음증대로 인한 육체적 · 정신적 피해가 속출하고 있다. 또한 환경문제에 대한 인식이 다양화되면서 소음문제로 인한 민원이 급증하고 사회적으로 주

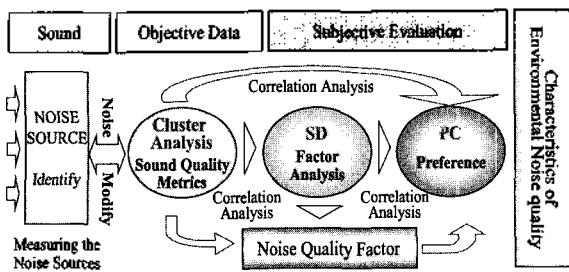


그림 1. 음질평가 절차 및 수행 방법

Figure 1. Procedure of the sound quality analysis.

요 절차화가 되고 있다.

과거에는 육체적인 반응으로부터 작업환경의 방해 등에 대한 연구가 진행되어 환경소음의 분류와 평가의 척도를 구성하는 것이 대부분이었다[1-2]. 그러나 최근에는 이와 동시에 환경소음에 대한 감성 특성을 고려한 연구가 활발히 진행되고 있다. 1984년 S. Namba와 S. Kuwano는 서로 다른 다양한 소음에 대하여 라우드니스 (Loundness)의 크기와 주관적 동등성의 관점에서 연구를 수행하였다[3]. 그리고 Fletcher는 팀비 (timbre)가 서로 다른 음원에 의하여 서로 다른 인자의 표현으로 사용할 수 있을 뿐만 아니라 같은 음에 대하여도 표현할 수 있다고 주장하였다[4]. Kruskal은 다차원 척도법 (multi-dimensional scaling method)을 제안하여 음원을 표현하는 척도법을 제안하였으며, Osgood는 형용사어의분별법 (SDM, Semantic differential method) 등을 제안하였다[5-6]. 국내에서도 주거환경 및 사무실 그리고 교통소음에 대한 감성 연구가 진행되고 있다. 그러나 dBA, LeqA등 기존 평가법에서 사용되고 있는 물리량을 기준으로 연구가 수행되고 있는 실정이다[7].

본 연구에서는 주거 및 생활소음, 육상교통소음, 건설공사장소음 등의 다양한 환경소음을 측정하고 음질 물리량을 분석하여 소음원을 분리하였으며, 관련된 주요 인자를 추출하는 연구를 수행하였다. 또한 주성분분석으로 분류된 음질 물리량과 감성적 요인과의 관계를 주관 평가와 회귀 분석법을 사용하여 규명하고 그 기여도를 고찰하였다.

II. 환경소음 측정

2.1. 측정 방법 및 수집

소음 측정은 인체의 청각기관의 형태를 고려한 더미헤드를 사용하였으며, 데이터 레코더를 사용하여 48kHz의

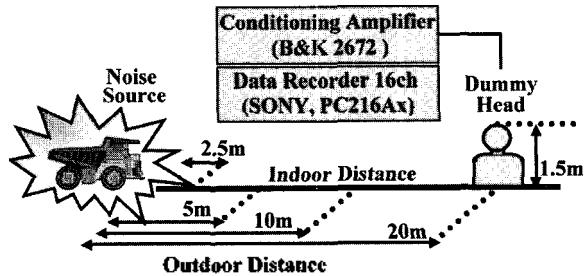


그림 2. 환경소음 측정 개요도

Figure 2. System set-up of the sound source measurement.

샘플링 주파수로 기록하였다. 측정위치는 음원으로부터 수직한 직선거리 5m, 10m, 20m이고, 지면으로부터 약 1.3m 높이에서 측정하였다. 실내에서는 2.5m 거리를 기준으로 하였으며 측정 개요도는 그림 2와 같다.

본 연구에서 조사된 환경소음은 생활 주변에서 경험하게 되는 실제 소음원을 조사한 것이다. 소음 측정 환경에 따라 실내소음과 실외소음으로 구분하였으며, 건설공사장, 공장, 도로교통, 사무실, 서비스시스템, 주거지역 등 다양한 생활 환경소음을 대상으로 측정 및 분석하였다. 건설공사장 소음은 민원발생이 가장 많은 항타기 소음과, 소음발생정도가 크고 장기간 사용되는 대형장비와 이동장비를 기준으로 측정하였다. 공장소음은 소음원 구분이 확실하고 배경소음이 적은 작업장을 중심으로 공장 부지 경계선으로부터 측정하였다. 도로교통소음은 도로와 도심에서 차량소통이 원활하고 교통량이 많은 지역을 선정하여 차량의 이동소음을 측정하였다. 나머지 사무실, 서비스, 주거 소음원들은 주로 발생횟수 및 소음도가 높은 소음을 대상으로 측정하였다. 표 1은 소음원을 발생 환경에 따라 분류하여 나타낸 것이다.

표 1. 배출원별 환경소음 분류

Table 1. Classification of environmental noise source by environmental conditions.

구분	소음원	내 용
실외 소음	건설공사장 소음	덤프트럭, 발전기, 불도저, 펌프카엔진, 펌프카운터, 크레인, 파일그라인딩, 파일용접, 오거항타, 오거, 파일항타, 굴삭기
	공장 소음	그라인딩, 도색공장, 목재제재소, 에어컴프레서, 대형팬, 프레스, 포머
	교통 소음	소형차, 중형차, 대형차, 도로교통, 도심교통
실내 소음	사무실 소음	복사기, 사무용품나하음, 스캐너, 전화기, 컴퓨터, 팩스, 프린터
	설비 소음	기계실, 냉각탑, 에어컨, 에어컨실외기
	주거 소음	샤워, 세면기, 세탁기, 좌변기, 진공청소기, 헤어드라이어
기타		자동차문닫기, 자판기

2.2. 소음 특성 분석 및 분류

소음의 특성은 음질의 물리량 (SQM, Sound quality metrics) 23개와 에너지의 연속과 변동주기 등에 의하여 분석하고, 시간과 주파수의 변화에 따른 분류와 음질인자를 요인 분석 및 군집분석을 수행하여 분류하였다.

2.2.1. 시간과 주파수에 따른 특성 분류

측정된 소음원의 분석은 시간 간격 10초, 최대 주파수 10kHz의 A-weighting을 기준으로 하였으며, 다음 3가지 특성으로 분류하였다. 첫 번째는, 시간 변화에 따른 음원의 주파수 대역 변화정도를 기준으로 주파수 대역 성분 변화가 심하게 반복되는 임팩트성 소음과, 성분 변화가 없는 정상상태의 소음으로 분류하였다. 두 번째로는 소음의 주파수별 크기에 따라 저주파 특성이 강한 소음과, 고주파 특성이 강한 소음으로 구분 할 수 있다. 마지막으로 하모닉 성분으로 순음성이 강한 소음으로 분류하였다. 위와 같은 내용으로 측정된 환경소음을 분석하였으며 결과는 표 2에 요약하였다.

표 2. 환경소음의 시간 및 주파수 특성 분류

Table 2. Classification of noise source by time and frequency domain.

구분	특성	음원 종류
시간 변화	임팩트	파일용접, 오거향타, 파일향타, 프레스, 포머, 자동차문닫기, 사무용품낙하음
	정상	발전기, 스캐너, 냉각탑, 에어컨, 에어컨설비기, 세면기
주파수 (balance)	저주파	덤프트럭, 불도저, 크레인, 오거, 굴삭기, 도색공장, 소형차, 중형차, 대형차, 도로교통, 도심교통, 복사기, 컴퓨터, 팩스, 프린터, 세탁기, 진공청소기, 헤어드라이어
	고주파	파일그라인딩, 에어컨프레서, 샤워
순음성 소음	하모닉	펌프카엔진, 펌프카운전, 그라인딩, 목재제재소, 대형팬, 지판기, 전화기, 기계실, 좌변기

표 3. 군집분석 결과 및 환경소음 분류

Table 3. Cluster analysis and classification of the environmental noises.

구분	음원
제1군집	덤프트럭, 불도저, 펌프카엔진, 크레인, 굴삭기, 목재제재소, 에어컨프레서, 프레스, 스캐너, 전화기, 세면기, 좌변기, 진공청소기, 헤어드라이어
제2군집	파일그라인딩, 그라인딩, 샤워
제3군집	발전기, 대형팬, 포머, 지판기, 소형차, 중형차, 대형차, 도로교통, 도심교통, 복사기, 팩스, 컴퓨터, 기계실, 에어컨, 에어컨설비기, 세탁기
제4군집	펌프카운전, 오거, 도색공장, 프린터, 냉각탑
제5군집	자동차문닫기, 사무용품낙하음
제6군집	파일용접
제7군집	오거향타, 파일향타

2.2.2. 군집분석 (Cluster Analysis)에 따른 음원 분류

조사된 43개 음원들의 SQM 물리량에 대하여 동질적인 군집으로 구분하고, 공통된 특성들을 조사하기 위하여 최소분산법 (Ward's Minimum Variance method)으로 군집분석 하였다. SQM 물리량의 다중 충복성을 피하기 위하여 음질의 물리량을 상관분석과 요인분석을 수행하여 10개의 물리량으로 축약하였다. 축약된 음질 물리량은 Linear SPL, dB(D), Intelligibility, Pref. Speech Interference, Frame Kurtosis, Zwicker Loudness (sones), Sharpness, Roughness, Fluctuation Strength, Tonality이다. 이상 10개의 물리량에 대하여 군집분석을 수행한 결과 총 7개의 군집으로 분류되었으며 각 군집에 해당되는 음원을 표 3에 정리하였다.

III. 환경소음의 주관적 평가

3.1. 평가 음원 및 평가 방법

평가 음원의 선정은 7개 군집 중에서 음원의 개수가 가장 많은 1군집, 3군집, 4군집을 대상으로 물리량의 증감변화 및 중요도를 고려하여 그룹의 특성을 대표할 수 있는 음원 8개를 선정하였다. 평가 음원은 표 4와 같다. 각 군집별 주요 SQM은 군집에 속한 음원의 음질 물리량에 대하여 평균값이 크고 분산이 작은 음질 물리량을 선택하였다. 각 군집별 음질 물리량을 분석한 결과 제 1군집과 제 3군집은 Zwicker Loudness (sones)가 지배적이고, 제 4군집은 Tonality, Fluctuation Strength 등의 특성이 크게 지배적인 것으로 나타났다.

주관평가방법은 불쾌감 실험으로 쌍대비교법 (PCM)과 어의적 인자추출실험으로 형용사어의분별법 (SDM)을 사용하였다. 평가는 건강한 20~40대 정상청력¹⁾을 가진 남녀 34명을 대상으로 위에서 선정한 표 4의 8종류의 환경소음을 청취한 후 주관적인 반응의 응답실험을 하였다.

평가음원의 구성은 PCM의 경우 8초길이 음원에 대한 음원쌍을 비교하는 평가방법으로 예비 음원쌍 4개와 실평가 음원쌍 28개로 총 32개 음원쌍으로 하였다. 또한 SDM에서는 20초길이 음원 8개를 청취하였다. 평가 시간은 음원의 청취시간 약 12분, 휴지기 38분을 포함하여

1) 청력의 정상/비정상 기준은 산업안전보건 규정 중 순음청력검사지침에 의거하여, 회화음역에 속하는 500Hz, 1000Hz, 2000Hz의 기도 청력 역치의 평균치 (PATs : pure tone averages)로 평가

표 4. 환경소음 주관평가 대상 음원
Table 4. Sound source for jury test.

분류	음원	주요SOM
제1군집	1. 크레인작업 소음 2. 에어컴프레서 작업소음 3. 청소기 작업소음	ZwickerLoudness(s) Roughness
제3군집	4. 자판기 후면 컴프레서 소음 5. 중형자동차 통과소음 6. 복사기 복사소음	ZwickerLoudness(s) Tonality Sharpness
제4군집	7. 파일향타전 오거작업 소음 8. 프린터 출력소음	Tonality FluctuationStrength

약 50분 정도 소요되었다. 따라서 평가실험은 청취시간에 비하여 3배 이상의 충분한 휴지기를 갖게 함으로써 소음청취에 의한 피로누적을 최소화하였다. 그리고 매회 평가 인원은 4명으로 제한하였다.

3.2. 평가 어휘

환경소음에 대한 음원의 성격을 명확하게 표현할 수 있는 평가어휘를 구축[7-8]하기 위하여 다음과 같이 조사하였다. 우선 소음에 관련된 기존의 연구 자료로 부터 700여개의 어휘를 수집하고 어휘의 중복성 및 동질성을 판별하여 1차 축약하였다. 그리고 일반인 30명에게 환경 소음을 들려주며 연상되는 어휘를 선택하는 방식으로 환경소음 관련 어휘를 선별하였다. 조사된 어휘는 환경 소음 평가 전문가들의 의견을 수렴하고 소음 평가 및 관리 기술 개발 참여자를 대상으로 불쾌도 어휘 적합성 판정을 검토하여 표 5와 같이 최종 10개의 어휘쌍으로 추출하였다.

표 5. 환경소음 어의분별척도평가 어휘쌍
Table 5. Response term of semantic differential method.

1	약한	센	6	가벼운	무거운
2	불쾌한	유쾌한	7	단순한	복잡한
3	불규칙적인	규칙적인	8	진잔한	격렬한
4	멀리한	웅웅거리는	9	맑은	탁한
5	날카로운	부드러운	10	신경쓰이는	편안한

IV. 주관평가 결과 및 분석

상대비교법과 형용사어의분별법을 활용[9,10]하여 음의 불쾌도 및 어휘평가에 대한 청취실험을 수행하고 소음원의 특성을 분석하여 불쾌도와 음질특성과의 관계를 고찰하였다.

4.1. 상대비교법에 의한 불쾌도 평가

4.1.1. 불쾌도 점수 및 신뢰도 검증

불쾌도 점수는 쌍대비교법에 의한 선택된 개인의 득점 을 음원의 행렬로 분리하여 표시하고 각각의 음원에 대한 전체 평가자의 합으로 표시하는 집계표에 의하여 결정된다. 즉, 음원의 한 쌍 (A_i, A_j)에 있어서 아래와 같이 평가 하였다면 i번음원에 대하여 j번의 음원 비교 행렬 (i,j)에서 나쁘다고 평가한 점수를 기록하고 행렬 (j,i)에는 좋다고 평가한 득점을 기록한다. 그리고 이 각각의 행렬의 득점을 종합 집계하여 전체 평가자 불쾌도 점수 행렬을 구성할 수 있다[11]. 따라서 이러한 과정으로 계산한 결과 표 6과 같이 나타났다.

평가자의 상호간에 일치성이 있는지 판단하기 위하여 유의수준 0.05의 χ^2 검증을 수행하였다. 먼저 전체 평가 인원 34명을 2명씩 한조로 고려했을 때 전체에서 일치한 조들의 수(E)는 10,064이다. 일치성 계수(u)는 $u=0.2814$ 이고, 자유도(f)가 30.68이다. 또한 95% 신뢰도로 χ^2 검정을 한 결과 $\chi^2_0 = 306.9$, $\chi^2 = 44.6$ 이므로 χ^2_0 이 χ^2 보다 크다. 따라서 전체 평가자들의 평가 의견의 일치성이 있다고 볼 수 있다. 평가자의 평가 경향은 일관성 있게 평가한 자의 수가 약 15%에 지나지 않으나 전체 평가자 간의 일치성 판정결과 평가자 사이의 의견이 일치하게 판정되어 전체 평가자의 평가 결과가 의미 있음을 뒷받침 해 준다.

표 6. 전체 평가자의 불쾌도 점수 행렬

table 6. Total annoyance score matrix for the juries.

	크레인	컴프레서	청소기	자판기	중형차	복사기	오거	프린터	Total
크레인	7	26	28	25	24	20	27	157	
컴프레서	9		28	27	29	23	23	26	165
청소기	2	1		25	21	19	14	16	98
자판기	2	5	5		15	10	9	12	58
중형차	4	1	6	16		15	3	7	52
복사기	5	6	7	20	17		7	9	71
오거	3	4	14	22	24	22		18	107
프린터	4	3	6	21	22	17	10		83

4.1.2. 음압레벨(dB(A))과 불쾌도 비교

그림 3은 8가지 환경소음원의 dB(A)크기와 주관적 평가량인 불쾌도를 비교분석한 결과이다. 평가 음원의 음압 크기는 71~73dB(A)로 음원간 유사하지만 불쾌도 차이는 뚜렷하게 나타났다. 특히 고주파대역 성분이 많은 크레인, 에어컴프레서 소음에 대한 불쾌감이 높게 나타나고, 중저주파수 성분이 많고 정상신호특성을 갖는 자판기, 자동차, 복사기 소음의 불쾌감은 상대적으로 낮게

평가되었다. 군집별 불쾌도를 비교하면 1군집 음원에 대한 불쾌감이 가장 높고, 4군집, 3군집 순으로 불쾌감이 점차 감소되고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 소음의 크기뿐만 아니라 음의 높이와 음색 등 다양한 소음 특성이 청감에 반영되었기 때문이다. 따라서 음압레벨 이외에 청감에 영향을 주는 요인의 규명과 불쾌감을 평가 할 수 있는 물리적 기준에 대한 음질요인의 연구가 필요함을 알 수 있다.

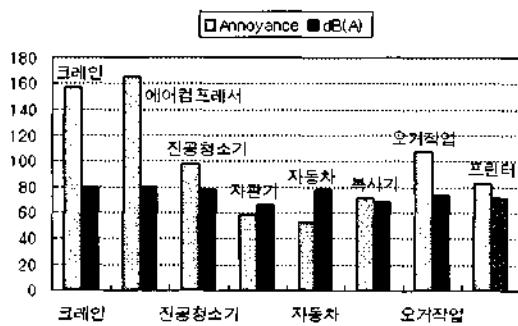


그림 3. 불쾌도 점수와 음압레벨 비교

Figure 3. comparison annoyance score and A-weighting SPL.

4.2. 형용사어의 분별법에 의한 평가

주관 평가는 3.2절의 선택된 10개 어휘에 대하여 수행하고, 평가응답을 인자분석[12] 하였다. 인자선택은 상관행렬의 특성치가 1보다 큰 인자의 개수를 선택하였으며 베리맥스 회전방법으로 해석하였다.

4.2.1. 환경소음의 인자분석

인자분석 결과 8개 환경소음원은 세 개의 어의적인 인자명으로 축약되었다. 첫 번째 인자는 '신경쓰이는, 불쾌한, 날카로운, 격렬한, 센'과 같이 거슬리거나 신경쓰이는 느낌을 나타내는 어휘 군으로 요약되었고, 두 번째 인자는 '맑은, 가벼운, 명료한'과 같은 어휘로 구성되었다. 마지막 인자는 '불규칙적인, 복잡한'으로 규칙정도와 복잡함을 표현하는 인자로 나타나고 있다. 이상 세 개의 인자는 신경쓰임, 맑은감, 정연감으로 명명 하였으며, 인자의 환경소음 설명비율은 약 64%이고 신경쓰임은 31%로 환경소음 평가에 가장 중요한 인자로 확인되었다. 각 인자와 음질 물리량의 상관도를 분석하고 상관도가 높은 물리량을 추출한 결과 인자 모두 Zwicker Loudness (sones), Kurtosis, 그리고 Tonality가 공통적으로 포함되어 있다. 따라서 위의 3개 물리량은 음질 요인을 잘 표현할 수 있는 주요 음질 물리량이라고 볼 수 있다. 위의 내용을 표 7에 요약하였다.

표 7. 환경소음의 음질인자와 주요 물리량

Table 7. Sound quality factors and main sound quality metrics.

구분	어휘쌍	인자명	주요 물리량
인자1	신경쓰이는-편안한	신경쓰임 (31%)	ZwickerLoudness, Fluctuation Strength, Kurtosis, Tonality
	불쾌한-유쾌한		
	날카로운-부드러운		
	잔잔한-격렬한		
	약한-센		
인자2	맑은-탁한	맑은감 (21%)	ZwickerLoudness, Roughness, Sharpness, Kurtosis, Tonality
	가벼운-무거운		
	명료한-옹정거리는		
인자3	불규칙적인-규칙적인	정연감 (11%)	Intelligibility, ZwickerLoudness, Kurtosis, Tonality
	단순한-복잡한		

4.2.2. 불쾌도와 음질인자의 상관성 분석

불쾌도와 음질인자 (신경쓰임, 맑은감, 정연감)의 상관관계를 분석하였다. 환경소음 평가에 가장 중요한 인자인 신경쓰임은 불쾌도와 0.513의 상관도를 나타내고 있어 비교적 높게 나타났으나, 나머지 인자들과는 매우 낮게 나타났다. 그리고 음질 인자간 상관도는 표 8과 같이 0.292이하로 매우 낮게 나타나고 있다. 따라서 음질 요인의 관계가 독립적인 것을 알 수 있다.

표 8. 불쾌도와 음질인자와의 상관관계

Table 8. Correlation coefficient of annoyance and sound quality factors.

	불쾌도	신경쓰임	맑은감	정연감
불쾌도	1	0.513	0.120	0.292
신경쓰임	0.513	1	0.237	-0.140
맑은감	0.120	0.237	1	0.091
정연감	0.292	-0.140	0.091	1

4.3. 음질요인과 물리량의 관계

본 절에서는 감성인자를 설명할 수 있는 음질 물리량을 고찰하고, 불쾌감과 음질인자와의 관계성을 분석하여 주관적 반응을 예측하기 위한 기초 연구를 수행하였다.

4.3.1. 독립된 물리량의 선택

음질 물리량은 상호 독립적 관계를 가지고 있지 않기 때문에 기여도 분석 시에 중복성에 의한 왜곡된 결과를 초래할 수 있다. 따라서 주관평가음원의 음질 물리량의 상관성을 조사하고 상호 독립된 대표적인 물리량을 추출하였다. 대표 물리량 추출방법은 주성분 분석을 사용하였다. 분석 결과는 표 9와 같다. 소음의 물리적 특성인 23개의 음질 물리량은 5개의 인자로 축약되어 Zwicker

Loudness (phons), Sharpness, Fluctuation Strength, Roughness, Tonality로 나타났다. 따라서 본 실험에 사용된 소음원은 환경소음원의 다섯 가지 음질 물리량으로 표현 가능함을 알 수 있다.

표 9. Sound quality metrics의 인자분석 결과
Table 9. Factor analysis of sound quality metrics.

	요인1	요인2	요인3	요인4	요인5
Zwicker Loudness (phons)	0.992	0.061	-0.101	0.012	0.004
A-weighted SPL	0.990	0.095	0.017	0.036	0.084
Speechband SPL	0.980	0.003	-0.010	0.000	0.190
Zwicker Loudness (sones)	0.977	0.043	-0.180	0.001	-0.063
B-weighted SPL	0.975	-0.205	0.059	-0.010	0.040
D-weighted SPL	0.965	0.213	0.097	0.111	-0.036
Pref Speech Interference	0.950	0.066	-0.235	0.056	0.170
Time Varying Loudness(phons)	0.947	-0.108	0.235	0.063	-0.162
Transient Loudness(phons)	0.940	-0.157	0.251	0.082	-0.141
Linear SPLT	0.933	-0.342	-0.065	-0.060	-0.002
Linear SPL	0.931	-0.352	-0.043	-0.061	0.009
C-weighted SPL	0.928	-0.362	0.004	-0.049	0.025
Intelligibility	-0.920	-0.243	0.235	-0.182	-0.050
Time Varying Loudness(sones)	0.919	-0.165	0.235	0.034	-0.265
Transient Loudness(sones)	0.910	-0.226	0.241	0.061	-0.238
Speech Interference	0.883	0.377	-0.227	0.136	-0.022
Transient Sharpness	-0.085	0.974	-0.074	0.054	-0.160
Sharpness	0.046	0.961	-0.136	-0.080	-0.158
Frame Kurtosis	-0.232	0.866	0.287	0.082	0.322
Fluctuation Strength	-0.029	-0.101	0.946	0.262	-0.051
Average Kurtosis	0.078	0.637	0.735	-0.143	-0.006
Roughness	0.128	0.019	0.159	0.970	-0.112
Tonality	0.032	-0.590	-0.113	-0.351	0.714

4.3.2. 음질인자 모델과 기여도분석

환경소음 주관평가로부터 얻은 불쾌도와 음질인자를 표 9에 제시한 다섯 개의 SQM 물리량으로 선형회귀분석하여 예측식을 고찰하였다. 회귀분석식은 다섯 개의 변수를 여러 가지 조합으로 구성하고 결정계수 R^2 과 조정결정계수 Ad_R^2 값을 고려하여 최적의 회귀모델을 결정하였다. 다음은 불쾌도와 음질 요인에 대한 선형회귀 예측 모델이다. 각 회귀모델의 R^2 (Ad_R^2)은 불쾌도, 신경쓰임, 밝은감 그리고 정연감이 각각 0.8(0.7),

0.8(0.6), 0.9(0.8), 0.6(0.3)로 나타났다. 정연감을 제외한 나머지 요인은 전체 변동의 80% 이상 주관적 인자를 예측할 수 있으며 각각의 예측식은 다음과 같다.

- 불쾌도=-12.7+0.1*m1+1.3*m2+2.1*m4+4.6*m5
 - 신경쓰임=-11.0+0.1*m1+1.0*m2+2.0*m4+4.3*m5
 - 밝은감=-1.5+0.1*m1-3.1*m2-14.7*m4-5.0*m5
 - 정연감=-2.4+0.1*m1-1.2*m2-1.5*m3-5.1*m5
- 여기서,
 m1 : Zwicker Loudness (phons), m2 : Sharpness
 m3 : Fluctuation strength, m4 : Roughness
 m5 : Tonality 이다.

4.3.3. 음질 물리량의 기여도

예측식과 소음원의 평균값을 바탕으로 각각의 음질 요인에 대한 음질 물리량의 기여도를 분석하였다. 그림 4는 불쾌도에 대한 음질 물리량의 기여도(%)를 나타낸 것이다. Zwicker Loudness (phons)가 기여도가 75%로 가장 높고, Sharpness, Roughness, Tonality, 순으로 나타났다. 불쾌도와 관계성이 가장 높은 신경쓰임인자는 불쾌도의 음질 물리량과 구성이 동일하고 Zwicker Loudness (phons)의 기여도가 80%로 가장 높게 나타났다. 밝은감 인자는 Zwicker Loudness (phons)의 기여도가 다른 인자들에 비해 상대적으로 적고, Roughness의 기여도가 23%로 높게 구성되어 있다. 전체적으로 음질인자의 주요 물리량은 Zwicker Loudness (phons)가 재배직임을 알 수 있다.

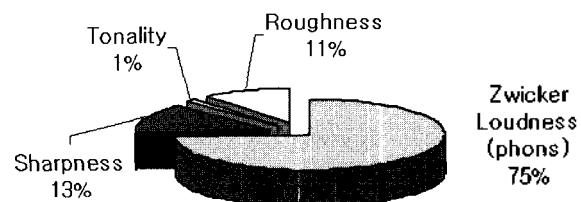


그림 4. 불쾌도에 대한 물리량 기여도

Figure 4. Correlation contribution for annoyance.

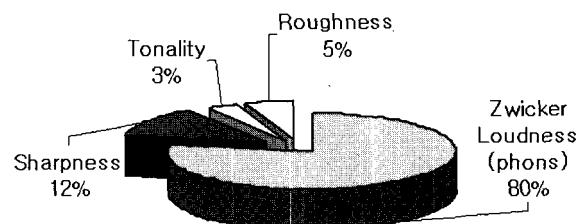


그림 5. 신경쓰임에 대한 물리량 기여도

Figure 5. Correlation contribution for stridency.

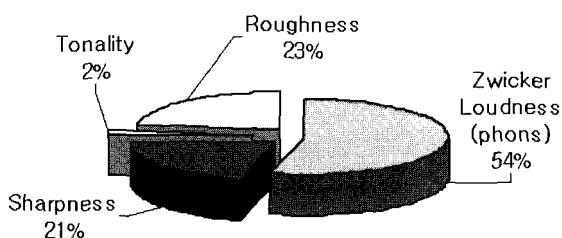


그림 6. 밝은감에 대한 물리량 기여도
Figure 6. Correlation contribution for brightness.

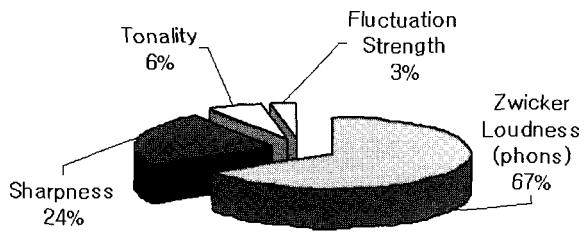


그림 7. 정연감에 대한 물리량 기여도
Figure 7. Correlation contribution for orderliness.

V. 결론

본 논문에서는 환경소음 평가를 위한 음질특성에 관하여 물리적인 파라미터와 감성적 반응에 대하여 실험적으로 분석하였다. 분석 결과 측정된 43개의 환경소음은 7개의 군집으로 분류되었으며 각각의 관련 음질 물리량은 Zwicker Loudness, Roughness, Tonality, Sharpness의 물리량과 큰 관련성이 있음을 알 수 있었다. 그리고 측정된 43개 음원의 독립적 물리량 인자는 5개 (Zwicker Loudness, Roughness, Tonality, Sharpness, Fluctuation Strength)로 축약되었다.

쌍대비교법에 의한 불쾌도 평가 결과 소음의 음향 물리량 Zwicker Loudness, Roughness, Tonality, Sharpness, Fluctuation Strength에 대하여 99% 이상의 설명력을 가지고 표현 가능함을 알 수 있었다. 그리고 형용사어의 분별법 평가 결과 3개의 독립적 형용사적 어의인자를 확인하였으며 주요인자 (제1인자 신경쓰임, 제2인자 밝은감, 제3인자 정연감)로 축약되었다.

또한 불쾌도와 어의적 제1인자 (신경쓰임)와의 관계는 음향 물리량의 구성이 유사하고 감성적 Zwicker Loudness의 기여도가 가장 높게 나타나고 있어 환경소음 평가인자로 Loudness가 매우 중요함을 알 수 있었다.

참고 문헌

1. Joseph Sataloff, Robert Thayer Sataloff, Hyman Menduke et al. Hearing loss and intermittent noise exposure. Journal of Occupational Medicine 1984 26(9) 649-656. Sep.
2. SHELDON COHEN, GARY W. EVANS et al. Physiological, Motivational, and Cognitive Effects of Aircraft Noise on Children. American Psychologist. 1980 35(3) 231-243. March.
3. S. Namba and S. Kuwano, "Psychological study on Leq as a measure of loudness of various kinds of noises", J. Acoust. Soc. Jpn. (E) 5 135-148, 1984
4. H. Fletcher, "Loudness, pitch and timbre of noise of musical tones and their relations to the intensity, the frequency and the overtone structure", J. Acoust. Soc. Am. 6 59-69, 1934.
5. J.B. Kruskal, "Nonmetric multidimensional scaling : A numerical method", Psychometrika, 29 115-129, 1964.
6. C. E. Osgood, G. Suci, and P. Tannenbaum, *The Measurement of Meaning* (University of Illinois Press, Urbana, 1957)
7. Han, M. H., "A Study on the Psychological Attributes of Noise and its Evaluation", collection of Seonam University, 565-577, 1994
8. Kim, S., W., Jang, G., S., , Jung, K., Y., Han, M. H. "A study on the classification of adjectives for psychological evaluation of sounds", The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 3(4) 361-371, 1993
9. Hur, J. J., Cho, Y., Kim, H., S., Lee, K., S., Bark, T., W., "Model Development and Analysis of the Car Interior Sound Quality", Transactions of the Korean Society for Noise and vibration Engineering, 10(2) 254-260, 2000
10. Research Committee of Sensory Evaluation, Union of Japanese Scientists and Engineers, *Sensory Evaluation Handbook*, JUSE press, 1973
11. H. A. DAVID, *The Method of Paired Comparisons* (Oxford university press, 1988)
12. Hur, D. J., etc., "A Study on Systems Approach to Improve the Sound Quality in the Vehicle Interior", Department of systems engineering Ajou University

저자 약력

• 허 덕재 (Deog-Jae Hur)

1984년 2월: 인하대학교 기계공학과 졸업 (공학사)
1986년 2월: 인하대학교 기계공학과 졸업 (공학석사)
2002년 2월: 아주대학교 시스템공학과 (공학박사)
1989년 5월~1993년 12월: 성용자동차 주임연구원
1994년 1월~1999년 10월: 고동기술연구원 책임연구원
1999년 11월~2001년 2월: 대우자동차 책임연구원
2001년 2월~현재: 고동기술연구원 제품기술연구센터
NVH&Design 팀장 수석연구원
2003년 9월~현재: 아주대학교 겸임교수

• 조 경숙 (Kyoung-Sook Jo)

2001년 2월: 조선대학교 건축공학과 졸업 (공학사)
2003년 2월: 전남대학교 건축공학과 졸업 (공학석사)
2001년 3월~2003년 8월: 전남대학교 공업기술연구소 연구원
2003년 9월~현재: 고동기술연구원 제품기술연구센터 NVH&Design팀 연구원

● 조 연 (Yoen Cho)

1981년 2월: 고려대학교 기계공학과 졸업 (공학사)
1983년 2월: 고려대학교 대학원 기계공학과 졸업 (공학석사)
1986년 8월: Wayne State University Dept of Mechanical Engineering
졸업 (공학석사)
1993년 8월: Rensselaer Polytechnic Institute Dept of Mechanical
Engineering, Aeronautical Engineering & Mechanics 졸업
(공학박사)
1994년 1월~현재: 고등기술연구원 제품기술연구센터 센터장 연구위원 (보)
2000년 3월~현재: 아주대학교 경임교수

● 황 대 선 (Dae-Sun Hwang)

2001년 2월: 금오공과대학 기계공학과 졸업 (공학사)
2003년 2월: 부산대학교 기계설계공학과 졸업 (공학석사)
2003년 9월~현재: 고등기술연구원 제품기술연구센터 NVH&Design팀 선임연구원