

음질특성을 고려한 환경소음원의 분류에 대한 연구

Classification of the Environmental Noise Sources by considering the Characteristics of the Sound Quality

황대선* · 조 연** · 허덕재** · 조정숙**

Deog Jae Hur, Dae Sun Hwang, Yeon Cho and Kyoung Sook Jo

Key Words : Environmental noise(환경소음), Estimation method(평가방법), Frequency analysis(주파수분석), Sound quality metrics(음질 매트릭스), Cluster analysis(군집분석)

ABSTRACT

Recently, the interests about noises have increased with the rapid development of our living environment. Until now the estimation methods to sounds have used the equivalent levels. The sensitivities of human beings aren't considered in these methods. It's a situation to need new estimation methods for environmental noises. They must be analyzed by the characteristics of sounds before making the noise regulations newly. In this study, the noises were measured around our living environment. And the frequency analysis, Sound Quality Metrics, the cluster analysis and so on are used to classify the environmental noises.

1. 서론

최근 일상생활 주변의 환경은 과거에 비해 빠르게 발전하고 있다. 이에 따라 거주지의 소음·진동 환경은 악화일로에 있다. 하지만 개인의 소득수준이 증가함에 따라 쾌적한 주거환경을 요구하고 있다. 지금까지의 소음에 대한 평가는 주로 관심 소음에 대한 A-weighting을 기본으로 하는 등가 소음 레벨을 주로 사용하고 있다. 하지만 이러한 평가 방법은 소음을 직접 듣고 평가하는 인간의 복합적 감성반응을 반영하는 기준으로는 부족하다. 따라서 환경소음에 대한 적절한 평가기준으로서 인간의 감성을 반영한 음질평가 기준이 필요하고, 이것을 이용한다면 다양한 소음에 대한 인간의 반응도 예측 가능할 것이다.

환경소음 음질평가는 평가방법도 중요하지만 대상소음원의 선정 및 측정 또한 매우 중요하다. 본 연구에서는 소음에 대한 새로운 평가법 개발을 위한 초기 과정으로 생활 주변에서 흔히 볼 수 있는 소음원들을 대상으로 하여

소음원의 특성을 분석하고 분류하였다. 먼저 생활 주변에서 쉽게 접할 수 있는 소음원들에 대한 측정방법을 기술하였다. 실제 생활 소음 43가지를 측정하여 주파수 분석, Sound Quality Metrics 계산, Metrics간의 상관관계를 분석하였다. 그리고 계산된 Metrics를 이용하여 군집분석을 하여 환경소음을 7개 군집으로 분류를 하였다.

2. 환경소음의 측정

2.1 환경소음의 측정법

환경소음 측정방법은 소음진동공정시험법에 측정기기, 측정조건, 측정기기의 사용 및 조작, 측정시간, 측정지점, 측정자료 분석 등이 자세히 규정되어 있다. 환경소음의 연구에서도 연구목적에 따라 차이가 있으나 대체로 이 규정을 준수하고 있다. 본 연구에서도 소음진동공정시험법에 기술된 방법을 기본으로 하여 소음원을 측정하였다.

2.2 환경소음의 측정 방법

생활 주변에서 43개의 실제 소음을 측정하였다. 생활 주변의 소음 발생 조건을 볼 때 측정 대상 소음은 여러 다른 소음에 노출된 음환경 속에 놓여 있었다. 하지만 배경소음(Background Noise)이 측정 대상 소음에 큰 영향을 주지

* 고등기술연구원

E-mail : dsfocus@iae.re.kr

Tel : (031)330-7433, Fax : (031) 330-7116

** 고등기술연구원

않는 조건하에서 측정하였다.

대상 소음원 방향으로 사람의 귀 높이를 고려하여 바닥에서 1.5M 높이를 기준으로 실외에서는 소음원 발생 기준점으로부터 5M, 10M, 20M 거리에서, 실내에서는 2.5M 거리에서 측정을 실시하였다. 측정시 실내·외 소음원에 대한 측정거리를 다르게 설정한 것은 소음원의 특성과 소음발생 환경을 고려한 것이다. 실내소음의 경우 소음발생환경이 폐쇄공간으로 경우에 따라서 직접음보다는 반사음의 영향이 크고, 음장의 영향이 커서 거리에 대한 평가의 의미가 적어 측정기준 거리를 다르게 정하였다. 그림 2.1은 환경소음 측정계략도이다. 또한 측정 장비는 표 2.1의 장비를 사용하였다. Sound Quality Head and Torso Simulator를 사용하여 사람의 귀의 특성을 고려한 Binaural 측정을 하였다. 측정대상 소음원은 표 2.2에 나타내었다.

3. 환경소음의 분석

3.1 측정 소음원의 주파수 분석

(1) 시간과 주파수에 따른 특성

측정된 시간 데이터를 이용하여 시간에 따른 주파수 분석을 실시하였다. 시간 간격은 10초, 최대주파수는 약 10 kHz, 레벨은 A-weighting을 이용하여 분석하였다. 그림 3.1과 그림 3.2는 측정거리 10M에서 대한 굴삭기에 대한 측정 전경과 스펙트럼 분석을 나타낸다. 그림 3.2에서 굴삭기 소음의 주요 성분을 살펴보면 4 kHz이내에서 약 60 dBA이내의 분포를 나타내고 있다.

동일한 방법으로 측정 소음원들을 분석하였고 결과를 요약하면 다음과 같다. 주파수의 특성은 크게 3가지 특성으로 분리된다. 먼저, 시간 변화에 따른 음원의 주요 주파수 대역의 변화가 심하게 반복되는 임팩트성 소음과 시간 변화에 따라 주파수 대역변화가 없는 정상상태의 소음으로 분류된다. 두 번째로는 저주파수 특성이 강한 소음과 고주파수 특성이 강한 소음, 마지막으로 하모닉 성분으로 순음성이 강한 소음으로 분류할 수 있다. 이처럼 3가지 특성에 따라 소음원을 5가지로 분류하였으며, 그 내용은 표 3.1과 같다.

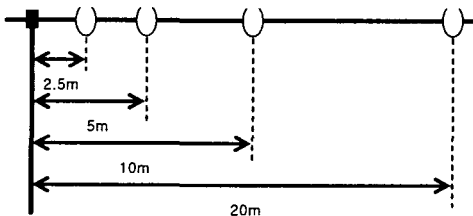


Fig 2.1 The measurement scheme of the environmental noises

Table 2.1 The list of measurement equipments

No.	Model name	Type	Brand
1	Sound Quality Head and Torso Simulator	Type 4100	B&K
2	Sound Quality Conditioning Amplifier	Type 2672	B&K
3	Data Recorder 16ch	PC216Ax	Sony
4	Sound Level Meter	Type 2236	B&K
5	Calibrator	Type 4231	B&K

Table 2.2 The characteristics of measured environmental noises

발생 환경	소 음 원	내 용
실외 소음 (측정 기준점으로부터 5M,10M,20M 측정)	건설공사장 소음	건설공사장에서 발생하는 소음원 중 민원발생이 가장 많은 항타기의 작업 소음과, 공사기간 중 비교적 소음발생 정도가 크고 장시간 사용을 요하는 대형장비와 이동장비를 기준으로 소음 측정
	공장 소음	공장작업장에서 발생하는 소음원 중, 소음원의 구분이 확실하며 배경소음이 적은 작업장을 중심으로 공장부지 경계선으로부터 실제 작업장에서 발생하는 소음 측정
	도로교통 소음	시내도로, 국도의 도로변 소음을 대상으로 차량소음이 원활하고 교통량이 많은 지역을 선정하여 일정 지점을 통과하는 동안 차량 이동소음 측정
	기 타	기타 실외 소음 측정
실내 소음 (측정 기준점으로부터 2.5M 측정)	사무실 소음	사무공간에서 발생하는 소음원 중 비교적 소음도가 큰 사무기기 및 작업 중 발생하는 소음 측정
	설비소음	실제 설치된 설비시스템 및 설비기기 가동 소음 측정
	주거소음	생활 소음원 중 발생횟수가 많고 소음도가 비교적 큰 소음원 측정
	기 타	기타 실내 소음 측정

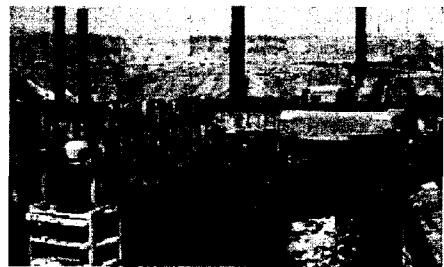


Fig.3.1 The scene of the excavator noise measurement(10M)

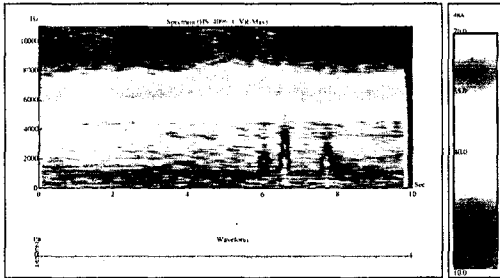


Fig. 3.2 The spectrum of the excavator noise(10M)

Table 3.1 The noise groups in terms of frequency characteristics

소음 특성	음원 종류
임팩트	파일용접, 파일오거항타, 파일항타, 철판편칭프레스, 포머, 자동차문닫기, 사무용품낙하
정상	발전기, 스캐너, 냉각탑, 에어컨, 에어컨 실외기, 세면기
저주파	덤프트럭, 불도저, 크레인, 오거소음, 굴삭기, 도색공장, 교통소음, 복사기, 컴퓨터, 팩스, 프린터, 세탁기, 청소기, 헤어드라이어
고주파	파일 그라인더, 컴프레서, 사워
하모닉	펌프카엔진음, 펌프카작동음, 그라인딩, 목재제재, 외부대형팬, 자판기, 전화기, 기계실(보일러), 좌변기

(2) binaural 특성

Dummy head 좌, 우측의 귀 안쪽에 설치된 마이크론이 대상 소음을 동시에 측정하기 때문에 Dummy head는 음원의 움직임에 그대로 반영하게 된다. 측정된 생활 음원 43개는 음원의 위치가 움직이는 것과 움직이지 않는 음원이 있다.

(a) 음원이 이동하는 경우

덤프트럭, 불도저, 도로교통소음은 측정 지점을 중심으로 한쪽 방향으로 이동하는 음원이며, 중심을 지날 때 소음 레벨이 가장 크고 중심 전, 후에서는 상대적으로 소음 레벨이 낮게 나타난다. 그리고 좌·우측 스펙트럼에서 시간 지연을 볼 수 있다.

(b) 음원이 고정되어 있으며 정상신호인 경우

음원이 고정되어 있고 시간 변화에 대해 소음 레벨이 일정한 경우로 발전기, 콘크리트 펌프카엔진, 콘크리트 펌프카작동, 크레인, 오거소음, 그라인딩, 목재제재, 에어컨, 컴프레서, 외부대형팬, 자판기, 컴퓨터, 냉각탑, 실내에어

컨, 에어컨 실외기, 청소기, 헤어드라이어 소음이 이에 해당한다. 좌, 우측의 소음 신호가 거의 같기 때문에 주파수 그래프가 동일하다.

(c) 음원이 고정되어 있으며 비정상신호인 경우

음원은 고정되어 있고 시간 변화에 따라 소음 레벨이 변하는 경우이다. 음원이 고정되어 있기 때문에 좌, 우측의 소음 신호는 같지만 시간에 따라 주파수 특성이 달라진다. 간헐적으로 일정한 소음이 발생하는 경우, 정상 신호가 발생하고 있고 충격 신호가 발생하는 경우, 충격 신호가 발생하는 경우가 있다.

3.2 Sound Quality Metrics 분석

소음 분석 소프트웨어인 MTS Sound Quality에서 제공해 주는 metrics중 일부를 사용하여 주어진 시간 데이터에서 Sound Quality Metrics(SQM)를 계산하였다. 표 3.2는 계산에 사용된 23개의 Metrics를 나타내고 있다.

(1) Metrics사이의 관계

소음원을 구성하고 있는 음질의 물리량인 SQM값들을 이용하여 서로 어떤 관계를 갖고 있는지 고찰하였다.

그림 3.3과 3.4는 동일한 측정거리에 대해서 세 개의 파라메타 Loudness(sones), SPL(dBA), Intelligibility(%)의 관계를 나타낸 것이다.

분석결과 Loudness(sones)와 SPL(dBA)은 상호 양의 선형 관계를 가지고 있고 Loudness(sones)와 Intelligibility(%)는 음의 선형 관계를 갖고 있는 것을 알 수 있다. 나머지 SQM은 소음원 사이에 양의 혹은 음의 선형 관계를 가지고 있는 것과 특별한 관계를 가지고 있지 않은 것으로 분류되었다.

상관계수를 구하여 SQM사이의 관계를 수치적으로 구하여 보았다.

Table 3.2 The list of sound quality metrics

No.	metrics	No.	metrics
1	Linear SPL	15	Transient Loudness (sones)
2	A-Weighted SPL	16	Transient Loudness (phones)
3	B-Weighted SPL	17	Time Varying Loudness (sones)
4	C-Weighted SPL	18	Time Varying Loudness (phones)
5	D-Weighted SPL	19	Roughness
6	Speech band SPL	20	Fluctuation Strength
7	Linear SPLT	21	Tonality
8	Intelligibility	22	Sharpness
9	PrefSpeech interference	23	Transient Sharpness
10	Speech interference		
11	Frame Kurtosis		
12	Average Kurtosis		
13	Zwicker Loudness(sones)		
14	Zwicker Loudness(phones)		

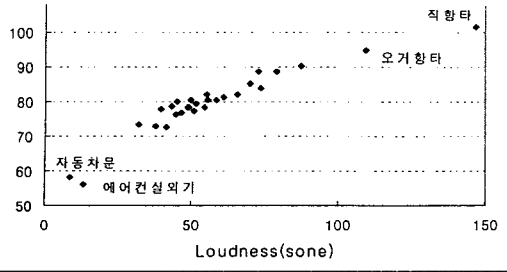


Fig. 3.3 The relation between Loudness(sone) and SPL(dBA)

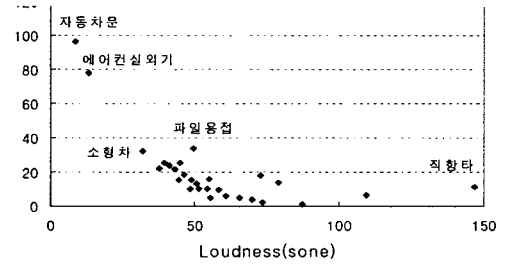


Fig. 3.4 The relation between Loudness(sone) and Intelligibility(%)

Table 3.3 The coefficients of correlation between SQM

		1	2	3	4	5
Linear SPL	1	1.0000	0.8865	0.9496	0.9953	0.8770
A-Weighted SPL	2	0.8865	1.0000	0.9789	0.9063	0.9863
B-Weighted SPL	3	0.9496	0.9789	1.0000	0.9678	0.9573
C-Weighted SPL	4	0.9953	0.9063	0.9678	1.0000	0.8883
D-Weighted SPL	5	0.8770	0.9863	0.9573	0.8883	1.0000

(2) Sound Quality Metrics의 상관관계 분석

일반적으로 두 변수에 대한 상관계수는 ±1사이의 값을 갖게 되며 상관계수의 절대값이 1에 가까울수록 상관도가 높다고 말한다. 두 변수의 상관도가 높다는 의미는 한 변수의 정보의 변동을 이용하여 다른 변수의 정보의 변동을 설명할 수 있다는 것이다. 상관도가 0.9 이상인 메트릭스를 비교하여 그 중 한가지를 제외한 나머지 메트릭스를 제거하는 방식으로 10가지 메트릭스를 선정하고, 선정된 메트릭스에 대한 결과값의 변화를 살펴보았다.

상관관계 분석은 상용 통계 소프트웨어인 SAS를 사

용하여 이루어졌으며, 분석 결과는 표 3.3과 같다. Linear SPL과 B-Weighted SPL, C-Weighted SPL과의 상관계수는 각각 $r_{24}=0.9496$, $r_{25}=0.9953$ 로 강한 양의 상관관계가 있음을 알 수 있다. 상관계수 밀의 수치는 검정통계량의 p-값으로 모든 검정통계량의 p-값이 유의수준 0.05보다 매우 작으므로 결과가 유의하다고 말할 수 있다. 또한 D-Weighted SPL과 A-Weighted SPL도 99% [$r_{28}^2=(0.9863)^2$] 이상으로 거의 일치한다고 볼 수 있다. 이와 같은 방법으로 상관관계가 매우 높은 경우 두 변수가 동일한 것으로 판단하고, 10개의 대표 변수(Linear SPL, B-weighted SPL, Intelligibility, Pref Speech Interference, Frame Kurtosis, Zwicker Loudness (Sones), Sharpness, Roughness, Fluctuation Strength, Tonality)를 선정하여 동일한 변수의 비중에 의하여 군집분석 결과에 미치는 영향을 최소화시켰다. 그리고 변수간의 신뢰도를 검증할 수 있는 ALPHA검증을 통하여 0.7009(0.7 이상이면 신뢰성이 있다)를 얻었다. 따라서 이들은 측정변수로서 적절하다고 할 수 있다.

(3) 군집분석

조사된 43개 음원들이 지니고 있는 특성의 유사성을 바탕으로 동질적인 군집(cluster)으로 구분함으로써 동일 군집내에 속해 있는 공통된 특성들을 조사하기 위하여 군집분석하였다.

군집계산방법에 사용된 형태는 평균연결법(average linkage method), 중심연결법(centroid linkage method), 최소분산법(Ward's minimum variance method)이다.

군집분석 방법에 따라 결과에 차이가 있음을 고려하여 세 가지 군집분석 결과를 보고 가장 적절한 최소분산법을 선택하였다. 표 3.4는 최소분산법으로 군집 분석한 결과이고 군집이 묶이는 순서를 나타낸 것이다. 현재 포머와 소형차, 크레인과 에어컨프레서의 거리가 0.0004로 가장 작기 때문에 먼저 묶였고, 같은 거리를 나타내는 두 개의 값이 있어 우측 Tie 란에 T가 표시된다.

Table 3.4 The cluster history by the Ward's minimum-variance method

Cluster History						
NCL	Clusters Joined		FREQ	SPRSQ	RSQ	Tie
42	포머	소형차	2	0.0004	1.00	T
41	크레인	에어컨프레서	2	0.0004	.999	
40	세면기	청소기	2	0.0007	.999	
39	외부대형팬	복사기	2	0.0008	.998	T
38	덤프트럭	펌프카엔진	2	0.0008	.997	T

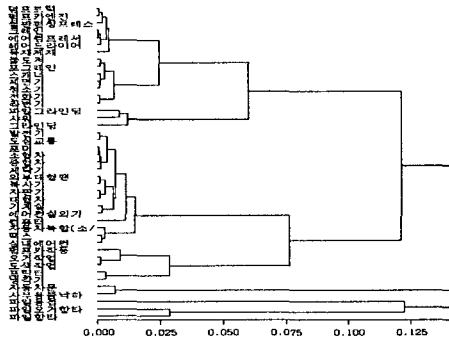


Fig 3.5 The dendrogram of the Ward's minimum-variance method

Table 3.5 The result of cluster analysis (Ward's minimum-variance method)

구분	음원
Group1	드럼트럼, 부도저, 펌프가엔진, 크레인, 포크레인, 목재제재, 에어컴프레서, 철판편칭프레스, 스캐너, 전화기, 세면기, 좌변기, 청소기, 헤어드라이어,
Group2	파일그라인딩, 그라인딩, 사위
Group3	발전기, 외부대형팬, 포머, 자판기, 소/중/대형차복합, 소형차, 중형차, 대형차, 도심교통소음, 복사기, 컴퓨터, 팩스, 기계설(보일러실), 실내에어컨, 에어컨실외기, 세탁기,
Group4	뿔프카작동, 오거작업, 도색작업, 프린터, 냉각기
Group5	자동차문닫는소리, 사무용품(볼펜)낙하음
Group6	파일용접
Group7	파일오거항타, 파일항타

그림 3.5는 표 3.4의 자료를 바탕으로 워드의 최소분산법으로 덴드로그램(dendrogram)을 그린 것이다. 이것은 평균연결법과 중심연결법의 것보다 분류가 명확한 것을 알 수 있었다. 군집간 거리를 0.05에서 나누었고 7개 집단으로 구분하였다. 7개 군집의 음원과 각 군집별 음원 특성을 표 3.5와 표 3.6에 나타내었다.

4. 결론

생활 주변에서 쉽게 접할 수 있는 환경소음을 대상으로 음질특성 측, 주파수 특성 및 Sound Quality Metrics에 의한 소음원 분류를 군집분석 방법인 평균연결법, 중심연결법, 최소분산법을 이용하여 분석한 결과 다음과 같다.

(1) 소음진동공정시험법을 기본으로 하여 43개의 생활환경소음을 측정하였다. 측정된 소음원을 주파수 분석한 결과 소음원은 시간과 주파수에 따른 특성과 binaural 특성을 갖고 있었다.

Table 3.6 The features of clusters

구분	음원 특성
군집 1	구성 음원 전반적으로 매트릭스에 대하여 고르게 분포되어 있으며, 일부음원(드럼트럼, 포크레인, 철판편칭프레스)에서 Fluctuation Strength(vacil)값이 높게 나타나고 있다. 주된 Metrics는 Zwicker Loudness(sones)이다.
군집 2	그라인딩의 Tonality 값이 일부 튀는 것을 제외하면, 고주파특성이 강하고 Fluctuation Strength(vacil), Sharpness(acum), Zwicker Loudness(sones)가 주된 Metrics이다.
군집 3	모든 매트릭스 값의 분포가 균일하며, Intelligibility(%)가 주된 Metrics이다. 음원중 포머기의 작업소음은 규칙적인 충격소음의 특성이 강하여 다소 그룹음원들과 다른 음원으로 생각되나 Fluctuation Strength(vacil)값의 차이만 조금 있을 뿐 유사한 특성을 보인다.
군집 4	Fluctuation Strength(vacil)와 Tonality 특성이 강하고, 소음의 이동이 없는 정상신호 특성의 소음원들로 구성되어 있다.
군집 5	자동차문닫는 소리와 사무용품 낙하음은 소음발생 환경 및 조건이 다른 소음을 발생시키지 않고 소음의 변화가 없는 순간음으로 강한 임팩트성 특성을 보인다. 주된 Metrics는 Intelligibility이다.
군집 6	파일용접음은 다른 음원들과 특성이 현저하게 다른 음으로 분류되었으며 Frame Kurtosis 값이 매우 높게 나타났다.
군집 7	파일오거항타와 파일항타는 비정상적인 충격소음으로 두 음원 모두 Fluctuation Strength(vacil)값이 높게 측정되었다. 두 소음의 특성이 매우 유사한 것을 알 수 있다.

(2) 측정된 소음원에 대해서 Sound Quality Metrics의 상호 상관도를 고찰하여 중복 가중을 제거하고 군집분석을 한결과 7개의 음원 군으로 축약할 수 있었다.

(3) 군집방법의 평균연결법, 중심연결법, 최소분산법중 워드의 최소분산법이 가장 잘 분류된 군집을 제공하였으며 7개의 군집에 대한 특성을 표 3.6에 요약하여 설명하였으며 음질 특성에 의하여 분류가 잘되어 있음을 알 수 있다.

후기

본 연구는 한국환경기술진흥원 차세대 핵심환경기술개발사업의 일환으로 연구된 것임.

참고문헌

- (1) 허덕재 등, 2000, "차량 실내소음의 음질 분석 및 모델화", 한국소음진동공학회지 제 10권 제 2호, pp.254~260
- (2) 2000, "소음진동공정시험법", 환경부, 소음편
- (3) 1995, "소음·진동편람", 한국소음진동공학회, 1, 3편
- (4) 2000, "Sound Quality Manual", MTS, 13장
- (5) 김충련, 1996, "SAS라는 통계상자", 데이터리서치
- (6) 류근관, 2003, "통계학", 법문사