

동일한 선형 음압 레벨의 도로교통소음의 성가심 유발 인자에 관한 연구

Auditory Perception Experiment on Attribute of Road Traffic Noise Causing Annoyance with Identical Linear Sound Pressure Level

안장호†·장서일*·고준희**·전형준***

An Jang ho , Schang Seo Il, J. H. Ko and Hyung-Jun Chun

Key Words : 성가심, Annoyance, Paired Comparison Method, Merit Value

ABSTRACT

This study investigates which sound quality indices except SPL raise annoyance response. For investigation, auditory perception experiments for road traffic noise with identical linear SPL were performed by Paired Comparison Method. The numerical results of a Paired Comparison experiment express relative preference about annoyance. So that these relative preference scores are to be correlated to sound quality indices, which are absolute, a transformation is required to go from the relative domain to an absolute and linear scale of preference. The results of the transformation will be the "merit values," which quantifies the annoyance (in this case) of the road traffic noise on a linear scale. Using multiple regression, a formula is established that can calculate predicted merit values. Furthermore, This investigation offers a method selecting sound samples that represent various sound quality indices values to use experiment.

1. 서론

교통소음으로 인하여 발생하는 사회적 비용을 감소시키거나 이를 규제하기 위해서 정량화된 기준이 필요하다. 현재 소음에 대한 규제 기준은 물리적인 측정값을 사용하여 결정되어 있지만 기존의 연구에 따르면 소음도의 분포와 거주자의 불쾌감 정도의 분포는 정확히 일치하지 않음을 알 수 있다. 적절한 기준을 설정하기 위해서는 소음도 뿐만 아니라 소음에 대한 주관적인 평가도 반영되어야 한다.

현장 조사와 설문조사를 통하여 도로 교통 소음의 %HA곡선 등 성가심에 관련된 조사가 있었다. 그러나 현지의 환경

적 요소를 배제한 소음원만을 놓고 보았을 때, 그 소음의 어떠한 특성이 성가심의 유발에 어느 정도 기여하는 지는 밝혀진 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 실험실 내의 청감 실험을 통하여, 선형 음압 레벨이 동일한 도로교통소음이 유발하는 성가심 반응과 소음 자체가 가진 물리적 특성의 비교를 통하여 소음의 어떠한 특성이 성가심에 어느 정도 기여하는지를 알아보고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 성가심(Annoyance)

본 연구에서는 성가심에 대해서 청감실험을 실시하였다. 소음연구에서 이야기하는 성가심이란, 사람들이 거슬린다고 생각하거나 믿는 원인이나 조건들과 관련된 불쾌한 감정을 말한다. 이러한 개념은 원래 학문적인 것이 아니고 우리의 일상용어로부터 기인된 것이다. 사람들은 "이것이 나를 성가시게 한다." 또는 "이것은 내게 성가신 일이다." 이런 말을 사용한다. 이런 진술로서 불쾌하고 불편한 감정을 연결시키고 있는 것이다. "성가시게 하는" 것들을 우리는 기꺼이

† 안장호, 서울시립대학교 환경공학부
E-mail : jjakssumi@empal.com
Tel : (02) 2210-2986, Fax : (02) 2210-2877

* 서울시립대학교 환경공학부

** 서울시립대학교 환경공학부

피하고자 한다. 형용사 “성가시게 하는(Annoying)”은 우리를 불편하게 만드는 사물들, 사람들, 상황들을 나타내고 있다. 이러한 일상적 의미를 성가심이라는 단어에 수용하여 입법이나 법률 그리고 협정 등에서 짜증나게 하는 환경조건들을 방해, 소멸 또는 최소화하기 위해서 사용할 수 있다.

2.2 청감실험 방법

본 연구에서 청감실험은 Jury Evaluation의 형태로 진행된다. Jury Evaluation이란 어떤 자극이 제시되면 평가원들이 자극에 대하여 주관적인 평가를 내리거나, 자극에 대하여 상대적인 비교를 하는 방법이다.

연구의 목적에 따라 Jury Evaluation을 진행하는 Method에는 여러 가지가 있다. 그 중에서 성가심에 관한 연구에서 청감실험의 방법으로는 주로 Paired Comparison Method와 Semantic Differential Method가 이용된다. Semantic Differential Method는 기술적으로 정의된 어휘로서 양극 척도를 주고 주어진 자극에 대해서 그 척도 내에서 선택하도록 하는 방법이다. 이 방법은 자극의 세기나 크기 등을 추정하는 방법이다. 그러나 자극들의 강도가 모두 유사한 경우 작은 차이를 평가원이 척도로서 판단하기가 어렵다. 반면 작은 차이를 판별해 내야하는 경우라면 Paired Comparison Method가 유용하다.

2.2.1 Paired Comparison Method

청감실험에서 Paired Comparison Method는 두 개의 소리를 들려주고 평가원이 평가 항목에 대하여 판단하고, 평가를 내리는(A혹은B를 선택하는) 방법이다. Paired Comparison Method Test에서 사실상 무엇에 대한 것이든지 평가항목이 될 수 있다. 기본적으로 선호도가 평가항목으로 이용된다. 모든 샘플이 부정적인 것이라면, 선호도는 평가항목으로 부적절하다. 대신 불쾌함과 관련된 항목에 대해서 평가를 하게 된다. Loudness나 Roughness와 같은 속성들이 평가 항목이 될 수 있다. 그러나 평가원이 소음 샘플을 듣고 평가항목에 대한 차이를 바로 구분해 낼 수 있어야 한다. 본 연구에서는 성립 가능한 모든 대응 쌍에 대해서 평가를 수행한다. t개의 샘플에 대하여 성립하는 모든 대응 쌍의 개수 n은 <수식 2.1>과 같다

$$n = \frac{t(t-1)}{2} \quad \text{<수식 2.1>}$$

따라서 1회의 실험에서 t개의 샘플을 가지고 실험을 진행하였고, 평가원은 주어진 평가 항목에 대하여 n번의 평가를 내리게 된다.

2.2.2 Bradley-Terry Model

Paired Comparison Method의 결과는 상대적인 선호도의 순위를 나타낸다. 이 상대적인 순위와 Sound Quality

Metrics와 상관관계를 비교하기 위해서는 상대적인 값을 절대적이고 선형적인 척도로 변환해야 한다. 이 과정에서 통계적 기법이 필요하게 되는데, 적절한 통계 모델이 바로 Bradley-Terry Model이다.

Bradley-Terry Model을 통하여 상대적인 순위를 선형적인 척도로 변환한 값을 Merit Value라고 한다. Forced Choice의 형태로 실험이 진행되었고, 평가원들의 응답에 동점이 없다고 가정하면, Merit Value는 <수식 2.2>를 이용하여 구할 수 있다.

$$V_i = \ln \prod_j' \frac{\alpha_{ij}}{\alpha_{ji}} \quad \text{<수식 2.2>}$$

여기서, V_i : i번째 샘플의 Merit Value

α_{ij} : i번째 샘플을 j번째 샘플과 비교하여 i번째 샘플이 선택된 횟수

\prod' : i=j인 경우를 제외한 \prod

2.3 Sound Quality Metrics

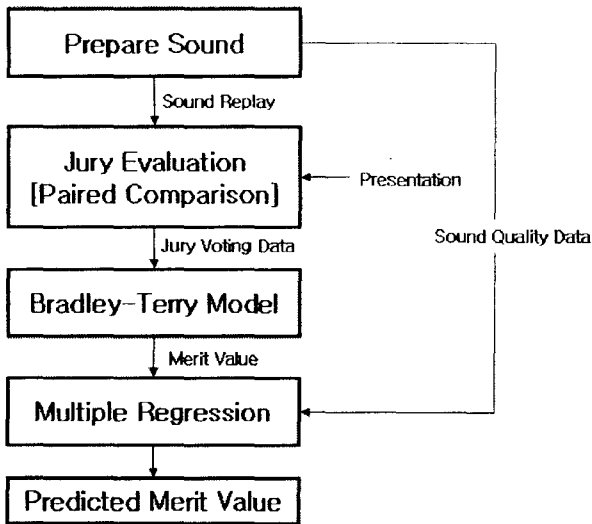
본 연구에서 Bradley-Terry Model을 이용하여 산출한 Merit Value와 다중회귀를 실시하기 위한 음질인자는 총 23가지이다. 각 음질 인자의 종류는 Table 3.1에 나타난 바와 같다.

3. 연구내용 및 방법

3.1 연구의 개요

본 연구는 교통소음의 크기 외에 교통소음의 주파수 특성과 시간적인 변동이 소음에 노출된 사람의 성가심 반응과 어떠한 관계가 있는가를 파악하는 것이다. 현장에서는 교통소음에 노출되는 거주자의 성가심 반응은 교통소음 이외의 환경적인 요소에 의해서도 그 차이가 크게 나타난다. 그러한 환경적인 요소에 관한 정보는 배제한 채, 교통소음의 음질에 관련된 특징이 성가심 반응에 어떻게 기여하는가를 연구하였다.

<Figure 3.1>은 본 연구의 과정을 간략히 묘사한 것이다.



<Figure 3.1> Flowchart of Auditory Perception Experiment

암소음의 영향이 없는 지역에서 도로교통소음을 녹음한다. 녹음 방법은 Stereo로 녹음하여 음원을 재생 할 때 최대한 원래 음을 특징을 살릴 수 있도록 한다. 채취한 음원을 실험에 사용하기 위해서 적절한 구간을 선택하여 일정한 시간 길이로 편집하고, 음질 분석 프로그램을 이용하여 편집된 음원들에서 소음의 물리적 특징에 해당하는 값들을 산출하였다. 이렇게 얻은 소음의 음질 특성들을 청감실험의 결과와 함께 분석하게 된다. 청감실험은 대응비교법(Paired Comparison Method)으로 진행되며, 평가원들(Jurors)은 충분한 설명을 통하여 실험의 목적과 방법에 대한 이해를 가지고 청감실험에 참여한다. 청감실험은 평가원에게 교통소음을 들려주고 성가심 정도에 대한 질의에 응답하도록 진행된다. 청감실험을 통하여 얻게 되는 데이터는 교통소음에 대한 평가원들의 주관적인 반응, 즉 성가심 정도이다.

이 실험을 진행하기 위해서 사용되는 장비들과 실험과정을 제어하는 데는 M사의 Jury Evaluation, Sound Quality와 H사의 HMS Remote Controller, Dummy Head Recorder 등의 소프트웨어가 이용된다.

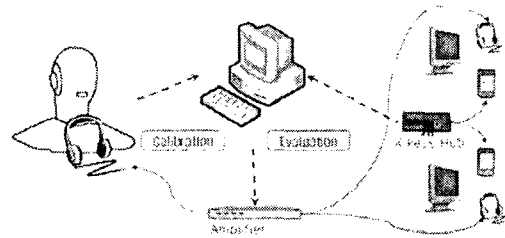
실험에 사용한 교통소음의 음질특성들과 청감실험의 결과로 얻은 평가원의 성가심 반응을 선형, 절대적인 척도로 변환한 결과의 관계를 분석한다. 통계적인 방법을 이용하여 음질특성들이 평가원의 성가심 반응에 정량적으로 얼마나 반응하는지를 파악하게 된다.

3.2 청감실험

한 회의 테스트에 평가원이 최대 4명까지 참여할 수 있도록 청감실험 장비를 준비하였다.

모니터를 통하여, 평가원들에게 청감실험을 진행하는데 필요한 시각적인 정보를 제공한다. 키패드의 조작 방법과 시기,

청감실험의 진행 순서 등에 대한 설명이 이루어진다. 평가원에게 제공되는 모니터는 2대를 사용하였다. 실험 관리자는 평가원들이 보는 화면과 실험의 순서를 제어하는 화면을 동시에 관찰하기 위해서 2대의 모니터가 필요하다.

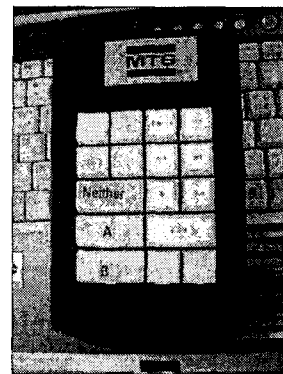


<Figure 3.2> Hardware setting for auditory perception experiment

한 회의 테스트에 평가원이 최대 4명까지 참여할 수 있도록 청감실험 장비를 준비하였다.

모니터를 통하여, 평가원들에게 청감실험을 진행하는데 필요한 시각적인 정보를 제공한다. 키패드의 조작 방법과 시기, 청감실험의 진행 순서 등에 대한 설명이 이루어진다. 평가원에게 제공되는 모니터는 2대를 사용하였다. 실험 관리자는 평가원들이 보는 화면과 실험의 순서를 제어하는 화면을 동시에 관찰하기 위해서 2대의 모니터가 필요하다.

소음 샘플은 헤드폰을 이용하여 평가원에게 제시한다. 사운드카드에 Amplifier를 연결하여 최대 5개의 헤드폰으로 같은 소리를 동시에 들을 수 있도록 한다.



<Figure 3.3> Key pad : Hardware for acquire response from juror

키패드는 실험에서 평가원 개인당 한 개씩 배정된다. 키패드 허브를 이용하여 4개의 키패드를 PC에 연결한다.

3.3 배경소음

본 연구를 위한 청감실험에서 가장 큰 배경소음원은 컴퓨터 팬 소음이었다. 컴퓨터 팬 소음은 평가원의 위치에서 측정된 값이 약 35dBA로 나타났다. 컴퓨터 본체를 내부에 흡음재를 채운 스티로폼 상자에 넣어서 측정된 결과 팬 소음은

약 3dB 감소하였다. 평가원의 위치에서 소음도는 컴퓨터 가동했을 때 약 30dBA로 나타났다. 이 정도의 소음은 실제 실험에 사용되는 소음원의 소음 레벨과 차이가 10dB 이상이었다. 따라서 배경 소음의 영향은 무시할 수 있다고 판단된다.

3.4 실내 환경

청감실험실은 평가원들에게 편안하고 거부감이 느껴지지 않아야 한다. 내부는 “침묵 기술”과는 반대의 느낌으로서 자연스럽게 보이는 것이 좋다. 가능한 실험과 관련된 장비 이외에는 청감실험 장소에 두지 않도록 하여 평가원의 주의를 산만하게 하는 요소를 줄였다. 헤드폰을 사용하는 것도 스피커의 이용에 비하여 주의 집중에 더 효과적이다.

3.5 환기, 온도 및 습도

실험이 진행된 장소는 반 무향실의 조건이지만, 온도나 습도를 조절하기 위한 공조 시설은 갖추어지지 않은 곳이다. 이 때문에, 실험 시작 후 평가원들이 약 15분 정도에 기분이 답답하다는 반응을 보이기 시작하기 때문에, 실험을 시작하고 15분이 지난 후에 휴식 및 환기를 하였다.

3.6 평가원

청감실험의 과정 중에서, 평가를 수행하기 전에 실험의 과정과 목적, 그리고 키패드의 조작 방법에 대해서 충분히 설명하여 실험을 원활하게 진행할 수 있도록 충분히 설명하였다. 청감실험을 완료한 후에 평가원의 평가 데이터를 이용하여 일관성과 반복성을 검사하여 신뢰도를 확인하였다. 일관성이나 반복성 두 가지 중에 한 가지라도 기준을 만족하지 못하는 데이터는 분석과정에서 제외되었다.

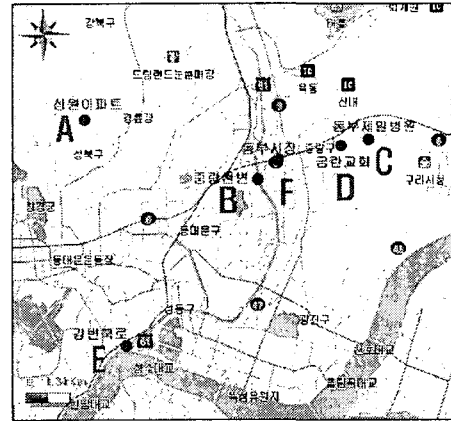
3.7 소음 샘플

대상음원은 통행량이 많고 차량의 속도가 높은 도로의 소음을 이용한다. 이러한 도로의 소음은 대상 소음의 레벨이 높아서 소음에 노출된 인구에 대해서 배경소음보다 비교적 큰 영향을 미치기 때문이다. 그리고 원음에 가까운 Sample을 얻기 위해서 옥외에서 녹음을 실시하였다. 녹음은 서울 시내 6 지점에서 실시하였다.

도로교통소음을 녹음하여 얻은 데이터를 실험에 사용할 샘플로 사용하기 위해서 일부 구간을 선택해야 한다. 6개 지점에서 녹음한 데이터에서 50개의 샘플 구간을 정하고, Linear SPL을 55dB로 조절하여 50개의 샘플을 얻었다. 이 50개의 샘플을 청감실험에 모두 사용할 수 없기 때문에 10개를 선택하였다. 샘플 구간을 정하고, 그 중에서 샘플을 선택하기 위하여 Sound Quality 소프트웨어를 이용하였으며, 방법은 다음과 같다.

실험을 위한 소음 샘플의 길이는 8초로 한다. 일반적으로

정상소음을 샘플로 사용하는 실험에서는 샘플의 길이를 3초에서 5초 사이로 정한다. 그러나 도로교통소음의 경우 시간적인 변화로 인하여 정상소음과는 거리가 멀다. 또한 5초 이내의 길이를 가진 소음 샘플을 청취함으로써, 한 개의 샘플에서 “성가심”을 느끼고 판단하기가 어렵다. 한 개의 소음 샘플에 도로교통소음으로 발생하는 한 가지 이벤트를 포함하기 위해서 8초의 길이가 적당하다고 판단되었다.



<Figure 3.4> The point for sound sample recording

실험을 위한 소음 샘플의 길이는 8초로 한다. 일반적으로 정상소음을 샘플로 사용하는 실험에서는 샘플의 길이를 3초에서 5초 사이로 정한다. 그러나 도로교통소음의 경우 시간적인 변화로 인하여 정상소음과는 거리가 멀다. 또한 5초 이내의 길이를 가진 소음 샘플을 청취함으로써, 한 개의 샘플에서 “성가심”을 느끼고 판단하기가 어렵다. 한 개의 소음 샘플에 도로교통소음으로 발생하는 한 가지 이벤트를 포함하기 위해서 8초의 길이가 적당하다고 판단되었다.

6개 지점에서 녹음한 데이터를 전 구간을 직접 들어보면서 샘플로 사용할 구간을 정한다. 구간으로 정하는 기준은 길이 8초의 구간에 한 가지의 소음 이벤트를 포함하도록 하였다. 예를 들면 대형차량이 통과하는 소음을 포함하는 구간, 자동차의 배기음이 두드러지는 구간, 경적소음이 포함된 구간 등이 있다.

두드러지는 소음 이벤트가 있는 구간을 선택하여 50개의 샘플을 얻었다. Sound Quality 소프트웨어를 이용하여 이렇게 얻은 샘플의 Linear SPL을 55dB로 조절하였다. 동시에 음질을 나타내는 23가지 Index들에 대하여 계산을 수행하였다. Table 3.1은 하나의 소음 샘플을 23가지 Index에 대한 계산한 결과이다.

청감실험의 시간이 길어지면 평가원의 집중력이 저하되어 정확한 결과를 얻을 수가 없다. 따라서 청감실험의 시간을 30분 내외로 한정하고, No Tie(Forced Choice), Balanced Test의 조건으로 실험을 진행한다면, 실험에 사용할 적절한 샘플의 개수는 10개이다. 앞서 얻은 50개의 샘플

플로부터 실험에 사용할 샘플 10개를 선별하기 위한 기준을 다음과 같이 정하였다.

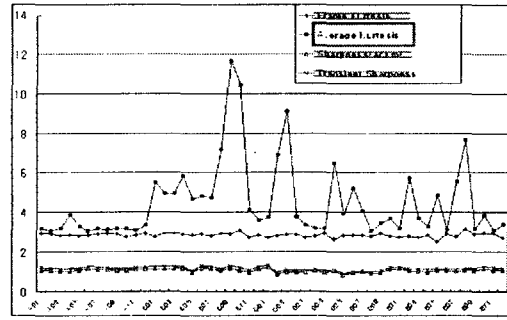
50개의 샘플의 각 Index에 대한 값을 그래프로 나타낸다. 이 그래프들을 살펴보면, 값들이 모든 샘플에 대해서 그 최대값과 최소값 사이의 변동이 없는 Index가 있는 반면, 최대값과 최소값 사이에 그 값의 분포가 다양한 Index가 있다. 값의 분포가 다양한 Index 들을 샘플을 선별하기 위한 기준으로 사용한다.

Metrics	Units	Left	Right	Avg
Linear SPL	dB	55	55	55
A-weighted SPL	dBA	46.9	48.2	47.5
B-weighted SPL	dB	50.7	51.2	51
C-weighted SPL	dB	54.2	54.3	54.3
D-weighted SPL	dB	51.8	53.8	52.8
Speechband SPL	dB	44.8	45.7	45.3
Linear SPLT	dB	55.1	55.2	55.1
Intelligibility	%	98.5	97	97.8
Prof Speech Interference	dB	40.1	40.4	40.3
Speech Interference	dB	35.6	35.9	35.8
Frame Kurtosis		2.833	2.857	2.845
Average Kurtosis		5.058	5.385	5.221
Zwicker Loudness (Sones)	sone	5.9	6.1	6
Zwicker Loudness (Phons)	phon	65.6	66.2	65.9
Sharpness	acum	0.959	0.994	0.976
Transient Loudness (Sones)	sone	8.3	10.1	9.2
Transient Loudness (Phons)	phon	70.4	73.3	71.8
Transient Sharpness	acum	1.01	1.036	1.023
Time Varying Loudness (Sones)	sone	9	11.1	10.1
Time Varying Loudness (Phons)	phon	71.8	74.7	73.3
Roughness	asper	0.254	0.261	0.257
Fluctuation Strength	vacil	0.199	0.207	0.203
Tonality		0.134	0.13	0.132

<Table 3.1> Sound quality metrics of sound sample.

Table 3.2의 Index들의 값을 기준으로 샘플을 선별하는 방법을 간단한 예를 들어 설명하면 다음의 Figure 3.6과 같다. 그리고 그 순서는 [1]에서 [9]의 절차에 따른다.

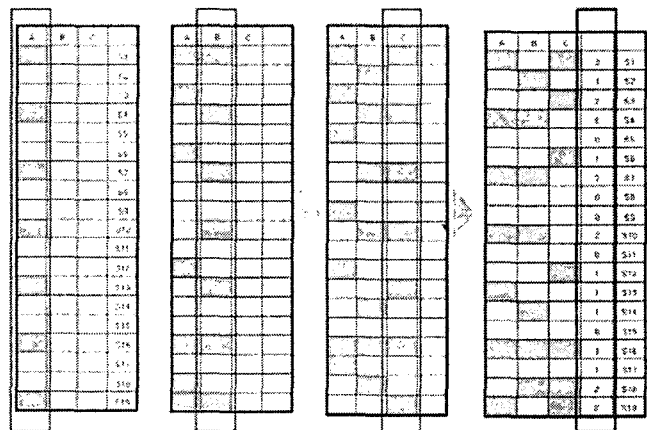
Figure 3.5는 값의 편차가 평탄한 Index와 값의 변동이 다양한 Index를 예로서 함께 표현한 것이다. 이러한 방법으로 다음 11개의 Index를 선택하였다. 선택된 Index들은 Table 3.2와 같다. 이 Index들을 기준으로 50개의 샘플에서 10개의 샘플을 선별하였다.



<Figure 3.5> Selecting sound quality indices for establish a criterion.

A-Weighted SPL	B-Weighted SPL
D-Weighted SPL	Speech Band SPL
Speech Interference	Zwicker Loudness(Phons)
Roughness	Fluctuation Strength
C-Weighted SPL	Linear SPLT
Zwicker Loudness(Sones)	

<Table 3.2> Selected sound quality indices.



<Figure 3.6> Sample selection algorithm.

- [1] Index의 값을 표로 정리한다.
- [2] 첫 번째 Index에 대해서 내림차순으로 전체 데이터를 정렬한다.
- [3] 첫 번째 Index의 값을 최대값과 최소값을 포함하여 등 간격으로 데이터를 선택한다.
- [4] 두 번째 Index에 대해서 내림차순으로 전체 데이터를 정렬한다.
- [5] 두 번째 Index의 값을 최대값과 최소값을 포함하여 등 간격으로 데이터를 선택한다.
- [6] 모든 Index에 대해서 이와 같은 작업을 반복한다.
- [7] 데이터를 원래의 순서대로 정렬한다.
- [8] 각 샘플을 선택된 Index의 개수에 대하여 내림차순으로 정렬한다.

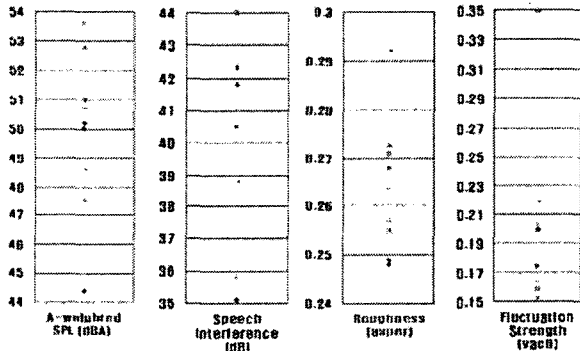
[9] 상위 10개의 샘플을 선택한다.

이와 같은 방법으로 샘플을 선택한 결과는 Figure 3.7과 같다.

	50.2	53.0	49.5	55.8	43.8	7.2	55.5	7.8	8.7	0.248	0.2	9
	53.8	53.6	53	55.6	48	7.8	60.6	6.6	9.4	0.271	0.159	8
	52.8	52.7	52.1	57.2	42.4	8.9	61.9	8.2	8.8	0.275	0.35	8
	50.2	52.8	51.7	55.5	49.8	8.1	70.2	8.9	10.1	0.257	0.164	7
	51	51.7	50.7	55.1	42.3	9.4	72.3	7.4	8.3	0.255	0.150	7
	50	50.9	48.3	55.6	40.5	8.5	67.7	8.6	7.5	0.268	0.174	7
	47.5	51	45.3	55.1	35.8	6	65.9	9.2	10.1	0.257	0.203	6
	48.8	51.2	47.8	55.2	38.8	8.6	67.2	8.3	9.2	0.299	0.218	6
	50.7	51.3	50.1	55.5	41	6.4	68.6	7	7.9	0.264	0.137	6
	44.4	45.5	42.7	50.8	36.1	4.3	62.8	4.7	5.3	0.249	0.159	6
50.6	50.2	51	47.7	53.3	40.1	7.1	64.9	8	9.1	0.288	0.162	5
AC	51.1	50.8	51.4	53.9	41	7.7	58.4	7.6	8.6	0.259	0.15	5
50.6	47.8	47.3	47.3	47.3	47.3	8.9	65.3	8.1	8.6	0.42	0.118	5
50.6	51.1	49.6	47.1	50.8	38.3	8.3	68.8	7.7	7.7	0.428	0.271	5

<Figure 3.7> Selected sound sample

선택된 샘플에 대하여 Index의 값의 분포를 살펴보면 Figure 3.8과 같다.



<Figure 3.8> Distribution of Sound Quality Metric Values

선택된 소음 샘플에 대한 음질 Index의 값들을 최대값과 최소값의 범위에서 나타낸 그래프들 가운데 일부이다. 값의 범위가 다른 단위임에도 샘플들의 값이 최대값과 최소값 사이에서 다양하게 분포함을 알 수 있다. 따라서 이러한 방법으로 선택된 10개의 도로교통소음 샘플이 각 음질 Index들에 대해서 다양한 값을 나타낼 수 있다고 판단된다.

4. 연구 결과 및 결론

4.1 청감실험 결과

총 52명의 평가원에 대하여 청감실험을 실시한 결과를 Bradley-Terry 모델을 통하여 Merit Value로 환산한 결과

는 다음과 같다. 최소 -3에서 최대 3의 범위로 정규화 하였다.

	Not Normalized	Normalized to range
D_09_55dB.wav	16.254	3.000
D_06_55dB.wav	13.863	2.675
B_03_55dB.wav	9.386	2.067
A_05_55dB.wav	7.728	1.842
A_07_55dB.wav	5.613	1.554
E_10_55dB.wav	0.960	0.922
E_03_55dB.wav	-3.737	0.284
A_11_55dB.wav	-5.294	0.073
E_12_55dB.wav	-16.863	-1.499
E_05_55dB.wav	-27.910	-3.000

<Table 4.1> Measured merit value : Result of auditory perception experiment.

4.2 청감실험 결과와 음질 Index의 상관성 비교

다중 회귀 분석 결과를 토대로 음질 인덱스를 선택한 결과는 다음과 같다. Transient Loudness (Phons) (phon)가 가장 높은 F값을 가지기 때문에 첫 번째 변수로 결정되었다. 두 번째 회귀 분석 결과에서 Fluctuation Strength (vacil)가 $t^2(x_i) > F$ Threshold의 조건을 만족하는 인덱스 중에서 가장 큰 $t^2(x_i)$ 를 갖는다. 세 번째 회귀분석 결과에서 Average Kurtosis가 $t^2(x_i) > F$ Threshold의 조건을 만족하는 인덱스 중에서 가장 큰 $t^2(x_i)$ 를 갖는다. 네 번째 회귀 분석 결과에서 Tonality가 $t^2(x_i) > F$ Threshold의 조건을 만족하는 인덱스 중에서 가장 큰 $t^2(x_i)$ 를 갖는다. 이러한 결과를 바탕으로 다음과 같은 모델 식을 얻을 수 있다.

$$Merit = 0.619 \times TL + 40.206 \times F - 0.594AK - 5.272 \times T - 47.153$$

<수식 4.1>

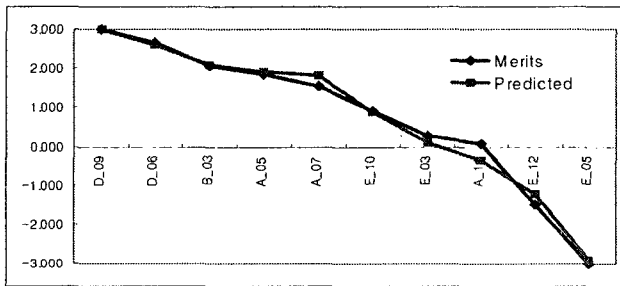
여기서, TL : Transient Loudness
 F : Fluctuation Strength
 AK : Average Kurtosis
 T : Tonality

청감실험의 결과와 위에서 얻은 모델을 통하여 얻은 값을 표로 비교하면 Table 4.2와 같다.

샘플	Measured	Predicted
D 09	3.000	3.000
D 06	2.738	2.675
B 03	2.085	2.067
A 05	2.016	1.842
A 07	1.893	1.554
E 10	1.100	0.992
E 03	0.427	0.284
A 11	0.200	0.073
E 12	-1.530	-1.499
E 05	-3.000	-3.000

<Table 4.2> Measured and predicted merit values :
Result of multiple regression.

그래프를 이용하여 비교하면 r^2 가 0.988로서 1에 매우 근사함을 알 수 있다.



<Figure 4.1> Measured and predicted merit values :
Result of multiple regression analysis.

4.2 연구 결과

청감실험 결과와 음질 index들의 상관관계를 분석한 결과에서 알 수 있듯이, 음압레벨이 동일한 도로교통소음의 음질 인덱스 가운데 성가심 반응에 주로 영향을 미치는 음질 인덱스는 Transient Loudness, Fluctuation Strength, Average Kurtosis, Tonality로 나타났다.

이 4가지 음질 Index로 구성된 <수식 4.1>을 이용하여 음압레벨이 도로교통소음에 대한 성가심 반응을 예측할 수 있다.

모델 식에서 Transient Loudness와 Fluctuation Strength가 증가함에 따라 성가심 반응이 증가하는 것으로 나타났다. 반대로 Average Kurtosis와 Tonality가 증가함에 따라 성가심 반응의 정도는 감소하는 것을 알 수 있다.

소음과 성가심 반응의 관계에 대한 기존의 문헌들을 살펴보면, 비록 도로교통소음에 대한 연구는 아닐지라도 성가심 반응에 크게 관여하는 소음의 음질인자들로서는 Sharpness, Fluctuation Strength, Roughness, Loudness라고 말하고 있다. 그리고 도로교통소음에 대한 유사연구 사례를 살펴보

면 도로교통소음에서 성가심 반응에 크게 관여하는 음질인자들이 Linear SPL, Zwicker Loudness, Tonality, Average Kurtosis, Roughness, Fluctuation Strength로 나타나 있다. 이러한 연구 사례와 본 연구의 결과를 비교하였을 때, Tonality에 대하여 주목할 만한 차이가 나타났다. 청감실험에 이용된 소음 샘플들에 대한 Tonality의 값들에는 큰 차이가 없다고 할 수 있으나, Tonality가 증가함에 따라 기존의 연구에서는 성가심 반응이 따라서 증가하고 있고 반대로 본 연구 결과에서는 성가심 반응이 감소하는 차이가 있다.

참 고 문 헌

- (1) 환경부, 2003, "환경통계연감", 환경부, p.564
- (2) August Schick, 이나경 역, 1999, 소음연구에서 Annoyance의 개념, p. 13. ((한글 번역본))
- (3) Norm Otto, Scott Amman, Chris Eaton, Scott Lake, 2001, "Guidelines for Jury Evaluation of Automotive Sounds", Sound And Vibration.
- (4) H. A. David, 1963, The Method of Paired Comparison, CHARLES GRIFFIN & COMPANY LTD.
- (5) Beranek L. L., Criteria For Noise And Vibration In Communities, Buildings And Vehicles In Noise And Vibration Control, revised edition, McGraw-Hill Inc., 1988.
- (5) Hassal J., Zaveri K., Acoustic Noise Measurements, Bruel & Kjaer, DK2850 Naerum, Denmark, 1988.
- (6) Hassal J., Zaveri K., Acoustic Noise Measurements, Bruel & Kjaer, DK2850 Naerum, Denmark, 1988.
- (7) Zwicker, E., Psychoakoustik, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1982.
- (8) Aures W., Berechnungsverfahren fur den Wohlklang beliebiger Schallsignale, ein Beitrag zur gehurbezogenen Schallanalyse, Dissertation, Munich University, 1984.
- (9) Vogel A., "ein gemeinsames Funktionsschema zur Beschreibung der Lautheit und der Rauigkeit" Biol. Cybernetics 18,31-40 (1975).
- (10) Zwicker E., "Procedure for Calculating Loudness of Temporally Variable Sounds" Journal of Acoustical Society of America, Vol. 62 No. 3, Sept. 1977, pp 675-682.
- (11) Zwicker E., "Dependence of Post-masking on

Masker Duration and Its Relation to Temporal Effects in Loudness" Journal of Acoustical Society of America, 75(1) January 1984.

(12) Zwicker E. and Fastl H., Psychoacoustics: Facts and Models, Springer-Verlag, 1990.

(13) Aures W., Ein Berechnungsverfahren der Rauhigkeit, Acoustica 58, pp 268-281 (1985).

(14) U. Widmann, R. Lippold, H. Fastl. A Computer Program Simulating Post-Masking For Application In Sound analysis Systems, Proc. Noise-Con '98, pp.451-456 (1998).

(15) Terhardt E., Algorithm for Extraction of Pitch and Pitch Saliency from Complex Tonal Signals, Journal of Acoustical Society of America, 71(3), pp. 679-688 (1982).