

교통소음의 노출시간에 따른 주관반응 평가지 음원 및 전달 특성의 효과 분석

Effect of the Properties of Sound Source and Transmission for the Evaluation of Subjective Response by the Exposure Time of Transportation Noise

김 선 우* · 김 원 식* · 송 국 곤* · 강 종 구* · 박 현 구†

Sun-Woo Kim, Won Sik Kim, Guk Gon Song, Jong Ku Kang and Hyeon Ku Park

(2011년 12월 23일 접수 ; 2012년 3월 6일 심사완료)

Key Words : Transportation Noise(교통소음), Exposure Time(노출시간), Subjective Response(주관반응)

ABSTRACT

Evaluation on the environmental noise is carried out by surveying subjective response of residents with physical measurement of noise during long period in field. Particularly field survey is used to make regulations from the analysis on how many people are annoyed for specific noise level, and laboratory test used to analyze the relationship between physical parameters of noise and subjective responses. In the laboratory controlling the variables is easy but the results could be biased because the condition in room would be different with field. Most of all noise exposure time is considered to be different with real situation, and this study aimed to evaluate the subjective response by exposure time of transportation noise, by applying three kinds of variable how much they give effects on the annoyance as the exposure time is operating condition, windows type and sound level. As a result there was somewhat difference between operating type and annoyance, which is caused by the sound characteristics operated in different condition. However the window type didn't give much effect to the annoyance as much as sound type. This means that the subjective response could give similar result by exposure time even for different window types. Most of all, the main factor affecting subjective response is considered to be the sound level and the exposure time.

1. 서 론

주거 지역에는 사람들의 생활에 영향을 미치는 수많은 환경소음이 있다. 환경소음은 발생 및 전달 특성으로 볼 때, 내부 소음과 외부 소음으로 구분할

수 있다. 외부 소음은 주거 공간의 외부에서 발생된 소음으로서 이들 소음이 실내로 전달됨으로써 사람들의 생활에 영향을 끼치게 된다. 교통소음은 이러한 소음들 중 주거환경에 영향을 미치는 가장 신경 쓰이는 소음이다⁽¹⁾. 교통소음은 사람들의 대화를 방해하며, 전화통화, TV 시청을 방해할 뿐만 아니라, 건강에까지 영향을 미치기 때문이다⁽²⁻⁴⁾. 교통수단은 인간의 생활과 불가분의 관계에 있기 때문에 사회가 발전할수록 교통소음은 사람들의 생활에 더욱 더 큰 영향을 미치게 된다. 많은 연구들이 교통소음

† 교신저자; 정회원, 한양대학교 친환경건축연구센터
E-mail : soundpark@cricmail.net
Tel : (031)400-3741, Fax : (031)400-7118

* 정회원, 전남대학교 건축학부

의 피해를 계산하기 위해 수행되어 오고 있으며, 물리적 특성과 주관반응의 관계 분석을 통해 이루어진다. 그러나 교통소음은 발생범위가 광범위하고, 특성 또한 다양하게 나타나기 때문에 교통소음과 주민의 피해에 대한 명확한 결론을 도출하기 쉽지 않을 뿐만 아니라, 주관반응을 정확하게 평가하기 위해서는 지역적인 범위와 조사의 기간 등 많은 어려움을 내포하고 있다.

교통소음은 도로교통소음을 비롯하여, 철도 운행으로 인한 소음, 항공기 소음 등으로 대별할 수 있으며, 이들 소음원들은 발생 특성이 일정하지 않고, 운항 방법에 따라 다양한 물리적인 특성을 나타내게 된다. 도로교통소음은 자동차의 종류, 대수, 자동차의 연료, 연식, 도로조건, 속도, 주행방법 등에 따라 물리적 특성이 달라진다. 철도소음 또한 열차의 종류에 따라 매우 다른 소리를 발생하며, 운행 속도 및 도심지나 개활지 등의 주변 조건에 따라 소음의 발생 특성이 다르게 나타난다. 항공기소음 또한 이륙시와 착륙시 발생 특성이 다르며, 전투기와 민항기는 현저하게 다른 차이를 나타낸다. 무엇보다 이들 소음이 복합적으로 발생하는 경우에는 물리적인 평가 방법이 없으며, 소음에 대한 거주민의 피해 정도를 유추하는 객관적인 방법조차 마련되지 않고 있어 소음 저감 및 분쟁 발생시 대처 방법에 대한 어려움이 있다.

교통소음과 주거환경의 밀접한 관련성으로 인해, 우리나라 건설교통부(현 국토해양부)는 공동주택 건설지점의 소음도에 대한 측정기준을 고시하였으며, 2008년 1월 1일부터 시행하게 되었다. 고시된 내용에는 ‘주택건설기준 등에 관한 규정’ 제9조에서 정하는 기준(65데시벨 미만)의 만족 여부를 확인을 위한 외부소음의 측정기준과 방법 등을 규정하고 있다. 여기에서 외부소음은 철도 및 도로교통소음을 의미하며, 항공기소음에 대한 기준은 규정되어 있지 않다. 특히 앞에서 언급한 바와 같이 교통 소음이 복합적으로 발생할 경우 더 큰 피해가 예상됨에도 불구하고 이에 대한 측정 혹은 평가방법이 규정되어 있지 않아 소음이 복합되어 발생하는 경우 인과관계를 규명할 명확한 방법이 없다.

환경소음에 대한 평가는 소음이 발생하는 현장에서 거주민들을 대상으로 오랜 기간 동안 물리적 특성과 더불어 주관적인 반응을 조사해야 한다. 기간이

길어짐에 따라 소요되는 시간과 비용은 필수적으로 동반되며 제어해야 하는 수많은 변수들이 있다. 이와 같이 현장 조사를 바탕으로 T. Schultz⁽⁵⁾는 오랜 기간의 조사를 바탕으로 환경소음에 대한 사회조사 방법을 연구하였으며, 측정값과 주관반응 조사결과를 비교하였다. J. Fields 등⁽⁶⁾은 한정된 특정 기간 동안 철도소음과 항공기소음, 도로교통소음에 대한 신경쓰임 정도를 비교하였다. 특히 Miedema 등⁽⁷⁾은 복합 교통소음에 대한 주관반응 연구를 수행하였다. 이와 같은 교통소음에 대한 현장조사는 거주민에게 직접적으로 소음에 대한 반응을 조사하는 것으로서 실제적인 평가가 될 수 있다. 그러나 현장 조사는 내포된 많은 변수 즉, 기후 조건, 심리상태, 작업의 종류, 거주 기간 등에 의해 직·간접적으로 영향을 받게 된다.

현장 조사의 약점을 보완할 수 있는 대안으로서 실험실에서의 청취실험이 있다. 실험실 실험은 현장 조사에서 갖는 다양한 변수를 제어할 수 있는 장점이 있다. 또한 단기간에 음원과 주관반응과의 관계를 쉽게 설명할 수 있으며, 다양한 평가방법을 실험할 수 있다. 그러나 실험실 실험에서 나타날 수 있는 가장 큰 문제점은 현실성이 결여될 수 있다는 점이다. 실험실에서는 대체적으로 음원 자체에 집중하여 청취실험을 하는 경향이 있다. 특히 음원에 노출되는 시간은 현장 조사와 대비되는 가장 큰 차이라 할 수 있다. 실험실 실험에서 제한된 길이의 음원에 대한 평가는 실제 현장에서의 음원에 대한 평가와 다르게 나타날 수 있다. 허덕재 등⁽⁸⁾은 도로교통소음을 대상으로 소음의 노출시간에 따른 주관반응을 조사하였으며, 그 결과 노출시간이 불쾌도를 증가시키는 주요 원인이 될 수 있음을 주장하였다. 김선우 등⁽⁹⁾은 실험실 실험을 통해 교통소음의 노출시간에 대한 주관반응을 비교하였으며, 노출시간에 따라 신경쓰임의 정도가 달라짐을 확인하였다. 그러나 교통음원은 다양한 특성으로 발생되며, 발생된 소음은 창을 투과함으로써 실내로 전달되는데, 이를 반영하여 음원의 특성과 전달방법의 폭을 보다 넓혀 이에 대한 추가적인 검증은 필요로 하였다.

교통소음의 종류와 주관반응에 관한 연구는 그동안 많은 연구자들에 의해 수행되었으며, 소위 ‘railway bonus’는 도로교통소음과 철도소음의 차이를 보여주는 것이다. H. Fastl 등⁽¹⁰⁾은 라우드니스 평가를

통한 실험에서 철도소음은 5 dB(A) 더 낮은 도로교통소음과 동일한 크기로 인식함을 발견하였다. 다른 일부의 연구들은 교통소음의 종류별 관계가 일정하게 나타나지 않으며 음원의 주파수 특성을 비롯하여 시간특성, 소음에 대한 주관적 태도 등과 같은 이유로 인해 소음에 대한 반응의 차이가 발생하고 있음을 나타낸다^(2,12). 그러나 이들 연구는 노출시간을 고려하지 않고 있으며, 오직 음원과 주관반응과의 관계만을 다루고 있다. 또한 B. Coensel⁽¹²⁾은 고속철도소음에 대한 어노이언스를 평가하였으며, 실제 환경과 최대한 유사한 조건을 만들기 위해 실험 장소, 음원 및 노출시간에 대한 실험계획을 수립하였다. 그 결과 노출시간이 길게 되어 음원과 배경소음이 동시에 존재하는 경우에 비해 하나의 음원만을 들었을 때 어노이언스가 높게 나타남을 발견하였다. 그러나 이는 단순히 음원의 제공방법에 따른 차이 여부에만 관심이 있으며, 노출시간과의 관련성은 다루고 있지 않다.

Hiramatsu 등⁽¹³⁾은 화이트노이즈를 음원으로 사용하여 길이(duration)를 30 ms부터 90초까지 12개에 대한 어노이언스를 평가하였으며, 그 결과 어노이언스가 음원의 길이에 비례하여 증가함을 확인하였다. Zimmer 등⁽¹⁴⁾도 14초와 10분으로 구성된 음원의 길이에 따른 어노이언스를 살펴본 결과 모든 음원에 대해 길이가 긴 음원에 대한 어노이언스가 증가하고 있음을 확인하였다. 그러나 이들이 사용한 음원은 교통소음이 아니며, 그에 따라 음원의 길이는 비교적 짧게 구성되었다. 한편 Paulsen⁽¹⁵⁾은 도로교통소음과 사격소음을 사용한 실험을 통해 음원의 길이와 어노이언스의 유의한 차이가 없다 하였다. 그렇지만 그는 교통음원으로서 도로교통소음만 사용하였으며, 실제 데이터(Paulsen(1991), Fig. 3)에서는 음원길이에 따른 어노이언스의 차이가 있는 것으로 나타나고 있어 이에 대한 검증이 필요할 것으로 사료된다.

이와 같이 기존의 연구들이 음원의 종류와 주관 반응의 관계에 중점을 두고 있으며, 이 연구는 교통소음을 대상으로 음원의 노출시간에 따라 교통소음과 주관반응의 변화를 살펴보고자 한다. 동일 음원의 운행방식이 주관반응에 차이를 가져오는지를 비교하고자 하며, 창의 종류에 따른 주관반응의 차이 및 음원의 레벨에 따른 노출시간별 주관반응의 변

화를 분석하고자 한다.

2. 실험 내용

2.1 음원의 녹음 및 편집

이 연구는 실험실에서 청취실험을 통해 주관반응을 분석한 것이며, 청취실험에 사용되는 음원은 도로교통소음, 철도소음 및 항공기소음으로 결정하였다(Table 1). 대상 음원은 사람들의 일상생활에 가장 대표적인 교통수단이며, 거주환경에 중요한 영향을 미치는 요소로 생각된다. 이들 음원은 현장에서 측정과 동시에 녹음되었다. 도로교통소음은 전남 장성군 호남고속도로(왕복 4차선, 164대/5분, 평균속도 약 100 km/h)의 도로 끝 차선으로부터 20 m 지점에서 녹음하였으며, 광주광역시 시내도로(왕복 4차선, 153대/5분, 평균속도 약 50 km/h)에서 차선으로부터 2 m 이격하여 녹음하였다. 항공기소음은 광주공항 인근에서 녹음하였으며, 철도소음은 고속구간이 있는 충남 연기군 소정면(약 200 km/h)에서, 저속구간이 있는 전남 나주군(약 60 km/h)에서 녹음하였다. 도로교통소음은 지속적으로 발생하는 소음이기 때문에 시간율 소음레벨인 L_{10} 과 L_{90} 의 차이를 보면, 간헐적으로 발생하는 철도 및 항공기소음에 비해 작게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 차이는 특히 음원의 레벨이 커질수록 더 차이가 크게 나타남을 알 수 있다. 측정 및 녹음은 Symphonie(01dB)와 무지향성 Microphone(B&K Type 4134)를 이용하였다. 녹음 당시 녹음된 음원은 창의 차음성능 자료를 바탕으로 편집되었다. 편집에 사용된 창은 주거환경을 고려하여 교통소음이 실내로 유입된다는 가정하에 공동주택 외부에 설치된 창의 차음성능을 직접 측정하여 분석된 자료를 사용하였다.

Fig. 1은 음원의 스펙트럼을 비교한 것으로 등가 소음레벨을 60 dB(A)로 맞춘 것이다. 운항방식별로 각각 2개의 방식을 녹음 및 편집하였으며, 각각 도로교통소음(고속도로, 시내도로), KTX 철도소음(고속, 저속) 및 항공기소음(군항기 이륙, 착륙)을 대상 음원으로 하였다. 전체적인 스펙트럼은 유사하게 나타나는 반면, 동일 음원의 경우 운항방식에 따라 약간의 차이를 나타내고 있다. 도로교통소음의 경우 고속도로 운행시(RTH) 저주파수 대역 성분이 많으며,

Table 1 Composition of tests and sound sources

No. of experiment		Variables	Sound level			Remark
			L _{eq} , dB(A)	L ₉₀ , dB(A)	L ₁₀ , dB(A)	
Phase I	RTH RTC	Road traffic(highway) Road traffic(city road)	60			Single window applied to edit Comparison of operation type
	RWK-L RWK-H	Railway, Korea train express(low speed) Railway, Korea train express(high speed)				
	ACM-T ACM-L	Aircraft, military purpose(taking off) Aircraft, military purpose(landing)				
Phase II	RTC	Road traffic(city road)	60			Three types of window applied; W1 : Single window W2 : Double window W3 : Double window (including balcony space)
	RWK-L	Railway, Korea train express(low speed)				
	ACM-T	Aircraft, military purpose(taking off)				
Phase III	RTC	Road traffic(city road)	40	35.9	43.2	Double window applied to edit Use different sound level
			50	43.8	53.0	
			60	53.6	62.8	
	RWK-L	Railway, Korea train express(low speed)	40	25.9	47.3	
			50	25.8	57.0	
			60	25.8	66.9	
ACM-T	Aircraft, military purpose(taking off)	40	26.0	43.6		
		50	25.8	53.3		
		60	25.8	63.1		

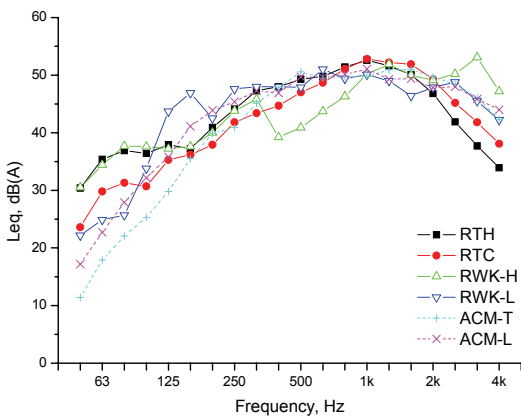


Fig. 1 Frequency characteristics of transportation noises used in experiment

철도소음은 고속운행시(RWK-H) 저주파수 대역음이 큰 반면, 저속운행시(RWK-L)에는 160 Hz 대역은 고속운행시에 비해 크게 나타났지만 100 Hz 이하의 저주파수 대역에서는 상대적으로 낮게 나타나 약 10 dB의 차이를 보이고 있다. 항공기소음은 이륙시(ACM-T)와 착륙시(ACM-L) 유사한 특성을 나타내고 있다.

녹음된 음원은 창외의 차음성능을 고려하여 편집하였으며, 편집에 사용된 창외의 주파수별 투과손실

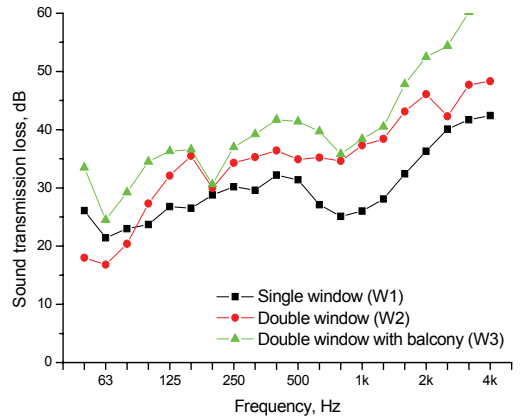


Fig. 2 Sound transmission loss of windows

값은 Fig. 2와 같다. 창에 사용된 유리는 16 mm 복층유리이며, 양면 5 mm 및 중간 공기층 6 mm로 구성되었다. STC에 의한 등급은 단창의 경우 STC 30, 발코니 확장된 이중창은 STC 39이며, 발코니가 비확장된 넓은 공간을 갖는 이중창 구조는 STC 41이다.

2.2 실험 진행 방식

실험은 세 부분으로 나누어 계획, 진행되었으며, 실험시간을 줄이기 위한 방안으로 구성되었다. 음원의

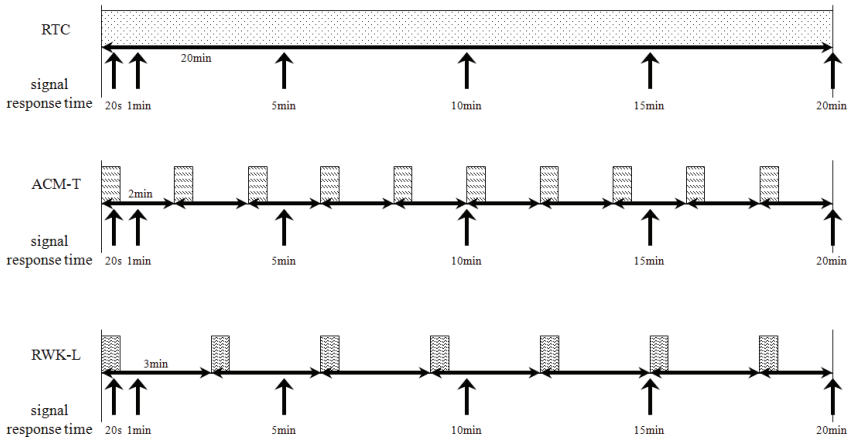


Fig. 3 Procedure of experiment; sound source and signal

길이를 최장시간인 20분으로 편집하였으며, 편집된 음원을 실험실에 설치된 스피커를 통해 재생하였다. 피험자들은 제공된 음원을 듣고 실험 중간에 응답을 알리는 신호음이 들리면 응답을 하였다(Fig. 3). 응답하는 시간은 각각 20초, 1분, 5분, 10분, 15분 및 20분 경과시 응답하였다. 도로교통소음은 20분 동안 계속해서 발생하며, 철도소음은 20분에 7대가 동일한 간격으로 운행되는 것으로 가정하여 편집하였다. 항공기소음은 20분에 10대가 운항하는 것으로 가정하였다. 철도 및 항공기 소음의 운항 대수는 실제 운항 횟수를 고려하여 계산하였으며, 평균보다는 더 많은 횟수를 운항하는 것으로 결정하였다.

이 실험을 통해 세 가지 요인에 대한 주관반응의 차이를 보고자 하였다. 첫째, 교통소음의 운항 방식에 따른 차이를 보기 위해 도로교통소음은 고속도로와 시내 도로에서 운행되는 자동차의 소음을 사용하였으며, 철도소음은 KTX를 대상으로 하여 고속구간과 저속구간으로 구분하여 녹음을 하였다. 항공기소음은 소음 발생위치가 대부분 이착륙 부근임을 감안하여 이륙과 착륙시 소음을 녹음하여 사용하였다. 둘째로는 창외 특성에 따른 주관반응의 차이를 보고자 하였다. 사용된 창은 공동주택 외부에 설치된 단창과 이중창으로 구분하였으며, 이중창은 발코니가 확장된 형태와 비확장된 형태로 구분하였다. 변수를 줄이기 위해 차음 성능이 다른 창을 투과한 소음의 음압레벨을 동일하게 함으로써 창을 투과한 소음의 주파수 특성만이 변화되었으며, 이에 대한 주관평가의 차이를 비교

하였다. 1개의 음원이 20분 동안 재생되기 때문에 1개의 음원이 3개의 창을 통과할 경우 1시간이 소요되며, 3개의 음원에 대해서는 3시간의 실험시간이 소요된다. 따라서 첫 번째에 사용된 음원 중 1개의 음원만을 선택하여 실험을 실시하였다. 셋째로는 음원의 레벨에 따라 소음 노출길이별 주관반응의 차이를 분석하였다. 음원의 레벨은 세 단계로 구분하였으며, 각각 40 dB(A), 50 dB(A) 및 60 dB(A)로 조정된 음원을 사용하였다. 이는 외부 소음이 실내로 유입될 경우를 가정한 것으로 아주 작게 들리는 레벨부터 매우 크게 들리는 부분까지 포함하고 있다. 실제 현장 조건에서는 음원으로부터 거리가 멀어짐에 따라 공기의 흡음으로 인해 주파수별 레벨이 동일하게 변화하진 않지만 이 연구에서는 각 레벨에 따른 주파수 특성은 동일하게 변화하도록 조정하였다. 따라서 편집된 음원은 실제 거리 감쇠를 반영하지 않고 있어 실제 음원과 차이가 있을 수 있다. 음원 구성의 세부 내역은 Table 1과 같다. 실제 거주공간에서는 음원 발생시 배경소음이 어느 정도 존재하며, 침실의 경우 WHO에서는 30 dB(A)를 가이드라인으로 삼고 있다⁽¹⁶⁾. 이 연구에서는 청각실험실의 배경소음이 28.2 dB(A)였기 때문에 별도의 배경소음에 대한 고려 없이 실험을 진행하였다.

2.3 피험자

피험자는 전남대학교 학생 및 대학원생을 대상으로 하였다. 나이는 20세에서 30세 사이에 분포(평균

Table 2 Evaluation sheet

Adjective	Extremely	Not at all
Annoyance	7 - 6 - 5 - 4 - 3 - 2 - 1	

24.2세, 표준편차 2.48)하며, 정상적 청력을 가진 것으로 확인되었다. 1단계 1차 실험에서는 남자 15명, 여자 9명으로 총 24명이 참여하였으며, 2차 실험은 남자 11명, 여자 9명으로 총 20명이 참여하였다. 3차 실험에서는 남자 13명, 여자 6명으로 총 19명이 참여하였다. 피험자들은 청취실험을 하는 동안 독서를 하도록 함으로써 소음에 너무 민감하게 반응하는 것을 방지하고자 하였다. 이는 실제 주거 생활을 감안할 때 소음만 집중하지 않고 일상의 일을 하기 때문에 실험 중 작업을 하도록 하는 것이 실제와 더 잘 반영할 수 있을 것으로 사료된다.

청취실험시 피험자들은 청취되는 음원에 대한 신경쓰임 정도를 평가하도록 하였으며, Table 2와 같이 7단계 단극 척도를 이용하여 평가하도록 하였다. 특히 S. Namba 등⁽¹⁷⁾의 연구에서 7단계 척도가 교통소음에 대한 주관평가를 잘 반영하는 것으로 나타나고 있어, 이 연구에서도 적절하게 판단된다. 7단계 척도 중 강한 자극은 “7”, 약한 자극은 “1”에 가까운 수치를 나타내도록 구성하였다.

2.4 실험실

음원의 노출길이에 따른 주관반응 실험은 실험실에서 실시되었다. 실의 크기는 Fig. 4와 같이 길이 4.96 m, 폭 3.85 m이며 천장고는 2.7 m인 공동주택의 거실과 유사한 크기의 공간이다. 전면벽에는 스피커가 좌우 설치되어 있으며, 스크린으로 가리워져 있다. 양면 벽은 흡음재로 마감되어 있어 불필요한 반사음을 억제하였다. 실 뒤편에는 음향적으로 분리된 공간에 조정실이 있으며, 사이에 설치된 고정창을 통해 실내 상황을 관찰할 수 있다. 실험실의 배경소음은 28.2 dB(A)이며, 500 Hz 대역에서의 잔향시간은 0.50초로 측정되었다.

실험 음원은 무작위 순서로 제공되었으며, 피험자는 해당 시간에 대한 반응을 평가하도록 하였다. 실험시간이 길어져 집중할 수 없는 경우 언제든지 실험을 중지하여 휴식시간을 가질 수 있도록 피험자에게 설명하였다.

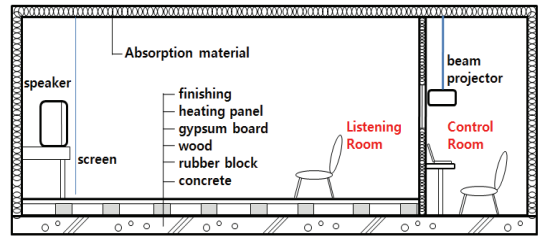


Fig. 4 Section of test room

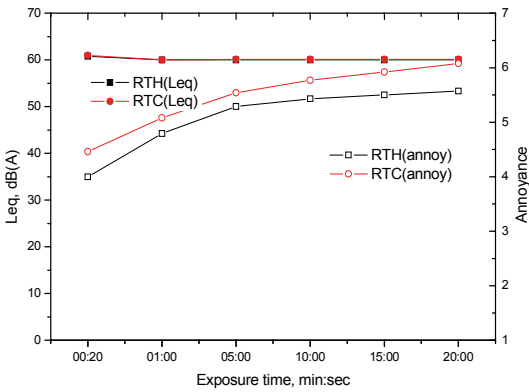
3. 실험결과 및 분석

3.1 운항 종류에 따른 비교

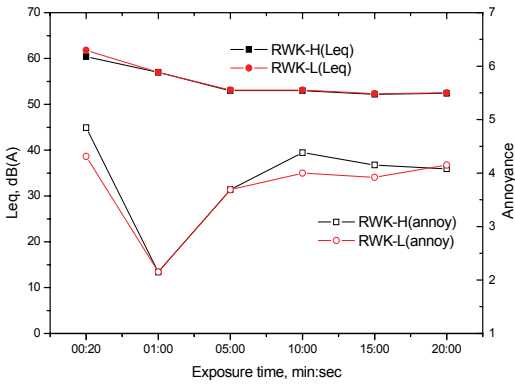
교통소음의 측면에서 볼 때 음원의 특성은 그 음원의 운항방식에 따라 시간적 특성과 스펙트럼이 다르게 나타나게 된다. 이에 따라 주관반응 또한 차이가 나타날 수 있으며, 운항방식을 다르게 할 경우 노출시간과의 관련성을 살펴보고자 하였다.

Fig. 5는 교통음원의 운항방식에 따른 주관반응 결과를 비교한 것이다. 도로교통소음의 경우 고속도로와 시내도로에서의 음원을 사용하였으며, 노출시간의 증가에 따라 등가소음레벨은 60 dB(A)로 일정하게 나타난 반면, 주관반응은 시간에 따라 증가하고 있다. 이는 Zimmer⁽¹⁴⁾나 허덕재 등의 연구⁽⁶⁾에서 음원발생시간 증가에 따라 불쾌도가 증가하는 것과 유사한 결과를 보이는 것이다. 시내도로의 음원이 고속도로의 음원에 비해 높은 반응값을 보이고 있으며, 이는 시간에 따라 그 변동폭이 큰 시간 특성으로 인해 어노이언스가 더 크게 나타난 것으로 사료된다. 주파수 특성은 고속도로가 저주파수에서 레벨이 더 컸지만 영향을 미치지 못한 것으로 나타났다.

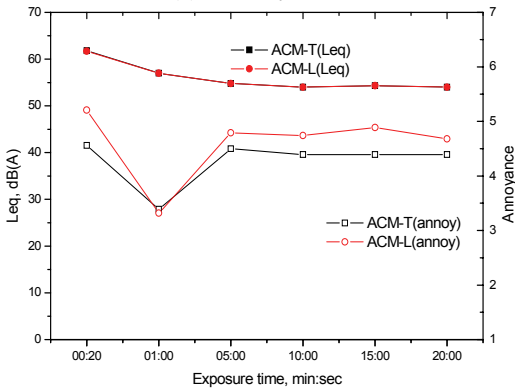
철도소음은 KTX 고속구간에서의 소음과 저속구간에서의 소음을 비교하였다. 노출시간에 따른 등가소음레벨은 초기 20초에 비해 점점 낮은 레벨로 나타나지만 노출시간이 5분을 넘어서면 음레벨은 거의 유사하게 나타남을 알 수 있다. 이는 배경소음이 대상 음원의 사이에 존재하기 때문에 등가소음레벨이 낮아지게 되는 것이다. 노출시간 20초와 10분, 15분에 해당하는 시간에서 고속주행소음이 저속주행소음에 비해 높은 반응값을 나타냈다. 고속주행소음은 시간특성으로 볼 때 저속주행소음에 비해 짧은 시간 동안 발생하게 되는 반면 주파수특성으로 볼 때 2 kHz 이상의 고주파수 대역에서 상대적



(a) Road traffic noise



(b) Railway noise



(c) Aircraft noise

Fig. 5 Comparison of sound level and annoyance by operating types of each transportation (filled circle indicates sound level, and open circle annoyance)

으로 더 큰 레벨을 나타내고 있다.

다음으로 항공기소음은 군항기의 이륙과 착륙시 소음을 대상으로 한 것으로서, 등가소음레벨은 철도

소음과 유사하게 나타났다. 주관반응값은 1분을 제외한 그 외의 노출시간일 경우 착륙시 소음에 대한 값이 이륙시 소음에 대한 주관반응값에 비해 높게 나타나고 있다.

이상과 같은 결과를 종합해 볼 때, 모든 음원에 대해 노출시간이 20초일 경우 주관반응의 차이가 있는 것으로 미루어보아 음원의 특성으로 인한 주관반응의 차이가 있는 것으로 생각되며, 노출시간이 길어짐에 따라 절대적인 값과는 관계없이 음원간 반응의 차이는 존재하는 것으로 나타났다. 도로교통소음의 경우 연속적으로 발생하기 때문에 음원간 차이가 뚜렷이 나타나고 있으며, 도로교통소음에 비해 그 차이가 적지만철도소음 및 항공기소음도 노출시간이 증가함에 따른 차이가 다소 존재하고 있음을 알 수 있다.

3.2 창 종류에 따른 비교

앞에서 밝힌 바와 같이 실험을 위해 사용된 음원은 외부에서 발생한 교통소음이 창을 투과해 실내로 유입되는 것을 고려하여 음원을 편집하였다. 창은 종류에 따라 차음능능이 달라지기 때문에 당연히 창을 투과한 음원의 레벨이 달라 주관반응값도 달라지게 된다. 따라서 단순히 창의 차음특성만을 비교대상으로 삼고자 하였으며, 창을 투과한 음의 레벨을 동일하게 설정하였다. 각 음원에 대한 노출시간별 주관반응을 Fig. 6과 같다. 창에 따라 동일한 종류의 투과 음원에 대해 다소 복잡한 반응을 나타냈다. 세 음원에 대해 공통적으로 뚜렷하게 높거나 낮은 창은 보이지 않고 있다. 그러나 발코니 확장형 이중창의 경우 Fig. 2의 차음특성에서 보인 바와 같이 저주파수 대역에서 투과손실이 낮게 나타나며 이에 따라 저주파수 대역의 음을 상대적으로 많이 투과시켜 음원에 대한 평가에서 다소 높은 값을 나타냈던 것으로 사료된다.

이와 같은 점을 통해 창의 차음특성은 주파수별 투과손실값의 차이가 있어 음원 종류에 따라 약간의 주관반응값에 차이를 보이고 있으며, 레벨을 60 dB(A)로 동일한 크기로 조정했기 때문에 청감상 반응값은 비슷한 수준으로 나타나고 있다. 창 차음특성에서 주파수별 차음능능이 차이가 있는 경우 주관반응 결과에 영향을 미칠 것으로 예상했으나, 이 결과에서는 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다.

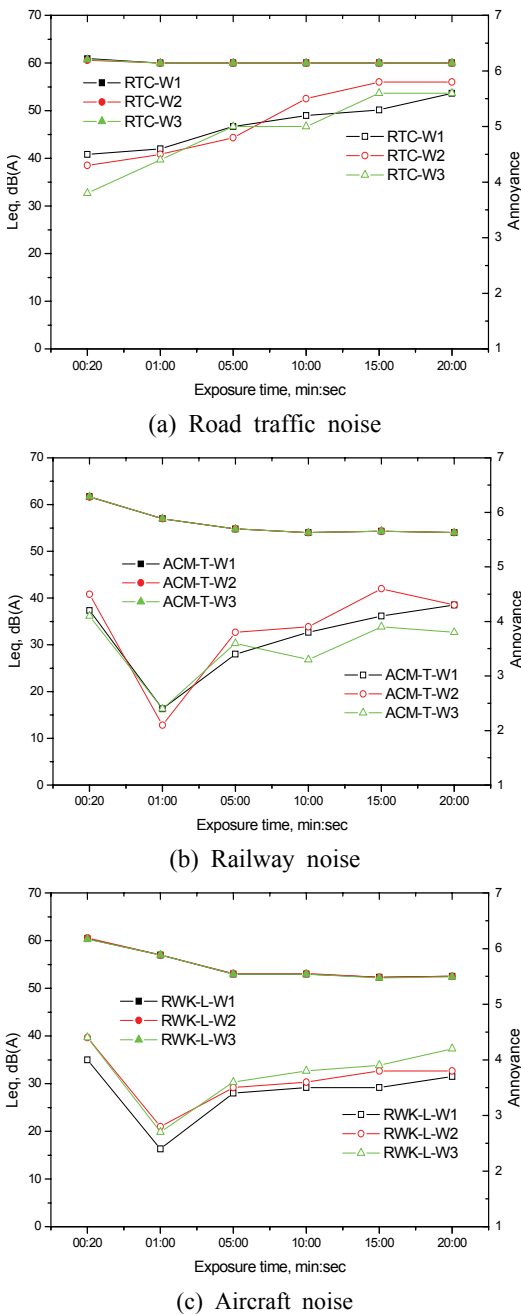


Fig. 6 Comparison of sound level and annoyance by window types

창에 의한 교통소음의 주관반응 차이를 통계적으로 분석하기 위해 사용된 세 종류의 창에 대한 어노이언스값의 F 검증을 실시하였다. 그 결과 각 음원에 대한 세 창의 효과는 유의확률 0.05 이하의

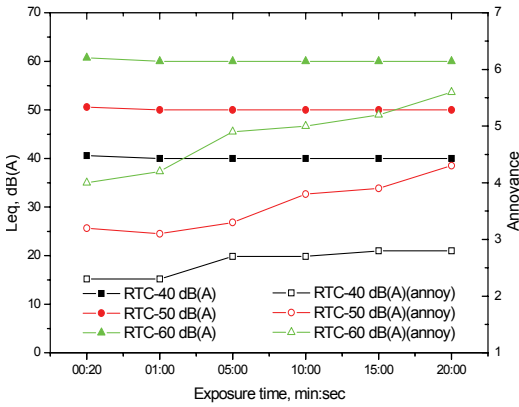
수준에서 통계적으로 차이가 없는 것으로 나타났다. (RTC: F(0.192); P=0.826, RWK-L: F(0.621); P=0.550, ACM-T: F(0.317); P=0.732).

3.3 음레벨에 따른 비교

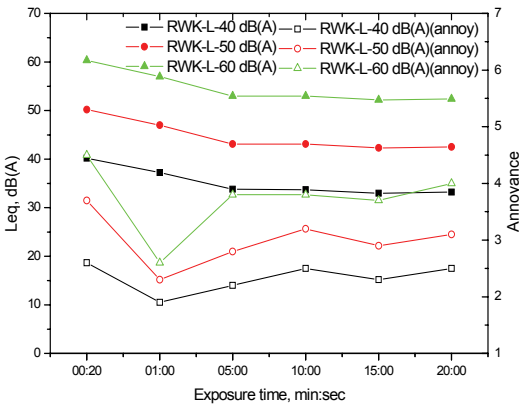
노출시간이 증가함에 따라 음레벨과 주관반응과의 관계를 비교하였다(Fig. 7). 음레벨은 3단계로 조정하였으며, 10 dB(A) 차이를 갖도록 하였다. 도로교통소음의 경우 가장 레벨이 낮은 40 dB(A)의 음원에 대한 주관반응은 노출시간이 증가하여도 많은 증가를 보이지 않고 있다. 반면 50 dB(A) 및 60 dB(A)의 음원에 대해서는 노출시간이 증가할수록 주관반응값도 비례적으로 증가함을 알 수 있다. 이는 Hiramatsu⁽¹⁴⁾의 연구결과처럼 어노이언스의 기울기는 소음레벨에 따라 다르게 나타나는 것을 보여주고 있다. 철도소음 및 항공기소음에 대한 주관반응은 앞의 실험결과와 유사하게 노출시간 1분에 대한 값이 모든 레벨의 음원에 대해 아주 낮게 나타나며, 노출시간이 5분 이상으로 됨에 따라 다소 안정적인 값을 보임을 알 수 있다. 특히 음원간 레벨 차이로 인한 주관반응 차이가 노출시간 1분에 대해서는 가장 적게 나타났으나 5분 이상의 노출시간에 대해서는 보다 뚜렷한 차이를 나타냄을 알 수 있다. 이러한 점은 음원의 레벨이 노출시간의 증가에 따른 주관반응값에 영향을 미치고 있음을 보여주는 것으로서, 노출시간에 따른 주관반응의 차이는 음원간 관계식 분석 및 소음기준 설정시 노출시간이 길어지더라도 동일하게 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

3.4 음원 제공방법에 따른 주관반응 차이 비교

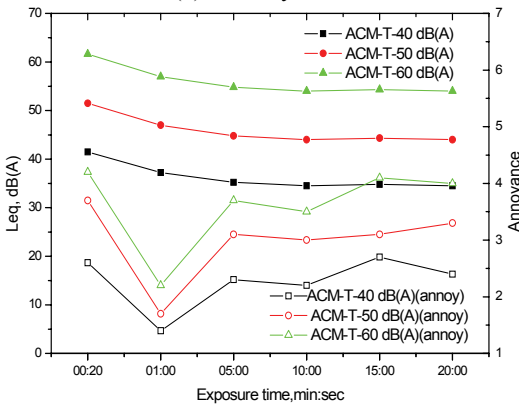
음원의 종류 및 레벨에 대한 주관반응값에 나타난 결과를 볼 때, 철도소음과 항공기소음의 경우 노출시간 1분에 해당하는 주관반응값은 노출시간이 다른 값에 비해 현저하게 다른 값을 나타냈다. 이와 같은 이유는 철도소음 및 항공기소음이 발생된 후 배경소음이 제시될 때 응답했기 때문에 상대적으로 매우 낮은 반응값이 나타난 것으로 사료된다. 이는 이 실험 계획시 주관반응실험 시간이 너무 길어지는 것을 방지하기 위해 20분으로 편집된 음원을 제공한 후 해당 시간에 평가하도록 한 데서 문제점이 있을 수 있는 것으로 판단되었다. 따라서 이 실험에



(a) Road traffic noise



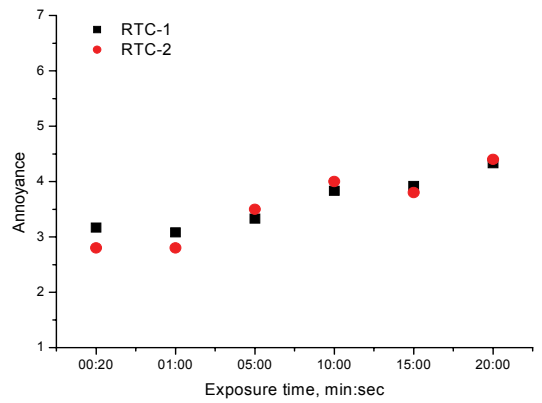
(b) Railway noise



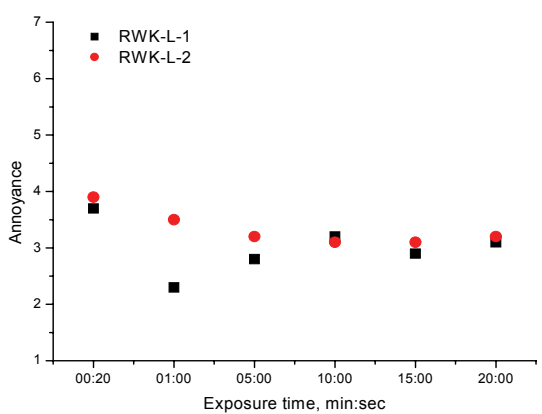
(c) Aircraft noise

Fig. 7 Comparison of sound level and annoyance by sound level

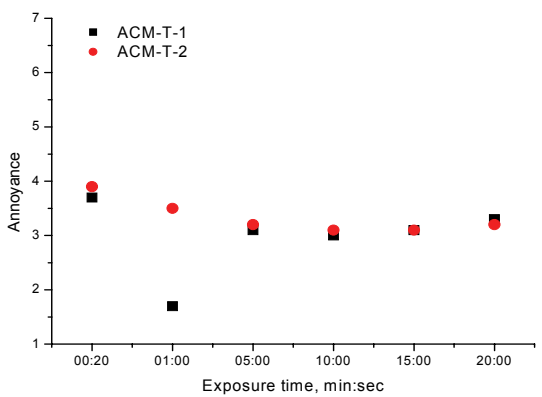
더하여 추가실험을 실시함으로써 음원 편집 및 제시 방법에 따른 차이를 비교하였다. 사용된 음원은 RTC, RWK 및 ACT 세 음원만을 사용하였으며 음원레벨을 50 dB(A)를 사용하였다. 각 음원을 20초,



(a) Road traffic noise



(b) Railway noise



(c) Aircraft noise

Fig. 8 Comparison of annoyance by two different experiment methods for the overall level of 50 dB(A)

1분, 5분, 10분, 15분 및 20분으로 편집한 후 1차 실험과 동일하게 주관평가를 실시하였다.

Fig. 8은 두 실험 결과를 비교한 것으로 도로교통

소음에 대한 주관반응값은 분산분석 결과 통계적으로 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다($F(0.57)$; $p=0.28$). 철도소음과 항공기소음 또한 대부분 유사하게 나타났으며, 노출시간 1분에 대한 반응값은 각각 1.2와 1.8로서 큰 차이를 나타냈다. 1차 실험 결과는 노출시간 1분에 해당하는 어노이언스값이 급격하게 저하되는 반면 2차 실험시에는 노출시간이 증가할수록 주관반응값은 완만하게 저하하는 것을 알 수 있다. 분산분석을 실시한 결과 철도소음은 통계적으로 유의미한 차이가 없으나($F(2.19)$; $p=0.20$), 항공기소음은 0.05의 신뢰수준에서 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다($F(4.64)$; $p=0.05$). 이러한 사실은 Paulsen⁽¹⁵⁾의 연구에서도 음원의 발생시간이 증가함에 따라 어노이언스가 다르게 나타나지만 통계적으로는 유의한 차이가 없다는 것과 유사한 결과로서 육안으로 데이터를 보는 것과 통계적인 차이를 보여주는 것이라 사료된다.

이 연구를 통해 발견하고자 하는 중요한 점은 노출시간과 주관반응값을 비교하고자 한 것으로, 교통소음에 대한 주관평가시 노출시간에 대한 적절한 제안을 하고자 하였다. 이 실험의 범위에서 볼 때, 전반적으로 짧은 노출시간보다는 노출시간이 길어질수록 주관반응값이 일정한 값에 수렴하는 것으로 나타났다. 결과들을 종합해 볼 때, 철도소음 및 항공기소음은 5분이 되면 주관반응값이 그 이상의 노출값과 유사하게 나타났으며, 노출시간 10분에 해당하는 값이 보다 안정적이 결론을 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 도로교통소음에 대한 주관반응값은 노출시간이 증가할수록 계속 증가하지만, Fig. 5의 (a)에 나타난 RTC의 값을 보면 10분 이상이 되면 주관반응값이 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 단, 이 연구의 범위는 각 노출시간에 해당하는 교통음원의 발생횟수를 임의로 결정한 것으로서, 교통음원의 횟수가 변경되면 주관반응값이 변화될 수 있어 이에 대해서는 더 세부적인 연구가 필요하다.

4. 결 론

교통소음은 종류에 따라 다른 운항특성을 나타내며, 주관적으로 반응하는 정도 또한 다르다. 따라서 소음을 올바르게 평가하는 것은 소음간의 관계를 정립하고, 소음 기준을 설정하는데 매우 중요한 일이다.

이 연구는 교통소음의 평가에 있어 실험실실험이 갖는 문제점을 해결하기 위한 일환으로써 소음의 노출시간을 다르게 함으로써 주관반응에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 그럼으로써 교통소음에 대한 실험실 실험시 유효한 실험방법을 제시하고자 하였다.

이 연구에서는 대상음원으로 도로교통소음, 철도소음 및 항공기소음을 사용하였으며, 현장에서 측정, 녹음한 후 창의 차음성능을 적용하여 편집한 음원을 주관반응 평가에 활용하였다. 청취실험을 통해 교통음원의 운항방식, 창의 종류 및 음원의 레벨에 따른 차이를 분석하고자 하였다.

그 결과 교통음원의 운항방식에 따른 차이가 발생하였으며, 이는 운항방식으로 인해 시간적 특성 및 주파수 특성이 주관반응에 영향을 미친 것으로 사료된다. 창의 차음특성에 따른 차이는 명확하게 나타나지 않았으나, 저주파수 대역에서의 차음성능은 대상음원이 저주파수 대역에 에너지가 많은 교통음원인 점을 감안하면 주관반응에 영향을 미치는 요인으로 분석되었다. 음의 레벨은 노출시간의 변화에도 여전히 주관반응의 차이를 나타내고 있어 음원간 관계식 분석 및 소음기준 설정시 노출시간이 길어지더라도 동일하게 적용될 수 있음을 확인하였다.

이 연구를 통해 교통소음 평가를 위한 노출시간은 5분 이상인 음원에 대해 주관반응값이 안정적으로 나타났으며, 실제로 발생하는 교통소음 발생 상황을 감안할 경우 소음 노출시간을 10분 이상으로 길게 하여 주관반응을 평가해야 할 것으로 사료된다.

특히 도로교통소음은 정상소음의 형태로 발생되기 때문에 노출시간에 따라 주관반응값이 점진적으로 상승하는 것으로 나타났으나, 철도소음 및 항공기소음은 노출시간 1분에서 현저하게 다른 값을 나타내었다. 이는 초기 음원 발생 후 배경소음의 영향이 크게 작용한 것으로 사료되어, 음원 제공 방법을 변화함으로써 배경소음의 영향에 대한 검증을 추가로 실시해야 할 것이다.

후 기

이 논문은 2011년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(2009-0072945) 및 2011년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임(지역거점연구단육성사업/바이오하우징연구사업단).

참 고 문 헌

- (1) Song, G. G., et. al., 2011, Variations of Subjective Response to Environmental Noise, Proc. KSNVE Annual Spring Conference, pp. 181~186.
- (2) Fred, L. H., 1984, Community Response to Noise: Is All Noise the Same?, J. Acoust. Soc. Am. Vol. 76, No. 4, pp. 1161~1168.
- (3) Skånberg, A. and Öhrström, E., 2006, Sleep Disturbances from Road Traffic Noise: A Comparison between Laboratory and Field Settings, J. Sound Vib., Vol. 290, pp. 3~16.
- (4) Barbara, G., Anke, M. and Sibylle, R., 2006, Noise Emitted from Road, Rail and Air Traffic and Their Effects on Sleep, J. Sound Vib., Vol. 295, pp. 129~140.
- (5) Theodore, J. S., 1978, Synthesis of Social Surveys on Noise Annoyance, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 64, No. 2, pp. 377~405.
- (6) Fieldsm J. M. and Walker, J. G., 1982, Comparing the Relationships between Noise Level and Annoyance in Different Surveys: A Railway Noise vs. Aircraft and Road Traffic Comparison, J. Sound Vib., Vol. 81, No. 1, pp. 51~80.
- (7) Henk, M. E. M., 2004, Relationship between Exposure to Multiple Noise Sources and Noise Annoyance, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 116, No. 2, pp. 949~957.
- (8) Hur, D. J., et. al., 2007, Study on the Subjective Responses of Loudness and Annoyance according to Exposed Time for the Traffic Noise, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 17, No. 3, pp. 241~248.
- (9) Kim, S.-W., et. al., 2010, Effects of Transportation Noise Exposure Time on the Subjective Response, Proc. 20th International Congress on Acoustics.
- (10) Hugo, F., et. al., 1996, Assessing the Railway Bonus in Laboratory Studies, J. Acoust. Soc. Jpn., Vol. 17, No. 3, pp. 139~148.
- (11) Dieter, G., 1995, Regulations for Community Noise, Noise/News International, pp. 223~235.
- (12) Bert De Coensel, et. al., 2007, Experimental Investigation on Noise Annoyance Caused by High-speed Trains, Acta Acustica United with Acustica, 93, pp. 589~601.
- (13) Hiramatsu, K., et. al., 1978, The Effect of Sound Duration on Annoyance, J. Sound Vib. Vol. 59, No. 4, pp. 511~520.
- (14) Zimmer, K., et. al., 2008, The Role of Task Interference and Exposure Duration in Judging Noise Annoyance, J. Sound Vib., Vol. 311, pp. 1039~1051.
- (15) Poulsen, T., 1991, Influence of Session Length on Judged Annoyance, J. Sound Vib., Vol. 145, No. 2, pp. 217~224.
- (16) Berglund, B., et. al., 1999, Guidelines for Community Noise, WHO.
- (17) Namba, S., Kuwano, S. and Fastl, H., 1988, Loudness of Road Traffic Noise Using the Method of Continuous Judgment by Category, Proc. Noise, Vol. 88, pp. 241~246.