

# 도심교통소음의 노출시간에 대한 불쾌도 및 소음크기 감각량 변화 고찰

## A Study of the Perception Annoyance and Loudness according to Exposition Time for the Traffic Noise

조경숙\* · 허덕재\*

Jo Kyoung-Sook and Hur Deog-Jae

**Key Words :** Traffic Noise(교통소음), Exposition Time(노출시간), Annoyance(불쾌도), Perception Loudness(소음크기 감각량)

### ABSTRACT

This article on environmental noise quality is concerned with the relationships between the annoyance and perception and sound quality metrics according to exposition time for traffic noise. For investigated the characteristics of noise quality, we conducted to the subjective experiments of the annoyance response using the absolute 100 scaling method for the traffic noise sources. The traffic noise sources are composed to varieties exposition time from 15sec to 1200sec. As the results, the first there are decreased the perception loud level for the increase of exposition time with logarithm scale, but increased the annoyance. Second, evaluation index of annoyance is correlated to the loudness(sones), tonality and logarithm scale time with  $R^2=0.83$ . Also, the composition ratio of traffic noise according to exposition time has the change of range as the logarithm scale (30~50%), tonality(27~37%) and loudness(34~20%).

## 1. 서 론

소음은 크게 음향적 소음특성(SQM, Sound Quality Metrics), 소음유형(자연소음, 음악, 언어, 산업소음, 교통소음 등), 소음발생시점(휴식기간, 의식집중상태, 수면상태, 작업상태 등), 개인적 소음 민감도, 친숙성 등 소음원에 대한 태도와 환경적 요인에 따라 환경소음의 의미와 성격이 달라질 수 있다. 환경소음은 원치 않는 시간과 장소에서 들게 되는 거주 환경에서 발생하는 모든 소음을 의미하며 본 논문에서는 도심교통소음을 대상으로 노출시간에 대한 소음 인식을 연구하였다.

최근 환경소음에 대한 관심이 높아지고 정온한 환경 조성에 대한 적극적인 참여가 이루어지면서 현행 유지 및 적용되고 있는 소음규제 법안에 대한 현실성과 적절성에 대한 논란이 지속되고 있다. 민원 발생의 문제점 해결과 거주자의

만족도를 향상시키기 위하여 소음지도를 이용한 소음 저감 대책[1] 및 음질연구[2], 내부소음 등급기준 재설정[3], 그리고 생활소음 평가기준 설정[4]등 다양한 방법으로 쾌적한 환경을 조성하기 위한 지속적인 연구 활동이 진행되고 있다. 그러나 소음 노출 레벨에 대한 연구가 주로 수행되고 있으며 장기간 노출에 대한 신체적 정신적 영향에 대한 연구는 아직 미진한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 소음의 노출시간이 소음 인식에 미치는 영향을 연구하기 위하여 노출시간에 따른 소음크기 인지에 대한 감각량과 불쾌도 변화를 고찰하고 노출시간과 상관관계를 분석하고 노출시간의 영향이 반영된 평가 예측식을 고찰하였다.

## 2. 청감실험

### 2.1 실험의 개요

본 실험에서는 평가자에게 15초, 30초, 60초, 120초, 300초, 600초, 1200초 길이의 도심에서 발생하는 교통소음을 들려주고 노출시간 증가에 따른 소음크기 인지 능력 및 불쾌도를 평가하였다. 평가는 본 연구원에서 개발한 평가 전용 프로그램을<sup>1)</sup> 이용하여 평가의 효율성을 증진시키고 자료를

\* 고등기술연구원 제품기술연구센터 NVH&Design팀  
E-mail : jksook76@iae.re.kr  
Tel : (031) 330-7456, Fax : (031) 330-7116

\* 고등기술연구원 제품기술연구센터 NVH&Design팀

1) 주관평가 프로그램, 2004-01-005403

합리적으로 데이터베이스 하였다.

노출시간 변화에 따른 소음크기 감각량 평가는 소음에 노출되어 있는 시간을 증가시키면서 평가 음원의 크기 변별력을 평가하고 노출시간과의 상관성을 연구하였다. 평가 음원은 실제 측정된 소음을 일정한 길이의 소음으로 편집하고, 일부를 샘플링하여 기준음원으로 사용하였다. 그리고 기준음원의 SPL(dB)를 +3dB, +6dB, +9dB 레벨로 weighting 하여 제작하였다. 기준음원의 Linesr SPL(dB)는 85.1dB 이고 A-weighted SPL(dBA)는 75.1 dBA로 계산되었다. 평가음1은 88.1dB/78.1dBA, 평가음2는 91.1dB/81.1dBA, 그리고 평가음3은 94.1dB/84.1dBA 이다. 기준음원과 평가 음원을 Paired Comparisons 방법으로 평가하였으며 동일한 소음을 무순서화하여 -50점 ~ +50점 척도에 평가하였다. 노출시간 변화에 따른 불쾌도 평가는 100점 척도를 활용하여 평가하였다.

## 2.2 청감실험 대상자

도심교통소음의 노출시간 변화에 따른 소음의 크기 변별 능력과 불쾌도 변화를 고찰하기 위하여 정상청력을 지닌 23-34(50.7%, 49.3%) 71명을 대상으로 청감실험 하였다.

연령 집단간 노출시간에 따른 분산분석 통계검증을 수행한 결과, 15초와 30초를 제외하면 노출시간에 따른 불쾌도 차이는 없는 것으로 확인되었다. 즉, 상대적으로 짧은 노출시간에 발생하는 소음에 대한 주관적인 불쾌감은 연령에 따라 감각차이가 나타날 수 있으나 노출시간이 증가할수록 동일한 소음에 대한 평가는 연령과 무관한 것으로 해석할 수 있다. 그리고 그림 1과의 연령별 노출시간에 따른 주관평가의 결과를 보면, 26세 집단을 제외하고 노출시간이 증가할수록 Annoyance 평가도 높아지는 경향을 보이고 있다. 따라서 연령 분포에 따른 평가결과의 차이는 없다고 가정하고 분석하였다.

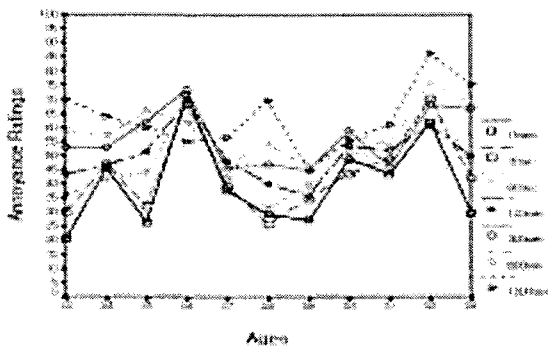


그림 1 연령별 노출시간에 따른 불쾌도 평가

## 2.3 평가자 신뢰도 검증

분석 결과의 오차를 줄이고 결과의 신뢰도를 높이기 위하여 특이치 및 성향이 다른 몇몇의 평가자 그룹을 제외한

신뢰도 평가자를 선별하였다. 신뢰도 판정 결과 소음크기 감각레벨 평가는 평가자 전원의 평가 경향이 일치되는 것으로 판정되었으며, 불쾌도 평가 에서는 15명을 특이치로 구분하여 결과분석에서 제외하였다.

## 3. 실험 결과 및 분석

### 3.1 노출시간에 대한 소음크기 감각량

#### (1)소음크기 감각량 평가 결과

그림 2는 동일한 레벨의 평가음원에 대하여 노출시간 조건을 변화시키면서 소음 크기 감각량을 측정된 결과이다. 소음크기 감각량은 log scale에 선형적으로 반응하고 있으며 반비례 관계에 있다. 그리고 음원의 레벨 상승에 대한 감각 크기는 비교적 잘 구분되었으나 평가음1보다 평가음3의 감각량 변화폭이 적게 평가되었다. 따라서 노출시간이 길어질수록 감각적 적응 프로세스의 결과로 소리크기에 대한 감각적 민감도가 낮아지고 인지적 Loudness는 감소하고 있음을 확인 하였다.

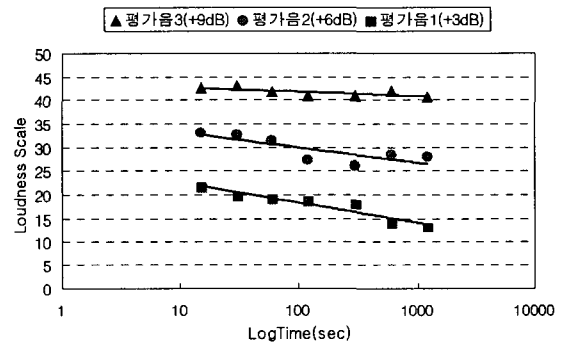


그림 2 노출시간 증가에 따른 Loudness 변화 추이

#### (2)소음크기 감각량 변화 예측식 산출

도심교통소음 노출시간에 대한 크기 감각량에 대한 영향을 고려하여 Time(Log scale 노출시간)과 Z.Loud[Zwicker Loudness(sones)] 변수로 구성된 크기 감각량 변화 예측식을 회귀분석을 통해 구성하였다. 분석결과 회귀식은 유의확률은 0.05보다 작고, 설명력 약 98% 로 회귀선형식의 적합성이 증명되었다. 도심교통소음의 크기 감각 변화에 대한 예측식은 수식(1) 과 같다.

$$\text{수식 (1) : 도심교통소음의 소음 크기 감각량 예측식} \\ = 0.642 * Z.Loud(s) - 5.462 * Time(\log)$$

그림 3은 평가를 통해 측정된 크기 감각량의 평균값과 회귀식으로 예측한 계산 결과를 비교한 것이다. 평가점수와 예측점수 차이는 약 2점(0.1점~2.25)이며 모형 적합도가 매우 우수하다는 것을 확인하였다. 그리고 노출시간이 증가할

수록 소음 크기 감각량은 감소되고 dB 레벨이 증가할수록 소음크기 감각레벨이 증가되는 것을 알 수 있다.

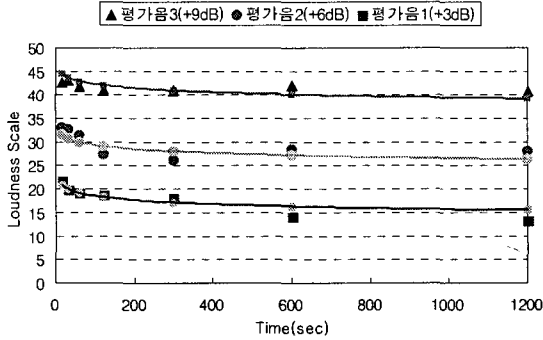


그림 3 노출시간 변화에 따른 소음크기 감각량

### 3.2 노출시간에 대한 불쾌도 변화

#### (1) 불쾌도 평가 결과

노출시간 조건별 평정결과와 누적치를 상호 비교하여 그 경향을 관찰하였다. 그림 4에서 Annoyance 한계점 Cumulative Percent의 50%에서 추정해 볼 수 있다.

분석결과, 노출시간 15초 조건에서 피험자의 50%에 이르면 소음에 대한 Annoyance는 30점으로 평가된 반면에 1200초 조건에서는 70점으로 평가되었다. 피험자의 80%에 이를 경우 15초, 30초, 60초 및 120초 조건에서의 Annoyance는 평균 60점으로 평가되었고 각 조건이 수렴되기 시작하였다. 노출시간의 길이에 따라 소음의 Annoyance 평가는 체계적인 변화를 보이며 동일한 소음이라도 노출시간이 길어질수록 시간의 누적에 상응하여 Annoyance도 높아지는 것으로 볼 수 있다.

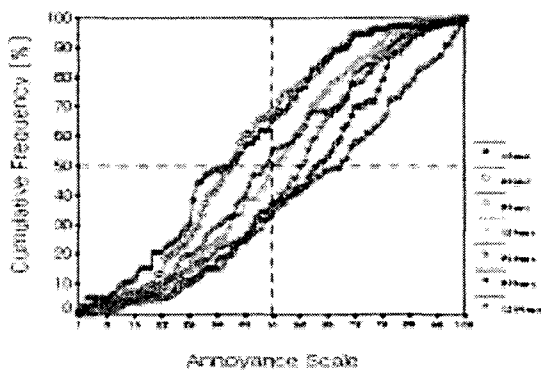


그림 4 노출시간별 누적 결과 비교

신뢰도 평가자의 불쾌도 점수를 노출시간에 따라 비교한 결과 그림 5에 나타난 것과 같이 log scale과 선형관계에 있으며 노출시간이 증가할수록 불쾌도가 증가하고 있음을 알 수 있다.

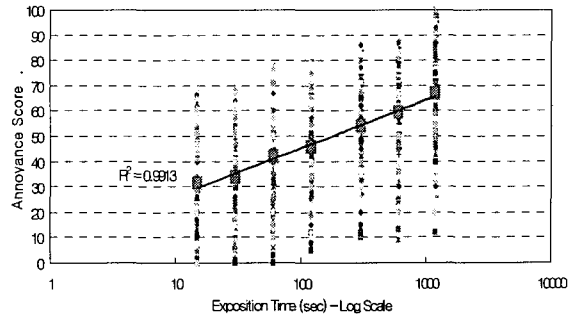


그림 5 노출시간별 불쾌도 반응 결과

#### (2) 불쾌도와 SQM 상관관계 고찰

교통소음 평가에 적합한 물리량을 선정하기 위하여 상관 분석과 요인분석을 통하여 23개 SQM을 축약하였다. 불쾌도 점수와 SQM의 상관 계수 0.8 이상을 기준으로 상관분석결과 Loudness, Tonality, Sharpness, 그리고 Roughness의 상관도가 높음을 확인하였다. 그리고 베리맥스 방법으로 요인분석[5]한 결과 23개 SQM은 6개의 요인으로 축약되었으며, 주요 인자는 Z.Loud(s), Sharpness, Transient Loud(s), Average Kurtosis, Fluctuation Strength, Tonality으로 나타났다. 따라서 도심교통소음의 노출시간에 따른 불쾌도는 Z.Loud(s), Sharpness, Average Kurtosis, Fluctuation Strength, Tonality가 대표 물리량이며 노출시간까지 총 6개 변수를 대상으로 분석하였다.

그림 6은 SQM의 상이한 단위들을 고려하여 z-값으로 표준화하여 불쾌도와와의 관련성을 살펴본 결과, Average Kurtosis는 불쾌도 증가 곡선과 유사한 특성으로 변하고 있으며, 나머지 물리량들은 노출시간이 길어질수록 감소되는 경향을 보였다.

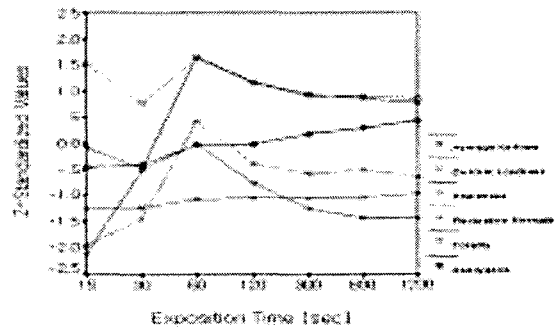


그림 6 노출시간에 따른 불쾌도 및 SQM 변화(z-score)

#### (3) 불쾌도 반응 예측식 산출

일정시간 동안 소음에 노출되었을 때 심리적인 변화를 정량화 하고 소음에 대한 불쾌도를 평가 할 수 있는 평가식을 고찰하였다. 도심교통소음의 불쾌도 평가 예측식은 불쾌

도에 대한 물리량 조합의 설명력이 99%로 가장 높은 Z.Loud(s)와 Tonality에 의하여 수식 (2)와 같이 구성하였다.

이상의 결과로부터 도심교통소음원에 대한 불쾌도를 평가하는 물리적 지표로서 노출시간과 Z.Loud(s), 그리고 Tonality가 매우 유의한 물리량이며 회귀식 구성에 따라 Z.Loud(s)와 Tonality, 그리고 노출시간이 증가할수록 불쾌도 평가량도 증가하게 됨을 예측할 수 있다.

수식 (2) : 도심교통소음의 불쾌도 예측식  

$$= 0.197 \cdot Z.Loud(s) + 458.108 \cdot Tonality + 13.016 \cdot Time(\log)$$

**(4) 불쾌도 반응 예측과 기여도 분석**

그림 7은 불쾌도 평가 점수와 예측식에 의한 계산 결과를 비교하였다. 평가 결과의 추세선을 분석한 결과 두 개의 결과가 일치하였으며, 설명력 83%, 평가점수와 예측점수의 차이가 5점 이하로 모델의 적합성을 검증하였다.

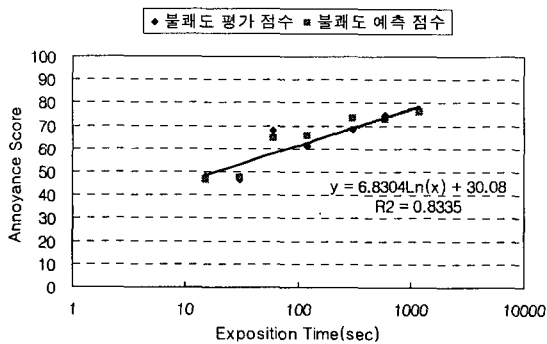


그림 7 노출시간 변화에 따른 불쾌도 반응

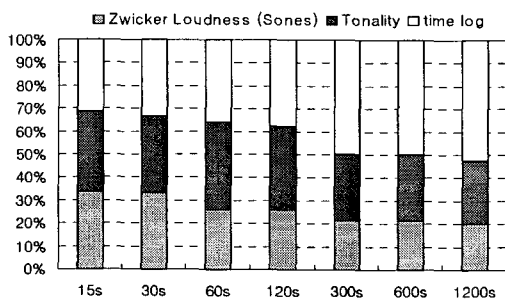


그림 8 기여율

그림 8은 노출시간별 불쾌도 반응에 대한 음질기여도(%)를 비교하였다. 노출시간이 증가하면서 시간에 대한 영향도가 상대적으로 증가되는 반면에 Z.Loud(s)는 감소하는 것을 알 수 있다. 그리고 노출시간과 Tonality의 기여량은 약 65% 이상 분포되어 있으며, 도심교통소음의 노출시간에 따른 불쾌도는 Zwicker Loudness 변화보다 Tonality 물리량 변동에 더욱 민감하다고 해석할 수 있다.

**4. 결론**

도심에서 발생하는 교통소음에 대하여 거주환경의 음향적 만족도를 판단할 수 있는 불쾌도와 소음 인식 감각량을 평가하였으며 노출시간의 영향을 고찰하였다.

1. 연령별 소음 노출시간에 따른 분산분석 통계검증을 수행한 결과, 상대적으로 짧은 노출시간에 발생하는 소음에 대한 주관적인 불쾌감은 연령에 따라 감각차이가 나타날 수 있으나 노출시간이 증가할수록 동일한 소음에 대한 평가는 연령과 무관한 것으로 해석할 수 있다.
2. 음향자극에 대한 감각적 적용은 노출시간과 log scale에 선형적 관계에 있으며, 소음의 노출시간이 늘어날수록 소리크기에 대한 감각적 민감도가 낮아지고 인지적 Loudness는 감소하고 있음을 확인 하였다. 노출시간을 고려한 크기 감각량 변화 예측식은 다음과 같다.  

$$Y = 0.642 \cdot Z.Loud(s) - 5.462 \cdot Time(\log)$$
3. 노출시간이 길어질수록 소음의 불쾌도는 증가하고 log scale과 선형관계에 있으며 불쾌도 반응 예측식은 다음과 같다.  

$$Y = 0.197 \cdot Z.Loud(s) + 458.108 \cdot Tonality + 13.016 \cdot Time(\log)$$
4. 노출시간별 불쾌도 반응에 대한 음질기여도 분석 결과 Zwicker Loudness(sones)의 영향을 상대적으로 줄어든다고 Time(log) 과 Tonality의 영향도가 증가됨을 알 수 있었다. 따라서 노출시간이 증가할수록 소음에 대한 불쾌도는 Zwicker Loudness(sones)보다 Tonality 변화에 더욱 민감하게 반응할 것으로 기대된다.

**참 고 문 헌**

- (1) 장서일 등, 2005, "도심지 재개발사업 환경영향평가시 소음지도 적용방안에 관한 연구", 한국소음진동공학회논문집 제 15권 11호, pp 1311-1317
- (2) 황대선 등, 2004, "음질특성을 고려한 환경소음원 분류에 대한 연구", 한국소음진동공학회 춘계학술발표대회, pp. 707-711
- (3) 김선우 등, 2005, "도로교통소음에 대한 공동주택 내부소음 기준설정에 관한 연구", 한국소음진동공학회논문집 제 15권 9호, pp1084-1091
- (4) 류중관 등, 2005, "청감실험을 통한 생활소음의 평가 척도 및 기준설정", 한국소음진동공학회논문집 제 15권 8호, pp 904-910
- (5) 허덕재 등, 2000, "차량 실내 소음의 음질 분석 및 모델화", 한국소음진동공학회지 제 10권 제 2호, pp 254-260