

## 한국인의 교통소음에 대한 불쾌감 연구

### Community Annoyance from Transportation Noise in Korea

이수갑† · 임창우\*\* · 김재환\*\*, 홍지영\*\*

Soogab Lee, Changwoo Lim, Jaehwan Kim, and Jiyoung Hong

**Key Words** : Transportation Noise, Adverse Effect of Noise, Field Survey, Community Annoyance, Highly Annoyed(%HA)

#### ABSTRACT

Studies on community annoyance caused by transportation noise exposure were carried out in fifty-one areas around Gimpo and Gimhae international airports, Gyungbu and Honam railway lines and east and riverside-northern motorways to accumulate social survey data and to assess the relationship between each transportation noise level and degree of annoyance in Korea. The measurements of transportation noise were carried out using portable precision sound level meters (B&K type 2238 and LD 812) except in aircraft noise. Aircraft noise levels were measured automatically by airport noise monitoring system, B&K type 3597. Social surveys were carried out to people living around noise measurement points. Questionnaires were only aggregated by face-to-face interviews using various questions concerned with demographic factors, degree of noise annoyance, interference with daily activities and health-related symptoms. The questions of noise annoyance were answered on an 11-point numerical scale. The respondents, from 18 to 70 years of age, were randomly selected and completed the questionnaire for themselves. The total number of respondents for the questionnaires was 1,839. The results showed that community annoyance of railway noise in Korea is similar to that in Japan, but is more severe than that in European countries.

#### 1. 서 론

다른 환경 공해와는 대조적으로 주로 교통소음에 의해 야기되는 환경소음에 의한 공해는 현재까지도 지속적으로 증가하고 있으며 이미 많은 나라에서 심각한 사회문제로 대두되고 있다 [1]. 이런 문제에도 불구하고 환경소음 문제는 소음노출에 따른 직·간접적인 영향으로 인해 야기되는 건강 위해성(adverse effects of noise on health)에 대한 문제로 인하여 규정화하는데 많은 어려움이 있다.

위해성 평가의 기술적 접근의 첫 발자국은 세계보건기구(이후 WHO)의 건강 위해성(adverse health effects on human beings)에 대한 정의로부터 시작되었다. "1994년 WHO [2]의 IPCS (International Programme on Chemical Safety)에

의하면, 환경소음의 위해성은 생체의 형태학적(morphology) 혹은 생리학적(physiology) 변화로 정의되며, 이러한 변화는 고유기능 능력의 손실, 증가되는 스트레스에 대한 보상 능력의 감퇴, 그리고 환경 영향인자들이 갖는 유해성에 대한 민감도의 증대(면역성 감퇴)를 포함한다. 이러한 정의는 인간 혹은 인간의 생체기관들의 물리적(physical), 심리적(psychological) 혹은 사회적(social) 기능성의 한시적 혹은 영구적 저하를 포함한다." 1999년 WHO [1]의 소음 지침서는 소음의 인체 위해성 영향인자로

- (1) 소음성 난청(Noise-induced hearing impairment),
- (2) 대화방해 (Interference with speech communication),
- (3) 수면 방해(Sleep disturbance),
- (4) 심장혈관계와 생리적 영향 (Cardiovascular and physiological functions)
- (5) 정신적 건강 영향 (Mental health effects),
- (6) 효율성 영향 (Effects of noise on performance)
- (7) 불쾌감과 행동에 미치는 영향(Annoyance and behaviour effects)

등을 제시하고 있다. 또 WHO는 환경소음에 의한 인체 위

† 서울대학교 기계항공공학부 교수  
E-mail : solee@plaza.snu.ac.kr  
Tel : (02) 880-7384, Fax : (02) 875-4330

\*\* 서울대학교 기계항공공학부 대학원

해성(adverse effect of environmental noise on health) 평가를 위한 환경 건강 지시치(environmental health indicators)로서 높은 불쾌감을 호소하는 군집(highly annoyed) 비율 등을 제안하고 있다 [3]. 그러나 WHO의 이 보고서들은 소음으로 인해 야기되는 주민들의 불쾌감에 대한 정량화의 구체적 방안은 제안하지 않고 있다. 이러한 소음에 대한 불쾌감 반응은 소음원 종류, 소음레벨과 같은 음향학적 특성뿐 아니라 문화, 언어 및 기후 등과 같은 비 음향학적 특성에 대해서도 많은 영향을 받는다 [4]. 심지어 동일한 소음에 대해서도 개인에 따라 느끼는 불쾌감 정도는 상당히 다르다 [5]. 따라서 미국과 유럽을 중심으로 많은 선진 국가에서는 교통소음원에 따라 불쾌감 반응이 얼마나 발생하는지, 불쾌감 반응에 영향을 미치는 주요한 요소는 무엇인지 등과 같은 내용을 포함한 자국의 상황에 맞는 정량평가 방법 구축을 위해 많은 시간과 노력을 기울이고 있다 [5-8]. 따라서 본 연구에서는 WHO에서 소음의 인체 위해성 평가지표로 제안하고 있는 불쾌감(Annoyance) 인자를 이용하여 항공기, 자동차 및 기차 등의 교통소음에 의해 발생하는 노출 소음도와 노출지역 주민의 높은 불쾌감을 호소하는 군집비율(Percentage of highly annoyed, %HA<sup>11</sup>)과의 상관관계를 도출하였으며 이 결과를 다른 나라에서 수행된 연구결과와 비교 수행하였다. 이는 향후 우리나라가 환경에 대한 개선된 정책 및 관리 등과 같은 선진국형 종합 환경평가를 위한 기반 기술로 적극 활용할 수 있을 것이라 기대된다.

## 2. Field survey

본 연구에서 field survey라 함은 조사지역에서 수행하는 연구로 교통수단에 의해 발생하는 노출 소음도의 측정과 소음 노출 대상 지역의 주민을 대상으로 수행하는 설문조사를 의미한다. 따라서 본 연구에서는 항공기, 자동차 및 철도소음 노출로 인해 발생하는 불쾌감 반응에 대한 정량화 연구 수행을 위해 항공기, 철도 및 도로소음 지역에 대해 각각 18개, 20개, 13개 지점을 선정하여 field survey를 수행하였다. 이에 대한 자세한 내용은 다음과 같다.

### 2.1 소음도 측정

교통소음으로 인한 불쾌감 반응 연구를 위해 교통소음원에 노출된 적절한 위치를 선정하고 그 지역에 노출되는 평균 소음도를 산출하기 위해 장시간에 걸쳐 측정을 수행하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 항공기, 철도 및 자동차 소음원에 대해 각각 18개, 20개, 13개 지점 총 51개 측정지점에 대해 소음측정을 수행하였다.

1) 설문지를 통하여 개인의 상대적 불쾌함 정도를 0(전혀 불쾌하지 않음)~10(매우 불쾌함) 척도로 할 때 8, 9, 10의 척도를 나타내는 사람들의 불쾌감에 대한 백분율

본 연구에서는 항공기 소음 노출에 의한 불쾌감 반응 연구 대상지역으로 김포공항과 김해공항 주변지역을 선정하였다. 두 지역을 본 연구수행을 위한 대상 지역으로 선정한 이유는 두 지역이 민간 항공기에 의한 소음 발생지역으로 민간공항의 특성상 정해진 항로를 통해 항공기들이 운항되기 때문에 항공기 소음에 의한 공항 주변의 노출 소음도는 대체로 균일한 특성을 갖기 때문이다. 그러나 군용 비행장의 경우는 계절, 풍향 및 군 작전과 훈련 등으로 인하여 다양한 패턴의 비행훈련과 전투기의 비정상적인 비행경로 이탈 등으로 인해 비행장 주변으로 노출되는 소음도의 크기가 유동적으로 변하는 관계로 소음도의 변화폭이 상당히 크기 때문에 노출 소음도를 판단하는데 많은 어려움을 갖는다. 따라서 이러한 문제를 배제하기 위해 항공기에 의한 노출 소음도가 상당히 균일한 김포 및 김해국제공항 주변 지역을 본 연구의 대상 지역으로 선정하였다. 항공기 소음에 의한 대상지역의 소음도 산출을 위해 대부분의 지역에서는 환경부에서 관리 및 운용하고 있는 항공기 자동측정망(B&K type 3597)을 이용하였으며 자동측정망이 설치되어 있지 않은 지역에 대해서는 소음계(B&K type 2238)를 이용하여 측정을 수행하였다. 항공기 자동측정망이 설치되어 있는 지역의 항공기 소음의 소음도 산출은 2004년 1월부터 6월까지의 전반기 자동측정망 자료의 평균값을 사용하였으며, 자동측정망이 설치되어 있지 않은 지역에서의 소음도 산출은 4일간 [9]의 소음측정을 통해 노출 소음도를 구하였다. 또, 소음 측정시 지형지물에 의한 항공기 소음의 차단을 피하기 위해 건물의 옥상에서 측정을 수행하였다.

자동차 및 기차소음의 측정은 각각 간선도로 및 경부·호남선이 지나는 13개, 20개 측정지점에서 수행한다. 소음도의 측정은 소음계 B&K type 2238와 소음계 LD 812를 이용하여 수행하였으며 측정시 지형지물에 의한 대상 소음원의 전파방해를 피하기 위해 건물의 옥상에서 수행하였다. 또, 대상 지역으로 전달되는 노출 소음도의 산출을 위해 소음원의 측정은 3일 (72시간) 연속하여 수행하였으며 측정시 상대습도 및 기온은 각각 62.5~64.6%와 18~23°C 였다.

노출 소음도와 불쾌감 반응과의 상관관계 분석 및 외국의 연구 결과들과 비교하기 위해 소음도 산출은  $L_{dn}$ 을 사용하였다.  $L_{dn}$ 의 계산은 다음의 식 (1)에 의해 계산하였다.

$$L_{dn} = 10 \log \left( \frac{15}{24} \times 10^{\frac{L_{dn}}{10}} + \frac{9}{24} \times 10^{\frac{L_{evening+10}}{10}} \right) \quad (2.1)$$

### 2.2 설문조사

소음에 의한 불쾌감은 소리 그 자체에 기인된 불쾌감과 음에 수반하여 생기는 불쾌감으로 나누어지는데, 전자를 Noise-ness, 양자를 총합한 것을 Annoyance라 부른다. 특히 불쾌감은 개인의 성격적, 사회적, 경제적인 상황에 따라 달라지기

때문에 최근에 이에 대한 연구가 많이 진전되었다고는 하지만 불쾌감(annoyance) 반응을 측정값으로부터 정확히 추정해내는 기술은 아직도 미흡한 실정이다. 예를 들어 같은 소리라 할지라도 듣는 사람에 따라서 불쾌감의 정도는 달라지며, 같은 사람이라도 듣는 장소에 따라 다소 차이가 있다. 이와 같은 현상은 물리학적 법칙에서는 아주 불합리한 현상이지만 생물학적, 심리학적 현상에서는 흔히 볼 수 있다. 그러나 아직 학문적 추정 모델이 없을지라도, 주민들의 소음에 의한 불쾌함에 대한 주관적 반응(Subjective responses)을 설문지를 통하여 조사하고 통계적 분석방법을 이용하여 소음 반응도를 정량화할 수가 있다. 따라서 본 연구에서는 소음에 대한 주민들의 주관적 반응을 분석하기 위해 본 연구팀이 개발한 질의서 [10, 11]를 이용하여 설문조사를 수행하였다. 설문조사는 소음 측정지역을 중심으로 피해지역에 거주하고 있는 주민을 대상으로 수행하였으며, 주민을 대상으로 하는 설문지의 질을 높이기 위해 일반적인 설문지의 배포를 지양하고 설문내용 이해도 향상에 따른 설문질의 향상을 꾀할 수 있는 face-to-face 방식에 의한 설문조사를 수행하였다. 본 설문지는 설문자 개인의 신상 및 생활환경에서부터 소음으로 인한 불쾌감(annoyance), 수면방해(sleep disturbance), 일상생활의 방해(interference with daily activities) 및 건강에 미치는 영향(health-related symptoms) 등의 내용을 포함하고 있으며 특히 불쾌감과 수면방해에 대한 주관적 반응은 11-point numerical scale(불쾌감, 성가심이 전혀 없는 경우= '0', 매우 큰 경우= '10')을 사용하여 수행하였다. 여기서 8, 9, 10의 척도를 나타내는 사람들을 높은 불쾌함을 호소하는 군집(Highly annoyed people)으로 구분하고 소음원에 대한 주민의 불쾌감의 호소를 백분율(Percentage of highly annoyed, %HA)로 표시하여 상관관계 분석에 이용하였다. 교통소음지역에 대한 설문조사는 51개 지역의 소음측정 위치 인근에 거주하고 있는 주민을 대상으로 수행하였으며, 수행된 설문조사자 수는 총 1,839명으로 각각 소음원에 대한 설문조사 현황은 아래 <표 2.1>과 같다.

표 2.1 Number of respondents in each source

소음원	지역	설문자수	합계
항공기	김포공항 인근	401	753
	김해공항 인근	352	
기차	경부선 주변	541	653
	호남선 주변	112	
자동차	동부간선도로 주변	352	433
	강변북로 주변	81	

### 3. 교통소음과 불쾌감에 대한 주관적 반응의 상관관계 분석을 위한 기법 고찰

교통소음에 대한 불쾌감의 주관적 반응을 정량화 하기 위해 본 연구에서는 추리통계 방법인 회귀분석 기법을 이용하여 연구를 수행하였다.

초기 선행연구자들은 다항회귀식을 이용한 회귀모델을 사용하였는데 이는 기본적으로 양단에서 발산하는 그래프 형태를 취하므로 모든 소음범위( $L_{dn}$ )에서 회귀식을 적용할 수 없고 제한된 영역에서만 실효성을 갖게 될 뿐아니라 불쾌감의 주관적 반응을 표현하는 한 형태인 높은 불쾌감을 호소하는 군집(Percentage of highly annoyed, 이후 %HA라함)은 이분변수(binary data) 형태를 취하기 때문에 일반 선형회귀분석 기법에는 적용할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 로지스틱 회귀모델을 도입해 사용하였다. 이 모델은 애초부터 S자 형태의 그래프를 가정하므로 양 경계에서 0과 100으로 수렴하는 형태를 보기 때문에 추세가 역전될 우려가 없기 때문에 소음도 값이 더 낮은데도 불구하고 추세선이 더 높게 나타나는 경우가 모델 자체에서 배제될 뿐만아니라 이분변수 특성을 가지는 %HA 대한 물리적인 직관과도 잘 부합된다.

#### 3.1 가중최소제곱법 (Weighted Least Squares Method)

S자 curve를 가정하고 식 (3.1)과 같은 함수를 도입한다.

$$P = \frac{1}{1 + \exp(-Z)} \quad (3.1)$$

Z를 X에 대해 선형회귀분석한다.

$$Z = \alpha + \beta X \quad (3.2)$$

이는 결국 다음의 선형회귀분석을 수행하는 문제로 귀결된다.

$$\ln\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \alpha + \beta X_i \quad (3.3)$$

위 식의 좌변은 로짓(logit)이라 불리는데 결국 로지스틱 회귀모형은 로짓을 X에 대해 선형회귀분석하는 문제가 된다. 그런데 이때 한가지 문제가 발생하는데 바로 회귀분석의 기본가정인 잔차의 동분산 가정이 더 이상 성립하지 않는다는 것이다. 종속변수의 분산을 구해보면 다음과 같다.

$$Var(\varepsilon_i) = Var\left(\ln \frac{\hat{p}_i}{1 - \hat{p}_i}\right) \cong \frac{1}{n_i p_i (1 - p_i)} \quad (3.4)$$

위 식에서  $p$ 는 모비율을 의미하고  $n$ 은 표본수를 나타내며 식을 통해 잔차의 분산이 매 데이터 지점마다 달라질 수 있음을 알 수 있다. 따라서 회귀분석의 기본 가정중의 하나인 동분산 가정을 만족시키기 위해 잔차의 분산을 고정시킬 필요가 있다. 이를 고정하기 위해 가장 단순한 방법으로 역수를 곱해 잔차분산을 1로 고정시키는 방법을 생각해 볼 수 있다. 따라서 가중치는 잔차분산의 역수로 결정되며 이 때 모비율은 알 수 없으므로 표본비율로 대체한다.

$$w_i = n_i p_i (1 - p_i) \rightarrow w_i = n_i \hat{p}_i (1 - \hat{p}_i) \quad (3.5)$$

이 후의 계산과정은 생략하고 최종 계수는 다음과 같이 결정된다.

$$\beta = \frac{\sum w_i (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum w_i (X_i - \bar{X})^2}$$

$$\alpha = \bar{Y} - \beta \bar{X} \quad (3.6)$$

그런데 실제 적용시에 가중최소제곱법(WLS) 기법은 영빈도의 문제를 수반하게 된다. 즉,  $p$ 가 0이나 1이 되면 로짓이 무한대로 발산하게 되어 무의미한 데이터가 되는데 이 때, 이 데이터를 배제할 것인지 아니면 다른 수로 대체할 것인지에 대한 명확한 해결책이 없기 때문에 이는 상당한 오차 요인으로 작용하게 된다. 따라서 실제 통계 프로그램 등에서 로지스틱 회귀분석을 수행할 때에는 이러한 문제점이 없는 다른 접근 방식인 최대우도법(Maximum Likelihood Method)을 사용하게 된다.

### 3.2 최대우도법 (Maximum Likelihood Estimation)

최소제곱법(OLS)과는 다른 접근 방식으로 이는 애초부터 확률적인 방식으로 접근하며 확률밀도함수와 같은 개념인 우도함수를 만들고 이의 극대지점에서 확률을 예측하는 기법이다. %HA 표본조사의 경우 매회 베르누이 시행(참 혹은 거짓과 같은 문제)이 되며 표본수  $n$ 에서  $y$ 번 성공할 확률은 이항분포의 특성을 따르므로 이를 이용해 확률밀도함수와 우도함수를 정의할 수 있다. 이 때 확률밀도함수에서는  $y$ 가 미지수인 반면 우도함수에서는  $p$ 가 미지수인 점이 다르다.

$$f(y|\beta) = \prod_{i=1}^N [n_i C_{y_i}] p_i^{y_i} (1 - p_i)^{n_i - y_i}$$

$$L(\beta|y) = \prod_{i=1}^N [n_i C_{y_i}] p_i^{y_i} (1 - p_i)^{n_i - y_i} \quad (3.7)$$

우도함수가 최대인 지점에서  $p$ 를 예측하려면 우도함수를  $p$ 로 미분한 0일때의 값을 구하면되는데 이 때 계수는 의미가 없으므로 계수를 제외시키면 다음의 식이 성립한다.

$$L(\beta|y) = \prod_{i=1}^N p_i^{y_i} (1 - p_i)^{n_i - y_i} = \prod_{i=1}^N \left(\frac{p_i}{1 - p_i}\right)^{y_i} (1 - p_i)^{n_i} \quad (3.8)$$

다음의 두식 (3.9)와 (3.10)을 이용해 우도함수를 변형시킨후 양변에 자연로그를 취하면 식 (3.11)을 얻을 수 있다.

$$\left(\frac{p_i}{1 - p_i}\right) = e^{\sum_{k=0}^K x_{ik} \beta_k}, \quad p_i = \left(\frac{e^{\sum_{k=0}^K x_{ik} \beta_k}}{1 + e^{\sum_{k=0}^K x_{ik} \beta_k}}\right) \quad (3.9)$$

$$L(\beta|y) = \prod_{i=1}^N (e^{y_i \sum_{k=0}^K x_{ik} \beta_k}) (1 + e^{y_i \sum_{k=0}^K x_{ik} \beta_k})^{-n_i} \quad (3.10)$$

$$l(\beta) = \ln[L(\beta|y)] = \sum_{i=1}^N y_i \left(\sum_{k=0}^K x_{ik} \beta_k\right) - n_i \cdot \ln(1 + e^{y_i \sum_{k=0}^K x_{ik} \beta_k}) \quad (3.11)$$

구하고자 하는 계수에 대해 미분값을 0으로 놓는다.

$$\frac{\partial l(\beta)}{\partial \beta_k} = \sum_{i=1}^N y_i x_{ik} - n_i p_i x_{ik} = 0 \quad (3.12)$$

최종식은 비선형으로 해석적으로는 풀 수 없으며 Newton-Raphson method와 같은 수치해석 방법을 이용해 구해야 한다. 최대우도법은 가중최소제곱법과 달리 근사식이 아닌 엄밀해이고 또한 영빈도의 우려 또한 발생하지 않는 방법이다. 적합도의 검증은 다양한 방식으로 이루어지는데 본 논문에서는 생략하기로 한다.

## 4. 결과 및 분석

교통소음의 물리적 위해요인의 정량 평가 연구를 위해 본 연구에서는 서론에서도 언급한 것과 같이 WHO의 소음 지침서 [1]에서 소음에 대한 인체 위해성 영향인자로 규정하고 있는 불쾌감(annoyance)을 이용하였다. 즉, 교통소음의 물리적 크기에 대한 개인의 상대적 불쾌감 정도를 파악하고 %HA와의 상관관계 분석을 위해서 3절에서 언급한 로지스틱 회귀분석(logistic regression analysis)을 이용하였다.

외국의 연구 사례를 보면 소음에 대한 인체 위해성 연구시 소음의 물리적 크기의 평가 지표로  $L_{dn}$ 을 사용하여 수행하고 있다. 그 이유는 소음평가 지표로 많은 나라에서  $L_{dn}$ 을 사용

하고 있으며 특히 유럽에서는 EC 시행안의 소음 지시치로 선정하여 사용하고 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서도 외국 연구와의 비교, 검토를 위해 소음의 물리적 지표로  $L_{dn}$ 을 사용하여 수행하였다. 그러나 항공기 소음의 경우에는  $L_{dn}$ 과 더불어 현재 우리나라 항공기 소음의 평가단위로 사용하고 있는  $WECPNL$ 에 대하여도 연구를 수행했다.

각 교통 소음원에 대한 자세한 연구내용은 다음과 같다.

#### 4.1 항공기 소음

먼저 항공기 소음에 대한 위해성 연구 시 보다 타당한 소음 지표가 무엇인지 고찰하고 항공기 소음에 대한 위해성 연구에 보다 적합한 소음지표를 사용하여 소음의 물리적 크기와 사람이 느끼는 불쾌감과의 상관관계를 도출하였다 [12, 13].

<그림 4.1>과 <그림 4.2>는 김포공항과 김해공항 주변 지역에서 수행한 field survey 결과로 각각 물리적 소음지표인  $WECPNL$ 과  $L_{dn}$ 에 따른 %HA의 분포를 나타낸 것이다. 두 그림을 통해 알 수 있듯이 물리적 소음지표인  $WECPNL$  값이 커짐에 따라 소음에 노출된 주민의 %HA의 값도 증가하는데 비해  $L_{dn}$ 에 대해서는 %HA 값의 일정한 경향을 찾기 어려울 수 있다. 이렇게 두 소음지표간에 서로 다른 차

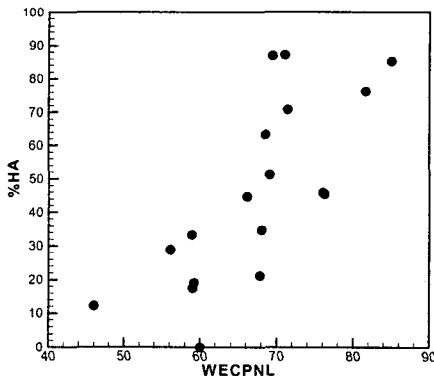


그림 4.1 %HA with respect to WECPNL

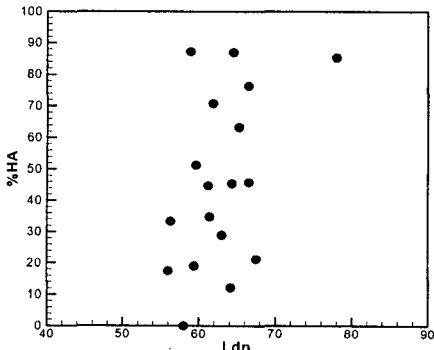


그림 4.2 %HA with respect to  $L_{dn}$

이를 보이는 이유는 물리적 소음지표인  $WECPNL$ 과  $L_{dn}$ 의 소음도 산출 방식의 차이에 기인하는 것으로  $WECPNL$ 은 매 항공기 통과시 생성되는 최고 소음도( $L_{Amax}$ )를 기본단위로 하여 산출 [9]하는데 반하여  $L_{dn}$ 은  $L_{eq}$ (등가소음도)를 기본단위로 하여 야간시간에 10dB의 벌칙을 부과하여 산출 [14]하기 때문이다. 여기서  $L_{dn}$ 의 산출은 배경소음을 포함한 전체 소음값을 토대로하여 산출된 값이다.

<표 4.1>은 김포공항 및 김해공항 주변 지역 중 몇 지점에 대한  $WECPNL$  값과  $L_{dn}$  값을 비교한 것이다. 보통의 경우에는  $WECPNL$  값이  $L_{dn}$  값에 비해 약 13 dB 큰 값을 갖게 된다 [15]. 그러나 표에서 보는 바와같이 송정중학교 및 월중초교에서 측정된  $WECPNL$  값은  $L_{dn}$  값과 비슷한 크기의 값으로 산출되고 있으며 또한, 김해공항 지역의 신천과 가락타운 지역의 경우에는 신천 지역에서의 소음도가 약 7  $WECPNL$  큼에도 불구하고  $L_{dn}$  값에는 거의 차이가 나고 있지 않음을 알 수 있다. 이는 신천 지역이 농사를 주 생업으로 하는 전형적인 농촌 지역인데 비해 가락타운은 도시 지역으로 신천 지역에 비해 상대적으로 배경소음이 큰 지역이기 때문이다. 따라서 위의 설명으로부터 우리는 전체 노출소음도로부터 산출된  $L_{dn}$ 은 배경소음(background noise)에 많은 영향을 받게 됨을 알 수 있다. 따라서 운항횟수가 많지 않고 변화가 비교적 완만한 변동소음(fluctuation noise)이 아닌 간헐소음(intermittent noise) 특성을 갖는 소음의 경우에는 신중한 고려를 거쳐 소음평가 지표로 사용해야 할 것이다.

표 4.1 Comparison of measurement data in some areas

지역		WECPNL	$L_{dn}$
김포공항	송정중학교	67.8	67.5
	월중초교	59.2	59.4
김해공항	신천	67.4	59.3
	가락타운	60	58

따라서 본 연구에서는 항공기 소음에 대한 인체 위해성 평가 연구를 위해 소음지표로  $WECPNL$ 를 사용하여 물리적 소음도와 노출소음에 따른 주민들의 불쾌감과의 상관관계를 정량적으로 평가할 수 있는 평가 모델을 도출하였으며 또한 배경소음이 불쾌감 반응에 미치는 영향을 살펴보았다.

<그림 4.3>은 물리적 소음지표로  $WECPNL$ 을 사용하여 소음도  $WECPNL$ 과 %HA와의 상관관계를 나타낸 것으로, 점은 field survey 결과를 나타낸 것이며 실선은 field survey로부터 구축된 데이터를 기반으로 회귀분석을 이용하여 도출한 %HA의 예측곡선을 나타낸 것이다.

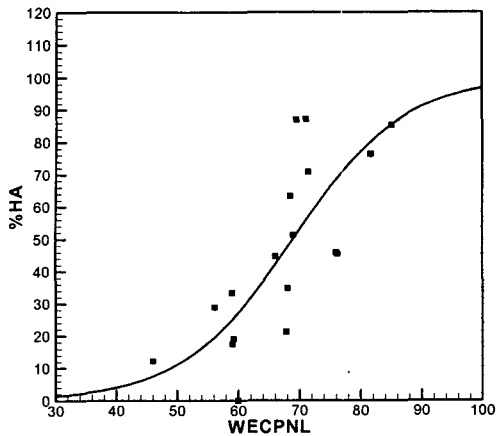


그림 4.3 %HA prediction curve of aircraft noise based on the noise exposure of the dwelling (WECPNL). Solid line is %HA prediction curve. Points are field survey data. N=692.

배경소음이 불쾌감 반응에 미치는 영향을 알아보기 위해 field survey 데이터를 배경소음 정도에 따라 2 그룹으로 구분하였다. 그룹 I은 대부분 시골지역으로 40~45 dB(A) 정도의 낮은 배경소음레벨을 갖는데 비해 그룹 II는 전형적인 도시지역으로 주로 도로소음에 의해 배경소음이 50~60 dB(A) 정도의 상대적으로 높은 배경소음에 노출된 지역이다.

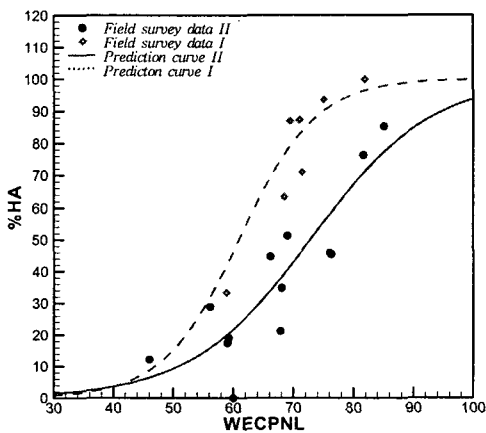


그림 4.4 Comparison of %HA prediction curve of aircraft noise with respect to background levels. Solid and dashed line are %HA prediction curve of high and low background noise level, respectively.

<그림 4.4>는 각 그룹의 field survey 데이터를 이용하여 산출한 %HA 예측곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 다이아몬드점은 그룹 I (배경소음이 상대적으로 낮은 집단)에 대한 field survey 결과이고 등근점은 그룹 II (배경소음이 상대적으로 높은 집단)에 대한 field survey 결과를 나타낸 것으로 점선과 실선은 각각 그룹 I 과 그룹 II 의 field survey 자료를 이용하여 도출한 %HA 예측곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 보면 그룹 I 의 %HA 예측곡선이 그룹 II 의 %HA 예측곡선보다 더 가파른 기울기를 가짐을 알 수 있다. 이 말은 동일한 크기의 소음에 노출된다 하더라도 그룹 I 에 속해있는 집단이 더 높은 불쾌감(annoyance)을 호소함을 의미한다. 본 결과는 외국의 여러 연구결과, “도로소음에 의한 배경소음이 증가함에 따라 항공기 소음에 대한 피실험자의 불쾌감 반응이 줄어든다 [16, 17]”는 내용과 일치하는 결과를 보여 준다. 그러나 선행 연구자들의 이러한 연구는 실제 소음노출 지역이 아닌 청감반응실험을 통해 얻어진 결과이며 실제 환경에서 배경소음의 차이에 따라 불쾌감 반응을 측정으로부터 정확히 추정하기 위해서는 실제 노출환경에 장시간 노출된 주민들을 대상으로 한 더 많은 연구가 수행되어야 가능할 것이라 판단된다. 그러나 본 연구의 결과만으로 판단해 보면 다음과 같다. 앞서서도 언급했던 것과 같이 그룹 II 는 대부분 김포공항 주변지역으로 상당부분 도시화된 아파트 밀집지역이기 때문에 자동차 및 생활소음으로 인한 배경소음의 크기가 대부분 지역에서 55dB 내외를 보이고 있는데 반해 그룹 I 은 대부분 김해공항 주변지역으로 현재까지도 농업위주의 전형적인 농촌 마을이며 약 45dB 내외의 배경소음도를 나타내고 있다. 따라서 두 지역의 배경소음의 차이는 약 10dB 정도의 차이를 보이고 있다. 이 말은 동일한 크기의 소음도에 노출된다 하더라도 배경소음이 낮은 지역의 주민들이 배경소음이 높은 지역에 비해 상대적으로 더 큰 소음의 변화(최고 소음도와 배경소음도간의 차이)를 겪게 되고 이런 소음도의 변화 정도에 따라 동일한 소음도라도 사람이 더 시끄럽다고 느낀다고 판단된다. 따라서 항공기와 같이 이벤트 특성이 강한 소음을 평가하기 위해서는 각 이벤트 및 배경소음을 고려할 수 있는 평가단위의 개발이 필요하다.

#### 4.2 철도 소음

<그림 4.5>는 기차소음에 대한 본 연구의 결과와 외국의 연구결과를 비교한 것이다. 그림에서 검은 점은 본 연구에서 수행한 각 지역에 대한 field survey 결과를 나타낸 것이며 실선은 field survey 자료를 통하여 얻은 %HA 예측곡선을 나타낸 것이다. 또, 점선은 Miedema [8]의 기차 소음에 대한 annoyance 예측식을 나타낸 것이다.

그림에서 보듯이 본 연구를 통하여 구한 소음도( $L_{dn}$ )에 따른 %HA 예측모델과 외국의 연구결과와는 상당한 차이를 보이고 있다. 이렇게 각 연구들 간에 차이를 유발하는 원인에 대해서는 앞에서 언급한 바 있다. 그러나 이러

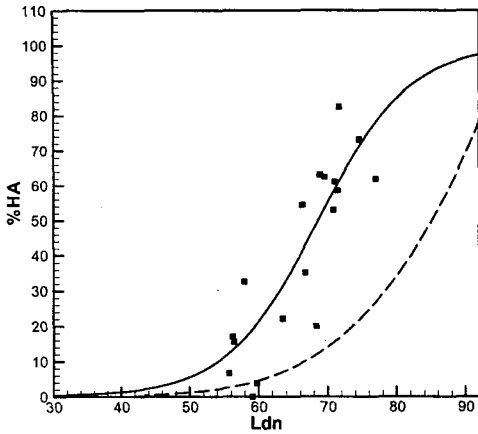


그림 4.5 Comparison between %HA prediction curve of railway noise in Korea and that in European country ( ■ , field survey data; —, %HA prediction curve; ·····, Midema's %HA curve [8])

한 차이를 유발하는 많은 원인을 고려한다 할지라도 본 연구의 결과가 유럽의 결과와 상당한 차이를 보이는 것은 분명하다. 그리고 외국 선행 연구자들의 연구결과에 의하면 철도소음은 다른 교통소음(항공기, 자동차)에 비해 적은 불쾌감 반응을 유발한다고 한다 [6-8, 18]. 이를 유럽에서는 'railway bonus'라 부르며 몇몇 유럽 국가에서는 이를 소음규정에 적용하고 있다. 그러나 최근 일본의 철도소음에 대한 연구는 위와 전혀 다른 결과를 보이고 있다.

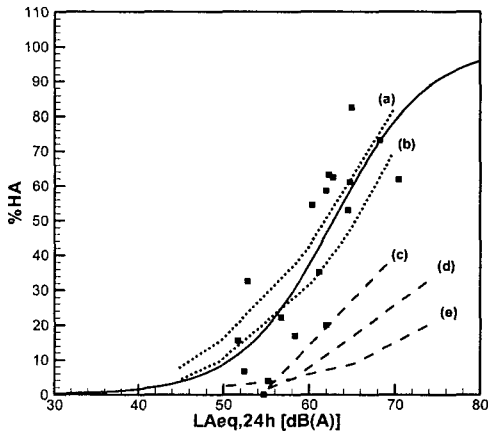


그림 4.6 Comparison between %HA prediction curve of railway noise in Korea and that in other country surveys ( ■ , field survey data; —, %HA prediction curve; (a) Japan 1992 [21]; (b) Japan (Sinkansen) 1989 [22]; (c) France 1988 [20]; (d) Denmark 1988 [20]; (e) U.K. 1984 [20])

<그림 4.6>은 기차소음에 대한 본 연구의 결과와 일본 [19] 및 유럽의 연구결과 [20]를 비교한 것으로 실선은 field survey 자료를 통하여 얻은 본연구의 %HA 예측곡선을 나타낸 것이며 선 (a), (b)는 일본의 연구결과를, (c)~(e)는 유럽의 연구결과를 나타낸 것이다.

위의 그림을 통해 알 수 있듯이 본 연구의 결과는 일본의 결과들과 매우 유사한데 반하여 유럽국가의 결과보다는 상당히 높음을 다시 한번 확인 할 수 있다. 이렇게 본 연구 즉, 한국 사람들이 유럽사람들에 비해 기차소음에 더 큰 불쾌감 반응을 보이는 이유를 몇 가지 측면에서 생각해 볼 수 있다.

한국 및 일본의 주거지역은 유럽에 비해 철도와 매우 근접한 거리에 형성되어 있다. 따라서 기차가 지나갈 때 주거지역으로 큰 소음과 진동이 전달되게 된다. 이는 본 연구결과가 유럽의 결과와 차이를 유발하는 가장 주요한 요인 중의 하나이다. <표 4.2>는 기차가 지나갈 때 몇몇 측정지역에서 측정된 최고 소음도( $L_{Amax}$ )를 나타낸 것이다. 표에서 알 수 있는 것처럼 최고 소음도의 값은 작게는 91 dB(A)에서 크게는 100 dB(A)를 넘는 지역도 발생하고 있다. 이 값들이 최고 소음도로 측정된 값이라 할지라도 대상지역에 거주하는 사람들에게 생활에 큰 방해물 초래할 수 있는 수치임에는 의심할 여지가 없다. 특히, 이러한 소음도는 늦은 밤 화물기차에 의해 큰 진동을 수반하여 발생한다.

표 4.2 Measurement data at sites within 30m from railway line when an train pass by

측정점	$L_{Amax}$	측정점	$L_{Amax}$
측정점 1	93.1	측정점 6	100.5
측정점 2	93.7	측정점 7	99.9
측정점 3	97.6	측정점 8	92.8
측정점 4	94.1	측정점 9	96.1
측정점 5	91.6		

발코니의 위치 역시 불쾌감 반응에 중요한 요소로 작용한다. 소음원 방향으로 발코니가 위치한 거주자는 그렇지 않은 거주자에 비해 더 큰 불쾌감을 호소한다. 그러나 한국의 경우 상당수의 아파트가 철로 방향으로 발코니를 취하고 있다.

마지막으로 소음은 주택가격에도 영향을 미치는데 철도에 근접한 지역의 아파트 가격은 그렇지 않은 지역보다 낮은 가격에 형성된다. 소음 1dB 증가가 주택가격에 미치는 영향은 평균 0.3%로 추정되며, 큰 평수일수록 소음 증가에 따른 주택가격에 미치는 영향은 더 커진다 [23].

위와 같은 이유 등으로 인해 한국 사람들의 철도소음에 대한 불쾌감 반응이 유럽 사람들에 비해 더 큰 것이라 판단된다.

### 4.3 도로 소음

도로소음은 전형적인 완만한 변동소음(fluctuation noise)의 특징을 가진다. <그림 4.7>은 도로 소음에 대한 본 연구의 결과와 외국의 연구결과를 비교한 것이다. 그림에서 검은 점은 본 연구에서 수행한 각 지역에 대한 field survey 결과를 나타낸 것이며 실선은 field survey 자료로부터 로지스틱 분석을 통해 도출한 결과를 나타낸 것이다. 또, 점선은 Miedema의 도로 소음에 대한 %HA의 예측식을 나타낸 것이다 [8].  $L_{dn}$  80dB(A) 이하의 구간에서는 두 예측식이 상당히 일치된 결과를 보이고 있다. 그러나 그 이상의 구간에서는 소음도가 증가할수록 두 결과간에는 더 많은 차이를 보이고 있는데 이는 회귀식을 도출할 때 사용된 모델의 특성에 의해 발생한 결과이며 또 엄밀한 의미에서 임의의 모델을 이용하여 도출한 회귀식은 그 회귀식을 도출할 때 사용한 데이터의 구간에서만 그 신뢰성을 보장받을 수 있으며 그 외의 구간에서는 회귀식의 신뢰성을 보장할 수 없게 된다. 따라서 선행연구자와 본 연구에서 %HA 예측식을 도출하기 위해  $L_{dn}$  80dB(A)까지만 사용한 것을 감안한다면  $L_{dn}$  80dB(A) 이상에서 발생하는 차이는 의미가 없는 결과라 할 수 있다.

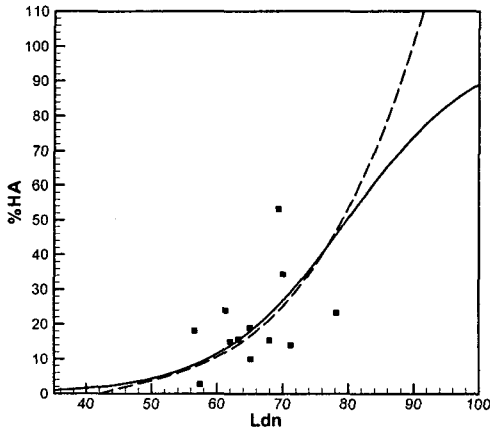


그림 4.7 Comparison between %HA prediction curve of traffic noise in Korea and that in European country (●, field survey data; —, %HA prediction curve; ·····, Miedema's %HA curve [8])

### 4.4 교통소음에 대한 불쾌감 정량 평가 모델

외국의 선행 연구자들의 연구결과에 의하면 사람들에게 노출되는 교통소음 중에서 항공기 소음이 자동차나 기차소음에 비해 더 심한 %HA를 유발한다고 한다. <그림 4.8>은 주로 유럽지역에 거주하는 사람들을 대상으로 하여 조사된 자료를 토대로하여 얻어진 항공기, 자동차, 기차소음에 대한 %HA 연구결과를 나타낸 것으로 동일한 크기의 소음에 노출된다

할지라도 항공기 소음에 의해 야기되는 %HA가 가장 크며 기차소음에 의해 유발되는 %HA가 가장 적음을 알 수 있다 [8].

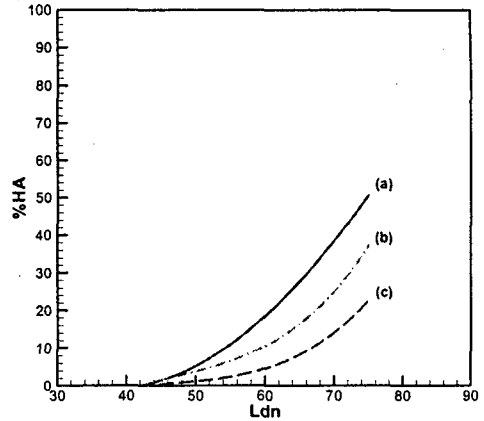


그림 4.8 %HA prediction curve for (a) aircraft, (b) road traffic, and (c) railway noise in European country

<그림 4.9>은 본 연구를 통하여 도출된 연구결과로 항공기, 철도, 도로소음에 의한 %HA에 대한 예측 결과를 비교한 것이다. 본 연구의 결과는 위에서 언급하였던 외국의 연구결과와는 다소 다른 결과를 보이고 있다. 이렇게 연구결과에 차이를 보이는 이유에 대해서는 이미 앞절에서 언급하였다.

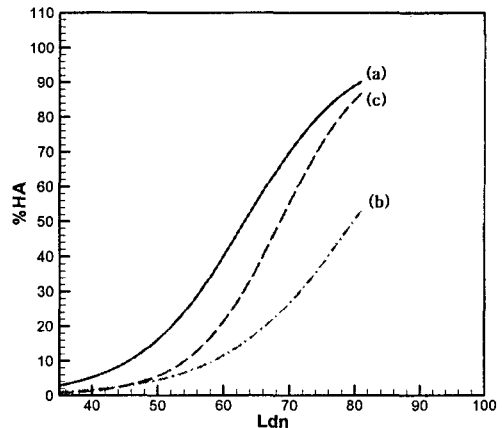


그림 4.9 %HA prediction curve for (a) aircraft, (b) road traffic, and (c) railway noise in this research

외국의 연구결과와 비교하여 본 연구의 결과의 가장 큰 차이는 기차소음에 의한 주민들의 불쾌감 반응이 자동차에 의한



것 보다 더 크다는 사실이다. 이런 차이를 유발하는 가장 중요한 이유는 우리나라 사람들과 다른나라 사람들이 각 소음원에 대해 느끼는 문화적 차이와 소음이 노출되는 지역적 차이 때문에 기인한다 생각된다. 앞서도 언급했지만 실제로 우리나라의 경우 대도시 주변으로 상당히 높은 인구밀도 등으로 인해 집약적인 토지 사용을 피하기 어려운 실정이며 이로 인해 철길과 불과 10여 미터 떨어진 매우 인접한 지역에 상당히 많은 주거지가 형성되어 있다. 따라서 이로 인해 철도 운행 시 주거지역으로 상당히 큰 진동뿐 아니라 소음에 노출되게 된다. 또, 우리나라와 유사한 생활권을 가지고 있는 일본의 경우에도 몇몇 연구에 의하면 철도에 의해 야기되는 %HA가 도로소음에 비해 더 크다는 연구 결과가 발표되고 있음을 앞에서 설명하였다. 이는 일본과 한국 사람들이 다른 소음에 비해 철도소음에 더 민감하게 반응하고 있음을 말해 준다.

#### 4. 결 론

2000년 WHO 보고서 [3]는 많은 나라의 환경정책 및 보건에 대한 기본 방향 결정을 돕기 위해 수면방해 및 불쾌감 호소 비율과 같은 인체 위해성 평가를 위한 환경 건강 지시치 (Environmental health indicators)를 제안하고 있다. 그러나 WHO의 이 보고서는 소음으로 인해 야기되는 주민들의 불쾌감에 대한 정량화의 구체적 방안은 제안하지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 교통수단에 의해 발생하는 노출 소음도와 노출지역 주민의 높은 불쾌감을 호소하는 군집비율 (Percentage of highly annoyed, %HA)과의 상관관계 연구를 위하여 51개 지역 1,839명을 대상으로 하는 소음측정과 설문조사를 수행하였으며 여기서 구축된 데이터를 이용하여 각 교통소음원의 소음도에 따른 %HA의 평가 모델을 개발하였으며, 도출된 결과를 통해 한국 사람들의 철도소음에 대한 불쾌감 반응이 유럽 사람들에 비해 더 큼을 알 수 있었다.

본 평가모델은 향후 우리나라가 환경에 대한 개선된 정책 및 관리 등과 같은 선진국형 종합 환경평가를 위한 기반 기술로 적극 활용이 가능할 수 있을 것이라 기대된다.

#### 후 기

본 연구는 한국환경기술진흥원의 차세대 환경기술 개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- (1) WHO, 1999, "Guidelines for community noise", World Health Organization, London, United Kingdom.
- (2) WHO, 1994, "Assessing human health risks of chemicals: Derivation of guidance values for health-based exposure limits. Environmental Health Criteria No. 170, World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- (3) WHO, 2000, "Environmental Health Indicators: Development of a methodology for the WHO European Region", World Health Organization Regional Office for Europe, Geneva, Switzerland.
- (4) J.M. Fields, 1993, "Effects of personal and situational variables on noise annoyance in residential areas", Journal of the Acoustical Society of America 93, 2753-2763.
- (5) T.H.J. Schultz, 1978, "Synthesis of social surveys on noise annoyance", Journal of the Acoustical Society of America 64, 377-405.
- (6) K.D. Kryter, 1982, "Community annoyance from aircraft and ground vehicle noise", Journal of the Acoustical Society of America 72, 1212-1242.
- (7) L.S. Finegold, C.S. Harris and H.E. von Gierke, 1994, "Community annoyance and sleep disturbance: Updated criteria for assessing the impacts of general transportation noise on people", Noise Control Engineering Journal, 42, 25-30.
- (8) H.M.E. Miedema and H. Vos, 1998, "Exposure-response relationships for transportation noise", Journal of the Acoustical Society of America, 104, 3432-3445.
- (9) 환경부, "騒音·振動公定試験方法", 環境部 告示 第2000-31 號(2000. 3. 14)
- (10) 임창우, 이수갑, 2003, "환경소음평가 질의서: 요약 핵심형(Core Set)", 서울대학교 환경소음진동연구센터.
- (11) 임창우, 이수갑, 2003, "환경소음평가 질의서: 일반형(General Set)", 서울대학교 환경소음진동연구센터.
- (12) 임창우, 김재환, 홍지영, 이수갑, 2005, "한국인의 민간 항공기 소음에 대한 불쾌감 연구", 춘계학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회.
- (13) C. Lim, J. Kim, J. Hong, H. Sun and S. Lee, 2005, "Community annoyance from civil aircraft noise in Korea", Proceedings of Inter-noise 05, Rio de Janeiro, Brazil.
- (14) Miedema, H.M.E. and Oudshoorn, C.G.M., 2001, "Annoyance from transportation noise: Relationships with exposure metrics Ldn and Lden and their

- confidence intervals", *Environmental Health Perspectives*, 109.
- (15) H. Yoshioka, and I. Yamada, 2004, "Consideration to noise index for evaluating airport noise in Japan", *Proceedings of Inter-noise 04, Prague in Czech Republic*.
- (16) C.A. Powell and C.G. Rice, 1975, "Judgments of aircraft noise in a traffic noise background", *Journal of Sound and Vibration*, 38, 39-50.
- (17) G.W. Johnston and A.A. Haasz, 1979, "Traffic background level and signal duration effects on aircraft noise judgment", *Journal of Sound and Vibration*, 63, 543-650.
- (18) J.M. Fields and J.G. Walker, 1982, "Comparing the relationships between noise level and annoyance in different surveys: A railway noise vs. aircraft and road traffic comparison", *Journal of Sound and Vibration* 81, 51-80.
- (19) J. Kaku and I. Yamada, 1996, "The possibility of a bonus for evaluating railway noise in Japan", *Journal of Sound and Vibration* 193, 445-450.
- (20) J. Kaku, 1994, "Community response to railway noise-comparison of social survey results between Japan and other countries", *Proceedings of Inter-noise 94*, 121-124.
- (21) Environment Agency of Japan, 1994, "Report of the research on the guideline for conventional railway noise".
- (22) Research Center of Transportation and Economy, 1990, "Report of the survey of the community response to Shinkansen noise".]
- (23) 임영태, 2000, "大都市 道路周邊 아파트價格에 內在된 自動車 騒音價値 推定에 關한 研究", 서울시립대학교 학위 논문.