

# 공동주택 도로교통소음 예측방법 고찰

## Examination of Prediction Model for Road Traffic Noise in Apartment

박현구†, 송국곤\*, 송민정\*\*, 장길수\*\*\*, 김선우\*\*\*\*

Hyeon-Ku Park, Guk-Gon Song, Min-Jeong Song, Gil-Soo Jang, Sun-Woo Kim

**Key Words** : 도로교통소음(road traffic noise), 예측방법(prediction model), 삽입손실(insertion loss)

### ABSTRACT

Prediction models currently being used for road traffic noise in apartment are equation of NIER, HW-NOISE of Korea Expressway Corporation, FHWA of United States, CRTN of United Kingdom, NMPB of France, ASJ RTN-Model 2003 of Japan and ISO 9613-1, 2 as a international standard. ISO 9613 species an engineering method for calculating the attenuation of sound during propagation outdoors in order to predict the levels of environmental noise at a distance from a variety of sources. This study, prior to investigation of every prediction methods listed above, aims to examine the model internationally standardized and to establish a reference for the prediction of road traffic noise in apartment.

### 1. 서론

건설교통부는 공동주택 건설지점의 소음도가 '주택건설 기준 등에 관한 규정' 제9조에서 정하는 기준(65데시벨 미만)의 만족 여부 확인을 위한 측정기준과 방법 등을 새로이 정하는 공동주택의 소음 측정기준을 마련하여 고시하고, 2008년 1월 1일부터 시행하게 되었다. 이에 따라 사업 시행자는 대상 건물의 사업계획승인을 위해 실외소음 및 실내소음 크기를 예측해야 하며, 이때 단순히 거리감쇠식만을 이용하지 않고, 예측대상의 도로, 지형조건 및 주변 건물의 배치상태 등 실제 주변조건을 입력하여 예측하여야 한다. 따라서 예측에 사용되는 예측식의 정확도에 따라 준공 후의 소음저감을 위한 노력이 달라진다고 하겠다.

현재 공동주택에서의 교통소음에 대한 예측 모델은 국립환경연구원식, 한국도로공사의 HW-NOISE, 미국의 FHWA, 영국의 CRTN, 프랑스의 NMPB, 일본음향학회 ASJ RTN-Model 2003 및 국제 표준으로 ISO 9613-1, 2가 있다. 이 중 ISO 9613-1은 대기에 의한 흡음의 계산을 다루고 있으며, ISO 9613-2는 외부소음 전파감쇠에 대한 일반적인 계산방법을 다루고 있다. 본 논문은 각국, 기관에서 사용되는 예측방법의 검토에 앞서 국제적으로 표준화되어 사용되는 방법에 대한 검토를 통하여 공동주택에서

의 교통소음 예측에 대한 기준을 참고자 하였다.

### 2. ISO 9613-2의 이해

#### 2.1 범위

본 규격은 다양한 음원으로부터 환경소음레벨을 예측하기 위해 외부에서 전파되는 동안 음의 감쇠를 계산하는 공학적 방법을 규정하고 있다. 그 방법은 음원 전파에 유리한 기상조건하에서의 연속된 등가소음레벨을 예측하는 것이다. 물리적 효과에 대한 알고리즘에 포함된 특정 항목은 다음과 같다.

- 기하학적 확산(geometrical divergence)
- 대기 흡수(atmospheric absorption)
- 지면 효과(ground effect)
- 면의 반사(reflection from surfaces)
- 장애물에 의한 차폐(screening by obstacles)

#### 2.2 정의

(1) 등가 연속 A보정 음압레벨,  $L_{AT}$

$$L_{AT} = 10 \lg \left\{ \left[ (1/T) \int_0^T P_A^2(t) dt \right] / P_0^2 \right\} \text{ dB} \quad \text{식1}$$

여기에서,  $P_A(t)$ 는 순간 A보정 음압(Pa),  $P_0$ 는 기준 음압 ( $=20 \times 10^{-6}$  Pa)이고 T는 특정시간대(sec)이다.

(2) 순풍 등가 연속 옥타브밴드 음압레벨,  $L_{fT}(DW)$

$$L_{fT}(DW) = 10 \lg \left\{ \left[ (1/T) \int_0^T P_f^2(t) dt \right] / P_0^2 \right\} \text{ dB} \quad \text{식2}$$

여기에서,  $P_f(t)$ 는 순풍 조건에서의 순간 옥타브밴드 음압(Pa), f는 옥타브밴드 필터의 중심주파수이다.

(3) 삽입손실(방음벽)

† 정회원, 전남대 바이오하우징사업단 연구원, 공학박사

E-mail : soundpark@cricmail.net

Tel : (062)530-0789, Fax : (062) 530-0780

\* 정회원, 전남대 대학원 석사과정

\*\* 정회원, 전남대 바이오하우징사업단 전임연구원, 공학박사

\*\*\* 정회원, 동신대 건축학부 교수, 공학박사

\*\*\*\* 정회원, 전남대 건축학부 교수, 공학박사

음 전파에 영향을 미치는 변화 없이 특정 위치에서 아래 두 조건 사이의 음압레벨 차(dB)

- a) 방음벽이 없을 때
- b) 방음벽이 있을 때

### 2.3 기상조건

ISO 9613-2에서 규정하는 방법상 순풍 전파 조건이란,  
 - 음원의 중심 및 수음점 중심을 연결한 방향의 ±45° 이내의 바람 방향 및  
 - 지면 위 3m에서 11m 높이에서 측정된 약 1 m/s와 5 m/s 사이의 풍속.

### 2.4 기본 식

수음점에서 등가 연속 순풍 옥타브밴드 음압레벨 ( $L_{rT}(DW)$ )은 각 점음원 및 그 음원의 허상음원에 대해 계산되어야 하고 다음 식에 의해 63 Hz부터 8 kHz까지 8개의 중심 주파수에 대해 계산되어야 한다.

$$L_{rT}(DW) = L_w + D_c - A \quad \text{식3}$$

여기에서,  $L_w$ 는 기준 음향과위(1pW)에 대한 점음원에 의해 발생된 옥타브밴드 음향과위 레벨(dB)이고,  $D_c$ 는 지향 보정(dB)으로 자유음장에서 무지향 점음원인 경우  $D_c = 0$  dB이다.  $A$ 는 옥타브밴드 감쇠량(dB)으로서 점음원으로부터 수음점까지 전달되는 동안 발생하는 값이다.

$A$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc} \quad \text{식4}$$

여기에서  $A_{div}$ 는 기하학적 확산에 의한 감쇠,  $A_{atm}$ 은 대기 흡수에 의한 감쇠이고  $A_{gr}$ 은 지면 효과에 의한 감쇠,  $A_{bar}$ 은 장애물에 의한 감쇠,  $A_{misc}$ 는 기타 부수효과(규격의 부록1)에 의한 감쇠이다.

등가 연속 A보정 음압레벨은 각 점음원과 그 음원의 허상음원 및 8개의 옥타브밴드에 대해 식 (3)과 (4)에 의해 계산된 음압을 다음 식에 의해 계산된다.

$$L_{AT}(DW) = 10 \lg \left\{ \sum_{i=1}^n \left[ \sum_{j=1}^8 10^{0.1[L_{rT}(ij) + A_r(i)]} \right] \right\} \text{dB}$$

식5

여기에서,  $n$ 은 음원 및 전달경로의 수,  $j$ 는 63 Hz에서 8 kHz까지 8개의 중심주파수를 나타내는 지수이고  $A_r$ 는 표준 A 보정값이다.

장기간 평균 A보정 음압레벨( $L_{AT}(LT)$ )는 다음과 같이 계산된다.

$$L_{AT}(LT) = L_{AT}(DW) - C_{met} \quad \text{식6}$$

여기에서,  $C_{met}$ 는 기상보정계수이며, 음원 및 수음점의 높이, 음원과 수음점 사이의 거리 등에 의해 결정된다.

$$d_p \leq 10(h_s + h_r) \text{인 경우, } C_{met} = 0$$

$$d_p > 10(h_s + h_r) \text{인 경우,}$$

$$C_{met} = C_0 [1 - 10(h_s + h_r)/d_p]$$

여기에서,  $h_s$ 는 음원 높이(m),  $h_r$ 는 수음점 높이(m)이고,  $d_p$ 는 수평방향으로 투영된 음원과 수음점 사이의 거리

(m),  $C_0$ 는 풍속, 풍향 및 온도 변화에 대한 지역 기상 통계에 따른 요인이다.

### 2.5 기본 식에 포함된 세부 항목의 계산

(1) 기하학적 확산에 의한 감쇠,  $A_{div}$

기하학적 확산은 자유음장에서 점음원으로부터 구면 방사에 의한 감쇠를 말하며, 다음 식과 같다.

$$A_{div} = [10 \lg(d/d_0) + 11] \text{dB} \quad \text{식7}$$

여기에서,  $d$ 는 음원에서 수음점까지의 거리(m)이고,  $d_0$ 는 기준 거리로서 1 m이다.

(2) 대기 흡수,  $A_{atm}$

거리  $d$ 를 전파하는 동안 대기 흡수로 인해 감쇠되는 값(dB)은 다음 식과 같다.

$$A_{atm} = \alpha d / 1000 \quad \text{식8}$$

여기에서,  $\alpha$ 는 km 당 대기 감쇠 계수(dB)이고 각 옥타브밴드에서의 중심주파수에서의 값으로 나타낸다. ISO 9613-1은 대기 흡수에 대한 세부적인 값에 대하여 기술하고 있다.

(3) 지면 효과,  $A_{gr}$

지면 감쇠는 음원에서 수음점까지 전파하는 동안 지면의 반사에 의해 일어나는 것으로서, 음원, 수음점 및 중간 영역으로 구분하여 계산한다. 각 영역에서의 음향특성은 지면 계수(G)를 통해 구분된다. 반사면은 세 항목으로 규정되는데, 딱딱한 지면(hard ground), 다공성 지면(porous ground) 및 혼합 지면(mixed ground)로 구분된다. 딱딱한 지면의 G값은 0이며, 다공성 지면의 G는 1, 혼합 지면의 G값은 0에서 1사이의 값이다.

(4) 차폐 효과,  $A_{bar}$

면밀도가 10 kg/m<sup>2</sup> 이상이고, 큰 균열이나 틈이 없으며 수평길이가 대상 주파수의 파장보다 큰 물체인 경우 소위 방음벽이라 하는 차폐물로 간주되어진다. 이 경우 방음벽에 의한 차폐 효과( $A_{bar}$ )는 방음벽 감쇠( $D_z$ )로 계산된다.

$$D_z = 10 \lg [3 + (C_2/\lambda) C_3 z K_{met}] \text{dB} \quad \text{식9}$$

여기에서,  $C_2=20$ (지면 반사의 효과 포함)이며, 특별한 경우 지면 반사를 허상 음원에 의해 분리하여 고려하면  $C_2=40$ 이다.  $C_3$ 는 단일 회절값일 경우 1이며, 이중 회절일 경우에는  $C_3 = [1 + (5\lambda/e)^2] / [(1/3) + (5\lambda/e)^2]$ 이다.  $\lambda$ 는 파장(m),  $z$ 는 경로차로서 단수의 회절에 대해  $z = [(d_{ss} + d_{sr})^2 + a^2]^{1/2} - d$ 와 같으며, 2중 회절은 Fig. 1과 같이  $z = [(d_{ss} + d_{sr} + e)^2 + a^2]^{1/2} - d$ 이다.  $K_{met}$ 은 기상 효과에 대한 보정 계수이며 아래 식과 같이 계산되고,  $e$ 는 이중 회절의 경우 두 회절 지점간 거리이다.

$z > 0$ 일 경우,

$$K_{met} = \exp [-(1/2000) \sqrt{d_{ss} d_{sr} d / (2z)}]$$

$z \leq 0$ 일 경우,  $K_{met} = 1$  식10

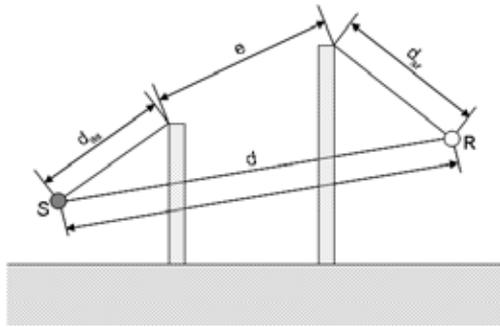


Fig. 1. Geometrical quantities for determining the pathlength difference for double diffraction

(5) 반사

반사는 허상 음원으로 고려하며, 건물 벽과 같이 수음점에서의 음압 레벨을 증가시키는 요소들로부터 일어난다. 단, 지면에 의한 반사는 지면 효과(Agr)에서 계산되므로 포함하지 않는다. 반사는 면의 반사 계수가 0.2 이상인 경우 및 면의 크기가 충분히 큰 경우에 대해서만 고려하며, 허상음원으로 고려된 음향파워레벨은 다음과 같이 계산한다.

$$L_{w,im} = L_w + 10 \lg(\rho) \text{ dB} + D_{fr} \quad \text{식11}$$

여기에서,  $\rho$ 는 반사계수,  $D_{fr}$ 은 수음점 방향으로의 음원의 지향 계수이다.

### 3. 교통소음 레벨의 측정 및 예측

#### 3.1 교통소음의 측정

고속도로상에서 방음벽 설치 전후의 교통소음 레벨을 측정하여 각 조건에 따른 수음점에서의 음압레벨 및 삽입손실값을 계산하고자 하였다. 측정은 총 2회로 방음벽이 설치되기 이전과 설치된 이후에 실시하였으며, 방음벽 외음 전파에 미치는 변화는 없는 것으로 조사되었다.

측정위치는 영동선 상행선 24km 지점 덕평 IC 부근이고, 설치된 방음벽은 높이 2 m, 길이 164 m이고, 도로폭은 중앙선에서 도로끝까지 거리 8.7M(차폭 4M)이고 중앙선에서 방음벽 중심까지 거리 13.15M이다. 측정 대상 위치의 평면 및 단면도는 Fig. 2와 같다.

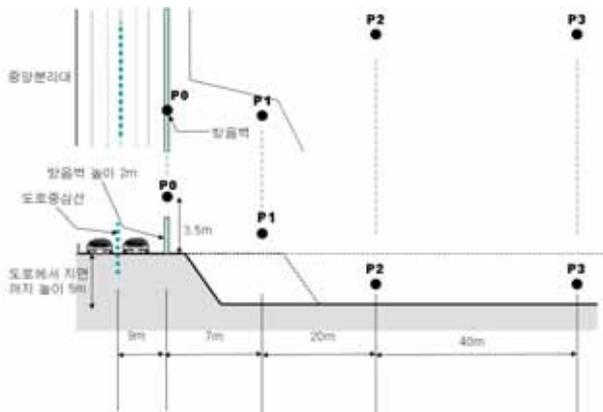


Fig. 2. Plan and section of measuring position

측정은 ISO/FDIS 10847(Aoustics-In-situ determination of insertion loss of outdoor noise barriers of all types)에 의거 삽입손실을 측정하였다. 마이크로폰은 방음벽 위 반사음의 영향이 없는 곳에 기준 마이크로폰을 설치하였으며 도로교통소음을 선음원으로 간주할 때 음원의 중심을 중앙선으로 가정하였으며, 따라서 도로 중앙선으로부터 수음점 방향으로 20m, 40m, 80m 이격된 거리에 1.5m 높이로 수음측 마이크로폰을 설치하여 음원측과 수음원측의 음압레벨을 동시에 측정하였다.

1, 2차 측정시 측정지점은 방음벽 설치 전·후 동일지점을 선정하였으며, 동일조건 여부를 확인하기 위해 차량의 종류, 댓수 및 온습도 조건을 고려하였다. 각 측정시 차량 상황 및 기상 조건은 다음과 같다.

(1) 방음벽 설치전

- 차량의 종류 및 댓수

도로변	소형차	버스	소형트럭	대형트럭
평균	50대	3대	15대	5대

- 도로위 1.5m 지점에서의 온도, 습도 및 풍속

건구 온도 : 15°C, 상대 습도 : 80%, 풍속 : 0.5 m/s

(2) 방음벽 설치후

- 차량의 종류 및 댓수

도로변	소형차	버스	소형트럭	대형트럭
평균	70대	6대	23대	13대

- 도로위 1.5m 지점에서의 온도, 습도 및 풍속

건구 온도 : 19.6°C, 상대 습도 : 26%, 풍속 : 1.9 m/s

#### 3.2 측정결과 : 삽입손실

방음벽 설치전 레벨차에 대하여 방음벽 설치후 레벨차의 변동량을 산출함으로써 방음벽 설치에 따른 삽입손실을 계산하였다.

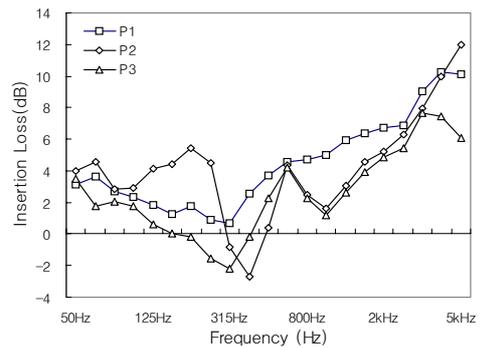


Fig. 3. Insertion loss for sound barrier

Fig. 3은 방음벽 설치전, 후의 레벨차에 대하여 Direct method를 통하여 계산한 삽입손실값을 그래프로 나타낸 것이다. 전체적으로 500Hz 대역 이상으로 갈수록 삽입손실값이 증가하고 있으며, 도로 중앙선으로부터 80m 이격된 거리에 설치한 3번 위치에서의 삽입손실값은 전주파수 대역에 걸쳐서 양호하게 나타나고 있다. 반면, 도로 중앙선으로부터 각각 20m, 40m 이격된 거리에 설치된 1번, 2

번 측정위치에서의 삽입손실값은 315, 400Hz대역에서 음의 값을 나타내고 있는데, 그 이유는 1번 측정위치에서의 측정값은 도로에 근접해 있어서 방음벽을 투과한 음이 보강되어서 생긴 현상으로 사료되며, 2번 측정위치에서의 값은 측정위치 자체가 도로면보다 5m 정도 낮은 곳에 위치해 있었기 때문에 방음벽에 의한 효과보다는 언덕에 의한 효과로 인해 방음벽 설치전의 레벨차가 크게 나타났었기 때문인 것으로 사료된다.

### 3.3 교통소음의 예측 및 측정결과와 비교

도로변에서 측정된 교통소음레벨값을 예측값과 비교하였다. 예측을 위해 도로교통소음의 파워레벨이 전제되어야 한다. ISO 9613은 교통소음의 파워레벨에 대한 규정이 없으므로 P0위치에서 측정된 값을 사용하여 계산한 값을 사용하였다. 식3의 식을 기본으로 하였으며 Dc는 0으로 가정하였다. A 값의 계산을 위해 식4를 사용하였으며, Adiv, Abar은 본문의 식을, Aatm은 ISO 9613-2의 표를 이용하여 계산하였고, Agr은 음원-수음점의 거리가 100m 이내여서 생략하였다. Fig. 4, 5는 각각 방음벽 설치 전, 후의 음압레벨 실측치와 예측치를 비교한 것이다. 방음벽 설치 전(Fig. 4)의 음압레벨은 예측치가 실측치에 비해 높게 나타나 많은 차이를 보이고 있다. 그러나 방음벽 설치 후(Fig. 5)의 예측값은 125Hz 이하의 대역에서 약간의 차이를 제외하고 거의 유사한 값을 나타내고 있다.

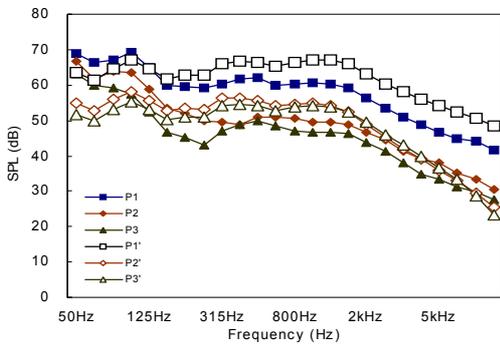


Fig. 4. Comparison of the result between measured and predicted without sound barrier

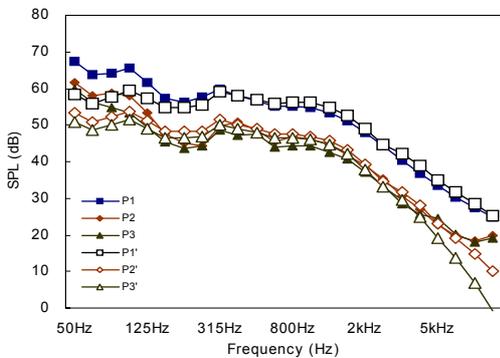


Fig. 5. Comparison of the result between measured and predicted with sound barrier

## 4. 결과 및 토의

본 연구에서는 ISO 9613을 사용하여 도로교통소음 측정값과 예측값을 비교하였다. 예측을 위한 조건은 다양하게 제시되어 있지만 본 적용을 위해서는 몇 가지만 선택하여 적용하였다. 그 결과 방음벽 설치전 측정값과 예측값은 많은 차이를 보인 반면, 방음벽 설치후 방음벽의 회절값을 계산한 예측값은 측정값과 거의 비슷하게 나타났다. 이와 같은 결과는 예측식의 신뢰도를 논하기 이전에 예측을 위한 조건의 설정이 무엇보다 중요한 것으로 사료된다. 우선 ISO 9613에는 교통소음 파워레벨을 예측하는 정보가 없어 다른 제안식을 사용하거나 직접 파워레벨을 측정해야 하는 점이 있다. 또한 계산에 사용되는 음원의 위치 및 높이를 선정하는 것도 예측값에 영향을 미치게 된다. 그리고, 예측시 수음점의 위치가 음원의 위치보다 낮게 되어 있을 때 지형으로 인한 감쇠를 계산하기 위해서는 지형에 대한 정확한 정보가 요구되는 것으로 사료된다.

본 연구는 공동주택에서 외부소음 예측을 위한 기본적인 연구로서 추후 다양한 예측식을 비교함으로써 보다 정확한 예측 모델을 구축하고자 한다.

## 후 기

이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임”(지방연구중심대학육성사업/바이오하우징연구사업단)

## 참 고 문 헌

- (1) ISO 9613-1, Acoustics-Attenuation of sound during propagation outdoors-, Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere
- (2) ISO 9613-2, Acoustics-Attenuation of sound during propagation outdoors-, Part 2: General method of calculation
- (3) 김하근, 건물 내외부에서의 도로교통소음예측 및 평가에 관한 연구, 한양대학교 박사학위논문, 1995.12.
- (4) 황철호, 방음벽의 설계인자와 성능, 한국소음진동공학회지, 제12권 제6호, 2002년, pp.395-403
- (5) 일본음향학회 도로교통소음 조사연구위원회, 도로교통소음의 예측모델: ASJ Model-1998, 일본음향학회지 제55권 제4호, 1999.