

복합음장에서의 도로교통소음 예측

여운호*

시립 인천전문대학 환경공학과

Road Traffic Noise Prediction in Composite Sound Field

Woon-Ho Yeo*

Department of Environmental Engineering, Junior college of Incheon

ABSTRACT

Composite sound field exists in general in the total space of an urban road. The composite sound field consists of direct field and reverberant one. Therefore, this study is focussed on the prediction modeling for urban road traffic noise under composite sound field. The modeling is based on the relationship between the energy density and the sound source in its acoustical environment.

1. 서론

도시지역은 도로변에 반사체인 건물들이 밀집되어 있으므로 음이 자유로이 전파되기 어려운 환경이다. 이러한 도로 환경은 단순히 하나의 음장만 존재한다고 해석하기는 어려우며, 항상 직접음장과 잔향음장(殘響音場)이 함께 복합되어 존재하는 복합음장으로 해석하여야 할 것이다. 그런데 石井聖光(1975) 및 미국연방도로국(1985) 등에서 연구한 것을 비롯하여 기존 대부분의 도로교통소음 예측모형이 도로변에 반사체가 별로 없는, 즉 고속도로 같은 곳에서만 적용될 수 있는 것이 대부분이다. 따라서 본 연구에서는 도시지역 도로교통소음을 예측하기 위하여 직접음장과 잔향음장내의 에너지 밀도를 산출하여 이것으로 도로교통소음 예측식을 수립하였다.

2. 도시지역 도로 음장 종류

대부분의 도시지역 도로는 도로, 도로변 건물 등의 반사로 복합음장이 형성된다. 복합음장은 Irwin(1979)이 언급하였듯이 직접음장과 잔향음장으로 구성되어 있으며, 주된 음장은 직접음장이라 할 수 있지만 그러나 도시지역 도로에서는 잔향음장도 무시할 수 없을 정도로 큰 비중을 차지하고 있

다. 자동차라는 음원에서 발생한 음파는 Fig. 1 과 같이 구형파를 형성하면서 전파된다. 그러나 도로변 등의 반사 특성에 따라서 Fig. 2 처럼 반사파가 형성되어 직접음장과 더불어 잔향음장이 형성 된다. 따라서 이러한 공간에는 직접음 에너지와 반사음 에너지, 즉 잔향음 에너지가 혼재한 상태이다. 그러므로 도시지역 도로교통소음을 예측하고자 할 때는 이 에너지들이 모두 반영되도록 예측하는 것이 합리적이라고 생각된다.

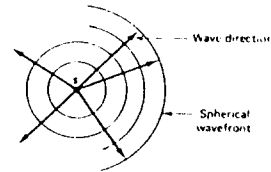


Fig. 1. Propagation of a spherical wavefront from an acoustic point source

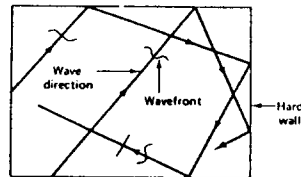


Fig. 2. Generation of an acoustical reverberant field by multiple reflections from the walls

3. 도로교통소음 예측

3.1. 예측모형 수립

자동차가 통행하는 도시지역 도로를 흡음률이 100%, 즉 반사율이 0%인 도로 상공면, 자동차가 통행하는 면, 도로 및 도로변 반사체 등으로 구성되어 있는 하나의 실내 공간, 즉 Fig. 3 처럼 box라고 가정할 수 있다.

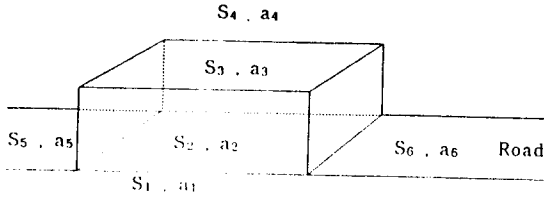


Fig.3 Areas and sound absorption coefficients of a box

이 공간내의 음장은 직접음장과 잔향음장이 동시에 존재하며, 직접음장은 공간의 크기 및 반사 특성에 영향을 받지 않는데 반하여 잔향음장은 공간 표면의 크기 및 반사 특성에 크게 영향을 받는다. 이 공간에서의 음 에너지 밀도도 직접음 에너지 밀도와 잔향음, 즉 반사음 에너지 밀도가 함께 존재한다. 이 폐쇄된 공간에서 Irwin(1979)이 언급했듯이 직접음 에너지 밀도 δ_d (J/m^3)는

$$\delta_d = \frac{p^2}{\rho_0 c} \quad (1)$$

반사음 에너지 밀도 δ_r (J/m^3)은

$$\delta_r = \frac{4W}{cR} \quad (2)$$

여기서, p : 음압 (N/m^2)

ρ_0 : 밀도 (kg/m^3)

c : 전파속도 (m/s)

R : 실정수(室定數) (m^2)

W : 각 음원의 파워 (W)

따라서 도시 지역 도로 공간을 box 처럼 폐쇄된 공간으로 간주하면 총음에너지 밀도 δ 는

$$\delta = \delta_d + \delta_r$$

$$= \frac{W}{4\pi r^2 c} + \frac{4W}{cR} \quad (3)$$

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad (4)$$

여기서, L_p 는 SPL을 의미하며, L_w 는 음향파워레벨로 庄司光(1980)이 언급한 식으로 구하며, r 은 음원으로부터의 거리이다. 그리고 R 은 실정수이며 $R = s\bar{a} / (1 - \bar{a})$ 처럼 표현한다. 여기서 s 는 box 각면 면적의 합이고, \bar{a} 는 box 각면의 흡음률을 평균한 값이며, 각 면의 면적과 흡음률은 Fig.3 에 표시된 것과 같다. 이 그림에서 s_1 과 s_3 는 도로측면 반사체의 면적이고, s_2 는 box내의 도로면적, s_4 는 상공면의 면적, s_5 및 s_6 는 box 입구 및 출구면의 면적이다. 그리고 $a_1 \sim a_6$ 는 각각 $s_1 \sim s_6$ 에 대응하는 흡음률이다. s_1 과 s_3 중에 반사체내의 개구부 및 반사체 사이의 골목 같은 개구부가 존재할 수 있으며, 이러한 개구부의 면적도 포함된 값이므로 이 부분의 흡음률은 1로 가정하여 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$s_1 + s_3 = s_{1R} + s_{1E} + s_{3R} + s_{3E} \quad (5)$$

여기서, s_{1R} : s_1 중 음을 반사시키는데 기여한 부분의 면적(즉, 개구부 이외 부분 면적)

s_{1E} : s_1 중 개구부의 면적

s_{3R} : s_3 중 음을 반사시키는데 기여한 부분의 면적

s_{3E} : s_3 중 개구부의 면적

s_4 는 상공면의 면적으로 반사체가 존재하지 않아 음이 자유로이 전파될 수 있는 경우 a_4 값이 1이라 가정할 수 있으며, s_5 와 s_6 도 사실상 음이 자유로이 전파될 수 있지만 여운호(1994) 등의 연구에서 가정한 것 처럼 교통량이 많은 도시지역 도로라 가정할 때 유사한 성능을 갖고 있는 자동차가 경계면들을 중심으로 box 내외부 동일한 거리에 주행하면, 이때 발생한 음이 각각 반대편으로 전파되어 완전반사체와 같은 역할을 하게 되고, 흡음률은 0이 된다고 볼 수 있다. 따라서, 다음 처럼 s 값을 나타낼 수 있다.

$$S = S_{1R} + S_{1E} + S_2 + S_{3R} + S_{3E} + S_4 + S_5 + S_6 \quad (6)$$

3.2. 예측모형의 적용

본 연구에서는 서울시 등의 도로중 Block내의 도로 및 도로변 특성이 유사하게 연속되는 지역에서 모형의 적합성을 관찰하였다. 여러 조건별 관측점에서 소음레벨을 측정하였으며, 이와 동시에 자동차속도, 교통량, 차종, 기타 도로 및 도로변 반사체 제반 특성들을 조사하였다.

소음레벨은 인도상 1.2m 높이의 삼각대에 설치된 정밀소음계(B&K Type 2231)로 매 시간 20분씩 측정하였다. 이와 동시에 주파수분석을 위해 Real Time 주파수분석계(B&K Type 4418)를 사용하였다. 교통량, 차종 및 속도 측정은 Video Camera(Sony TR-1000)와 Speed Gun (MR, K-15)을 사용하였으며, 흡음률은 Irwin(1979)이 제시한 건축재료별 흡음률을 근거하여 계산하였다. 본 연구에서의 측정, 조사 결과는 Table 1과 같으며, 제시한 도로교통소음 예측모형은 통계처리 프로그램인 SAS를 활용하여 계산한 예측치와 실측치간의 상관분석을 행하여 적합성을 살펴 보았으며, 대부분의 실측치와 예측치간에 비교적 높은 상관성을 갖고 있는 것으로 사료되다.

Table. Parameters of road traffic noise.

speed (km/h)	traffic volume (1/h)	heavy vehicle rate	room constant (m ²)
49	3,986	0.086	2,327

4. 결론

대부분의 대도시지역 도로에서는 도로변 반사체 영향으로 직접음장과 잔향음장이 혼재한다. 따라서 본 연구에서는 두 종류의 음장 에너지 밀도를 산출하여 도시지역 도로교통소음 예측모형을 수립하였다. 예측모형의 검증을 위해 서울시내 도로에서 소음값을 측정함과 동시에 교통특성 및 도로변

특성을 측정, 조사하였다. 이들 자료를 이용한 예측치와 실측치간의 상관관계를 분석한 결과 비교적 높은 상관성을 갖고 있는 것으로 나타났다. 따라서 대도시지역 도로교통소음 대책을 수립하고자 할 때는 복합음장 조건하에서 예측을 행하는 것이 바람직하다고 사료된다.

참고 문헌

- 여운호, 1994, Box model 에 의한 도로교통 소음예측, 한국음향학회지, 13(1), 57~62.
- 石井聖光, 1975, 道路交通騒音豫測計算方法に関する研究(その1), 日本音響學會誌, 31(8), 507~517.
- 庄司光, 山本剛夫, 1980, 衛生工學ハンドブック-騒音·振動編-, 朝倉書店, 233~260 pp.
- Irwin, J.D., 1979, Industrial Noise and Vibration Control, Pretice-Hall, 136~181pp.
- US Federal Highway Administration, 1985, Development of a New Highway Traffic Noise Prediction Model (Volume 1, Executive Summary).