

## 도로교통소음에 대한 고층건물의 외부 소음분포 예측에 관한 연구

정 석 환<sup>†</sup>, 김 대 응, 임 태 섭, 김 병 선  
연세대학교 건축공학과

### A study on the Prediction of the Road Traffic Noise Distribution around the High-Rise Building

Suk-Hwan Jung<sup>†</sup>, Dae-Woong Kim, Tae-Sub Lim, Byung-Seon Kim

**ABSTRACT:** Recently, traffic noise level is rapidly increasing, and it is crowded caused by recently overcrowded and overgrown cities, and increasing traffic volume is emerging as a major factor of disrupting the living and working environment. In this situation, citizens are increasingly complaining about the traffic noise. The noise level of in major cities in Korea is serious and affects on citizens physically and psychologically. Many people live in residential areas around crowded roads in major cities, such as Seoul. Accordingly, the purpose of this study is to predict outside noise distribution of building through survey and simulation to make better sound insulation performance research. The result of this study shows that the traffic noise is influenced from ground 50m and analyzed that form of building and arrangement type must be considered to the level of noise decrease.

**Key words:** Noise(소음), Traffic noise(도로교통소음), Noise map(소음지도), Equivalent sound level(등가소음레벨), High-rise building(고층건물), Prediction(예측)

#### 기호설명

<p><math>L_{WA,i}</math> : 중심주파수 <math>f_i</math> 에서의 옥타브 밴드 음향 파워레벨 [dBA]</p> <p><math>\Delta L(f_i)</math> : 옥타브 밴드별 보정치 [dBA]</p> <p><math>\Delta L_{A-weight,i}</math> : 옥타브 밴드별 A-가중치 보정계수 [dBA]</p> <p><math>\Delta L_{adj}</math> : 상대 스펙트럼의 파워 합성을 dB로 하기 위한 보정값</p> <p><math>(L_{WAT})_i</math> : 차종별 A-가중치 음향파워레벨 [dBA]</p> <p><math>L_{WA}</math> : 차량 1대당 음향파워레벨 [dB/1car]</p>	<p><math>\Delta l</math> : 도로의 길이 [m]</p> <p><math>V</math> : 해당 차종의 평균 주행속도 [km/h]</p> <p><math>N</math> : 시간당 차량 통과 대수 [대/h]</p> <p><math>L_{eq}</math> : 도로의 등가 음향파워레벨 [dBA]</p> <p><math>L_{50}</math> : 도로교통소음도 중앙치 [dBA]</p> <p><math>L</math> : 가상차선으로부터 수음점까지의 거리 [m]</p> <p><math>d</math> : 평균 차두간격 [m]</p> <p><math>a</math> : 보정치</p> <p><math>a_d</math> : 회절에 의한 보정치</p> <p><math>a_j</math> : 지표조건 등 외부요인에 의한 보정치</p>
--	--

†Corresponding author

Tel.: +82-2-2123-2791; fax: +82-2-365-4668

E-mail address: jshwan2@naver.com

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

1992년 리우 환경회의 이후로 지속가능한 도시 개발의 개념은 환경을 중시한 개발 패러다임으로 자리잡아 각종 개발에 있어서 반드시 환경을 고려하도록 하고 있다. 이에 따라 친환경적인 도시 건설을 위해 도시주변의 녹지면적 보존이 최우선이므로 도시의 수평적 팽창이 지양되고 있다. 따라서, 도심에서 주거 및 사무공간의 수직적 팽창이 활발히 이루어지고 있으며 이에 고층건물에서 많은 문제점들이 발생하고 있다. 이런 문제점 중에서 소음은 사회 전반에 걸쳐 큰 영향을 미치고 있다.<sup>(1,2)</sup>

중앙환경분쟁조정위원회의 환경분쟁 조정현황에 따르면 1998년 이전부터 2006년 3월까지 총 분쟁조정사례 1443건 중 1244건(86%)이 소음진동 문제로 나타나 이는 매우 심각한 수준 이라고 할 수 있다. 이와 같이 소음은 주거생활과 관련이 깊어 주민의 인지도와 민원발생이 높는데, 도시의 주된 소음원이 자동차임을 고려할 때 도로교통소음은 가장 심각한 환경공해라고 할 수 있다. 경제성장과 더불어 증가한 국내의 자동차 등록대수는 1997년 1000만대, 2003년 1450만대, 2006년 2월 1549만대 등으로 집계되고 있으며 이에 따라 도심지의 도로교통소음의 심각도는 날이 갈수록 심화되고 있다. 특히, 서울시의 경우 자동차 등록대수가 2006년 2월 282만대를 돌파하였고 고층건물이 많기 때문에 더욱 심각한 도로교통소음에 노출되고 있다.<sup>(3,4)</sup>

따라서, 본 연구에서는 도심의 수직적 팽창에 따라 고층화 되고 있는 건물의 외부소음 실태를 실측과 시뮬레이션을 통해 분석하여 고층건물의 외피차음 성능 연구를 위한 정량적인 기초자료를 제공하는 것이 목적이다.

### 1.2 연구의 범위

도로교통소음에 대한 고층건물의 외부 소음분포를 예측하기 위해 본 연구에서는 3단계의 과정을 수행 하였으며, 각 단계 별 과정은 다음과 같다.

첫째, 선행연구를 분석하여 도로교통소음 예측

모델을 선정하였다. 국내외 예측모델에서 소음값에 적용한 예측인자를 비교함으로써 예측인자의 적용현황 및 적용상의 문제점을 분석하였고, 고층건물의 외부 소음분포를 예상하는데 가장 적절한 예측모델을 선정하였다.

둘째, 예측모델의 예측값과 실측값을 비교분석하였다. 대도시 중심부에 위치한 지역을 선정하여 측정된 실측값과 예측모델에 의해 산출된 예측치를 비교함으로써 예측모델의 신뢰성을 검증한다.

셋째, 대상지역에 고층건물 건립을 가정한 시뮬레이션을 실시하였다. 고층건물의 외부 소음분포를 예측하기 위해 예측모델을 바탕으로 한 시뮬레이션을 실시하여 소음분포도를 도출 하였다.

## 2. 문헌고찰

### 2.1 선행연구

도로교통소음에 대해 측정하고 평가한 선행연구를 살펴보면 Jang et al의 2001년 논문인 소음 예측기법 및 방음시설 설계기준 연구에서는 일본 음향학회의 예측모델인 ASJ Model-1998 모델이 국내 고속도로 소음 발생 및 전파 과정 산정에 유용하게 이용될 수 있다고 분석하였다.<sup>(5)</sup> Kim et al의 2003년도 논문인 도로교통소음 음향파워 산정 방법을 이용한 소음예측에 관한 연구에서는 음향파워를 역추산하는 방법으로 시뮬레이션을 실시하여 미래의 소음분포를 예측해보는 연구를 하였다.<sup>(6)</sup> Lee et al의 2004년도 논문인 서울시 초고층 아파트의 외부소음 측정과 평가에서는 교통소음의 시간대별 값은 퇴근시간대(18시-19시)가 가장 높았다고 분석하였다. Yi et al의 2005년도 논문인 반지하형 도로에 대한 주변지역의 교통소음 감소효과 시뮬레이션에서는 건물의 형태 및 배치유형 등도 소음저감에 미치는 효과가 크다고 분석하였다.

도로교통소음에 대해 측정하고 분석한 선행연구를 살펴본 결과 도로교통소음은 하루 중 퇴근시간이 가장 심각하였다. 도로교통소음 예측에는 일본음향학회의 ASJ Model-1998이 가장 적절하였다. 건물의 형태 및 배치유형에 따른 소음의 저감효과를 알아보기 위해 모델링 기법을 이용한 시뮬레이션 방법이 가장 적절하였다.

Table 1 Classification of vehicles

Type	Specifications
Heavy vehicle	Large vehicle - Truck more than 8 ton or carrying capacity 5 ton - A bus that transport is available more than 30 people - Large size vehicles of special purpose
	Medium vehicle - Truck that axle is 2 and has displacement more than 2000cc - A bus that 11~29 person transport is available
Light vehicle	Light trucks - Displacement 50~2000cc
	Auto mobiles - A car that is designed for passenger fewer than 10 people, Van

2.2 일본음향학회 ASJ Model-1998<sup>(5)</sup>

일본음향학회(Acoustic Society of Japan: ASJ)에서 발표된 ASJ Model-1998 방법은 소음원을 반 자유공간의 무지향성 점음원으로 간주하여, 4차종 또는 2차종 분류법에 의하여 차량 주행 상태에 대한 차종 및 도로 종류별 도로교통소음의 음향파워레벨 산정식과 차량속도별 파워스펙트럼을 제시하고 있으며, 본 연구에서는 Table 1과 같이 대형차량과 소형차량으로 구분하는 2차종 분류법에 의해 분류하였다.

2.2.1 차종별 기본 음향파워레벨

ASJ Model-1998의 차종별 교통소음 음향파워레벨 산정식은 Table 2에 나타내었다. 이때, 2차종 분류에 따른 음향파워레벨 산정식은 대형차와 중형차의 혼입비율은 같고, 승용차에 대한 소형트럭의 혼입비율은 0.25로 설정되어 유도된 식이다. 제시된 식은 차량 속도  $V$ 가 40km/h~140km/h이고, 교통흐름이 일정한 경우에 대해 적용할 수 있다.

2.2.2 파워레벨 스펙트럼

ASJ Model-1998에서는 차량 소음 발생 특성 및 전달감쇠를 주파수 대역별로 계산하기 위해 차량 음향 파워레벨에 대한 파워레벨 스펙트럼을 차량속도에 따라 달리 제시하고 있다. 중심주파수  $f$ 에서의 옥타브 밴드 음향파워레벨  $L_{wa,i}$ 는 다음과 같이 산정한다.

$$L_{WA,i} = L_{WA} + \Delta L(f_i) + \Delta L_{A-weight,i} + \Delta L_{adj} \quad (1)$$

식(1)에 포함된 옥타브 밴드별 보정치  $\Delta L(f_i)$ 는

Table 2  $L_{WA}$  of a vehicle for classification of two vehicle types

Classification	Steady	Unsteady
	High way Motor way	Main load Artery
Velocity	40km/h ≤ V ≤ 140km/h	10km/h ≤ V ≤ 60km/h
Heavy Vehicle	53.2 + 30logV	88.8 + 10logV
Light Vehicle	46.7 + 30logV	82.3 + 10logV

차량 주행속도에 따라 다음과 같이 산정된다. 속도구분이 없는 경우,

$$\Delta L(f_i) = -10 \log_{10} \left[ 1 + \left( \frac{f_i}{2000} \right) \right] \quad (2)$$

80km/h 이하일 경우

$$\Delta L(f_i) = -10 \log_{10} \left[ 1 + \left( \frac{f_i}{2000} \right) \right] - 2.5 \log \left[ 1 + \left( \frac{f_i}{1000} \right) \right] \quad (3)$$

80km/h 이상일 경우

$$\Delta L(f_i) = -10 \log_{10} \left[ 1 + \left( \frac{f_i}{2000} \right) \right] + 2.5 \log \left[ 1 + \left( \frac{f_i}{1000} \right) \right] \quad (4)$$

2.2.3 도로의 등가음향파워레벨

차종별 A-가중치 음향파워레벨은 다음과 같이 산정한다.

$$(L_{WAT})_i = L_{WA} + 10 \log_{10} \left( \frac{3.6 \Delta l}{V} \times \frac{N}{3600} \right) \quad (5)$$

따라서 위의 식을 이용하여 모든 차종에 대한 음향파워레벨을 산정한 후 이를 대수인 log를 이용하여 합하면 해당 도로의 등가 음향파워레벨  $L_{eq}$ 는 다음과 같다.

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left( \sum_i 10^{(L_{WAT})/10} \right) \quad (6)$$

또한 소음평가량으로 사용되는 중앙치( $L_{50}$ ) 소음레벨은 다음과 같은 식을 사용한다.

Table 3 Vehicles speed and traffic discharge

Point	Speed (km/h)		Vehicles/h	
	Heavy Vehicles	Light Vehicles	Heavy Vehicles	Light Vehicles
①	16.4	16.4	16	5262
②	16.4	16.4	135	3012
③	-	10.0	-	1327
④	-	10.0	-	1072
⑤	-	10.0	-	28
⑥	-	16.4	-	2424
⑦	16.4	16.4	33	2034
⑧	16.4	16.4	22	1805
⑨	16.4	16.4	33	1280
⑩	16.4	16.4	22	3464
⑪	16.4	16.4	33	1280
⑫	16.4	16.4	11	1759
⑬	16.4	16.4	11	3475
⑭	-	16.4	-	1770

Table 4 Measuring instrument

	Company	Type	Country
Noise	Brüel & Kjaer	2226	Denmark
Temperature & Humidity	SATO	SK-L200TH	Japan

$$L_{50} = L_{WA} - 8 - 20 \log_{10} \left( \pi \frac{L}{d} \times \tanh 2\pi \frac{L}{d} \right) + a \quad (7)$$

이 예측식은 자동차의 교통량이 1000대/h 이상이고 자동차의 속도가 정상 주행하고 있는 도로에서 발생하는 소음을 도로로부터 100m 이내에서 측정할 때 사용된다.

### 3. 대상지역 선정 및 교통상황 파악

#### 3.1 대상지역

도로와 접해있는 건물의 외부소음을 측정하기 위해 서울시 중심가에 위치한 지역을 선정하였으며 대상지역은 서측으로 태평로(폭 50m, 10차로), 동측으로 을지로(폭 30m, 6차로)와 무교동길(폭 20m, 4차로)이 접해 있으며, 남측으로 소공로(폭 18-25m, 5-6차로)가 접해있는 일반상업지역이다.

#### 3.2 교통상황 파악

차종은 Table 1과 같이 구분 했으며 대상건물

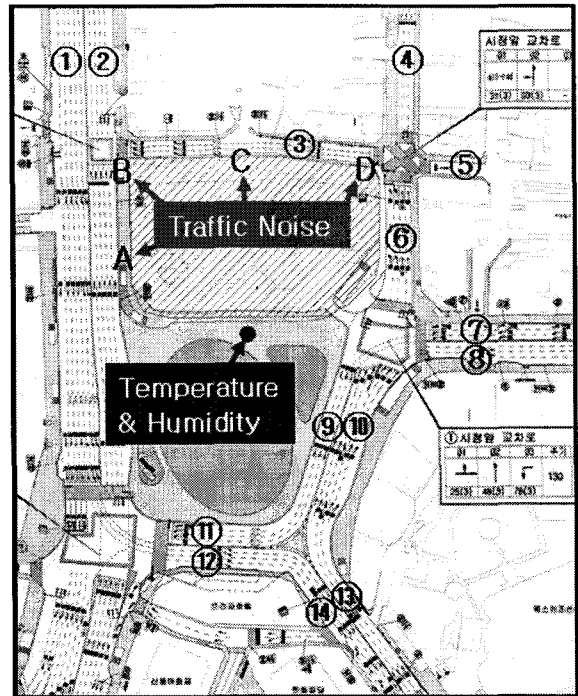


Fig. 1 Measurement points of subject area

주변의 도로는 숫자를 사용하여 Fig. 1과 같이 간단히 도식화 하였다.

각 도로별 차량의 통행량은 Table 3과 같으며 차량의 속도는 16.4km/h, 10km/h<sup>(7)</sup>로 도로의 폭에 따라 구분 하였다.

### 4. 실측 및 예측모델 검증

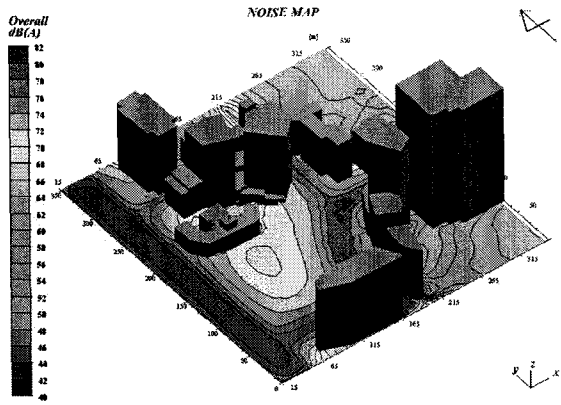
본 연구의 측정은 2006년 2월 17일 18시-19시 사이에 이루어 졌으며 측정에 사용된 기구는 Table 4와 같다.

#### 4.1 온도/습도 측정

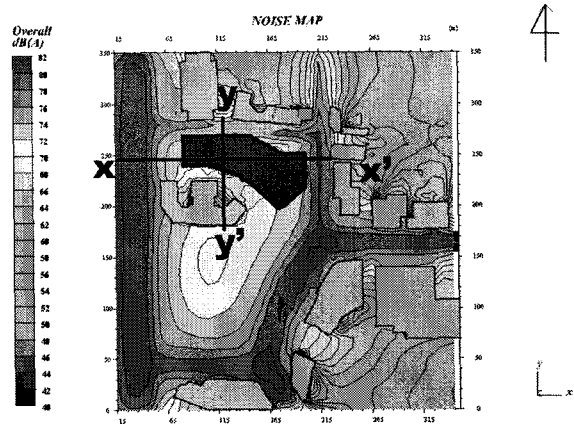
소음의 전파는 대기의 상태에 따라 달라지므로 대상건물이 위치한 지역의 온도, 습도를 측정 했으며 측정결과 온도는 2.3℃, 습도는 29.5%로 나타났다.

#### 4.2 소음 측정 및 검증

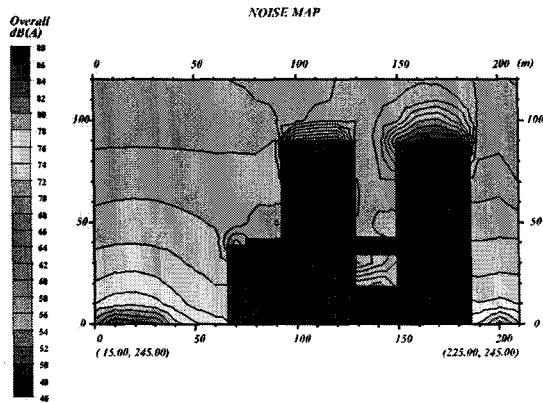
일본음향학회의 소음예측식의 타당성 확보를 위한 비교자료로써 대상건물 주변의 등가소음레



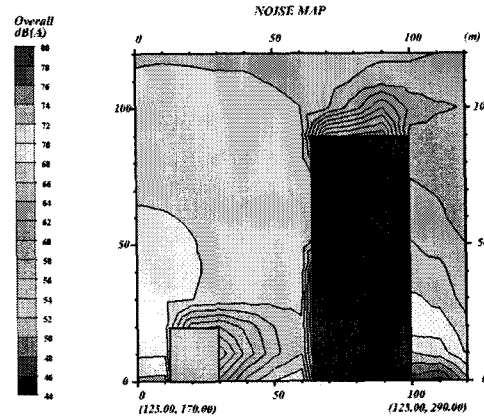
(a) 3D Modeling



(b) Plane figure



(c) Sectional view x-x'



(d) Sectional view y-y'

Fig. 2 Noise map

벨( $L_{eq}$ )을 측정 하였다. 측정지점은 Fig. 1과 같이 4곳을 선정 하였으며 지면으로부터 1.5m 높이에서 실험자가 직접 손으로 소음계를 잡고 측정 하였다. 소음계의 마이크로폰은 소음원 방향으로 향하게 설치 하였으며, 측정시 소음계의 통특성은 FAST 반응으로 고정하고 청감보정회로는 A 특성에 의해 보정된 측정치를 이용 하였다.

Table 5은 실측값과 일본음향학회의 소음예측식으로 산출된 값을 비교한 것이다.

Table 5 A comparison of measurement value & ASJ model-1998 value

Point	Measurement Value	ASJ model-1998 Value	Error (%)
A	78	77.65	0.45
B	78	78.12	0.15
C	76	75.60	0.53
D	77	76.53	0.61

## 5. 시뮬레이션 분석

시뮬레이션 프로그램으로는 부산대학교 조선해양공학과 소음진동연구실에서 개발한 ENPro를 사용 했으며, 이 프로그램은 일본 음향학회의 도로교통 소음예측방법인 ASJ Model-1998에 제시된 방법에 따라 소음예측이 가능한 상용 프로그램이다.

### 5.1 입력조건

시뮬레이션을 위한 대기상태는 위에서 측정한 온도 2.3℃, 습도 29.5%를 입력했으며 고층건물이 완공 된 5년 후의 교통량을 예측하기 위해 교통영향평가지침에 따른 평균재차인원을 조사 했으며 실제 교통량 증가 유발효과를 가져오는 승용차, 택시에 한해 적용 하였다.

Table 6 Vehicles speed and traffic discharge

Point	Speed (km/h)		Vehicles/h	
	Heavy Vehicles	Light Vehicles	Heavy Vehicles	Light Vehicles
①	14.8	14.8	16	5461
②	14.8	14.8	135	3127
③	-	10.0	-	1375
④	-	10.0	-	1110
⑤	-	10.0	-	29
⑥	-	14.8	-	2508
⑦	14.8	14.8	33	2097
⑧	14.8	14.8	22	1874
⑨	14.8	14.8	33	1359
⑩	14.8	14.8	22	3595
⑪	14.8	14.8	33	1318
⑫	14.8	14.8	11	1826
⑬	14.8	14.8	11	3606
⑭	-	14.8	-	1837

조사결과는 평일 승용차는 1.45(인/대), 택시는 1.75(인/대)로 분석되었으며 교통량은 유입 22(대/시), 유출 69(대/시)로 나타났다.<sup>(8)</sup>

각 도로별 차량의 5년 후 예상 통행량은 Table 6과 같으며 차량의 속도는 14.8km/h, 10km/h로 도로의 폭에 따라 구분 하였다.

## 5.2 소음분포 결과

소음분포 결과는 Fig. 2와 같으며 소음은 전달 되는 거리에 비례하여 감소하였다. 또한, 전달과정 중에 장애물에 의해 차단 될 경우 소음의 크기는 급격히 감소하는 것을 알 수 있었다.

## 6. 결론

본 연구를 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 대상지역의 도로교통소음을 등가소음레벨을 통한 실측값과 일본음향학회식의 예측값을 비교한 결과 일본음향학회식은 도로교통소음을 예측하는데 매우 타당한 것으로 분석 되었다.

(2) 일본음향학회식을 통한 소음지도 분석결과 도로교통소음은 지상에서 50m 높이까지 일반상업지역의 국내소음환경기준치인 70dB(A)을 상회하는 것으로 분석 되었으며 소음환경기준치 만족을 위한 건물의 외피 차음성능에 대한 고려가 요구된다.

(3) 소음지도 분석결과 인접건물에 의한 방음효과도 기대 할 수 있으므로 소음감소효과를 위

해서는 건물의 형태 및 배치유형 등도 고려를 해야 할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. Yi, C.H., Lee, S.I., Chang, S.I., Ko, J.H., 2005, Simulation of traffic noise reduction effect at the surrounding area of a sunken road, Proceedings of the KPA '05 Annual Conference, pp. 585-593.
2. Lee, S.D., Park, Y.R., Lee, S.W., and Yoo, H.C., 2004, Survey and evaluation for exterior noise of a high rise apartment in seoul, Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, Vol. 4, No. 3, pp. 95-101.
3. Yang, K.C., 2006, March Environment dispute statistical survey, Report of National Environment Dispute Resolution Commission.
4. Choi, D.J., 2006, Car registration statistical survey, Report of Ministry of Construction & Transportation.
5. Jang, T.S., Sung, W.C., Cho, D.S., and Lee, S.H., 2001, Traffic noise prediction methodology and noise barrier design, Report of Highway & Transportation Technology Institute.
6. Kim, D.S., Hong, S.H., and Jang, S.I., 2003, Study on the prediction using road traffic sound power analysis, Proceedings of the KSEE '03 Autumn Annual Conference, pp. 1160-1166.
7. Kang, M.S., 2004, City Hall of Seoul surrounding traffic discharge and vehicles speed investigation, Report of Seoul Development Institute.
8. Kim, J.C., Kim, J.S., and Mun, J.H., 2006, City Hall of Seoul surrounding Traffic discharge examination data, Report of Junglim Architecture Inc.