

일반도로 및 고속도로에서의 소음 예측식 적용에 관한 연구

A Study on Application of Noise prediction models according to General Road and Expressway

윤효석* · 윤성철* · 박인선** · 박상규†

Hyo-seok Yun, Soung-cheol Yoon, In-sun Park and Sang-kyu Park

Key Words : Road Traffic Noise(도로교통소음), Noise Prediction Model(소음예측식)

Abstract

This Study, as part of a study on the application plan of overseas noise prediction models suitable for making domestic noise maps, analyzed the correlation between the differences in predicted noise levels by individual noise prediction model and surveyed data on General roads and Expressways. Separation distances of 5m and 10m, respectively were set from the ends of the general roads and the expressways at the points of measurements and to check the distribution patterns of sound power levels, the levels were measured at the heights of 1.5m and 3m, respectively. The latest revised versions of the five models (CRTN, RLS90, NMPB, Nord2000, ASJ2008) suggested in The Method of making Noise Maps were used as prediction models, and predicted noise levels were calculated by using commercial software SoundPLAN (Ver 7.1).

1. 서 론

지속적인 경제 성장과 교통수단의 보급화에 따라 소음에 대한 민원이 급증함으로써 효율적인 소음관리를 위한 소음지도의 작성이 필요하게 되었다.

이러한 소음지도 작성에는 여러 가지 도로 교통 소음 예측식이 사용된다. 국내의 도로교통 소음예측 모델은 국립환경과학원식(NIER)과 한국도로공사식(KHTN, 舊 HW-NOISE)이 존재한다. 그러나 국립환경과학원식(NIER)의 경우, 지면 1.5m의 높이에서만 적용이 가능하고, 한국도로공사식(KHTN)의 경우 고속도로에서만 적용된다는 한계가 있다(1). 따라서 해외 예측식을 통한 국내 적용이 불가피한 실정이다. 환경부에서는 소음지도 작성방법(2)을 통하여, 도

로교통 소음지도를 작성 시 CRTN, RLS90, NMPB, Nord2000, ASJ2003의 5가지 예측모델을 사용하도록 권고하고 있다.

2010년 환경부에서 제시한 5가지 예측식은 음원 모델, 전파모델 및 적용인자가 예측식별로 상이하기 때문에 예측식별 비교 연구 및 국내 적용방안에 대한 연구가 진행되고 있다.

본 연구는 국내의 소음지도 제작에 적합한 해외 소음예측모델 적용 방안 연구의 일환으로, 일반도로와 고속도로에서의 소음예측모델별 예측소음도 차이와 실측데이터간의 상관관계를 분석하였다. 측정지점은 일반도로와 고속도로의 도로단에서 각각 5m, 10m 이격거리를 두었고, 음향과위레벨의 분포양상을 확인하기 위하여 각각 1.5m, 3m 높이에서의 소음도를 측정하였다.

또한 예측모델은 소음지도 작성방법에 제시된 5가지 모델의 최신 개정 버전(CRTN, RLS90, NMPB, Nord2000, ASJ2008)을 사용하였으며, 상용 소프트웨어 SoundPLAN(Ver 7.1)을 예측소음도를 산출하였다.

† 교신저자; 종신회원, 연세대학교 환경공학부
E-mail : tankpark@yonsei.ac.kr

Tel : (033)760-2442 , Fax : (033)760-2194

* 정회원, 연세대학교 환경공학부 대학원

** 정회원, 현대건설

2. 이 론

2.1 도로교통소음 예측모델

(1) CRTN⁽³⁾

CRTN(Calculation of Road Traffic Noise)은 영국 교통국에서 개발한 도로교통소음 예측모델로서 도로설계시의 환경평가, 고속도로 설계, 토지이용 계획수립을 위한 도로교통소음 계산에 사용되고 있다.

○ 음원모델

$$L_{10} = L_{10,source} + C_{Di} + C_{Gr} + C_{An} + C_{Sc} + C_{Ref}$$

$L_{10,source}$: 발생소음도

C_{Di} : 이격거리에 의한 보정치

C_{Gr} : 지면흡음에 의한 보정치

C_{An} : 도로의 관측각에 의한 보정치

C_{Sc} : 장애물 및 방음벽에 의한 보정치

C_{Ref} : 반사효과에 의한 보정치

$$L_{10,source} = (42.2 \text{ or } 29.1) + 10 \log Q + 33 \log \left(V + 40 + \frac{500}{V} \right) + 10 \log \left(1 + \frac{5P}{V} \right) - 68.8 + 0.3G + C$$

Q : 1시간 또는 18시간 동안의 교통량

V : 차량속도

P : 대형차 혼입율

G : 노면경사에 의한 보정치

C : 도로표면에 의한 보정치

○ 전파모델⁽⁴⁾

$$L_{10} = L_{10,ref} + \Delta_D + \Delta_{GC} + A + \Delta_{OF} + \Delta_S$$

L_{10} : 수음점에서의 소음레벨

Δ_D : 거리에 의한 보정치

Δ_{GC} : 지표 흡음에 의한 보정치

A : 스크린 효과에 의한 보정치

Δ_{OF} : 음의 반사에 의한 보정치

Δ_S : 수음 각(Angle)에 의한 보정치

다른 예측모델과의 결과값 비교를 위하여 CRTN

의 평가단위인 L_{10} 수치를 L_{eq} 값으로의 변환이 필요하며, 다음 식으로 변환이 가능하다.

$$L_{eq} = 0.94 \times L_{10} + 0.77$$

(2) RLS90⁽⁵⁾

1990년 독일 연방교통부의 도로건설부에서 발표한 예측모델 RLS90은 RLS81의 후속 모델이며 점음원 예측방법을 사용하며 음의 확산, 지표감쇠, 차음, 반사 등을 고려한다.

○ 음원모델

$$L_{mE} = L_m(25, basic) + C_{Sp} + C_{Rs} + C_G + C_{Ref}$$

$L_m(25, basic)$ 는 소형차 100km/h, 대형차 80km/h의 속력으로 직선 아스팔트 도로를 달릴 때, 25m의 이격 거리와 4m 높이에서의 소음도이며 다음과 같다.

$$L_m(25, basic) = 37.3 + 10 \log(M \times (1 + 0.082 \times P))$$

M : 평균교통량 (Veh/h)

P : 2.8t 초과차량 비율

C_{Sp} : 차량속력에 의한 보정치

C_{Rs} : 노면의 종류에 의한 보정치

C_G : 노면의 경사에 의한 보정치

C_{Ref} : 다중반사 효과에 의한 보정치

○ 전파모델

$$L_M = L_{Me} + C_S + C_c + C_{Ga} + C_{Sc} + C_R$$

L_{Me} : 음원의 방사레벨

C_{Sl} : 도로구간의 길이에 의한 보정치

C_s : 음의 확산에 의한 보정치

C_{Ga} : 지표흡음과 기상에 의한 보정치

C_{Sc} : 장애물에 의한 보정치

(3) NMPB⁽⁶⁾

NMPB/XPS31-133는 프랑스에서 소음 예측을 위한 식으로 “Guide du bruit”에 기초하여 개발된 방법으로 NMPB-Routes-96은 도로교통소음을 예측하기 위한 모델이며, 최근 NMPB-Routes-2008로 개정되었다.

- 음원모델

$$E = E_0 + a \log\left(\frac{v}{v_0}\right)$$

소음방출량 E로부터 교통량 Q를 보정한 단위 길이 당 음향과위레벨 $L_{Aw/m}$ 를 구한다.

$$L_{Awi} = L_{Aw/m} + \Psi + 10 \log(l_i) + R(j)$$

$$L_{Aw/m} = [(E_{lv} + 10 \log(Q_{lv})) \oplus (E_{hv} + 10 \log(Q_{hv}))] + 20$$

E_{vl} : 소형차 발생소음도

E_{pl} : 대형차 발생소음도

Q_{vl} : 시간당 소형차 운행대수

Q_{pl} : 시간당 대형차 운행대수

Ψ : 노면상태에 의한 보정치

l_i : 음원의 길이(m)

$R(j)$: 옥타브 밴드별 도로소음 보정치

\oplus : $L_1 + L_2 = 10 \log[10^{(L_1/10)} + 10^{(L_2/10)}]$

- 전파모델(7)

$$L_F \text{ or } L_H = L_W - A_{\ddagger} - A_{atm} - A_{grd,F \text{ or } H} - A_{dir,F \text{ or } H}$$

L_F : 소음레벨(음선이 아래로 굽어 전파되는 경우)

L_H : 소음레벨(음선이 일직선으로 전파되는 경우)

A_{\ddagger} : 음의 확산으로 인한 소음 감쇠량

A_{atm} : 대기 흡음으로 인한 소음 감쇠량

$A_{grd,F \text{ or } H}$: 지표면에 따른 감쇠량

$A_{dir,F \text{ or } H}$: 회절에 의한 감쇠량

(4) Nord2000⁽⁸⁾

북유럽국가의 도로와 철도 소음예측식인 Nord2000은 2001년 DELTA(Denmark), SINTEF(Norway), SP(Sweden)에 의해 발표되었으며 도로교통소음예측에 적합화하기 위하여 5년동안의 보정 작업을 통하여

- 음원모델

$$L_W = L_{E,10m} + C(v)$$

$$L_{E,10m} = L_E + 10 \log \left[\frac{\sqrt{\left(d - \frac{W}{2}\right)^2 + h_r^2}}{10} \right] - 10 \log \left[\frac{\Delta \alpha}{2 \arctan(5)} \right]$$

$L_{E,10m}$: 음원에서 10m 떨어진 지점의 소음레벨

$C(v)$: 예측 방법에 사용되는 기하학적 변수

d : 측정거리

w : 차량 종류에 따른 축의 폭

h_r : 마이크로폰의 높이 (0.2m, 4.0m)

$\Delta \alpha$: 연결된 선을 포함하는 원형 부분의 각도

- 전파모델(9)

$$L_R = L_W + \Delta L_d + \Delta L_a + \Delta L_t + \Delta L_s + \Delta L_r$$

L_w : 1/3-옥타브밴드별 음향과위레벨

ΔL_d : 음에너지 발산에 의한 보정치

ΔL_a : 대기 흡음에 의한 보정치

ΔL_t : 지면, 방음벽에 의한 보정치

ΔL_s : 음의 분산지역(건물, 숲)에 의한 보정치

ΔL_r : 장애물과 지표면에 의한 보정치

(5) ASJ-2008⁽¹⁰⁾

일본 음향학회(Acoustic Society of Japan: ASJ)에서 발표한 ASJ-2008 모델은 소음원을 반자유공간의 무지향성 점음원으로 간주하여 소음레벨을 예측한다.

- 음원모델

$$L_{WA} = a + 10 \log V + C$$

V : 차량속도 (km/h)

a : 차량종류에 따른 계수

b : 차량속도에 따른 계수

C : 보정치

$$C = \Delta L_{surf} + \Delta L_{grad} + \Delta L_{dir} + \Delta L_{etc}$$

ΔL_{surf} : 포장 상태에 의한 보정치

ΔL_{grad} : 도로 구배에 의한 보정치

ΔL_{dir} : 지향성에 의한 보정치

ΔL_{etc} : 기타 보정치

- 전파모델

전방향의 음원이 i번째 도로에 위치한다고 할 때, 예측 지점에서의 A특성 음압레벨, $L_{A,i}$ 는 다음 식과 같다.

$$L_{A,i} = L_{WA,i} - 8 - 20 \log_{10} r_i + \Delta L_{cor,i}$$

여기서, $L_{WA,i}$ 는 I번째 위치한 차량의 A특성 음향과위레벨, r_i 는 I번째 위치한 음원에서 수음점까지

의 직선거리(m), $\Delta L_{cor,i}$ 는 보정값이다.

$$\Delta L_{cor} = \Delta L_{dif} + \Delta L_{grad} + \Delta L_{air}$$

- ΔL_{dif} : 회절에 의한 보정치
- ΔL_{grad} : 지면 효과에 의한 보정치
- ΔL_{air} : 대기 흡수에 의한 보정치

2.2 예측식별 차종 분류

도로교통소음 예측식별 차종 분류는 환경부의 소음지도 작성방법에서 제안된 분류 방법을 적용하였으며, 예측모델의 정확도 향상을 위하여 Nord2000의 경우 3차종 분류, ASJ2008의 경우 4차종 분류를 사용하였다. Table 1은 예측식별 차종 분류를 보여준다.

Table 1 Classification of Vehicles type according to Noise Prediction Models

Classification	Detailed Classification	Noise Prediction Models				
		CRTN	RLS90	NMPB	Nord 2000	ASJ 2008
Sedan	Sedan, Under 15 passengers	Small Vehicle	Small Vehicle	Small Vehicle	Small Vehicle	Small Vehicle 1
Light Truck	under 2.5t					
Medium Truck	2.5~3.5t	Large Vehicle	Large Vehicle	Small Vehicle	Middle Vehicle	Small Vehicle 2
Medium Bus	15~25 passengers					Middle Vehicle
Heavy Truck	over 3.5t			Large Vehicle	Large Vehicle	Large Vehicle
Heavy Bus	Over 25 passengers					Large Vehicle

3. 연구방법

3.1 측정방법

측정방법 및 측정기기의 사용, 조작은 KS I ISO 1996-1(11) 및 소음,진동공정시험기준(12)을 준하고, 소음 측정기로 Symphonie(01dB社)와 1/4"-Freefield Microphone을 사용하여 소음레벨을 측정하였다.

측정 지점은 왕복 4차선 아스팔트 및 콘트리트 포장도로로 반사효과를 유발하는 지형, 지물이 없는 일반도로(3지점)와 고속도로(3지점), 총 6지점을 선정

하였으며 반자유음장을 만족하는 도로단으로부터 각각 5, 10m 떨어진 지점에서 1.5, 3m 높이에서 30분 동안의 등가소음도($L_{eq,30m}$)를 동시에 측정하였고 A특성 보정을 통한 dB(A) 값으로 산출하였으며, 각 예측모델에 따른 분류방법에 따라 차량 통행량과 차량의 속도를 조사하였다.

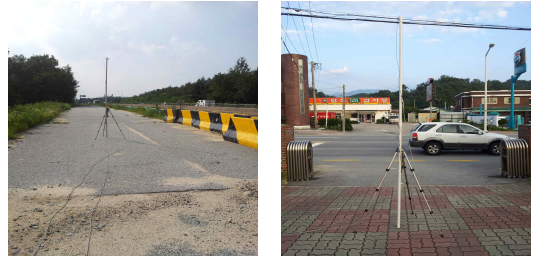


Fig 1 Measurement point

Table 2 Road properties of measurement point

Road properties	Details
Traffic flow	Steady
Lanes	4-lane
Lane width	7.5 m
Distance emission band	6.38 m
Central reservation width	0 m (General Road)
	2 m (ExpressWay)

3.2 결과 및 고찰

Table 3 Analysis of Difference data

	General Road			Expressway		
	Max. Difference (dB(A))	Min. Difference (dB(A))	Average Difference (dB(A))	Max. Difference (dB(A))	Min. Difference (dB(A))	Average Difference (dB(A))
CRTN	3.3	0.6	1.96	4.2	0.0	2.19
RLS90	2.1	0.2	1.80	2.4	0.2	1.09
NMPB	5.9	2.2	4.14	4.2	1.0	3.06
Nord2000	7.5	2.1	4.01	5.2	1.4	4.00
ASJ2008	5.2	0.7	3.29	5.5	2.6	4.00

일반도로의 경우에 평균오차는 RLS90과 CRTN이 2dB(A) 내로 실측값과의 차이가 근소하게 나타났으며, ASJ2008는 3dB(A), Nord2000과 NMPB는 4dB(A) 정도의 평균오차를 나타내었다.

고속도로의 경우는 RLS90이 1dB(A), CRTN이 2dB(A), NMPB가 3dB(A), Nord2000와 ASJ2008이 4dB(A)정도의 평균오차를 나타내었다.

Table 4 Comparison between measured value and the predicted noise level by individual prediction model

Classification	Section	Distance	Height	Measured Value	Prediction Value									
					CRTN		RLS90		NMPB		Nord2000		ASJ2008	
					dB(A)	Difference	dB(A)	Difference	dB(A)	Difference	dB(A)	Difference	dB(A)	Difference
General Road	Road 19	5m	1.5m	70.5	68.5	-3.3	70.1	0.2	65.0	-5.0	64.9	-3.8	65.6	-3.9
			3m	70.7	68.8	-2.7	70.6	0.6	66.0	-4.6	66.0	-3.1	67.1	-3.9
		10m	1.5m	64.5	65.2	-2.2	68.3	0.9	61.2	-3.8	61.7	-3.1	61.5	-3.0
			3m	66.1	66.4	-0.9	69.4	1.8	63.7	-3.2	63.5	-2.5	65.2	-2.0
	Haeng-Gu Road	5m	1.5m	71.9	68.6	-3.3	72.1	0.2	66.9	-5.0	68.1	-3.8	68.0	-3.9
			3m	71.7	69.0	-2.7	72.3	0.6	67.1	-4.6	68.6	-3.1	67.8	-3.9
		10m	1.5m	67.8	65.6	-2.2	68.7	0.9	64.0	-3.8	64.7	-3.1	64.8	-3.0
			3m	67.7	66.8	-0.9	69.5	1.8	64.5	-3.2	65.2	-2.5	65.7	-2.0
	Chi-Ak Road	5m	1.5m	68.8	67.7	-1.1	66.7	-2.1	62.9	-5.9	61.3	-7.5	63.6	-5.2
			3m	68.2	68.8	0.6	67.2	-1.0	63.8	-4.4	63.9	-4.3	65.3	-2.9
		10m	1.5m	64.2	66.5	2.3	65.7	1.5	61.6	-2.6	61.8	-2.4	62.3	-1.9
			3m	65.0	67.7	2.7	66.2	1.2	62.8	-2.2	62.9	-2.1	64.3	-0.7
Express Way	Young-Dong Express Way	5m	1.5m	73.1	70.3	-2.8	72.6	-0.5	70.0	-3.1	71.7	-1.4	67.9	-5.2
			3m	78.1	73.9	-4.2	77.8	-0.3	74.5	-3.6	73.1	-5.0	74.7	-3.4
		10m	1.5m	70.6	68.3	-2.3	70.4	-0.2	67.8	-2.8	66.7	-3.9	66.4	-4.2
			3m	74.7	70.8	-3.9	73.1	-1.6	70.5	-4.2	70.0	-4.7	70.2	-4.5
	Jung-Bu Express Way	5m	1.5m	79.3	77.6	-1.7	79.1	-0.2	75.4	-3.9	74.1	-5.2	75.4	-3.9
			3m	79.4	78.7	-0.7	79.8	0.4	76.5	-2.9	75.0	-4.4	76.2	-3.2
		10m	1.5m	76.2	76.3	0.1	77.3	1.1	73.6	-2.6	72.5	-3.7	73.6	-2.6
			3m	77.5	77.5	0.0	78.4	0.9	75.2	-2.3	73.6	-3.9	74.9	-2.6
	Jung-Ang Express Way	5m	1.5m	77.9	77.3	-0.6	79.3	1.4	76.2	-1.7	74.7	-3.2	74.2	-3.7
			3m	80.9	78.5	-2.4	79.7	-1.2	76.9	-4.0	77.0	-3.9	75.4	-5.5
		10m	1.5m	74.4	75.3	0.9	76.8	2.4	73.4	-1.0	71.1	-3.3	70.6	-3.8
			3m	77.7	76.6	-1.1	77.5	-0.2	74.7	-3.0	73.7	-4.0	73.4	-4.3

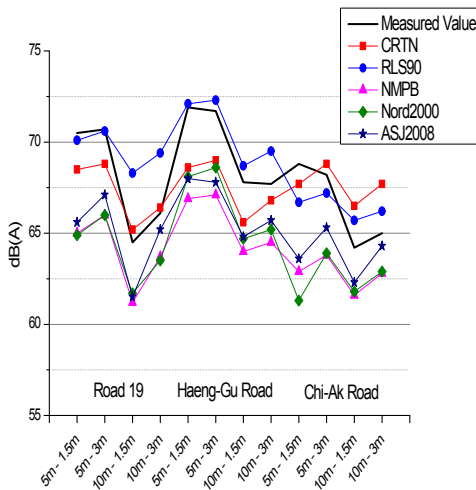


Fig 2 Comparison of Prediction and Measured Values in General Road

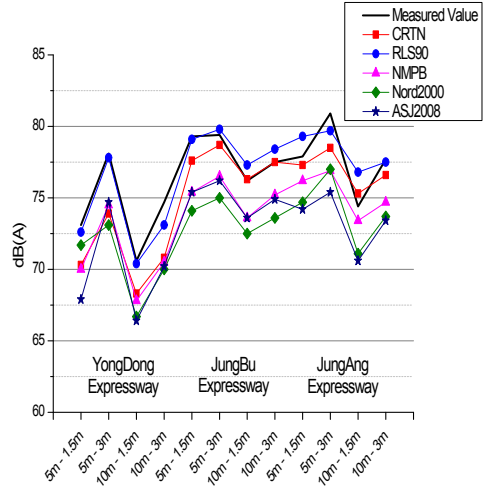


Fig 3 Comparison of Prediction and Measured Values in General Road

4. 결 론

본 연구에서는 해외 도로교통소음 예측모델인 CRTN, RLS90, NMPB(2008), Nord2000, ASJ2008에 대하여 일반도로 및 고속도로에서의 예측소음도를 고찰하였으며 결과는 다음과 같다.

(1) 소음예측의 신뢰성을 확보하기 위하여 예측모델 별 입력조건의 설정방법이나 입력조건이 미치는 영향에 대한 세부적인 이해가 필요하며 실제 환경과 가장 유사한 조건의 모델링이 우선시 되어야 한다.

(2) 일반도로의 경우, 평균오차는 RLS90과 CRTN이 2dB(A) 내로 실측값과의 차이가 근소하게 나타났으며, ASJ2008는 3dB(A), Nord2000과 NMPB는 4dB(A) 정도의 평균오차를 나타내었다.

(3) 고속도로의 경우, RLS90이 1dB(A), CRTN이 2dB(A), NMPB가 3dB(A), Nord2000와 ASJ2008이 4dB(A) 정도의 평균오차를 나타내었다.

(4) 일반도로와 고속도로 모두에서 NMPB, Nord2000, ASJ2008 세 가지의 예측모델 모두 3dB(A) 이상의 평균오차를 보였으며, 이는 정확한 모델링 환경에 부합하기에는 무리가 있음으로 여겨진다.

(5) 평균오차 차이가 2dB(A) 이내로 나온 RLS90이 일반도로 및 고속도로의 도로교통소음 모델링에 적합하다고 사료된다.

참 고 문 헌

(1) J. S Park, 2012, A Comparative Study on ASJ 2003 and 2008 prediction model for road traffic noise assessment, Yonsei University

(2) 환경부, 2010, 환경부고시 제 2010-72호, 소음지도의 작성방법

(3) Department of Transport Welsh Office, 1988, Calculation of Road Traffic Noise, HMSO

(4) Braunstein, Berndt GmbH, 2005, SoundPLAN User's Manual, SoundPLAN LLC, pp 487~492

(5) J. H Oh, 2008, Validation of the noise map and comparison between $L_{Aeq,T}$ and L_{den} , Yonsei University

(6) Wölfel Meßsysteme, Software GmbH, 2003, Adaptation and revision of the interim noise computation methods for the purpose of strategic noise mapping, European Commission

(7) Francis Besnard then Emmanuel Le Duc, 2009, Road noise prediction: 2-Noise propagation computation method including meteorological effects(NMPB2008), Sétra

(8) Hans G. Jonasson, 2001, Nord2000. New Nordic Prediction Method for Road Traffic Noise, SP Rapport 2001:10, Borås 2001

(9) J. Kragh, B. Plovising, Storeheier, G.Taraldsen, H. G. Jonasson, 2002, Nordic Environmental Noise Prediction Methods. Nord2000 Summary Report. General Nordic Sound Propagation Model and Applications in Source-Related Prediction Methods, DELTA Acoustics & Vibration Report, Vol. 1718/01

(10) Kohei Yamamoto, 2010, Road traffic noise prediction model "ASJ RTN-Model 2008": Report of the Research Committee on Road Traffic Noise, The Acoustical Society of Japan

(11) 한국표준협회, 2004, KS I ISO 1996-1 : 음향 - 환경소음의 표시 및 측정방법 - 제 1부 : 기본량 및 측정절차

(12) 환경부, 2010, 환경부고시 제 2010-142호, 소음진동 공정시험기준