

도로교통 소음지도 작성을 위한 소음예측식 비교 연구

A Comparative Study of Noise Prediction Method of Road Traffic Noise Map

정우홍*·박인선*·김지윤*·박상규†·강대준**

Woo-hong Jung, In-sun Park, Ji-yoon Kim, Sang-kyu Park and Dae-joon Kang

Key Words : Road Traffic Noise Map(도로교통 소음지도), Prediction Method(예측식), CRTN, RLS90, XPS31-133

ABSTRACT

Recently, noise map is used widely by synthetic estimation method for noise reduction. For correct manufacture of noise map, selection of suitable noise prediction method is important. This study compares XPS31-133 with CRTN, RLS90 which are widely used by foreign commercial noise maps.

1. 서론

최근 국내외에서 소음 저감을 위한 종합적인 대책의 일환으로 주목받고 있는 소음지도는 소음의 발생과 전파에 영향을 미치는 각종 인자들의 상호작용을 수식화한 예측식의 선택과 적용이 중요하다.

그러나, 현재 널리 활용되고 있는 상용S/W에서는 국내 예측식이 적용되지 않고 있다. 따라서 소음지도 제작시 국내 적용을 위한 해외 예측식의 검증이 필요하다.

도로교통 소음지도 제작을 위하여 일반적으로 널리 사용되는 예측식은 EU Directive에서 권고한 XPS31-133(舊 NMPB)을 비롯하여, 영국의 교통국에서 1975년에 제작하여 1988년에 개정한 CRTN과 독일의 연방교통부의 도로건설부에서 발표한 RLS90, 네덜란드의 RMR 2002 등이 있다.¹⁾

본 연구에서는 XPS31-133, CRTN과 RLS90에 대한 예측치 비교와 검증을 통하여 국내 소음지도 제작에 적절한 도로소음 예측 방법을 제시하고자 한다.

2. 예측식 검토

2.1 CRTN²⁾

도로에서 기본소음도는 교통량, 차량속력, 차량구성, 도로 기울기, 도로포장상태로부터 계산되며, 결과의 정확성에 영향을 미치는 영향인자의 중요도는 Table 1과 같다.

계산과정은 1시간 혹은 18시간 연속 측정된 양방향의 교통량을 이용하여 기본 소음도를 구한 후, 대형차량비와 차량속도, 도로의 경사도와 포장상태, 발생원과 수음점간의 거리에 대한 보정을 통하여 최종적인 소음도를 예측하게 된다. 단, 양방향의 두 도로의 높이가 1m 이상 차이가 있을 경우에는 각각의 도로에서 발생하는 소음은 구별되어 평가된다.

Table 1 Ranking order for input dataset accuracy³⁾

Rank of important	Road Gradient (G>15%)	Road Gradient (G<15%)
1st	Vehicle velocity	Vehicle velocity
2nd	Road gradient	Traffic flow
3rd	Traffic flow	Road gradient
4th	Road surface type	Road surface type
5th	Percentage of heavy vehicle	Percentage of heavy vehicle
6th	Texture depth	Texture depth

† 중신회원, 연세대학교 환경공학부
E-mail : tankpark@yonsei.ac.kr
Tel : (033) 760-2442, Fax : (033) 763-2194

* 정회원, 연세대학교 환경공학부 대학원

** 중신회원, 국립환경과학원 교통환경연구소

Fig.1은 기본소음도와 각 단계에서의 보정치를 구하여 예측치를 구하는 과정이다.

Basic Noise Level
$L_{10}(1h) = 42.2 + 10 \log_{10} q \text{ dB}(A)$ $L_{10}(18h) = 29.1 + 10 \log_{10} Q \text{ dB}(A)$
+
Correction for Percentage of heavy vehicles and Traffic speed
$C = 33 \log_{10} \left(V + 40 + \frac{500}{V} \right) + 10 \log_{10} \left(1 + \frac{5p}{V} \right) - 68.8 \text{ dB}(A)$ <p>* V: Traffic speed (km/h) p: Percentage of heavy vehicles $= \frac{100f}{q}$ or $\frac{100F}{Q}$ f, F: heavy vehicle flow for 1h, 18h q, Q: total flow for 1h, 18h</p>
+
Correction for Gradient
$C = 0.3G \text{ dB}(A) \quad * G: \text{Gradient}(\%)$
+
Correction for Road surface
<p>if, $V \geq 75 \text{ km/h}$, concrete surface $C = 10 \log_{10}(90TD + 30) - 20 \text{ dB}(A)$</p> <p>if, $V \geq 75 \text{ km/h}$, bituminous surface $C = 10 \log_{10}(20TD + 60) - 20 \text{ dB}(A)$ * TD: Texture Depth</p> <p>if, $V < 75 \text{ km/h}$, impervious surface $C = -1 \text{ dB}(A)$</p> <p>if, pervious surface $C = -3.5 \text{ dB}(A)$</p>
+
Correction for Distance
$C = -10 \log_{10} \left(\frac{d'}{13.5} \right) \text{ dB}(A)$ <p>* d': shortest slant distance</p>
Prediction Noise Level

Fig.1 Calculation process (CRTN)

2.2 RLS90⁴⁾

독일의 RLS90은 점음원 예측방법을 사용하며, 음의 확산, 지표감쇠, 차음, 반사등을 고려하여 제작된 음원모델과 전달모델을 이용하여 소음도를 예측한다. 음원모델은 다음과 같다.

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

$L_m(25, \text{basic})$ 는 소형차 100 km/h, 대형차 80 km/h의 속력으로 직선의 아스팔트 도로를 달릴 때의 소음도이며 다음과 같이 구한다.

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

여기서, M 은 평균교통량(veh/h) 또는 일평균교통량(ADT)을 의미하며, P 는 2.8ton을 초과하는 차량의 비율, C_{Sp} 는 차량속력, C_{Rs} 와 C_G 는 각각 노면의 종류와 노면의 경사, C_{Ref} 는 다중반사의 효과에 의한 보정치이다. 전달모델은 다음과 같다.

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

L_{Me} 는 음원의 방사레벨, C_{Sl} 은 도로구간의 길이, C_s 는 음의 확산, C_{Ga} 는 지표흡음과 기상 영향, C_{Sc} 는 장애물에 의한 영향에 의한 보정치이다.

2.3 XPS31-133⁵⁾

Directive 2003/613/EC⁶⁾에 따라, EU회원국 중 도로교통소음 L_{den} 또는 L_{night} 예측을 위한 계산식이 없거나 계산식을 변경하고자 하는 국가는 프랑스 소음예측식인 XPS31-133를 사용한다.

소음방출량 E 는 다음과 같으며, Table.2는 소음방출량에 영향을 주는 인자이다.

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

소음방출량 E 로부터 교통량 Q 를 보정한 단위 길이당 음향파위레벨 $L_{Aw/m,k}$ 를 구한후 노면상태에 따른 보정치 ψ 와 옥타브밴드 보정치를 적용하여 각각 $L_{Aw/m,\psi}$ 와 L_{Aw} 를 산출한다. 만약 전파경로 상에 장애물이나 방음벽이 있을 경우, 재질에 따라 흡음보정계수를 적용함으로써 최종적인 예측치를 구하게 된다.

다음은 각 영향인자에 대한 보정치를 적용하여 음향파위레벨을 구하는 식이다.

$$L_{Aw/m,k} = E_{lv,k} + 10\log(Q_{lv,k}) + E_{jv,k} + 10\log(Q_{hv,k})$$

$$L_{Aw/m,\psi} = 10\log \sum_k 10^{\frac{L_{Aw/m,k} + \psi}{10}} \times \frac{h_k}{h_p}$$

$$L_{Awi} = L_{Aw/m,\psi} + 20 + 10\log(l_i) + R(j)$$

Table 2 Input factors for emission noise level (XPS31-133)

구분	내용	
차량 분류	소형차량	중량 3.5톤 미만
	대형차량	중량 3.5톤 이상
차량 속도	소형 (20~130 km/h)	측정된 구간평균속력
	대형 (20~100 km/h)	
노면 경사	내리막	2% 이상 내리막 경사
	오르막	2% 이상 오르막 경사
	평탄	경사도 2% 이하
교통 흐름	항속구간	해당구간의 속력이 거의 일정한 구간에 적용
	불규칙 변속구간	대부분의 차량의 속력이 불규칙하게 변동하는 구간에 적용
	가속구간	대부분의 차량이 순간적으로 가속을 하는 구간
	감속구간	대부분의 차량이 순간적으로 감속을 하는 구간

3. 소음예측

3.1 기초조사

대상지역으로 평일 교통량이 비교적 일정하며, 주요도로 교통량 기준⁶⁾을 만족하는 원주시 단구동 일대를 선정하였으며, 도로의 차량유입과 유출을 고려하여 대상도로를 6개 구간 나누어 소음도에 미치는 영향인자(교통량, 대형차량비율, 차량 속도)를 조사하였다. 또한 도로변 건물이나 장애물에 의한 반사음이나 회절음, 암소음의 영향이 적은 15개 지점을 선택하여 소음을 측정하였다.

소음 측정에 사용된 소음계는 NL-18 2대와 NL-20 1대(Rion社)이며, 1시간동안 연속 측정하였다. 속도 측정의 경우 교통흐름에 영향을 많이 받는 도심에서는 구간속도방법⁷⁾이 보다 효과적⁸⁾이므로, 양방향을 통행하는 60대의 차속을 구간속도측정 방법으로 조사하였으며, 교통량과 대형차량비는 비디오카메라로 촬영하여 분석하였다. 이외에 도로의

경사도, 폭, 포장유형 및 대상지역 주변의 건물을 높이를 조사하였다.

(1) 교통량

6개 구간의 1시간 교통흐름 영상을 분석한 결과는 Table 3과 같다.

Table 3 Results of Traffic Flow

(대/hr)

	1구간	2구간	3구간	4구간	5구간	6구간
1.5ton미만	949	738	543	382	499	753
1.5~2.8ton	792	600	404	332	308	408
2.8~3.5ton	50	70	37	49	39	46
3.5ton이상	45	24	73	81	31	39
total	1836	1432	1057	844	877	1246

(2) 대형차량비

각 식의 차량분류 기준(공차중량)은 CRTN 1.5ton, RLS90 2.8ton, XPS31-133 3.5ton이다.

예측식별 대형차량비는 Table 4와 같으며, CRTN의 대형차량비가 다른 두 식에 비하여 크게 나타났다. 이것은 국내에서 판매되는 SUV(Sports Utility Vehicles)가 모두 대형차량으로 분류되기 때문이다.

Table 4 Percentage of Heavy vehicles

		소형 (대/hr)	대형 (대/hr)	대형차량비 (%)
1구간	CRTN	949	887	48.3
	RLS90	1741	95	5.1
	XPS31-133	1791	45	2.4
2구간	CRTN	738	694	48.5
	RLS90	1338	94	6.5
	XPS31-133	1408	24	1.7
3구간	CRTN	543	514	48.6
	RLS90	947	110	11.6
	XPS31-133	984	73	6.9
4구간	CRTN	382	462	54.7
	RLS90	714	130	15.4
	XPS31-133	763	81	9.5
5구간	CRTN	499	378	43.1
	RLS90	807	70	8.0
	XPS31-133	846	31	3.5
6구간	CRTN	753	493	39.5
	RLS90	1161	85	6.8
	XPS31-133	1207	39	3.1

(3) 차량속도

XPS31-133과 RLS90은 차량속도가 소형차량과 대형차량이 구분되어 적용되지만, CRTN은 차량 구분 없이 전체 차량의 속도 평균으로 소음 예측치를 산출한다.

Table 5 Results of Traffic speed

		소형 (km/h)	대형 (km/h)
1구간	CRTN	63.6	
	RLS90	65.8	58.8
	XPS31-133	64.5	59.5
2구간	CRTN	34.4	
	RLS90	34.7	33.8
	XPS31-133	34.3	34.6
3구간	CRTN	54.6	
	RLS90	57.4	49.6
	XPS31-133	55.1	52.1
4구간	CRTN	61.2	
	RLS90	63.3	55.0
	XPS31-133	61.8	57.0
5구간	CRTN	46.2	
	RLS90	45.6	49.5
	XPS31-133	45.7	58.0
6구간	CRTN	60.2	
	RLS90	65.7	40.7
	XPS31-133	65.7	40.7

3.2 예측결과

소음 예측을 위하여 소음예측 소프트웨어인 SoundPLAN(ver6.4, SoundPLAN社)을 사용하였으며, 소음측정지점을 SPS(Single Point receivers Sound)로 설정하여 측정결과 예측치를 비교하였다. 결과는 Table 6과 같다.

측정결과와 L₁₀값을 비교한 CRTN의 경우, 오차범위는 0.1~2.8dB(A), 평균오차는 1.25dB(A)로 나타났다. 실측치와 Leq값을 비교한 RLS90과 XPS 31-133의 예측치는 오차범위가 각각 0~2.7dB(A)와 0.2~3.3dB(A)로 나타났으며, 평균오차는 1.21dB(A)와 1.22dB(A)였다. 모든 예측식이 인간이 소음의 크기 변화를 감별할 수 있는 최소치인 3dB(A) 범위내의 오차를 보였으며, 각 예측식간의 차이도 0.3dB(A)로 비교적 작게 나타났다.

Table 6 Comparison of measured and predicted results

	측정결과		RLS90		XPS31-133		CRTN	
	Leq	L ₁₀	Leq	오차	Leq	오차	L ₁₀	오차
1지점	74.4	78.7	73.6	-0.8	73.7	-0.7	78.8	0.1
2지점	72.5	76.8	70.8	-1.7	70.7	-1.8	75.7	-1.1
3지점	71.6	75.8	71.6	0	72.4	0.8	75.5	-0.3
4지점	70.6	74.6	72.3	1.7	71.1	0.5	76.9	2.3
5지점	69.7	73.8	69.4	-0.3	68.5	-1.2	73.4	-0.4
6지점	72.4	76.3	71.9	-0.5	70.8	-1.6	78.7	2.4
7지점	71.8	75.9	69.1	-2.7	69.3	-2.5	73.8	-2.1
8지점	69.5	73.1	68.5	-1	68.1	-1.4	74.1	1
9지점	68.1	71.6	67.3	-0.8	67	-1.1	72	0.4
10지점	69.5	70.3	68.5	-1	69.4	-0.1	73.1	2.8
11지점	69.7	73.4	67.8	-1.9	67.4	-2.3	72.4	-1
12지점	65	67.8	67.4	2.4	68.3	3.3	70.3	2.5
13지점	67.6	70.6	69.3	1.7	67.8	0.2	70.3	-0.3
14지점	67.2	71.1	68.5	1.3	67.7	0.5	72.8	1.7
15지점	73.6	-	73.2	-0.4	73.9	0.3	80.2	-
평균오차			1.21		1.22		1.25	

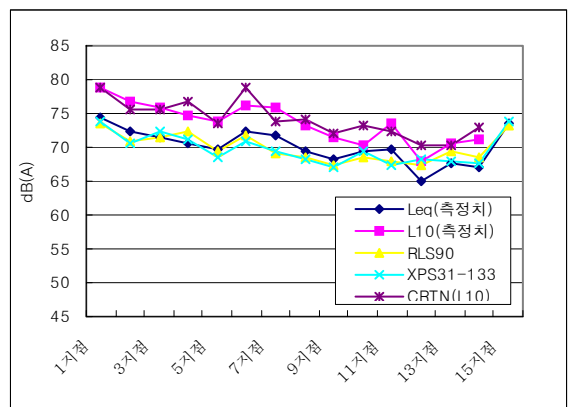


Fig.2 Comparison of measured and predicted results

4. 결론

본 논문에서는 소음 예측식 CRTN, RLS90과 XPS31-133을 이용하여 소음도를 계산한 후 실측치와 비교하였다. 정상적인 교통흐름이 있는 도심의 소음도를 예측하였을 경우, 오차범위는 각각 0.1~2.8dB(A)와 0~2.7dB(A), 0.2~3.3dB(A)로 실제 소음도와 근사한 값을 보여 모든 예측식이 국내 도로소음을 예측하는데 적합하다고 판단된다.

또한, 예측식간의 평균오차는 0.03dB(A) 미세하게 나타나, 각 식간의 우열은 보이지 않았다.

추후 대상지역의 특성에 따른 예측식의 비교와 적합성에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- 1) 박인선, 박상규, 2005, 국내소음지도 표준화를 위한 현황 평가, 한국소음진동공학회 논문집
- 2) DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1998, Calculation of Road Traffic Noise
- 3) The Department for Environment· Food and Rural Affairs(DEFRA), 2005, Data Accuracy Guideline for CRTN
- 4) 오진우, 장서일, 이기정, 2004, 국내의 소음지도 제작과 활용에 관한 연구, 한국소음진동공학회 논문집
- 5) LABEIN Technological Centre, Adaptation and Revision of The Interim Noise Computation Methods for The Purpose of Strategic Noise Mapping
- 6) EU Directive 2002/49/EC relating to the assessment and management of environmental noise, Official Journal of the European Communities
- 7) 건설교통부, 2006, 건설교통부 고시 제 2006-415호 교통조사지침
- 8) 박인선, 박상규, 2007, 속도 측정방법에 따른 소음지도 예측결과 분석, 한국소음진동공학회 논문집 제17권 제2호