소음지도를 이용한 철도소음 예측식의 연구

A Study on the Prediction Model of Railway Noise Using Noise Map

박찬연*·박인선*·오종화*·이재원**·박상규†

Chan-youn Park, In-sun Park, Jong-hwa Oh, Jae-won Lee and Sang-kyu Park

Key Words : Noise Map(소음지도), Railway noise(철도소음), Prediction(예측)

ABSTRACT

People living in the large cities are exposed to high level noise due to road-traffic, railway-traffic and aircraft. Nowadays, some researches are ongoing to reduce the noise by using noise map. However it has to be decided which prediction model is the most suitable in Korea. In this study, it has been focused on railway noise prediction models which are employed in a commercial software(Sound Plan) and developed by Korea Railroad Research Institute, and comparative study of the prediction models has been made.

1. 서 론

물류량의 증가와 교통수단의 고속화는 소음의 증가와 불쾌감을 유발하고 있다. 특히 철도교통은 전국토의 효율적 활용을 목적으로 도시간 또는 도심내 철도건설 및 계획이 활발히 진행중에 있으며, 이로 인한 환경소음의 증가를 효율적으로 제어하기 위해 환경부는 주요 소음원의 소음지도를 제작할 예정이다.

그러나 국내의 현실에 알맞은 소음지도 S/W의 개발이 미비하고, 국내·외 예측식에 대한 검증이 부족한 상황이다.

그러므로, 본 연구에서는 대표적인 소음지도 S/W를 이용하여 유럽에서 널리 사용되는 CRN, RMR2002, Schall-03의 3가지 예측식과 국내 예측식의 비교를 통해 적절한 철도소음 예측식과 방법을 제시하고자 한다.

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

* 정회원, 연세대학교 환경공학부 대학원

** 정회원, 국립환경과학원 교통환경연구소

2. 철도 소음 예측식 검토

2.1 해외 예측식

(1) CRN (영국)

영국에서 철도소음의 예측 시 사용되는 CRN은 철도차량이 운행되면서 발생되는 소음을 수음측에서 예측하는 방법이다. 철도소음도 계산은 6단계로 구성되어 있으며 각 단계에서 필요한 입력데이터는 철도차량의 종류, 속력, 철로의 지지구조, 거리, 지표면 상태, 교통량이 있다. 입력된 데이터와 보정을 통해 계산된 소음노출레벨은 철도차량의 종류에 따라 $L_{Aeq.18h}$ 과 $L_{Aeq.6h}$ 값으로 나타낸다.

$$L_{Aeq.18h} = SEL - 48.1 + 10\log Q_{DAY}$$
$$L_{Aeq.6h} = SEL - 43.3 + 10\log Q_{NIGHT}$$

Q_{DAY} : 주간 교통량(06:00~24:00), 대/18hr
Q_{NIGHT} : 야간 교통량(24:00~06:00), 대/6hr

(2) RMR 2002 (네덜란드)

RMR 2002는 RMR 1996의 철도차량의 범주에 포

함되어 있지 않았던 철도차량 보정값의 추가 및 반사계수 계산법의 수정을 통해 ISO 9613에 더 알맞게 수정된 철도소음 예측식으로 소음원 높이와 관련된 각각의 옥타브 밴드 중심주파수의 소음도를 구하고, 소음원과 수음점의 거리, 전파특성, 소음원과 수음점 사이에 구조물이 있을 경우에 장애물의 영향과 소음도의 변화를 고려한다. 예측결과는 각각의 옥타브 밴드별 소음도를 합한 결과이다.

$$L_{Aeq} = 10\mathrm{Log}\sum_{i=1}^{8}\sum_{j=1}^{J}\sum_{n=1}^{N} -10^{\Delta \le i,j,n/10}$$

$$\Delta L_{eqi,j,n} = L_E + \Delta L_{GU} - \Delta L_{OD} - \Delta L_{SW} - \Delta L_R - 58.6$$

L_E : 소음원 높이와 옥타브밴드 별 소음도
ΔL_{GU} : 거리(Distance) 감쇠치
ΔL_{OD} : 전파(Propagation) 감쇠치
ΔL_{SW} : 스크린 효과로 인한 감쇠치
ΔL_R : 반사(Reflection)로 인한 감쇠치

(3) Schall-03 (독일)

독일의 철도소음 예측식 Schall-03은 철도차량의 주간 또는 야간의 평균 소음레벨을 산출하여 철도차량의 종류, 대기의 음의 흡수, 음의 전파높이 등을 고려한 보정을 하여 철도소음을 예측한다.

$$L_{Aeq} = L_m + D_{Fz} + D_{SI} + D_{BM} + D_B + S$$

L_m : 주간 또는 야간의 평균소음레벨
D_{Fz} : 철도차량의 종류에 의한 보정값
D_{SI} : 대기흡수에 의한 보정값
D_{BM} : 소음원과 수음점 사이의 소음전파경로와 지표면에서 높이에 대한 보정값
D_B : 방음벽, 건물, 제방, 도로 등에 의한 소음 감쇠치
S : 철도소음에 의한 소음피해가 도로교통소음에 비해 적은 것을 고려한 보정값, -5 dB

2.2 국내 예측식

한국철도기술연구원에서는 국내 각 차종별 예측모델의 개발을 위해 철도소음 측정결과에 방사소음 모델을 이용하여 성분분석을 수행하고 차종별, 속도별, 열차 편성 특성별, 이격거리별 그리고 기타 보정조건을 고려할 수 있는 예측식 모델을 개발하였다. 기준위치에 따른 소음폭로레벨(SEL)을 평가량으로 도입하여 차종별 소음의 전파특성에 대한 실험식을 구성하였다. 이와 같이 구성된 실험식을 열차 통과대수 및 이격거리의 함수로 등가소음도를 예측할 수 있도록 구성하였다.

(1) 필요조건
- 차종선택 : KTX, 새마을, 무궁화
- 운행속도 : 100~150km/h
- 열차편성 : 동력차, 객차및 총 열량수
- 열차통과대수
- 수음점 이격거리 및 높이 : 7.5 - 100m
- 기타조건

(2) 예측식

1) 속도에 따른 단위 소음성분(25m 기준)

$SEL_{e'}$ = 0.0887*V+77.464 (단위 동력소음)
$SEL_{r'}$ = 0.0984*V+67.483 (단위 전동소음)

2) 관심위치에서의 차종별 단위 소음성분(dm에서)

$SEL_{e,d} = SEL_{e'} - 3.0879\ln(d/25)$
$SEL_{r,d} = SEL_{r'} - 6.0381\ln(d/25)$

3) 동력차수, 총열량수를 고려

$SEL_E = SEL_{e,d} + 10\log(n_e)$ n_e : 동력차수
$SEL_R = SEL_{r,d} + 10\log(n_t) + 1.5$ n_t : 총열량수

4) 열차1대 통과시

$$SEL = 10\log(10^{0.1\times SEL_E} + 10^{0.1\times SEL_R})$$

5) 주간등가소음도

$$L_{eq,1H} = 10\log[\sum_{i=1}^{n}(10^{0.1\times SEL_E} + 10^{0.1\times SEL_R})] - 10\log(3600) + C_w + C_g + C_d + C_b$$

where,
n : the NO. of passing train during 1H
C_w: correction factor for wind effect

C_g: correction factor for ground effect

C_d: Directivity factor

C_b: correction factor for screen effect

3. 소음지도 제작

3.1 기초조사

(1) 대상지역 선정

측정지역은 원주역을 지나 제천방향의 철도가 지나는 주거지역을 선택하였으며, 이 구간은 단선 구간이다. 대상지역의 선택은 이 구간을 운행하는 동력차의 종류가 동일하여 예측모델의 비교에 보다 객관적인 조건을 제공하기 위함이다.

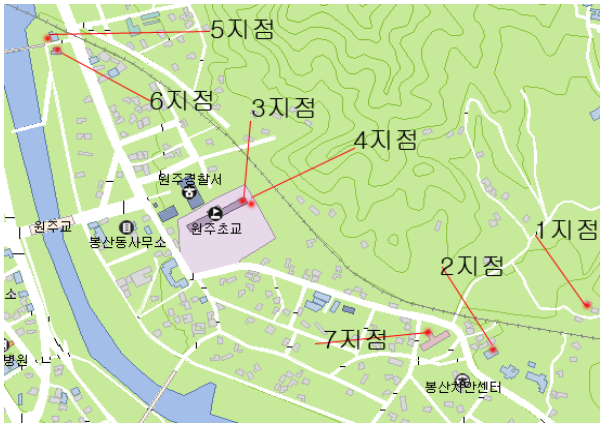

Fig. 1 Measured Area

(2) 소음도 조사

소음도 조사는 철도 소음이 주변지역 중 정온한 환경을 요하는 7개 지점을 선정하여 측정하였다. 측정시간은 18시간으로 제한하여 측정하였고, 장비는 NL-18(Rion社)과 Symphone(01dB社)를 사용하였다.

Table 1 Measured noise level(18h), and receiver information

point	LAeq	LAmax	Hight(m)	Dis.(m)	Degree
1	60.5	95.2	5.5	25	12.4
2	60.7	87.2	4.1	30	7.8
3	56.4	84.2	15.5	58	15
4	54.6	84.1	1.5	50	1.7
5	66.3	89.4	1.5	18	4.8
6	66.2	85.9	7.2	33	12.3
7	64.3	98.6	34	35	44.2

(3) 건물 정보

소음지도 제작에 필요한 건물 높이정보를 레이져 거리측정기(DISTO™A5, Leica社)를 사용하여 건물의 높이를 측정하였다.

(4) 속도

철도의 평균 속도를 구하기 위하여 스피드건(Bushnell社)을 사용하였으며, 차량별 10회 측정한 결과를 산술평균한 값을 철도차량의 속도로 정하였다.

Table 2 Train data

열차 종류	속도	차량대수(18h)
여객열차	76㎞/h	26
화물열차	73㎞/h	33

(5) 기타

각 예측모델에 필요한 영향인자(침목의 종류, 차량종류, 차 열량의수, 차량 길이 등)를 조사하였다.

3.2 소음지도 제작

소음 예측을 위해 지형도를 작성하고 소음원인 철도에 각 예측식별 필요한 인자를 입력하였다. 각 예측식에 국내 철도차량 정보가 없는 관계로 반복 실험을 통하여 가장 유사한 철도차량 종류를 경험적으로 찾아 데이터를 획득하였다. S/W는 Sound Plan을 사용하였고 그 결과는 Fig. 2, 3과 같다.

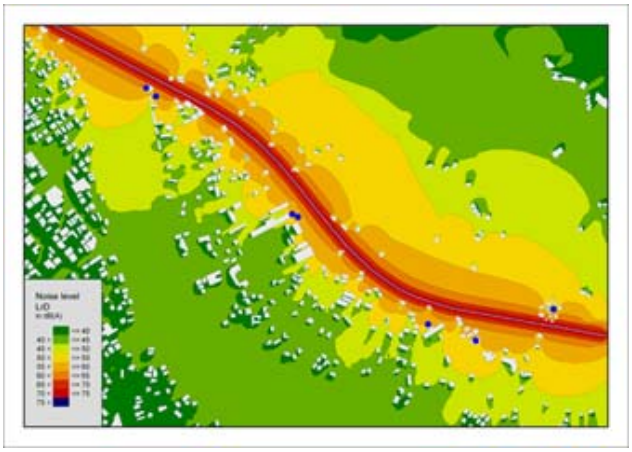

Fig. 2 2D Railway Noise Map(CRN)

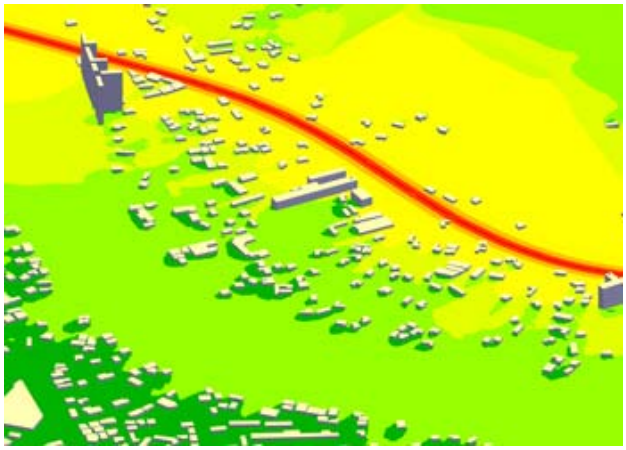

Fig. 3 3D Railway Noise Map(CRN)

4. 결과 분석

4.1 소음지도 결과 분석

Table 3 Comparison of measured and predicted results

Point	Prediction Method	Measured value(dB)	Predicted value(dB)	Difference (dB)
1	CRN	60.5	61.5	1.0
	RMR 2002		61.6	1.1
	Schall-03		59.3	1.2
2	CRN	60.7	60.1	0.6
	RMR 2002		58.8	1.9
	Schall-03		58.1	2.6
3	CRN	56.4	55.6	0.8
	RMR 2002		56.6	0.2
	Schall-03		56.4	0.0
4	CRN	54.6	53.4	1.2
	RMR 2002		52.1	2.5
	Schall-03		55.3	0.7
5	CRN	66.3	58.9	7.4
	RMR 2002		57.2	9.1
	Schall-03		52.7	13.6
6	CRN	66.2	62.8	3.4
	RMR 2002		62.9	3.3
	Schall-03		59.8	6.4
7	CRN	64.3	46.1	18.2
	RMR 2002		45.4	18.9
	Schall-03		49.9	14.4

소음지도 제작 시 측정값과 예측값을 비교하기 위하여 측정지점에 수음점을 생성하였다. 예측결과, 주변의 외부소음원이 적은 1~4지점에서는 모든 예측식에서 3dB 이내의 정확한 값을 나타내었다. 5~7지점은 상당한 오차를 보여주었으며 그 이유는 도로에 인접한 지역으로 측정시 도로교통소음의 영향으로 판단된다. 특히 7지점 같은 고층아파트 지점에서는 오차가 크게 나타났다.

4.2 국내 예측식 분석

철도기술연구원에서 개발한 예측모델을 사용하였으며, 속도와 거리에 따른 보정을 한 식에 동력차수와 총 열량수를 고려하여 주간 등가 소음도(18h)를 구하였고 추가로 수음점과 철로사이의 각도에 따른 보정을 하였다. 보정값 중 풍속은 고려하지 않았으며, 수음점에 영향을 주는 방음벽은 없었다.

국내 예측모델의 예측값과 측정값의 차이는 Table 4와 같다.

Table 4 Comparison of measured and predicted results

Point	Measured value(dB)	Predicted value(dB)	Difference (dB)
1	60.5	59.1	1.4
2	60.7	57.6	3.1
3	56.4	55.5	0.9
4	54.6	54.9	0.3
5	66.3	63.0	3.3
6	66.2	57.7	8.5
7	64.3	57.7	6.6

전반적으로 1~4지점은 소음지도를 이용한 예측값에 비해 정확성이 떨어지지만 도로주변의 5~7지점의 오차는 소음지도를 이용한 예측 결과보다 작은 차이를 보였다.

4. 결론

이 논문에서는 철도소음의 적절한 예측방법을 제시하기 위해서 국내외의 주요 예측식을 검토하였으며, 결과는 다음과 같다.

(1) 철도소음원 이외의 소음원이 존재하지 않는 지역에서는 3가지 예측식에서 3dB 이내의 오차를 나타냈다.

(2) 철도소음원 이외의 소음원을 가지는 지역에서는 정확한 예측을 위하여 복합 소음원을 고려한 예측방법이 필요하다고 판단된다.

(3) 고층건물에서의 철도소음 예측은 소음원과 수음점의 각도에 따라 보정을 하는 국내 예측식이 보다 적절하다고 판단된다.

추후 연구에서는 복합 소음원을 고려한 소음예측과 고층 지역에서의 소음예측에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

1) Park, I. S., Park, S. K., 2006, "Effects of Measurement Method for Vehicle Speed on the Prediction Results of Noise Map" , Proceedings of the KSNVE Fall Conference, KSNVE06F-02-01

2) 한국철도기술연구원, 2005, 철도소음원 특성 규명 및 환경소음 예측모델 개발

3) EU Directive 2002/49/EC relating to the assessment and management of environmental noise, Official Journal of the European Communities

4) 건설교통부, 1995, 수치지도작성 작업규칙 별표 2 수치지도 표준코드