

Raynoise를 이용한 철도소음의 예측에 관한 연구

- 예측식과 Raynoise모델링의 비교 -

김태구[†] · 박민수 · 김태오^{*}

인제대학교 보건안전공학과 · ^{*}금오공과대학교 토목환경공학부
(2004. 10. 4. 접수 / 2005. 3. 25. 채택)

A Study on Prediction of Railway Noise Using Raynoise Modeling

- A comparison of predicting expressions and Raynoise simulations -

Tae-Gu Kim[†] · Min-Soo Park · Tae-Oh Kim^{*}

Department of Health and Safety Engineering, Inje University

^{*}Kumoh National Institute of Technology School of Civil and Environmental Engineering

(Received October 4, 2004 / Accepted March 25, 2005)

Abstract : With the rapid industrial development, railways have become a main traffic means of transportation. However, rail traffic noise and vibration have become a major problem in urban areas which is a very serious issue for the living environment. Especially, railway noise induced by rail operations has influenced on the residents living near railway tracks. The purpose of this paper is to investigate the Raynoise modeling in railway applications. Generally, ray acoustics have been used to investigate the effectiveness of noise barriers in railway applications and barriers are modeled using the commercial software Raynoise. A-weighted sound pressure level have been measured at six locations, 4m from the track and are compared with experimental values. Based on the analysis of the results, Comparison between numerical and experimental values are within 1dB (A). Also, when a train is run through the Raynoise modeling, the general influential sphere of railway noise can be determined. Therefore, this study will be using basic data in establishing effective railway noise prevention plans for the future. Also, we could know that is applicable of Raynoise modeling at railway noise.

Key Words : railway noise, Raynoise modeling, predicting equation, barriers, influential sphere

1. 서 론

철도는 1960년대 산업화 이후 급속한 도시화 과정에서 인구의 집중, 도시의 비대화로 인해 늘어나는 교통의 수요와 대량운송 및 정시운행이라는 장점으로 국가산업의 발전과 국민편익에 편리함을 제공하는 등의 지대한 공헌을 하였다. 그럼에도 불구하고, 이러한 발전과 편리함 속에 소음과 진동은 환경공해를 유발하여 철도 주변에 위치하고 있는 거주시설 및 상업시설 등의 거주민들이 생활을 영위함에 있어 불쾌감, 수면방해, 집중력 감소, 시설물의 피해 등의 영향을 주고 있다.^{1,2)} 이러한 철도

에 의한 소음의 문제점을 예측식과 모델링을 통해 비교·분석하고자 하는 것이 본 연구의 목적이다.

본 연구는 “교통소음·진동의 한도”를 기준을 적용하여 예측식을 통한 철도소음에서 발생할 수 있는 소음의 특성을 분석하고 RAYNOISE 모델링을 통해 소음의 전달경로 및 소음의 분포도를 추정하였다. 예측식에서 얻어진 결과와 RAYNOISE 모델링에서 얻어진 결과를 통하여 예측식RAYNOISE 모델링의 비교·분석하고 RAYNOISE 모델링 기법을 철도 소음의 적용여부를 판단하였다.

2. 이 론

2.1. 철도 예측 소음식

열차 통과 시 최고소음도의 평균치와 지속시간

[†] To whom correspondence should be addressed.
tgkim@inje.ac.kr

을 고려한 식^{3,4)} 은 다음과 같다.

$$\leq = \overline{L_{max}} + 10\log\left(\frac{n \cdot T_e}{T}\right) - 15\log \gamma_a \quad (1)$$

식 (1)의 Leq , $\overline{L_{max}}$, n , T_e , T , γ_a , V ,는 각각 등가 소음도(dB(A)), 개별열차 통과시의 평균 최고소음도의 대수 평균치(dB(A)), 관련시간대의 왕복 열차 통과대수 (대), 열차 1대당 최고소음도 지속시간(sec), 관련시간대의 시간(3600sec), 기준거리에 대한 예측거리의 비, 열차 통과속도(km/h)이다. 일반적으로 개별열차 통과시의 평균 최고소음도의 대수평균치는 각 차종 별 최고소음도의 예측식을 이용하며, T_e 는 열차 1대당 최고소음도 지속시간은 열차를 10량으로 기준으로 평가대상속도를 기준으로 적용하여 산정하고, γ_a 는 소음의 예측 시 소음원과 주거시설의 최단거리인 3m부터 40m까지의 거리 내에 있는 주거시설을 대상으로 하여 예측하였다.

2.2. 방음벽을 고려한 소음예측

(1) 철도소음의 평가 시 방음벽에 의한 철도소음의 저감효과를 계산하기 위해 다음과 같은 식을 적용하였다.

$$\Delta L_i = -10\log\left(10^{\frac{-\Delta L_d}{10}} + 10^{\frac{-\Delta L_t}{10}}\right) \quad (2)$$

여기서, ΔL_i 는 총 저감 소음도, ΔL_d 는 회절 감쇠치, ΔL_t 는 투과손실치 이다.

Fig. 1의 계산방식은 다음과 같다.

$$\delta = A + B - d, \quad N = \frac{2\delta}{\lambda} = \delta \times \frac{f}{170} \quad (3)$$

여기서, δ : 방음벽의 유무에 따른 전파 경로 차, N : 경로 차 δ 을 반파장으로 나눈 값을 파라미터로 할 때 Fresnel 수, f : 대표 주파수, λ : 소리파장 이다.

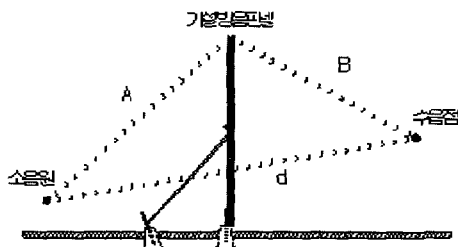


Fig. 1. Noise prediction by noise barrier

2.3. RAYNOISE 모델링

벨기에의 LMS사에서 제작한 순수 음향해석 소프트웨어로 RAYNOISE는 극장, 야외음악당 등과 같은 건축물이나 도로변에 위치한 주거지역, 공항 근처의 소음측정, 공장 및 기계 소음에 의한 소음 레벨 등 비교적 체적이 큰 밀폐공간 또는 열린 공간에 대한 해석을 수행하는데 편리한 프로그램이다. 이 프로그램은 기하음향학(Geometrical acoustics)의 원리를 이용하고 있으며, 이것으로부터 유도된 모든 수학적 모델은 빛의 ray와 동일한 반사 법칙(reflection law)을 추구하여 sound wave들을 ray로서 다루고 있다. Ray Tracing Method(RTM)와 Mirror Image Source Method(MIOR)는 잘 알려진 알고리즘으로 RAYNOISE는 RTM과 MIOR 방법 양쪽의 이점들을 조합한 Conical과 Triangle Beam Method (TBM)를 포함하고 있다. 또한, 투과(Transmission)의 계산, 간편한 회절(Reflection edge)의 설정이 명령어 방식과 GUI의 지원 등을 통하여 쉽게 수행된다.

또한 잔향시간(Reverberation Time), 명료도(Clarify), 기하경로(Ray Path) 등의 결과를 산출하고 동시에 다양한 형태로 출력이 가능하다. RAYNOISE에서 나타나는 SPL wide는 계산된 모든 주파수의 pressure값을 적분했을 때 나오는 Overall 값을 dB scale인 SPL로 나타낸다. RAYNOISE 모델링에서는 Mirror Image Source Method(MIOR)공식은 Kurze-Anderson가 제시한 공식을 이용하며, 다음과 같다.

$$\Delta L_b = 5 + 20\log \frac{\sqrt{2\pi N}}{\tanh \sqrt{2\pi N}} \quad (dB)$$

$$N = 2 \left(\frac{a+b-d}{\lambda} \right) \quad (4)$$

여기서, ΔL_b 는 스크린 방해로 인한 저감량, N 는 Frenel 수, a 는 회절 끝단에서 음원까지의 거리, b 는 회절 끝단에서 수음자까지의 거리, d 는 음원에서 수음자까지의 거리, λ 는 파장, 또한 Ray Tracing Method(RTM)에 관한 식은 다음과 같다.

$$P_n = \sum_{i=0}^n \sum_{k=0}^{N_i} A_{i,k} e^{j\theta_{i,k}} e^{-jk d_k} \quad (5)$$

여기서, n 는 반사치수, N_i 는 i 번째 차수의 이미지

음원의 수, P_n 는 압력, d_{ik} 는 수음자와 이미지 음원 ik 사이의 거리, ϕ_{ik} 는 벽면 반사에서의 위상 지연과 음원의 초기 위상의 합, k 는 파수, A_{ik} 는 반사 ik 의 크기를 나타냄.

앞의 Ray Tracing Method(RTM)와 Mirror Image Source Method(MIOR)에 대한 공식을 이용하여 RAYNOISE모델링을 통하여 음의 영향권을 알 수 있다.

3. 소음의 측정

3.1. 측정 지역

본 연구에서 철도가 운행 중에 있고, 공사예정구간인 부암1동 주변 철도지역을 실험 지역으로 선정 하였으며, 선정이유는 다음과 같이

- 부암1동은 현재 철도가 운행 중에 있어 지형 및 지질조건 등의 의한 소음 및 진동의 특성 파악이 용이함.
- 복선화 사업이 진행 중에 있어 사업의 완료 후, 예상결과에 대한 재확인 가능함에 있다.
- 실험지역내 일부구간이 방음벽이 설치되어 있으나, 나머지 구간은 방음벽이 설치되어 있지 않아 방음벽의 성능 확인에 용이함.

3.2. 측정 방법

소음기(SYMPONY-80,BLASTMATE II)를 이용하여 측정하였다. 또한 총 4회에 걸쳐 측정하였으며, 실험지역의 철로로부터 4m이내의 총 6지점(NV-1~NV6)을 선정하여 측정하였다. 소음측정을 통하여 주파수 분석과 순간 peak치를 구할 수 있었고 이를 이용하여 RAYNOISE 모델링을 통하여 소음을 분석·평가하였다.

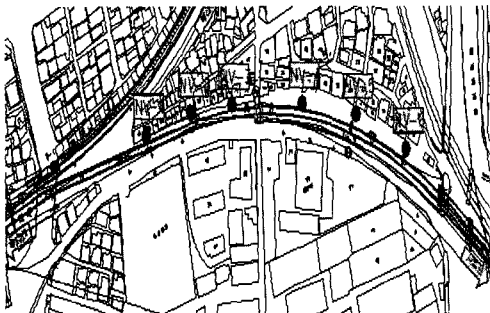


Fig. 2. Picture for measurement of railway noise in experimental area

4. 결과 및 고찰

4.1. 배경소음 측정결과

실험지역내 조사대상지점인 NV-1~NV-6의 배경소음을 측정하였다. 측정결과, 배경소음은 주간에는 50.3~61.6dB(A)이고 야간에는 47.1~57.4 dB(A)로 조사되어 NV-6지점을 제외하고는 양호한 환경을 조성하고 있는 것으로 나타났다. 이는 NV-6 지점의 경우, 배경소음이 높은 것은 실험지역 인근에 도로에 대한 노출도가 높기 때문인 것으로 나타났다.

4.2. 예측식에 의한 소음예측결과

열차통과시 최고소음도의 평균치와 지속시간을 고려하여 1시간 등가소음도(Leq 1hr)를 예측한 결과 다음과 같이 산정되었다.

예측결과, 방음벽 등의 시설물이 없는 조건에서 소음원인 철로로부터 45m 이내의 지역에서는 “교통소음·진동의 한도”중 야간한도(60dB(A))를 초과할 것으로 예상되며, 주간의 경우도 20m 이내의 지역에 있어서는 주간한도(70dB(A))를 초과할 것으로 나타났다.

Table 1. Data of background noise

지점	NV-1		NV-2		NV-3		NV-4		NV-5		NV-6	
	주간	야간	주간	야간	주간	야간	주간	야간	주간	야간	주간	야간
배경 소음 (Leq dB (A))	52.0	56.3	50.3	50.9	52.2	47.1	53.6	50.7	57.1	54.0	61.6	57.4

Table 2. Noise prediction by forecasting expression for distance (Leq dB(A))

소음원으로 부터의이격거리 (m)	예측 소음도 dB(A)
1	89.7
3	82.5
5	79.2
10	74.7
15	72.0
20	70.1
25	68.7
30	67.5
35	66.5
40	65.6
45	64.9

4.3. 주파수 분석결과

▶ 1시간 등가소음도의 분석

대상지역내 NV-1에서 NV-6지점까지의 1시간동안 측정된 Leq값의 주파수 분석을 한 결과 Fig.3과 같이 주파수 1KHz 이하의 주파수에서 높은 수치를 보이고 있다. 이는 철도소음을 측정함에 있어 1시간동안의 등가소음도에 대한 주파수 분석이므로 생활소음 및 주변 도로에서 발생하는 교통소음의 영향인 것으로 판단된다.

4.4. 방음벽을 고려한 소음예측결과

철도 주변지역의 주택을 조사한 결과, 단독주택의 경우는 1, 2층을 대상으로 예측하고, 연립주택의 경우는 2, 3 및 4층을 대상으로 하여 예측하였다.

예측결과, 단독주택의 경우는 “교통 소음·진동의 한도”(주간: 70dB(A), 야간: 60dB(A))를 주·야간 모두 초과하는 것으로 조사되었으며, 연립주택의 경우 주간은 만족하나 야간은 초과하는 것으로 나타나 추가적인 대책이 필요할 것으로 예상된다.

4.5. RAYNOISE 모델링

본 연구에서는 방음벽을 모두 설치한다고 판단하고 방음벽이 있는 상황에서의 RAYNOISE를 이용한 모델링을 실시하였다. 철도의 길이를 10량으로 하여 대상지역내 열차의 위치에 따른 예측을 시행하였다. 예측결과, 철도의 운행시 전 구간에 걸쳐 철도와 인접한 거주시설에 있어 소음도가 72.42dB(A)로 예측 되었으며, 철도 운행으로 발생하는 소음의 전반적인 영향권을 예측 할 수 있었다.

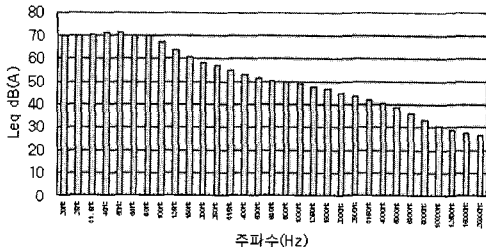


Fig. 3. 1/3 Octave band analysis for 1 hour in railway

Table 3. Results of Noise prediction by simulation Leq(dB(A))

구 분	단독주택		연립주택		
	1층(2m)	2층(4m)	2층(4m)	3층(6m)	4층(8m)
방음벽 설치후	71.6	71.9	66.7	67.0	68.1

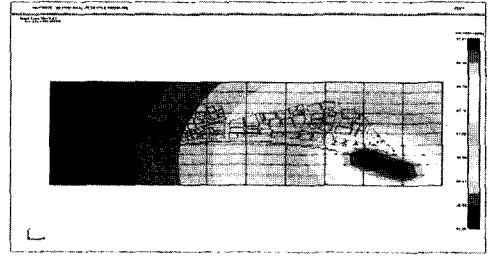


Fig. 4. Approach train in experimental area

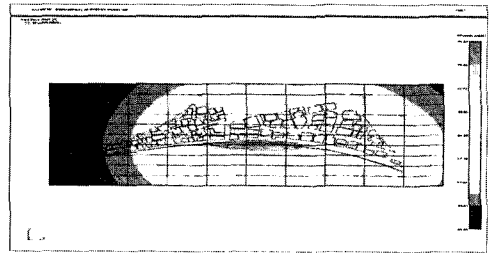


Fig. 5. Train in the middle of experimental area

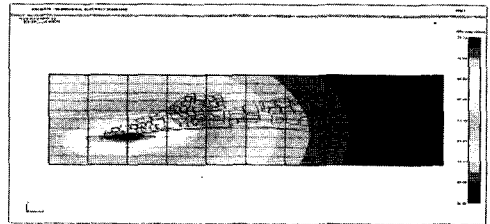


Fig. 6. Arriving train in experimental Area

4.5. RAYNOISE 모델링과 방음벽을 고려한 예측식과의 비교 분석

일반적으로 RAYNOISE는 1/3 octave나 octave band의 center frequency에서 주로 해석을 수행하게 되는데 input으로 주어지는 source data는 측정된 Time data를 FFT하여서 나온 narrow band의 frequency데이터를 이용해서 1/3 octave나 octave band의 center frequency의 값으로 적분한 값을 나타낸다. 본 연구에서는 철도 운행시 방음벽을 고려하여 예측한 것으로 1/3 octave나 octave band의 center frequency의 값을 이용해서 RAYNOISE에서 해석한 결과는 다음과 같다. 단, 본 결과는 방음벽을 고려한 결과이다.

Table 4를 통해 방음벽을 고려한 RAYNOISE 예측결과 약 72.42dB로 일반적으로 사용되는 방음벽 예측식의 결과와 비교해 보면 <Table 3>에서 제시한 예측값이 약 71.6dB로 RAYNOISE 예측값과 약

Table 4. Results of noise prediction by Raynoise Leq(dB(A))

No	방음벽 설치 후(dB(A))
1	70.43
2	72.23
3	72.45
4	72.62
5	72.79
6	72.96
7	72.96
8	72.80
9	72.63
10	72.46
11	72.24
평균	72.42

1dB 이내의 차이가 나는 것으로 나타났다. 이는 같은 조건으로 계산식과 모델링의 예측치가 근접한 것을 나타내고 있는 것이라 할 수 있다. 그러므로 철도소음의 예측 시 RAYNOISE 모델링이 사용 가능한 것으로 나타났다.

5. 결론

주거시설내 진입되는 철도소음에 관하여 예측식과 RAYNOISE 모델링을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 철도 소음원과 수음점 사이의 방음벽을 고려한 예측은 예측식 및 RAYNOISE 모델링 결과 1~2dB이내의 차이로 사용이 가능한 것으로 나타났다.
- 2) 철도 소음이 일정한 지역에 미치는 전반적인

영향권을 레이노이즈 모델링을 통해 알 수 있었다. 반면에 예측식의 경우, 지형조건에 따라 예측값이 틀려져 철도 소음의 전반적인 영향권을 나타내기에는 부족한 것으로 나타났다.

3) 본 대상지점에서 철도소음 예측결과 철도주변에 위치한 지역의 경우 법적 규제보다 소음이 크게 나타나 저감시설이 필요한 것으로 사료된다.

감사의 글 : 본 논문은 2003년도 인제대학교 학술연구조성비 보조에 의한 것임 (This work was supported by the 2003 INJE University Research Grant.).

참고문헌

1. 김정태, 고속철도소음의 전파특성, 춘계학술대회 논문집, 한국소음진동공학회지, pp. 73~79, 1996.
2. 나희승, 김영국, 최강윤, 심상덕, 김준엽, 고속철도 소음시험평가, 춘계학술대회논문집, 대한기계학회지, pp. 181~186, 2001.
3. 박영미, 21C소음진동 환경정책방향 연구, 환경정책연구원, pp. 143~145, 2001.
4. 구동희, 김재철, 문경호, 철도차량의 소음방사 특성에 관한 연구, 춘계학술대회논문집, 대한기계학회지, pp. 204~209, 2001.
5. E. Van Haaren and P. H. Van Tol, Validation of ray acoustics applied for the modelling of noise barriers, Journal of Sound and Vibration, 231(3), 681~688, 2000.
6. Raynoise Rev.3.0 Users Manual. LMS International Leuven.