

Raynoise를 이용한 철도소음의 예측에 관한 연구

김태구 · 박민수 · 박철우 · 김광일

인제대학교 보건안전공학과

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

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 편리함속에 소음과 진동의 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 철도에 의한 소음의 문제점을 예측식과 모델링을 통해 비교·분석하고자 하는 것이 연구의 목적이다.

1.2 연구의 내용 및 범위

철도 소음을 대상으로 “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 비교·분석하여 철도소음에 관한 내용을 정리하고 이에 대한 대책을 제시하였으며 수행한 연구범위는 다음과 같다.

- 철도소음의 소음체계 분석
- 예측식을 통한 철도소음의 분석
- Raynoise 모델링을 통한 철도소음의 분석
- 예측식과 Raynoise 모델링의 비교·분석

2. 이론^{3),4)}

2.1 철도 예측소음식

열차 통과시 최고소음도의 평균치와 지속시간을 고려한 식은 다음과 같다.

$$Leq = \overline{Lmax} + 10 \log\left(\frac{n \cdot T_e}{T}\right) - 15 \log \gamma_a \dots\dots\dots(1)$$

식(1)의 L_{eq} , $\overline{L_{max}}$, n , T_e , T , γ_a , V ,는 각각 등가소음도(dB(A)), 개별열차 통과

시의 평균 최고소음도의 대수 평균치(dB(A)), 관련시간대의 왕복 열차 통과대수 (대), 열차 1대당 최고소음도 지속시간(sec), 관련시간대의 시간(3600sec), 기준거리에 대한 예측거리의 비, 열차 통과 속도(km/h)이다. 일반적으로 개별열차 통과시의 평균 최고소음도의 대수평균치는 각 차종별 최고소음도의 예측식을 이용하고 적용한다.

새마을호 : $L_{max} = 21.76 \log V + 47.74 \text{ (dB(A))} \dots\dots\dots(2)$

무궁화 및 통일호: $L_{max} = 19.71 \log V + 62.04 \text{ (dB(A))} \dots\dots\dots(3)$

화물차호 : $L_{max} = 19.12 \log V + 61.84 \text{ (dB(A))} \dots\dots\dots(4)$

위의 식을 이용하여 $\overline{L_{max}}$ 을 구하면 다음과 같은 식을 이용한다.

$$\overline{L_{max}} = 10 \times \log \left[\frac{1}{n} \left(10^{\frac{L_{max1}}{10}} + 10^{\frac{L_{max2}}{10}} + \dots\dots\dots + 10^{\frac{L_{max24}}{10}} \right) \right] \dots\dots\dots(5)$$

T_e 는 열차 1대당 최고소음도 지속시간은 열차를 10량으로 기준으로 평가대상속도를 기준으로 적용하여 산정한다.

$$T_e = \frac{\text{철도의충연장(m)}}{\text{철도의운행속도(m/sec)}} \dots\dots\dots(6)$$

γ_a 는 소음의 예측시 소음원과 주거시설의 최단거리인 3m부터 40m까지의 거리내에

있는 주거시설을 대상으로 하여 예측하였다.

2.2 방음벽을 고려한 소음예측

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

$$\Delta Li = -10 \log \left(10^{\frac{-\Delta Ld}{10}} + 10^{\frac{-\Delta Lt}{10}} \right) \dots \dots \dots (7)$$

여기서, ΔLi 는 총 저감 소음도, ΔLd 는 회절 감쇠치, ΔLt 는 투과손실치이다.

Fig-1의 계산 방식은 다음과 같다

$$\delta = A + B - d, \quad N = \frac{2\delta}{\lambda} = \delta \times \frac{f}{170} \dots \dots \dots (8)$$

여기서, δ : 방음벽의 유무에 따른 전파 경로차, N: 경로차 δ 를 반파장으로 나눈 값을

파라미터로 할 때 Fresnel수, f: 대표 주파수, λ : 소리파장

Fresnel수(N)의 범위에 따른 회절감쇠치(ΔLd)

$\Delta Ld = 7.5 + 0.6\log N$ (dB)	$0 < N \leq 0.1$, $\Delta Ld = 10 + 3\log N$ (dB)	$0.1 < N \leq 0.8$
$\Delta Ld = 11 + 7\log N$ (dB)	$0.8 < N \leq 30$, $\Delta Ld = 12 + 6\log N$ (dB)	$30 < N \leq 60$
$\Delta Ld = 22$ (dB)	$60 < N$	

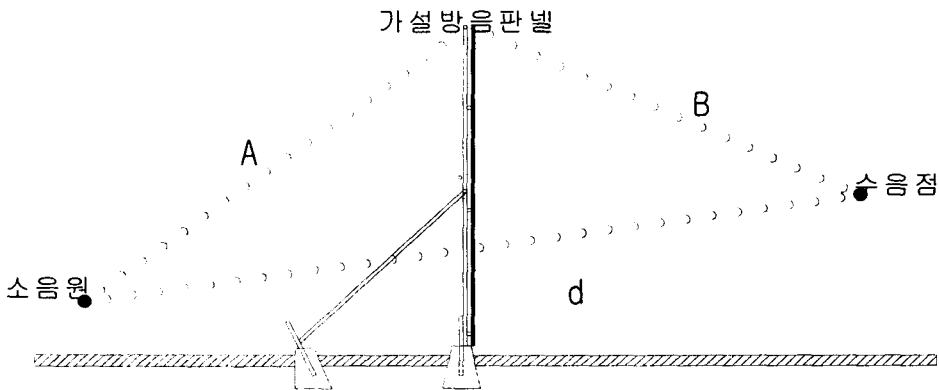


Fig.1. 방음벽에 의한 소음예측

2.3 Raynoise 모델링

벨기에의 LMS사에서 제작한 순수 음향해석 소프트웨어로 RAYNOISE는 극장, 야외 음악당 등과 같은 건축물이나 도로변에 위치한 주거지역, 공항 근처의 소음측정, 공장 및 기계소음에 의한 소음레벨 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 반사법칙(reflection law)를 추구하고 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 Conical 과 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. 이 프로그램은 대부분의 CAD 프로그램과의 연계를 통하여 편리하게 모델 파일을 불러 들일 수 있으며, 잔향시간(Reverberation Time), 명료도(Clarity), 기하경로(Ray Path) 등의 결과를 산출하고 동시에 다양한 형태로 출력이 가능하다.

3. 소음의 측정

3.1 측정지역

본 연구에서 철도가 운행중에 있는 공사예정구간인 부암1동 철로 주변을 실험 지역으로 선정하였으며, 선정이유는 다음과 같다.

- 부암1동은 현재 철도가 운행 중에 있어 지형 및 지질조건 등의 의한 소음 및 진동의 특성 파악에 용이함
- 복선화 사업이 진행중에 있어 사업의 완료후, 예상결과에 대한 재확인 가능함.
- 실험지역내 일부구간이 방음벽이 설치되어 있으나, 나머지 구간은 방음벽이 설치되어 있지 않아 방음벽의 성능 확인에 용이함

3.2 측정기구

소음기(SYMPONY-82, BLASTMATE II)를 이용하여 측정하였다. 2003년 7월 7일부터 2003년 8월 2일까지 총 4회에 걸쳐 측정하였으며, 이러한 장비를 이용하여 소음측정을 통하여 주파수 분석과 순간 peak치를 구할수 있었고 이를 이용하여 Raynoise 모델링을 통하여 소음을 분석·평가하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 암소음 측정결과

<표.1> 대상지역내 암소음 현황

실험지역내 조사대상지점인 NV-1~NV-6의 암소음 측정하였다. 측정결과, 암소음은

지 점	NV-1		NV-2		NV-3		NV-4		NV-5		NV-6	
	주간	야간	주간	야간	주간	야간	주간	야간	주간	야간	주간	야간
양소음 (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

주간에는 50.3~61.6dB(A)로 조사되었고 야간에는 47.1~57.4dB(A)로 조사되어 NV-6지점을 제외하고는 양호한 환경을 조성하고 있는 것으로 조사되었다. 이는 NV-6지점의 경우, 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.

<표.2> 예측식에 의한 이격거리별 소음 예측(단 위 : Leq dB(A))

소음원으로부터의 이격거리(m)	1	3	5	10	15	20	25	30	35	40	45
예측소음도	89.7	82.5	79.2	74.7	72.0	70.1	68.7	67.5	66.5	65.6	64.9

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

4.3 방음벽을 고려한 소음예측결과

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

<표.3> 철도 소음의 예측결과(단 위 : Leq(dB(A)))

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

예측결과, 단독주택의 경우는 “교통 소음·진동의 한도”(주간 : 70dB(A), 야간 : 60dB(A))를 주·야간 모두 초과하는 것으로 조사되었으며, 연립주택의 경우 주간은 만

족하나 야간은 초과하는 것으로 조사되어 추가적인 대책이 필요할 것으로 예상된다.

4.4 Raynoise 모델링

본 연구에서는 방음벽을 모두 설치한다고 판단하고 방음벽이 있는 상황에서의 Raynoise를 이용한 모델링을 실시하였다. 철도의 길이를 10량으로 판단하여 대상지역 내 열차의 위치에 따른 예측을 시행하였다. 예측결과, 철도의 운행시 전 구간에 걸쳐 철도와 인접한 거주시설에 있어 소음도가 70dB(A)를 초과하는 것으로 분석되었다. 또한, 분석시 기본주파수별 소음도를 현 대상지역에서 철도운행시 측정된 결과를 바탕으로 하여 공사완료 후 소음도가 증가할 것으로 예상된다

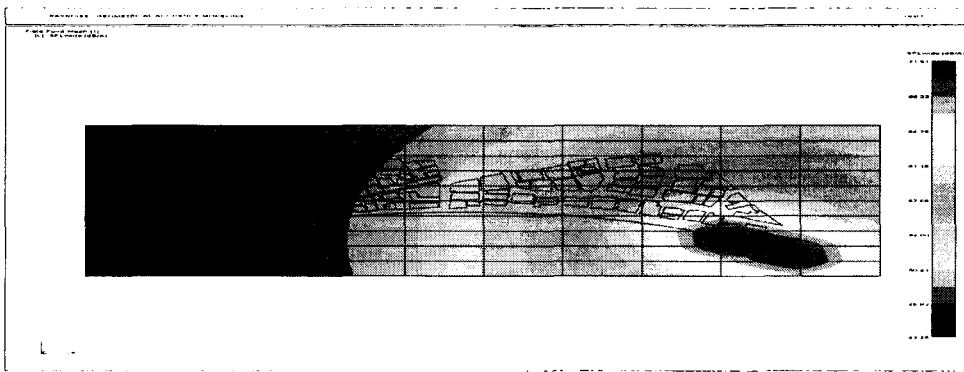


Fig.2.철도의 진입부분

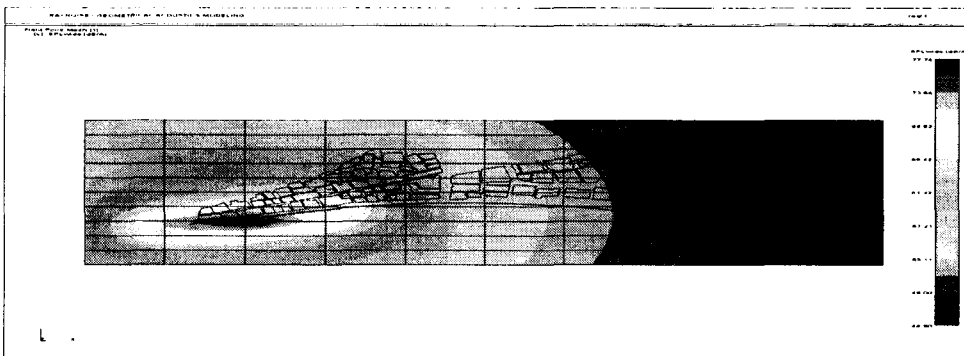


Fig.3.철도의 진출부분

5. 결 론

주거시설내 진입되는 철도소음에 관하여 국립환경연구원에서 제시한 예측식과 음향소프트웨어인 레이노이즈 모델링을 수행한 결과 다음과 같다.

- 1) 소음원과 수음점 사이에 장애물이 없는 지역에서의 예측은 예측식 및 레이노이즈 모델링의 사용이 가능한 것으로 나타났다.
- 2) 철도 소음이 일정한 지역에 미치는 전반적인 영향권을 알기에는 예측식의 경우 장애물로 인하여 부족한 것으로 나타났다. 단, 철도의 진입방향에 따른 소음원의 방향성이 예측식의 경우 누락되어 있어 철도의 진행방향에 따른 소음의 변화를 알수 없다.
- 3) 철도의 소음예측시 예측식을 이용하여 가까운 지역의 법적 규제 충족 여부와 함께 레이노이즈 모델링을 이용한 전반적인 영향권과 그 영향권에 따른 저감시설의 설치를 함께 고려하여야 함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 김정대:고속철도소음의 전파특성,춘계학술대회논문집,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,김제철,문경호:철도차량의 소음방사 특성에 관한 연구, 춘계학술대회논문집, 대한기계학회지, pp.204~209,2001