

기존선에서 고속전철 운행시 소음평가

Noise Effects of High Speed Train on Coventional Track

나 희 승*

Na, Hee-Seung

Abstract

As the delay of the Kyungbu High Speed Railroad, HST should use conventional line through Daegoo to Pusan until the new railroad build. High speed railroad noise is one of the main causes of environmental impact. Whenever HST on conventional railroad line is planned or a housing project near an existing railroad is proposed, an estimate of the relevant noise levels is usually required. For this, it is necessary to quantify those parameters that affect the railroad noise. This paper deals with an estimation of high speed railroad noise on conventional line.

1. 서론

서울-부산간 경부고속철도건설은 1992년 3월에 건설주체인 한국고속철도공단이 창립되면서 본격적으로 업무에 착수하여, 건설공사와 아울러 재반업무가 현재 진행중이다. 1단계 사업으로 서울-대구 구간은 신선을 대구-부산구간은 기존 경부선 철도를 전철화하여 우선 영업운전을 실시하고, 향후 2단계 사업으로 대구-부산구간도 신선을 건설할 계획이다.

기존선구간에서 운행중인 새마을호급 차량의 최고속도는 140Km/h 인데 비해 기존선로에서 고속차량의 운행속도는 약 10% 속도향상이 예상된다. 즉, 고속차량이 현재 선로조건에 따라 대략 최고속도 150Km/h 이상으로 운행한다고 가정하는 경우에 환경 영향 예측 및 평가를 수행하여 환경규제를 만족하도록 저감방안을 제시해야 한다. 따라서 본 논문에서는 고속철도의 속도에 따른 소음도에 대해 다양한 측정자료를 비교, 검토하고, 이를 기초로 선로변의 소음도를 예측, 분석한다. 또한 소음피해를 방지하기 위한 방음시설물의 저감효과를 평가한다.

2. 고속철도의 소음도평가

열차주행시 최고소음도 L_{max} 는 마이크로 폰과 같은 계측기를 이용하여 측정하며, 측정데이터를 이용하여 예측식을 모델링할 수 있다. TGV의 속도 및 이격거리에 따른 L_{max} 소음예측식(GEC Alstom 사 제공, 개활지조건)은 다음과 같다.

* 한국철도기술연구원 차량연구본부, 정회원

$$L_{max} = 80 + 28 \log \frac{V}{100} - 14 \log \frac{d}{25} \quad [dB(A)] \quad (1)$$

여기서, L_{max} 는 최고소음도, V 는 열차속도, d 는 노선중심에서 수음점까지의 거리이다.

등가소음도 L_{eq} 는 실측 및 예측된 최고소음도 L_{max} 로 계산할 수 있다. 철도소음에 사용되는 등가소음도 L_{eq} 의 계산식은 다음과 같다. 등가소음도 L_{eq} 는 최고소음도 L_{max} , 소음노출시간, 소음노출의 빈번도를 모두 고려한 종합적인 소음평가도이다.

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{t}{T} 10^{\frac{L_{max}}{10}} \right) + 10 \log(n) \quad (2)$$

여기서, L_{eq} 는 등가소음도, t 는 열차통과시 소음노출시간, T 는 자유음장에서 등가소음도 계산을 위해 주어진 시간, n 은 주어진 시간 T 에서의 열차 통과횟수이다.

다음은 경부고속철도 시험선구간에서 소음시험측정을 수행하였다. GEC Alstom사에서 제공한 식(1)과 비교하기 위하여, 회귀모형을 $Y = \beta_0 + \beta_1 \log X_1 + \beta_2 \log X_2 + \epsilon$ 로 설정하고 오차들의 제곱의 합을 최소로 하여 회귀계수들의 값을 구하는 최소제곱법을 사용하였다. 국내 고속철도 시험선구간 방음벽이 설치되지 않은 평지에서 측정한 결과를 이용해서 속도 및 이격거리에 따른 소음 예측식을 도출한 결과는 다음과 같다.

$$L_{max} = 71.6 + 41 \log \frac{V}{100} - 21.5 \log \frac{d}{25} \quad (dBA) \quad (3)$$

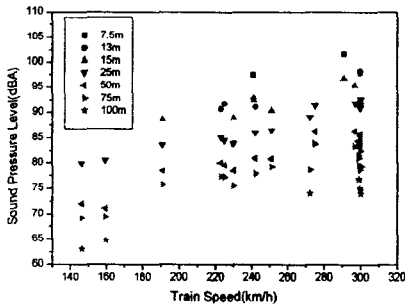


그림 1. 평지구간에서의 전두부 L_{max}

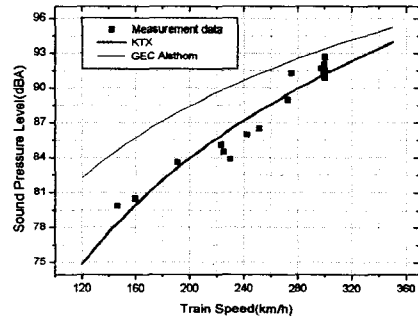


그림 2. 이격거리 25m일때의 L-V선도

계산 결과 실측치에 의한 예측식 (3)이 예측식 (1)보다 낮은 소음도를 보이고 있다. 이는 경부고

속철도 시험선의 궤도 및 차량이 노후되어 있지 않고, 승객이 탑승하지 않아 무게가 다소 가벼운 데서 기인하는 것으로 추정된다.

3. 소음영향평가를 위한 소음해석

음향학에서 음장을 해석하는 방법은 파동음향학, 기하음향학, 통계음향학으로 나눌 수 있다. 환경소음과 같이 음파의 파장이 대상공간에 비해 상대적으로 작은 경우, 소리의 파동성 보다는 기하학적인 고찰에 의해서 해석하는 것이 보다 효율적이다. 소리를 음선으로 고려하는 경우 음선은 일정 위상면에 대해서 수직인 선으로 정의되며, 음속은 공간의 함수이며 소리를 파장으로 고려하는 것보다는 해석이 쉽다. 그러나 이는 파에 대한 엄밀한 표현이 아니고 근사적으로 유용하다. 다음은 파동방정식으로 $c=c(x,y,z)$ 이다.

$$\nabla^2 p = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (4)$$

균일 매질 (homogeneous fluid)이나 비균일 매질 (inhomogeneous fluid)을 지나는 한정된 구경의 빔에서는 음파의 크기가 위치에 따라 달라지고 일정위상면도 공간의 복잡한 함수가 되므로 식(4)의 해를 식(5)로 가정하면 식(4)은 식(6)과 같다.

$$p(x, y, z, t) = A(x, y, z) e^{j\omega[t - \Gamma(x, y, z)/c_0]} \quad (5)$$

$$-\frac{\nabla^2 A}{A} - \left(\frac{\omega}{c_0}\right)^2 \nabla \Gamma \cdot \nabla \Gamma + \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 - j\frac{\omega}{c_0} \left(2\frac{\nabla A}{A} \cdot \nabla \Gamma + \nabla^2 \Gamma\right) = 0 \quad (6)$$

여기서 A 는 압력의 단위, Γ 는 길이 단위, 그리고 c_0 는 위상속도에 대한 상수값이다. 만약 $|A^{-1} \nabla^2 A| \ll \left(\frac{\omega}{c}\right)^2$, $|\nabla^2 \Gamma| \ll \frac{\omega}{c}$, 그리고 $|A^{-1} \nabla A \cdot \nabla \Gamma| \ll \frac{\omega}{c}$ 가 되도록 A 와 $\nabla \Gamma$ 가 천천히 변한다면 식(6)은 식(7)과 같이 될 수 있다.

$$\nabla \Gamma \cdot \nabla \Gamma = n^2 \quad (7)$$

여기서, $n(x, y, z) = \frac{c_0}{c(x, y, z)}$ 이다. 식(4)는 Eikonal 방정식으로 (a) 음파의 진폭이 파장에 비해 거리당 변화가 미소하고 (b) 음속도 파장에 비해 거리당 변화가 미소할 때 만족한다. 유체를 지나가는 음향빔의 경우 첫 번째 조건으로부터 Eikonal 방정식은 음향 빔의 중심부에서 잘 적용될 수 있지만, 진폭이 급격히 감소하는 빔의 가장자리에서는 음의 회절(diffraction)현상으로 인하여 오류

가 발생한다. 이를 보완하기 위하여 Kurze-Anderson은 다음식을 제안하였다.

$$\Delta L_B \approx 5 + 20 \log \frac{\sqrt{2\pi N}}{\tan \sqrt{2\pi N}} \text{ (dB)} \quad (8)$$

여기서 ΔL_B = 스크린 방해로 인한 저감량, N = Frenel 수 = $2\left(\frac{a+b-d}{\lambda}\right)$, a = 회절 끝단 (diffraction edge)에서 음원까지의 거리, b = 회절 끝단(diffraction edge)에서 수음자까지의 거리, d = 음원에서 수음자까지의 직선거리, λ = 파장

두 번째 Eikonal식의 조건으로부터 음속은 공간을 따라 천천히 변해야하고 음파의 공간적 확산은 지나친 국부적 변화를 가져오지 않아야 한다. 이는 짧은 파장을 가지는 고주파에 한정된다. 고주파의 파장에 대한 정보를 보완하기 위하여 (Raynoise에서는) coherent source를 식(9)과 같이 정의하였으며, 이를 위상레이추적기법(Phase Ray Tracing)이라 한다.

$$P_n = \sum_{i=0}^n \sum_{k=0}^{N_i} A_{ik} e^{j\psi_{ik}} e^{-jk d_{ik}} \quad (9)$$

여기서 n = 반사치수, N_i = i 번째 차수의 이미지 음원의 수, P_n = 압력, d_{ik} = 수음자와 이미지 음원 ik 사이의 거리, ψ_{ik} = 벽면 반사에서의 위상 지연과 음원의 초기위상의 합, k = 파수, A_{ik} = 반사 ik 의 크기

시뮬레이션은 경부고속철도 선로 도면을 이용하였다. 그림 3은 고속철도 및 재래선 철도차량으로 부터의 음압 분포를 개활지에서 3차원 시뮬레이션한 결과이다. 방음벽이 없는 개활지에서 철도가 한쪽만 운행하거나 교행하는 경우에 대해 해석하였다.

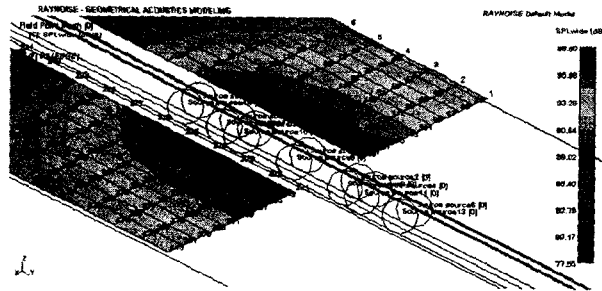


그림 3. 고속철도면에서의 소음예측

소음영향 평가를 위해 시뮬레이션 결과로부터 최대소음도 L_{max} 를 구하고, 이를 이용하여 등가 소음도 L_{eq} 를 계산하였다. 등가소음도 L_{eq} 를 계산하기 위하여 표 1의 운행 스케줄을 사용하였으

며, 각 운행 스케줄에 따라 등가소음도 Leq를 산정 하였다. 표 2는 고속철도와 재래선의 최대소음도 Lmax이며, 표 3은 고속철도와 재래선의 1, 2단계에서 각각의 등가소음도 Leq이다. 표 4는 고속철도와 재래선에 의한 주변지역의 총 등가 소음도이다.

표 1. 운행 스케줄

구간	구분	선로 용량	일반여객열차				화물열차		일반열차 합계	여유 용량	고속열차운 행가능횟수
			새	무	통	비	소화물	화물			
동대구 ~부산	현행	135	72				27		99	36	-
			24	44	5	3	3	24			
			서울출발	연계열차	소화물	화물					
	전철화 개량시(1단계)	158	41				48		89	-	69
			17	24	3	45					
			서울출발	연계열차	소화물	화물					
	ATP도 입시 (2단계)	177	41				54		95	-	82
			17	24	3	51					
			서울출발	연계열차	소화물	화물					

표 2 최대 소음도(Lmax)

	10m			25m			50m		
	고속 150	고속 300	재래선	고속 150	고속 300	재래선	고속 150	고속 300	재래선
단행시	85.3	94.3	89.6	83.3	92.3	87.6	79.1	88.1	83.4
교행시	87.2	96.2	91.5	85.7	94.7	89.9	81.8	90.8	86.1

표 3 등가 소음도(Leq)

	10m			25m			50m		
	고속 150	고속 300	재래선	고속 150	고속 300	재래선	고속 150	고속 300	재래선
동대구~부산 (1단계)	64.81	-	71.18	62.81	-	69.18	58.61	-	64.98
동대구~부산 (2단계)	65.56	-	71.46	63.56	-	69.46	59.36	-	65.26

표 4의 총 등가 소음도를 검토해 보면 이격거리 10m 와 25m에서 재래선 철도소음기준을 만족하지 않음을 알 수 있고, 50m까지는 고속철도소음기준을 만족하지 않고 있다. 따라서 1단계, 2단계 사업에서 다양한 소음 저감방안을 강구해야한다.

표 4 주변지역의 총 등가 소음도(Leq)

	10m	25m	50m
동대구~부산 (1단계)	72.08	70.08	65.88
동대구~부산 (2단계)	72.45	70.45	66.25

그림 4는 향후 적용하여 할 방음벽의 소음저감 효과를 나타내며, 그림 5는 도심통과시 고층건물에 대한 방음벽의 높이별 성능평가를 보여 주고 있다. 향후 보다 다양한 해석과 분석을 수행할 예정이다.

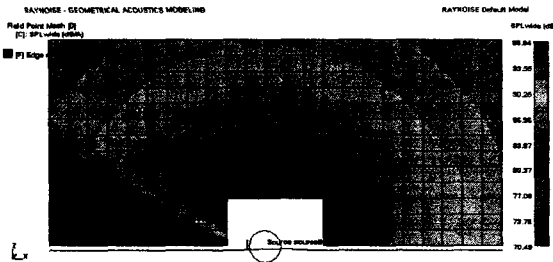


그림 4. 고속철도변에 방음벽 설치 후 소음저감예측

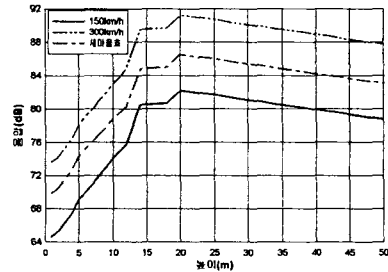


그림 5. 높이별 방음벽의 성능평가

4. 결론

본 논문은 고속차량이 현재 선로조건에 따라 대략 최고속도 150Km/h 이상으로 운행한다고 가정하는 경우에 환경 영향 예측 및 평가를 수행하였다. 먼저 고속철도의 속도에 따른 소음도에 대해 다양한 측정자료를 비교, 검토하였고, 이를 기초로 선로변의 소음도를 예측, 분석하였다. 또한 소음피해를 방지하기 위한 방음시설물의 저감효과를 간단히 시뮬레이션하였다. 방음시설물의 저감 효과는 향후 보다 다양한 해석과 분석을 수행할 예정이다.

참고문헌

1. Hugh J. Saurenman, James T. Nelson, George P. Wilson, Handbook of Urban Rail Noise and Vibration Control, Wilson, Ihrig & Associates, Inc., 1982.
2. User's Manual, LMS International, Raynoise Rev. 3.0, 1998.
3. Kinsler, Frey, Coppens, Sanders., Fundamentals of Acoustics, Wiley International, Inc. 1980.
4. 소음진동편람, 한국소음진동공학회, 1995
5. 나 회승, J.P.Clairbois, " 고속열차(TGV) 주행시 연변에서의 소음예측 및 방음시설 설계," 한국소음진동공학회, 1999.