

고속철도소음 특성 Characteristics of High Speed Railway Noise

강대준*, 이덕길**, 장성기**
Daejoon Kang, D.G.Lee, S.K.JANG

Key Words : High Speed Railway Noise, Prediction, Pantagraph, Environmental Impact

ABSTRACT

Railway noise is one of the main causes of environmental impact. Whenever a new railway line is planned or a housing project near an existing railway is proposed, an estimate of the relevant levels is usually required. For this, it is necessary to quantify those parameters that affect the railway noise. Therefore we investigated the noise and vibration level which 107 high speed trains generated passing through the block of test railway track between Chunan and Chungwon.

This paper presents the status and characteristics of the high speed railway noise and an accurate prediction of the high speed railway noise.

1. 서 론

산업· 경제의 급속한 발전과 생활수준의 향상에 따른 유동인구 및 물동량의 증가로 교통량이 폭증하여 주요 간선도로와 고속도로가 포화상태에 이르러 교통체증이라는 사회문제와 경제적 손실이 가중되고 있다. 때문에 고속도로의 등장으로 한때 국민의 관심을 벗어났던 대량수송 수단인 철도가 이러한 문제를 해결할 수 있는 유일한 대안으로 다시 관심을 불러모았으며, 그 일환으로 경전철, 지하철, 고속전철, 기존 재래식 철도의 전철화 건설사업이 활발히 진행되고 있다. 그러나 철도는 대량수송 및 정시제 운행이라는 중요한 역할을 하면서도 다른 한편으로는 철도변에 거주하고 있는 사람들에게 상당한 소음공해를 방사하여 불편을 끼치고 있다. 경부고속철도 운행계획에 의하면 전철의 최고 운행속력은 300 km/h, 서울~부산간 평균속력은 240 km/h 이고 전철 운행간격은 개통초기에 10~12분 예정이며 최대 운행 간격은 3분으로 되어 있어 이와 같은 고속주행과 빈번한 운행으로 높은 소음이 발생하리라 예상된다. 2004년에 개통하게 될 경부고속철도의 순탄한 행을 도모하고 소음민원 발생을 줄이기 위한 고속철도소음 규제기준 설정을 위해서 고속철도 소음· 진동 특

성에 관한 폭넓은 연구가 요구된다.

이러한 필요성에 의해 천안~청원 시험선 구간에 운행되고 있는 한국고속전철 KTX-2, 3, 5를 대상으로 측정환경이 양호한 지역에서 열차 통과 시 최고소음도(L_{max}), 통과등가소음도($L_{eq,passby}$), 최고진동레벨(L_{max}), 통과등가진동레벨($L_{eq,passby}$), L_{10} 진동레벨을 거리별로 조사하여 고속철도 소음· 진동기준 설정과 방지대책 강구시에 활용토록 하고 열차 통과 속력으로부터 최고소음도를 추정하여 주변지역의 등가소음도를 산정하는 최적의 예측식을 도출하여 고속철도소음 영향평가에 활용할 수 있도록 하였다.

2. 측정방법

소음측정기기(RION NL-14 : 4대, RION NL-05 : 4대, B&K 2231 : 1대, 01 dB Harmonie : 1set)를 이용하여 ISO 3095¹⁾에 의해 반자유 음장이 만족되는 환경에서 선로 중앙으로부터 각각 12.5, 25, 50 m 떨어지고, 지면으로부터 1.2~1.5 m의 높이에서 동시에 고속전철소음을 측정하고 녹음기(RION SA-27, 01 dB Harmonie)를 활용하여 고속전철소음의 주파수특성을 분석하였다. 수직방향의 소음도는 선로중앙으로부터 17 m 떨어진 거리에서 선로위로 1, 3, 5, 7 m 의 높이에서 측정하였다. 고속전철의 속력은 160 km/h 이하의 저속의 경우 속도계(speed gun)로 측정하고 그 이상의 고속의 경우 통과시간을 측정하여 파악하였다.

*정회원, 환경부 국립환경연구원

E-mail: dj kang@me.go.kr

Tel: 032-560-7385, Fax: 032-560-7387

**환경부 국립환경연구원

3. 결과 및 고찰

3.1 고속철도소음 현황

(1) 평지구간에서의 소음도

고속열차가 주행할 때 주행선로중앙으로부터 12.5, 25, 50 m 각각 떨어진 거리에서 측정된 최고소음도(L_{max})와 통과시간동안의 등가소음도($L_{eq,passby}$)는 Table 1과 같다.

고속열차가 290~300 km/h 의 속도로 주행할 때 선로 중앙으로부터 12.5 m 떨어진 거리에서 통과 등가소음도($L_{eq,passby}$)는 94.9 dBA, 최고 소음도(L_{max})는 98.7 dBA를 나타내고, 25 m 떨어진 거리에서는 $L_{eq,passby}$ 는 91.9 dBA, L_{max} 는 94.9 dBA를 나타내어 거리가 2배로 멀어짐에 따라 $L_{eq,passby}$ 는 3.0 dB, L_{max} 는 3.8 dB 감소되는 것을 알 수 있다.

(2) 고가 (교량)구간에서의 소음도

고속열차가 높이 29.5 m인 고가구간을 주행할 때 선로중앙으로부터 12.5, 25, 50 m 각각 떨어진 거리에서 측정된 L_{max} 및 $L_{eq,passby}$ 는 Table 2와 같다.

고속열차가 높이 29.5 m인 고가구간을 290 km/h의 속도로 주행할 때 선로중앙으로부터 25 m 떨어진 거리에서 $L_{eq,passby}$ 는 77.4 dBA, L_{max} 는 82.2 dBA이고, 50 m 떨어진 거리에서는 $L_{eq,passby}$ 는 82.3 dBA, L_{max} 는 89.8 dBA로 나타나 거리가 2배로 멀어짐에 따라 $L_{eq,passby}$ 는 4.9 dB, L_{max} 는 7.6 dB 증가하는 현상을 보여주고 있다. 이러한 소음도 증가 현상은 모의 시험결과 80 m 거리에서 최대치를 보이고 그 이후부터는 소음도가 감소하는 현상을 보여주고 있다.

(3) 거리감쇠 특성²⁾

고속열차가 평지구간을 주행할 때 선로중앙으로부터 12.5 m 떨어진 거리에서 25 m, 25 m 에서 50 m 거리로 거리가 2배 멀어짐에 따라 최고소음도 (L_{max})는 평균적으로 각각 4.6, 5.2 dB 저감되고, 통과 등가소음도 ($L_{eq,passby}$)의 경우 각각 4.0, 4.7 dB 저감되고 있는 것을 알 수 있다. 한편 고속열차가 29.5 m 높이의 고가 구간을 주행할 때 선로중앙에 해당되는 지면으로부터 12.5 m 떨어진 거리에서 25 m, 25 m 거리에서 50 m 거리로 거리가 2배 멀어짐에 따라 L_{max} 는 평균적으로 각각 5.3, 7.9 dB 증가하고 $L_{eq,passby}$ 는 각각 2.2, 6.1

dB 증가하고 있다(Table 3).

(4) 수직거리별 소음도

고속전철이 평지구간을 속도 270~300 km/h로 주행할 때 선로중앙으로부터 17 m 떨어진 거리에서 선로 위 1, 3, 5, 7 m의 고도별 소음도 분포 양상을 나타내면 Table 4와 같으며, 집전계 (pantagraph)가 위치한 5 m 의 고도에서 가장 높은 소음도를 발생하고 있다는 것을 알 수 있다.

Table 4. Noise level of high speed train by altitude

Altitude (m)	$L_{eq,passby}$ dBA		L_{max} dBA		No. of Sample
	Range	Mean	Range	Mean	
1	85.0~93.5	91.8	87.5~96.7	95.0	11
3	85.9~94.0	92.3	87.7~98.6	95.2	
5	87.9~94.7	93.4	90.2~97.2	95.5	
7	87.4~94.3	92.9	88.9~97.0	95.0	

3.2 전동차와 객차의 소음도

고속열차의 전동차의 추진체 소음과 객차의 전동 소음을 선로 중앙으로부터 25 m 떨어진 거리에서 측정된 것을 비교해 보면(Table 5), 전동차의 구동소음이 객차의 전동소음보다 평균적으로 속도에 따라 4.7~7.6 dB 높은 것을 알 수 있다.

3.3 고속철도소음의 시간변화 특성

Fig. 4는 고속전철 KTX-3이 300 km/h 의 속도로 주행할 때 주행선로로부터 12.5, 25, 50 m 떨어진 거리에서 동시에 측정된 시간변화 특성을 보인 것이다. 동력차 2대(전후), 동력객차 2대(전후), 객차 12량으로 편성된 KTX-3은 통과시 3.8초 동안 소음을 발생하는데 앞과 뒤의 피크치는 동력차의 추진체에서 발생한 것이고中间的 것은 객차의 차륜과 선로의 마찰에 의한 전동음이다.

Fig. 5는 동일한 고속전철 KTX-3이 300 km/h 의 속도로 주행할 때 12.5, 25, 50 m 떨어진 거리에서의 각 중심주파수 대역별 소음도와 over-all 소음도를 나타낸 것이다.

이 그림에 의하면 저주파 대역 (315 Hz)의 소음은 거리가 멀어져도 거리감쇠가 다른 주파수 대역에 비해 현저히 작다는 것을 보여주고 있다.

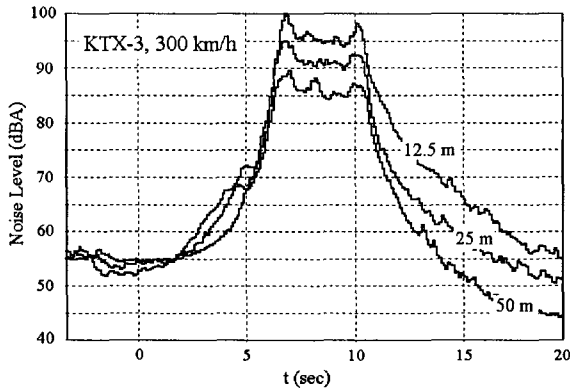


Figure 4. Time history of noise level of high speed train traveling at 300 km/h

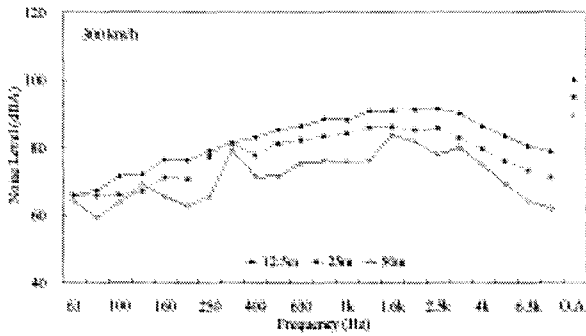


Figure 5. Pass-by noise spectra of high speed train running at 300 km/h

3.4 방음벽 차음효과

길이가 388 m 인 고속전철이 300 km/h의 속도로 방음벽 길이가 200 m인 구간을 시간당 20.5대가 주행할 때 주행선로 중앙으로부터 10, 25, 50 m 떨어진 거리에서 방음벽 높이별 저감된 최고소음도 (L_{max}) 및 등가소음도 ($L_{eq,1h}$)를 나타내면 Table 6과 같다.

3.5 고속전철 소음예측^{3~5)}

1980년대 이후 고속철도(>250km/h) 출현으로 미국, 프랑스 등에서 고속철도 소음 예측식을 개발하여 왔는데 미국의 음향학자 C. E. Hanson은 1990년 다음과 같은 고속철도 소음 예측식을 제안하였다.

$$L_{eq} = L_{max} + 10 \log[2.56(2n)/T] \text{ -----(1)}$$

또 다른 미국의 음향학자 H. J. Saurenman 등은 1992년에 다음과 같은 고속철도 소음 예측식

을 제안하였다.

$$L_{eq} = L_{max} + 10 \log[n(1.5d + l)/v] - 30 \text{ ---(2)}$$

한편 프랑스 국립건설연구소 C.E.T.U.R.은 1980년에 다음과 같은 예측식을 제안하였다.

$$L_{eq} = L_{max} + 10 \log[3.6l/v + 6d/100)n/T] \text{ -----(3)}$$

$$L_{max} = L_0 - 12 \log(d/d_0)$$

프랑스 TGV제작사인 GEC Alsthom사에서 다음과 같은 최고소음도 예측식을 제안하였다.

$$L_{max} = 80 + 28 \log v/100 - 14 \log d/25 \text{ ---(4)}$$

여기서,

L_{max} : 통과열차의 최고 소음도, dBA

L_0 : 주행선로 중앙으로부터 d_0 거리에서의 기준 소음도, dBA

n : T시간 동안의 열차 통과대수, 대

T : 관심대상 시간, sec

d : 선로 중앙으로부터의 거리, m

l : 평균 열차 길이, m

v : 열차 통과 속도, km/h

열차의 길이가 400 m 인 TGV가 300 km/h의 속도로 1시간동안 1대 운행될 때 실측치의 소음도와 위에 열거한 예측식의 소음도를 비교해 보면 Table 7과 같다.

Table 7. Comparison of measured with predicted noise level of TGV

Distance(m)	Measured, dBA		Predicted $L_{eq,1h}$ dBA		
	L_{max}	$L_{eq,1h}$	Eq(1)	Eq(2)	Eq(3)
25	92.5	63.9	64.0	64.1	64.9
50	88.8	60.4	60.3	60.8	62.2
75	86.5	58.3	58.0	58.8	60.6
100	84.6	56.7	56.1	57.2	59.4
150	81.7	54.2	53.2	54.9	57.5
200	79.3	52.4	50.8	53.0	56.0
250	77.3	50.9	48.8	51.4	54.7

주행선로 중앙으로 75 m 거리까지는 Hanson이 제안한 (1)식의 예측치가 실측치에 가장 가깝고 100 m 거리부터는 Saurenman의 (2)식의 예측치가 실측치에 가장 근접하고 있다.

한편 GEC Alsthom사가 개발한 고속전철의 최고소음도 예측식 (4)에 의한 예측 최고소음도

(L_{max})와 Table 7의 실측치를 비교하고, TGV가 시간당 20.5대 운행될 때의 등가소음도($L_{eq,1h}$)의 예측치를 산정하면 다음 Table 8과 같다. 여기서 시간당 20.5대는 경부고속철도가 실제로 운행될 때의 통행량이다.

4. 결 론

- 고속전철이 290~300 km/h의 속도로 주행할 때 선로중앙으로부터 12.5 m 떨어진 거리에서 통과 등가소음도($L_{eq,passby}$)는 94.9 dBA, 최고 소음도(L_{max})는 98.7 dBA이고, 250~290 km/h의 속도로 주행할 경우 $L_{eq,passby}$ 는 90.8 dBA, L_{max} 는 95.4 dBA이며, 200~250 km/h의 속도로 주행할 경우 $L_{eq,passby}$ 는 91.6 dBA, L_{max} 는 96.2 dBA를 나타내고 있다.
- 고속전철이 평탄구간을 주행할 때 선로중앙으로부터 속도에 관계없이 12.5 m에서 25 m로 거리가 2배로 멀어질 때 및 25 m에서 50 m로 멀어질 때 최고소음도(L_{max})는 각각 4.6, 5.2 dB씩 감소한다.
- 고속전철이 주행할 때 선로중앙으로부터 17 m 떨어진 곳에서 1, 3, 5, 7 m의 높이별로 L_{max} 는

집전장치(pantograph)의 영향 때문인 것으로 95.0, 95.2, 95.5, 95.0 dBA를 나타내는데 5 m의 높이에서 가장 높은 소음도를 발생하는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. ISO 3095, (1975), Acoustics-Measurement of Noise Emitted by Railbound Vehicles.
2. P. M. Nelson, (1987), Transportation Noise Reference Book, Butterworth & Co.
3. H. J. Saurenman, J. T. Nelson and G. P. Wilson, (1982), Handbook of Urban Rail Noise and Vibration Control, U.S. Department of Transportation, Report No. DOT-TSC-UMTA-81-72, Washington, D.C.
4. C. E. Hanson, (1990), High Speed Rail System Noise Assessment, The 69th Annual Meeting, Transportation Research Board, Committee A2M05, Intercity Passenger Guided Transportation Paper No. 890359.
5. Peter Houtave and Jean-Pierre Clairbois, (1993), The Level/Time Evolution of Passing Trains to Evaluate the Noise Impact of T.G.V. Part I: Mathematical Development, Inter-noise'93.

Table 1. Noise level of high speed train at grade by distance

Distance (m)	Speed (km/h)	$L_{eq,passby}$ dBA		L_{max} dBA		No. of Sample
		Range	Mean	Range	Mean	
12.5	290~300	89.9~98.2	94.9	94.8~103.2	98.7	22
	250~290	86.1~94.6	90.8	88.1~97.8	95.4	14
	200~250	82.1~98.6	91.6	86.0~103.7	96.2	15
	150~200	79.8~86.1	83.8	83.9~90.8	87.9	19
	~150	73.6~81.7	77.8	81.1~86.4	84.3	11
25.0	290~300	86.5~94.2	91.9	92.6~99.8	94.9	16
	250~290	82.5~89.7	86.9	84.2~91.8	90.0	6
	200~250	78.2~94.4	86.8	81.5~99.8	91.6	15
	150~200	73.5~81.0	79.2	77.7~86.7	82.6	18
	~150	67.9~77.4	72.9	74.9~80.7	78.1	11
50.0	290~300	77.7~89.9	87.5	81.3~94.4	90.0	15
	250~290	74.5~81.7	79.2	77.1~84.8	82.0	4
	200~250	67.1~90.7	82.0	69.9~96.0	86.5	15
	150~200	67.4~78.2	75.1	70.1~81.3	77.7	18
	~150	59.9~72.7	67.6	65.5~74.5	71.7	11

Table 2. Noise level of high speed train at viaduct by distance

Distance (m)	Speed (km/h)	L _{eq,passby} dBA		L _{max} dBA		No. of Sample
		Range	Mean	Range	Mean	
12.5	290	73.2~74.6	74.0	76.6~76.8	76.7	2
	200	-	66.3	-	69.1	1
25.0	290	77.4~77.4	77.4	81.9~82.4	82.2	2
	200	-	67.3	-	71.2	1
50.0	290	80.9~83.4	82.3	85.8~91.8	89.8	2
	200	-	73.8	-	83.7	1

Table 3. Attenuation due to distance

Measurement Site	L _{max} dBA			L _{eq,passby} dBA		
	12.5 m	25 m	50 m	12.5 m	25 m	50 m
at grade	95.5	90.9	85.7	91.4	87.4	82.7
	-4.6	-5.2		-4.0	-4.7	
viaduct	75.3	80.6	88.5	74.2	78.5	87.1
	+5.3	+7.9		+2.2	+6.1	

Table 4. Noise level of high speed train by altitude

Altitude(m)	L _{eq,passby} dBA		L _{max} dBA		No. of Sample
	Range	Mean	Range	Mean	
1	85.0~93.5	91.8	87.5~96.7	95.0	11
3	85.9~94.0	92.3	87.7~98.6	95.2	
5	87.9~94.7	93.4	90.2~97.2	95.5	
7	87.4~94.3	92.9	88.9~97.0	95.0	

Table 5. Comparison of noise level of electric railcar with that of rolling stock at 25 m

Speed(km/h) \ Type	Electric railcar		Rolling stock		No. of Sample
	Range	Mean	Range	Mean	
290~300	92.7~99.8	94.8	85.8~91.7	90.0	12
250~290	84.2~91.8	88.9	81.2~88.4	84.2	3
200~250	83.8~99.8	89.5	76.5~89.1	81.9	11
150~200	77.7~86.7	82.2	71.5~79.5	76.5	17
100~150	77.8~80.7	78.9	69.1~75.4	71.5	4

Table 6. Noise level reduced by noise barrier height

Distance(m) \ Height(m)	10		25		50	
	L_{max}	$L_{eq,1h}$	L_{max}	$L_{eq,1h}$	L_{max}	$L_{eq,1h}$
0	97.3	81.5	92.5	77.1	88.8	73.4
2.0	89.7	73.9	84.2	68.4	80.8	65.2
2.4	86.5	70.7	81.3	65.5	78.3	62.6
2.6	85.1	69.3	79.9	64.2	76.8	61.1
2.8	83.7	67.9	78.5	62.8	75.3	59.6
3.0	82.6	66.9	77.2	61.5	74.0	58.3
4.0	78.1	62.4	72.4	56.7	69.2	53.7
5.0	75.2	59.5	69.4	53.8	66.2	50.9

Table 8. Predicted noise level of TGV by distance

Distance (m)	L_{max} (Measured)	L_{max} (Predicted)	$L_{eq,1h}$ (20.5대)
25	92.5	93.4	77.8
50	88.8	89.2	73.6
75	86.5	86.7	71.1
100	84.6	84.9	69.4
150	81.7	82.5	66.9
200	79.3	80.7	65.2
250	77.3	79.4	63.8