

철도통과 구조에 따른 철도 연변 소음 예측에 관한 연구

○ 조준호*, 이덕희*, 정우성*, 신민호*

A Study on the Nearby Noise Prediction of Railway passing through elevated concrete bridge

Jun-Ho Cho, Duck-Hee Lee, Woo-Sung Jung, Min-Ho Shin

ABSTRACT

Recently, many new construction and large scale modification of railway are performed for cost down of goods delivery charge and effective transportation in various aspect. Although railway traffic is environmentally friendly in many part but weak in noise and vibration problem. For the reduction and efficient management of railway noise, first of all prediction of railway noise is necessarily requested. In domestic and abroad many studies for prediction of railway nearby noise are done. In this study simple modelling technique is investigated for railway noise prediction when railway passes above elevated concrete bridge as well as ground. Predicted results are compared with measured results and it is known that suggested modelling technique can be used for more precise prediction of railway nearby noise.

1. 서론

최근 물류비용 절감이나 효율적 운송을 위해 철도의 신설 및 대량개선 사업이 다각적으로 추진되고 있다. 철도는 타 교통수단에 비해 정시성, 에너지효율, 공해배출 측면에서 강점을 가지고 있다.¹⁾

이러한 철도가 가지는 환경친화성은 소음/진동 문제에 있어서는 약점으로 작용하고 있으며 철도 선진국도 이러한 문제를 인식하고 철도 소음/진동 저감을 위한 노력에 주력하고 있다.²⁾ 국내외적으로 철도소음 예측을 위한 연구가 활발하게 진행중이며 그 방법론도 다양하다.³⁻⁵⁾

철도 환경소음의 예측은 철도 신설 및 대규모 개선사업 시 환경영향평가와 체계적이고 효율적인 철도 환경소음 관리의 위해 절실히 필요하다. 그러나 국내의 경우 외국의 기술에만 전적으로 의존하거나 형식적인 예측에 머무를 때가 많다. 이와 같은 철도 환경소음 예측은 저감시설 설치에 따른 효과분석 즉 성능평가에도 유용하게 활용될 수 있으므로 국가적/ 산업적인 지원이 절실히 필요하다.

본 연구에서는 먼저 일반 토공구간을 통과하는 기존선 열차의 소음 특성을 조사하기 위해 측정을 수행하였으며, 측정된 데이터를 활용하여 철도 소음원의 음향파위를 역추적기법에 의해 규명하였다. 규명된 음향파위를 이용하여 토공구간을 통과하는 열차의 소음도를 예측한 것과 측정결과를 분석하였다.

* 한국철도기술연구원

또한 교량(고가)구간을 통과하는 열차의 경우 열차로부터 방사되는 소음외에 고가구조물로부터 방사되는 구조전달소음을 고려하여 철도 소음을 예측하였다. 이러한 모든 결과를 측정 소음도와 비교하여 그 타당성을 검증하였다.

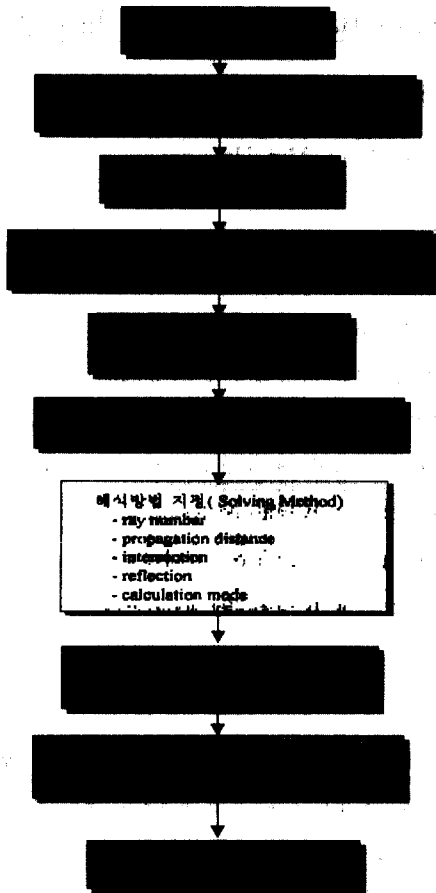


Fig. 1 Study flow for railway noise prediction

2. 토공구간에서의 철도 소음 측정 및 예측

먼저, 토공구간에서 열차 통과시의 철도 소음을 측정하고 그 측정값을 이용하여 열차의 음향파위를 규명하였다. 본 연구에서는 철도소음 예측을 위해서 프랑스 CSTB 사에서 개발한 프로그램인 Mithra를 이용하였다. 본 연구에서 Mithra를 이용하여 철도소음을 해석한 시뮬레이션 흐름도

를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 2에는 토공구간에서 철도 소음을 측정된 지역의 개략도를 나타내었다.

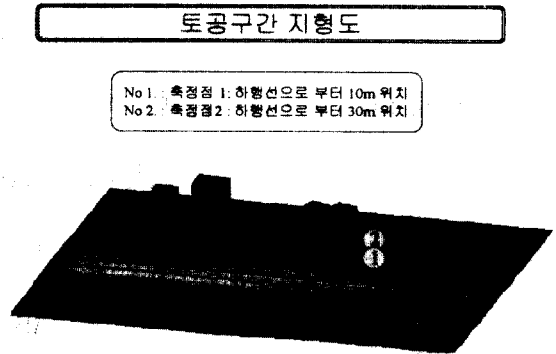


Fig. 2 Measurement diagram of railway noise (Case of ground)

이와같이 철도 소음을 측정된 결과를 Table 1에 나타내었다. 측정된 결과를 이용하여 당해지역을 통과하는 새마을(또는 무궁화) 열차의 단위 길이당 음향파위를 얻은 결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 1 Measurement result of railway noise (Case of ground)

차종	No.	열량 수	통과 속도 (km/h)	평균 소음도 (dBA)	
				10m	30m
새마을	1	16	104	89.5	76.1
	2	15	87	84.9	72.7
	3	8	100	87.2	71.8
	평균	13	97	87.2	73.5
무궁화	1	13	100	89.8	76.0
	2	13	105	90.4	78.0
	3	9	104	88.5	75.3
	평균	12	103	89.6	76.4

Table 2의 음향파위를 이용하여 당해지역의 소음도를 예측한 결과를 측정결과와 비교하여 Table 2.3에 나타내었다. 위치에 따라 차이는 있지만 1dB 이내에서 잘 예측하고 있음을 알았다.

Table 2 Identified sound power of railway in this study

대역 중심주파수[Hz]	음향파위[dBA/m]	
	새마을	무궁화
125	84.6	86.7
250	94.1	92.5
500	99.0	98.4
1000	98.1	98.4
2000	95.9	97.3
4000	92.5	93.9
Overall	102.5	103.1
비고	속도분포 90 - 100 km/h	

Table 3 Predicted and measured Leq(Case of ground)

위치 (m)	예측치 (dBA)	실측치 (dBA)	비고
10	75.5	75.6	<ul style="list-style-type: none"> · Leq1h · 방음벽 3m 설치 · 열차통과 대수 새마을 상행 3대, 하행 2대
30	57.8	58.2	

3. 고가구간에서의 철도 소음 측정 및 예측

고가 통과하는 철도의 환경소음측정을 위한 측정 시스템을 Fig. 3에 그 평면도를 Fig. 4에 그 단면도를 각각 나타내었다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 측정점수는 총 5 개로써 고가상부 철도 선로 바로 인근 2.5m 지점, 고가 상판으로부터 1m 아래, 고가 아래 지면으로부터 1.5m 위치, 그리고 고가중심으로부터 15m, 25m의 위치에서 동시에 소음을 측정하였다. Photo 1에는 측정전경을 나타내었다.

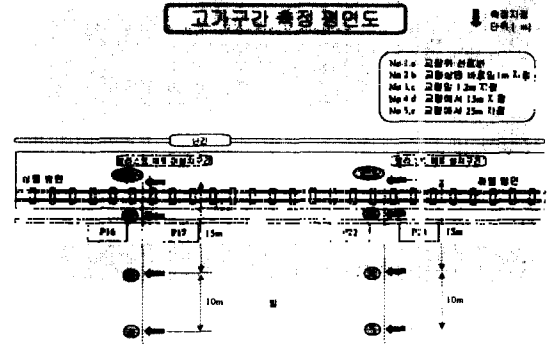


Fig. 3 Measurement of railway noise
(Case of bridge, plane view)

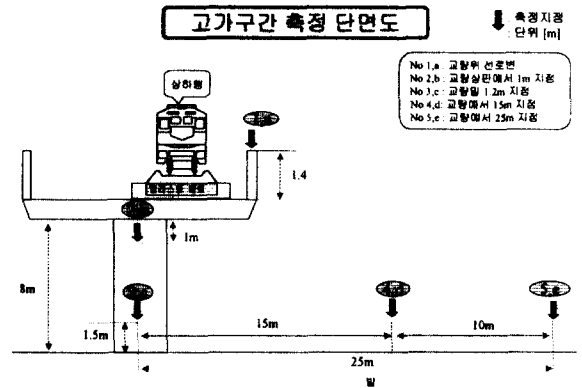


Fig. 4 Measurement of railway noise
(Case of bridge, sectional view)

측정은 대상구간에 열차통과의 평균소음도, 최대소음도, 통과시간, 열차종별, 편성 열량수이다. 이와같이 무궁화 열차에 대한 측정결과를 Table 4에 나타내었다.

측정결과를 보면 고가하부 위치에서의 소음도는 궤도지구조물인 고가의 특성상 공기전파소음보다는 고가의 진동에 의한 구조전달소음이 주요한 원인임을 알 수 있다.

Fig. 5에는 당해 측정구간에서 얻은 대표적 소음도 시간 이력곡선을 나타내었으며 Fig. 6에는 마이크로폰 위치별로 얻은 소음도의 주파수 스펙트럼을 나타내었다.

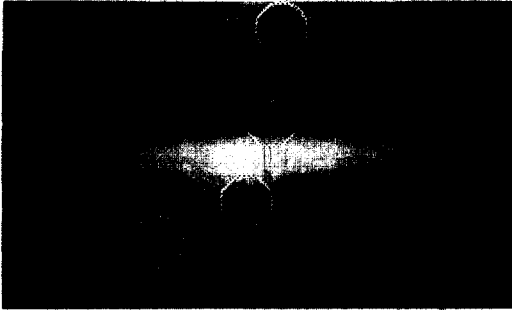


Photo 1 Setup of measurement system

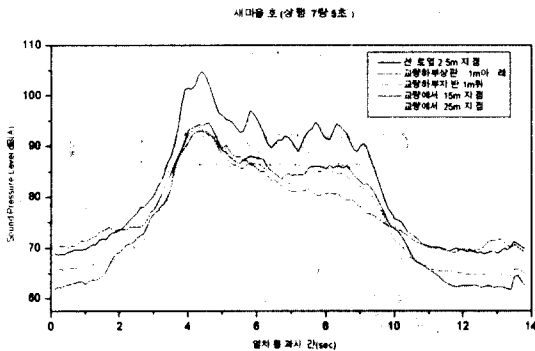


Fig. 5 Typical time history of SPL

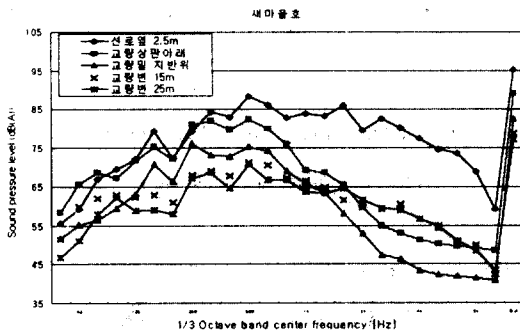


Fig. 6 Noise spectrum obtained each microphone

2장에서 규명된 차종별 음향파워를 이용하여 고가구간을 열차가 통과할 때의 소음도 예측값을 Table 5에 나타내었

다. 고가 근처 지면 위치(15m, 25m)에서 구조전달소음을 고려하지 않은 열차만에 의한 소음도 예측결과와 실측결과의 차이는 매우 크게 발생하는 것을 알 수 있다.

Table 4 Measurement result of railway noise

(Case of bridge, Mugoonghwa)

열차 구분	1	2	3	평균	
열량수	8	13	8	9.7	
속도 [km/h]	97	99	103	100	
평균 소음도 [dBA]	고가 상부	94.6	93.8	93.5	94.0
	고가직하부 1m	86.1	86.1	87.9	86.7
	고가 직하 지면위 1m	84.8	85.0	86.9	85.5
	15m	83.6	82.6	81.1	82.5
	25m	82.9	81.8	78.7	81.1

따라서 본 연구에서는 고가를 통과하는 열차에 의한 인근 환경소음을 정도높게 예측하기 위해 구조전달소음의 영향이 큰 고가하부 마이크로폰에서 얻어진 소음도 측정결과를 이용하여 고가의 구조전달 소음을 역추적하였다. 이와같이 역추적하여 얻어진 음향파워와 이를 이용하여 재해석한 결과를 Table 5에 나타내었다.

구조전달소음을 선소음원으로 고가측면에 추가하여 모델링한 결과 15m와 25m 위치에서도 매우 정도 높게 측정값과 같은 예측값을 얻을 수 있었다. Table 6에는 무궁화 열차에 대한 값을 나타내었으며 새마을 열차와 거의 유사한 결과를 얻었다. 이와같이 고가를 통과하는 열차에 의한 환경소음 예측을 위해서는 고가구조가 진동하여 발생시키는 구조전달 소음을 추가로 모델링하여 정도높게 예측할 수 있음을 알았다.

이와같이 고가구조를 고려하지 않은 경우와 고가구조를 추가의 선소음원으로 모델링하여 얻어진 당해지역의 소음도 해석결과의 단면도를 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다.

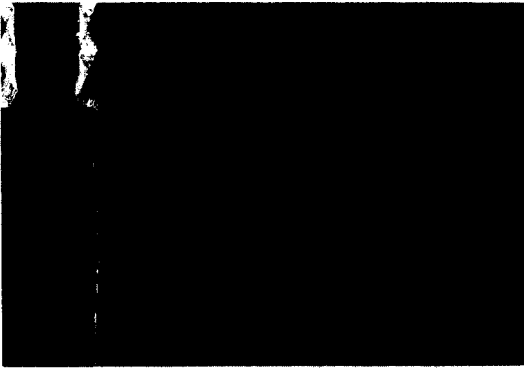


Fig. 7 Noise map nearby elevated concrete bridge
(Without considering structure-borne noise)

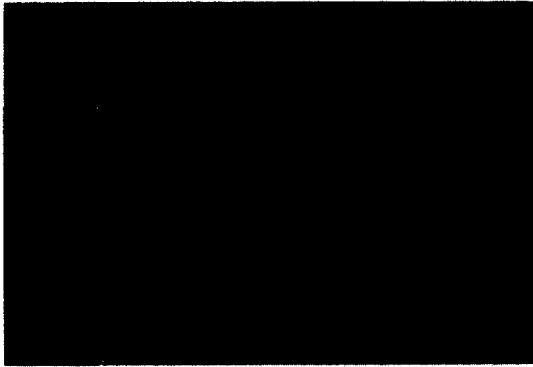


Fig. 8 Noise map nearby elevated concrete bridge
(With considering structure-borne noise)

이제 당해구간의 구조전달소음 저감을 위한 방진시스템 (발라스트 매트)를 설치한 경우에 있어서 소음 측정결과를 Table 7에 나타내었다. 지상 15m, 25m의 경우 기관차 소음이나 전동음의 직접전달에 따른 소음도 저감효과가 미미하지만 고가구조 하부에서는 큰 소음저감이 이루어지는 것을 알 수 있었다.

방진시스템 설치에 따른 철도 소음 예측의 경우도 위에서 제시한 고가구조 모델링 방법에 의해 소음도를 예측해석하였으며 그 결과를 Table 8에 나타내었다. 역시 구조전달소음을 고려하지 않은 모델링에 비해 상당히 정확하게

소음도값을 예측하고 있음을 알 수 있었다.

Table 5 Predicted and measured SPL
(Case of bridge, Saemaetul)

구분	실측값	상부소음만 고려		구조전달소음 고려		
		예측값	실측값 - 예측값	예측값	실측값 - 예측값	
		고가상부	92.3	92.2	-	92.3
평균 소음도 [dBA]	고가직하 1m	84.2	73.8	-	89.4	-
	고가직하 지면 위	83.1	63.4	19.7	82.6	0.5
	15m	82.7	76.2	6.5	80.9	1.8
	25m	81.6	77.6	4.0	80.4	1.2

Table 6 Predicted and measured SPL
(Case of bridge, Mugoonghwa)

구분	실측값	상부소음만 고려		구조전달소음 고려		
		예측값	실측값 - 예측값	예측값	실측값 - 예측값	
		고가상부	94.0	92.7	-	92.9
평균 소음도 [dBA]	고가직하 1m	86.7	73.8	-	91.2	-
	고가직하 지면 위	85.5	63.3	22.3	84.4	1.1
	15m	82.5	76.4	6.1	82.2	0.3
	25m	81.1	78.1	3.0	81.6	-0.5

Table 7 Measurement result
(With ballast mat, Saemaoul)

열차 구분	1	2	3	평균	
열량수	11	7	8	8.7	
속도 [km/h]	95	105	103	101	
평균 소음도 [dBA]	고가 상부	93.4	91.1	92.4	92.3
	고가직하 부 1m	73.9	70.3	70.9	71.7
	고가 직하 지면위	73.0	68.9	70.1	70.7
	15m	81.3	73.7	74.9	76.6
	25m	81.0	75.2	76.3	77.5

Table 8 Predicted and measured SPL
(With ballast mat, Case of bridge)

구분	실측값	상부소음만 고려		구조전달소음 고려		
		예측값	실측값 - 예측값	예측값	실측값 - 예측값	
평균 소음도 [dBA]	고가 상부	92.3	92.2	-	92.2	-
	고가직하 1m	71.7	73.8	-	78.3	-
	고가 직하 지면 위	70.7	63.4	7.3	70.5	0.2
	15m	76.6	76.2	0.4	76.6	0.0
	25m	77.5	77.6	-0.1	77.8	-0.3

6. 결론 및 향후과제

본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, 철도 소음 예측을 위해 철도 소음 측정데이터를 이

용하여 소음원의 음향파위를 규명하였으며, 규명된 음향파
위를 토공구간과 고가구간에서 사용하여 측정된 값과 예측
한 값이 비교적 잘 일치함을 알았다. 따라서 국내 기존선
철도 소음의 예측을 위한 음향 파위로 이용할 수 있으리라
판단된다.

둘째, 철도가 고가구간을 통과하는 경우 공기전달소음뿐
만 아니라 고가구조가 진동함으로 발생하는 고체전달소음
을 모델링하는 방법을 제안하였으며, 제안된 방법에 의해
해석한 결과 측정결과와 잘 일치하는 예측값을 얻을 수 있
었다. 향후 본 연구에서 제시한 방법으로 고가를 통과하는
철도소음을 용이하게 예측할 수 있으리라 판단된다.

셋째, 고가구간의 구조전달 소음 저감을 위한 방진시스템
의 설치효과를 측정과 예측을 통해 확인 할 수 있었다.

참고문헌

- 1) 디젤기관의 배출가스 대기오염 현황 및 저감방안에 관
한 연구, 한국철도기술연구원, 1997
- 2) B. Hemsworth, W. Bird, "ERRI leads the quest to cut
railway noise", Railwya Gazett International, pp
599-601, 1997
- 3) 김정태, 조성호, "국내 철도차량의 음향발생 특성에 대한
비교 연구", 한국철도학회지, 제 2권, 제1호, pp 28-37,
1999
- 4) 나희승, J. P. Clairbois, "고속열차 주행시 연변에서의
소음예측 및 방음시설 설계", 한국소음진동공학회지, 제9
권, 제6호, pp 1106-1115, 1999
- 5) R. Makarewicz, M. Yoshida, "Railroad noise in an
open space", Applied Science, Vol. 49, No. 4, pp
291-306, 1996
- 6) Mithra V3.1, Technical Manual, 01dB, 1997