

지하철 진동에 의한 구조음 실측치와 예측치 비교

A Comparison between Measurement Values and Prediction Values of Structure-borne noise induced by Subway

이태호† · 안용찬‡ · 조정식* · 이기룡*

Tae-Ho Lee, Yong-Chan Ann, Jung-Sik Cho and Ki-Ryung Lee

Key Words : Structure-borne Sound(구조전달음), Ground-borne noise(지반전달음), Subway(지하철)

ABSTRACT

지하철 인근 지역에서 차량 통과 시 차륜과 레일의 상호작용으로 인한 진동이 지반을 통하여 건물까지 전파되어 구조전달음이 발생하게 된다. 이러한 구조전달음이 발생하는 지하철 인근 지역에서 도로나 주거단지가 새롭게 조성될 예정인 경우, 완공 이후에 발생하는 구조전달음 영향을 사전에 평가하고 대책을 수립하는 것이 요구된다. 본 논문에서는 국내에 위치한 일부 역사에서의 구조전달음을 측정하고 국외의 예측식을 검토하여 구조전달음의 실측치와 예측치를 비교한다. 따라서 국내 지하철의 구조전달음 예측에 대하여 국외 예측식의 타당성을 검토함으로써 향후 건설될 지하구간 역사의 인근 주거지역에 대한 구조전달음을 예측하는데 기초 자료로 활용하고자 한다.

1. 서 론

최근 전국적으로 지역의 균형개발, 도시교통의 혼잡문제를 해소하기 위해 철도 및 지하철 등 교통망을 확충하고 있다. 이러한 교통망의 확충은 한편으로는 건설지역에 대한 조용한 환경을 침해하는 잠재적 사회문제를 내포한다. 도로나 철도가 신설되거나 공동주택 등 주거단지가 새롭게 조성될 예정인 지역의 경우, 완공 이후에 발생하는 소음 영향을 사전에 평가하고 대책을 수립한다면 향후 소음으로 인한 여러 분쟁 및 민원 발생의 최소화가 가능하다. 이에 대해 지하구간에서 철도차량 운행 시 지반진동에 의한 구조전달음 예측식이 각국에서 연구된 바 있으며, 이러한 예측식은 미국, 일본 등에서 주로 해당 현장 계측자료를 분석하여 제시된 것으로서 활용하기가 용이하고 편리하다는 장점이 있다.[1,2] 그러나

예측식이 지하철 궤도 및 지반의 특성이 상이한 각국의 실험결과를 토대로 언어졌기 때문에 국내에서도 국내 지반의 특성을 고려한 예측식이 요구되고 있다.[3] 본 논문에서는 국내에 위치한 일부 역사에서의 지하철 구조전달음 실측치와 국외 예측식을 통해 도출한 구조전달음 예측치를 서로 비교하여 향후 건설될 지하구간 역사의 인근 주거지역에 대한 지반소음을 예측하는데 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 지하철 구조음 예측식

2.1 예측식 검토

지하철 진동에 의해 지반으로 전달되는 구조음은 다음과 같이 해외에서 제안된 경험식으로 예측이 가능하다.[4,5] 지반진동의 크기와 구조음의 상관식을 경험적인 방법으로 제안하였으며, 이와 같은 경험식을 사용하여 건물 내의 구조음을 예측할 수 있다. 지반진동에 의한 구조음 예측식은 크게 주파수별 소음레벨과 총 소음레벨을 예측하는 방법으로 구분된다. 본 논문에서는 주파수별 소음레벨 예측 방법으로 Kurzweil법을 사용하고, 총 소음레벨은 Tokita법

† 교신저자; 정회원, (주) 유니스엔지니어링 기술연구소
E-mail : uec751@chol.com

Tel : 070-4432-2877 , Fax : 02-563-9889

‡ 발표자; (주) 유니스엔지니어링 기술연구소

* (주) 유니스엔지니어링 기술연구소

과 Lange법을 이용하여 예측한다.

(1) Tokita법

Tokita에 의해 실험적 자료에 근거하여 산출된 예측식으로써 주택 실내의 A-weighting 소음과 지반 진동의 관계를 다음과 같이 나타낸다.

$$L_a = 0.88L_v - 17 \quad (1)$$

L_a : 건축물 실내의 A-weighting 소음 레벨

L_v : 지표면의 진동 가속도 레벨

$$(ref \ 10^{-5}m/sec^2)$$

(2) Lange법

Lange는 지하구조물에서부터 건물까지의 거리를 이용하여 지하철 운행로 주변 및 상부에 있는 건축물의 지하실 및 지반과 접한 실내에서의 A 특성 지반전달음을 예측하는 식을 제안하였다. Lange에 의해 제안된 식은 Kurzweil, Manning 등에 의하여 활용되어 건물에서의 A특성 소음레벨을 예측하는데 사용되었다.

$$L_a = 59 - 20\log(d) \quad (dBA) \quad (2)$$

d : 지하철 구조물로부터 건물까지의 거리 (m)

(3) Kurzweil법

Kurzweil은 지하철 운행 시 지반진동에 의한 음압레벨과 진동 가속도레벨의 예측식을 다음과 같이 제안하였다. 식 (3)에 사용되는 f 는 Octave-band centre frequency를 의미한다.

$$L_p(room) = L_a(room) - 20\log_{10}f + 37 \quad (3)$$

L_p : 음압 레벨

L_a : 지표면의 진동 가속도 레벨

$$(ref \ 10^{-5}m/sec^2)$$

3. 구조음 예측을 위한 현장 측정

3.1 구조음 및 진동 측정

구조음에 대한 실측치와 예측치 비교를 위해 서울 메트로 4호선 라인의 범계-평촌 및 2호선 라인의 을지로3가-을지로입구 지하철 인근 총 5개 지점에서

지하철 구조음과 진동을 함께 측정하였다. 구조음뿐만 아니라 진동까지 측정한 이유는 본 연구에 사용된 예측식에서 진동 데이터를 이용하여 예측 소음을 구하기 위함이다. 측정에 사용된 장비와 열차의 속도, 측정 지점 및 측정 높이는 다음과 같다.

Table 1 Measurement Condition

	측정 지점	측정 높이	열차 속도 (km/h)	측정 장비
SITE 1	평촌 로데오 거리 지하 주차장	B1F (GL-6m)	54.5	Smart Office Analyzer
SITE 2	평촌 공원 지하 주차장	B2F (GL-10.5m)	60.0	
SITE 3	평촌 공원 지하 주차장	B1F (GL-6m)	55.3	
SITE 4	을지로 3가-을지로입구간 지하상가	B1F (GL-8.1m)	66.4	SC-310, SA-78
SITE 5	평촌대로 지하보행로	B1F (GL-6m)	65.5	

3.2 측정 위치

Fig. 1은 을지로 3가-을지로 입구간 지하상가와 범계-평촌역 인근에서의 측정 위치를 나타낸다. 측정 위치로 을지로 3가-을지로 입구, 범계-평촌 구간을 선택한 이유는 다른 역사보다 지상에 위치한 건물이나 지하상가등에 전달되는 진동의 영향이 큰 것으로 알려져 있기 때문이며, 실제로 측정된 진동 레벨도 크게 나타났다.



Fig 1 Measurement section.

3.3 측정 결과

구조음 및 진동을 Fig. 1의 측정 지점에서 1/1 Octave band로 측정하여 31.5 ~ 125 Hz 범위에서 데이터를 분석하였다. Table 2는 구조음 데이터를 나타내고, Table 3에서는 진동 데이터를 보인다. O.A값은 합성 레벨을 의미한다.

Table 2 Measured Noise values

측정 지점	주파수 [Hz]	실측 구조음 SPL [dB]	실측 구조음 A보정 SL [dBA]	O.A값 [dBA]
평촌 로데오 거리 지하 주차장	31.5	61.3	21.9	54.3
	63	79.5	53.3	
	125	63.3	47.2	
평촌 공원 지하 주차장 (B2F)	31.5	68.4	29.0	66.6
	63	91.6	65.4	
	125	76.5	60.4	
평촌 공원 지하 주차장 (B1F)	31.5	68.2	28.8	54.8
	63	79.5	53.3	
	125	65.6	49.5	
을지로 3가-을지로입구간 지하상가	31.5	62.8	23.4	57.0
	63	72.7	46.5	
	125	72.7	56.6	
평촌대로 지하보행로	31.5	72.3	32.9	59.5
	63	80.5	54.3	
	125	74.0	57.9	

Table 3 Measured Vibration values

측정 지점	주파수 [Hz]	실측 진동값 VAL [dB]	O.A값 [dB]
평촌 로데오 거리 지하 주차장	31.5	55.4	73.4
	63	73.0	
	125	61.4	
평촌 공원 지하 주차장 (B2F)	31.5	59.3	81.0
	63	74.8	
	125	79.8	
평촌 공원 지하 주차장 (B1F)	31.5	61.0	74.6
	63	72.7	
	125	69.6	
을지로 3가-을지로입구간 지하상가	31.5	51.2	86.2
	63	80.7	
	125	84.7	
평촌대로 지하보행로	31.5	69.4	83.1
	63	82.7	
	125	69.8	

4. 구조음 실측치와 예측치 비교

4.1 구조음 예측치

Table 4는 예측식을 이용하여 도출한 구조음 예측치를 나타낸다. 식 (3)의 Kurzweil법으로 주파수별 소음레벨을 예측하였고, 식 (1)의 Tokita법과 식 (2)의 Lange법으로 합성 소음레벨을 도출하였다. Kurzweil법과 Tokita법의 예측된 합성 소음레벨이 대부분 지하 1층에 위치한 측정 지점에서는 유사함을 보이거나 평촌 공원 지하 2층에 위치한 주차장의 경우는 12.4dB로 큰 차이를 나타낸다.

Table 4 Predicted Noise values

측정 지점	주파수 [Hz]	Kurzweil		Tokita	Lange
		주파수별 소음레벨 [dBA]	O.A값 [dBA]	O.A값 [dBA]	O.A값 [dBA]
평촌 로데오 거리 지하 주차장	31.5	62.4	48.5	47.6	34.9
	63	74.0			
	125	56.5			
평촌 공원 지하 주차장 (B2F)	31.5	75.4	66.7	54.3	36.3
	63	92.6			
	125	71.6			
평촌 공원 지하 주차장 (B1F)	31.5	68.0	51.1	48.6	34.5
	63	73.7			
	125	64.7			
을지로 3가-을지로입구간 지하상가	31.5	58.2	64.3	58.9	40.9
	63	81.7			
	125	79.8			
평촌대로 지하보행로	31.5	76.4	58.1	56.1	31.5
	63	83.7			
	125	64.9			

4.2 실측치와 예측치 비교

Table 5에서 구조음에 대한 실측치와 예측치를 합성 소음레벨(O.A)로 비교한다. Kurzweil법 예측식이 실측치에 가장 근접하게 나타났으며 특히 평촌 공원 지하 2층 주차장에서의 실측치와 예측치가 거의 일치함을 보인다. 을지로 3가 - 을지로입구간 지하차도에서는 Kurzweil법 예측치가 실측치와 7.3dB로 큰 차이를 보이지만 Tokita법 예측치의 경우 실측치와 유사하다. 또한 Lange법의 경우에는 실측치와의 오차가 매우 큰 것으로 나타났다.

Table 5 Measurement values VS. Prediction values

측정 지점	Overall Sound Level [dBA]			
	실측 구조음	Kurzweil	Tokita	Lange
평촌 로데오 거리 지하 주차장	54.3	48.5	47.6	34.9
평촌 공원 지하 주차장 (B2F)	66.6	66.7	54.3	36.3
평촌 공원 지하 주차장 (B1F)	54.8	51.1	48.6	34.5
을지로 3가-을지로입구간 지하상가	57.0	64.3	58.9	40.9
평촌대로 지하보행로	59.5	58.1	56.1	31.5

5. 결 론

국내에 위치한 범계, 평촌 및 을지로 역사 인근에서의 지하철 구조전달음 실측치와 예측치를 서로 비교하였다. 구조전달음 예측치는 국외의 예측식인 Kurzweil법, Tokita법 및 Lange법을 이용하여 도출하였다. Kurzweil법 예측식의 경우 대부분의 현장에서 다른 예측식에 비해 상대적으로 실측치와 예측치가 유사한 경향을 보였으나, 을지로 역사에서는 7.3dB로 오차가 크게 나타났다. 큰 실과 같은 구조로 되어있는 다른 현장과 달리 을지로 지하상가 현장이 상대적으로 폭이 좁고 긴 실내 구조로 되어 있기 때문에 오차가 크게 나타난 것으로 보인다. Tokita법의 경우에는 전체적으로 Kurzweil법 예측치보다 낮은 수치를 보였으며, 을지로 역사의 측정 지점을 제외하면 대부분의 측정 지점에서 실측치와의 오차가 Kurzweil법보다 큰 것으로 확인되었다. Lange법 예측치는 실측치와의 오차가 매우 클 뿐만 아니라 다른 예측치와의 비교 시에도 큰 차이를 보였다.

참 고 문 헌

- (1) L. G. Kurzweil and E. E. Ungar., 1982, Prediction of noise and vibration in buildings near the New York City subway, Proceedings of Inter-Noise 82.
- (2) Y. Tokita, A. Oda, K. Shimizu, and K. Kimura., 1978, On the ground-borne noise propagation from a subway, Presented at 96th Meeting of the Acoustical Society of America, Honolulu.
- (3) Kim, H. C., Huh, Y., 1997, The Proposal of a Noise Prediction Equation due to the Subway Operation, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering. Vol. 7, No. 2, pp. 293~300.
- (4) L. G. Kurzweil., 1979, Ground-borne noise and vibration from underground rail systems, Journal of Sound and Vibration, Vol. 66, No. 3, pp. 363~370.
- (5) L. G. Kurzweil., 1983, Wheel/rail noise-means for control, Journal of Sound and Vibration, Vol. 87, No. 2, pp. 197~220.