지하철 통과 시 지반소음 예측

Estimation of Ground-Borne Noise Generated by Subway

김재철† 구동희* 이준석**

Kim, Jae-Chul Koo, Dong-Hoe Lee, Jun-Suk

ABSTRACT

This paper deals with the estimation methods of ground-borne noise generated by subway. Generally, numerical method using by ground model is used to prediction of ground borne noise. However, this method is needed a lots of time to make an analysis and model.

In this paper, we describe empirical formula that is based on experimental data for subway and estimate the ground-borne noise propagated from underground station that is builded in the near future to building.

1. 서 론

지하철 인근지역에서 건물 내 소음/진동은 차량 통과 시 차륜과 레일의 상호작용으로 인한 진동이 지반을 통해서 구조물까지 전파되어 기둥, 벽체 및 창문 등에서 발생하게 된다. 지하철과 같은 궤도이동차량에 의한 지반진동은 차륜과 레일의 거칠기, 궤도지지 시스템, 표면의 접촉강성의 국부적 변화 등의 영향과 함께 차량의 동적 특성, 토양 특성, 건축 구조 설계 등의 영향을 받기 때문에 지반진동에 의한 소음은 실내에서 대책방안을 세우는 것보다는 지반진동을 저감시켜야 한다. 그러나 지하철 상업운행 중인 경우에는 대책방안을 수립하기가 어렵고 비용도 과다하게 소요되기 때문에 설계단계에서 지반진동을 예측하여 대책을 수립하는 것이 매우 중요하다. 이러한 지반진동의 예측방법은 일반적으로 지반과 건물을 모델링해서 해석을 수행하지만[(1)]. 많은 시간과 비용이 요구된다.

따라서 본 논문에서는 지하구간에서 철도차량 운행 시 지반진동에 의한 건물 내 소음을 간단히 평가하기 위한 지반진동에 의한 소음 예측식을 조사 분석하였으며, 이 예측식을 토대로 향후 부설되는 지하구간에 대한 건물내 소음을 예측하였으며, 또한 현재 운행되는 지하철구간의 지반진동 측정 결과를 이용하여 예측식의 타당성을 검토하였다.

2. 지반진동 및 소음 예측식과 기준

2.1 지반진동 및 소음 예측식[(1)(2)]

본 연구에 사용되는 예측식은 대부분 측정결과를 이용하여 지반진동을 계산한 후 이 결과로부터 건물에 대한 소음을 예측한다.

† 책임저자 : 정회원, 한국철도기술연구원, 차륜궤도연구실, 책임연구원
E-mail : jckim@krri.re.kr
TEL : (031)460-5206 FAX : (031)460-5814
* 정회원, 한국철도기술연구원, 차륜궤도연구실, 책임연구원
** 정회원, 한국철도기술연구원, 철도구조연구실, 책임연구원

지반진동에 대한 예측방법은 표1과 같이 주파별 진동레벨과 총진동레벨로 구분된다. 주파수별 진동레벨 예측방법은 Wilson 모델과 Ungar & Bender 모델, 총진동레벨 예측방법은 Tokita에 의한 모델과 뉴욕 지하철 모델 및 일본 지하철 모델로 구분된다. 이러한 지반진동의 예측결과를 토대로 Wilson, Ungar & Bender, Tikita 등은 지반소음을 예측할 수 있는 식을 제안하였으며. Lange는 많은 실험결과를 토대로 지하구조물로부터 건물까지의 거리만을 이용하여 간단히 지반소음을 예측하는 식을 제안하였다.

표 1. 지반진동 및 소음 예측식

진동레벨값에 따른 분류	지반진동	지반소음
1/1 옥타브 밴드별 소음/진동 예측식	Wilson 모델	Wilson 식
	Ungar & Bender 모델	Ungar & Bender 식
총소음/진동레벨 예측식	Tokita 모델	Tokita 식
	뉴욕 지하철 예측 모델	-
	일본 지하철 예측 모델	-
	-	Lange 식

2.2 지반소음에 대한 기준

지반진동은 각국에서 기준으로 정하고 있지만, 지반소음의 경우에는 아직 규정되어있지 않고, 미국의 APTA(American Public Transit Association)에서 표 2와 같이 지반소음에 대한 설계 목표치를 제시하고 있다.

표 2. 철도진동에 의한 지역별 지반소음 설계 목표치(미국 APTA, 1981)

지 역	최대 지반 소음 레벨 설계 목표치(dB(A))		
	단독주택	다세대주택	호텔, 모텔 등 건물
Ⅰ 저밀도 주거지역	30	35	40
Ⅱ 일반 주거지역	35	40	45
Ⅲ 고밀도 주거지역	35	40	45
Ⅳ 상업지역	40	45	50
Ⅴ 공장, 도로지역	40	45	55

3. 지반소음 예측결과

앞에서 설명한 지반진동 및 소음의 예측식을 이용하여 향후 부설되는 지하역사에 대한 지반진동에 의한 소음을 계산하여 미국 APTA기준과 비교하였으며, 예측식의 타당성을 검토하기 위해서 현재 운행 중인 지하철의 지반진동 측정값을 이용으로 Tokita식과 Lange식에 의한 지반소음을 계산하여 비교하였다.

3.1 지하구간에 대한 지반진동 및 소음 예측결과

가. 지반진동 예측결과

그림1과 같이 향후 부설되는 지하역사에 대한 지반진동을 Wilson모델과 Unger & bender의 모델을 이용하여 계산하였다.

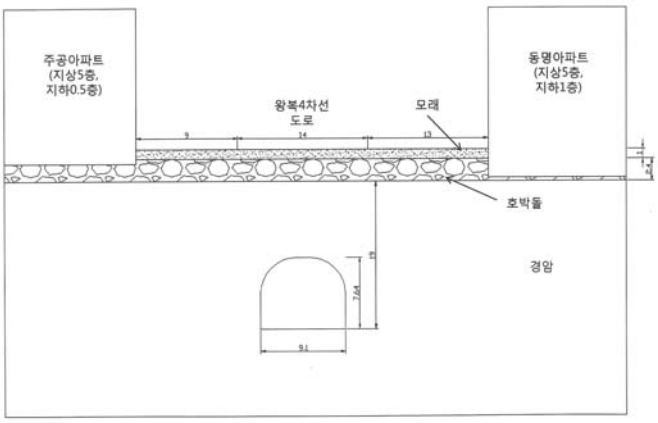
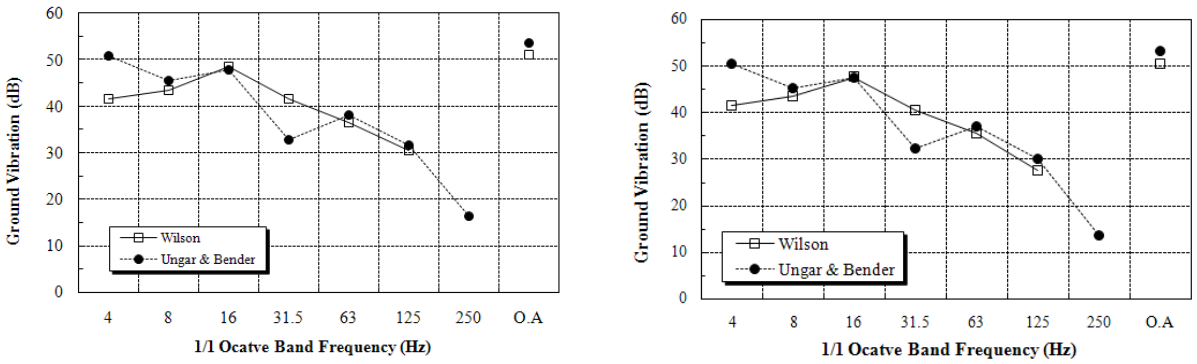


그림 1. 지하역사의 단면도

그림 2는 Wilson 과 Unger & bender의 모델를 이용하여 차량속도 80km/h에 대한 지하역사 직상부에서부터 16m와 20m떨어진 건물의 지반진동 예측결과이며, 그림3은 Tokita모델을 이용해서 계산한 결과 그림 2에 대한 총 지반진동레벨의 예측결과이다. 이 예측결과로부터 지반진동의 국내 법규(주간:65dB, 야간:60dB)를 모두 만족하는 것을 알 수 있다.



(a) 16m (b) 20m

그림 2. 지반진동의 1/1 옥타브 밴드별 예측결과

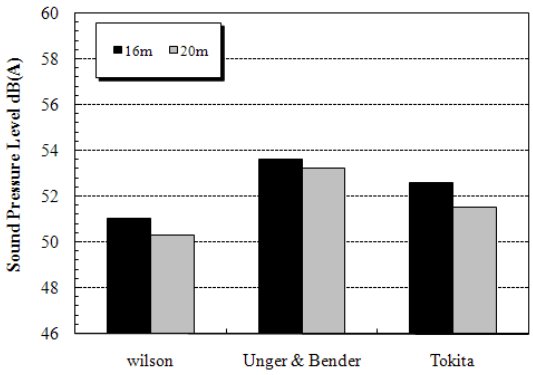
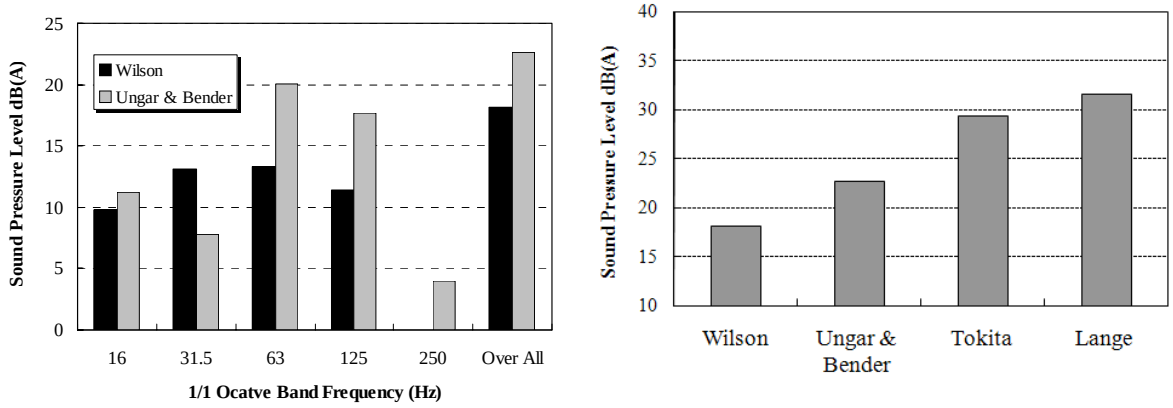


그림 3. 총 지반진동의 예측결과

나. 지반소음 예측결과

건물 내 지반소음은 Wilson식, Ungar & Bender식 및 Tokita식의 경우 앞에서 예측된 지반진동의 결과를 이용하고, Lange식의 경우에는 지하구조물에서부터 건물까지의 거리를 이용하여 계산하였다. 소음의 예측결과는 소음레벨의 크기가 가장 크게 발생하는 지점(16m)에 대해서만 계산하였으며, Wilson모델과 Ungar & Bender모델에 의한 주파수별 지반진동의 예측결과를 이용하여 소음을 계산하는 경루 가청주파수 영역만을 고려하였기 때문에 16Hz 이하의 저주파수 영역은 제외하였다. 그림 4는 Wilson 식, Ungar & Bender 식, Tokita식 및 Lange식에 의해서 예측된 지반소음의 계산결과이다.



(a) 1/1 옥타브 밴드별 소음 (b) 총 소음레벨

그림 4. 지하역사 직상부에서부터 16m 지점의 지반소음 예측결과 비교

위의 예측식으로부터 계산된 결과에서 Lange식을 이용한 경우 가장 커다란 소음레벨(31.6dB(A))를 나타내고 있으며, 이 결과로부터 미국 APTA의 철도진동에 의한 지반소음 설계 목표치에서 일반거주지역의 목표치(35dB(A))를 만족하는 것을 알 수 있다. 그리고 Willson식과 Ungar & Bender식의 결과는 너무 낮은 소음레벨이 예측되어 Tokita식과 Lange식이 국내에 더 적합한 것으로 생각된다.

3.2 지하철 지반진동 측정결과을 이용한 소음 예측결과

그림 5와 같은 복선 지하터널(지하 19.75m)의 직상부 지표면으로부터 0, 2, 4, 8, 16, 32, 50m 이격된 지점의 수직방향 가속도를 설치하여 측정된 지반진동의 결과를[(3)] 이용하여 Tokita식과 Lagne식의 타당성을 검토하였다. 측정지역의 특기사항으로는 지하터널 상부에 연립주택이 위치하며 4m까지의 측정지점은 연립주택입구로서 콘크리트포장, 8m 이상의 측정지점은 아스팔트포장 도로가 부설되어있다.

그림 6은 전동차 통과 시 지반진동의 10회 평균값을 나타내고 있다. 이 측정결과를 Tokita식에 대입하여 지반소음을 계산하였으며, 또한, 그림 5의 지하터널에서부터 지표면까지의 거리를 Lange식에 대입하여 지반소음을 계산하였다.

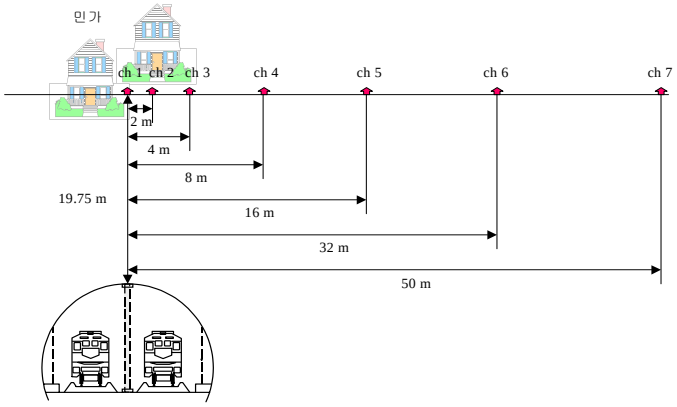


그림 5. 지하터널에서 지표면상의 진동가속도 측정위치

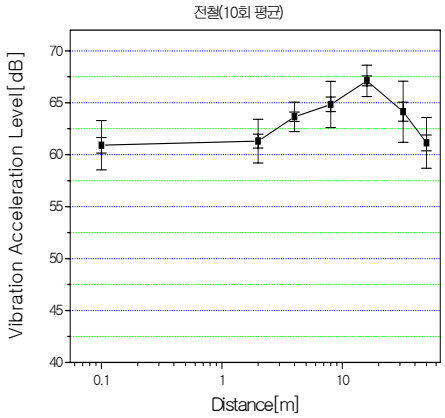


그림 6. 거리별 지반진동 측정결과의 평균값

그림 7은 Tokita식과 Lange식을 이용하여 거리별 지반소음의 예측값를 비교한 결과이다. 위의 예측식으로부터 계산된 결과는 최대 약4dB(A)정도 차이를 나타내고 있지만, 각 예측식이 각국의 실험결과를 토대로 얻어졌고, 지반진동에 의한 소음 예측오차를 고려하면 예측결과는 비교적 타당성은 있는 것으로 판단된다.

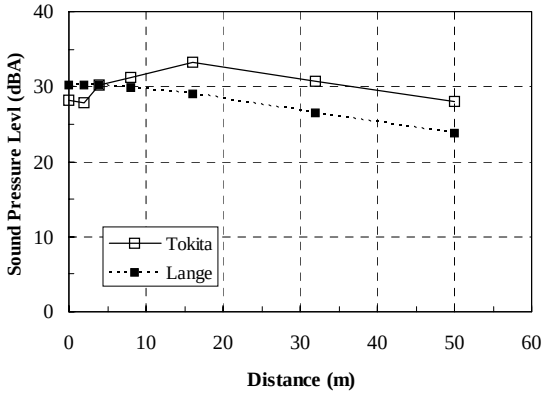


그림 7. 지반진동 측정결과를 이용한 소음 예측결과

4. 결론

본 연구에서는 지하구간에서 전동차 운행 시 지반진동에 의한 소음의 예측방법을 조사하고 예측식을 이용하여 향후 건설될 지하구간 역사의 인근 주거지역에 대한 소음의 영향을 평가하였으며, 지반진동의 실측치를 이용하여 타당성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 지하구간 철도차량 운행 시 지반진동에 의한 소음 예측식을 조사한 결과 소음 예측식은 크게 주파별 소음레벨과 총소음레벨을 예측하는 방법으로 구분되며, 주파수별 소음레벨 예측방법은 Wilson식과 Ungar & Bender식, 총소음레벨 예측방법은 Tokita식과 Lange식으로 구분된다. Wilson식, Ungar & Bender식 및 Tikita식은 지반진동의 예측결과로부터 소음레벨를 예측하며, Lange식은 지반진동의 실험결과를 토대로 지하구조물로부터 건물까지의 거리만을 대입하여 지반소음을 간단히 예측할 수 있다.

(2) 향후 건설될 지하구간에 지하철 운행 시 예측식을 이용하여 차량속도 80km/h를 기준으로 하여 지반소음을 예측한 결과 Wilson식에 의한 결과가 가장 작고 Lange식에 의한 결과가 가장 크며, 미국 APTA의 철도진동에 의한 지반소음 설계 목표치에서 일반거주지역의 목표치(35dB(A))를 만족하는 것을 알 수 있다. 그리고 Willson식과 Ungar & Bender식의 결과는 너무 낮은 소음레벨이 예측되어 Tokita식과 Lange식이 국내에 더 적합한 것으로 생각된다. 이렇게 적용된 예측식에 따라 계산결과가 상이한 것은 각국의 지반진동 특성이 상이하며, 현장측정결과를 이용해 유도한 예측식이기 때문으로 생각된다.

(3) 또한 현재 운행 중인 지하철구간에서 측정된 지반진동의 결과를 이용하여 Tokita식과 Lange식으로부터 지반소음을 예측한 결과 최대 약4dB(A)정도 차이를 나타내고 있지만, 각 예측식이 각국의 실험결과를 토대로 얻어졌고, 지반진동에 의한 소음 예측오차를 고려하면 예측결과는 비교적 타당성은 있는 것으로 판단된다. 그러나 예측결과의 정도를 향상시키기 위해서는 국내 지하철 궤도 및 지반의 특성을 고려한 예측식이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김응록(2003), “철도진동의 예측에 관한 연구”, 박사학위논문, 전남대학교.
2. 장서일 (2001), “지하철9호선의 국회부지 통과구간 소음/진동 영향 예측 및 평가 보고서”, 서울시립대학교.
3. 황선근 (1999), “철도소음의 효율적 저감방안 연구”, 한국철도기술연구원.