

< 논 문 >

지하철 운행에 의한 소음의 예측식 제안

The Proposal of a Noise Prediction Equation
due to the Subway Operation

김 희 철* · 허 영**

Heecheul Kim and Young Huh

(1996년 12월 5일 접수 ; 1997년 3월 12일 심사완료)

Key Words : Subway(지하철), Vibration(진동), Structure-borne noise(구조전달음), Ground-borne noise(지반전달음), Concrete track(콘크리트궤도)

ABSTRACT

Noise and vibration induced by subway operation is one of the major problem for the residents living nearby railway tracks. Many scientists and engineers have been working on proposing the more accurate prediction equation of noise and vibration to provide the better residential environment. Some prediction equations were determined to compare the measurement value of a noise obtained from the inside of a residential area. It was observed that the condition of a soil type is one of the major parameter which should be considered to obtain the more accurate prediction value of a noise.

1. 서 론

현대사회에서 지하철의 역할은 실로 대단히 크다고 할 수 있다. 지하철은 서울과 같은 대도시에서는 필수적으로 요구되는 대중교통 수단으로써 교통혼잡이 극심하여 도착시간을 예측할 수 없는 지상교통과는 달리 도심의 지하를 관통하여 정확한 시간에 예정된 장소에 도착할 수 있는 장점이 있다. 그러나 날로 복잡해지는 사회와 더불어 정온한 주거환경에 대한 주민들의 욕구는 더욱 높아지는 추세이며, 근래에 와서 지하철의 운행에 의한 소음과 진동은 이러한 주민들의 욕구를 충분히 만족시키지 못하고 있는 실정이다.

전동차내 소음은 1994년에 개통된 분당선을 시작으로 사회적인 문제로 제기되었는데 이것은 터널 내의 분진과 유지관리를 최소화하기 위하여 기존에 사용되던 유도상궤도를 콘크리트도상 궤도구조로 교체함으로써 발생하는 소음의 문제에 대한 충분한 검토가 이루어지지 않음으로 인한 것이다. 기존에 사용되던 유도상궤도는 자갈과 자갈사이의 공극이 차량의 운행시 발생하는 소음을 흡수하는 기능을 수행하고 있으나 콘크리트도상의 경우 이러한 소음을 흡수할 수 있는 기능이 없어 대부분의 소음이 반사되기 때문이다. 반면에 지하철의 운행에 의하여 발생하는 진동의 경우, 기존의 유도상궤도보다 방진패드를 사용한 콘크리트궤도의 성능이 더욱 우수한 것으로 나타났다.

현재 국내에서 사용되고 있는 콘크리트궤도는 두 종류인데, 그 하나는 철도청에서 도입한 일본 영단식의 변형이며 다른 하나는 서울지하철 2기에 사용

*정회원, 경희대학교 건축공학과

**정회원, 수원대학교 토목공학과

되고 있는 프랑스 Stedef 식이다. 본 조사에서는 Stedef식 계도구조를 사용한 서울시지하철 2기의 운행로 주변에서 측정된 지반진달음의 측정 및 분석을 통하여 지하철의 운행에 의한 소음예측식을 제안하는데 그 목적이 있다. 따라서 기존에 해외에서 발표된 소음의 예측식에 대한 분석을 실시하고 이들의 검토를 통하여 우리나라의 현실에 적합한 소음예측식을 제안하고자 한다.

2. 추정식의 검토 및 영향인자

2.1 전달형태에 따른 소음의 분류

지하철의 운행에 의하여 건물에서 발생하는 소음은 그 전달형태에 따라 크게 두가지 형태로 분류될 수 있다. 그 하나는 공기에 의해서 전달되는 소음 (airborne noise)이며, 다른 하나는 지하철의 운행에 의하여 발생하는 진동으로 인한 소음으로써 이는 다시 지반을 통하여 발생하는 지반진달음(ground-borne noise)과 구조물전달음(structure-borne noise)의 두 가지 형태로 분류할 수 있다.

일반적으로 공기전달음은 지반진동에 의하여 발생하는 소음보다 훨씬 크다. 그러나 본 연구에서 다루었던 구조물은 그 대상이 모두 지상의 건물로써 지하에서 운행되는 열차에 의한 소음이 공기의 전달에 의하여 발생하는 피해는 없는 것으로 판단되었다. 따라서 공기전달음에 관한 내용은 제외하였다.

구조물전달음은 지반으로 전달된 진동이 건물의 진동을 유발시킴으로 인하여 발생하는 소음으로써 건물의 벽 또는 바닥의 진동으로 인한 실내공기의 진동이 그 결과로 나타나게 된다. 또한 이러한 구조물의 진동은 건물의 창, 천정 또는 선반위의 물건을 진동시키므로써 2차 소음을 발생시키기도 한다. 그러나 이러한 2차 소음은 지반을 통하여 전달되는 지반진동이 그 원인이며 지반진동으로 인하여 발생하는 소음 또한 10~30 Hz 부근의 저주파수 성분이 대부분이므로 일반적인 소음측정계로 구조물전달소음을 분류하는 것은 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 지하철의 운행에 의하여 지반으로 전달된 소음에 관한 내용만을 그 대상으로 하였다.

지반으로 전달되는 진동과 소음은 지하철의 운행로 주변에서 가장 흔하게 발생하는 문제이므로 국내외적으로 많은 연구가 진행되고 있다. 지반진동 및 소음에 대한 예측 및 판단은 고려되어야 할 요소들이 너무나 다양하고 그 형태가 복잡하므로 매우 어려운 문제이나 그 중요성에 관하여는 모두 공감하고

있다. 따라서 본 장에서는 해외에서 연구결과가 발표되어 현재 사용되고 있는 간단한 예측식들을 소개하고 국내에서 측정된 자료에 근거하여 우리의 현실에 적합한 예측식을 제시하고자 한다.

2.2 기존 추정식에 대한 검토⁽⁵⁾

건물 내에서 발생하는 지반진동 및 소음의 크기는 일반적으로 사람이 그 느낌을 가지기 시작하는 정도이므로 약간의 크기만 증가하여도 매우 커다란 반응을 보이게 된다. 따라서 지반진동의 크기를 정확하게 예측하는 것은 매우 중요한 문제이다. 그러나 너무나 다양한 지반형태와 건물의 구조형태로 인하여 그 크기를 정확하게 예측하는 것은 매우 어려우며 그 자료를 구하는 것도 쉽지 않다. 본 절에 기술되는 예측법은 일반적으로 건물 내에서의 경험에 의존하고 있으며 상세한 해석모델이 아닌 일반적인 전달법에 기인하여 작성되었으므로 정확하지 않은 부분도 있다.

현재까지 해외에서 발표된 지하철의 운행에 의한 소음의 예측식을 간추리면 다음과 같다.

(1) Winson법

Wilson법은 미국 San Francisco의 BART와 캐나다 Toronto의 TTC를 실측하여 얻어진 결과로써 바닥에서의 평균 옥타브밴드 가속도와 상대되는 실내에서 예상되는 옥타브밴드 음압의 범위를 통한 예측법이다. 실내에 음의 흡수가 거의 없는 방과 음을 흡수할 수 있는 재료가 많은 방에 대한 상한값과 하한값을 정하여 A특성곡선은 음압옥타브밴드 스펙트럼으로부터 계산하는 방법이다.

(2) Ungar와 Bender법

지반진동에 의하여 발생하는 실내음압레벨은 다음과 같이 표현된다.

$$SPL = PWL - 10 \log S_i a + 16 \quad (1)$$

윗 식에서 S_i 는 실내면적을 나타내며, a 는 실내평균 흡음계수, PWL 은 벽을 통하여 실내로 전달되는 소리의 세기를 말한다. 또한 식 (1)에서 벽을 통하여 전달되는 효과를 1로 보고 벽에서의 가속도레벨을 rms로 표현한 음압은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$SPL = L_a - 20 \log f - 10 \log (a) + 36 \quad (2)$$

L_a : 실내의 표면적에 대한 rms 가속도 값 ($10^{-6}g$)

f : 주파수 (Hz)

식 (2)에서 일반적인 실내의 경우 실내평균흡음계수 a 는 약 0.15로 본다.

(3) Tokita법

본 방법은 실험에 의하여 산출된 것으로서 주택실내의 A특성 소음과 지반진동의 관계를 다음과 같이 나타내고 있다.

$$L_a = 0.88L_v(dB, 10^{-5}m/sec^2) - 17 \quad (3)$$

L_a : 주택 실내의 A특성 소음
 L_v : 지표면의 진동

실내음압은 구조물의 설계, 구조적 유연성에 따라 상당한 차이를 보이고 있다.

(4) Lange법

Lange는 실험을 통하여 지하철 운행로 주변 및 상부에 있는 주택의 지하실 및 지반과 접한 실내에서의 A특성 지반전달음을 예측하는 식을 제안하였다. 실험을 통하여 얻어진 자료는 식 (4)에 의하여 얻어진 값과 약 10dB 내외의 차이로 나타났다.

$$L_a = 59 - 20 \log(d) \quad (dBA) \quad (4)$$

d : 지하철 구조물로부터 건물까지의 거리(m)

식 (4)는 차량형태, 터널형태, 차량의 속도 및 조건, 트랙의 형태 및 조건, 터널과 건물의 조건과 같은 매우 다양한 자료를 통하여 얻어진 것으로서 이러한 자료들은 Kurzweil, Manning 등에 의하여 활용되어 건물에서의 A특성 소음레벨을 예측하는데 사용되었다.

기준에 발표된 예측법에서 보는 바와 같이 지반으로 전달되는 소음의 예측은 지반진동의 크기에 좌우되므로 지반진동의 크기를 정확하게 예측할 수 있다면 지반전달소음은 쉽게 그 크기를 예측할 수 있다. 위에 열거한 4가지의 추정법 중에서 Wilson법과 Ungar에 의하여 제안된 예측법이 가장 발전된 방법으로 볼 수 있다. 그러나 소음의 경우 Lange에 의하여 제안된 식이 실측을 통하여 얻어진 예측식으로 우리나라의 상황에 맞게 적합하게 조절하기도 편리하며 실무자들이 사용하기에도 간편하므로 본 연구에서는 Lange의 식을 수정하여 소음의 크기를 추정하기로 한다.

2.3 소음에 영향을 미치는 인자

지반진동에 의한 소음의 크기에 영향을 주는 요소는 무수히 많으나 크게 차량, 레일, 침목, 터널구

조, 지반상태, 터널구조로부터의 거리와 건물의 구조 등을 들 수 있다. 지금까지 국내외에서 발표된 문헌에 의하면, 차량바퀴와 레일의 관리상태에 따라 터널구조와 인근의 건물에서 측정된 진동은 100 Hz 부근에서의 주파수에 대한 진동차가 약 4~8 dB 정도로 나타났다. 또한 차량 저어널(journal) 스프링의 공진주파수를 25 Hz에서 10 Hz로 내릴 경우 16~30 Hz 부근의 지반진동이 상당히 감소하는 것으로 발표되었다. 침목과 터널의 구조가 지반으로 전달되는 진동에 상당한 영향을 미친다는 것은 일반적으로 잘 알려진 사실이므로 이에 대한 기술은 생략하기로 한다.

본 연구는 Stedef 계도를 사용한 지하철이 그 대상이며 위에 기술한 많은 영향인자들이 이미 결정된 상태이다. 또한 차량, 레일 및 침목의 종류는 본 연구범위에 속하지 않으며 전체 노선이 동일한 조건을 가지고 있으므로 제외되었다. 본 연구의 목적은 지하철 시험운행에 의한 건물의 진동 및 소음을 측정하여 적합한 예측식을 도출하는 것이므로 터널구조, 터널구조로부터 건물까지의 거리, 지반상태 및 건물의 구조에 대한 인자만을 조사대상으로 하였다. 그러나 소음측정대상 건물의 구조가 모두 철근콘크리트조의 저층 주택으로써 동일하며 터널의 구조 또한 복선터널구조로써 동일하였으므로 영향을 미치는 인자는 터널구조물로부터 건물까지의 거리와 지반상태이므로 이 두가지 인자만을 이용한 예측식을 설정하고자 한다.

3. 소음의 측정 및 분석

Stedef 계도는 지금까지 사용하여 오던 자갈도상이 아닌 콘크리트도상을 사용하였으므로 운행시에 발생하는 소음에 차이가 있다. 이러한 차이는 자갈 사이의 공극에 흡수되던 공기전달음이 철근콘크리트에서는 거의 반사되어 발생하는 현상으로 공기전달음에 의한 차이이다. 또한 지반으로 전달되는 진동에 의하여 발생하는 지반전달음에도 자갈과 탄성패드에서 흡수되는 진동의 양이 다르고 이로 인하여 발생하는 진동의 주파수 성분에도 차이가 있다. 따라서 본 연구에서는 지하철의 운행에 의하여 발생하는 운행로 주변의 주택에 전달되는 지반전달음의 크기와 성질, 지하철 플랫폼에서 승객들이 느끼는 소음의 차이 및 역사 근무자들이 느끼는 소음의 차이 등을 파악하기 위하여 다음과 같은 측정을 실시하였다.

Table 1은 소음측정이 실시된 장소 및 위치를 나타내고 있으며 측정 시에 사용된 장비의 구성도는 Fig. 1과 같다. 소음측정시 마이크로폰의 위치는 바닥으로부터 1.5 m 높이에 설치하였으며 측정은 31.5Hz에서 8000 Hz 까지를 그 범위로 하여 1옥타브밴드 및 O. A. 값을 기록하였다. 현장에서 측정된 1옥타브밴드에 대한 결과는 계측기에 보관되어 연구실의 컴퓨터로 옮겨졌으며 F. F. T. 분석 및 1/3옥타브밴드 분석은 연구실에서 수행되었다.

3.1 측정결과

현장에서의 측정은 각 지점별로 상행선과 하행선을 분리하여 각각 약 3~8회 씩 수행되었으며 수행된 결과는 주파수 분석을 통하여 각 지점에서의 주파수 평균치를 구한 후 각 주파수대역별 평균주파수에 대한 O. A. 값을 산출하였다. 각 측정점에서의 평균주파수에 대하여 1/3옥타브밴드로 분석하였으며 Table 2에서는 측정장소, 시간, 열차가 운행하지 않을 때의 암소음레벨 및 열차운행 시 측정된 O. A. 값을 기록하였다.

3.2 주파수대역별 분류

현장에서 측정된 자료는 Table 3에서 보는 바와 같이 31.5 Hz에서 8000 Hz까지의 주파수대역별로 분류하여 지하철 운행 시에 발생하는 소음에 대한 특정주파수를 파악하였다. Table 3은 각 지역의 주택에서 측정된 주파수 대역별 측정자료를 나타낸 것으로서 주택의 경우 어느 특정주파수 대역이 다른 주파수 대역에 비하여 두드러지게 상승하는 현상이 없이 일반적으로 비슷한 크기를 나타내고 있는 것을 볼 수 있다. 그러나 지하철이 운행하기 전에 측정된 소음의 주파수 대역과 운행시에 측정된 소음의 주파수 대역을 비교해보면 125 Hz이하의 저주파수 대역

의 소음이 다른 주파수 대역에 비하여 많이 증가하는 현상을 볼 수 있다. 이러한 현상은 지반진동에 의한 저주파성분의 지반전달음이 특히 영향을 미치기 때문인 것으로 판단된다(Fig. 2~Fig. 5 참조).

3.3 거리별 분류

측정된 소음의 크기를 터널구조물로부터 측정점까지의 거리별로 분류하였다. 거리별 분류는 구조물의

Table 1 소음측정장소 및 위치

| 측정 장소 | 측정 위치 |
|---------|---------------|
| 504 | 1층 큰방 |
| 519-1,2 | 1층 큰방, 2층 작은방 |
| 507 | 1층 작은방 |

Table 2 소음측정결과

| 장 소 | O.A. (dB) |
|-------|-----------|
| 504 | 54.82 |
| 507 | 62.00 |
| 519-1 | 41.35 |
| 519-2 | 40.93 |

Table 3 주택내부 소음의 주파수대역별 분류

| 중심주파수 (Hz) | 504 | 507 | 519-1 | 519-2 |
|------------|-------|------|-------|-------|
| 31.5 | 0 | 18.0 | 0 | 0 |
| 63 | 43.40 | 34.5 | 33.83 | 31.90 |
| 125 | 46.86 | 39.0 | 34.82 | 32.44 |
| 250 | 46.56 | 47.0 | 24.88 | 28.32 |
| 500 | 45.85 | 54.5 | 25.39 | 27.04 |
| 1000 | 42.81 | 52.5 | 24.43 | 24.30 |
| 2000 | 44.69 | 54.0 | 29.90 | 29.78 |
| 4000 | 44.78 | 52.5 | 33.06 | 32.96 |
| 8000 | 46.54 | 55.5 | 35.92 | 36.07 |
| O.A. | 54.82 | 62.0 | 41.35 | 40.93 |

Table 4 거리별 주택내부에서의 소음크기비교

| 측정지점 | 504 | 519-1 | 507 |
|-----------|------|-------|------|
| 측정거리 (m) | 15.2 | 8.4 | 17.6 |
| O.A. (dB) | 54.8 | 41.4 | 62.0 |

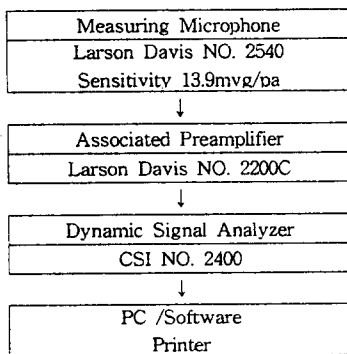


Fig. 1 소음측정장비 구성도

종류, 지반형태, 열차의 운행속도와 같은 제반조건이 같은 상황에서 측정된 자료를 가지고 비교를 하여야 하나, 본 연구에서는 동일지점에서 거리별로 측정된 자료가 없으므로 주택에서 측정된 자료만을 가지고 거리별 분류를 수행하였다.

Table 4에 나타난 바와 같이 터널바닥의 중심으로부터 불과 8.4 m의 거리에 있으나 8.4 dB을 기록한 반면 이보다 멀리 떨어진 504 지점과 507 지점은 더욱 큰 소음의 측정치를 나타내고 있다. 또한 504 지점과 507 지점을 비교해 보더라도 거리에 관계없이 소음의 크기가 더 커진 것을 알 수 있다.

본 측정대상 구조물은 건물의 구조가 철근콘크리트조로 동일하며 터널구조 또한 복선터널로써 동일한 구조를 가지고 있다. 열차의 운행속도에 약 10 km/h의 차이가 있으나 운행속도에 의한 차이는 약 3dB정도인 것을 감안하더라도 이러한 차이는 거리에 관계없이 영향을 주는 다른 요소가 있음을 알 수 있다.

3.4 지반별 분류

건물내부에서 느끼는 소음은 지반의 진동으로 인한 지반전달음이 대부분이므로 터널구조로부터 건물까지 펼쳐져 있는 지반의 성질은 건물내의 소음 및 진동크기에 매우 큰 영향을 미친다. 따라서 건물하부의 지반형태를 분류하여 그 특성을 파악하는 것은 소음 및 진동의 크기를 예측하는데 매우 중요한 요소이다. 본 절에서는 건물 하부의 토질형태에 따른 소음의 크기변화를 분석하였다.

Table 5에 나타난 바와 같이 건물의 하부가 토사층만으로는 구성되어 있는 경우의 소음레벨은 지하철 구조물로부터의 거리가 가깝더라도 소음의 크기가 적은 반면, 암반이 일부 형성되어 있는 경우의 소음레벨은 거리가 멀더라도 소음레벨이 더 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 특히 연암이나 경암과 같

Table 5 지반형태 및 거리별 주택에서의 소음크기

| | 504 | 519-1 | 507 |
|-------------|------------|------------|---------------------------------|
| 측정거리(m) | 15.2 | 8.4 | 17.6 |
| 측정점하부의 지반형태 | 잔류토 풍화암 | 잔류토 매립토 | 매립토 충적토 풍화토 풍화암 연 암 |
| Overall(dB) | 54.8 | 41.4 | 62.0 |

이 단단한 암반층으로 연결된 경우의 소음은 고주파성분의 에너지에 대한 흡수가 적어서 진동이 거의 전달되므로 건물에서 느끼는 소음의 크기가 매우 큰 것을 알 수 있다. 동일한 지반조건을 가진 경우의 소음크기는 거리에 따라 달라지나, 지반조건이 서로 다를 경우에는 거리와 무관하게 멀리 떨어져 있어도 소음의 크기는 매우 커질 수 있으므로 그 영향이 더욱 중요하게 고려되어야 할 것으로 판단된다.

3.5 지반전달음(Groundborne Noise)

열차의 운행에 의하여 발생하는 지반전달음의 특성 및 크기를 파악하기 위하여 열차가 운행하지 않을 때의 암소음과 운행시의 소음을 측정하여 그 비교를 하였다. Fig. 2~Fig. 5는 주택에서 측정된 암소음

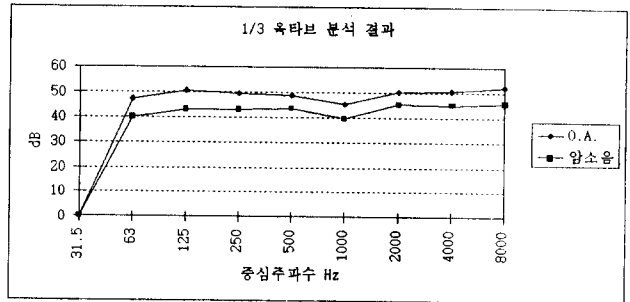


Fig. 2 504 지점에서의 소음과 암소음레벨

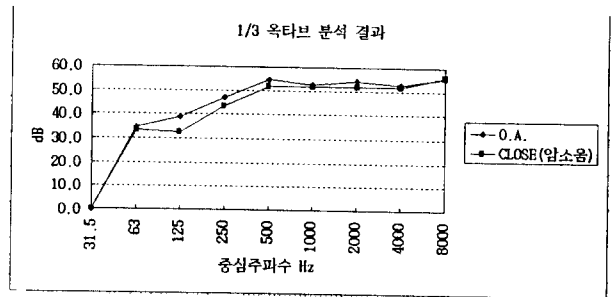


Fig. 3 507 지점에서의 소음과 암소음레벨

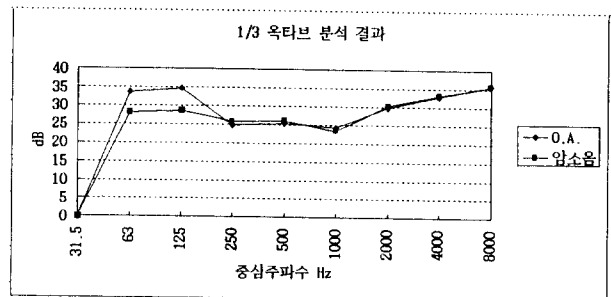


Fig. 4 519지점에서의 소음과 암소음레벨

과 열차운행시의 소음을 주파수별로 분석한 결과로써 504 지점과 507 지점에서는 전 주파수대역에서 크게 상승하는 현상을 보이면서 전체적으로도 O. A. 값이 많이 상승하는 것을 볼 수 있다. 그러나 519 지점에서는 63 Hz~125 Hz의 저주파수 대역만이 증가하는 현상을 뚜렷이 볼 수 있으며, 507 지점에서도 125 Hz 대역의 주파수가 특히 증가하는 현상을 볼 수 있다.

이와 같은 현상이 발생하는 것은 3.4절에 기술한 바와 같이 건물 하부의 지반형태에 따른 현상으로써 하부에 연암 또는 경암과 같이 단단한 암반이 형성되어 있는 경우는 전체적인 상승현상을 보이는 반면, 토사층이 두껍게 형성되어 있는 경우는 저주파수 성분만이 전달되는 현상을 보이고 있다. 따라서 지반전달음을 정확하게 파악하기 위해서는 0~31.5 Hz 대역과 같은 저주파수 성분을 제대로 측정할 수 있도록 측정기의 조절이 필수적으로 선행되어야 할 것으로 판단된다.

4. 예측치와 실측치의 비교 및 예측식의 정립

4.1 제안식의 산정

본 연구의 결과로써 제안되는 추정식은 실측에 기인한 것으로써 앞서 기술한 Lange에 의하여 제안된 식 (4)를 수정하여 사용하고자 한다. 식 (4)는 거리에 따른 인자만을 포함하고 있으며 거리 또한 20 m 내로 제한되어 있으므로 그 사용범위가 협소한 단점이 있으나 일반적으로 지반을 통하여 전달되는 소음이 문제가 되는 지역은 대부분 지하철의 운행로로부터 20 m 내에 위치하고 있으므로 거리상의 문제는 어느 정도 적절하다고 할 수 있다.

그러나 지반전달소음은 차량의 운행에 의한 지반의 진동이 주 원인이므로 지반의 형태에 따른 진동의 차이가 필수적으로 고려되어야 할 것으로 판단된다. Lange에 의하여 제안된 식에 지반형태에 따른 지반진동의 차를 포함한다면 현재의 식에서 발생하는 10 dB의 오차보다 더욱 정확한 추정을 할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 지반형태에 따른 인자를 추가로 고려하여 다음과 같은 추정식을 제안하였다.

$$L_A = 50 - 9 \log(d) + S \quad (5)$$

S : 지반형태에 따른 계수로써

암반이 있는 경우 : 15

풍화토, 잔류토, 매립토등으로만 구성된 경우 : 0

4.2 제안식에 의한 예측

본 연구의 대상이었던 주택가는 한 지역을 제외한 모든 지역이 지하철 운행로로부터의 직선거리가 20 m 내에 위치하고 있었다. 따라서 각 위치별로 Lange가 제안한 추정식에 의한 예측치와 제안식에 의한 예측치를 계산하여 비교해 보면 다음과 같다.

(1) Lange의 추정식에 의한 예측치

504지점 : $35.4 \pm 10\text{dB}$

519지점 : $34.5 \pm 10\text{dB}$

507지점 : $34.1 \pm 10\text{dB}$

(2) 제안식에 의한 예측치

504지점 : 54.4dB

519지점 : 41.7dB

507지점 : 53.8dB

지금까지 국내외에서 사용되고 있는 예측식을 본 연구의 대상인 서울지하철에 적용한 예는 거의 없다. 서울시의 2호기 지하철(5호선~8호선)은 지금까지 국내에서 사용해 오던 유도상케도와는 달리 프랑스의 Stedef사로 부터 기술을 도입한 콘크리트 침묵의 하부에 탄성받침을 사용한 궤도구조로써 과거의 궤도보다 진동은 더욱 적은 것으로 알려져 있다. 반면에 콘크리트 궤도는 자갈에 비하여 음을 흡수하는 기능이 적으므로 공기전달에 의한 소음의 발생은 더욱 심한 것으로 나타났다.

Table 6은 Lange의 예측식 및 제안식에 의한 예측치와 현장에서의 실측치를 비교한 것으로써 각 측

Table 6 실측치와 예측치의 비교

| 위치 | 거리 (m) | 토질 분포 | 측정치 | 예측치 | | | |
|-----|---------|-------------------------|------|---------|---------|------|---------|
| | | | | Lange 식 | 오차율 (%) | 제안식 | 오차율 (%) |
| 504 | 15.2 | 잔류토 풍화암 | 54.8 | 35.4 | 35.4 | 54.4 | 0.7 |
| 519 | 1층 8.4 | 매립토 잔류토 | 41.4 | 40.5 | 2.1 | 41.7 | 0.7 |
| | 2층 10.5 | | | | | | |
| 507 | 17.6 | 매립토 충적토 풍화토 연암 | 62.0 | 34.1 | 45.0 | 53.8 | 13.2 |

정점에서의 조건을 같이 보여주고 있다. 대상지역의 터널형태와 건물의 구조는 모두 동일한 조건을 가지고 있으며, 터널구조로 부터의 거리와 건물하부의 토질형태만이 각각 다른 조건을 가지고 있다. 따라서 터널로부터의 거리와 토질형태에 따른 인자만을 고려한 예측식의 도입은 무리가 없는 것으로 판단된다.

Table 6에 나타난 바와 같이 새로이 제안된 예측치는 측정치와 최대 13.2%에서 최소 0.2%의 차이를 보이는 반면, Lange의 예측치는 최대 60.9%에서 최소 2.1%의 오차를 보이고 있다. 이러한 차이는 토질의 성질에 따른 인자의 포함여부에 따라 좌우되는 것으로 판단되나, 507 부근 주택의 경우 거리가 17.6 m 떨어져 있으나 62.0 dB 정도의 소음치를 기록하는 이유는 압반의 영향 또는 건물의 진동주기와 지반전달진동의 주기가 어느 대역에서 일치하고 있는 두 가지 요인중의 하나일 것으로 추측된다.

5. 결론

서울지하철 2호기는 지금까지 사용되어 오던 유도상케도의 단점을 보완하기 위하여 프랑스의 Stedef 사로부터 기술을 도입하여 콘크리트케도를 사용하였으며 진동의 감소를 위하여 케도하부에 탄성체인 고무패드를 삽입하였다. 이러한 방법은 국내에서 최초로 시도되는 것이므로 이에 대한 영향을 평가하는 것은 매우 중요하다. 새로이 개통되는 서울지하철 2호기의 소음·진동에 대한 영향을 파악하기 위하여 시험운행 중인 서울지하철 5호선의 지반상부 및 운행로 주변의 주택내외부에서 측정을 수행하였다. 또한 실측결과를 바탕으로 향후 비슷한 조건을 가진 상태에서의 소음 및 진동에 대한 보다 정확한 예측을 위하여 서울시에서 사용하기에 적합한 새로운 예측식을 제안하였다.

케도시스템의 변경으로 인하여 발생하는 소음에 대한 영향을 평가하기 위하여 다음과 같은 측정이 실시되었다. 소음의 측정부위는 지하철의 운행로 인 근주택 내부를 주대상으로 하였으며 각 지점에서 3~8회의 측정을 실시한 후, 연구실에서 주파수 분석을 실시하였다. 측정을 실시한 결과 파악된 현상을 기술하면 다음과 같다.

(1) 지반형태별로 소음의 크기를 분석한 결과, 주택에서 느끼는 소음의 크기는 거리보다 건물의 하부에 구성된 토질의 성격이 더 큰 영향을 주는 것으로

나타났다. 하부가 토사층으로만 구성된 경우 거리가 멀더라도 크기가 적으나, 지하에 암반층이 형성되었을 경우에는 거리가 멀더라도 소음의 크기가 더 크게 발생할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 토사층으로만 형성되었을 때의 주파수 성분은 진동이 전달되는 동안 고주파수 성분이 많이 감소되는 경향이 있으나, 암반층이 형성되어 있을 경우에는 특정한 주파수 성분의 감소가 없는 것으로 나타났다.

(2) 지반전달음(groundborne noise)의 경우 63 Hz~125 Hz 대역의 저주파수 성분에 대한 소음이 많이 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 지반전달음의 성질을 정확하게 파악하기 위해서는 일반적인 소음의 측정시에 사용되는 0~8 kHz 대역의 소음을 측정하는 것보다 대역을 좁혀서 500 Hz 이하까지의 소음만을 측정하는 것이 더 효율적일 것으로 판단된다.

이상과 같은 결론에 의거, 지금까지 지하철의 운행에 의한 건물의 소음 정도를 예측하는 식으로 많이 사용되어온 Lange의 식을 수정하여 새로운 소음 예측식을 제안하였다. Lange의 식은 실측한 결과를 토대로 작성되었으나, 예측거리가 20 m 내인 단점이 있으며 그 오차 또한 10 dB로써 본 연구의 대상으로 선정된 지역에서는 2.1%~60.9% 정도로 오차율이 매우 크게 나타났다. 이는 전술한 바와 같이 소음의 크기에 큰 영향을 미치는 지반형태를 고려하지 않고 거리에 따른 결과만을 분석하였기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 건물의 하부에 형성된 지반의 성질에 따른 특성을 고려할 수 있는 새로운 예측식을 제안하였다. 본 연구의 결과로 제안된 식도 최대 8.2 dB의 차이는 있으나 전체적으로 그 오차율이 0.2%~13.2%로써 실측치와 상당히 근접한 값을 제공하고 있다. 본문에 제공된 새로운 제안식을 다시 기술하면 다음과 같다.

$$L_A = 50 - 9 \log(d) + S$$

S : 지반형태에 따른 계수로써

암반이 있는 경우 : 15

풍화토, 잔류토, 매립토등으로만 구성된 경우 : 0

그러나 본 연구의 결과로 제시한 새로운 예측식도 10% 이상의 오차율이 발생하고 있는 지역도 있다. 본 예측식은 서울시 일부지역의 다섯 측정점에서 각각 3~8회의 측정에 의한 결과만을 토대로 작성된 것이므로 아직까지 완전하다고 할 수 없으며, 거리에 따른 사항은 Lange의 기본식을 응용한 것이므로 그

한계가 있을 것으로 판단된다. 따라서 보다 정확한 예측식의 정립을 위해서는 향후 다양한 지역에서 보다 많은 측정을 통하여 토질의 성질에 따라 적절한 조절을 하여야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- (1) Cyril M. Harris, 1994, "Noise Control in Buildings," R. R. Dinnelley & Sons Co.,
- (2) Leo L. Beranek, 1988, "Noise and Vibration Control" McGraw-Hill Inc.,
- (3) Hugh J, Saurenman, James T. Nelson, George P. Wilson, 1982, "Handbook of Urban Rail Noise and Vibration Control", NTIS.
- (4) Leonard G. Kurzweil, Robert Lotz, 1978, "Prediction and Control of Noise and Vibration in Rail Transit System", NTIS.
- (5) Paul J. Remington, Nicholas R. Dixon, Larry E. Wittig et al, 1983, "Control of Wheel/Rail Noise and Vibration".
- (6) G. P. Wilson, 1971, "Groundborne Vibration Levels From Rock and Earth Based Subways", Wilson, Ihrig & Associates, CA. for Deleuw, Cater & Company, Washington D. C.