

부유궤도의 진동·소음 특성 평가

Evaluation of Vibration and Noise character on the Floating Slab Track

허영^{*1}, 이상진^{**2}, 김기훈^{**3}, 이인세^{**4}

Hun young^{*1}, Lee sang jin^{**2}, Kim gi hun^{**3}, Lee in se^{**4}

Keywords : *Vibration and Noise of Floating Slab Track*(부유궤도의 진동 소음),

Slab Track(직결 궤도), *Floating Slab Track*(부유 궤도), *Vibration and Noise* (진동 소음)

Abstract

As one of countermeasures for vibration and noise source which come from train operation in subway system, the heavy-weighted tunnel structure and the low-vibration track design have been adopted. In recent the low-vibration concrete track have been constructed to enhance the maintenance effectiveness as well as the reduction of vibration.

This paper is explaining and evaluating of the characteristics of vibration and its effects comparing to the ballast track, concrete track, and full surface supported floating slab track installed on Express bus terminal in Seoul subway No. 7 line.

1. 서론

지하철 운행 시 발생하는 진동, 소음으로 인한 문제의 해결을 위해서 사용되는 대책은 터널의 중량화와 같은 토목구조물에서의 대책과 방진궤도 구조의 설치를 통한 진동원 대책이 있다[1]. 현재 국내 지하철에서는 지하철 유지관리의 효율성 증가와 진동대책으로 방진 콘크리트 도상 궤도가 부설되고 있다.

본 논문의 목적은 국내 지하철 본선구간 중 서울지하철 7호선(고속터미널역)에 유일하게 부설된 전면지지 방식의 부유궤도에 대하여 진동 특성과 저감효과를 평가함에 있다. 또한 국내 지하철에서 사용되는 타 콘크리트 도상 궤도별 진동을 측정하여, 부유궤도와의 진동 특성을 비교 평가하였다. 측정된 궤도는, 현재 국내 지하철 지하구간에서 부설되고 있는 대표적인 궤도시스템이며, 그 종류는 아래와 같다.

1. KRTC 부유궤도,
2. STEDEF 궤도,
3. ALT-1 궤도,
4. L.V.T 궤도,
5. 방진상 궤도,
6. 자갈도상 궤도

측정은 진동의 경우, 0 ~ 200 Hz 또는 500 Hz까지의 범위를 측정하였다. 지하철 진동의 경우, 인근

*1. 정희원, 수원대학교 토목공학과 허영 교수

*2. 정희원, (재)한국철도기술공사 전무

*3. 정희원, (재)한국철도기술공사 이사

**4. 비희원, (재)한국철도기술공사 과장

의 건물과 같은 민원이 발생하는 수진점에서의 진동은, 진동이 지반을 통과하여 오는 동안 높은 주파수는 감쇠하며, 수진점에서 측정되는 진동의 주요 주파수는 80 Hz까지의 범위 내에 포함되어 있으므로[2], 수진점에서는 80 Hz까지만 측정하여도 충분하나, 본 측정의 목적은 부유궤도의 방진성능을 파악하기 위해, 도상에서의 진동을 비교하기 위해, 그 보다 훨씬 큰 주파수인 200 또는 500Hz까지 측정하였다.

진동과 함께 운행 시 발생하는 소음도 측정, 비교하였다. 소음의 경우 20kHz까지를 1/1 옥타브 밴드로 실시하였다. 이는 1/3 옥타브 밴드 보다 1/1 옥타브 밴드로 표시하는 것이 주파수 분포의 파악을 통한 소음의 특성을 보다 용이하게 볼 수 있기 때문이다[3].

2. 측정

2.1 측정조건

총 6가지의 궤도종류 중, 비교대상인 고속터미널역과 유사한 측정조건을 가지고 있는 역을 도면을 이용하여 선정하였다. 부유궤도가 정거장 구간에만 설치되어 있으므로, 가장 중요한 고려조건으로 역사의 구조와 노선의 직선도를 고려하여 선정하였다.

측정현장은 모두 승강장이며, 운행열차의 속도가 일정하지 않다. 측정의 목적이 고속터미널역 구내에 설치된 부유궤도의 진동 저감능력을 알기 위한 것으로, 다른 궤도 종류들과의 정확한 비교를 위하여 가능한 한 발생하는 진동 크기에 영향을 미치는 인자의 수를 줄여야 한다. 발생하는 진동의 크기 및 특성에 영향을 미치는 여러 영향인자 중, 가장 중요한 영향인자는 열차의 통과속도로, 열차의 속도에 따라 진동 및 소음은 그 크기 뿐 아니라 주파수 성분도 달라진다. 따라서 열차 속도를 일정하게 하여 측정하는 것이 가장 좋다. 그러나 제공된 측정조건이 열차의 운행 중임으로, 열차운행 속도가 일정한 상태에서의 측정은 불가능하였다. 따라서 측정시간을 변경해 가며 측정하여, 분석을 통해 적절한 결과를 도출하였다.

2.2 진동

연구 대상인 부유궤도의 경우, 승강장 내에만 부유궤도가 설치되어 있으므로, 승강장 구내에서 발생하는 진동만을 측정하여야 한다. 그러나 이를 위한 측정조건을 정확히 결정하는 것은 어렵다. 따라서 가능한 한 승강장 외에서의 진동이 포함되지 않게 하기 위해, 측정시간을 변경해가며 여러 차례 측정 후 분석과정을 통해 파악의 목적에 합당한 진동을 선택하였다.

진동의 측정은 각 측정현장에서 측정시간대별로 최대 5회까지 수행되었고, 측정된 값들을 주파수 분석하여 그 특성을 파악하였다.

부유궤도에서의 측정은 사진 1 및 그림 1과 같으며, 다른 궤도에서의 측정은 방진구조 전과 직후에 각각 측정 ①과 ②를 설치하고, 측정 ③은 부유궤도에서의 측정 ③과 유사한 위치에 설치하였다. 예를 들어, STEDEF궤도의 경우, 측정 ①은 침목 상에 위치하며, 측정 ②는 도상에 설치되었다. L.V.T궤도, 방진상 궤도, 자갈도상 궤도의 경우도, STEDEF궤도에서와 동일한 방법으로 설치되었다. 그러나 ALT-1궤도에서는 체결구 위에 센서를 설치할 수 없으므로, 측정 ②와 ③만으로 방진성능을 비교하였다.

측정에는 SCIENTIFIC ATLANTA사의 F.F.T ANALYSER와 DYTRAN사의 ICP 타입

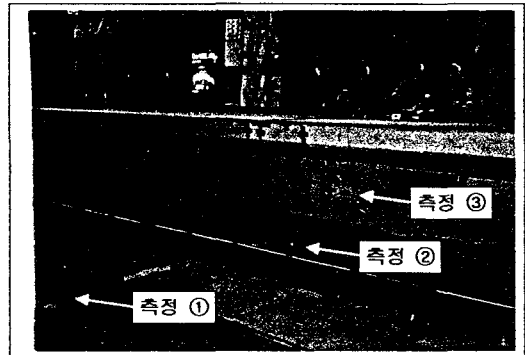


사진 1. 진동측정 사진

센서를 사용하였으며, 센서의 감도는 m/sec^2 당 500 mV이다.

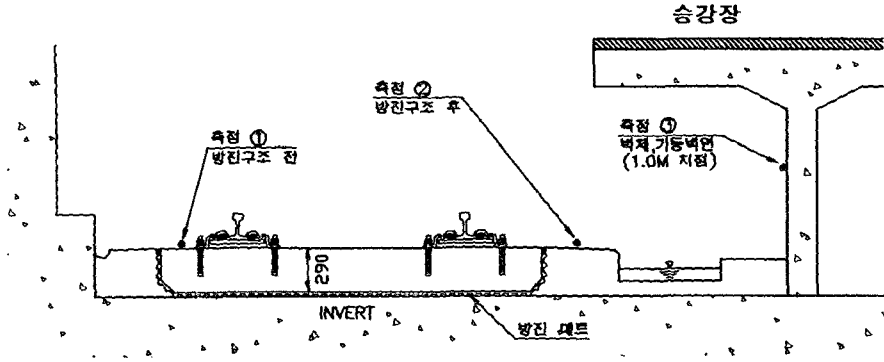


그림 1. 진동측정 위치도(예:부유궤도 도상 단면의 측정 위치)

2.3 소음

소음측정의 목적은 승강장 내의 소음에 미치는 승강장 궤도구조의 영향을 구하기 위한 것으로, 본래 계획된 소음 측정위치는 사진 2 및 그림 2 와 같다. 그러나 이 그림에 나타난 측정점 ①의 경우, 열차 운행시의 측정여건 상 생략하였다. 이는 본 측정의 목적이 부유궤도의 소음 발생 특성을 구하는 것이므로, 측정점 ①의 경우, 본선 구간의 소음이 주로 포함될 것임으로, 본 측정의 목적과는 직접적인 관계가 없는 것으로 판단되었기 때문이다. 따라서 측정시, 이 측정점을 제외하고, 열차가 승강장 구내를 통과할 때 승강장 종점에서의 소음을 추가로 측정하였다.

즉, 승강장 내에서 열차의 진입 시와 출발 시 및 진출 시의 소음을 측정하였으며, 측정결과 는 O.A.값만으로 나타내었다.

소음측정에 사용된 MICROPHONE은 LARSO-N·DAVIS사의 모델2540으로, 감도는 13.9 mv/Pascal이다. 또한 먼저 Rion사의 보통소음계인 NL-05을 이용하여 측정조건을 파악한후, F.F.T ANALYSER를 이용한 정밀 측정을 함께 실시하였다.

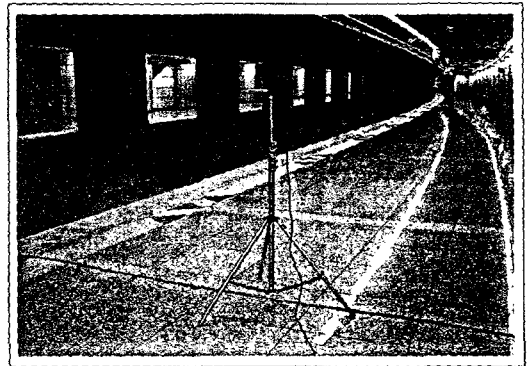


사진 2. 소음 측정 사진

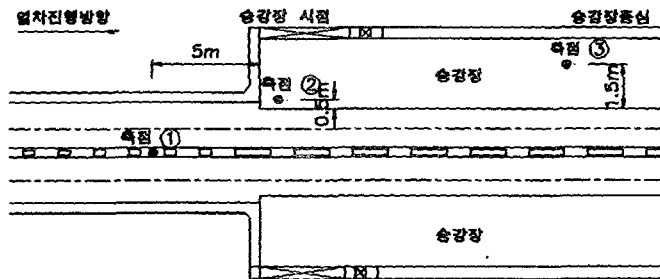


그림 2. 소음측정 위치도

3. 측정결과

3.1 열차속도 변화 측정

앞에서 언급한 것처럼, 본 측정은 열차의 정규운행 중에 수행되어야 하였으므로, 측정 중 열차의 속도는 항상 변화였다. 그러나 사전 조사에 의해 열차의 출발부터 30초까지는 거의 일정한 가속도로 열차가 가속되는 것을 알았다. 따라서 승강장의 중앙에서 열차 출발 시부터 열차의 맨 끝 부분이 승강장 중앙을 지나는데 걸리는 시간을 측정하여 가속도를 구하였으며, 이로부터 각 측정시간의, 길이에 따른 열차의 위치를 구하였다. 그림 3 과 그림 4 는 열차 출발 후 5초와 10초 후의 위치이다. 침고로 부유궤도가 설치된 역에서의 L_1 과 L_2 는 각각 8.8m와 35.3m이다.

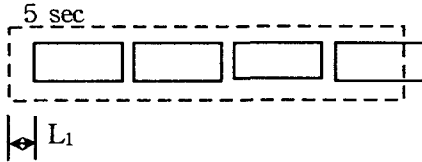


그림 3. 출발 5초 후

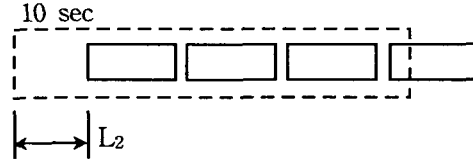


그림 4. 출발 10초 후

3.2 진동

먼저 부유 궤도 자체의 진동 효과를 알아보면, 발생원이라 할 수 있는 측정점 ①에서의 진동치와 방진매트를 통과한 측정점 ②에서의 진동치를 측정시간별로 정리하여 나타낸 것이 표 1 이다.

표 1. 부유궤도의 측정 시간별 진동 저감량

측정시간 측점	각 측정 시간별 O.A [dB]						평균치
	5 sec	10 sec	15 sec	20 sec	25 sec	30 sec	
측점 ①	99.8	104.9	95.3	105.7	107.4	98.5	101.9
측점 ②	42.3	43.0	36.0	47.2	44.1	39.2	42.0
저감량 (①-②)	57.5	61.9	59.3	58.5	63.3	59.3	≒ 60.0

상기 표에서 알 수 있는 바와 같이 부유궤도의 진동 저감효과는 평균 60dB로 진동 저감에 있어 그 효과가 크다는 것을 측정을 통하여 확인할 수 있었다. 또한 타 콘크리트 도상 궤도와 자갈궤도의 진동 저감에 있어 측정 시간별로 비교 한 결과는 아래 표 2 와 표 3 과 같다.

표 2. 타 콘크리트 도상 궤도의 측정 시간별 진동 저감량

측정시간 측점	각 측정 시간별 O.A [dB]						평균치
	5 sec	10 sec	15 sec	20 sec	25 sec	30 sec	
측점 ①	98.8~71.8	100.7~98.2	104.2~93.1	112.5~107.5	111.2~105.0	111.1~107.9	101.6
측점 ②	51.8~49.2	78.9~47.9	82.3~46.2	86.6~59.1	88.6~58.7	86.7~61.8	63.8
저감량 (①-②)	49.1~20.0	52.8~19.8	58.0~10.8	53.4~20.9	52.5~19.9	49.3~21.2	≒ 37.8

표 3. 자갈케도의 측정 시간별 진동 저감량

측정시간 측점	각 측정 시간별 O.A [dB]						평균치
	5 sec	10 sec	15 sec	20 sec	25 sec	30 sec	
측점 ①	87.4	80.1	97.2	102.0	99.3	103.5	95.0
측점 ②	43.1	50.6	52.1	62.3	64.1	58.1	55.0
저감량 (①-②)	44.3	29.5	45.1	39.7	35.3	45.4	≈ 40.0

이상의 표 1~3에 나타난 바와 같이 진동 감쇠 측면에 있어 가장 효과가 큰 것은 부유케도이며, 타 콘크리트 도상 케도의 경우도 별도의 방진재를 사용함으로써 일반 자갈도상 케도수준의 진동 저감 효과를 기대할 수 있음이 확인 되었다.

3.3 소음

소음의 경우, 진입부(시점), 역 중앙, 진출부(종점)에서 보통소음계인 NL-05를 사용한 O.A.값과 정밀 측정에 의한 주파수 분석을 실시하였다. 열차 운행 시 케도 구조의 차이만에 의한 발생 소음을 비교하기 위해, 운행 방법에 따라 달라지는 소음은 측정에 포함시키지 않기 위해 노력하였다. 예를 들어 squeal noise는 케도종류와 관련이 없는 것임으로, 측정 시 squeal noise가 발생하면 저장하지 아니 하였으며, 측정 시 승강장 구내에서 발생하는 스피커음도 순수한 열차운행에 의해 발생하는 소음이 아님으로 포함시키지 아니하였다.

각 케도 구조별 소음도의 파워 평균한 dB(A)의 값을 표로 나타내면 아래 표 4 와 같다.

표 4. 각 케도구조별 소음 측정값

케도구조별 측정위치	소음 측정 결과 O.A값의 평균값 [dB(A)]			
	정거장 시점	정거장 중앙	정거장 종점	평균치
부 유 케 도	87.5	88.3	93.6	89.8
콘크리트도상 케도	91.7	89.1	93.1	91.3
자갈도상 케도	86.3	79.6	87.5	84.5

이상의 측정 결과에서 알 수 있는 바와 같이 터널 내 소음에 있어 일반적으로 알려진 바와 같이 자갈도상 구간이 효과가 있음을 알 수 있다. 그러나 열차운행 중 지하구간에서의 선로 보수 및 유지관리 여건 등을 종합적으로 고려할 때 콘크리트 도상 케도화는 세계적인 추세에 있으며, 최근에는 차내 승객에게 소음영향을 줄이기 위하여 차량방음을 향상시키는 등 개선을 꾀하고 있다.

끝으로 상기 측정 결과에 따라 부유케도 System의 진동·소음에 대한 효과를 증명할 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 부유케도 System의 적용에 있어서는 고가의 공사비와 현장 적용조건 및 진동·소음 저감의 필요성 등 종합적인 검토에 따라 적용되어야 할 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] 지하철5,7,8호선 궤도공사 시공감리용역: 지하철 소음·진동 저감대책수립2차, (1996. 4)
- [2] K.Krell; Handbuch für Lärmschutz an Straßen und Schienenwegen, Otto Elsner verlagsgesellschaft (1980)
- [3] J.D.Irwin and E.R.Graf; Industrial Noise and Vibration Control, Prentice-Hall (1979)