

도시철도 지반진동 예측을 위한 FRA 진동평가방법의 개선

Modification of FRA' method for prediction of ground-borne vibration in urban railway

최유복*†, 양신추**, 이호룡***

Yoo Bok Choi^{*†}, Sin Chu Yang^{**}, Ho Ryong Lee^{*}

Abstract In this paper, an empirical method for the prediction of ground borne vibration level in urban railway is presented. The general procedure of vibration assessment follows that of the method developed by Federal Railroad Administration(FRA). However, main factors affecting vibration level are modified considering the conditions of train, track, tunnel etc. in domestic urban railway. Vibration levels in the resident buildings neighboring to Keong-ui line are assessed using the presented method.

Keywords : Ground borne vibration, Empirical method, Analytical Method, Prediction of vibration level, Urban railway

초 록 철도 지반진동대책을 수립하는데 있어서 진동레벨을 정확하게 예측하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다. 지금까지 지반진동을 예측하기 위한 수많은 경험적 또는 수치해석적 방법 등이 제시되어 왔다. 지반진동레벨은 차량, 궤도, 터널, 그리고 지반조건 등 다양한 요소에 의하여 영향을 받기 때문에 신뢰수준으로 진동을 예측할 수 있는 일반적 방법은 거의 없다고 할 수 있다. 미국 철도국(FRA)에서는 다년간의 국가적 연구를 통하여 진동평가방법을 정립하여 매뉴얼화하였는데, 이 방법은 현재 국제적으로 가장 많이 적용되고 있다. 그러나 이 평가방법도 미국의 철도환경을 토대로 된 것으로 국내 도시철도에 적용하는데 있어서는 한계가 있다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 미국 FRA에서 제시한 진동예측방법의 절차를 따르되 진동에 영향을 주는 각각의 요소들에 대해서는 국내 철도에서 계측자료들을 토대로 수정하여 적용하는 방법을 제시하였다.

주요어 : 지반진동, 경험적 방법, 해석적 방법, 진동레벨예측, 도시철도

1. 서 론

철도 지반진동대책을 수립하는데 있어서 진동레벨을 정확하게 예측하는 것은 매우

† 교신저자: 한국철도시설공단 KR연구원 (bchoitj@kr.or.kr)

* 한국철도시설공단 KR연구원

** 한국철도기술연구원 고속철도연구본부

*** 한국철도시설공단 기술본부

중요하다고 할 수 있다. 지금까지 지반진동을 예측하기 위한 수많은 경험적 또는 수치해석적 방법 등이 제시되어 왔다. 지반진동레벨은 차량, 궤도, 터널, 그리고 지반조건 등 다양한 요소에 의하여 영향을 받기 때문에 신뢰수준으로 진동을 예측할 수 있는 일반적 방법은 거의 없다고 할 수 있다. 미국 철도국(FRA)에서는 다년간의 국가적 연구를 통하여 진동평가방법을 정립하여 매뉴얼화하였는데[1], 이 방법은 현재 국제적으로 가장 많이 적용되고 있다. 그러나 이 평가방법도 미국의 철도환경을 토대로 된 것으로 국내 도시철도에 적용하는데 있어서는 한계가 있다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 미국 FRA에서 제시한 진동예측방법의 절차를 따르되 진동에 영향을 주는 각각의 요소들에 대해서는 국내 철도에서 측정자료들을 토대로 수정하여 적용하는 방법을 제시하였다.

2. 진동평가 절차

진동레벨평가는 미국 교통국(FTA)에서 발간한 지반진동 영향평가 매뉴얼[1]에서 제시한 방법의 기본 프레임을 따른다. 지반진동레벨 산정은 다음과 같다. 먼저 사전에 구축된 차량유형별 궤도중심으로부터 철도연변 건물까지 이격거리에 따른 진동레벨 선도를 활용하여 평가대상 건물위치에서의 진동레벨을 산정한다. 다음으로 사전에 구축된 이격거리별 진동레벨선도는 평가하고자 하는 철도프로젝트에서의 차량, 궤도, 구조물, 그리고 지반 등의 조건과 상이한 조건에서 구축된 것이므로 이들 차이에 대한 진동영향을 각각 보정한다.

3. 선로부터 이격거리에 따른 진동레벨 선도 구축

본 평가에서도 이격거리 증가에 따른 진동감소량은 FTA의 매뉴얼과 같은 수준으로 가정하였다. 그러나 초기 진동레벨은 이미 개통중인 경의선구간에서 발생하는 진동 특성을 고려하여 수정·보완하였다.

운행중인 경의선 구간 3K400(대흥동), 4K800(창전동), 5K720(동교동) 지점에서 전동차가 열차속도 80km/h로 주행할 때 상세평가를 통하여 예측된 진동레벨을 이격거리에 따라 나타내면 Fig. 1과 같다. 이들 중 3K400(대흥동), 4K800(창전동) 두 지점에서는 개착식 터널이 토사와 암반 층 중간을 통과하며, 5K720(동교동) 지점에서는 개착식 터널이 토사층을 통과하고 있다. 이들 결과로부터 전동차에 대해서는 용산~공덕 구간에서도 터널이 토사층을 관통하는 경우에는 Fig. 1에서 제시한 바와 같이 5K720(동교동) 지점의 상한치를 통과 선도, 즉 (1) 토사관통터널의 선도를 적용하는 것으로 하였다. 또한 토사와 암반을 관통하는 터널은 3K400(대흥동), 4K800(창전동) 지점들 중 가장 큰 예측치를 통과하는 선도, 즉 (2) 암반/토사관통터널의 선도를 적용하는 것으로 하였다. 마지막으로 암반을 관통하는 터널은 토사와 암반 층들 중간을 통과하는 3K400(대흥동), 4K800(창전동) 지점들 중 하부에 진동이 작게 발생하는

3K400(대흥동) 지점의 진동예측치의 상한치를 통과하는 선도, 즉 (3) 암반관통터널의 선도를 적용하는 것으로 하였다.

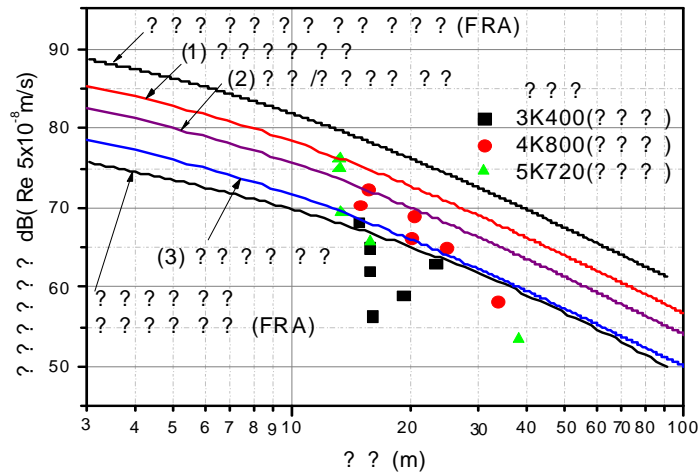


Fig. 1 Ground-borne vibration curves according to separation distance from the track center

4. 진동영향요소 보정

4.1 열차속도보정

그림 1에서 나타난 궤도중심으로부터 건물까지 이격거리에 따른 진동레벨 선도는 전동차의 경우는 열차속도가 80km/h 일 때를 기준으로 작성된 것이다. 용산~공덕간 위치별로 열차속도가 다르기 때문에 각 위치에서 진동레벨을 예측하기 위해서는 열차속도 차이에 따른 진동레벨의 보정이 필요하다.

도시철도 차량에 대한 열차속도에 따른 진동레벨 차이에 대한 보정은 다음 식으로 나타낸다.

$$\Delta V(dB) = 20 \text{Log} \frac{\text{실제열차속도}}{\text{기준열차속도}(80\text{km/h})} \quad (1)$$

4.2 궤도수직강성에 따른 진동레벨 보정

차량주행에 따라 차량과 궤도의 상호작용에 의하여 발생하는 진동레벨은 궤도강성에 크게 의존한다. 일반적으로 궤도강성이 적을수록 진동레벨은 작아진다. 체결구 하부에 콘크리트노반이 있는 경우 궤도강성은 레일의 휨강성과 체결구의 수직강성의 조합으로 결정되지만 레일은 주로 60kg레일을 사용하기 때문에 궤도강성을 결정하는 것은 체결구의 수직강성이라 할 수 있다.

측정, 계측 및 평가를 통하여 구축된 체결구 강성에 따른 진동저감레벨은 그림 2와 같다.

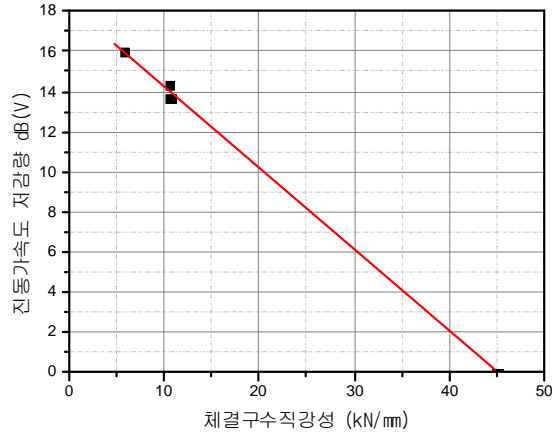


Fig. 2 Reduction of vibration level according to the vertical stiffness of a fastening system

4.3 기타 진동영향요소 보정

기타 진동영향요소들에 대한 보정은 FTA 진동평가 매뉴얼과 경의선 공덕~가좌간 진동발생 특성을 고려하여 문헌 [2]에서 제시한 바와 같이 보정하였다.

5. 수정된 평가방법을 적용한 지반진동레벨 산정

앞서 제시한 진동평가 방법을 사용하여 경의선에 인접한 10개 건물들에서 평가한 진동레벨은 다음과 같다. Table 1은 진동을 평가하는데 필요한 기초 입력 체원이며, Table 2는 진동평가 결과이다.

Table 1 Basic parameters for the prediction of vibration level

번호	이격거리					선로	전동차 열속도	분기	궤도 유형	터널구조 불형식	터널지반(암반, 토사)	토사층 높이 (m)	터널위치	거리 따른 진동 레벨용 식	건물 유형	
	수평거리 (m)			수직거리 (m) (터널바닥)	대각선거리 (m)										지상층	지하층
	가까운 중심까지 거리	궤도 중심까지 거리	총수평거리													
1	40.1	4.5	44.6	19.00	48.5	상선	80	없음	SFC	터널	암반	11.98	토사-암반관통	2	24	
2	35.8	4.5	40.3	24.50	47.2	상선	80	없음	SFC	터널	암반	12.75	토사-암반관통	2	24	
3	27.8	0.0	27.8	23.00	36.1	상선	80	없음	SFC	터널	암반	12.19	토사-암반관통	2		
4	22.6	0.0	22.6	22.40	31.8	상선	80	없음	SFC	터널	암반	12.69	토사-암반관통	2	17	
5	16.7	4.5	21.2	20.90	29.8	상선	80	없음	SFC	개착	토사	13.21	토사관통	1	21	
6	16.8	4.5	21.3	12.80	24.9	상선	80	없음	SFC	개착	토사	15.21	토사관통	1		
7	15.8	4.5	20.3	12.50	23.8	상선	80	없음	SFC	개착	토사	15.20	토사관통	1		
8	12.7	4.5	17.2	11.60	20.7	상선	80	없음	SFC	개착	토사	15.25	토사관통	1		
9	13.4	4.5	17.9	11.40	21.2	상선	80	없음	SFC	개착	토사	15.40	토사관통	1		
10	16.7	4.5	21.2	11.10	23.9	상선	80	없음	SFC	개착	토사	15.19	토사관통	1		

Table 2 Results of the predicted ground-borne vibration level

번호	거리에따른진동레벨 (dB)	열차속도 (dB)	분기기 (dB)	궤도유형 (dB)	터널 구조물 (dB)	지반조건 (dB)	암반전파 (dB)	건물 (dB)	건물공진 (dB)	층간전파 (dB)	진동평가 예측진동레벨 (VdB)
1	61.6	0.0	0	0	0	0	0	-3	6	0	64.6
2	61.9	0.0	0	0	0	0	0	-3	6	0	64.9
3	64.5	0.0	0	0	0	0	0	-3	6	0	67.5
4	65.8	0.0	0	0	0	0	0	-3	6	0	68.8
5	69.1	0.0	0	0	0	0	0	-3	6	0	72.1
6	70.8	0.0	0	0	0	0	0	-3	6	0	73.8
7	71.2	0.0	0	0	0	0	0	-3	6	0	74.2
8	72.4	0.0	0	0	0	0	0	-3	6	0	75.4
9	72.2	0.0	0	0	0	0	0	-3	6	0	75.2
10	71.1	0.0	0	0	0	0	0	-3	6	0	74.1

3. 결 론

본 연구에서는 미국 FRA에서 제시한 진동예측방법의 절차를 따르되 진동에 영향을 주는 각각의 요소들에 대해서는 국내 철도에서 계측자료들을 토대로 수정하여 적용하는 방법을 제시하였다. 제시된 방법을 적용하여 실제 도시철도구간에서 선로와 인접한 10개 건물에서의 진동레벨을 평가하였다. 제시된 평가방법은 국내 도시철도 차량, 궤도, 터널 등의 조건을 토대로 구축된 것으로서 국내 도시철도의 지반진동레벨을 평가하는데 잘 적용될 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] Federal Transit Administration (2006), Transit noise and vibration impact assessment, Office of planing and Environment Federal Transit Administration, FTA-VA-90-1003-06
- [2] S. C. Yang, (2014), Countermeasure of the ground borne vibration at the dwelling buildings neighboring to Kyeong-ui line, Korea railroad research institute