

지하철진동 예측식의 사용성 판단을 위한 실측값과 예측값의 비교

허 영*, 이승수*, 김희철**, 신한철***, 이인세****

A Comparison between Measurement Values and Prediction Values for the Decision of
Applicability of Vibration Prediction Equations

Y. Huh, S.S.Yi, H.C.Kim, H.C.Shin, I.S.Yi

ABSTRACT

Prediction of vibration induced by subway operation has been studied through comparison between the measurement values and the estimated values which proposed by other scientists to determine the adequacy of each equation. It was found from this study that the Wilson's prediction equation gives the best overall approximation value although the peak frequency band lies somewhat higher than that obtained from measurement.

1. 서론

지하철에서 발생하는 진동의 원인은 매우 다양하나, 차량에 의한 것과 레일에 기인하는 두가지 종류로 대별된다. 이 중 레일에 기인하는 진동은 다시 레일의 휨에 의한 성분과 레일 및 차량의 거칠기에 기인하는 성분의 두가지로 나뉘어 질 수 있다.

지하철 운행시 이와 같은 다양한 원인에 의해 발생하는 진동은 터널이나 터널주위 지반의 재료적 또는 기하학적인 동적 특성에 의해 진동의 크기 및 진동주파수의 성분이 변화되어, 주위의 지표면 또는 건물 등의 수진점에 도달할 때는 발생된 진동과는 그 동적 특성을 매우 달리한다.

이와 같이 지하철진동이 지반을 거쳐 주위의 수진점에 도달한 후에 진동의 크기뿐 아니라 진동주파수 등을 예측하는 것은 구조물의 설계와 함께 민원의 예방 및 이의 해결을 위해 주요한 문제이

다.

그러나 진동원을 궤도시스템을 포함하는 터널로 볼 때, 터널로 부터 지반을 거쳐 주위의 수진점에 전달될 때 까지의 진동전파 경로상에서 진동의 동적 특성을 변화시키는 많은 요인으로 인해 수진점에서의 진동의 크기를 예측하기란 매우 어려운 것으로 이에 관한 연구는 국내외에서 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 서울시 제2지하철 노선에서 발생하는 진동을 터널 내부 및 외부에서 측정하고, 발생하는 진동을 변화시키는 요인에 따라 이를 분석하여, 해당노선 주위에서의 진동환경을 파악하였다.

이와 함께 측정값을 여러 예측식에 의한 추정결과와 비교하여 각 예측식을 적용하기 위한 사용성을 검증하였다.

이와 함께 본 연구에서는 국내의 지반조건에 맞는 예측식 개발을 위한 시도로, 지반의 동적 특성 변화에 가장 큰 영향을 미치는 인자인 기하감쇠와 재료감쇠를 측정값들로부터 유도된 감쇠곡선식에 의해 고려하는 예측식을 개발하여 그 사용 가능성을 나타내었다.

이러한 연구의 결과는 추후에 계획되는 지하철

* 수원대학교
** 경희대학교
*** 서울시 지하철 건설본부
**** 철도기술협회

노선에서의 진동의 크기를 예측하고, 필요시 진동 저감 대책을 사전에 수립하여 시공에 반영할 수 있는 시간적 여유를 갖기 위해서도 적용될 수 있을 것이다.

2. 기존추정식

지반에서의 진동크기를 추정하기 위한 기존의 추정식들은 크게 나뉘 다음과 같이 분류할 수 있다.

- (1) 사용되는 진동의 표현에 따라,
 - 속도를 이용한 추정식
 - 가속도를 이용한 추정식
- (2) 추정되는 결과물에 따라,
 - 1/1옥타브 밴드별 진동레벨을 추정하기 위한 추정식 : Wilson 모델, Ungar & Bender 모델.
 - O.A.값만을 구하기 위한 추정식 : Tokita 모델, 뉴욕 지하철 진동 예측 모델, 일본 지하철 추정식.

이중 본 연구에서는 동원가능한 장비를 사용하여 진동이 인체에 영향을 미치는 정도를 나타내는 VL값으로의 판단을 위해 가속도를 측정하였으므로 위의 여러 방법들 중 가속도를 이용한 추정식을 사용하여 예측하였다.

즉, 가속도에 따른 옥타브 밴드별 진동레벨의 예측과 함께 O.A.값만을 구하는 예측 방법 모두를 사용하였고, 예측값과 측정값을 비교하여 각 예측 방법에 따른 예측결과의 질을 판단하였다.

사용된 예측식들은 참고문헌에 상세히 설명되어 있다.

3. 진동 측정 및 분석

진동의 측정은 각 현장에서 측정별로 5회에서 10회 정도 수행되었고, 측정에 의해 얻어진 값들을 1/3옥타브 분석한 후에 각 중심주파수별 VAL(dB)

값으로 나타내고, 이들의 산술평균값을 구해 그 측정에서의 진동크기로 하였다.

진동 측정시에 사용된 장비의 장비의 구성도는 <그림 1>에 나타나 있다. 또한 예측식에 의한 결과와 비교하기 위해서 1/1옥타브밴드 표현과 함께 O.A.값으로 결과를 나타내었다.

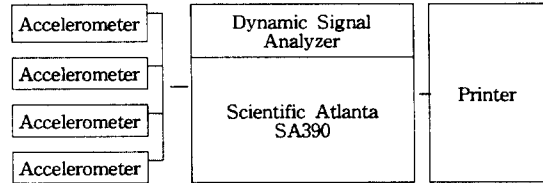


그림 1 진동 측정 장비 구성도

4. 예측결과 및 실측치와의 비교

여기에서는 2장에서 언급된 예측식들에 의한 진동의 예측값들의 1/1옥타브밴드로의 표현과 O.A. 값들이 측정값들과 함께 비교되어 있다.

4.1. 1/1 옥타브 중심주파수별 비교

Wilson추정식의 적용시 문제점은 대부분의 현장에서 토질주상도에 표시된 지반을 지하철 통과지반으로 할 때 보다 암반과 토사지반 양쪽을 통과하는 터널로 하여 예측식을 사용하여 측정하는 것이 측정값에 더 근접한 결과를 나타내었다는 것이다.

예로 <그림2>의 길동현장의 토질주상도에 따르면 암반관통의 경우로 판단되나, 이 보다는 암반과 토사지반 양쪽을 통과하는 경우가 중심주파수별 진동의 분포와 함께 O.A.값도 측정값에 더 가까운 결과를 나타내었다.

이와 같이 지반종류에 따른 예측결과의 변화가 <그림3>에 나타나 있다.

한편 Ungar & Bender방법에 의한 예측결과는 거의 모든 측정에서 가장 큰 진동예측치를 나타내고 있어, 국내 여건에서는 비교적 사용하기가 덜 적합한 방법으로 판단되었다.

앞에서 설명된 방법에 의한 예측결과가 <표 1>에 측정값과 함께 비교, 표시되어 있다. 이에 따르

면 위에서 언급한 것처럼, Ungar & Bender에 의한 예측이 가장 큰 결과를 나타내고 있으며, Wilson방법에 의한 결과는 비교적 측정진동에 근접한 결과를 나타내는 것을 볼 수 있다. 또한 이표에서 “수원대”로 표시된 것은 수원대에서 수행한, 밴드별 예측에 의한 결과로 사용가능한 예측결과를 보이고 있다.

위에서 언급된 결과를 중심주파수별로 비교하기 위해 <그림4>와 <그림5>에 복선박스 및 복선터널단면에 대해 나타나 있다.

이에 따르면 Wilson방법의 경우, 8Hz이하의 저주파 영역과 대략 200Hz 이상의 주파수영역에서 측정진동에 비해 큰 값을 나타내었다.

가장 큰 진동은 대부분 63Hz에서 나타났으나, 측정값은 많은 현장에서 31.5 Hz가 가장 높은 값을 보이는 주파수이었다.

이는 진동원 또는 지반의 차이에 기인하는 것으로 우리의 지반에 맞는 기준진동의 개발에 의해 좀 더 정확한 예측이 가능할 것으로 판단된다.

측정지점	길동 성운 주차장			
	深度	層厚	地質	
Scale(m)				
2	3.4	3.4	모래	13.37 ↓ 복선 BOX
4				
6	6.8	3.4	모래	
8				
10	15.5	7.5	풍화암	
12				
14				
16				
18	24.0	8.5	연암	
20				
22				
24				
26	End of Boring			

그림 2 길동현장의 토질주상도

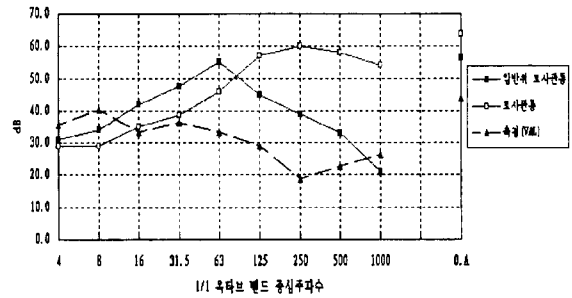


그림 3 지반종류에 따른 예측값의 변화

측정장소	측정치 O.A.(dB)				예측치 O.A.(VAL)			단면 형태
	VAL	VL	압진동		Wilson	Ungar & Bender	수원대	
			VAL	VL				
김포공항	56	44	40	38	62	68	62	복선 BOX
길동	48	44	37	36	61	68	52	
고덕동	57	51	42	25	62	68	60	
답십리	52	43	40	34	61	68		복선 터널
배재중학교	57	42	41	32	61	69		
마천동	69	54	51	38	56	65		

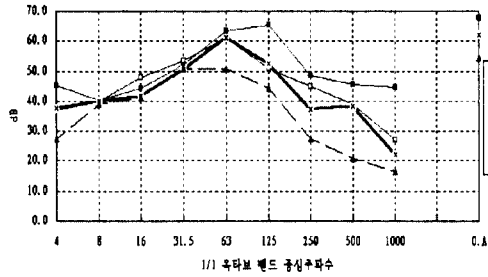
표 1 예측값과 실측값의 비교

4.2. O.A.별 비교

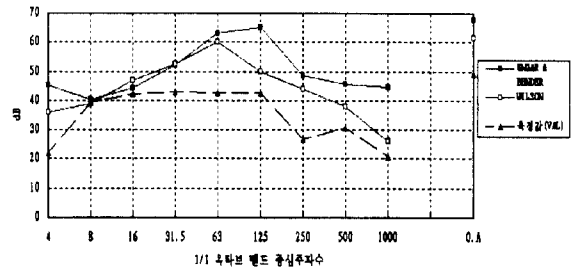
여기에서는 O.A.값만에 의한 예측방법인 뉴욕지하철방법과 일본의 영단지하철방법에 의한 예측을 수행하여, 이를 측정으로부터 구해진 진동의 인체보정값인 VL값과 비교하여 <그림 6>에 나타내었다.

이에 따르면, 두 방법에 의한 예측결과는 측정값에 비해 일정한 경향을 나타내지 않는다.

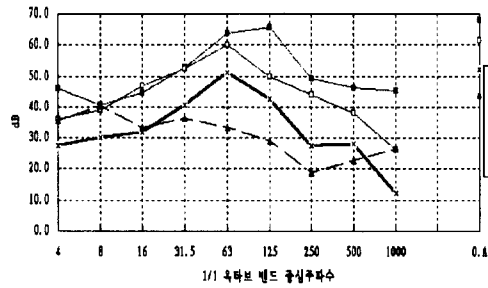
즉, 예측결과는 경우에 따라 측정값에 비해 크거나 또는 작거나 하여 비교적 신뢰도가 떨어지는 것으로 판단될 수 있다.



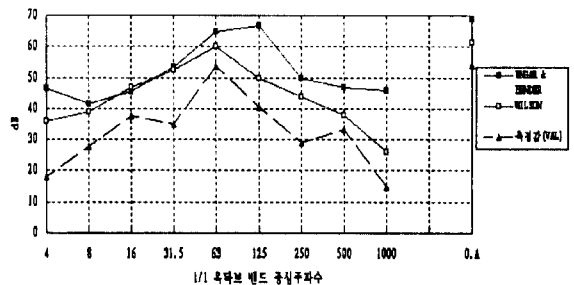
a)



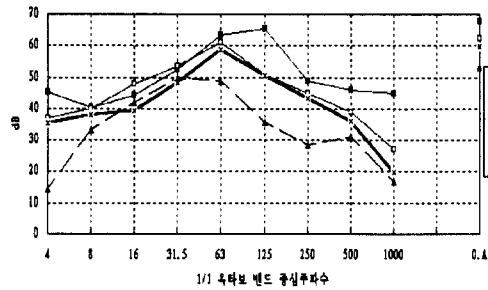
a)



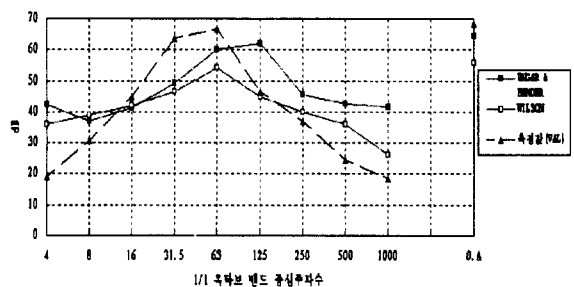
b)



b)



c)



c)

그림 4 예측값과 측정값의 비교 : 복선Box단면

- a) 김포공항
- b) 길동
- c) 고덕동

그림 5 예측값과 측정값의 비교 : 복선터널단면

- a) 답십리
- b) 배재중학교
- c) 마천동

5. 결론

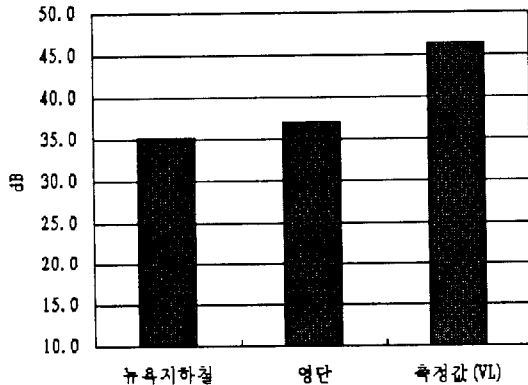
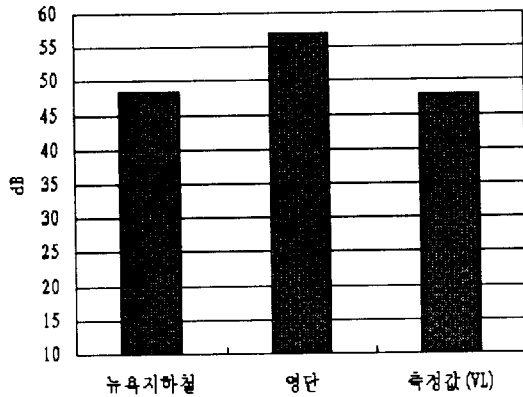
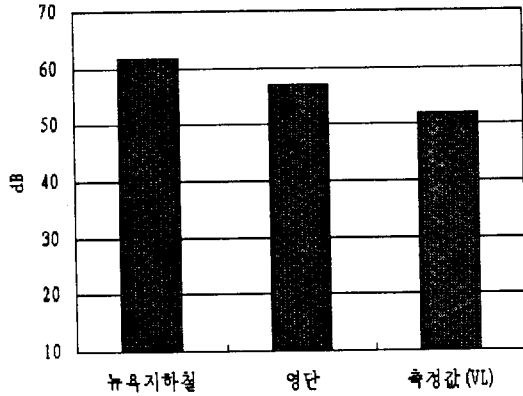


그림 6 예측값과 측정값의 비교 : O.A값의비교

본 연구는 서울특별시 2기 지하철노선에서 지하철 운행시에 발생하는 진동을 측정하여 노선주위의 진동환경을 파악하고, 측정된 진동을 예측식에 의한 진동예측값과 비교하여 예측식 적용시의 불확실성을 줄이기 위한 것이다.

본 과제에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

예측결과에 관해:

- 기존 1/1옥타브밴드별 예측방법중 Wilson 방법이 Ungar & Bender방법 보다 우수하였으나, Wilson방법도 어떤 지반의 기준진동을 사용하느냐에 따라 큰 차이를 보였다.
- Wilson방법의 경우, 토질주상도에 의해 지반종류를 결정하지 않고 암반과 토사지반 양쪽을 통과하는 경우로 하는 것이 대부분 가장 좋은 결과를 보였다.
- Ungar & Bender방법에 의한 예측값은 대부분의 경우 가장 큰 예측값을 보였다.
- O.A.예측값을 구하는 예측방법인 뉴욕지하철방법과 영단지하철 방법은 측정값에 비해 크거나 작았으나 일정한 경향을 보이지 않았다.
- 본 연구에서 개발된 진동저감식에 의한 예측은 비교된 현장에서 대부분 가장 우수한 결과를 나타내었다.

측정값의 경우, 측정된 진동의 크기는 지하철단면과는 연관성을 나타내었으나, 지반과는 뚜렷한 관련을 보이지 않아 지반에 따른 진동의 분류는 불필요한 것으로 판단되었다.

또한 본 논문에서는 지면상 나타내지 못하였으나, 진동저감을 위해 서울시에서 채택한 레일연삭기를 마장동에 투입하여, 레일연삭전·후에 측정된 진동측정값을 비교한 결과, 레일연삭은 좋은 진동저감대책인 것으로 판단되었다.

이와 함께 일부지역에서는 예측값뿐 아니라 측

정값도 규제치보다 낮은 진동크기를 보이거나 진동에 의한 민원이 제기되고 있다. 이는 대부분 고체음에 의한 것으로 판단되며, 이를 저감시키기 위해서는 밴드별뿐 아니라 특정 주파수에서의 진동저감이 필요한 것으로 사료된다.

유사 연구 수행자를 위하여 본 과제수행중에 얻어진 필요 추후연구를 나열하면 다음과 같다.

(1) 기준진동의 작성을 위한 연구

Wilson방법의 적용시 언급된 것 처럼, 본 과제에서 측정이 수행된 거의 모든 현장의 경우 토질주상도에 나타난 지반의 종류와는 달리, 대부분 암반과 토사지반 양쪽을 통과하는 지하철에 대한 기준진동을 적용하면 다른 기준진동 적용의 경우보다 측정값에 더 근접한 결과를 나타내었다.

이에 의하면 본 연구과제가 수행된 서울의 경우에는 동일한 크기의 기준진동을 사용하여도 좋은 예측값의 획득이 가능하지 않을까란 가정이 성립되는 것을 의미하며, 이러한 국내 지반을 가장 잘 표현하는 기준진동을 만들기 위한 추후연구의 수행이 요구되어진다.

(2) 기하감쇠곡선 작성을 위한 연구

한 지역에서 얻어진 기하감쇠곡선을 동일 단면의 타지역에 적용하여도 좋은 결과를 얻었다.

이는 서울 지반의 경우, 진동전달특성이 유사한 것을 의미하며, 이에 따라 보다 많은 측정값들의 통계적 처리에 의해 기하감쇠곡선을 개발하면 다른 단면에서의 적용도 가능할 것으로 기대된다. 이를 위한 지속적인 측정과 함께 보다 우수한 통계적 처리기법에 의한 기하감쇠곡선의 개발연구가 필요한 것으로 사료된다.

이외에 진동의 유해 정도의 판단을 하기 위해 속도측정에 의한 방법의 적용등 보다 정확한 측정 결과를 얻을 수 있는 측정기법의 개선연구도 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. J.T. Nelson and H. J. Saurenman, "State of the art review: Prediction and control of groundborne noise and vibration from rail transit trains", Report No. UMTA-MA-06-0049-83-4, Wilson, Ihrig and Associates, 1983.
2. G.P. Wilson, "Ground-borne vibration levels from rock and earth based subways", (Report) Wilson, Ihrig & Associates, Oakland, CA. for DeLeuw, Cather & Company, Washington, DC 1971.
3. E. K. Bender, U. J. Kurze, K. S. Lee, and E. E. Ungar, "Predictions of subway-induced noise and vibration in buildings", Phase 1, (Report) Bolt, Beranek & Newman, Inc., Cambridge, MA, BBN-1823. for: Washington Metropolitan Area Transit Authority 1969.
4. Y. Tokita A. Oda, K. Shimizu, and K. Kimura, " On the groundborne noise propagation from a subway", (Conference paper) Presented at 96th Meeting of the Acoustical Society of America, Honolulu, HI, 1978.
5. L. G. Kurzweil and E.E. Ungar, "Prediction of noise and vibration in buildings near the New York City subway", Proceedings, Inter-Noise, 82, 1982.