

고속철도 운행에 의한 진동전달특성에 관한 연구

A Study on the characteristics of transferring vibration induced by the operational High-speed Train

배동명* 백용진** 박상곤*** 강상중****

Bae, Dang Myung Back, Young Jin Park, Sang Gon Kang, Sang Jung

ABSTRACT

The vibration induced by high speed train running on rail is dealt with as an environmental problem.

The train induced vibration is characterized by moving loads of specific frequency contents and soil conditions. In fact, various sources are involved the wheel distance, number of cars, speed of operation, drift of rails, structural form vibration, etc.

In this paper the characteristics of transferring vibration induced by the operational high-speed train is discussed. And the field measurements was conducted at region from Chungnam Yungi So-jung-myan to Chungbuk Chungwon hyun-do-myun. In the future is would be proposed the fundamental data for establishment of the countermeasure for vibrational reduction of high speed train using the results of the field measurements and quantitative prediction of the vibration level

1. 서 론

고속철도 시스템은 고속화를 목적으로 최적설계 개념에 의해 설계되므로 일반 철도에 비해 차량 및 하부 구조물에 큰 진동을 발생하기 쉽다. 열차의 속도가 그다지 높지 않은 최근까지 철도차량 운행시 발생하는 진동으로 인해 철도구조물이 파손되거나, 큰 진동이 인접구조물로 전파되어 구조물의 흔들림, 균열, 수면방해 등으로 인한 사회적 문제를 일으킨 사례는 거의 없었지만, 열차가 고속(200km/h 이상)으로 될 때 진동의 영향은 심각해지므로 이에 대한 엄밀한 대책을 강구해야 된다는 것은 선진외국의 사례를 통해 경험한 바 있다. 현재 시공중인 경부고속철도의 경우 기존의 data가 전무한 상태이며, 현재까지 사용되고 있는 고속철도 data는 일본의 신간선이나 프랑스의 TGV 의 data로서 국내지형여건에 적합하지 않아 현재 시공중인 구간의 인접건물이나 주민에게 미칠 환경영향평가 자료로 사용하기에 부적합하다. 이에 본 논문에서는 현재 시험운행 중인 충남연기소정면~충북청원현도면(34.4km) 구간에서의 진동측정을 통하여 추후 고속철도 진동저감대책 수립에 기초자료로 제시하고자 한다.

-
- * 부경대학교 조선해양시스템공학과 교수
 - ** (재) 한국건설안전기술원
 - *** 부경대학교 음향진동공학과 석사과정
 - **** 부경대학교 조선해양시스템공학과 석사

2. 진동측정 실험

현재 시험구간인 충남연기소정면~충북청원현도면(34.4km)구간에서 교량구조물이 있는 지역을 선정하였다. 교량구조물 중 교각기둥의 기초에 말뚝이 있는 지역과 없는 지역에서 운행 속도가 200(km/h)로 운행하는 고속철도의 진동을 계측하였다. 계측위치는 Table 1 과 같다.

Table 1 계측위치

Sensor 위치	침목 위	기둥		이격거리	
		수직방향	수평방향	5m	10m
계측지역	A 지역				
	B 지역				

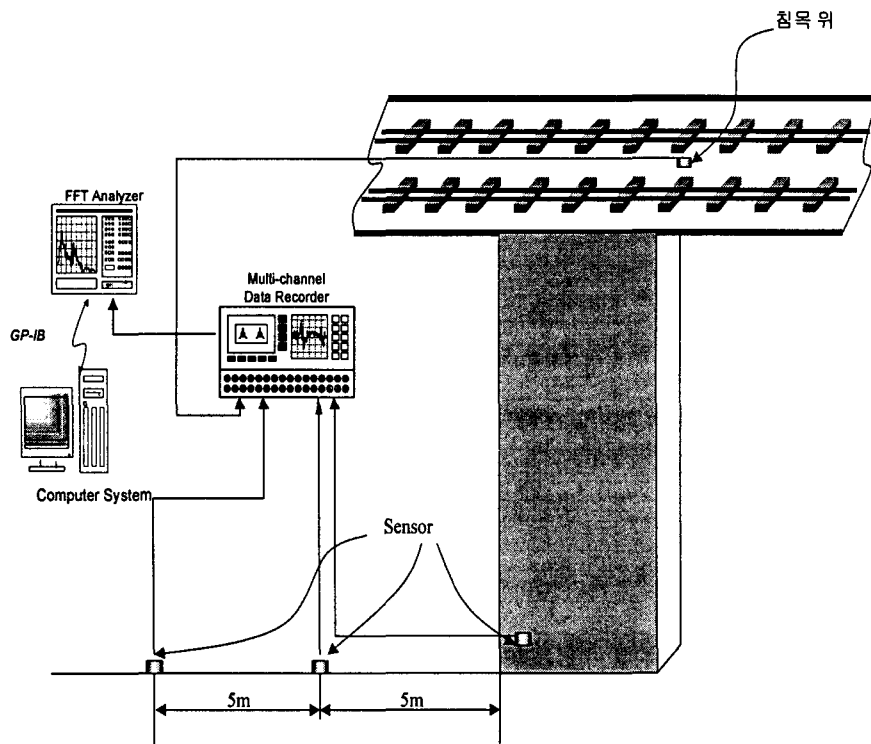


Fig. 1 계측 및 시스템 구성도

2. 진동측정 실험결과 및 분석

2.1 진동원의 진동수준 비교분석

Fig. 2은 침목 상부에서 고속철도 통과시 발생한 수직진동을 계측한 것이다. 시간이력곡선(time history)에서 가속도를 보면, 최대 0.15g 정도의 진동이 발생함을 알수 있으며, 주파수응답곡선을 보면 2Hz, 5Hz~20Hz 대역에서 진동 peak가 발생하였다.

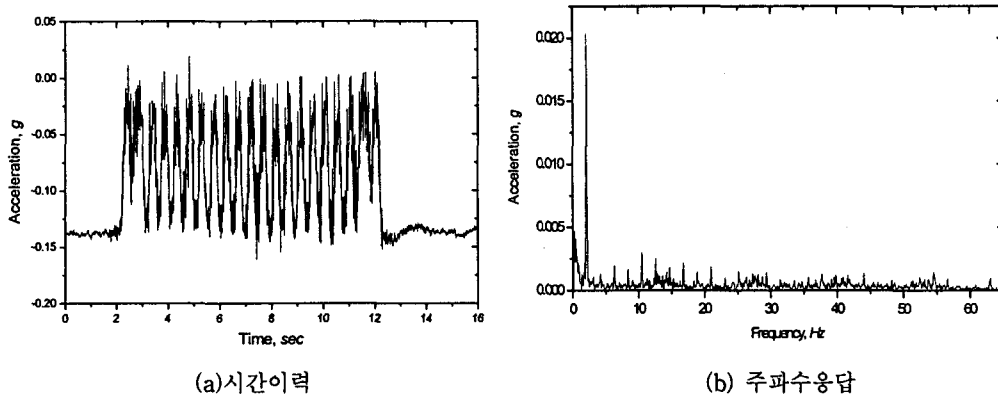


Fig. 2 침목 위에서의 수직진동수준

2.2 교량구조물의 계측지점별 진동수준 및 분석

본 계측구조물인 교량의 경우 거더교식으로 진동원의 진동을 감쇠시키기 위하여 교차장치(스프링장치)가 설치된 구조물로서, Fig. 3은 교량의 기둥에서의 진동수준을 계측한 내용이다.

기둥의 수직진동수준을 비교하여 보면, 최대가속도는 각각 0.0008g, 0.000075g로서 A 지역이 B 지역에서의 진동수준보다 약 10배정도 높게 나타난다.

Fig. 4와 Fig. 5은 이격거리별 진동수준을 나타낸 것이다. 교량에서 5m 떨어진 진동수준은 최대가속도가 각각 0.0007g, 0.0002g로서 A 지역이 B 지역에서의 진동전파수준이 3.5배정도 높다.

교량에서 10m 떨어진 진동수준은 Fig. 5의 주파수응답곡선에서 최대가속도는 각각 0.0006g, 0.00025g로서 A 지역이 B 지역에서의 진동전파수준이 2.4배 정도 낮다. A 지역이 B 지역보다 진동수준이 높은 현상은 A 지역의 경우 지반적 특징(연약지반)과 기둥 기초의 말뚝으로 인하여 진동의 전파수준이 B지역보다 높은 것으로 사료된다.

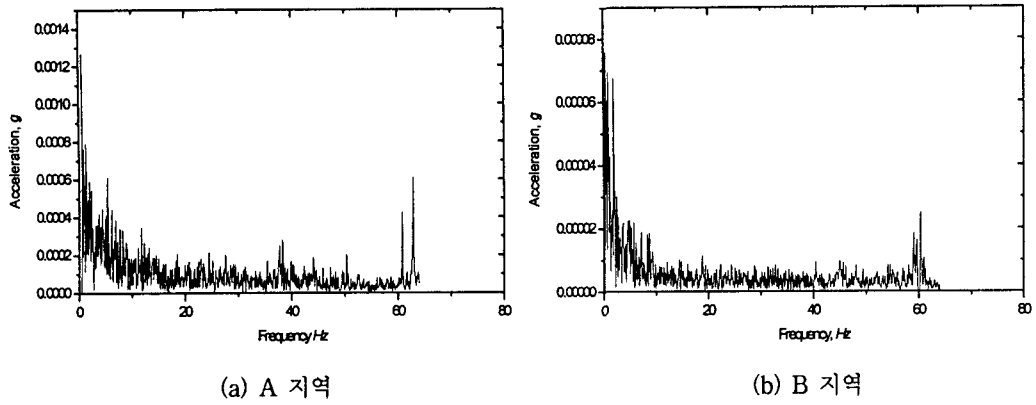


Fig. 3 교량기둥에서의 수직진동수준

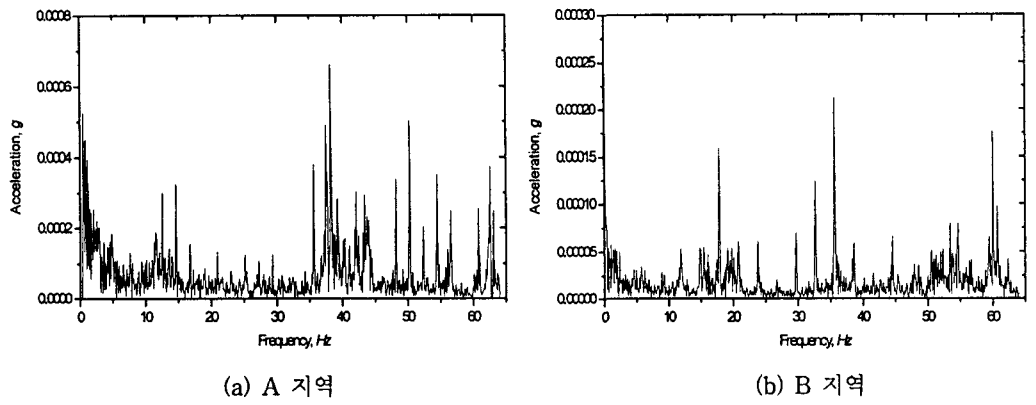


Fig. 4 이격거리 5m에서의 수직진동수준

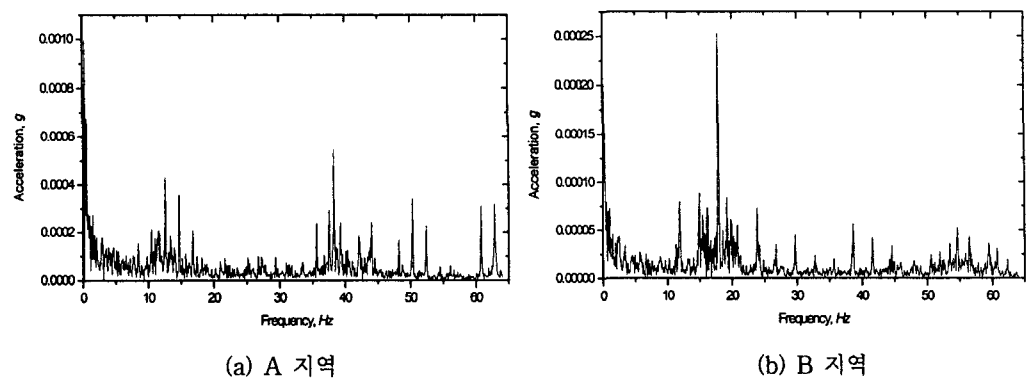


Fig. 5 이격거리 10m에서의 수직진동수준

2.3 교량구조물의 계측지점별 진동수준비교

계측지점별로 진동수준비교를 위하여 1/3 옥타브해석을 하였다. Fig. 3.6은 진동원인 침목의 진동수준이다. 관심주파수인 40~100Hz에서 20~60dB의 높은 진동수준을 보이고, 100Hz이상인 고주파수영역으로 갈수록 진동수준이 높아진다. 100Hz이상의 고주파수 진동은 사람이 거의 감지하지 못할 뿐만 아니라 지반으로 전파되면서 빨리 소멸하므로, 진동에 의해 문제가 되는 영역은 통상 100Hz이하이다.

기둥의 수직, 수평진동수준은 수평방향의 진동수준이 수직방향 진동수준보다 높다. 진동원인 침목에서의 진동수준에 비해 진동이 많이 감소되었는데, 이것은 침목하부의 방진패드와 슬래브와 기둥사이의 교차장치의 방진역할로 판단된다.

교량구조물에서 지반으로의 진동전파특성을 알아보기 위하여 이격거리별(5m, 10m)로 진동수준을 나타내었다. 진동원의 진동수준에 비해 A 지역은 진동수준이 30dB 이하로 낮아졌고, B 지역 또한 10dB 이하로 낮아졌다. A 지역의 진동수준이 B 지역보다 높은 것은 기둥에서 지반으로 전파되어 온 진동수준자체가 높을뿐 아니라, 연약지반적 지질 특성으로 사료된다.

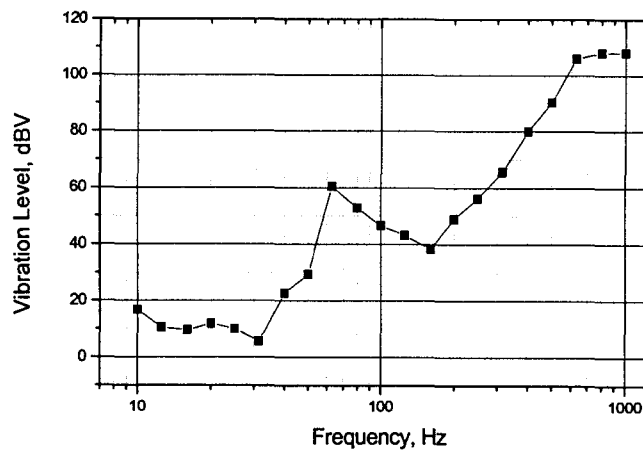
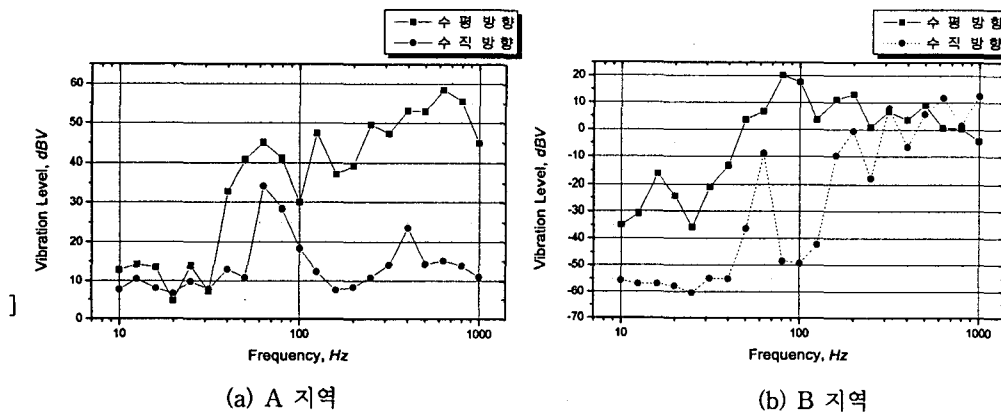


Fig. 6 침목 위에서의 수직진동수준



(a) A 지역

(b) B 지역

Fig. 7 기둥의 수직, 수평진동수준

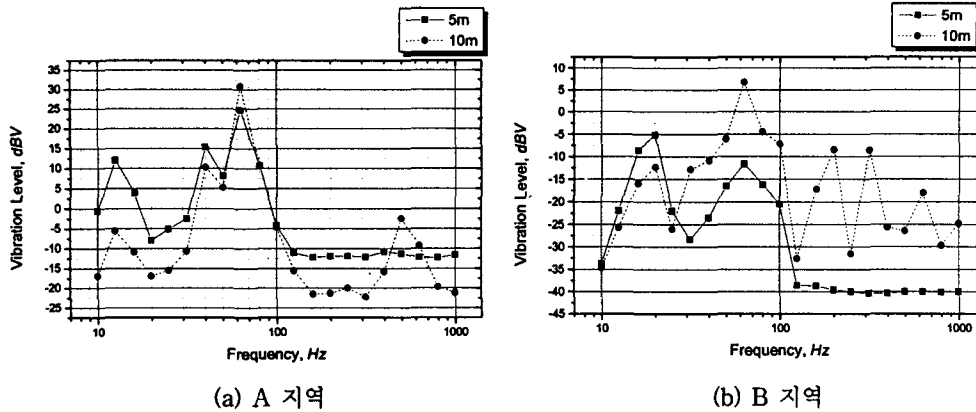


Fig. 8 이격거리별 진동수준

2.4 지반진동의 예측 감쇠량 산정

이격거리별로 지반진동의 감쇠량을 예측하기 위하여 지반진동의 감쇠량 산정방법에 따라 예측치를 구하고, 이를 실측치와 비교하여 보았다. 예측치 계산에 필요한 기하감쇠(L_1)와 재료감쇠(L_2)를 구하기 위한 성분 값 및 계산결과 값을 Table 2와 Table 3에 나타내었다.

∴ 기하감쇠 Factor (L_1)

$$L_1 = K \times \log(r/r_0)$$

Table 2 지반진동의 기하감쇠 성분계산

진동원 종류	$r(m)$	$r_0(m)$	$L_1(dB)$
선진동 ($K=10$)	5	0.5	10
	10	0.5	13.01
점진동 ($K=20$)	5	0.5	20
	10	0.5	26.02

∴ 재료감쇠 Factor (L_2)

$$L_2 = 27.29 h f (r - r_0) / c$$

Table 3 지반진동의 재료감쇠 성분계산

$r(m)$	$r_0(m)$	$f(Hz)$	$c(m/s)$	h	$L_2(dB)$
5	0.5	4	457	0.1	0.12
10					0.24

지반진동 감쇠량을 예측하기 위하여 고속철도 운행시 발생하는 진동의 O.A(Overall)값을 3회 반복하여 구하였다. Table 4은 진동수준의 예측치와 실측치를 비교하고, 그 오차를 구한 것이다. 교량구조물의 경우 진동원의 진동이 슬래브와 기둥을 통해 지반에 전파되므로 지반과 인접한 기둥의 하부쪽에서 측정한 수직진동성분을 진동원으로 보고 지반진동 감쇠량을 산정하였다.

Table 4 지반진동수준 예측치와 실측치의 비교

기동형태	측정 횟수	이격 거리(m)	진동원 (L_0) O.A값(dB)	실측치 O.A값(dB)	예측치 O.A 값(dB)		오차(%)	
					선진동	점진동	선진동	점진동
A 지역	1	5	79.11	73.75	68.99	58.99	6.5	20.01
		10		73.07	65.86	52.85	9.87	27.67
	2	5	80.21	74.21	70.09	60.05	5.56	19.08
		10		73.35	66.96	59.95	8.71	18.27
B 지역	1	5	69.89	64.78	59.77	49.77	7.73	23.17
		10		59.49	56.63	43.62	4.81	26.67
	2	5	70.69	65.21	60.57	50.57	7.12	22.45
		10		60.87	57.44	44.43	5.63	27.01

진동원의 특성을 선진동으로 가정했을 때 말뚝이 있는 기둥의 경우 이격거리가 5m 일 때 5.6~6.5%, 10m 일 때 9~10%의 오차가 발생하고, 점진동으로 가정했을 때 5m 일 때 20%, 10m 일 때 18~28%의 오차가 발생하였다. 말뚝이 없는 기둥의 경우 선진동으로 가정했을 때, 이격거리가 5m 일 때 8%, 10m 일 때 4.8~5.6%, 점진동으로 가정했을 때 5m 일 때 22~23%, 10m 일 때 27%의 오차가 발생하였다. 따라서, 진동원의 특성을 점진동보다 선진동으로 가정했을 경우에 예측치가 실측치에 더 근사해짐을 알 수 있다.

3. 결 론

- 1) 고속철도의 진동원의 특성 파악을 통하여 진동수준이 일본의 신간선보다 낮으며, 이는 일반 지하철의 진동수준(60km/h일 때)보다 약 5배 가량 낮다.
- 2) 저주파수 대역(100Hz 이하)에서의 기둥의 진동수준은 A 지역의 경우 진동원보다 5~15dB 정도 감소되었으며, B 지역의 경우 40~50dB 정도 감소되어 나타났다.
- 3) 지반진동수준의 경우 일본의 신간선(200km/h일 때)보다 약 40dB 가량 낮다.
- 4) 지반진동감쇠량 예측치와 실측치를 비교하여 본 결과 진동원의 특성을 선진동으로 가정했을 경우 오차가 5~10% 이하임을 알 수 있다.

참고문헌

1. 양신추, 조양희 변재양, "터널내 고속철도 주행에 의한 지반진동의 예측", 한국고속철도건설공단, 1993
2. 한국고속철도건설공단, "경부고속철도 대전충청권 건설사업 환경영향평가서", 1992
3. Propagation of Ground Vibration : A Review, T.G.Gutowski and C.L.Dym Journal of Sound and Vibration, 1979, 49(2), 179-193
4. E. K. Bender, U. J. Kurze, K. S. Lee, and E.E. Ungar, "Predictions of subway-induced noise and vibration in buildings", 1969