

오대산지진 시 경부고속철도 지진감시시스템 거동

The Behaviors of Earthquake Monitoring System for Gyungbu High Speed Railroad on the Odaesan Earthquake

김대상* · 김성일** · 최수현*** · 유원희****

Daesang Kim · Sung Il Kim · Su Hyun Choi · Won Hee You

Abstract

This paper reviews the operation standards and manuals of earthquake monitoring system for Gyungbu high speed railroad. The domestic earthquake monitoring system detects the acceleration data at the locations of lower part of pier and deck of viaducts and bridges, not like foreign system to do the surface ground accelerations. For the purpose of evaluating the behaviors of the domestic earthquake monitoring system, measured acceleration data on the Odaesan earthquake at Iwon viaduct were analysed. The values of maximum acceleration level of the viaduct were increased from 0.0089g(EW component) of the lower part of pier to 0.014g(EW component) on the deck of the viaduct. And also the predominant periods and frequencies were analysed by the frequency domain analysis.

Keywords : Earthquake monitoring system, frequency domain analysis, High Speed Railroad

1. 서론

고속으로 주행하는 열차의 지진 대비책의 일환으로 경부고속철도 선로 상에는 지진감시시스템을 설치하여 운영하고 있다. 다양한 측면이 있으나 지진 시 고속열차의 주행 안전성을 향상시킬 수 있다는 측면에서 지진감시시스템은 그 역할이 크다고 하겠다. 국내 지진감시시스템(Earthquake monitoring system)은 일본 신칸센에서 운영하고 있는 지진경보 시스템(Earthquake alarming system)과는 기본개념에 차이가 있다. 운행 중인 열차의 안전성 측면에서 국내 지진감시시스템의 지진 대응에 대한 성능 수준은 지진경보시스템에는 미치지 못하나, 한반도 및 주변지역에서 지진 발생 시 열차를 서행 정지시킬 수 있는 판단기준을 제시한다는 측면에서 중요한 의미를 갖는다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 우선 국내 지진감시시스템 설치현황에 대하여 살펴보고, 오대산 지진 발생 시 지진감시시스템의 거동에 대하여 분석하였다.

2. 고속철도 지진감시시스템 설치현황

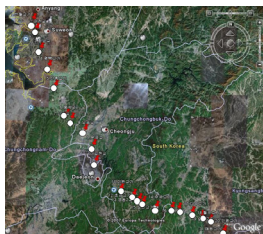


그림 1 지진가속도계 설치 개소

표 1 지진 계측설비 설치현황

구 분	광명~대구 (설치 완료)	대구~부산 (설치 예정)
노선연장	266 [km]	131 [km]
설치간격	평균 12.7 [km]	평균 8.2 [km]
설치개소 수	21개소	16개소

경부고속철도에서 운행 중인 고속열차(KTX)는 프랑스 고속철도 테제베 기술로 제작되었다. 최근 한국철도기술 연구원에서는 한국형 고속열차를 개발하여 시험운행 중에 있다. 이와 같은 이유로 현재 국내에서 사용하고 있는

* 정회원 · 한국철도기술연구원 · 궤도토목연구본부 선임연구원 · E-mail : kds@krii.re.kr
 ** 비회원 · 한국철도기술연구원 · 궤도토목연구본부 선임연구원
 *** 비회원 · 한국철도기술연구원 · 궤도토목연구본부 위촉연구원
 **** 비회원 · 한국철도기술연구원 · 철도시스템연구본부 책임연구원

고속열차 운행기준은 프랑스 및 유럽의 기준을 준용하여 사용하고 있다. 지진에 대한 운행 기준 또한 프랑스 기준을 준용하여 사용하고 있다. 따라서 국내의 경우도 프랑스와 같이 지진 시 운행여부를 결정하기 위한 지진감시시스템을 설치 운영하고 있다. 그림 1과 표 1은 경부고속철도 선로 상에 설치된 지진계측 설비 설치현황이다.

설치가 완료된 광명~대구 구간의 경우 평균 12.7km의 간격으로 가속도계가 설치되어 있으며, 대구~부산 구간은 향후 설치될 예정이다. 고속철도 지진감시시스템의 특이한 점은 가속도계 설치 위치이다. 프랑스의 경우 가속도계를 선변 지표면에 설치하고 있으나, 국내의 경우는 교각 상하부 및 교량 상판 내에 설치되어 있다. 그림 2~그림 4. 따라서 계속 가속도 값은 교량 구조물의 특성이 반영된 값이다. 따라서 국내의 경우에도 교량의 구조적 특성이 반영된 운행기준이 필요할 것으로 판단된다. 가속도계의 교량 상 설치이유를 정확히 알 수는 없으나, 선로연변에 가속도계를 설치하기 위해서는 부지확보의 어려움, 상시 기록을 위한 전원공급의 난이성, 장비도난 및 관리 등에 대한 어려움이 있었기 때문으로 추측된다.

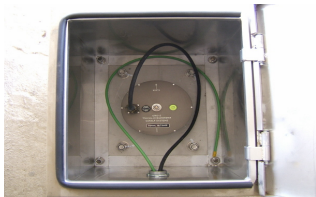


그림 2 가속도계(교각 상부)



그림 3 가속도계(교각 하부)



그림 4 3축 가속도계

지진 발생 시 열차 운행조치는 광명역 지진감시센터에서 주관하고 있다. <그림 5>는 광명역 지진감시센터 전경으로, 현장 계측 데이터의 모니터링과 경보 기능을 갖추고 있다.



그림 5 광명역 지진감시센터

표 2 서행 및 정지 기준은

경 보	서행 기준	정지 기준
황 색	40~65gal	
적 색		65gal 이상

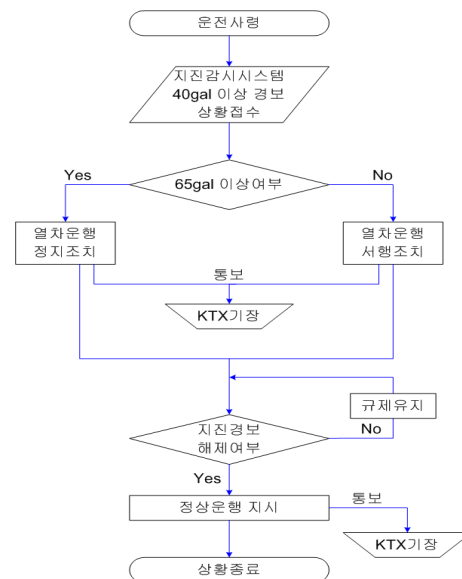


그림 6 지진 발생 시 조치 흐름도

그림 6은 지진 발생 시 고속열차의 운행조치 흐름도이다. 운행조치기준 및 내용은 프랑스와 기본적으로 같다. 고속철도 운전관계 규정집(2005.5)에 의하면 지진발생 시 고속열차의 서행 및 정지 기준은 표 2와 같다.

3. 오대산 지진 시 지진감시시스템 거동

본 절에서는 고속철도 선로 상에 설치되어 있는 지진감시시스템의 오대산 지진 시 거동을 평가하였다. 그림 7은 오대산 지진의 진도 분포도이다. 본 자료에 의하면 경부고속철도는 MMI 진도 2~3에 해당되는 진동을 받은 것으로 확인된다. 그림 8은 오대산 지진 발생 후 지진감시시스템에 지진파가 최초로 도달한 시간을 보여준다. 위치에 따라 상이하나, 지진 발생 후 25.9초에서 31.9 초 사이에 지진감시시스템에 지진파가 도달된 것으로 확인되었다. 지진감시시스템의 가속도계는 진원으로부터 약 150~200km 반경 원 내에 분포하고 있음을 알 수 있다. 그림 9~그림 11은 오대산 지진 시 관

측된 대관령 지진파이다. 대관령 관측소에서 계측된 지진파의 최대 가속도는 NS 성분의 경우 0.1558g, EW 성분의 경우 0.1320g, UD 성분의 경우 0.0648g였다. 그림 8은 오대산 지진 발생 후 지진감시시스템에 지진파가 최초로 도달한 시간을 보여준다. 위치에 따라 상이하나, 지진 발생 후 25.9초에서 31.9 초 사이에 지진감시시스템에 지진파가 도달된 것으로 확인되었다. 지진감시시스템의 가속도계는 진원으로부터 약 150~200km 반경 원 내에 분포하고 있음을 알 수 있다.

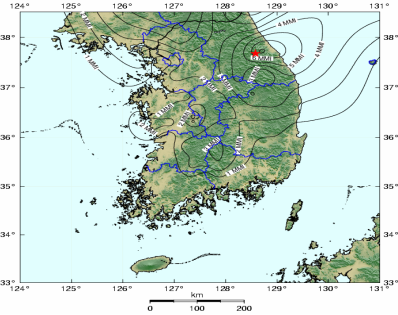


그림 7 진도 분포도(KIGAM 제공자료)

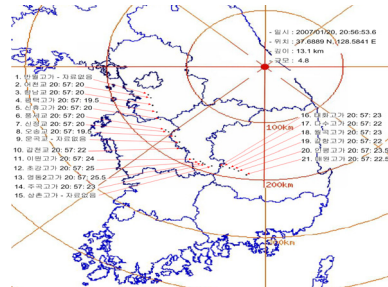


그림 8 지진파 도달시간

그림 9~그림 11은 오대산 지진 시 관측된 대관령 지진파이다. 대관령 관측소에서 계측된 지진파의 최대 가속도는 NS 성분의 경우 0.1558g, EW 성분의 경우 0.1320g, UD 성분의 경우 0.0648g였다.

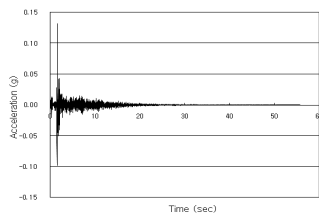


그림 9 오대산 지진파(NS)

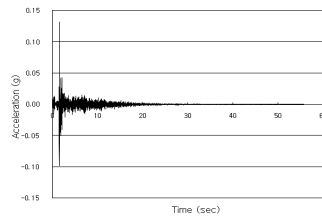


그림 10 오대산 지진파(EW)

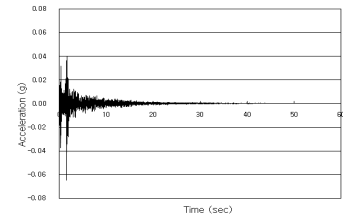


그림 11 오대산 지진파(UD)

그림 12는 오대산 지진 시 지진감시시스템이 설치된 이원고가의 상판에 설치된 가속도계에서 계측한 수평가속도(EW)성분이다. 교량 상판 EW 성분의 최대진동가속도는 14.3gal 이었고, 탁월주파수는 2.5Hz로 평가되었다.

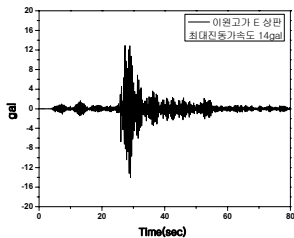


그림 12 이원고가 지진동지진동가속도(EW)_상판

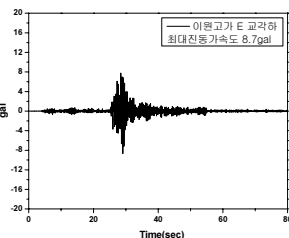


그림 13 이원고가 지진동지진동가속도(EW)_교각하

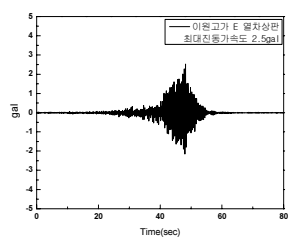


그림 14 이원고가 열차진동가속도(EW)_상판

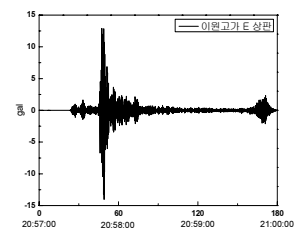


그림 15 이원고가 열차진동(EW)_상판

그림 13은 이원고가의 교각 하부에서 계측된 수평가속도 성분으로 최대진동가속도는 8.9gal이었고, 탁월주파수는 2.6Hz였다. 교각하부와 상판사이의 최대가속도 증폭비는 1.61배였다.

그림 14는 동일한 가속도계에서 측정된 열차 통과 시 가속도 파형이다. 지진파형과 비교하여 형태가 상이할 뿐만 아니라, 진동지속시간도 약 15초로 지진으로 인하여 계측된 가속도 파형과는 차이가 있었다. 최대진동가속도는 2.5gal 이었고, 탁월주파수는 2.45Hz로 평가되었다. 그림 15는 지진파형과 열차진동파형을 함께 도시하였다. 약 1분의 시차를 두고 지진동과 열차진동이 통과했음을 알 수 있다.

그림 16은 오대산 지진파형에 대한 가속도 스펙트럼이다. 오대산 지진 시 대관령 관측소에서 계측된 지진파

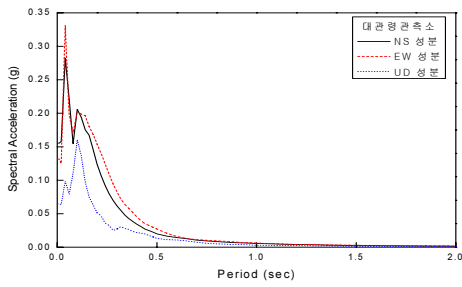


그림 16 가속도 응답스펙트럼(h=5%)

의 가속도 응답스펙트럼을 분석한 결과, 탁월주기가 0.026~0.033 초의 범위로 매우 낮은, 즉 고주파 성분이 많은 지진파였다. 반면 이원고가 교각하부와 상판에서 계측된 지진파의 탁월주기는 0.2~0.4 초의 범위로 대관령 관측소에서 계측된 지진파의 탁월주기와 비교하여 훨씬 큰 것을 알 수 있었다. 표 3에서는 오대산 지진 시의 대관령 관측소의 지진파, 이원고가 교각하부 및 상판에서의 지진파, 고속열차 운행 시 상판에서의 열차 최대 가속도 수준, 탁월 주기 및 탁월주파수를 정리하였다.

표 3 대관령 지진 최대가속도 및 탁월 주기

	성분	최대가속도 (g)	탁월주기 (sec)	탁월주파수 (Hz)
대관령	NS	0.1558	0.033	30.3
	EW	0.1320	0.046	21.7
	UD	0.0648	0.026	38.5
이원고가 교각하부	NS	0.0078	0.402	2.5
	EW	0.0089	0.386	2.6
	UD	0.0025	0.215	4.7
이원고가 상판	NS	0.0097	0.402	2.5
	EW	0.0143	0.400	2.5
	UD	0.0097	0.213	4.7
열차진동 상판	NS	0.0003	0.406	2.5
	EW	0.0026	0.408	2.5
	UD	0.0012	0.282	3.5

4. 결론

본 논문에서는 고속철도 지진감시시스템의 운영현황을 파악하고 지진 시 국내 고속철도 운행 기준을 검토해 보았다. 또한 오대산 지진 시 지진감시시스템의 거동을 평가하기 위하여 이원고가에서 계측된 지진파에 대한 분석을 수행하였다.

- 1) 대관령 관측소에서 계측된 지진파의 최대 가속도는 NS 성분의 경우 0.1558g, EW 성분의 경우 0.1320g, UD 성분의 경우 0.0648g이었다. 오대산지진 발생 시 이원고가에서 관측된 가속도 계측 기록을 보면, 최대가속도가 교각 하부에서 0.0089g(EW성분), 교각 상판에서 0.0143g로 상판에서 1.61배 증폭된 것을 확인할 수 있었다.
- 2) 고속열차 통과로 인한 진동과 오대산 지진 시에 계측된 교각 상부와 하부에서의 최대가속도를 비교하였다. 열차 통과 시의 최대가속도 수준은 0.0025g 정도로 오대산 지진 시의 고가 진동 수준과 비교하여 매우 낮은 가속도 수준인 것을 확인할 수 있었다.
- 3) 가속도 응답스펙트럼을 분석한 결과, 오대산지진 시 대관령에서 계측된 지진파의 탁월주기는 0.026~0.046 초의 범위로 매우 낮은, 즉 고주파 성분이 많은 지진파로 평가되었다. 반면 이원고가에서 계측된 지진파는 탁월주기가 0.2~0.4 초의 범위로, 대관령 관측소에서 계측된 지진파에 비해 장주기임을 알 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 철도종합안전기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다. 본 논문 자료 중 일부는 한국지질자원연구원 발표 자료를 인용하였습니다. 이에 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

1. 철도설계기준(노반편), 한국철도시설공단 (2004)
2. 고속철도설계기준(노반편), 한국철도시설공단 (2005)
3. 고속철도공사 전문시방서(노반편), 한국고속철도건설공단 (2003)
4. 지진계측설비 관리 매뉴얼, 한국철도시설공단 (2006)
5. 고속철도 운전 관계 규정집, 한국철도공사 (2005)