

지진 시 고속철도 운행 규제 기준 연구

Research on the running regulations of high speed train during an earthquake

김대상*, 김성일**, 유원희***, 김성렬****, 최지용*****
Kim Dae-Sang, Kim Sung Il, Yu Won Hee, Kim Sung Ryul, Choi Ji Yong

ABSTRACT

Is the high speed train with 300km/h running speed safe from derailment when it meets the mid or small-size earthquakes ? In the present step, it is not so easy to judge whether it'll be derailed or not during an earthquake. However, we could elevate the running safety of high speed train as making it slow or even stop.

The main objective of this study is to make the domestic running regulation and the re-running manual for high speed train with reference to the standards of France, Japan etc. To do so, numerical analysis and experiment will be performed from the next year. In addition, we'll evaluate possible places of derailment during an earthquake and make a database based on the Geographic Information System to effectively manage them.

1. 서론

최근 전 세계적으로 빈발하고 있는 대형 지진은 인류에게 많은 인명 및 재산 피해를 주고 있다. 우리나라의 경우에도 1978년 기상청에서 지진관측에 대한 자료 분석을 시작한 이 후 현재까지 규모 3.0 이상의 지진이 263회 발생하였다. 최근 환태평양 지구대의 빈번한 지진 활동으로 한반도 주변에서도 지진 발생 빈도가 증가하고 있는 추세이다. 최근 일본 규슈에서 발생한 규모 6.0이상의 지진은 한반도 남동부에 직접적인 영향을 미치고 있으며 이로 인하여 피해가 발생한 것으로 보고되었다.

본 연구에서는 상기와 같은 한반도의 지진 환경 하에서 시속 300km 주행하는 고속열차가 주행 중 지진과 조우하였을 경우 탈선에 대한 안전성 향상에 중점을 두었다. 지진 시 열차가 탈선할 가능성에 대한 판단은 쉽지 않으나 어느 정도 크기 이상의 지진 발생 시에 열차를 서행 혹은 정지시킴으로서 열차의 주행 안전성을 확보할 수는 있다.

따라서 본 연구 과제에서는 국내외 지진 관련 운영규정을 분석하여 국내 실정에 적합한 열차의 운전 규제 규정 및 지진 발생 후 운행 재개 매뉴얼 등을 구축함으로써 지진 발생 시 열차의 피해를 최소화하는 방안을 찾고자 하는 데 그 목적이 있다. 또한 지진 시 고속열차의 탈선 가능성이 높은 지진 취약개소를 평가하고 데이터베이스화를 통하여 관리함으로써 지진 발생 후 운행재개 시간을 단축하고자 한다.

* 책임저자 : 정회원, 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 선임연구원

E-mail : kds@krri.re.kr

TEL : (031)460-5305 FAX : (031)460-5319

** 정회원, 한국철도기술연구원 선임연구원

*** 정회원, 한국철도기술연구원 책임연구원

**** 비회원, 동아대학교 토목공학부 전임강사

***** 비회원, 한국철도기술연구원 연구원

2. 국내 지진 환경 및 국외 지진탈선 사례 분석

그림 1은 1978년 이 후 연도별로 기상청에서 발표한 규모 3.0 이상 지진 발생 횟수, 유감 지진 횟수, 총 지진 발생 횟수 자료이다. 1978년 이 후 관측된 총 지진 발생 횟수는 706회 이었고, 이 중 규모 4.0이상의 지진이 30회, 규모 5.0이상의 지진이 5회 관측되었다. 최근의 지진 발생 현황을 분석해 보면 현재 한반도에서는 지진 발생빈도가 증가하고 있으며, 규모 3.0 이상의 지진도 매년 10회 정도 발생하고 있다. 그림 2는 경북 울진 앞 해상 80km 지점에서 2004년 5월 29일에 발생한 규모 5.2의 지진이다. 이 지진으로 경상남북도를 포함한 대한민국 전 지역이 지진의 영향권에 있었으며, 울진의 경우에는 진도 5의 진동이 관측된 바 있다.

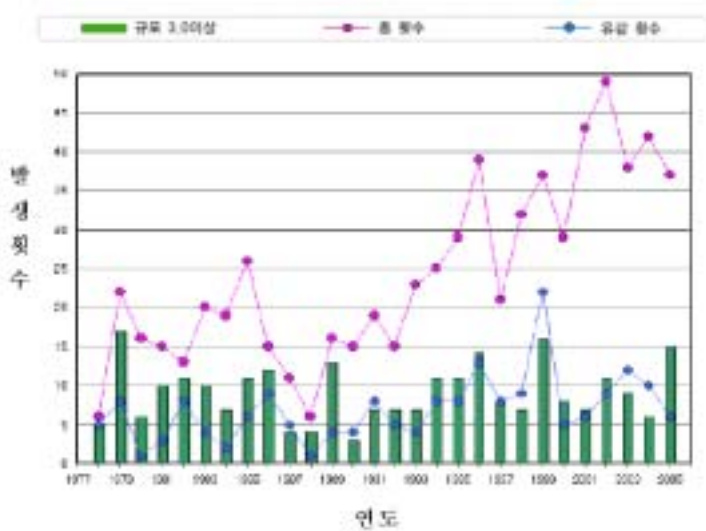


그림 1 연도별 규모 3.0 이상 지진 발생 횟수



그림 2 최근 지진 발생 예

지진 시 열차가 탈선했다면 과연 어느 정도 크기의 지진으로 탈선 되었을까? 상기와 같은 의문을 해결하기 위하여 일본에서는 과거의 지진에 대한 열차 피해 조사를 수행한 바 있다. 표 1에서는 일본에서 발생한 지진에 의한 열차 피해 예를 정리하였다.

표 1 지진에 의한 열차 피해 예(일본)

	지진 명	발생	M	최대진도	피해열차대수
1	관동 지진	1923.09.01	7.9	6	23
2	이와미마사다 지진	1941.04.06	6.2	5	1
3	툃토리 지진	1943.09.10	7.2	6	1
4	동남해 지진	1944.12.07	7.9	6	1
5	후쿠이 지진	1948.06.28	7.1	6	3
6	토카치오키 지진	1952.03.04	8.2	6	4
7	미야기현 북부 지진	1962.04.30	6.5	6	1
8	토카치오키 지진	1968.05.16	7.9	6	2
9	효고현 남부 지진	1995.01.17	7.2	7	16
10	쵸에즈 지진	2004.10.23	6.8	6	-

철도 운행 이후 발생한 지진은 약 170건 정도이므로, 열차 탈선 피해가 생긴 지진은 비교적 소수라고

볼 수 있다. 이 표에서 알 수 있듯이 1923년의 관동 지진과 1995년의 효고현 남부 지진에 특히 많은 열차 피해가 발생하였다. 피해 발생 건수를 지진 진도 별로 나타내면 그림 3과 같고, 피해는 진도 5 이상에서만 발생하였으며 진도 6에서는 진도 5에 비하여 피해 발생률은 약 3배에 달하였다.

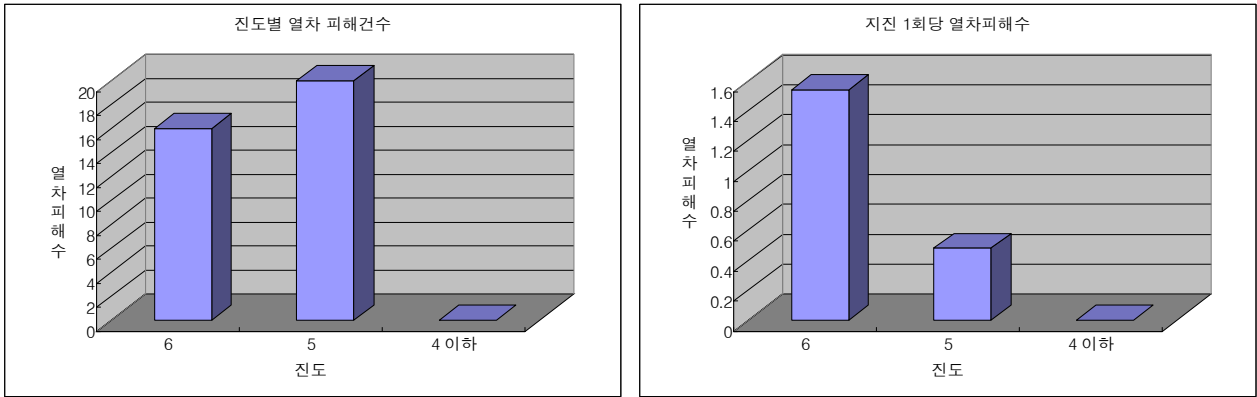


그림 3 지진시의 열차 피해 건수

최근 일본에서 발생한 지진에 의한 탈선 사례 및 원인을 구체적으로 살펴보면 다음과 같다. 1995년 효고현 남부 지진 시에 산요(山陽) 신칸센 고가교 중 8개소에서 교각에 심각한 피해가 발생하여 약 80 일 간 열차운행이 중지되는 사고가 있었다. 이를 계기로 신칸센 열차의 탈선가능성을 RTRI가 연구한 결과 시속 350 km로 주행 시 1초에 1회 이상으로 흔들리는 폭이 10cm정도이면 탈선의 위험이 있다고 보고하였다. 최근 발생한 쇼에쯔 지진에 의한 신칸센 열차의 탈선은 개통 후 40년 동안 「신칸센은 탈선하지 않는다」라며 칭찬을 받아오던 안전신화를 크게 훼손시켰다.

그림 4는 쇼에쯔 지진의 진앙과 신칸센의 노선을 보여준다. 쇼에쯔 지진 시의 탈선 현장부근의 변전소 지진계의 최대 가속도 값은 846gal로 효고현 지진 시의 산요 신칸센의 지진계로 관측된 최대 가속도치인 561gal을 크게 상회하는 수치였다. 그림 5는 탈선된 토키 325호 열차의 탈선 상태를 보여주고 있다. 10량 편성 중에 6, 7호차를 제외한 8량이 탈선하였다. 전 40개의 차축 중에 22축이 탈선하였으며, 1호차는 차륜과 레일이 최대 1.4m 벗어난 상태로, 오른쪽 차륜은 노선 사이에 있는 도랑에 빠져있었다. 차체는 30도 가까이 기울어져 있었고 탈선한 차륜을 따라 콘크리트 노반은 동경 방향으로 약 1.6km 정도 손상되어 있었다.



그림 4 쇼에쯔 지진의 진앙과 신칸센 노선

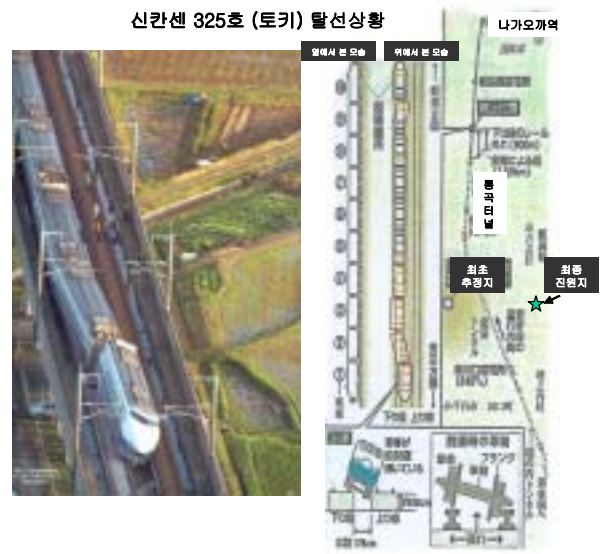


그림 5 객차별 탈선 형태

현장 조사를 통한 일본국토교통성 항공·철도사고조사위원회에 의하면 “토키 325호는 지진발생 시에 룡곡터널을 주행하고 있었으며, 탈선한 것은 터널을 벗어난 후 약 500m지점 선로에 도달한 강한 지반 진동에 의한 것”이라고 판단하였다. 위원회는 토키 325호의 탈선을 직하형 지진 특유의 흔들림이 심하고 횡파까지 가세한 결과 발생한 것으로 판단하였다. 즉 차량이 좌우로 흔들리면서 균형을 잃고 차륜 플랜지가 레일 안쪽으로 부딪히면서 좁게 구불구불하게 진행하다가, 여기에 어떤 힘이 더해지면서 플랜지가 레일 위로 올라가는 형태로 탈선한 것으로 추정하였다.

3. 고속철도 지진감시시스템 설치 현황

경부고속철도 지진감시시스템은 총 37개소에 설치 중에 있으며, 경부고속철도 전체 평균 설치간격은 약 11km 이다. 현재 경부고속철도 지진계측 설비의 설치현황은 표 2와 같다. 서울~대구 구간은 설치가 완료되었고, 현재 공사가 진행 중인 대구~부산 간은 향후 설치할 예정이다.

표 2 경부고속철도 지진계측 설비의 설치 현황

구 분	경부고속철도	
	서울~대구	대구~부산
노선연장	약 250 [km]	약 130 [km]
설치간격	평균 12 [km]	평균 8 [km]
설치개소 수	21개소	16개소

경부고속철도 교량구간의 지진계측 설비는 교각 하부와 교량 상판에 지진감시센서(가속도계)가 설치되어 있으며, 이를 나타내면 그림 6과 같다.

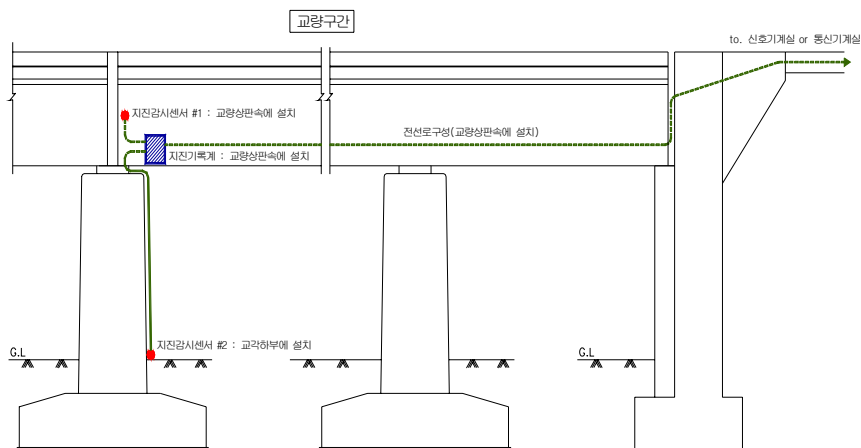


그림 6 지진감시 센서 설치위치

4. 국내외 지진 시 철도 차량 운행 규제기준

철도차량의 운행규제 기준은 주행 중인 열차를 지진으로부터 보호하기 위하여 반드시 필요한 기준이다. 주행 중인 열차를 운행규제하기 위해서는 지진 발생으로 인한 선로 상의 진동 가속도 수준을 평가할 필요가 있다. 따라서 프랑스, 일본 등에서는 선로 연변에 가속도계를 일정 간격으로 설치하여 관측된 진동 가속도 수준이 열차의 주행 안전성에 영향을 미칠 수 있는 수준으로 판단되면 경보를 발령하고 서행 혹은 정지 시킨다. 이 때 경보 발령의 기준이 되는 가속도 수준을 운행규제 기준으로 결정하게 된다.

국의 운행관련 기준 중에서 국내 고속철도 운행 기준의 기초가 된 프랑스의 열차 운행 기준과 인접 국가이면서 지진이 빈번하게 발생하고 있는 일본의 열차 운행 기준을 검토하여 지진 시 국내 고속철도 운행 기준에 대한 개선 방향을 모색하고자 한다.

4.1 프랑스

프랑스의 전반적인 지진발생 현황은 우리나라와 비슷한 정도로 지진 발생빈도가 높은 지역 가운데 한 곳이 TGV 지중해 선이 지나가는 곳이다. 이 지역은 역사적으로도 지진발생빈도가 높을 뿐 아니라 남 프랑스의 Nimes 좌측으로 두 조의 활성단층이 남서-북동방향으로 지나가는 지역이다. 따라서 프랑스 국영 철도회사(SNCF)에서는 다른 노선과는 달리 Valence-Marseille 구간과 중간의 Nimes 사이에 지진 경보 시스템을 설치 운영하고 있다.

시스템은 스위스 GeoSig사에서 개발한 가속도계를 선로로부터 100m 떨어진 지점에 매 10km마다 24개소의 관측소(그림 7과 8)에 설치하고 있다. 관측된 지진 가속도 데이터는 전용 통신망을 이용하여 마르세이유(Marseille)에 있는 중앙통제소로 전달된다. 일정규모 이상의 지진이 선로 연변에서 발생하는 경우에 일차적으로 중앙통제소에서 운행 중인 고속열차에 경보를 발령한다. TGV 지중해선에서는 다음과 같이 2단계의 지진 서행 및 정지 경보체계를 설정하여 운용하고 있다.

- 1단계 서행 경보: 40 gal (열차 속도 170km/h로 감속)
- 2단계 정지 경보: 65 gal (열차 정지)

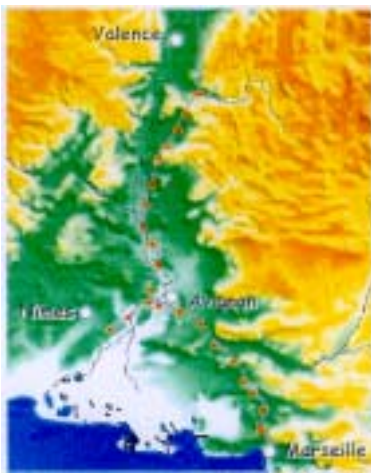


그림 7 TGV에 설치된 지진관측소 분포도



그림 8 TGV에 설치된 지진관측소 전경

4.2 일본

기존선의 경우 지진계의 설치간격은 JR 각사에 따라 상이하나, 40~50km 정도로 지진계의 감시방법, 열차의 운행 패턴, 지반강도 등 지형, 지질상황 등을 종합적으로 검토하여 결정하고 있다. 운행 규제는 지진계가 관측한 가속도에 따라 운전 사령이 승무원에 발령하였다. 경보 발령의 일반적인 기준치는 다음과 같다.

- 40gal 이상 80gal 미만인 경우는 속도 제한
- 80gal 이상일 때는 운전 중지

1995년의 효고현 남부 지진 이후, 수도권에서의 대지진 시 열차에 탑재된 무선을 활용하여 운전 사령을 통하지 않고 직접 승무원에게 신속하고 확실하게 정보를 전달하여 열차를 바로 정지시키는 새로운 시스템을 설치하여 운영하고 있다. 이 시스템에 의하여 약 30초 이상의 시간을 필요로 하는 사령의 구두에 의한 지령 전달이 자동화되어 약 5초 이내에 지진 정보가 전달될 수 있게 되었다.

2006년 JR 동일본 지진 전문가로 부터 확인한 바에 의하면, 기존선의 경우 수동제어 시에 서행 운전의 개념이 존재했으나, 현재 자동제어로 전환된 후 서행 개념은 없고 지진 발생 후 40gal(JMA 진도 기

준 4에 해당)을 상회하는 지진이 예측되는 경우 열차를 정지시키는 개념을 적용하고 있었다. 이는 현장에서 적용을 간단하게 하기 위한 규정으로 판단된다.

신칸센은 열차 운행을 보다 빨리 정지시키기 위하여 전원을 공급하는 변전소의 전원을 자동 차단하는 형식을 취하고 있다. 지진계의 설치 간격은 현재 동경에서 오사카까지의 구간에 선로 연변 관측점은 약 25km간격으로 25개 설치되어 있으나, 향후 10km간격 50개로 증가 설치 할 계획을 가지고 있다.

4.3 국내 운행기준 및 개선방향

국내 지진 시 운행 기준을 살펴보기 위하여 고속철도 운전관계 규정집(2005. 5)을 정리하면 다음과 같다.

a. 지진 발생으로 인한 운행속도와 운행중지 기준은 다음과 같다. 고속철도 지진감시시스템에 의한 진동 가속도 값(gal)으로 운행속도와 운행중지를 결정한다.

㉠ 지진황색경보 (40gal~65gal 미만) : 최초열차 90km/h 이하,

㉡ 지진적색경보 (65gal 이상) : 운행 중지

b. 지진 경보 발생 시 취급 요령은 다음과 같다

㉠ 관제사 : 인터벌 구간에 정지신호를 현시하기 전 열차무선전화기 등을 사용하여 즉시 열차를 즉시 정차시킬 것.

㉡ 관제사는 KTX 기장에게 사유를 통보하고 지진규모와 그 구간을 확인하여 열차가 운행할 속도를 현시하고 주의운전을 지시 할 것.

㉢ KTX 기장은 제 2호의 지시에 의하여 운전할 경우 특별히 선로상태를 관찰하고 이상을 발견하였을 때는 즉시 정차 조치한 후 관제사에게 통보할 것

프랑스와 일본의 운전규제기준 및 운영 상황을 토대로 국내 운전규제기준의 보완 사항은 다음과 같다.

1) 국내 실정에 적합한 운전규제기준 결정 필요

고속철도 운전관계 규정집에서 사용하도록 규정하고 있는 가속도는 고속철도 지진감시시스템에서 측정된 가속도 값이다. 그러나 현재 설치되어 있는 고속철도 지진감시시스템에서는 교량 상판과 교각 하부에 가속도계를 설치하여 측정된 가속도는 지표면 가속도와 달리 구조물의 특성을 반영한 가속도 값이다. 따라서 현재 구축되고 있는 고속철도 지진감시시스템과 운전 규제 규정을 적용하면 작은 지진에서 고속열차를 서행 혹은 중지시킬 가능성이 높아진다. 따라서 국내 고속철도 지진감시시스템에 적합한 운전규제기준을 결정할 필요가 있다.

2) 서행 기준 폐지

지진 발생 시 KTX 기장이 가급적 신속하고 정확하게 열차를 서행 혹은 중지시키기 위해서는 복잡한 규정을 단순화하여 일본과 같이 서행 기준을 없애고 정지 기준만을 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3) 정보전달 체계의 자동화

현재 설치되고 있는 지진감시시스템을 활용하면 관제사가 KTX 기장에게 구두로 전달하는 서행 혹은 중지 명령보다는 자동화된 지령 전달 방식을 채택하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

5. 지진 시 탈선 취약개소 분석 및 평가

5.1 취약개소 선정기준

지진 시 열차 탈선의 위험성이 높은 취약개소에는 구조적(교량, 교대 및 토공 접속부) 취약개소, 원지반 취약개소, 단층을 통과하는 지질학적 취약개소가 있다. 본 연구에서는 대구~부산 간 고속철도 건설

구간(281k100m~410k400m)에 대한 취약개소를 정리하였다.

5.1.1 교량 취약개소

지표면을 통해 전달된 지진파는 교량의 구조적 특성에 따라 증폭되므로, 교량은 토구조물에 비하여 지진 시 열차 주행안전성 측면에서 취약한 구조이다. 교각 높이가 높거나 중량이 크거나 신축거리가 길어 장주기화 될수록 지진 시 열차 주행안전성은 감소된다. 특히 장주기 교량의 경우 지진 시 상판~상판 간 또는 상판~교대 간 상대변위 증대가 증대되어 열차 탈선의 위험성이 증대된다. 경부고속철도 대구~부산 구간에 대한 교량형식을 최대교각 높이 및 최대 신축거리별로 구분하여 나타내면 표 3과 표 4와 같다.

표 3 최대 교각 높이에 따른 교량 분류(대구~부산 구간)

교각 높이(m)	교량 개소	해당 교량
10미만	5	속초교, 당리교, 매야지교, 활천 1교, 추성교
10~15	15	남천 2교, 대정 고가교, 오목천교, 영청교, 신광 2교, 이조천교, 활천 2교, 북안천교, 미호천교, 전읍천교, 삼정 1고가교, 서하 고가교, 천전 1고가교, 태기 고가교, 임기 2고가교
15~20	16	남천 1교, 오목 고가교, 가야 고가교, 광석교, 송선교, 방내교, 화실 고가교, 월산교, 삼정 2고가교, 천전 2고가교, 진티 고가교, 인동교, 외양 고가교, 평산교, 임기 1고가교, 남광 고가교
20~25	8	구지제교, 신광 1교, 덕천 고가교, 반곡 고가교, 하잠교, 법기 고가교, 송정 고가교, 송정 고가교(금회설계)
25~30	4	중리교, 언양 고가교, 중괘 고가교, 중령 고가교
30이상	4	대곡교, 사촌교, 개곡 고가교, 노포 고가교

표 4 최대 신축거리(교량 신축이음간 거리)에 따른 교량분류(대구~부산 구간)

신축거리(m)	교량 개소	해당 교량
15	1	인동교
50	4	당리교, 매야지교, 추성교, 노포 고가교
75	24	남천 2교, 오목천교, 속초교, 구지제교, 신광 1교, 신광 2교, 화실 고가교, 활천 1교, 북안천교, 삼정 2고가교, 천전 1고가교, 진티 고가교, 태기 고가교, 하잠교, 사촌교, 중령 고가교, 평산교, 개곡 고가교, 법기 고가교, 임기 1고가교, 임기 2고가교, 송정 고가교, 송정 고가교(금회설계), 남광 고가교
80	20	남천 1교, 오목 고가교, 가야 고가교, 광석교, 영청교, 대곡교, 중리교, 송선교, 방내교, 덕천 고가교, 이조천교, 월산교, 활천 2교, 미호천교, 전읍천교, 삼정 1고가교, 서하 고가교, 천전 2고가교, 반곡 고가교, 외양 고가교
120	1	대정 고가교
180	1	언양 고가교
240	1	중괘 고가교

5.1.2 교대 ~ 토공 접속부 취약개소

교대와 성토경계부의 취약개소의 수를 분석해보았다. 구조물 자료를 입수할 수 있었던 282 km ~ 389km 구간에 대하여 10km의 각 구간길이에 대하여 교대와 성토 경계부의 개수를 분석하였다. 그 결과 전 구간에 걸쳐 고르게 분포하며, 10km 길이에 대하여 평균 약 10.5개의 교대가 존재하는 것으로 나타났다.

5.1.3 원지반 취약개소

원지반 취약개소는 지진 시 자체적인 침하 문제 뿐 만아니라 지반 진동을 증폭시켜 구조물에 전달 할 수 있다. 이와 같은 원지반 취약개소에는 연약층 구간, 상하 역전형 지반, 지반강성 변화부 및 연약 점토층의 두께 변화부, 액상화 발생 가능 지반, 절·성토 경계부가 있다.

① 연약층 구간

표준관입시험의 N값을 토대로 연약지반을 분류하는 기준은 다음과 같다. 점성토는 N값이 4 또는 6이하인 곳, 사질토 및 실트는 N값이 10이하인 곳을 연약지반으로 분류하고 있다.

- 점성토 두께 < 10m → N≤4 인 곳
- 점성토 두께 > 10m → N≤6 인 곳
- 사질토, 실트 : N≤10 인 곳

표 5는 대구~부산 구간의 시추조사 결과를 바탕으로 연약층으로 분류된 지층의 N값과 두께를 정리하였다. 원지반 조건은 전체적으로 양호한 것으로 판단된다. 대부분의 경우 N값은 4~10 범위에 있고, 두께는 대부분 1.2~3.9m로 얇은 것으로 나타났다. 그러나 403k400m 이후의 구간은 상부 매립층이 연약한 것으로 나타났다. 전체 시추공 개수 54 개 중에서 32개의 상부 지층이 N<10이하로 연약하였다. 층 두께는 약 2~5m 범위에 있었다.

표 5 대구~부산간 고속철도 연약층 구간(281km~403km구간)

구간	보링위치	soil type	N value	층두께
281k100m~281k800m	BR-15	silt	5/30	1.2m
	BR-17	silt	8/30	3.5m
	BR-19	silt	8/30	2.8m
281k800m~282k500m	BR-22	silt	5/30~6/30	3.7m
	BR-23	silt	6/30	3.7m
	BR-24	silt	8/30~10/30	3.9m
	BR-26	silt	9/30	2.3m
284k600m~285k300m	BR-57	silt	7/30	1.8m
285k300m~286k000m	BR-65	silt	8/30	1.8m
	BR-66	silt	8/30	2.0m
286k000m~286k700m	BR-67	silt	7/30	2.1m
292k600m~293k300m	P-69	silty clay	7/30	5.8m
	P-70	silty clay	5/30	6.4m
329k590m~330k290m	BB-31	sand	6/30	2m
	BB-32		10/30	2m
	BB-33		7/30	2.7m
	BB-50	clay	4/30	약1.7m
383k440m~383k900m		silty sand	8/30	3.0~9.2m

5.1.4 단층을 통과하는 지질학적 취약개소

지진은 단층간의 상대적인 운동에 의하여 발생하게 된다. 그러므로 국내 활단층대와 같은 지질학적

자료를 조사하여 취약개소를 파악하고자 한다. 최근 활성단층 등은 GPS 네트워크를 통해서 직접 측정할 수 있다. 동남아시아 주변에서 측정된 활성단층을 종합해보면 규모가 큰 대부분의 활성단층들은 기존의 단층들이 다시 움직인 것으로 분석된다. 한반도의 경우, 남북한 지질도에서 도출된 단층들과 황해, 남해 및 동해에서 해양탐사 결과 얻어진 단층들을 종합해본 결과, NNE 방향의 양산단층대와 북한의 추가령단층대가 육지에서 해저까지 연결되는 큰 규모의 단층대로 인지되었다. 이 두 단층대는 동남아시아의 항공자력탐사 결과와도 일치되며, 원주~홍천간의 KSRS 지진관측망으로 얻어진 1992년에서 1996년까지의 진앙지 분포도나, 계기지진자료를 포함한 수 십년 간의 진앙지 분포도와도 부합한다. 포항 영일만-아산만 간의 대상을 이루는 진앙지 분포형태는 N60~70° W 방향성을 갖는 소단층군과 상관관계가 있는 것으로 보인다. 따라서 한반도에서 활성단층 지역은 추가령단층대, 양산단층대 및 영일만~아산만 간을 연결하는 구간으로 볼 수 있다. 이 중 가장 대표적인 활성단층대인 양산단층대는 양산단층, 모량단층, 밀양단층, 동래단층, 일광단층, 울산단층 및 오천단층과 동남해역의 대마도 부근으로부터 북북동으로 연장되는 모든 단층을 일컬어 정의된다.

양산 단층대와 철도 노선도를 중첩하여 단층대 주변에서 지진 발생 시 영향을 받는 구간을 정리하면 표 6과 같다.

표 6 양산 단층대 영향구간

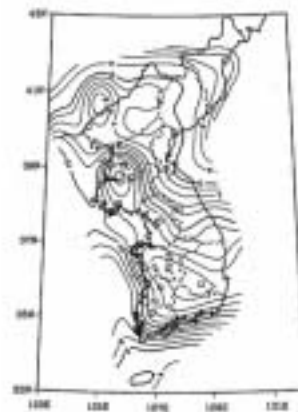
선 로	역 명
경부선	대구
	동대구
	밀양
	삼랑진
	구포
중앙선	부산
	영천
동해남부선	경주
	울산
경전선	마산
대구선	동대구
	영천

5.2 취약개소의 지진응답 평가

기존 선로를 따라 내진설계에 이용되는 설계가속도 수준을 조사하여 지진 취약구간을 분석하였다.



(a) 철도 노선도



(b) 지진재해도 (1000년 재현주기)

그림 10 국내 철도 노선도 및 지진 재해도

그림 9는 국내 철도 노선도와 지진재해도이다. 지진재해도는 기반암 노두 설계가속도를 나타내며 지진가속도가 등고선 형태로 표시되어 있다. 지진재해도는 구조물 중요도와 내진성능수준에 따라서 이용되는 재현주기가 달라지며, 기능수행수준에 대하여 정의된 50년, 100년 재현주기의 지진재해도, 붕괴방지수준에 대하여 정의된 500년, 1000년 재현주기의 지진재해도를 분석에 이용하였다. 철도 노선도와 지진재해도를 같은 축적으로 변환하여 서로 중첩시킴으로서 선로 상 설계가속도 수준을 산정하였다.

그림 10과 그림 11은 경부선과 호남선에 대한 각 재현주기별 기반암 노두 가속도 분포이다. 경부선의 가속도 분포를 살펴보면, 조치원에서부터 밀양구간에서 설계가속도 수준이 높은 것을 알 수 있다. 붕괴방지수준에 해당하는 재현주기 500년과 1000년의 경우 가속도는 0.09g~0.14g의 범위를 가지고 있다. 기능수행수준에 해당하는 재현주기 50년과 100년의 경우 0.04g~0.05g의 범위를 가지며 그 변화폭이 매우 작다. 호남선의 경우 대전에서 논산 구간에서 가속도 수준이 높다가 목포 쪽으로 내려가면서 가속도가 작아지는 양상을 보여준다. 붕괴방지수준에 해당하는 재현주기 500년과 1000년의 경우 가속도는 0.06g~0.14g의 범위를 가지고, 기능수행수준에 해당하는 재현주기 50년과 100년의 경우 0.02g~0.05g의 범위를 가진다.

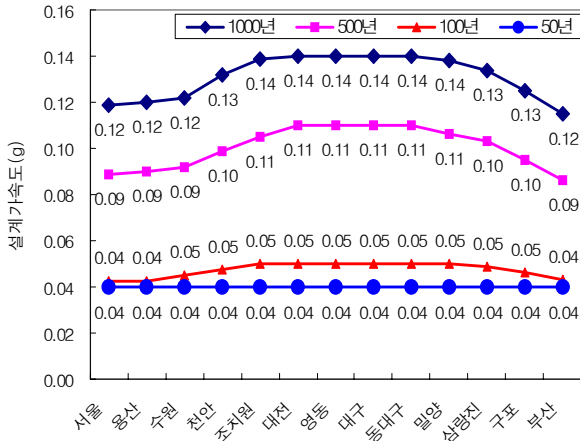


그림 10 재현주기별 기반암 노두 가속도 분포 (경부선)

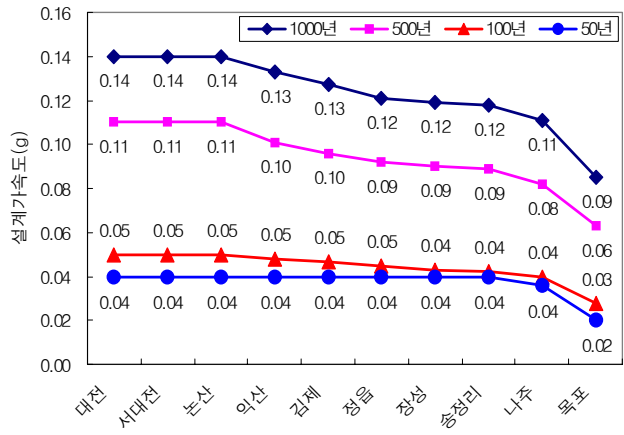


그림 11 재현주기별 기반암 노두 가속도 분포 (호남선)

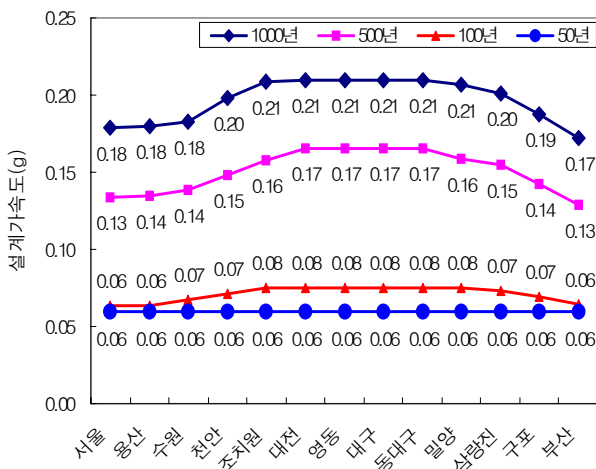


그림 12 선로 상 지반 설계 가속도 수준 (경부선, 지반종류 III)

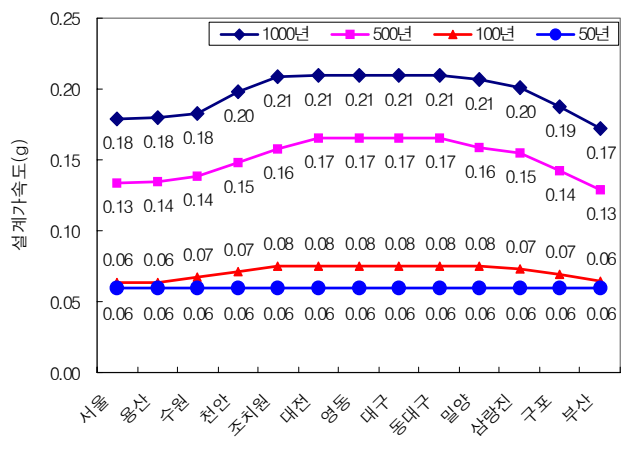


그림 13 선로 상 지반 설계 가속도 수준 (호남선, 지반종류 III)

지진에 의한 지반운동은 기반암 상부지반의 특성에 따라 달라진다. 이러한 지반특성을 반영하기 위하

여 지반을 분류하여 그에 따른 지진계수를 정의하고 있다. 지반종류는 지반종류 I인 경암 지반부터 지반종류 V인 부지특성 평가가 필요한 지반까지 분류되어 있다. 지반이 분류되면 지반종류에 따른 지반계수가 정의된다. 지반계수는 기반암 노두 가속도에 대한 지표면 최대가속도의 비로 정의되며, 지반특성에 따른 가속도 증폭현상을 반영한다. 국내 지반의 경우 대부분 지반종류 II와 III에 속하며 이 경우 지표면 가속도는 기반암 노두에 비하여 각각 1.2 배, 1.5배 증가하게 된다.

그림 12와 그림 13은 지반종류가 III으로 분류되는 경우 선로 상 지표면 설계 가속도 수준이다. 재현주기 500년과 1000년의 경우 가속도는 0.13g~0.21g의 범위를 가지고, 재현주기 50년과 100년의 경우 가속도는 0.06g~0.08g의 범위를 가졌다.

6. 결론 및 향후 계획

본 연구 결과 운행 규제 기준과 취약개소 평가에 대하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 현재 고속철도 선로 변에 구축되고 있는 지진감시시스템은 프랑스나 일본에서 서행 및 정지 기준으로 사용하고 있는 지표면가속도가 아니라 교각 하부에서의 증폭된 지진가속도를 사용하고 있어 프랑스의 운행 기준을 그대로 사용하는 데는 무리가 있다. 따라서 본 과제에서는 향후 국내 지진감시시스템에 적합한 운행 규제 기준을 결정할 필요가 있다. 이를 위하여 2차년도 부터 지진감시시스템이 설치된 교량을 중심으로 필요한 해석과 현장측정 자료를 분석할 계획이다.

2) 지진 발생 시 현장에서의 운행 기준 적용의 혼선을 최소화하여 고속주행 열차의 안전성을 향상시키기 위해서는 지진 관련 기술의 선진국인 일본에서 적용하고 있는 바와 같이 서행 기준을 없애고 정지 기준만을 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 또한 관계사가 KTX 기장에게 구두로 전달하는 서행 혹은 중지 명령을 현재 구축되고 있는 지진감시시스템을 활용하여 자동화된 정보전달 체계를 구축할 필요가 있을 것으로 판단된다.

3) 대구~부산 간의 지진 취약개소에 대한 평가 결과는 다음과 같다. 취약개소를 교량, 교대 및 토공 접속부, 원지반, 단층을 통과하는 지질학적 취약개소로 분류하고 각각에 대하여 분석 평가를 수행하였다. 교량의 경우 교각 높이와 신축이음간 거리에 따라 분류한 결과 교각높이가 30m 이상인 교각이 4개소 있었으며, 원지반 취약개소는 8개소, 접속부는 1km 당 약 1개소의 교대가 존재하는 것으로 확인되었다. 단층의 경우 양산 단층대 구간이 선로 상 지진 취약개소로 평가되었다.

4) 경부선과 호남선에 대하여 재현주기별 선로상의 기반암 가속도와 지표면 가속도를 평가하였다. 지반종류가 III으로 분류되는 경우 선로 상 지표면 설계 가속도 수준은 재현주기 500년과 1000년의 경우 가속도는 0.13g~0.21g의 범위를 가지고, 재현주기 50년과 100년의 경우 가속도는 0.06g~0.08g의 범위를 가졌다.

참고문헌

1. 건설교통부, "내진설계기준연구", 1997
2. 한국철도시설공단, 건설교통부 제정 고속철도설계기준(노반편), 2005. 9
3. 김준희, "고속철도차량의 지진하중에 대한 동적응답 해석", 한국과학기술원, 석사학위 논문, 2000.2
4. 한국지반공학회(2006), 지반구조물의 내진설계
5. N. Matsumoto, M. Sogabe, H. Wakui and M. Tanabe, "Running Safety Analysis for Vehicles on Structures during Earthquake", RTRI Report Vol. 17, No 9, pp. 33-38