

고속철도 인프라시스템 성능평가를 위한 테스트베드 구축

Testbed Implementation for Performance Evaluation of High Speed Railway Infrastructure

엄기영*, 김주용*[†], 최찬용*, 윤정훈*

Ki Young Eum*, Ju Young Kim*[†], Chan Yong Choi*, Jeong Hun Yoon*

Abstract It is very important to develop infrastructure systems in order to improve the speed of the high-speed rail. However, the interest in the technical infrastructure systems lack compared with the speed of the vehicle technology development. In this thesis, the status of the interval of the test bed of Honam high-speed railway which is currently under construction will be reviewed and furthermore, the impact factors of the increased speed of 400km/h driving speed to the environmental noise, railroad infrastructures, and catenary system will be discussed as well. The plan has been established by monitoring the environmental noise at 4 different sites, 9 railroad infrastructures and the catenary system by considering the potential influencing factors on those locations

Keywords : high speed railway, Test bed, Infrastructure system, Monitoring, Speed-up

초 록 고속철도의 속도향상을 위해서는 인프라시스템의 기술발전이 매우 중요하다. 그러나 국내에서는 차량의 기술 발전 속도에 비해 인프라시스템 기술에 대한 관심이 부족했다. 본 논문에서는 현재 건설 중인 호남고속철도 테스트베드 구간에 대한 현황을 검토하고, 400km/h급 운행속도에 따른 환경소음, 선로구축물, 전차선 분야의 증속에 따른 영향인자에 대해 조사하였다. 분야별 영향인자를 고려하여 환경소음 분야 4개소, 선로구축물 분야 9개소 및 전차선 분야에 대한 모니터링 시스템 구축 계획을 수립하였다.

주요어 : 고속철도, 테스트베드, 인프라시스템, 모니터링, 속도향상

1. 서론

우리나라 철도기술의 발전은 속도향상과 함께 이루어져왔다. 1987년 새마을호 동력차를 개발하였으며, 2002년 자체기술로 개발되고, 2007년 상용화에 성공한 KTX-산천을 통해 고속철도의 시대를 열었다. 현재는 2007년부터 2012년까지 최고속도 430km/h의 동력분산형 고속철도 차량(HEMU-430)의 개발이 완료되고 경부 및 호남 고속선에서 주행시험을 추진하고 있다. 그에 반해 고속철도 인프라시스템 측면에서는 획기적인 기술발전이 이루어지지 못했다. 2010년 개통된 경부고속철도 1, 2단계구간과 현재 건설 중인 호남고속철도에서도 궤도, 노반, 전차선 등의 인프라시스템 기술에 대한 관심은 부족했다.

[†] 교신저자: 한국철도기술연구원 고속철도연구본부(jkim@krri.re.kr)

* 한국철도기술연구원 고속철도연구본부

하지만 고속철도의 속도향상을 위해서는 고속철도 차량의 개발과 더불어 인프라시스템 기술의 발전이 매우 중요하다.[1] 본 논문에서는 미래 국가적 성장 동력으로 추진되고 있는 400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발과 관련하여 현재 호남고속철도에서 추진되고 있는 테스트베드 구간에 대해 400km/h급 증속과 관련된 모니터링 검토항목에 대해 검토하고, 그에 따른 계획계획을 수립하였다.

2. 고속철도 테스트베드 구축 계획

2.1 국외 고속철도 및 선로 모니터링 현황

고속철도가 300km/h이상으로 운행하는 국가는 Table 1과 같이 프랑스, 중국, 일본, 독일이 대표적이다. 프랑스 TGV 지중해선 일부 구간과 동남선의 제1구간인 파리~보도르르구간에서 320km/h로 영업운전을 실시하고 있다. 독일의 쾰른-라인(Cologne-Rhein)선에서는 ICE3가 시속 330km/h로 부분 운영되고 있으며, 중국 무광선에서는 CRH열차가 최고 350km/h로 운행했던 것으로 보고되고 있다. 현재 고속철도의 운행속도는 대부분 320km/h 전후로서 350km/h 이상 주행 시에 관련된 기술자료는 매우 부족하며, 관련 기준도 명확하지 않다. 하지만 주행 중 차량과 인프라의 거동을 측정하여 과연 적절한 속도한계가 어디까지인가를 밝히는 최고 속도 시험은 지속적이며 단계적으로 이루어져 왔다.

Table 1 Foreign high speed railway status

구분	최고시험속도 (km/h)	최고운영목표속도 (km/h)	현재운영속도 (km/h)	선로특성
일본(Fastech)	405	360	320(12년 계획)	콘크리트 궤도
프랑스(TGV)	574.8	360	320	자갈도상 궤도
독일(Velaro)	403.7	350	300	콘크리트 궤도
중국(CRH-3)	483	350~380	330~340	콘크리트 궤도

프랑스는 대서양선 개시 이전에 KP 166의 175m 루아르 교량에 스트레인 게이지를 설치하여 모니터링을 수행하였다. 이 때 방돔(Vendome)역의 고속분기기 통과속도는 502km/h였다. 이 때도 유지보수 3/64in(1mm)로 자갈궤도 관리를 실시하였고, 시험기간 중에는 궤도구조의 손상은 거의 없었고 매우 적은 궤도틀림복원 유지보수만이 있었던 것으로 보고되었다. 2007년에는 최고속도 574.8km/h(KP191)에서 궤도, 노반, 교량 분야에 대하여 모니터링을 수행하였다. KP 188에서는 분기기 건널선에서 시속 560km/h 주행 시 포인트, 크로싱부에서 모니터링 시험을 실시하였으며, 분기기 직선에서 500km/h이상 28번을 통과하면서 모니터링을 통하여 측정데이터를 확보하였다. 이 외에 안전 확보를 위하여 궤도 유지보수 전후의 차량의 가속도와 궤도 면틀림의 변화추이를 모니터링을 시행하여 최고속도 시험시 안정성을 확보하였다.

2.2 호남고속철도 테스트베드 현황

호남고속철도는 2008년 11월에 기본설계를 완료하였으며, 2009년 7월 익산역에서 착공식이 이루어졌다.[2] 노선 중 중부 분기역은 오송역이며, 전체 구간은 오송~광주송정~목포 구간이

며, 오송~광주(182.3km) 구간을 1단계로 완공하고, 광주송정~목포(48.6km) 구간을 2단계로 완공할 예정이다. 2009년 착공 이후 각 분야별로 시공이 약 60%(‘12.5)의 공정율을 보이고 있다.

호남고속철도 구간 중 테스트베드 구간은 HEMU 430x 차량의 성능 제원을 고려한 TPS(Train Performance Simulation) 분석을 통하여 400km/h 운행 가능 구간을 선정 후 분야별 모니터링이 필요한 구조물의 유무 및 고속철도 건설공정을 고려하여 선정하였다. 선정된 구간 및 테스트베드 현황은 Fig. 1과 같으며, 테스트베드 구간은 환경소음 분야 4개 지점, 선로구축물 분야 9개 지점, 전차선 분야는 상행선과 하행선을 분리하여 전 구간에 걸쳐 모니터링이 이루어지도록 계획되었다. 경부선 2단계 구간에서 진행 중인 HEMU 430x 차량의 신뢰성 및 안전성 시험이 이루어지고 호남고속철도 건설이 완료되면, 2014년 6월부터 테스트베드 구간에서 최고속도 400km/h의 시험운행과 더불어 인프라 시스템에 대한 모니터링을 통한 성능평가가 이루어질 계획이다.



Fig. 1 Honam high speed railway test bed status

2.2 분야별 테스트베드 구축 계획

2.2.1 환경소음 및 전차선 분야

현재까지의 고속철도 방음시설은 300km/h 운행에 대한 감음성능 및 현장평가가 이루어져 있는 상황이다. 그러나 400km/h 고속철도의 경우 증속에 따른 소음특성 및 설치조건 변화로 인해 새로 개발될 방음시설에 대한 현장 성능평가가 이루어져야 한다. 또한 현재 400km/h의 소음특성이 명확하지 않기 때문에 소음원의 특성과 각각의 소음기여도 분석 및 소음전파 예측모델의 개발이 요구되며, 개발 모델 및 알고리즘의 객관성을 확보하기 위한 테스트베드 구간에서의

성능평가 계획을 수립하였다. Table 2와 Fig 2는 테스트베드 구간에서의 소음측정 계측센서 설치 계획을 나타낸 것이다.

전차선 분야는 국내 최초로 개발되는 400km/h급 전차선 부품에 대해 기존의 국제 규격항목 이외에 부품의 신뢰성을 새롭게 판단하기 위한 검측 시스템이 필요하다. 따라서 테스트베드 전구간에 걸쳐 전차선과 팬터그래프간의 집전성능시험을 위한 차상 구간과 전차선로의 동적 및 정적 특성을 평가하기 위한 지상 구간으로 나누어 계획하였다. Table 3은 전차선로 검측 항목에 대해 나타내었다.

Table 2 Sound measuring sensor installation plan

구분	설치위치 (STA.)	마이크로폰 설치위치
방음벽 상단장치	3-4공구(107k400): 방음벽 설치구간	방음벽 전방으로 3m 이격, 레일 바닥면 1.5m 높이 선로중심으로부터 25m 이격, 지면 1.2m 높이
흡음블록	3-4공구(109k700): 개활지 구간 4-2공구(121k800): 터널구간	개활지: 선로중심으로부터 5m 이격, 지면 1.2m 높이 터널: 터널 벽면 1m 및 2m 높이
소음예측모델	3-4공구(107k400): 방음벽 설치구간 3-4공구(109k700): 개활지 구간	선로 중심으로부터 7.5m 및 25m 이격 지면 1.2m
기여도분석시스템	3-4공구(107k400): 개활지 구간	선로 중심으로부터 6~7.5m 이격, 어레이 시스템

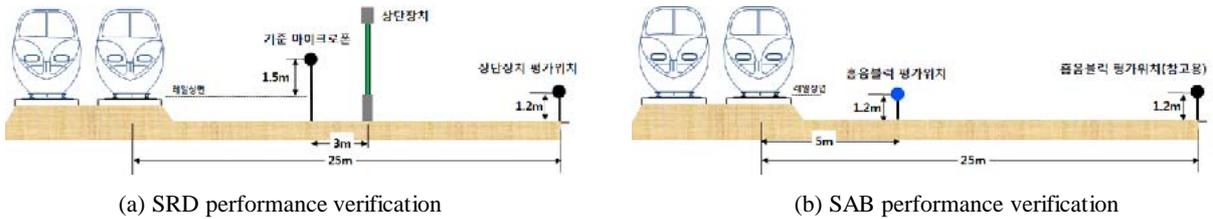


Fig 2 Sound measuring sensor installation plan

Table 3 OCL measurement points

구분	시험항목	세부내용	평가항목
차상	집전성능시험	전차선과 팬터그래프간 접촉력 시험	팬터그래프와 전차선간 접촉력
	집전성능시험	전차선과 팬터그래프간 이선아크 시험	팬터그래프와 전차선간 이선율
지상	동적특성시험	선로 최고속도에서 전차선 동적상호작용 측정	곡선당김구 압상량 전차선 변형률 전차선/조가선 온도
		전차선로 이상상태 모니터링 시험	이선율 0.2%에 해당 접촉율(CQ)
	정적특성시험	전차선로 결합을 탐지하는 시험	전차선 온도 조가선/전선소손 애자류/전압유기

Table 4 Track measurement sensor installation plan

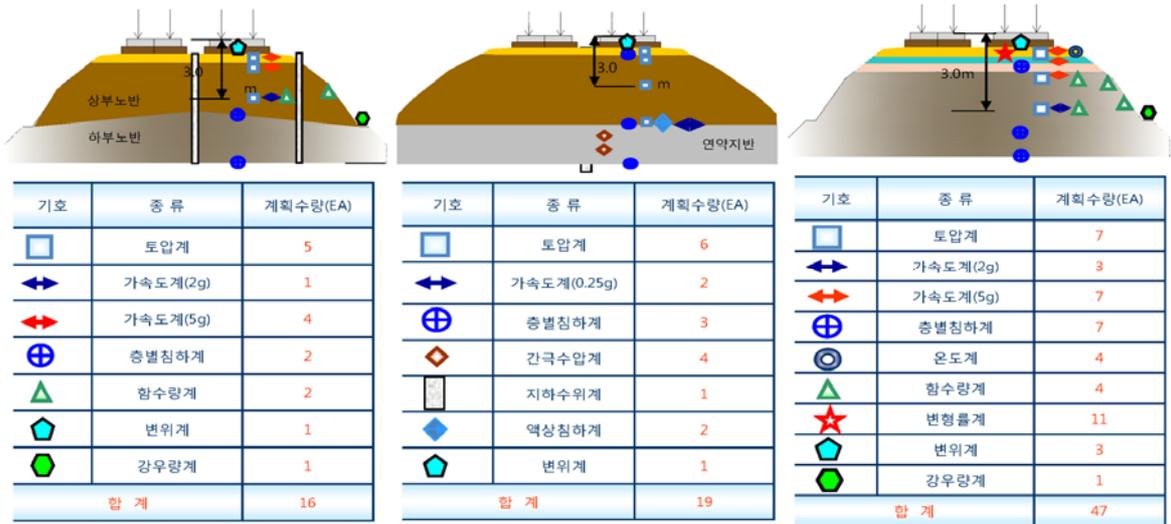
측정위치	설치 계획	측정대상	센서	수량
완화곡선부		윤중, 횡압, 응력 연직/횡변위 연직/횡가속도	변형률계 변위계 가속도계	24 8 8
원곡선부		윤중, 횡압, 응력 연직/횡변위 연직/횡가속도 열차하중	변형률계 변위계 가속도계 FORPS	24 8 8 4
직선부		윤중, 횡압, 응력 연직/횡변위 연직/횡가속도	변형률계 변위계 가속도계	24 8 8

2.2.2 선로구축물 분야

선로구축물 분야에서는 400km/h급 고속철도를 위해서는 안전성뿐만 아니라 사용성 측면까지도 고려하여야 한다.[3] 그러나 국내외에서는 증속에 따른 주행안전성 측면의 검토항목은 있으나 설계관점에서의 규명된 항목은 제한적이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 선로구축물 분야에서 증속의 영향을 고려한 계획을 수립하였다.

궤도에 있어서 400km/h급 운행속도 하에서 작용력은 윤하중과 횡하중에 대한 극한하중의 검토가 필요하며, 증속에 따른 궤도 틀림에 의한 동적 충격력 증가에 대해서도 현장 측정을 통하여 비교 검토가 필요하다. 또한 윤하중과 횡하중의 하중조합에 의한 레일 작용력 증가분, 궤도 틀림 구간에 대한 증가분 등을 고려하기 위해 선형 구간별 비교 검토가 필요하다. 따라서 400km/h급 운행속도를 고려하여 Table 4와 같이 완화곡선, 원곡선 및 직선구간에 대한 계획 수립하였다. 계획항목 중 전통적인 궤도작용력의 측정방법 이외에 정밀측정을 위한 방안을 강구하여 전자기장, 전자파의 간섭오류를 최소화시킬 수 있는 광섬유레일패드센서(FORPS) 등을 적용할 계획이다.

노반에서는 열차속도 증가에 따라 주행안전성이 불리하게 되며, 궤도의 불연속면에서 큰 충격하중이 작용하게 된다. 따라서 고속선에서 중요한 관리항목은 궤도의 평탄성 유지이며, 이는 노반의 하중변화, 침하, 내구성 등에 좌우될 것이다. 또한 노반분야 모니터링은 다른 구조물과 달리 성토체 내부에 센서가 매립되어야 하기 때문에 장기적으로 안정성을 우선 확보할 수 있어야 한다. 노반분야 계획계획은 Fig 3과 같이 표준노반, 연약지반 및 접속부 노반에 대해 하중변화, 침하 및 내구성 등의 주요인자들에 대한 계획 항목으로 계획하였다.



(a) Standard embankment roadbed (b) Soft ground foundation roadbed (c) Bridge/Earthwork transition roadbed
Fig 3 Roadbed field of sensor installation plan

Table 5 Track measurement sensor installation plan

측정위치	설치계획	센서	수량
연정교 (소수주형)		변위계 가속도계 가속도계 (차량)	7 5 3
연정교 (PSC Box)		변위계 가속도계 가속도계 (차량)	7 5 3
정지교가교 (E/D)		변위계 가속도계 가속도계 (차량)	10 8 3

교량 모니터링은 대표적 교량들인 PSC-Box교, 소수주형교 및 Extradosed교를 선정하였다. 현재 교량의 응답에 의한 주행안전성 및 승차감 검토기준은 전 세계적으로 360km/h 이하의 설계 속도에 대한 기준이므로, 그 이상의 속도대역에서는 교량 통과 시 차량의 응답에 의한 직접적인 상호작용 검토가 필요하다.[1] 따라서 이들 교량에 대해 동적 설계기준의 동적응답 관련 항목에 해당하는 연직변위, 교량 상판 진동가속도, 면틀림을 기본항목으로 고려하였으며, 교량의

거동과 차량의 승차감에 대한 연관성을 검토하기 위한 차상 및 교량상 가속도계를 추가적으로 계획하였다. 또한 차상신호와 교량상 신호의 상호작용 분석을 위해 설치된 센서는 GPS Clock을 이용한 GPS 동기화 방법을 통해 상시 0.5ms 이내까지 동기화하도록 계획하였다.

3. 결론

미래의 녹색 성장 동력의 하나로 추진되고 있는 400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발과 관련하여 현재 호남고속철도에 추진 중인 테스트베드 구간에 대해 현황을 검토하였다. 환경소음 분야에서는 소음 저감을 위한 방음벽 상단장치와 흡음블록의 성능테스트와 400km/h의 소음기여도 분석 및 소음전파 예측모델에 대한 객관성을 확보하기 위한 성능평가 계획을 4개소에 대해 수립하였다. 전차선 분야에서는 전차선과 팬터그래프간의 집전성능 시험을 위한 차상 구간과 전차선로의 동적 및 정적 특성을 평가하기 위한 지상 구간으로 나누어 테스트베드 전구간에 걸쳐 계획하였다. 선로구축물 중 궤도분야에서는 호남고속선 선형에 따른 응답검토와 궤도 작용력 확인을 위해 원곡선, 완화곡선, 직선구간에 대해 계측 계획을 수립하였으며, 노반분야에서는 운행차량 증속에 따른 지반의 하중변화, 침하 및 내구성 등을 평가하기 위해 표준노반, 연약지반 및 교량 접속부 구간에 대해 모니터링 계획을 수립하였다. 교량에 대해서는 동적응답 항목 및 교량 거동과 차량의 승차감에 대한 연관성을 검토하기 위하여 PSC-Box교, 소수주형교 및 Extradosed교를 선정하여 계측 계획을 수립하였다. 본 연구를 통해 국내에서 처음으로 시도되고 있는 고속철도 테스트베드 구축 계획은 향후 400km/h급 인프라시스템의 구축과 운영을 통해 고속철도의 핵심기술 확보에 기여할 것이다.

후 기

이 논문은 국토해양부에서 지원한 “400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발” 과제에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] K.Y. Eum, Y.S. Kang, J.H. Yun (2011) The status of technology development for 400km/h HSR infra-system to increase speed, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, 23(6), pp. 63-67.
- [2] K.Y. Eum, et al. (2011) Korea Railroad Research Institute, Development of infrastructure technology for 400km/h high speed rail, Research report
- [3] Y.S. Kang, et al. (2011) Korea Railroad Research Institute, Study on design standards of track systems for the high-speed railway at 400km/h, Research report