

차세대고속철도기술개발사업 시스템인터페이스 시험기술 개발

Development of the technology to verify the systems interface for the High speed Electric Multiple Unit

강병모†	정상국*	안효권*	최환침*	유승위*
Kang, B.M.	Jeong, S.G.	Ahn, H.K.	Choi, H.C	Yu, S.W.

ABSTRACT

Since a long time ago, many railway engineers analyze and discuss the interface between the sub-system of railway, such as a wheel/rail interface, pantograph/catenary interface etc. The verifying of the system interface could help to achieve the optimized performance and safety of the railway system considering that the railway system is constructed by various engineerings, such as civil, mechanical, electrical, etc.

A rolling stock with distributed drive system, which will be developed by HEMU-400x project, is capable of running on high speed line and conventional line in Korea. To verify the performance of rolling stock, test run will be done with revenue service line. And the test items of the system interface have to be selected to verify a functional compatibility and physical force between rolling stock and infrastructure.

In this paper, the authors will indicate the test items to verify system interface. To achieve the conclusion, the authors analyze a specification of the development train and the design value of Seoul-Busan high speed line, which will be used for testing of the development train, and also, study the various case of high speed train commissioning.

국문요약

1. 서론

오래전부터 철도엔지니어링 분야에서는 차륜과 궤도, 팬터그래프와 전차선 간의 인터페이스 등 철도 하부시스템간의 인터페이스를 분석하고 검증하는 방법을 연구하여 왔다. 토목공학, 기계공학, 전기공학 등 다양한 기술이 복합적으로 적용되는 철도시스템의 특성을 고려하여 볼때, 시스템인터페이스의 효과적인 검증을 통하여 철도시스템의 최적성능 및 운행안전을 확보할 수 있기 때문이다.

차세대고속철도기술개발사업으로 개발되는 동력분산형 고속철도차량은 국내의 고속철도 및 기존선로에서 정상적인 운용이 가능하여야 한다. 이를 위하여 개발차량은 철도시설물의 성능 및 안전성이 입증된 구간에서 성능검증이 예정되어 있고, 개발차량의 시스템인터페이스시험은 철도시설물과의 기능적인 연동성능과 철도시설물에 미치는 영향을 시험·검증할수 있도록 시험항목이 구성되어야 한다.

본 연구에서는 철도시스템의 양대 축인 철도차량과 철도시설물간의 시스템인터페이스시험 항목을 제시하기 위하여, 차세대고속철도기술개발사업 시제열차의 설계사양과 시운전이 진행 될 경부고속 2단계 구간의 설계기준을 비교·검토하고, 국내외 시운전 사례 등의 조사분석을 통해 본선 시운전에서 검증하여야 할 시험항목을 제시하고자 한다. 또한, 본 연구결과로 제시된 시스템인터페이스 항목은 향후 철도차량의 개발과 철도시설물의 건설 또는 개량시 철도차량과 철도시설물의 호환성 시험에 활용할 수 있을것으로 기대된다.

† 책임저자: 비회원, 한국철도시설공단 KR연구원
E-mail : kang0413@gmail.com
TEL : (042)607-4744 FAX : (042)607-4759

* 비회원, 한국철도시설공단 KR연구원

2. 본론

2.1 시스템인터페이스시험 필요성

서론에서 언급하였던 바와 같이 철도시스템은 다양한 하부시스템이 상호연계되어 운영되는 복합 시스템이다. 따라서, 이들 각각의 하부시스템을 유기적으로 연계함으로써 각 하부시스템이 하나의 조합된 시스템으로 최적상태에서 동작되도록 하여야 하고, 또한 안전성 확보 측면에서도 시스템 인터페이스의 중요성은 오래전부터 인식되어 왔다. 시스템인터페이스시험은 이러한 각각의 하부시스템이 기능적, 물리적으로 설계목적대로 동작하는지 최종적으로 검증하는 절차이다. 최근에는 열차의 고속화, 고성능화 추세에 따라 시스템엔지니어링(SE)의 중요성이 부각되고 있으며, 사업초기부터 검증계획을 포함하여 시스템인터페이스에 대한 체계적인 관리의 필요성이 점차 증대되어가고 있다. 시스템인터페이스시험은 각 하부 시스템의 설계, 제작 및 시험평가가 종합적으로 이루어져야 하며, 특히, 각 하부시스템의 정적·동적 시험 및 하부시스템의 통합시험을 통한 구조물의 안전성 및 호환성 평가가 필수적으로 이루어져야 한다.

2.2 시제열차 및 시운전노선 설계기준

2.2.1 시제열차 (HEMU-400X)

차세대고속철도기술개발사업으로 개발되고 있는 시제열차는 국내에서는 최초로 개발되는 동력분산식 고속 철도차량으로, 현재 운영중인 KTX 및 KTX-산천과는 동력방식 및 제원 등에서 많은 차이가 있다. 도표 1은 시제열차의 철도시설물과 관련이 있는 차량시스템사양서를 요약한 것이다. 일반적으로, 차량과 철도시설물의 인터페이스는 차륜과 레일, 팬터그래프와 전차선, 차량의 소모전력 등에서 발생이 된다. 세부적으로 살펴보면 차륜의 답면형상과 레일의 두부형상간의 인터페이스는 대차의 동적거동 등 차량의 주행안전성에 영향을 미치게 되며, 궤도구조의 안전성에 영향을 미치는 요소는 차량의 최고속도, 최대 제동력, 축중 등이 있다. 또한, 차량의 최고속도는 전차선과 연계하여 검토하여야 하고, 차량의 폭과 높이는 선로변 구조물과의 간섭 등과 관계가 있는 요소이다. 시스템인터페이스시험은 이러한 요소들을 종합적으로 고려하여 시행하여야 한다.

구 분		설계기준	
성 능	영업 최고속도	350km/h	
	설계 최고속도	400km/h	
	최대 견인력	187kN	
	최대 회생제동력	상용	TBD
		비상	TBD
공급전원	25kV, 60Hz		
제 원	축중	14tons 이하	
	편성열차길이	약 149m	
	차량 폭	약 3,100mm	
	차량 높이	약 3,700mm	
	동력대차 수량	10set	
	부수대차 수량	2set	
	대차간 거리	동력객차	약 16,500mm
		제어객차, 제어동력객차	약 17,000mm
	윤축거리	2,600mm	
	차륜직경	860mm (신차륜)	

도표 1. HEMU-400X 설계사양

2.2.2 시운전노선

시제열차의 시운전은 2010년 11월 개통예정인 경부고속철도 2단계 구간(경주-동대구간 상선 59km구간)에서 시행될 예정이다. 경부고속철도 2단계 구간의 노반/궤도 및 전차선의 설계기준은 도표 2와 같다.

구 분		설계기준
노반/궤도	최소 곡선반경	7,000m
	최대 선로기울기	25% (부득이한 경우 30%)
	선로중심간격	5.0m
	터널 단면적	107.9m ²
	최대 부족캔트량	0~65mm (부득이한 경우 85mm)
	최대 캔트부설량	180mm
	노반 폭	14m
전차선	장 력	2,000daN
	재 질	경동선
	단면적	150mm ²
	직경	13.6mm
	단위중량	1.334Kg/m
	드로퍼 간격	4.5m, 6.75m

도표 2. 경부고속철도 2단계 설계기준

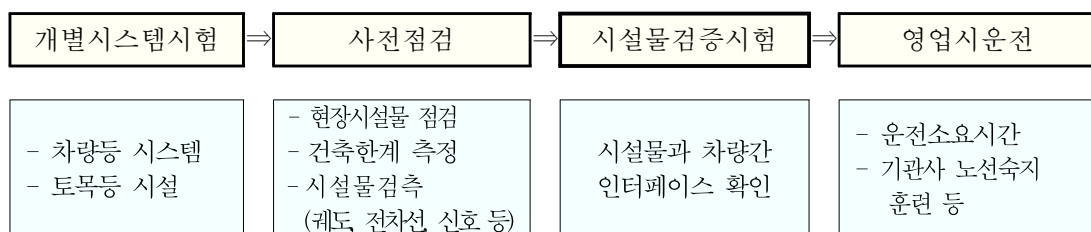
경부고속철도 2단계 구간의 전차선 및 신호시스템은 1단계 구간과 동일하지만, 궤도구조는 콘크리트 궤도를 채용하고 있어 시제열차의 400km/h 시운전에 보다 더 적합할 것으로 판단된다. 전차선의 경우 20kN의 장력으로 시공되어 있으나, 최고속도 시운전시 안전성 확보를 위하여 장력을 조정할 후 시행될 계획이다. 신호시스템은 300km/h 이상의 속도에서는 시제열차 주행이 불가능하기 때문에 시스템을 차단하고 시운전이 진행될 가능성이 높다.

차세대고속철도 시제열차 시운전은 철도시설의 설계기준 이상의 속도에서 진행됨에 따라 노반/궤도 및 전차선 분야는 시운전에 따른 시설물의 안전성을, 신호시스템은 300km/h의 속도까지 차량과 시설물의 기능적 호환성 위주로 시스템인터페이스시험이 진행되어야 할 것이다.

2.3 국내외 규정 및 규격

2.3.1 철도안전법

우리나라는 철도산업 구조를 철도건설주체와 운영주체로 분리하는 구조조정을 시행하면서 철도안전법을 제정·공포(2004.10.22)하고 철도종합시험운행시행지침을 제정하여 신설선로에 대한 종합시운전을 강화하였다. 국토해양부에서 제정한 철도종합시험운행시행지침에 따라 시행하는 종합시험운행은 기본적으로 새로 건설되는 철도시설물에 대하여 영업운행 전에 궤도, 전차선, 신호, 통신 등 각 하부 시스템의 성능 및 차량을 이용한 운행적합성 등을 검증하기 위한 절차로, 검증이 완료된 영업선로에서 시운전이 시행되는 차세대 고속철도기술개발사업의 시운전과는 목적이 약간 다를 수 있다. 그러나, 종합시험운행 중 시설물검증시험은 시설물과 차량간 인터페이스시험을 규정하고 있으며, 새로 설치된 시설물의 자체 성능시험을 제외한 항목은 시제열차의 시험항목으로 적용이 가능할 것으로 판단한다.



<그림 1> 종합시험운행 절차

따라서, 시설물검증시험은 선로구조물 4항목, 전철전력 12항목, 신호통신 10항목 등 총 26개 항목으로 되어 있으나, 이중 건축한계 측정 등 시설물 성능검증을 위한 항목과 전압, 전류, 역률 측정시험 등 시제열차로 시험조건이 구성되지 않는 항목을 배제함으로써 14개 항목을 도출하였다.

2.3.2 국제규격

일반적으로 철도차량의 완성차시험에 적용되는 국제규격은 IEC 61133과 UIC 610 규격이 대표적으로 적용되어 왔다. IEC 61133 규격은 차량의 제작을 완료한 후 완성차 시험 및 상업운전 투입 전 시험을 통하여 차량의 성능을 확인하는 것으로 역행성능시험, 안전운행시험, 제동성능 등 완성차량의 성능검증에 필요한 약 14종의 시험항목을 제시하고 있다. UIC 610은 중량시험, 제동시험 등 13종의 기계장치 관련 시험과 견인력시험, 전기제동시험 등 16종의 전기장치 관련시험을 제시하였으나, 현재 UIC 610규격은 폐기되어 적용되지 않고 있다. 위에서 검토한 바와 같이 IEC, UIC 규격은 완성차량의 개별 성능시험에 초점을 맞춘 규격으로 본 논문에서 다루고자 하는 차량과 시설물 간의 인터페이스 사항에 대하여는 구체적으로 기준을 제시하고 있지 않다.

한편, 유럽의 TSI(Technical Specification for Interoperability)에서는 범 유럽 고속철도망의 상호 호환성을 확보하기 위하여 철도차량, Infra-structure, 전력시스템 등의 하부 시스템이 준수해야 할 필수 요구사항과 기능적, 기술적 사양을 제시하고 있다. 또한 제시하고 있는 각 하부시스템의 기술사양과 관련된 다른 하부시스템의 기술사양을 체계적으로 연계하여 정리하고 있어 시스템인터페이스 기술검토에 유용하게 활용할 수 있었다.

2.4 국내외 고속철도 시운전사례

2.4.1 경부고속철도(KTX)

경부고속철도사업은 국내 엔지니어링 기술이 부족하여 노반 및 궤도분야를 제외한 상당한 부분의 기술을 해외에서 도입하였다. 코어시스템이라 불리는 차량, 전차선, 신호 시스템 등의 핵심기술은 해외에서 도입하고 노반/궤도 분야는 국내기술로 시공하는 방식으로 사업이 진행되었으며, 각 하부 시스템간의 인터페이스에 따른 성능은 CSIT(Core System Integrated Test)와 영업시운전을 통하여 검증하였다.

CSIT는 총 13종의 시험을 시험선, Phase 1, Phase 2에 따라 조금씩 다르게 항목을 적용하여 수행되었다. CSIT는 종합적인 운영성능시험 성격이 강하여 신호시스템과 차량간의 기능적 연계성시험(차량 주개폐기 동작시험 등 4종) 등 일부 시험은 단편성으로 가능하나 대부분의 시험은 2편성 이상의 동종 열차가 있어야 시험이 가능한 특성이 있다. 따라서 이러한 항목은 차세대고속철도 시제열차 시험항목에서 배제하였다.

2.4.2 고속철도기술개발사업

고속철도기술개발사업은 G7 고속전철기술개발사업의 연장선으로 볼수 있으며, 고속전철기술개발사업에서 설계 및 제작된 시제품(시제차량 및 핵심부품)의 안정화, 신뢰성 확보 및 실용화를 목표로 하였다. 시험은 고속성능시험, 성능개선시험, 차량/시설물 적합성 시험, 신뢰성 시험으로 구분하여 총 106개 항목에 대하여 시행하였다. 고속철도기술개발사업은 연구성격 및 시험조건이 차세대고속철도기술개발사업과 가장 유사하여 시스템인터페이스시험과 시험목적이 같은 차량/시설물 적합성시험에서 시행한 대부분의 시험을 반영하였다.

2.4.3 일본 신간선 속도증가 사례

일본은 신간선의 영업운행속도 향상을 목적으로 시험열차의 주행속도를 단계적으로 향상시키면서 운행속도 증가에 따른 궤도, 전차선 등 철도시설 각 부분의 상태를 면밀히 측정하였다. 이러한 측정결과를 바탕으로 선로를 개량함으로써 신간선의 영업속도는 동북신간선의 경우 개통시 260km/h에서 275km/h로 향상되었고, 동해도신간선은 개통시 210km/h 였으나 현재의 영업운행속도는 275km/h로 대폭 향상되

었다. 일본의 사례는 차세대고속철도 시제열차와 같은 동력분산식 고속철도 차량이 사용되고, 속도증가에 따른 철도 시설물에 미치는 영향 측정 등 본 논문에서 연구하고자 하는바와 부합되는 면이 많다. 일본 고속선의 속도향상시 점검항목은 도표 3과 같다.

분 류		확인항목	측정항목
전차선	집전성능	이선	이선을,아크발생상태
		가선금구와 팬터그래프의 이격, 가선의 진동	트롤리선 압상량
	전차선강도	트롤리선 편위 트롤리선 피로 강도	팬터그래프 편위 트롤리선 응력
궤도	궤도 부재강도 궤도 파괴량	궤도 각부의 강도	레일,레일체결장치,침목,노반의 발생응력
		궤도 각부의 진동 특성	레일,침목,도상,노반의 진동가속도
	분기기 강도-기능	분기기의 부재강도	가드레일 배면횡압 팅레일 응력, 볼트 응력
분기기의 기능		선단개구량	
토목구조물	교량 강도	콘크리트 교량의 강도	교량의 응력, 휨량

도표 3. 일본 신간선 측정사례

2.5 차세대고속철도기술개발사업 시스템인터페이스 시험항목

지금까지 차세대고속철도 시제열차의 시스템인터페이스 시험을 위하여 국내외 기준 및 사례등을 검토·분석하였다. 시스템인터페이스시험은 국내법규인 철도안전법과 철도종합시험운행지침을 기본으로 하여 국내외 시운전사례 등을 분석·보완하여 도표 4와 같이 항목을 도출하였다.

구분	점검분야(항목수)	시험항목	비 고
선로 구조물	궤도성능(5)	-윤중/횡압 -레일, 슬라브(침목) 변위 -레일, 슬라브(침목) 가속도 -레일, 슬라브(침목) 응력 -분기기 볼트 응력	
	교량성능(5)	-중앙부 수직가속도 -경간 중앙부 처짐 -단부 꺾임각 -단부 꺾임부 체결구 축력, 응력 -주부재 응력	
	터널성능(1)	-터널 입출구부 미기압과	
전철전력	전차선(4)	-전차선 지지점 압상량 -절연구분장치 지지점 전차선 변형률 -팬터그래프 이선율 -동적편위	
	송변전(5)	-전철변전소 고조파 -소비전력 -EMI 간섭 -회생전력 품질 -등가방해전류	
신호	신호(5)	-궤도회로 신호교란/방해율 측정 -기밀장치 동작 -주전원차단장치 동작 -가선변경구간 통과 -ATP/ATC/ATS 자동절환	

도표 4. 차세대고속철도 시스템인터페이스 시험항목

3. 결 론

본 논문에서는 차세대고속철도기술개발사업 시제열차의 시스템인터페이스 성능검증을 위하여 국내외 규격 및 기준 등을 살펴보고, 고속철도 인터페이스 사례를 분석하여 차세대고속철도기술개발사업에서 수행하여야 할 시험항목을 제시하였다. 앞에서 살펴보았던 것과 같이 아직까지 시스템인터페이스에 관한 구체적인 기준이나 규정은 국내외적으로 정립되어 있지 않다. 따라서, 프랑스, 일본 등 철도선진국은 자신들만의 노하우에 따라 기준 등을 수립하여 활용하고 있으며, 이러한 정보의 외부공개는 극히 제한하고 있는 실정이다.

따라서, 한국형고속철도기술개발사업으로부터 시작된 국내 고속철도기술의 완성을 위해서는 단위시스템의 기술력 확보 못지않게 속도 단계별로 시스템간 인터페이스 성능을 평가하고 검증하는 기술을 확보하는 것은 한국철도기술 발전에 매우 중요한 사안이라 할 것이다.

본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 연구비지원(과제번호 07차세대고속철도A01)에 의해 수행되었습니다.

Acknowledgement

This research was supported by a grant(code 07차세대고속철도A01) from Railroad Technology Development Program (RTDP) funded by Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs of Korean government

참고문헌

1. 국토해양부(2008),“철도종합시험은행시행지침”
2. International Standard IEC 61133, second edition, 2006-10
3. UIC Code 518 OR, 4th edition, september 2009
4. DIRECTIVE 96/48/EC-INTEROPERABILITY OF THE TRANS-EUROPEAN HIGH SPEED RAIL SYSTEM “Technical Specification for Interoperability”
5. 한국철도기술연구원(2007),“고속철도시스템 신뢰성 및 운영효율화 기술개발”
6. 한국철도기술연구원(2001),“G7 고속철도기술개발사업 시제열차 시운전 인터페이스 분석”
7. 한국철도기술연구원(2006),“고속철도기술개발 통합 및 총괄” 4차년도 연차보고서
8. 김병도(2009),“철도시스템의 시스템엔지니어링 관점에서 종합시운전에 대한 고찰”
9. 정홍채(2003),“철도시스템 시운전 시험 평가 항목 비교연구”
10. 주식회사일본선로기술(2008), “신간선의 속도향상”