

분산형 고속철도 시스템의 400kph 최고속도 시험을 위한
시운전 시나리오 고찰

**The Feasibility study of the scenario for 400kph maximum speed test in
HEMU (High-speed Electric Multiple Unit) System**

강병모* 정상훈** 안효권*** 조병찬**** 문재석**

Kang, B.M. Jeong, S.H. An, H.K. Cho, B.C. Moon, J.S.

ABSTRACT

Since the "Low Carbon, Green Growth" as a social requirements is attracted public attention, the policies and investments of the railway which have been less estimated than road is re-considered. Since the starting the commercial service (2004. April), the KTX have been operated successfully while transport passengers over 100million for years. And also the project for development of KHST (Korea High Speed Train ; G7) had been accomplished with a good result, the first trainset of KTX-II which base on G7 project was manufactured and testing now.

On the other hand, the world's technology of the high speed train is more faster, and changing to a distributed traction system. To catch up the world's leading technology, the HEMU(High-speed Electric Multiple Unit) project will secure new technology and aims to promote the technology of domestic high-speed train.

The authors indicates the result of detail review such as a curve, slope of the track and electrical dead section of the catenary to test at 400kph and also the performance simulation of the developed rolling stock in this paper. As the result, the authors devise the test scenario to perform a maximum speed test (stability at max. speed, acceleration & deceleration etc) with the restricted conditions such as track length, track available time etc by considering above result.

1. 서 론

저탄소 녹색성장이라는 사회적 요구가 강조됨에 따라 철도의 친환경적인 장점은 그동안 도로에 편중되었던 교통정책의 재고 및 철도 투자확대의 필요성에 대하여 다시금 돌아보게 되는 계기가 되고 있다. 2004년 4월 국내 최초로 고속철도시대를 개막한 KTX는 개통이후 4년여 동안 1억명 이상의 여객을 운송하며 성공적으로 운영되고 있다. 또한 한국형 고속철도기술개발사업(G7)이 성공적으로 완료되고, 이를 바탕으로 국내기술로 개발된 KTX-II 첫 양산차량의 제작이 완료되어 시험 중에 있다. 이렇듯 단계적으로 축적된 고속철도기술을 바탕으로 시작하는 차세대고속철도기술개발사업 (HEMU ; High-speed Electric Multiple Unit)은 동력분산식 고속철도차량개발이라는 세계적인 고속철도기술 흐름에 동참하고 신기술을 확보함으로써 국가경쟁력강화에 일익을 담당할 것이다.

* 책임저자: 비회원, 한국철도시설공단 KR연구원 기춘심사처

E-mail : kang0413@gmail.com

TEL : (042)607-4745 FAX : (042)607-4759

** 정회원, 한국철도시설공단 KR연구원

*** 비회원, 한국철도시설공단 KR연구원

**** 정회원, 한국철도시설공단 수도권본부

본고에서는 차세대고속철도기술개발사업 1차년도 연구과제에서 선정된 시운전 노선(안)에 대한 곡선, 구배 등 선로선형과 전차선의 전기적 절연구간에 관한 세부적인 검토결과를 제시하고, 개발차량의 성능 시뮬레이션 결과를 검토함으로써 제한된 시운전 환경(시운전 노선거리, 시운전 시행 시간 등)에서 400kph 최고속도에서의 개발차량 가·감속 성능, 선로구축물과의 인터페이스시험 등을 효율적으로 시행할 수 있도록 개발차량의 특징을 반영한 최적의 시운전 시나리오에 관해 고찰하였다.

2. 본 문

2.1 최고속도시험 시운전 시나리오 검토 시 고려사항

개발차량의 최고속도시험은 상업운행중인 고속철도선로에서 선로설계속도 이상의 속도에서 개발차량의 동적 성능특성 및 시설물과의 인터페이스 시험을 수행하게 된다. 따라서, 이러한 시험을 원활하게 수행하기 위해서는 사전에 치밀한 검토와 상세한 계획수립이 필요하다.

(1) 시운전 시행시간

고속철도 선로는 최상의 상태를 유지하기 위하여 선로유지보수작업이 시행된다. 최고속도시험은 이 시간 중 00:00 ~ 04:30 시간대를 이용하여 시행하게 되며, 시운전 노선구간 뿐만 아니라 개발차량이 통과하는 구간은 부분적으로 선로작업이 중단되어야 한다. 야간 시운전의 경우 차량의 이동시간 및 시험 준비·차량 점검시간을 제외하면 실질적으로 시험이 가능한 시간은 2시간 내외가 된다.

(2) 시운전 노선

시운전 노선(안)중 제4안(호남1단계)은 선로시스템통합시험이 2015년 08월부터 시행될 예정이므로 2012년에 개시되는 개발차량의 본선시운전을 고려하면 본 구간에서는 시험운행이 어려울 것으로 본다. 제 1안은 350 ~ 400kph 속도 대역에서 최소곡선반경(R:8000m)이 존재하여 최고속도시험이 어려울 것으로 판단되며, 경부고속철도 2단계는 슬래브케도로 건설 중으로서, 자갈도상케도보다 구조적으로 안정적인 슬래브케도가 적용되는 제3안이 400kph 시운전에 유리할 것이다.

(표1 : 시운전 노선 검토결과)

	차세대 고속철도	제1안 (경부1단계)	제2안 (경부1단계)	제3안 (경부2단계)	제4안 (호남1단계)	비 고
일정	'12.01 ~ '13.06	상업운행중 ○	상업운행중 ○	'10.12부터 상업운행예정 ○	'15.12이후 상업운행 ×	
교량		23	21	32		
터널		7	12	21		
분기기		5	6	9		
기술적 검토결과						
선형		×	○	○		
궤도부담력		△	△	○		
교량구조		△	○	○		
전차선		장력증가 (20kN --> 23 또는 26kN)				
결과		×	△	○	×	

※ 선형 : 최소 곡선반경, 곡선부 전도안전성

궤도부담력 : 레일 휨 응력, 침목 작용하중, 노반 허용압력

교량구조 : 최대 연직 처짐, 최대 연직 가속도

(3) 차량 유지보수

현재 경부고속철도에는 1단계 구간 3, 2단계 구간 1곳에 보수기지(주기지)가 건설되어 있다. 보수기지는 철도시설물을 건설하고 유지관리하기 위한 제반 업무를 효율적으로 수행하기 위한 기지로서, 철도시설물 건설 및 관리에 필요한 장비, 자재, 인력을 정비, 확보하여 필요할 경우에 즉시 투입함으로써

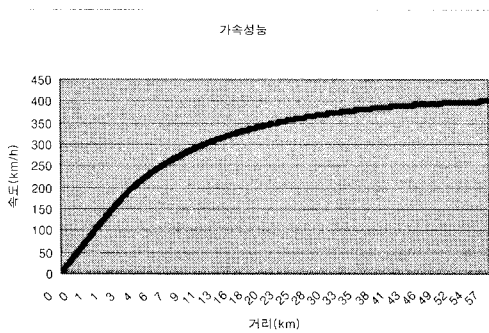
효율적인 시설물 관리를 수행하기 위한 목적으로 건설된다. 오송 기지에서 시운전 차량이 출발하는 경우 시운전 노선 (3안을 선택하는 경우)까지 거리가 상당하여 차량시스템이 안정화 되어 있지 않으면 이동하는데 많은 시간이 걸릴 것이다. 따라서, 300kph 이하에서는 경부 1단계 구간을 이용하여 증속시험을 하는 방안도 고려해볼 필요가 있다. 오송을 제외한 다른 보수기지는 차량정비 시설이 미비하여 활용에 어려움이 예상된다. HEMU 개발차량의 시운전시 활용 가능한 보수기지를 정리하면 다음과 같다.

(표2 : 경부고속철도 보수기지)

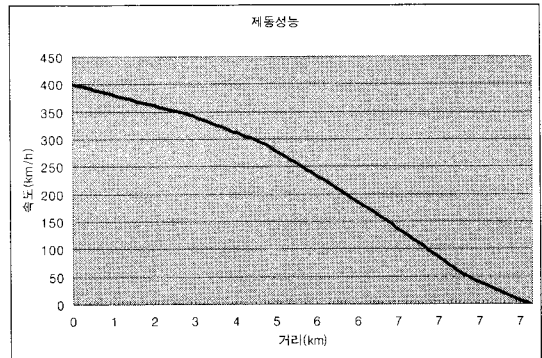
구 분	오송	영동	약북	고모	비고
위치(키로정)	120.100km	183.411km	245.217km	282.610km	
면 적	584,000 _{m²}	166,000 _{m²}	113,700 _{m²}	123,000 _{m²}	
배선현황	유치선 14선 검수/ 정비선 7선 고속차량 검수선 2선	유치선 25선 적재선 6선 기능선 4선	유치선 15선 적재선 3선 기능선 5선	유치선 16선 적재선 3선 기능선 10선	
검수설비	드롭핑 테이블 검수용 피트	-	-	-	

(4) 개발차량 성능자료(TPS)

시운전 노선의 거리를 결정짓는 중요한 요소 중의 하나가 개발차량의 가. 감속 성능이다. 개발차량의 성능요구서는 최대 가속도 0.5_{m/g}, 감속도 1.06_{m/g} (300kph기준)을 요구하고 있으며, 이를 이용하여 차량 성능 시뮬레이션 결과는 가속성능 (0 --> 400kph) 57.68km, 제동성능 (400kph --> 0) 7.1km가 소요된다. 여기에 최고속도에서 차량시스템의 안정성을 확인하기 위하여 400kph로 30초동안 정속 주행하는 거리를 포함하면 이론적인 최소 노선거리가 도출된다.

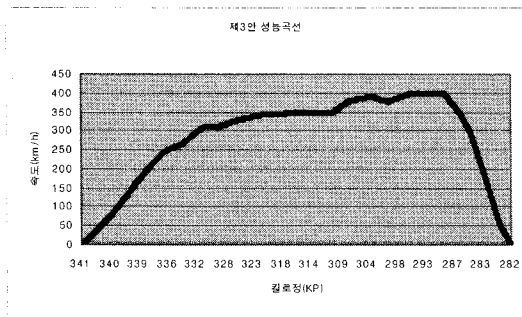


(그림1 : 개발차량 가속성능 곡선)



(그림2 : 개발차량 제동성능 곡선)

시운전 노선(안)중 400kph 최고속도시험을 시행하기에 가장 적합한 것으로 검토된 제3안의 선로데이터를 반영한 개발차량 성능 시뮬레이션 결과는 아래와 같다.



(그림3 : 노선 3안 차량성능데이터)

	HEMU-400X ('09.2.18)	
	시간(초)	거리(Km)
0 -> 300kph	205	9.6
0 -> 330kph	280	16
0 -> 400kph	576	45.7
400kph 정속	55	6.1
400 -> 0 kph	117	7.2
계	748	59

시운전 노선 제3안은 구간 내 2 곳의 전차선 절연구간이 존재한다. 각 절연구간 예고표지부터 역행표지까지는 차량으로의 전력공급이 중단되므로 타행운전을 해야만 한다. 이로 인해 전체적으로 약 4km의 거리가 증가되어야 하며, 시운전 구간(약 59km)내에서 시운전이 가능하리라 본다.

(5) 건널선 위치

개발차량의 최고속도시험은 안전문제 등으로 선로의 한쪽 방향에서 시행하게 된다. 따라서, 한번의 시험주행을 마친 차량은 건널선을 이용하여 반대측 선로로 이동한 후, 출발지점으로 돌아가서 다시 시험주행을 하여야 한다. 시운전 노선으로 가장 유력한 제 3안의 건널선 위치는 다음과 같다.

(표3 : 시운전 노선 제3안 건널선 위치)

선 명	분기기 번호	분기시점	비고
상본선	F18.5	282.552km	
하본선	F18.5	354.391km	

2.2 단계별 증속시험

단차 및 편성 공장시험을 완료한 개발차량을 이용하여 80kph의 낮은 속도단계에서부터 최고속도인 400kph까지 속도를 단계별로 구분하여 시운전을 수행하게 되며, 각 속도단계에서 시스템의 성능을 확인하고 다음 속도에서의 주행가능성에 대한 검토를 통하여 다음 속도단계에서의 시험 수행 여부를 결정하도록 한다. 만약, 해당 속도단계에서 시스템의 요구성능 또는 속도단계 증가를 위한 조건을 충족하지 않을 경우에는 필요한 조치를 취한 후 다음 속도단계에서의 시험을 수행하도록 한다. 차량성능 및 차량과 시설물 인터페이스 시험은 단계적인 속도증속과 같이 시행되어야 하며, 세부 시험항목은 차년도 과제연구를 통해 결정될 것이다. 한국형고속열차(G7) 증속시험에 적용했던 속도단계를 기본으로 최고속도를 상향 조정된 단계별 증속계획은 아래와 같다.

(표4 : 단계별 증속계획)

단계별 속도	80	130	170	차량 검사	200	230	270	차량 검사	300	330	350	차량 검사	380	400
시험회수	2	5	5	1	3	3	5	1	5	5	5	1	5	1

2.3 시설물 안전성 점검항목

개발차량의 시운전을 위하여 선로에 대한 철저한 기술적 검증을 통하여 시운전 노선을 선정하였지만, 400kph의 시험속도는 선로설계속도를 14% 이상 초과하여 전차선 및 궤도에 부담을 주는 조건이다. 따라서, 선로에 대한 지속적인 검측을 통하여 전차선 및 궤도의 이상을 확인하여 시운전시 안전을 확보하여야 한다. 일반적으로 고속선로에서 속도향상 시 측정하는 항목은 다음과 같으며, HEMU 개발차량에 적합한 측정항목 및 측정지점, 기준값, 주기 등은 향후 추가 연구를 통하여 결정하여야 할 것이다.

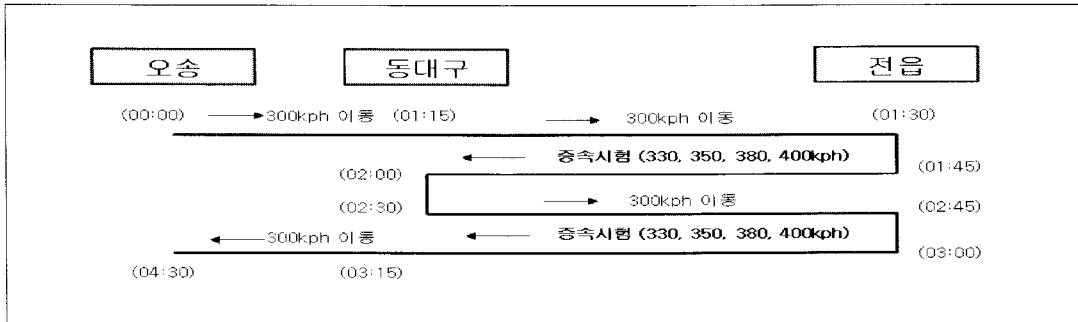
- (1) 궤도강도 : 윤중, 횡압, 체결장치, 슬라브 응력, 슬라브 상하변위, 레일 좌우변위, 궤도 각부의 진동 가속도
- (2) 분기기 강도 : 가드레일 배면 횡압, 텅레일 응력, 볼트 응력
- (3) 토목구조물 강도 : 콘크리트 교량의 응력 및 휨량, 강교의 응력 및 휨량
- (4) 전차선로 : 이선율 및 아크상태, 트로리선 압상량, 트로리선 응력

2.4 최고속도시험 시나리오

차세대고속시제열차(HEMU-400X)의 최고속도 시험이 원활하게 진행될 수 있도록 다양한 요소를 검토하여 아래와 같은 최고속도시험 시나리오를 도출하였다.

(1) 개발차량이 안정화되기까지는 최고속도시험을 비롯한 대부분의 시운전이 야간에 주로 시행될 예정이며, 한국형고속차량과 같이 오송기지에서 출발하는 경우 시운전 노선까지 약 220km를 이동하여 시험을 시행하여야 한다. 따라서 효율적인 시운전을 위하여 200kph이하 증속시험은 호남 기존선에서, 200~300kph 이하 증속시험은 오송기지에서 가까운 경부고속철도 1단계 구간에서 시행하고, 330kph 이상은 선정된 시운전 노선에서 구분하여 시행하는 방안이 효율적이다.

(2) 속도에 따라 최고속도시험을 구분하여 시행하는 방안을 기준으로 330kph 속도 이상의 시험을 위한 개발차량 운행 다이어agram을 다음과 같이 제시한다.



(그림4 : 개발차량 최고속도시험 운행 다이어agram)

(3) 최고속도시험을 안전하게 수행하기 위하여 선로설계속도인 350kph 이상에서 시험하는 경우 시설물의 안전성에 관한 이상여부를 확인할 수 있는 측정항목, 방법 및 기준 등에 대한 절차서등에 관한 연구가 필요하다.

3. 결론

본 연구를 통하여 차세대고속시제열차의 최고속도시험을 원활하게 수행할 수 있도록 시설물, 차량과의 인터페이스 그리고 시험운전 시 열차운영과의 환경조건 등 다양한 요소를 검토하여 최고속도시험 시나리오를 도출하였다.

본고에서는 최고속도시험을 위한 기술적인 검토사항을 고찰하였으며, 향후 시운전조직, 각 참여기관의 역할 및 업무수행 절차 등 구체적인 시행방안이 수립될 것이다. 한국형고속열차개발사업의 경험을 바탕으로 차세대고속시제열차(HEMU-400X)의 상세한 기술적 사양 그리고 차량과 철도시설물과의 기술적인 인터페이스 사항들을 고려한 종합적인 검토와 연구가 진행된다면 HEMU 개발차량의 최고속도시험도 성공적으로 완료할 수 있을 것이다.

후기

본 연구는 국토해양부에서 추진 중인 차세대 고속철도기술개발사업인 “분산형 고속철도 시스템 엔지니어링기술개발 - 시운전방안 및 시스템인터페이스 시험기술 개발” 과제의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 조병찬(2008), “분산형 고속철도시스템의 시운전방안 효율성 검토”, 한국철도학회 춘계학술대회
2. 한국철도기술연구원(2001), “G7 고속철도기술개발사업 시제열차 시운전 인터페이스 분석”
3. 한국철도기술연구원(2008), “차량과 전차선/신호/선로구축물 인터페이스 기술개발 연차보고서”
4. 한국철도기술연구원(2007), “G7 고속철도기술개발사업 사업성과보고서”
5. 한국철도시설공단(2008), “호남고속철도건설사업 기본설계보고서”
6. 한국철도시설공단(2006), “대구~부산간 궤도공사 실시설계”
7. 한국철도시설공단(2006), “경부고속철도 2단계 구간 대구~경주간 전차선로 실시설계”
8. (주)일본선로기술(2008), “신간선의 속도향상 (궤도, 토목분야)”, 철도건설선 고속화 한일 국제 세미나