

고속전철기술개발사업의 시운전시험계획 (On-Line Test of High Speed Rail Development)

김석원* 최강윤* 김기환*
Seogwon Kim Kangyoun Choe Ki-Hwan Kim

ABSTRACT

In this paper, we introduce the on-line test plan of high speed rail development, which will be carried out at the test section of Seoul-Pusan high speed line from May to October, 2002. The test items are decided focused on the verification of the performance and acquirement of the technical data of the high speed rail system development. The running time and distance of the train are calculated for several limited maximum speed cases. The detailed test scenario shall be developed according to the process of development and design of the system.

1. 서론

국가에서 전략적으로 추진하고 있는 선도기술개발(G7)사업 중의 하나인 고속전철기술개발사업에 따라 개발되는 최고운행속도 350km/h의 한국형 고속전철시스템에 대하여 본선에서 최고속도까지 주행하면서 차량시스템의 동적 특성을 파악하고 차량시스템과 전기/신호시스템 및 선로구축물 사이의 인터페이스를 점검하기 위한 시운전시험평가계획에 대하여 기술한다.

시운전시험은 한국형 고속전철의 기본편성 열차에 대한 기능과 성능을 확인하기 위하여 실제로 제작되는 시제차를 이용하여 수행될 것이며, 본 시운전시험계획(안)에서는 시운전시험의 관리, 시험 항목, 시험 일정, 소요자원, 조직, 시험 항목에 대한 평가기준, 그리고 일부 시운전시험에 대한 시나리오 등 시운전시험에 대한 전체적인 윤곽을 제시하고 있으며, 차량설계의 확정 및 제작일정 등에 따라 일부 보완될 것이다.

2. 시제열차

2.1 열차 편성

고속전철의 기본편성인 20량 편성의 열차에 대한 기능과 성능을 확인하기 위하여 제작되는 시제열차는 7량 1편성이며, 차량배치 및 차량별 용도는 그림 1 과 같다.

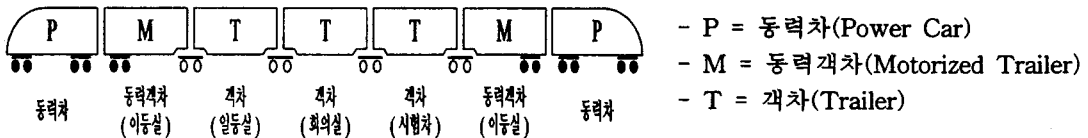


그림 1. 시제열차 차량배치 및 차량별 용도

* 한국철도기술연구원 고속전철기술개발사업단

2.2 주요내용

시제열차에 대한 주요 사양은 다음과 같다.

항 목		내 용	항 목		내 용
열차 치수	열차길이(최대)	145 m	추진	전동기 수량	12 EA
	열차 폭(최대)	2.97 m		전동기 출력(1대)	1,100 kW
대차수량	동력대차	6 Sets	열차무게	W0	321.8 톤
	부수대차	4 Sets		W1	328.6 톤
차륜직경	신차륜	0.92m		W2	331.0 톤
	반마모	0.885m		W3	430.3 톤
	완전마모	0.85m	최대축중	17.0 톤	

3. 시운전시험의 관리

3.1 기관의 역할

시운전시험평가 수행을 위한 각 기관의 역할은 다음과 같다.

- ◆ 본선 시운전시험평가 수행 주관 : 한국철도기술연구원
- ◆ 부품시험을 본선 시운전시 수행하여야 할 경우
 - 해당 연구기관에서 관련 시험항목, 세부시험평가계획서 및 시험절차서 작성
 - 철도연과 협의하여 본선 시운전 일정에 반영
 - 철도연의 협조를 받아 부품시험을 수행
- ◆ 시험수행조직
 - 철도연 인력뿐만 아니라 관련 전문가들로 구성된 시운전 조직을 구성
 - 시험조직의 구성원으로 참여를 제안 받은 인원 및 그의 소속 연구기관은 적극 협조
- ◆ 세부시험평가계획, 시험절차서 및 시험결과 등에 대한 검토 및 승인
 - 총괄주관기관, 주관기관, 외부전문가가 참여한 협의를 통하여 수행
 - 시험결과가 합격 기준을 만족하지 못하였을 경우에는 재시험을 수행
 - 재시험에 앞서 「불만족 원인분석 및 조치보고서」 및 「시험절차서」를 작성하여 승인을 받아야 함.
- ◆ 「불만족 원인분석 및 조치보고서」의 작성
 - 해당 시스템 또는 구성품의 개발 담당 연구기관에서 철도연과 협조하여 작성

3.2 시운전시험 수행절차

시운전시험 수행을 위한 전체적인 업무절차는 그림 2 와 같다.

4. 시운전 시험항목

시운전시험의 계획수립, 수행을 위하여 가장 중요한 사항인 시험항목의 결정을 위하여 시운전시험과 관련된 각종 규격(JIS E 6004, IEC 1133, UIC 610 등)에 대한 검토와 고속철도 및 기존철도의 시운전 시험사례(경부고속철도, ICE-V, 동해도신간선, 일본 400계 EMU, 500계 신간선, 381전차, 국내 전동차 등)의 조사 검토를 수행하여, 고속전철시스템 기본사양에 제시된 성능 요구사항의 만족여부를 확인하기 위한 시험항목과 본선 시운전을 통하여 성능확인이 가능한 일부 개발시험항목을 포함한 시운전 시험항목 및 측정항목을 선정하였으며, 이에 대한 주요 사항을 요약하면 다음과 같으며, 세부내용은 표 2 와 같다.

- ◆ 각 시험항목을 각 성능시험별로 구분
- ◆ 차상에서 수행하는 성능시험
 - 11개 성능시험으로 구분
 - 주행성능, 대차주행성능, 차체진동, 제동성능, 유도장애(차상시험), 집전장치성능, 주행저항, 차내소음, 냉난방/환기성능, 제어 및 감시, ATC

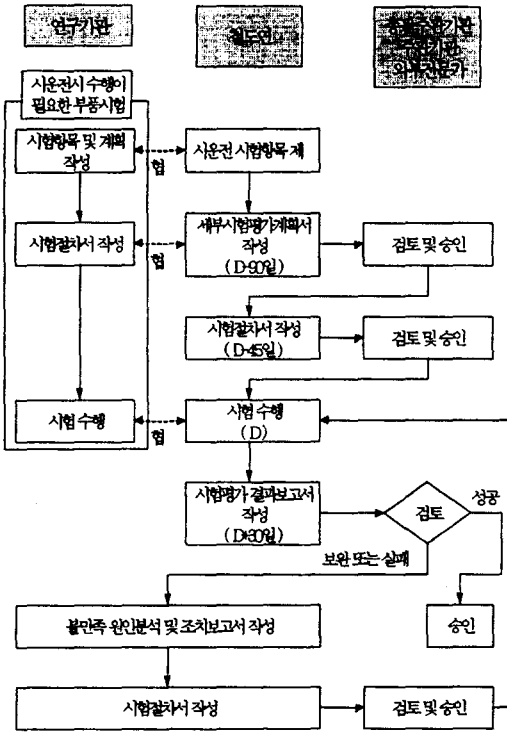


그림 2. 시운전시험 수행 업무절차

구분	내용요약
JIS E 6004	<ul style="list-style-type: none"> 차량의 인수를 위한 시험항목 및 시험방법에 대하여 정의함. 일반주행성능, 가속성능, 제동성능, 진동특성, 대차주행성능, 주행저항, 조도특성, 차내소음, 집진성능, 유도장애 등 11개의 성능시험으로 구분하여 각 성능시험에 대한 시험항목 및 시험방법을 정의
IEC 1133	<ul style="list-style-type: none"> 차량의 인수를 위한 시험항목 및 시험방법에 대하여 정의함. Routine Test 와 Qualification Test 로 구분하여 차량의 성능시험에 필요한 최소한의 필요사항에 대하여 제시 K-TGV 의 인수시험을 위한 기준으로 사용됨.
경부고속철도	<ul style="list-style-type: none"> 시험항목은 차량한계시험, 가속성능시험, 제동성능시험 등 20개의 주요 성능별로 구분 시험항목은 IEC 1133을 기초로 하여 차량의 인수에 필요한 시험항목들에 대하여 중점을 두고 있으며, 시험항목 수에 있어서는 제어 및 감시와 관련한 고장코드의 발생/소멸, 관련 표시등의 점등/소등, 관련 경보 발생 등의 확인을 위한 저속 또는 정지상태에서의 시험이 많은 비중을 차지함.
ICE-V	<ul style="list-style-type: none"> 안전성, 주행기술, 제동기술, 에너지기술 및 주행감시 등 5개의 그룹으로 구분하여 각기 필요한 시험항목을 제시 인수시험항목 및 개발과 관련된 시험항목을 포함 전체 시험항목은 105개 항목으로 계속 채널수는 482개 임.

표 1. 규격 및 고속철도 시운전 시험사례 검토 요약

- ◆ 지상에서 수행하는 성능시험
 - 5개 성능시험으로 구분
 - 유도장애(선로변시험, 변전소시험), 차외소음, 공력특성, 궤도성능, 교량구조물성능
- ◆ 각 성능별로 세부시험항목 작성
 - 총 45개 시험항목 (차상 시험항목 31개, 지상 시험항목 14개)
- ◆ 계측항목 및 측정채널수
 - 세부시험항목별 측정항목 및 계측채널에 대하여 정의
 - 약 80개의 측정항목 및 약 300개의 계측채널

여기에 제시된 고속전철 시운전 시험항목은 고속전철의 성능평가를 위한 시험항목뿐만 아니라 개발품의 시운전단계에 필요한 시험항목도 고려하여 작성되었으나, 개발품의 성능확인 및 기술축적을 위하여 시운전 단계에서의 시험항목은 보다 많을 것으로 생각되며, 개발품의 개발을 담당하고 있는 연구기관과의 협조를 통하여 필요 시험항목들은 보완될 것이다.

5. 시운전시험 일정

본선 시운전시험은 고속전철기술개발사업의 최종 연도인 2002년 5월부터 2002년 10월까지 6개월 동안 경부고속철도 시험선 구간에서 수행한다. 이 기간은 경부고속철도 차량의 국내 제작분에 대한 열차조정시험 및 인수시험이 수행되는 기간이므로 사전에 철저한 계획과 준비가 완료되어야만 성공적인 수행이 가능하다. 따라서, 다음과 같은 전제 조건을 기준으로 시운전시험 일정을 계획하였으며, 추후 설계가 진행됨에 따라 시험항목별 시험요구조건을 반영한 정확한 시운전시험 시나리오의 작성에 따라 수정, 보완할 예정이다.

표 2. 시제열차의 시운전 시험항목(안)

성능	세부시험항목	계측항목	성능	세부시험항목	계측항목
주행 성능	• 가속성능	거리, 속도, 가속도, 충동, 역률 공전상태:차속회전수, 견인력, 전차선 전압, 전차선 전류, 모터블록 전압, 모터블록 전류 전동기 전압, 전동기 전류	유도 장애 시험	• 유도장애 차상시험	전차선전압/전류, 전계/ 자계 강도
	• 주행성능	속도/운전시간, 트랜스포머 온도상승, 모터블록 온도상승, 보조블록 온도상승, 전동기 온도상승, 소비전력량, 공기압축기 가동율		• 유도장애 선로변 시험	전기장, 자기장
	• Preset Speed	설정속도, 실제속도, 역행 및 제동모드 변환	• 변전소 유도장애		고조파전압, 임피던스, 역률
	• 최고속도시험	전압, 전류, 역률, 거리, 속도, 가속도, 시간	집전 장치 성능	• 접촉력(정적) • 이선률	아크발생수, 아크지속시간
대차 주행 성능	• 차륜/궤도 작용 력	윤증, 횡압, 탈선계수	차내 소음	• 객실소음	소음레벨, 주파수분석
	• 대차진동특성	상하방향, 좌우방향, 전후방향 진동가속도		• 운전실소음	소음레벨, 주파수분석
	• 대차강도	주요부위 용력	냉난 방/ 환기 성능	• 객실/운전실 HVAC	외기온도, 차내온도, 신선공기량, 순환공기량, 차내풍속분포
	• 베어링 온도상승	윤축베어링, 감속구동장치 베어링 온도		• 객실/운전실 압력변동	압력
차체 진동 특성 시험	• 승차감	승차감	제어 및 감시		
	• 차체진동특성	상하방향, 좌우방향, 전후방향 진동가속도, 롤링	SCU 및 TCN 설계후 항목조정.		
	• 차체사이의 작용력	차체사이의 작용력	차외 소음	소음레벨, 주파수분석	
제동 성능 시험	• 제동성능	감속도, 속도, 충동, 제동시간, 공주시간, 제동거리, 활주상태(Wheel Slide) : 차속회전수, 전동기 전압, 전동기 전류, 제동실린더 압력	공력 특성	• 터널 입/출구 내부압력특성	압력, 풍속
	• 제동력	전기제동력, 공기제동력, 와전류제동력, 와전류제동장치 공급전압/전류/수직변위		• 방음벽에서의 공력특성	압력, 풍속
	• 온도상승	디스크/패드, 와전류제동장치, 레일	• 정차장에서의 공력특성	압력, 풍속	
	• 주차제동	기능검사	• 성토구간에서 • 교량에서	Rail, 침목 및 체결구, 도상, 콘크 리트 Slab 등에서의 굽힘용력, 변 위, 가속도 및 동특성	
주행 저항	속도, 감속도	속도, 감속도	성능	• 긴기적인 궤도성능평가	
				교량 구조 물	• PC Box 교 • 라멘교 • RC Slab • PC Beam
			ATC		제한속도현시, 비상자동제동, 제동 거리

- ◆ 본선 시운전시험 전에 수행하여야 할 차량시험 및 편성시험은 2002년 5월 이전에 완료한다.
- ◆ 시험 계측을 위한 센서의 설치는 가능한 열차 조립 단계에서 완료되도록 한다.
- ◆ 시험수행에 따른 각 속도별 주행횟수는 낮은 속도에서는 성능확인에 필요한 횟수만 수행하고 350km/h의 속도에서 가능한 많은 주행을 하도록 한다.
- ◆ 차량 하중상태는 W1(공차) 상태에서 낮은 속도단계에서 속도 향상 시험을 수행하며, 200km/h 이상의 속도에 대하여는 W2(만차) 하중상태에서 고속전철시스템의 성능평가를 위한 시험을 수행한다.
- ◆ 시험차량의 점검 및 보수를 위한 설비와 장소는 사전에 준비되어야 한다.
- ◆ 시운전시험은 최고속도까지 10개의 속도단계로 구분하여 수행함을 기본으로 하며, 낮은 속도 단계에서 시스템의 각 성능을 확인하고 다음 속도단계에서의 주행 가능성에 대한 검토를 통하여 다음 속도단계에서의 시험을 수행하도록 한다. 만약, 해당 속도단계에서 시스템의 요구

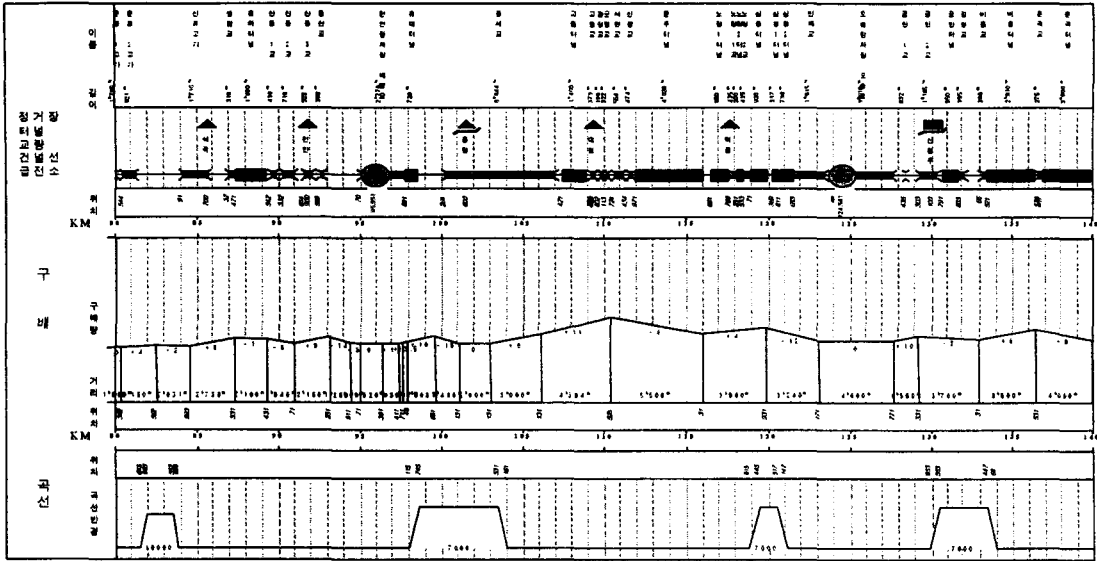
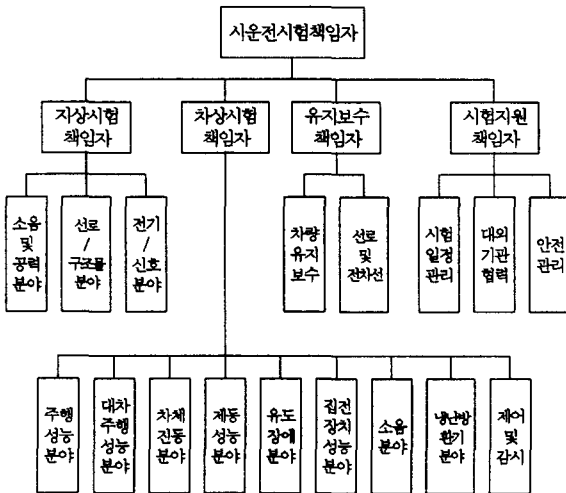


그림 3. 시험선 구간 선형

6.2 시험수행 조직

시운전시험을 수행하기 위한 조직구성(안) 및 각 조직의 역할은 그림 4와 같으며, 시험수행 인원은 총괄주관기관인 철도연을 중심으로 각 연구기관의 인원들의 참여를 통하여 보다 효율적인 시험수행이 이루어지도록 구성한다.



시험책임자	- 시운전시험에 대한 총괄
차상시험 책임자	- 차상성능시험 수행 총괄 - 운행중 계속결과에 따라 필요한 조치 수행
지상시험 책임자	- 지상시험 수행 총괄
유지보수 책임자	- 시험에 따른 차량, 궤도 및 전차선의 유지보수 - 운행전후에 필요한 사항 점검
시험지원 책임자	- 시운전 시험 일정 관리 - 대외 기관과의 협조 - 시운전시험 수행에 대한 안전 관리 - 차량 운행 관리 (운전자)
성능시험 담당자	- 계측항목 및 방법의 결정 - 각 성능시험 수행에 필요한 시험/계측 시스템 구축 및 설치 - 시험 결과의 정리, 분석 및 평가

그림 4. 시운전시험 수행조직 구성(안)

이들중 성능시험담당자는 시운전 시험항목에 제시된 각 성능시험에 대하여 시험계측항목, 계측 방법, 계측수행 및 계속결과의 분석 등 해당 성능시험의 시험/계측 전반에 대하여 책임을 지고 수행하며, 운전 및 유지보수를 위한 인원, 시설 및 장비에 대한 문제는 철도청, 고속철도건설공단 등과의 협의가 필요한 사항으로 시운전시험에 대한 구체적인 계획을 수립하여 이들 기관과의 협의의 수행할 예정이다.

7. 시험계측시스템

시험계측시스템의 구축을 위한 기본방향의 설정을 위하여 고려하여야 할 사항이 여러 가지가 있으나, 시험선 구간에서의 시운전시험을 수행하여야 하는 입장에서 가장 주요하게 고려되는 사항은 시험수행 기간 및 소요자원의 활용 가능여부이다. 시험기간이 경부고속철도 인수시험기간과 중복되고, 시험선 구간의 관리가 한국고속철도건설공단이 담당하고 있는 현실적인 입장을 고려하면 단기간에 많은 계측정보를 획득하기 위하여 각 계측항목을 1회 주행 동안 동시에 계측하는 것이다. 그러나, 동시에 많은 항목에 대한 계측이 이루어지면 각기 다른 성질의 데이터를 동시에 관리하여야 하는 어려움과 각종 계측장비가 동시에 설치되어야 하므로 많은 설치공간이 필요한 단점이 있으므로 이를 해결하기 위한 노력이 필요하다.

이상의 내용을 고려하여 가능한 동시에 많은 양의 정보를 획득할 수 있으며, 데이터의 관리 및 공간을 효율적으로 사용할 수 있도록 다음과 같은 기준으로 시험계측시스템을 구축하도록 한다.

- ◆ 지상시험과 차상시험으로 구분하여 지상시험항목에 대한 시험계측시스템은 별도로 구성한다.
- ◆ 차상시험항목 중 차량의 운행동안 상시 모니터링 및 계측이 필요한 시험성능의 계측장비는 시험차량의 Rack에 탑재하여 시운전시험 기간동안 계속 운용하며, 주행 동안 필요한 데이터를 동시에 계측하도록 한다.
- ◆ 시제차량에 설치하는 계측장비는 성능별로 구분하여 별도의 Module로 구성하도록 하며, 각 계측 Module에서 공통적으로 필요한 계측항목 및 Data의 공유를 위하여 각 Module 간의 인터페이스가 가능하도록 한다. 이에 해당하는 성능시험 항목은 다음과 같다.
 - 주행성능시험, 대차주행성능시험, 제동성능시험, 유도장애시험, 집전장치성능시험
- ◆ 계측 Data의 보관 및 분석을 위하여 Tape Recorder 또는 CD-Writer 등 별도의 기록장치를 갖추도록 한다.
- ◆ 시험 수행과정에서 확인이 필요한 항목은 현장에서 출력이 가능하도록 구성한다.
- ◆ 상시 계측이 불필요하고 특정한 조건에서 시험계측이 필요한 성능시험은 별도의 계측시스템을 구성하여 필요한 경우에만 설치하여 운영하며, 설치된 장비를 이용하여 계측이 가능한 항목에 대하여는 별도의 장비를 설치하지 않고 설치된 장비를 이용한다.
 - 차내소음, 냉난방 환기성능, 제어 및 감시, 주행저항시험
- ◆ 각 성능의 계측에 공통으로 필요한 시험계측 항목은 속도, 시간, 주행거리, 거리위치표시 등이 있으며, 이들 항목의 계측은 각 측정 Module에서 별도의 계측장치를 구비하지 않고 별도의 계측시스템을 구축하거나, 또는 하나의 측정 Module에서 계측하여 각 Module에 공급하는 방법을 사용한다.

8. 시운전시험 시나리오

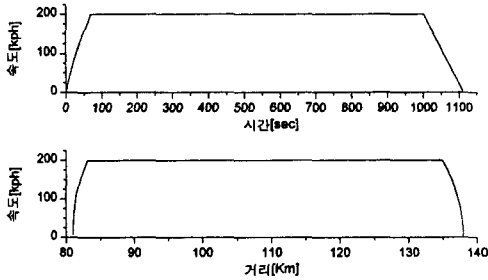
시운전시험을 수행하기 위하여는 시험선로에서의 주행에 대한 시험수행 시나리오의 작성이 필요하다. 시운전시험 시나리오의 작성을 위하여는 각 시험항목별 요구조건을 종합하여 정리되어야 하며, 이를 기준으로 열차성능 시뮬레이션 프로그램(TPS)의 수행이 필요하다.

전체구간인 57.2 km 를 운행할 경우에 대한 TPS를 수행한 전체 시험선 구간의 주행 소요시간과 현재까지의 자료를 이용하여 시제차가 시험선 전체구간인 57.2 km 를 운행할 경우에 대한 TPS를 수행한 결과 제한 최고속도별 주행시간 및 주행거리는 표 4 와 같으며, 제한 최고속도가 200 km/h, 300 km/h 및 350 km/h 인 경우의 주행곡선은 그림 5~ 그림 7 과 같다.

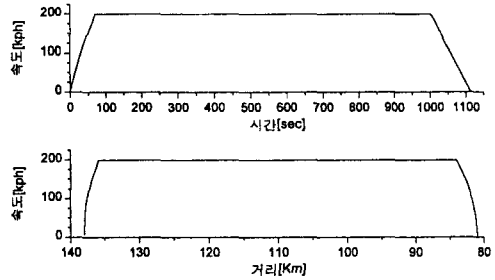
추후 관련자료의 결정내용과 시험선 구간의 궤도, 터널 및 교량에 대한 자료를 바탕으로 각 시험항목의 요구조건을 검토하여 각 속도별 주행에 대하여 가속, 감속, 주행시간 등 운행에 대한 상세한 시운전시험 시나리오를 작성할 계획이다.

표 4. 시제차의 최고속도별 수행시간 및 주행거리

최고속도 (km/h)	가속시간 (sec)	감속시간 (sec)	가속거리 (km)	감속거리 (km)	가속시간 (sec)	감속시간 (sec)	가속거리 (km)	감속거리 (km)	가속시간 (sec)	감속시간 (sec)	가속거리 (km)	감속거리 (km)
80	43.30	0.37	0.3	42.13	56.1	43.31	0.38	0.3	42.13	56.2		
130	27.22	0.67	0.8	25.35	54.9	27.23	0.69	0.8	25.30	54.8		
200	18.54	1.15	2.1	15.50	51.7	18.56	1.16	2.1	15.55	51.8		
300	13.68	2.31	7.1	8.53	42.6	13.65	1.90	5.2	8.94	44.7		
350	12.55	3.24	12.2	6.00	35.0	12.45	2.49	8.4	6.64	38.8		

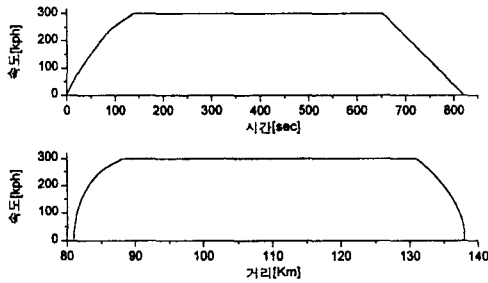


(a) Forward 방향

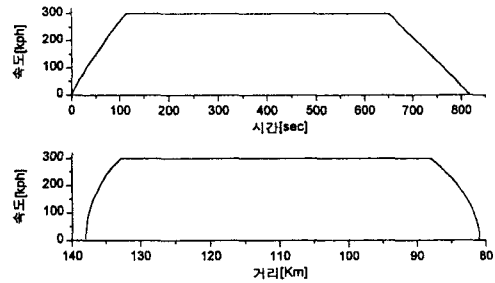


(b) Backward 방향

그림 5. 제한최고속도 200km/h에서의 주행곡선

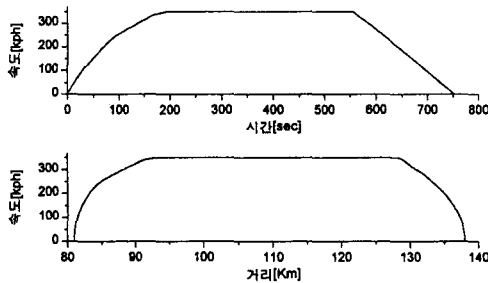


(a) Forward 방향

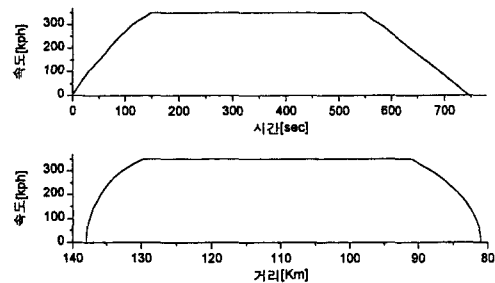


(b) Backward 방향

그림 6. 제한최고속도 300km/h에서의 주행곡선



(a) Forward 방향



(b) Backward 방향

그림 7. 제한최고속도 350km/h에서의 주행곡선

9. 맺음말

고속전철기술개발사업에 의하여 개발되는 시제차를 이용하여 본선에서의 성능확인을 위한 시운전시험은 국내 기술에 의하여 처음으로 개발되는 고속철도에 대한 시험이므로 인수시험항목 뿐만 아니라 개발시험항목을 포함하여 수행하도록 계획하고 있다. 따라서, 성공적인 수행을 위하여는 관련기관의 적극적인 협조와 참여가 필요하다.

현재까지의 시운전시험계획(안)에서는 시운전시험의 관리, 시험항목, 시험일정, 소요자원, 조직, 그리고 일부 시운전시험에 대한 시나리오 등 시운전시험에 대한 전체적인 윤곽을 제시하고 있으나, 향후 사업의 진행에 따라 각 항목별로 구체적으로 작성할 계획이다.

후기

본 내용은 건설교통부와 산업자원부 및 과학기술부에서 시행한 선도기술개발사업의 기술결과임을 밝힌다.

참고문헌

1. 고속전철시스템 기본사양, 1998. 3, 한국철도기술연구원
2. 고속전철 열차시험 및 성능평가 기술개발, 고속전철기술개발사업연차보고서(1996), 건교부, 통산부, 과기처
3. 고속전철 열차시험 및 성능평가 기술개발, 고속전철기술개발사업연차보고서(1997), 건교부, 산자부, 과기처
4. 고속전철 열차시험 및 성능평가 기술개발, 고속전철기술개발사업연차보고서(1998), 건교부, 산자부, 과기처
5. 고속전철기술개발사업 3차년도 상반기 Workshop (차량시스템 및 부품기술 개발분야), 한국철도기술연구원, 한국생산기술연구원
6. International Standard IEC 1133, 1992. 11, IEC
7. JIS E6004, 1992, 일본공업규격
8. UIC 610, International Union of Railways
9. 한국형 고속전철 차량시스템 열차편성 및 기본 설계기준, 1999, 한국생산기술연구원
10. 고속전철기술개발사업 시험평가 종합계획(안), 1999, 한국철도기술연구원