

# 한국형 고무차륜 경량전철시스템에 대한 요구사항 검증계획 Requirements Validation Plan for Korean Rubber-Tired AGT System

목재균 이안호 한석윤

Jai-Kyun Mok An-Ho Lee Seok-Yuon Han

한국철도기술연구원 도시철도기술개발사업단, 경기 의왕 437-825

## ABSTRACT

This study is in a part of requirements validation plan for Korean rubber-tired AGT system on test track. The AGT system is consisted subsystems as vehicle, signalling and communication, power distribution and infrastructure for rubber tire running on track. The subsystems will be installed and integrated on test track till next year for test and evaluation. This paper shows overview for test and evaluation in terms of system requirements and its validation classification, test track configuration, measuring system requirements and its configuration. The whole process of system integration and its validation will be controlled by means of KMS including documentation.

Key Words: AGT(Automated Guideway Transit), Test Track(시험선), Validation(검증), Verification(증명), KMS(Knowledge Management System)

## 1. 서 론

본 연구는 경량전철시스템 기술개발사업의 시스템 요구사항 검증을 위하여 구축되는 시험선에서의 시험평가 계획 수립의 일부분이다. 본 사업은 한국형 경량전철 시스템기술개발(1999~2004)을 통하여 기 건설교통부가 공고(1998. 2)한 「경량전철 차량 표준사양」이 국내지형 및 산업환경에 적합한지를 재확인하기 위한 것이다. 경량전철을 차량, 신호·통신, 전력, 선로구축물의 종합 시스템이므로 차량표준사양을 검증하기 위해서는 차량 이외의 것에 대한 기술개발이 함께 이루어져야 했으며, 또한 기술개발사업이 성공한 후 차량이외의 것에 대한 표준을 제시하는 것이 바람직한 것이었다. 표준에 대한 제시는 상세한 기술적 검증을 기반으로 하여야하므로 차량이외의 전체 시스템을 통합하는 시험시스템을 구축하게 되었다. 일반적으로 표준은 개발기술의 적용을 제한할 수 있다는 우려가 있으므로, 향후 시험시스템을 통하여 가용도 향상 기술개발 및 개발기술의 적용을 표준에 신속히 반영시킬 수 있도록 할 예정이다.

본 과업과 관련하여 1999년도에는 경량전철시스템 기술개발사업에서 수행될 시험평가(구성품, 하부시스템 및 통합시운전)를 위한 기관의 역할 및 절차에 대한 계획(안)을 작성하였다. 2000년도에는 기술개발사업의 주관 기관으로부터 시험평가(구성품 및 하위시스템) 항목 및 보유하고 있는 소요 시험설비의 현황을 파악하였다. 2001년도에는 시험평가(구성품 및 하부시스템)를 위한 절차서를 작성하였다. 2002년도에는 이를 바탕으로 하부시스템의 시험평가를 실시하였으며, 그 결과를 반영한 통합시운전의 시험평가 절차서를 작성하였다. 2003년도에는 작성된 절차서를 기본으로 구체적인 측정물리량, 측정위치, 구체적인 측정방법 및 입출력, 측정시스

템의 설계 등을 이어 수행하여야 한다. 또한 이를 종합 검토하여 통합시운전 시험평가의 세부계획을 보완하여야 한다. 여기에는 시험선 케이블링, 개발된 시스템의 시험선 통합 그리고 이에 대한 통합 기능과 성능을 평가하기 위한 일정, 대상, 시험 및 소요 리소스가 정의될 필요가 있다. 따라서 본 세부계획은 시스템 개발 및 시험평가 관련기관 사이의 약속이며, 통합시운전 시험평가는 세부계획에 정해진 절차와 양식에 따라 수행되어야 한다.

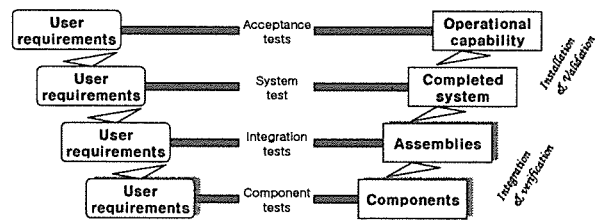


그림 1 시스템 요구사항 검증 및 설계 증명 절차

그림 1은 일반적인 경우의 시스템 요구사항에 대한 검증시기와 절차를 예시한 것으로서 현재 경량전철시스템 기술개발사업에서는 시스템 통합과 검증을 위한 준비에 필요한 연구를 수행하고 있다. 이와 관련하여 본고는 2002년도에 수행된 시험평가절차서의 내용과 일정에 대한 것으로서, 경량전철시스템 기술개발사업의 시스템 요구사항에 대한 검증계획의 일부를 기술한 것이다.

## 2. 시스템 요구사항 및 검증방안 2.1 시스템 요구사항 및 검증방안

경량전철시스템 기술개발사업에서 개발하는 시스템에 대한 요구사항은 개발대상을 구체적으로 정의하는 제품

개발사업과는 다르게 지하철과 버스 사이의 중간 영역에 적합한 효율적인 대중교통수단의 국내구축을 위한 국가적 기술개발사업 및 그 성과보급이라는 다소 구체적이지 못하면서도 광범위한 개발대상에 대하여 이해당사자의 다양한 요구사항을 수렴하여야 했다. 따라서 과학적인 방법에 의한 요구사항 수렴 및 분석방법이 적용되기는 어려움이 있었다. 그러나 최상위 사업목표를 지향하면서 다양한 요구사항을 수집하여 정리한 결과 시스템에 필요한 환경요건 등 총 6가지로 분류할 수 있었다. 이것을 표 1에 나타내었다.

표 1 기술개발사업의 시스템 요구사항 분류표

환경 요건	내용	운영요건, 환경규제요건에 대한 요구사항과 이를 정량화하기 위한 요구사항의 구분 및 상세
	검증 방안	개발되는 시스템이 국내환경에서 운행되는 것이 가능하도록 관련 법규의 기준을 충족하도록 요구하고 있으며, 시험선 운행환경에서의 환경 규제치를 측정함으로써 검증
기능 요건	내용	수송기능, 통신기능, 편의정보에 대한 요구사항과 이를 정량화하기 위한 요구사항의 구분 및 상세
	검증 방안	개발되는 시스템이 무인으로 운전 및 운영(역사 및 정비창)될 수 있도록 요구하고 있으며, 경량전철 시스템을 구성하는 하위시스템에 대한 기능분석과 이에 대한 기능의 통합을 종합시스템 수준에서 사전검증. 또한 통합기능이 시험선, 시험용 역사 및 정비창에서 이루어지는지를 검증. 관련사항은 시험선에의 시스템 통합 및 시험평가 계획에 반영됨.
안전 요건	내용	신뢰성, 유지·보수성, 유용성, 안전성에 대한 요구사항과 이를 정량화하기 위한 요구사항의 구분 및 상세
	검증 방안	운영에 필수적인 성능을 요구하고 있으며, 시험선에서 성능요소를 측정하여 검증. 유용성은 관련 측정 성능요소를 통합·분석하여 검증. 신뢰성 및 유지보수성은 단기적 성능평가 이후 장기적인 계획을 수립하여 검증.
시험 검증	내용	시험선에서 시험평가, 시스템 안전의 증명과 검증, 환경 적합성 검증, 시험의 제한조건(비용, 안전, 시험설비, 시간 등), 지원조직 및 책임, 시험기준에 대한 요구사항과 이를 정량화하기 위한 요구사항의 구분 및 상세
	검증 방안	시험시스템을 구축을 효과적으로 수행하기 위한 조직·관련기술이 적기에 준비·투입될 수 있도록 요구하고 있으며, 관련사항은 시험평가 절차를 충실히 보완·작성하여 해외전문기관과의 기술협력에 의하여 검증.
법규	내용	도시철도표준화 체계, 성능·기능 법규, 안전법규, 환경법규(철도)에 대한 요구사항과 이를 정량화하기 위한 요구사항의 구분 및 상세
	검증 방안	법규에 대한 요구사항은 본 사업과 관련된 법규 또는 선행연구에 의한 준 법규를 만족하도록 요구하고 있으며, 이것은 내·외부 전문가 및 위원회를 통하여 그 중복성과 연관사항의 만족여부를 상시검증.

기술 요건	내용	시스템엔지니어링 기술의 정립과 그 효과 입증에 대한 요구사항과 이를 정량화하기 위한 요구사항의 구분 및 상세
	검증 방안	경량전철에 대한 시스템엔지니어링 체계를 구축하여 국내에 공급되는 경량전철의 기술적 교두보를 만들도록 요구하고 있으며, 이것은 사업종료 시 KMS체계의 성숙도와 그 활용가치를 평가하여 검증.

2-2. 시험시스템에서의 요구사항 검증항목

경량전철시스템 기술개발사업에서는 2-1에서 제시한 요구사항에 의하여 사업을 통하여 개발되는 시스템을 시험선에 통합하여 전체 시스템을 구축하고 이렇게 구축된 시험시스템에서 표 1에 제시된 요구사항을 검증하도록 되어있다. 표 2에는 구축된 시험시스템에서 개발시스템의 요구사항을 검증하기 위하여 계획하여야 할 항목을 정리하였다. 요구사항의 검증항목은 요구사항의 분류를 따르는 것이 일반적이지만, 분류된 요구사항 중에는 시험시스템의 구축 및 이를 통한 시험평가와 관련된 기술의 활용·추적 자체가 해당 요구사항을 검증하는 것에 해당하는 경우도 있다.

표 2 개발시스템의 요구사항 검증항목

성 능	
차량 시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 성능최고속도 : 70km/h 이상</li> <li>· 최고운행속도 : 60km/h 이상</li> <li>· 가속도 : 3.5km/h/s</li> <li>· 감속도 : 3.5km/h/s</li> <li>· 비상감속도 : 4.5km/h/s</li> <li>· 저크한계 : 0.8m/s<sup>3</sup></li> <li>· 승차감 : UIC 2.5 이하</li> <li>· 내부소음 : 70dB(A)(직선평탄로, 최고운행속도, 공차상태, 차량중심에서 1.5m 높이, 5sec Fast Mode)</li> </ul>
전력 시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 제3레조 이선율</li> <li>· 안정적인 DC750V 전력공급</li> <li>· 회생전력</li> </ul>
신호제어 시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 시격 : 90초</li> <li>· 무인운전 CBTC</li> </ul>
선로 구축물	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 경제성</li> <li>· 시공성</li> <li>· 미려한 외형</li> </ul>
기 능	
차량 시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 5,000-20,000명/방향·시간의 성능에 적합한 차량크기 및 열차구성</li> <li>· 비상운전, 구원운전</li> </ul>
전력 시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 5,000-20,000명/방향·시간의 성능에 적합한 전력공급</li> </ul>
신호제어 시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>· CBTC 기반의 무인운전 성능을 갖는 시격 90초에 적합한 ATP, ATO, ATS기능</li> <li>· IEEE 1473, IEEE 1474, IEEE 1475, IEEE 1477</li> </ul>
선로 구축물	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 곡선반경 : 본선 40m 이상, 측선 30m 이상</li> <li>· 구배 : 본선 58%이하, 정거장 5%이하</li> <li>· 종곡선 : 1000m 이상</li> <li>· 완화곡선 : 사이클로이드</li> <li>· 궤간 : 1,700mm</li> </ul>

안 전	
차량 시스템	· 도시철도차량 안전기준에 관한 규칙
전력 시스템	· 한국전력공사 설계기준 · 제3계조 급전에 따른 안전규정
신호제어 시스템	· IEEE 1483 · 각종 고장모드에 대한 안전측 동작
선로 구축물	· 재난대피로 · 스위치 안전작동
환 경	
기후	· 온도 : -25~+40℃ · 습도 : 5~95% RH(30℃) · 풍속 : 35m/s(지상10m 기준) · 강수량 : 120mm/h, 414mm/day · 태양열 부하 : 1200W/m <sup>2</sup>
전자기 장애	· 지정된 전자파간섭(EMI)장파 라디오 주파수간섭(RFI)장에서 설치된 장비는 별도의 조절없이 정상적으로 작동 · 프로세서가 내장된 장비는 EMI & RFI장의 영향에 대한 확인시험 · 도시철도차량의 성능시험에 관한 규정(유도장애시험)
소음	· 차량이 진입/출발시 역내 플랫폼도아는 닫혀져 있음. 역 가장자리로부터 1.5m와 역 바닥에서 1.5m 위에서 70dB(A)(느린 응답) · 차량이 역에 정차시 역내 플랫폼도아는 닫혀져 있음. 역 가장자리로부터 1.5m와 역 바닥에서 1.5m 위에서 65dB(A)(느린 응답) · 노선의 어느 지점에서라도 정상운행속도에서 중앙안내선으로부터 15m, 지상높이 1.5m에서 70dB(A)(빠른응답)

### 3. 검증항목 및 방안을 기반으로 한 시험시스템 구축 사양

시스템 요구사항을 검증할 수 있는 검증항목과 이것을 계측하기 위한 조건을 고려하여 표3과 같은 시험시스템의 구성 및 노선을 결정하고 설계하였다.

표 3 시험시스템 구축을 위한 시스템 구성 및 노선개요

Route	Route Length	Main	1,065m(Elevated)
		Side Track to Depot	176m
	Curve Radius	Main Line (min)	100m
		Switch Area	30m
	Vertical Curve Radius	1,000m	
	Slope	5.8m	
	Station	3 stations	
	Switch	1 switch	

Operation	Max. Speed		60km/h
	Acceleration		3.5km/h/s
	Deceleration	Station Stop	2.5km/h/s
		Normal	3.5km/h/s
Emergency		4.5km/h/s	
Facilities and Equipment	Guideway		Concrete Girder
			Running Surface
			Guide Rail, Power Rail
			Maintenance Walkway (Elevated Area Only)
	Vehicle	Quantity	1 train(2-cars)
		Dimension	9.64m(L)×3.5(H)×2.40(W)
		Weight	Empty=12ton
		Equipment	Max=18ton
	PDS	Substation	Propulsion and Brake
		Receiving Voltage	Signaling (ATP&ATO)
		Transformer Capacity	HVAC and Others
		Power Supply	1 substation
		Signaling	AC 22.9kV
Station	Station A	1MVA×2EA	
Depot			DC 750V
			CBTC
			Substation
			Maintenance Depot with Equipment

### 4. 시스템 요구사항 검증

#### 4-1. 시스템 요구사항 검증을 위한 시험항목

시스템 요구사항을 검증하기 위한 검증항목을 정리하고(표 2), 이에 따른 시험시스템의 구성(표 3)을 나타냈으며, 표 4에서는 요구사항 검증항목에 따른 시험항목을 정리하였다. 따라서 표 4에서 정리된 시험항목을 통하여 측정된 물리량을 종합 분석함으로써 요구사항의 검증항목에 대응시켜 만족여부를 검증하게 된다.

표 4 시스템 요구사항 검증항목에 따른 시험항목

차량주행 성능시험	· 기동 및 가속성능 · 정상 및 비상 상황시의 제동성능 · 최고설계속도의 주행성능 · 경사나 곡선지역에서의 주행성능 · 분기구간에서의 주행성능 · 경사구간에서 만차 차량의 재기동성능
-----------	---

차량주행 성능시험 (계속)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 주행저항측정</li> <li>· 집전장치성능</li> <li>· 승차감</li> <li>· 설치 공차범위를 벗어난 차량의 주행성능</li> <li>· 내구성시험</li> <li>· 구원작업성능</li> </ul>
차량설계 기준 검증	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 차체와 대차의 강도(응력 측정)</li> <li>· 안내시스템의 강도(응력 측정)</li> <li>· 집전장치의 강도(응력 측정)</li> </ul>
CBTC 기능시험(1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 열차위치결정</li> <li>· 열차속도결정 및 제로속도검지</li> <li>· RF 네트워크 운영 및 성능검증</li> </ul>
CBTC 기능시험(2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 안전한 차량간격</li> <li>· 과속방지 와 제동 안전성확보</li> <li>· 비상정지</li> <li>· 출발 인터록(Departure Interlocks)</li> <li>· 자동속도조절</li> <li>· 플랫폼 연동제어</li> <li>· 출입문과 출발제어</li> </ul>
전력시스템 설계검증(1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 고조파방지</li> <li>· 접지시스템</li> <li>· 보호시스템</li> <li>· 회생전력 소모</li> </ul>
전력시스템 설계검증(2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 접지저항시험</li> <li>· 저항전력시험</li> <li>· 시퀀스시험</li> </ul>
전력레일의 강도와 정확성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전력레일의 설치 정확도</li> <li>· 전력레일의 응력 및 처짐</li> </ul>
가이드웨이 설계기준 검증	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 주행면과 안내레일의 설치 정확도</li> <li>· 안내레일의 응력 및 처짐</li> <li>· 분기기 작동</li> </ul>
환경시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 소음과 진동측정</li> <li>· EMI 측정</li> <li>· 약천후의 주행성능</li> <li>· 전력소비</li> </ul>
안전시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 시스템/장치의 고장이나 기타 긴급 상황에서의 거동</li> <li>· 시스템과 운영 결함</li> <li>· 차량장치 고장</li> <li>· 지상장치 고장</li> <li>· 플랫폼 타이어(Flat Tire)의 주행시험</li> </ul>

#### 4-2. 시스템 요구사항 검증을 위한 계측시스템

경량전철시스템인 경우에는 차량, 신호 및 전력시스템이 통합되어 안정적으로 운용되도록 분야별 시스템을 시험선에 통합하는 단계부터 적합한 계측시스템을 적용한 계측결과를 이용하여 분야별 시스템의 인터페이스를 판단·정리하는 것이 중요하다. 또한 개발시스템의 신뢰성 및 안전성 검증을 위해서는 장시간 다양한 조건 및 환경에 대하여 안정적으로 동작하는 계측시스템으로부터 측정값을 분석하여야 한다. 따라서 이와 같은 연구개발이 가능하려면 필요한 모든 항목을 동시에 측정하기 위한 계측시스템이 설치 운용되어야 하며, 다음과 같은 요구조건을 만족하는 계측시스템이 설치 운용되어

야 한다. 그림 2에는 요구사항을 반영한 계측시스템의 구성도를 나타내었다.

① 2개의 차량에 대한 각각의 중요한 거동이 모니터링(비디오)되도록 하며, 상호 비교가 가능하도록 할 것

② 2개의 차량 및 구성품의 측정값이 구분 취득되어야 하며, 1-Trainset의 성능분석을 위하여 효율적으로 비교분석 가능하도록 할 것

③ 차상과 지상의 신호시스템에 대한 인터페이스는 주고받는 신호의 양과 질을 기록할 수 있도록 할 것.

④ 지상의 구조물(주행면, 안내레일, 파워레일, 분기기)에 대한 측정값이 차상의 측정시스템에서 취득 및 분석할 수 있도록 할 것.

⑤ 차상의 측정시스템을 구동하는 주컴퓨터는 차상, 지상의 신호 및 지상구조물에 대한 각 모듈을 제어하고 측정시점의 동기가 가능하도록 할 것. 또한 중앙통제실의 지령과 동기가 가능하도록 할 것.

⑥ 측정시스템의 초기화는 가능한 빨리 이루어져야 하며, 이때 센서 및 케이블의 이상신호를 출력할 수 있도록 할 것.

⑦ 측정시스템의 구성은 내진, 내습, 온도, 전자기에 대한 충분한 내구성을 갖도록 할 것.

⑧ 데이터는 효율적으로 저장되고, 분석을 위하여 용이하게 검색할 수 있도록 할 것.

⑨ 측정시스템은 장시간(24시간) 스스로 측정이 수행되고 관련 데이터는 효율적으로 관리될 수 있도록 할 것.

⑩ 측정시스템은 확장이 용이한 슬롯으로 구성되고, 운용 S/W는 업그레이드가 용이할 것.

⑪ 분석된 결과의 출력은 별도의 조정 없이 상용의 유사 분석 S/W에 입력으로 가능하도록 할 것.

⑫ 측정시스템과 중앙통제실 사이의 연락은 무전기를 사용하며, 시험계측 중에는 무전기의 영향을 받지 않도록 전화선을 가설하여 사용하도록 할 것.

⑬ 시험수행에 참여한 계측담당자의 ID가 측정데이터와 함께 기록보관 되도록 할 것.

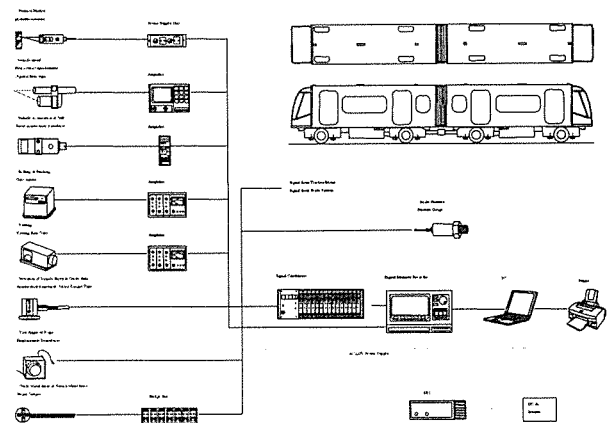


그림 2 경량전철 계측시스템의 구성

## 5. 결론

경량전철시스템 기술개발사업의 기술문서는 본 사업 및 향후의 기술 재활용을 위하여 KMS 체계를 통하여 관리된다. 그러나 KMS 체계 운영에 대한 직접적이고 단기적인 효과는 시스템 요구사항의 검증 및 시스템 설계증명 과정에서 핵심적으로 작용하게 된다. 본고에서 기술한 시스템 검증을 위한 일련의 기술문서도 그 작성 및 관리가 KMS 체계에 의하고 있다. 현재에는 요구사항 검증을 위한 시험시스템 구축에 있어서 선행되는 시공이력을 원거리에서 실시간으로 관리할 수 있도록 준비하고 있다. 향후에는 하위시스템의 통합이력에 대한 관리와 시험평가에 대한 측정결과 분석이 시험현장 및 연구원 사이에서 유기적인 협조가 가능하도록 보완하여 수행 할 예정이다.

### 참고문헌

- [1] R. Stevens, P. Brook, K. Jackson, S. Armord, Syetems Engineering, Prentice Hall(1998)
- [2] 경량전철시스템 기술개발사업 1차년도 연구결과보고서(중합시스템엔지니어링), 건설교통부(1999)
- [3] 경량전철시스템 기술개발사업 4차년도 연구결과보고서(경량전철 시험시스템 구축), 건설교통부(1999)