

철도시스템의 종합시험운행을 통한 철도안전 확보방안

A Railway Safety Proposal with Full System Commissioning

김정주*

이희성**

문대섭***

KIM, Jeong Joo

LEE Hi Sung

MOON, Dae Seop

ABSTRACT

Rail network authority have to do the safety ensuring activities including the maintenance of railway facility, integrated performance verification between the facilities and related rolling stock and safety inspections, etc. When constructing the new lines or revising the conventional lines, full system commissioning should be done before the revenue service with railway operator. To develop the optimal full system commissioning model, the status of domestic and foreign railway facility and railway accidents are analysed and the problems of the safety management are derived. As one of countermeasures for the problems, the procedures and criteria for the full system commissioning are developed.

1. 서론

철도시설관리자는 시설의 안전한 상태를 유지하고, 당해 시설과 이를 이용하려는 철도차량간의 종합적인 성능검증 및 안전상태 점검 등 안전확보에 필요한 조치를 취하여야 한다. 또한, 철도노선을 새로 건설하거나 기존노선을 개량한 때에는 영업개시 전에 철도운영자와 합동으로 종합시험운행을 실시하여야 한다. 즉 철도산업발전기본법 제14조(철도안전) ②항과 철도안전법 제38조(종합시험운동) ①항 등에는 철도시설관리자는 그 시설을 설치 또는 관리함에 있어서 당해 시설의 안전한 상태를 유지하고, 당해 시설과 이를 이용하려는 철도차량간의 종합적인 성능검증 및 안전상태 점검 등 안전확보에 필요한 조치를 하도록 되어 있다. 종합시험운행을 시행하는 과정에서 발생한 사고의 복구는 철도시설관리자가 시행하여야 하며, 철도운영자는 철도시설관리자의 지원요청이 있을 경우 사고복구용 장비, 자재, 인력동원 등에 적극 협조하여야 하는 것이다.

본 연구에서는 최적의 종합시험 시행모델을 개발하기 위하여 국내외 철도시설물의 현황과 철도 사고 발생현황 등을 분석하여 안전관리의 구조적인 문제점을 파악하고, 이에 대한 개선책의 하나로 종합시험에 관한 절차와 기준 등에 대하여 체계적인 시행방안을 도출하고자 한다. 이는 고속철도뿐만 아니라 일반철도에서도 종합시험운행을 통하여 철도안전을 확보하여야 함을 의미한다.

* 서울산업대학교 철도전문대학원 철도차량시스템공학과 석사과정, 정회원

** 서울산업대학교 철도전문대학원 철도차량시스템공학과 교수, 정회원

*** 한국철도기술연구원 철도정책물류연구본부, 정회원

2. 철도의 현황 및 안전 확보체계

2.1 철도시설 현황

2004년말 현재, 전국적으로는 모두 84개의 철도노선이 운영되고 있는데, 고속철도와 일반철도는 한국철도공사, 도시철도는 서울시, 부산교통공단 등 모두 10개의 철도운영기관이 영업운행중이다. 우리나라의 철도연장은 총 3,890.8km이며, 상·하행선을 포함한 철도복선 거리는 1,741.8km로 전체 연장의 44.8%수준이고, 전철화 구간은 1,764.9km로 철도연장 대비 약 45.4%에 달한다. 한편, 교량은 총 2,691개소(361.5km)가 있으며 이중 고속철도 신선구간에 105개소(89.7km)가 설치되어 있다. 터널은 총 572개소(357.5km)가 있는데, 이중 고속철도 신선구간에 50개소(81.2km)가 있고, 철도건널목은 전국적으로 1,577개소가 산재하여 있다. 열차운행을 제어하는 철도신호설비는 열차운행시스템에 따라 철도운영기관별 및 노선별로 다르게 설치되어 있으며, 일반철도 및 서울지하철 1·2호선(3,442.1km)에는 ATS가 설치되었으나, 고속철도·수도권 전철구간(297.3km)에는 ATC로 운영되고 있으며, 전동차 운행구간에는 열차운행 자동제어장치(ATP/ATO)로 운영중이다. 철도의 주요 시설물현황은 아래 표와 같다.

<철도의 주요 시설물현황 (2004.12.31 현재)>

구 분	교량		터널		건널목 (개소)
	개소	연장	개소	연장	건널목 (개소)
계	2,691	283.5km	572	357.5km	1,577
고속철도*	105	89.7km	50	81.2km	-
일반철도	2,586	193.8km	522	276.3km	1,577

* 고속철도 구간은 경부선 신선구간만 반영, ** 도시철도 구간은 제외

2.2 철도사고 발생 현황

철도사고는 '70년에는 3,059건, '80년에는 2,535건이 발생하여 10년간 17%의 사고건수가 감소하였으나, '90년에 2,114건, '00년에는 636건, '01년까지 사고건수가 5백여 건으로 지속적인 감소세를 유지하다가 '03년에는 710건으로 반등하였고, '04년에는 616건으로 다시 감소하고 있다. 철도사고로 인한 직접적인 대물피해는 '00년은 6.9억원에서 '03년에는 51.6억원까지 7배이상 증가하는 등 피해규모가 대형화되고 있는 실정이다. 국제적으로 철도사고 발생수준을 비교하면 선진국에 비해 높은 수준으로써 열차주행 백만키로당의 사고발생 건수를 기준으로 우리나라는 0.06건이 발생하여 일본(0.038)보다 약 2배 정도 높은 사고발생률을 나타내고 있다.

구 분	우리나라	일본	영국	미국	비고
열차백만km당 사고 건수	0.06	0.038	0.26	2.43	충돌, 탈선, 화재사고 등

* 건설교통부, 철도안전규제 제도개선방안 2001.12

2.3 철도안전 확보체계를 위한 노력

그간 우리나라는 철도투자재원이 부족하여 철도시설·차량과 장비의 개량 및 현대화가 부진하고, 보수·점검장비의 부족과 기술이 낙후되어온 것으로 분석하고 있으며, 열차 운행빈도 증가에 따라 유지·보수시간이 부족하고, 고속철도 건설·운영 및 기존선 활용, 유지보수에 대비한 체계적인 연구와 지속적인 안전대책이 보다 필요하고, 수해 등 자연재해에 취약한 지역의 시설물에 대해 교량 개량, 배수시설 설치, 노반폭 확보, 옹벽 및 산사태 방지시설 설치 등이 추가적인 연구와 시행이

필요한 것으로 나타나고 있다. 또한 대구지하철 화재사고를 계기로 국내 난연재료 기술수준 향상과 유독가스발생, 독성평가 등에 대한 화재시험 및 특성평가 전문기관지정이 시급하고, 열차탈선·충돌 사고나 자연재해로 인한 철도사고에 대비한 위기관리대처능력 배양이 절실하다.

한편, 철도안전기술 개발 측면에서는 차량안전과 직결되는 탈선 등의 대형사고를 예방하기 위한 안전기준이 없어 현재 종합연구사업을 통하여 추진하고 있으며, 안전평가 관련시험시설 구축, 안전관리 및 정보지원 체계 구축을 통해 선진국 수준의 범국가적 철도종합안전시스템 구축을 통하여 신기술 기반의 시스템적 안전관리체계로의 전환을 위하여 노력하고 있다.

3. 철도시스템의 종합시험운행의 구축

3.1 철도시스템의 시험

철도시험의 종류는 크게 나누어 개별시스템 정적/동적시험과 종합시험(시설물종합검증/통합시험)으로 구분된다. 개별시스템은 궤도, 전차선·전력설비, 신호설비, 통신설비, 역시설물, 차량기지 시설·장비 등 개별적으로 제작 및 시공(또는 설치)한 시설물이며, 개별시스템 정적시험은 공종별 설계성능(기능)을 부품 또는 조립품 단위로 무부하 상태에서 검증·시험하는 것을 말한다. 송변전설비 정적시험은 정격전압을 정상 가압하기전에 전선로 및 각종 전력설비의 이상유무를 확인하기 위한 시험 및 무부하 시험이며, 원격제어설비 정적시험은 원격제어설비를 가동하여 피제어소의 각종 상태 및 이상시 절체기능 등의 정상동작 여부를 확인하는 시험이다. 또한, 전차선설비 정적시험은 시험장비 및 계측기를 이용, 전차선로 각종 설비가 설계 및 시방서에 따라 적합하게 시공되었는지를 검사하는 시험이고, 배전설비 정적시험은 시험장비를 이용하여 각종 설비가 적합하게 시공되었는 지 확인하는 시험으로 설치시험 및 무부하시험, 부하시험으로 구분한다.

신호설비 정적시험은 자동열차제어장치 및 연동장치의 선로변설비와 기계실 설비 각각의 기능 시험 및 설비상호간 인터페이스를 포함한 종합적인 기능을 확인하는 시험이고, 전송설비 정적시험은 광전송설비의 기능확인 및 네트워크간의 연동시험을 통해 설비의 기능을 확인하는 시험이다. 개별 시스템 동적시험은 송변전설비 동적시험, 전차선설비 동적시험, 배전설비 동적시험, 신호설비 동적시험, 역무용통신설비 동적시험등으로 구분되며, 송변전설비 동적시험은 전원을 가압한 후 차량이 당해 변전소 급전구간을 운행할 때 전력기기의 각종 기능이 정상적인 상태를 유지하는지의 여부 및 전력품질(고조파 등) 분석 시험이고, 전차선설비 동적시험은 정적시험이 완료된 각 구간에 대해서 시험차(검측차)를 저속(평균 40km/h)으로 운행, 전차선로 각 설비에 대한 기능 및 타 시스템과의 인터페이스 등을 분석·확인하는 시험이다.

또한, 배전설비 동적시험은 정적시험이 완료되면 각 설비에 전원을 공급하여 유지보수업무가 수행되므로 별도의 동적시험은 불필요하며 사령실에서의 기기 동작 및 감시관련 시험은 시스템 통합시운전 단계에서 시행한다. 신호설비 동적시험은 자동열차제어장치의 연속정보 및 불연속정보가 차량에 정확히 전송되는가를 확인하는 등 차량 등 기타설비와의 인터페이스를 확인하며 신호설비 상호간 인터페이스를 확인하는 시험이고, 역무용통신설비 동적시험은 역무용 설비간 및 타 설비와의 연계 시험을 통한 역무용통신설비 기능의 이상유무를 분석·확인하는 시험이다.

종합시험은 공종별 시공과정에서 시행하는 정적, 동적시험을 완료한 후 다른 공종과 연계(Interface)하여 시행하는 시설물 종합검증, 시설물과 차량간 통합시험의 과정을 말한다. 시설물종합검증은 정적/동적시험이 완료된 공종별 시설에 대하여 철도시설과 차량간의 안전상태 확보 여부를 사전에 종합안전점검 및 검측·검증하고, 철도차량의 운행이 적합한지의 여부를 확인하기 위해 차량을 단계적으로 최고속도까지 증속하는 시험운전을 말한다. 시설물과 차량간 통합시험은 시설물 검증이 완료된 각 공종별 시설물과 차량시스템간 종합적인 성능검증 및 안전상태점검 등 시스템간 인터페이스 사항을 확인하는 시험이다.

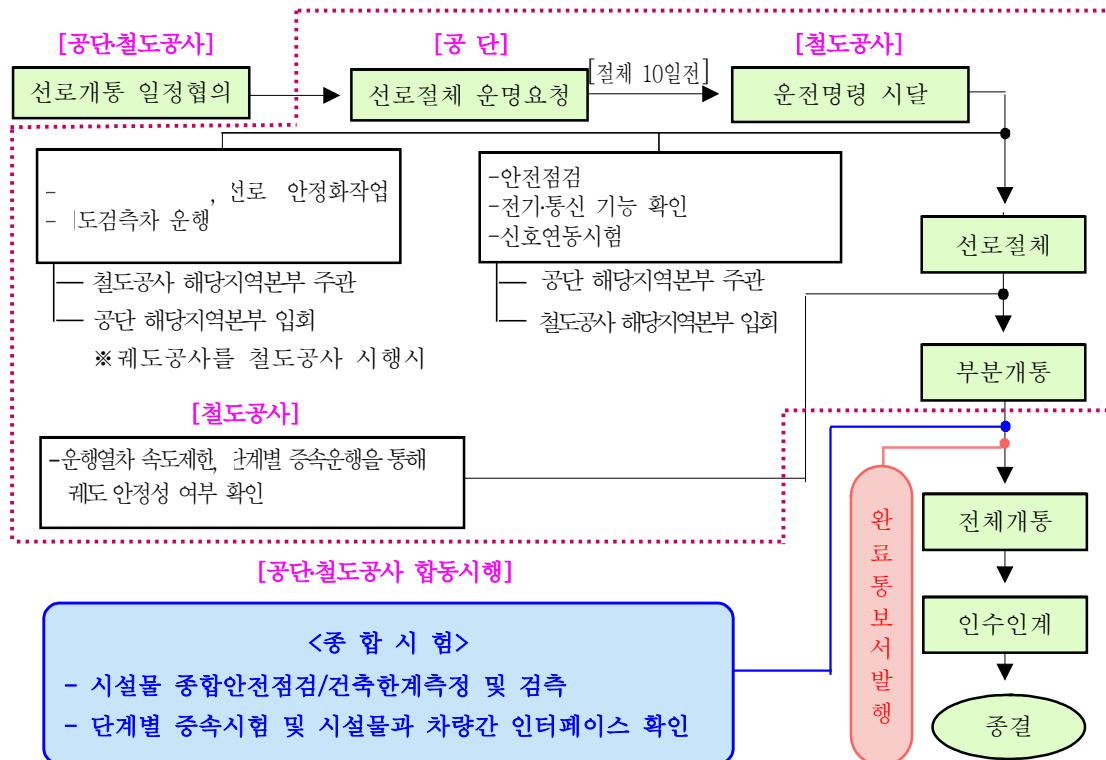
3.2 종합시험 체계와 절차

3.2.1 종합시험 체계

사전 조치	공중별개별시스템 정적/동적시험완료	궤도, 전차선·전력설비, 신호설비, 통신설비, 역시설물, 차량기지 시설·장비 등에 대한 정적/동적 시험
	종합시험착수회의 (안전점검, 시운전열차 투입등)	총괄,노반,궤도,건축,전차선,송변전,전력,신호,정보통신,환경,안전분야로 구성
종합 시험	시설물 종합검증 - 종합안전점검, 건축/차량한계측정, 단계별증속시험	<ul style="list-style-type: none"> - 각 개별시스템의 정적/동적 시험이 완료된 공중별 시설물에 대하여 분야별 기능상태 및 안정성 여부 점검·확인<시설물종합안전점검> - 열차운행시 각종 시설물(터널,터널내전기설비,역내승강장 및 신호설비 등) 접촉여부 측정<건축한계 측정> - 궤도선형(궤간,수평,면마춤,줄마춤 등), 신호장치 수신정보,전차선 선형(편위,높이) 등 검증<검측차를 이용한 시설물 검증> - 철도시설물과 차량간의 안전상태 확인 후 단계별(일반선로에서 40 또는 60,100km/h, 고속선로에서 60 또는 120, 170, 230, 270, 300km/h)증속 시험
	통합시험 -시설물과 차량간 인터페이스시험	시설물(궤도,전차선,전력,신호)과 차량간 인터페이스 확인<통합시험>
	결과보고	종합시험 완료 및 최종 결과보고

3.2.2 종합시험 절차

종합시험의 시행절차는 구조조정에 따라 철도공사와 공단의 업무구분이 필요하고, 기존선의 경우와 고속선의 경우 시행체계가 각각 다르며, 공단과 철도공사의 업무역할을 표로 요약하면 아래와 같다.



기존선 및 고속선 신규 건설시 해당 절차 생략

3.3 분야별 종합안전점검

종합안전점검은 철도노선의 신설 및 개량공사 후 차량 투입 전 분야별 종합 안전점검을 통해 열차운행시의 문제점을 사전 발굴하여 조치함으로써 열차 안전운행을 확보하기 위한 조치로써 점검에 앞서 사전조치 사항으로는 종합시험 착수회의 개최, 검측차 운행관련(기관사, 운전명령등) 업무협의·조정, 검측시 검측 및 결과분석을 위한 운영인력 지원 참여, 안전관리대책 수립 및 필요시 안전관리요원 배치, 안전점검 및 검측시 분야별 공사책임자/책임감리원 입회 등이 있다. 주 점검사항은 분야별 검사 및 검측항목 확인, 궤도/신호 검측, 분야별 인터페이스 사항 등이다.

3.3.1 종합안전점검 대상항목

분야별 종합안전점검시 체크하여야 할 항목은약 390여 항목으로 검토되고 있으며 주요항목을 요약하면 아래 표와 같다.

분야별	검 검 항 목	
안 전	◦ 외부적 사고요인에 대한 안전운행 확보여부 등 4항목	
운 전	◦ 선로 및 승강장의 시종단에 대한처리 등 9항목	
환 경	◦ 환경오염방지시설 인.허가 사항 및 운영 등 13항목	
토 목	◦ 노반의 시공기면폭 확보여부 등 19항목	
궤 도	◦ 궤도의 고저, 방향, 궤간 확인 등 17항목	
건 축	◦ 도면과의 일치 여부 등 92항목	
전철,전력	전차선	◦ 강제 R-bar의 전차선 물림상태 등 21항목
	송변전	◦ 변전설비 주회로 모선시공상태 등 37항목
	전 력	◦ 지중선로 케이블 노출개소 외피 손상여부 등 52항목
신 호	◦ 연동검사설비 동작시험 등 45항목	
정보통신	◦ 광케이블 접속손실 측정 등 67항목	
검 수	◦ 법정기계 신고 인.허가사항 이행여부 등 15항목	

3.3.2 궤도 및 신호시스템 검측

궤도 및 신호시스템의 검측은 종합검측차를 이용하여 시행하고, 아래표의 기준에 부합되는지 여부를 확인한다.

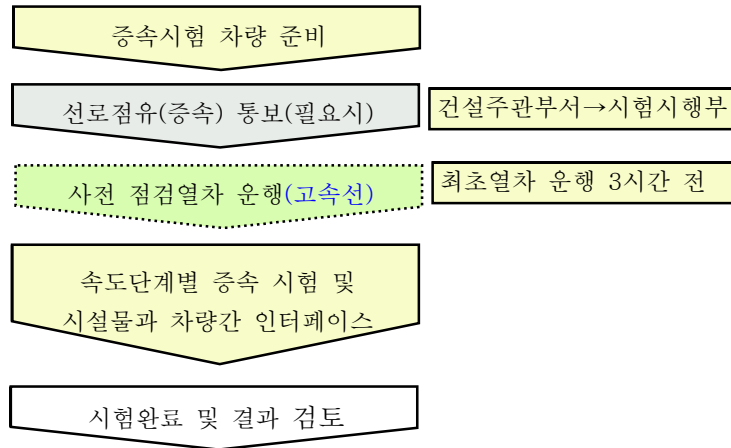
시험항목	검 증 내 용 및 기준	
	구 분	기 준 치
궤도선형 검측 및 검사	궤 간 수 평	+ 10mm/-2mm
	면마춤	직선(레일길이10m에 대하여) 7mm
		곡선(레일길이 2m에 대하여) 3mm
	줄마춤	레일길이10m에 대하여 7mm
ATS장치의 수신정보 검측	- ATS장치의 수신정보 검측 이상 여부 확인	

3.3.3 건축한계 측정

건축한계 측정은 사전에 공사가 완료된 노반, 궤도, 전차선, 신호시스템의 검사가 완료되어야 한다. 건축한계 측정장비는 구조물과의 충돌에서 구조물을 손상시키지 않을 재질로 구성되어야 하며, 건축한계에 맞게 제작되어야 한다. 게이지 제작은 계산자료(UIC505.1) 및 도면에 의하고, 시설물과 충돌시 피해를 최소화 할 수 있는 영구재질로 제작, 게이지 외장은 쉽게 부러지거나 대체할 수 있는 재질로 구성되어야 한다.

3.3.4 속도 증속 및 시설물/차량 인터페이스 확인

속도 증속단계는 기존선의 경우 40 또는 60, 100km/h와 최고속도의 3단계로 시행하고, 고속선은 60 또는 120, 170, 230, 270, 300km/h의 5단계로 시행한다. 증속시험 절차는 아래 표와 같다.



4. 결 론

철도사고의 피해규모가 대폭적으로 증가하고 대형화되는 추세에 있고 철도시설물이 지속적으로 증가되는 점을 감안해 볼 때 새로이 건설되거나, 기존선을 개량하는 사업에 대한 개통이후 열차운영상의 안전확보를 위해서는 건설완료 단계의 최종시험인 종합시험을 완벽하게 시행하여 개통 전 보완이 필요한 사항이 발생하면 조치토록 하는 등의 체계를 마련하고자 본 연구에서는 종합시험의 종류, 체계 및 절차 등을 구축하여 모델화함으로써 고속철도, 일반철도 및 도시철도 등 철도시설의 건설사업에 적용하고 개통이후 운영단계에서 철도사고의 발생소지를 사전에 예방하는 등 철도안전확보에 기여하고자 한다. 본 연구의 종합시험 구축방안에는 종합안전점검과 시설물 검측, 속도증속 등의 절차를 준수하도록 체계화되어 있고 철도건설자와 운영자가 합동으로 시행하는 역할 등도 포함하고 있다.

아울러, 본 연구를 제도적으로 뒷받침하고 보다 효율적으로 시행되도록 하기 위해서 정부에서 기준마련 등 관련법령을 정비하고, 철도시설관리자 또는 철도건설자는 건설기간중의 설계 및 시방서에 입각한 완전한 건설과 최종시험인 종합시험의 적극적이고 능동적인 시행이 절대적이고, 철도 운영자는 개통이후의 원활한 운영을 위해 종합시험에 대한 적극적인 협조가 필요하다.

참고문헌

1. 건설교통부, 안전관리 개선방안 - 철도안전부문, 2003
2. 건설교통부, 철도종합안전계획, 2005
3. 건설교통부, 철도안전규제 제도개선방안, 2001
4. 한국철도시설공단, 안전관리절차서, 2005