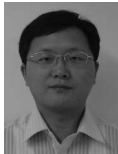


# 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 개발현황



**윤용기**  
한국철도기술연구원  
책임연구원  
T.031.460.5440  
ykyoon@krii.re.kr



**김민수**  
한국철도기술연구원  
선임연구원  
T.031.460.5205  
ms\_kim@krii.re.kr



**오세찬**  
한국철도기술연구원  
선임연구원  
T.031.460.5745  
soh@krii.re.kr



**정규식**  
한국철도기술연구원  
연구원  
T.031.460.5079  
ksjeong3700@krii.re.kr



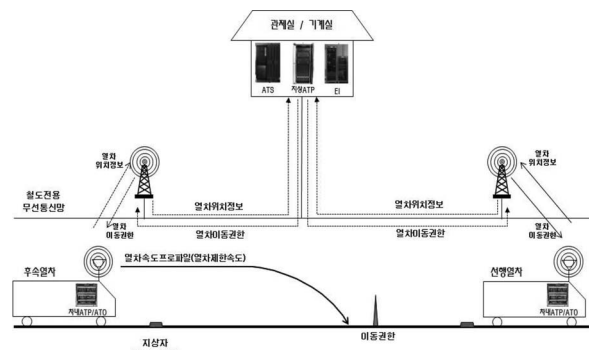
**최훈**  
한국철도기술연구원  
연구원  
T.061.285.9453  
hunyc@krii.re.kr

## 1. 서론

열차제어시스템은 열차운행을 지속적으로 감시하고 통제하는 안전설비이면서 열차운행을 개선하는 철도의 핵심적인 설비이다. 열차제어시스템은 일반적으로 열차운행을 감시·통제하는 열차관제설비, 열차 운행(간격제어, 진로제어)에 필요한 제어정보를 생성하는 지상제어설비, 지상에서 전송된 정보를 통해 열차운행조건과 열차속도를 제어하는 차상설비 및 지상과 차상간에 정보를 전송하는 유·무선 열차통신망으로 구성된다. 열차제어시스템은 철도의 인프라설비, 서비스설비, 안전설비 및 열차 구성품과 복합적인 인터페이스를 갖는다.

국내 열차제어시스템의 경우 다양한 해외 열차제어시스템을 운영하고 있어 국산화율이 낮은 상황이고, 이로 인해 열차제어시스템의 운영과 유지관리에 여러 가지 문제가 도출되고 있다. 또한 노선별, 시기별로 상이한 열차제어시스템의 도입으로 인해 노선간 연계운행이 불가하여 운행 및 유지보수 효율성이 낮다.

이러한 상황을 해결하기 위하여 국가연구개발사업인 도시철도차량표준화사업을 시작으로 경량전철시스템기술개발사업, 고속철도 자동열차제어장치기술개발사업,



<그림 1> 열차제어시스템의 열차간격제어 개요도

고속철도 열차제어시스템 안정화 기술개발사업 등의 연구가 연구개발사업의 일환으로 수행되었다. 그러나 열차제어시스템 발주자인 철도운영기관은 개발된 열차제어시스템을 영업노선에 적용하기 위해서 영업안전과 유사한 조건에서의 충분한 성능검증과 SIL(Safety Integrity Level) 4수준의 안전성인증을 요구하고 있다.

이에 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템을 실용화하고 상호운영성을 확보하기 위해서 열차제어시스템에 대해 객관적이고 엄격한 성능평가와 안전성평가를

〈표 1.〉 열차제어시스템 장치배치 현황

역명	위치[km]	장치
일로시점역	0.02	ATS, EI, 무선LAN, 지상ATP 등
오룡역	6.04	-
남악역	8.24	-
영산역	9.84	-
대불중점역	11.05	EI, 지상ATP, 무선LAN, PSD 등

수행하여 열차제어시스템 표준체계를 구축하는 과제를 수행하고 있다.

## 2. 무선통신기반 열차제어시스템 성능평가

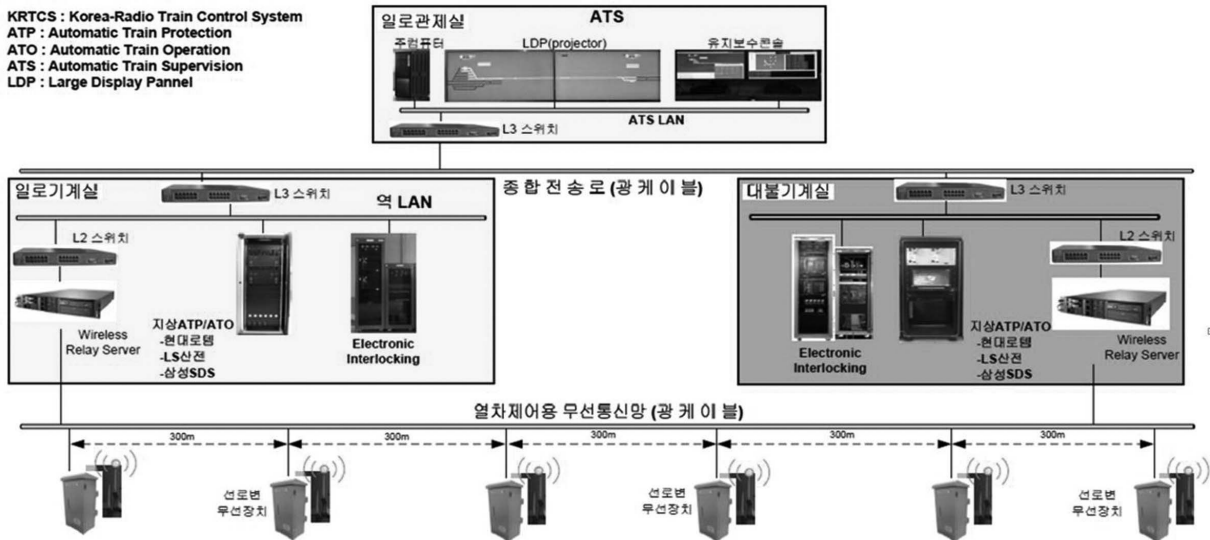
### 2.1 무선통신기반 열차제어시스템 개발

무선통신기반 열차제어시스템은 표준화된 무선LAN을 사용하고, 열차제어기능이 소프트웨어로 구현되기 때문에 상호운영성을 확보하는 것이 용이하다. 무선통신기반 열차제어시스템개발은 IEEE 1474.1와 ETCS (European Train Control System)의 시스템요구 사양서를 기준으로 시스템개발사양서, ATP/ATO (Automatic Train Protection/Automatic Train Operation)기능배치, 기능사양서 및 프로토콜

사양서 순으로 사양서를 작성하였으며, 사양서의 성능검증과 상호운영성 확인을 위해서 대불선(일로역~대불역, 약 12km)구간에 표 1과 같이 열차제어시스템을 구축하였다.

그림 1의 개요도와 같이 열차내에 설치된 ATP/ATO는 주기(0.5초)적으로 열차의 현재 위치를 전송하고, 지상의 기계실에 설치된 지상ATP는 열차가 실시간으로 전송한 열차위치정보를 검증한 후 열차간격제어를 위한 열차이동권한을 각 열차에 대하여 생성한 후 이를 열차로 전송한다. 열차는 수신한 이동권한을 기준으로 열차속도프로파일을 만들고 열차의 실제속도와 비교하여 열차의 이동을 감시한다. 선행열차가 이동하면 후속열차의 이동권한도 같이 이동을 한다. 그러면 열차속도프로파일도 또한 이동한다. 선행열차와 후속열차간은 정보전송을 하지 않는다.

일로시점역에 설치된 지상ATP는 일로시점역과 오룡역 제어를 담당하고, 대불중점역의 지상ATP는 남악역, 영산역, 대불중점역 제어를 담당한다. 짧은 노선이지만 지상ATP를 2셋트 설치하여 열차제어권을 주고 받는 핸드오버기능을 검증하였다.



〈그림 2〉 대불시험선 열차제어시스템 구성도

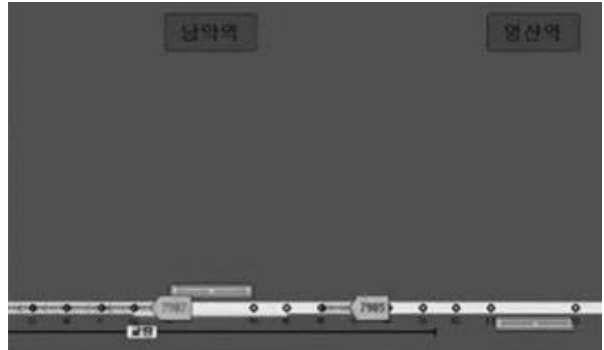
## 2.2 무선통신기반 열차제어시스템 성능평가

무선통신기반 열차제어시스템 성능평가는 도시철도법의 「도시철도차량의 성능시험에 관한 기준」과 「도시철도 시설 성능시험기준」을 적용하였다. 열차제어시스템 성능평가를 진행하기에 앞서, 시스템 기능을 점검하기 위한 단계별 시험(2012.10.~2013.5.)을 진행하였다.

- 1단계 시험항목
  - 지상장치 및 차상장치 동작시험
  - 지상장치와 관계설비간 I/F 시험
  - 지상장치와 차상장치간 I/F 시험
  - 열차위치 검지 및 현시시험(비상모드)
  - ATP주행시험 등
- 2단계 시험항목
  - 송수신 응답시험
  - 정적속도프로파일시험
  - 열차위치 검지 및 현시시험(수동운전)
- 3단계 시험항목
  - 롤백 및 역방향 이동감시
  - 동적속도프로파일시험
- 4단계 시험항목
  - 열차분리검지시험
  - 출입문개폐시험
  - 열차출발제어
  - 지상자 및 정위정차확인 응동시험
  - ATO속도프로파일 결정 및 추종시험
    - : 자동운전 및 무인운전

단계별 기능점검을 완료한 후 다음과 같은 종합성능시험(2013.6.~2013.8.)을 완료하였다.

- 지상·차상 신호 및 열차제어설비간 연계동작시험
  - 연동기능 확인시험
  - 열차보호기능 확인시험
  - 통신기능 확인시험
  - 자동열차감시장치 운행시험
  - 자동열차감시장치 동작 확인시험
  - 무선통신 지속성 시험
  - 무선통신망 이중화 동작 확인시험
- 지상설비 연계동작시험



<그림 3> 2편성 간격제어 현시화면



<그림 4> 2편성 간격제어에서 열차상태정보

- ATC 정지상태시험
- ATO 정지상태시험
- ATC 운행시험
- ATO 운행시험
- 비정상상태시험
- 오동작 시험
- 후진검지 및 제동체결시험
- 출입문개방상태에서의 출발시험
- 출입문동작상태 확인시험

대불선에서의 1폐색 2편성운행 승인을 한국철도공사로부터 받은 후 2편성 열차간격제어시험과 열차제어권 핸드오버시험을 완료하였다(2014.1~2014.3). 그림 3은 영산역에서 출발한 후속열차가 남악역에 출발대기 중인 선행열차로 접근하는 2편성 열차간격제어시험을 보여주고 있다. 남악역에는 임속구간이 설정되어 있고, 후속열차의 접근속도는 그림 4와 같이 52km/h이다.

선행열차가 정차한 상태에서 후속열차가 가장 가까이 접근한 상태를 그림 5에 보여주고 있다. 수동운전모드에서 후속열차가 이동권한을 초과하도록 강제로 주행하여 비상제동이 체결되어 정차한 상황이다.

### 3. 무선통신기반 열차제어시스템 안전성평가

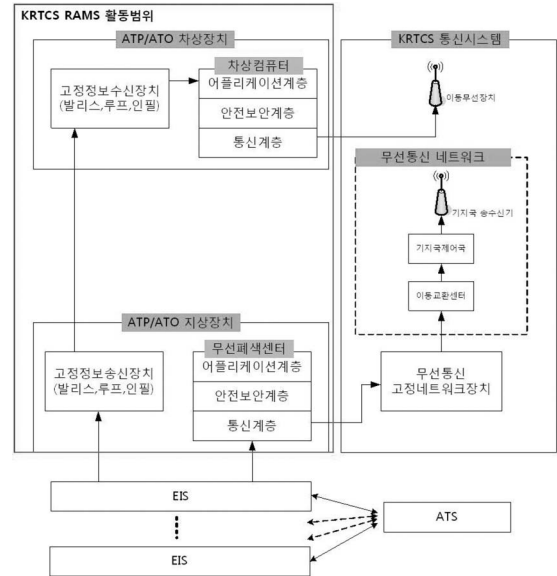
시스템에 대한 RAMS(Reliability, Availability, Maintainability, Safety)활동과 평가는 RAMS 관리계획서에서 시작한다. 관리계획서는 사업개요, RAMS요구사항, 조직구성, 책임과 권한, 관리계획, 산출물목록, 프로젝트 위험관리 전략 등을 포함한다.

사업개요는 사업추진배경, RAMS범위를 포함한다. 본 사업추진배경에 맞추어 RAMS범위를 정의하였다. 현재 영업노선에서 사용중인 관제설비와 연동설비와 안전성을 보장하지 못하는 무선통신장치는 RAMS범위에 포함하지 않았다(그림 6).

RAMS대상인 ATP/ATO장치에 요구되는 안전도는 SIL4로 정의되었으며, 고려해야 할 철도사고와 위험원은 표2와 같다. RAMS활동은 IEC 62278의 수명주기를 기반으로 관리한다. IEC 62278의 수명주기는 시스템 개념설계부터 폐기까지 14단계로 구분하여 각 단계별 요구사항을 제시하고 있으나, 본 사업의 RAMS활동은 그림 7과 같이 개념설계부터 수용까지를 RAMS활동의 범위로 정의하였다. RAMS 활동 및 평가에 대한 계



<그림 5> 열차2편성 간격제어 사진



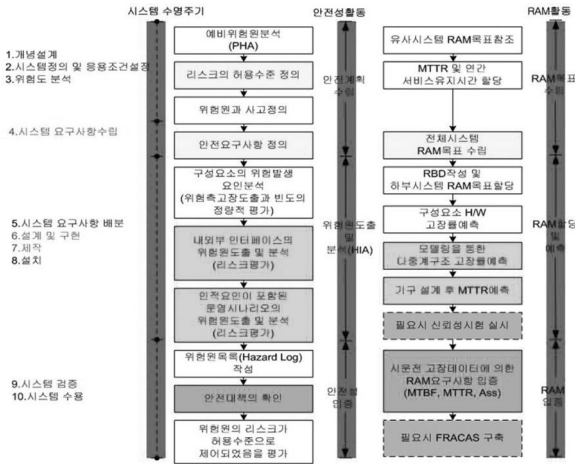
<그림 6> RAMS활동 범위

획은 본 문서에 제시되며, 본 문서의 내용은 RAMS 활동 및 평가수행 완료 전까지 본 사업의 담당자 협의를 거쳐 다음과 같이 조정되었다.

- RAMS관리계획서
- RAM예측보고서
- SHA보고서
- S/W요구사항서
- 요구사항서

<표 2.> 철도사고 및 ATP기능과 관련된 위험원

사고	ATP와 관련된 위험원
열차간 충돌	열차안전이격거리 열차구름방지 열차진로연동 및 주행방향
열차-구조물 충돌	선로종단 보호 제한진로 보호
열차-작업자 충돌	작업구역 보호
열차-장애물 충돌	장애물 감지
탈선	열차과속보호 열차진로연동
열차탑승객의 추락	출입문 개방제어 보호 영(제로)속도 보호 출발연동



<그림 7> 본 사업의 RAMS 활동절차

- 요구사항 시험사양서
- S/W 관리계획서
- 품질보증계획서
- 형상관리계획서
- V&V 계획서
- 시스템 V&V 계획서
- S/W 구조설계 사양서
- 요구사항 확인보고서
- 구조설계사양서
- 설계사양서
- 통합시험계획서
- SSHA 보고서
- SSHA 보고서
- SIL 할당
- SIL 검증
- IHA 보고서
- O&SHA 보고서
- S/W 모듈설계 계획서
- 구조 및 설계확인 보고서
- 모듈설계 사양서
- 모듈시험 사양서
- 지원문서
- S/W 모듈설계 보고서

- S/W 모듈확인 보고서
- 모듈시험 보고서
- 소스코드 확인 보고서
- S/W 통합시험 보고서
- S/W 통합시험 보고서
- S/W&H/W 통합시험 보고서
- S/W 검증 및 평가보고서
- 검증(Validation) 보고서
- 시스템 V&V 보고서
- 시스템 Safety Case

RAMS 활동기한과 본 사업의 일정으로 인하여 다음 항목은 RAMS 활동에서 제외되었다.

- S/W 관리계획서
- 유지보수계획서
- 데이터 준비 및 시험계획서
- S/W 통합시험 보고서
- 데이터 시험 보고서
- S/W 검증 및 평가보고서
- 변경기록
- 유지보수 기록
- 응용요구사항서

국내 철도분야에서 본 사업과 같이 시스템을 대상으로 한 RAMS 평가를 실시한 사례가 처음이었으며, 이로 인하여 RAMS 관리계획서의 내용을 여러 차례 조정을 하였다. 이러한 원인은 RAMS 활동경험 부족, 제작사의 적절한 대응미흡 등으로 판단한다. 따라서 RAMS를 사업에 적용하기 위해서는 관계자에 대한 충분한 RAMS 교육과 공감대 형성, 독립적인 RAMS 체계구축(조직, 인력, 예산 확보), 독립적인 RAMS 활동 등이 보장되어야 한다. 특히 독립적인 RAMS 체계구축과 활동은 반드시 보장되어야 함을 본 사업을 통해서 확인하였다.

#### 4. 향후 추진계획(이레사항 점검)

도시철도법에 의한 열차제어시스템 성능시험, RAMS 평가를 통한 안전성인증을 실시하여 본 사업을 추진하게

된 원인을 해소하였으나, 열차제어시스템을 운용할 철도 운영기관의 검증을 받는 것도 실용화 과정에서 중요한 항목이다. 이에 운영기관이 점검하고자 하는 항목을 제시하고 확인하는 이례사항점검을 추진할 계획이다. 현재 검토중인 이례사항 점검항목은 다음과 같다.

- Tag고장 발생에 따른 열차운행 지속 가능 여부 확인
- 이례사항 발생 시 자동열차방호기능을 확인(운행열차 진로 내방으로 수동 진입시험)
- 차상신호장치의 정확한 자동 절체와 절체 이후 정상운행 여부 확인
- PSD 고장에 따른 시스템 동작 상태 확인
- 통신두절 두 열차의 재등록(정상 등록) 여부 확인
- 차상신호장치가 동시에 고장 및 복구 시 정확한 열차위치 표시 여부 확인
- 열차운행 중 관제 시스템 장애에 따른 열차의 정상운행 여부 확인
- 25편성 투입 시 열차 정상 운행 상태 확인 여부

## 5. 결론

열차제어시스템의 기술방향, 시스템공급사, 시스템운용사의 요구사항을 반영하여 무선통신기반 열차제어시

스템을 대불선에 구축하여 종합성능시험과 RAMS평가를 실시하였다. 종합성능시험은 도시철도차량의 성능시험에 관한 기준과 도시철도시설 성능시험기준에서 요구하는 시험항목을 만족하였으며, 이례사항 점검을 실시하여 운영기관의 검증을 받을 예정이다. 동시에 ATP/ATO를 대상으로 한 RAMS평가를 실시하고 있다. RAMS평가는 IEC 62278을 적용하고 있으며, 제작사의 RAMS역량과 개선해야 할 사항을 확인하였다.

### ♣ 참고 문헌

1. IEEE 1474.1(2004), IEEE Standard for Communications-Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements, IEEE Vehicular Technology Society.
2. 한국철도기술연구원(2013), 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계구축 및 안전성평가 3차년도 연구보고서.
3. 한국철도기술연구원(2011), 프로젝트 RAMS 관리계획서.
4. 국토해양부(2009), 도시철도시설 성능시험기준, pp.42~52
5. 국토해양부(2009), 도시철도차량의 성능시험에 관한 기준, pp.250~270
6. 한국철도시설공단(2014), 이례사항에 대한 시험계획서.

\* 본 내용은 국토교통과학기술진흥원에서 지원하는 「도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계구축 및 성능평가」 과제의 연구성과임을 알려드립니다.