

K-AGT와 KRTCS 간 무인운전 안전 및 운영 요구사항 검증 시험

김영식*, 남재각**

Manless Operation Safety and Operation Verification Test between K-AGT and KRTCS

Young-Sik Kim*, Jae-Kak Nam**

이 논문은 국토교통부 철도기술연구사업의 실용화 문턱과제 연구비지원(19RTRP-C148749-02)에 의해 수행되었음
(This work was supported by the research grant of 19RTRP-C148749-02)

요 약

본 논문에서는 신림선에 적용 예정인 차량(K-AGT)과 열차제어장치(KRTCS) 간 안전 및 운영 요구사항을 검증하기 위하여 경산시험선에 Test-bed를 구축하여, 안전 요구사항 31건, 운영 요구사항 52건에 대해 시험을 진행한다. 경량전철 경산시험선에 K-AGT 2편성, KRTCS 열차제어시스템, 종합관제실(ATS)을 구축하여 안전 및 운영 요구사항 83건 검증은 S/W를 통해서 시험을 실시하며, 실증 완료 후 신림선에 납품하여 완벽한 무인경전철 시스템을 구축하고 성공적인 상용화 실현을 목표로 한다. 상용화 실현 후 차량 및 신호 시스템에 대한 패키지(Package) 통합 기술 확보 및 무인운전 실적 확보로 국내외 도시철도 사업에 대한 가격 및 기술 경쟁력 및 수출 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract

In this paper, in order to verify the safety and operation requirements between the vehicle (K-AGT) and the train control system (KRTCS) scheduled to be applied to the Sillim Line, a test-bed was built on the Gyeongsan test line, and 31 safety requirements were operated. The test is conducted on 52 requirements. By establishing two K-AGTs, KRTCS train control system, and ATS facilities on the light rail Gyeongsan test line, 83 safety and operational requirements are verified through S/W, and after completion of the demonstration, Sillim Line To build a perfect unmanned light rail system and achieve commercialization. After the realization of commercialization, it is expected it will be able to secure price, technology and export competitiveness for domestic and overseas urban railroad business by securing package integration technology for vehicles and signal systems and unmanned driving performance.

Keywords

safety requirements, operation requirements, K-AGT, KRTCS, LTE-R, ATP/ATO

* (주) 우진산전 차량사업부 연구소장
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6811-7940>
** (주) 우진산전 차량사업부 주임 연구원
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5140-8688>

• Received: Nov. 24, 2020, Revised: Feb. 15, 2021, Accepted: Feb. 18, 2021
• Corresponding Author: Jaekak Nam
Division of rolling stock design team, WOOJIN, Korea
Tel.: +82-043-820-4596 , Email: jknam@wjis.co.kr

1. 서 론

철도선진국 및 국내노선에 신호제어시스템은 2000년대 이후 무선통신을 기반으로 신호제어시스템이 적용되고 있으나, 국내 노선의 경우 해외 신호제어시스템이 적용되고 있다. 이에 발생하는 시스템 유지비용증가, 장애 발생 시 신속한 대응 곤란 및 타노선과의 연계 시 상호 운영 불가 등으로 도출된 문제점을 해결하기 위해 한국형 무선통신기반 열차 제어시스템(KRTCS)가 한국철도표준규격(KRS)으로 제정·고시가 되었으나, 운영 실적이 없으므로 신림선에 최초 적용하는 것은 대승적 결단이었다. 이에 K-AGT 고무차륜 경전철 차량시스템과 KRTCS 신호시스템 상호간 무인운전에 필요한 안전요구조건 및 운영요구조건을 충족이 필요한 현실이다[1][2].

이와 관련하여 경량전철 전용시험선은 경산시험

선에 Test-bed를 구축하여 K-AGT 및 KRTCS 열차운행의 안전성과 신뢰성을 확보하기 위해 무인운전에 대한 안전 및 운영요구사항 검증을 실시하여 안전성 및 신뢰성을 확보한다. 따라서, 신림선 안전성 및 신뢰성 확보를 위해 열차운행계획·선로선형·열차형식·열차운영 시나리오 등에 의해 열차제어시스템의 소프트웨어가 맞춤 제작되도록 검증이 필요하다[3].

연구개발 필요성으로 주무관청에서 요구한 무인운전에 필요한 안전요구조건 및 운영요구조건 충족과 KRTCS 시스템의 국내 최초 상용화를 위해서는 K-AGT차량과 KRTCS 시스템 간 안전성 검증과 철도관련 법 개정에 따른 국내 도시철도 차량의 안전성 확보가 필요하며, 국내 기술로 개발된 KRTCS 신호시스템의 성공적인 상용화를 위해 검증시험을 진행하였다[4].

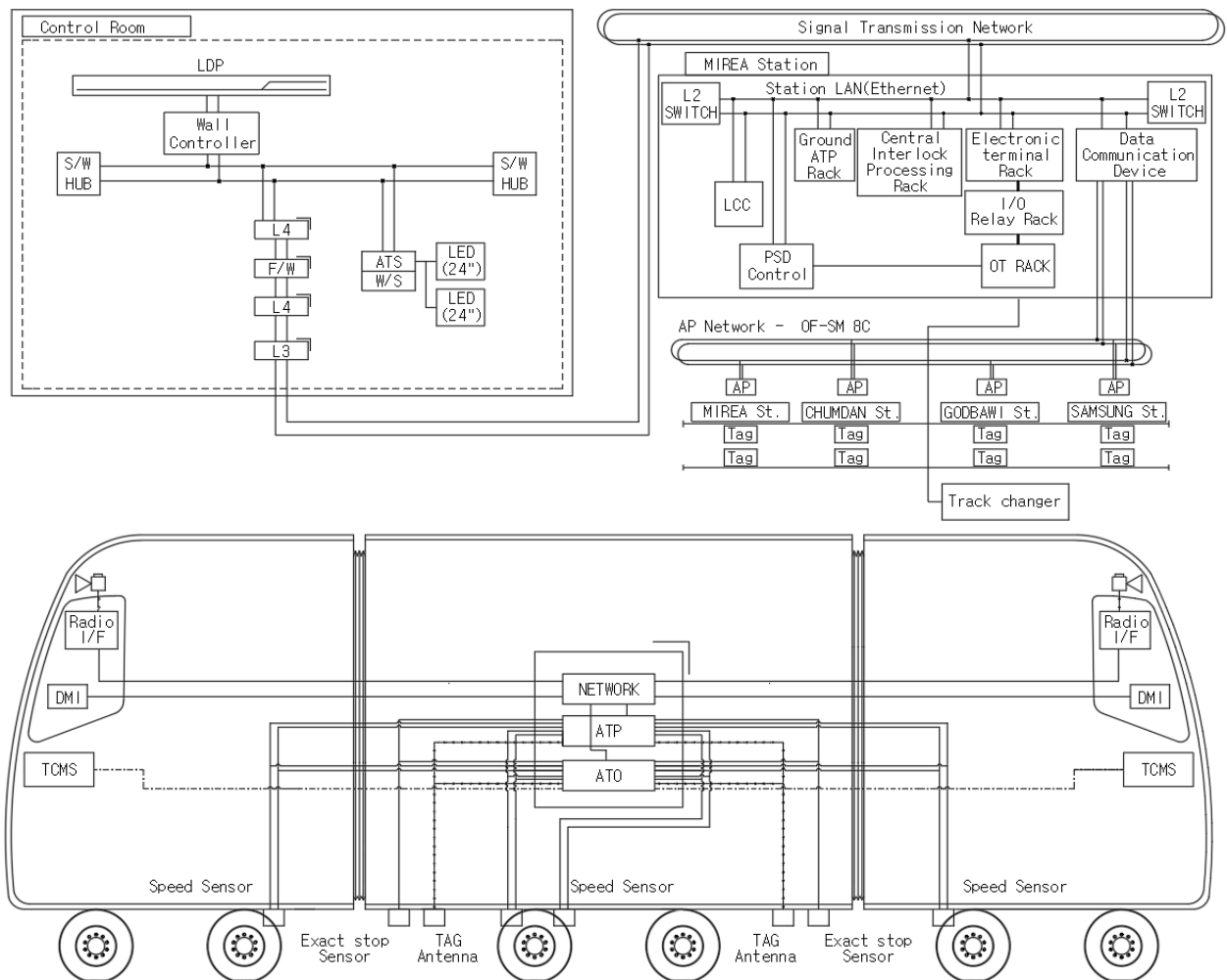


그림 1. Test-bed 시스템 구성
Fig. 1. Configuration of system

검증시험은 K-AGT 차량과 KRTCS 신호시스템 간 인터페이스와 무인운전 안전요구조건 31건 및 운영요구조건 52건에 대한 요구조건 분석이며, 경산 시험선에서 2020년 6월부터 2020년 12월까지 주행 시험 및 안전 및 운영요구사항을 검증 실시하였다.

II. 경산시험선 Test-bed 구축

2.1 Test-bed 시스템 구성

그림 1은 경량전철 전용시험선인 경산시험선에 구축한 Test-bed이며, ATS 시스템, ATP 시스템, ATO 시스템, 연동장치, K-AGT 및 무선통신장치로 구성되어 있다.

2.2 경산시험선 ATS 시스템 구축

경산시험선 Test-bed의 운행관리를 위해 첨단역에 종합관제실 ATS장치를 구축하였고, 열차제어시스템과 종합관제실의 관제원 간 인터페이스 및 열차제어를 위한 ATS(Automatic Train Supervision: 자동열차감시) 시설을 구축하였다.

2.3 경산시험선 실내설비 구축

그림 2는 신호기기실 신호설비의 제어와 감시 및 종합관제실과 선로변 설비 간의 필요한 정보전송을 수행하기 위한 설비로서 지상 ATP장치, 전자연동장치, 데이터통신장치로 구성된다.

2.4 차상 신호설비 구성

KRTCS 차상신호장치는 열차의 방호를 담당하는 차상 ATP(Automatic Train Protection: 자동열차보호장치)장치 및 열차의 운행을 담당하는 차상 ATO(Automatic Train Operation: 자동열차운전장치) 장치로 구성된다. 차상 ATP/ATO 장치는 편성 다중계로 구성되어, 1계는 Active로 동작되며, 2계는 Standby로 동작된다. 주행시험 및 안전요구사항, 운영요구사항 시험 시, 계 절체에 대한 검증도 포함하여 시험한다. 차상신호장치는 차상 ATP/ATO 장치, 차상 무선통신장치, Transponder Reader 및 Antenna, 정위치 정차판 검지센서, 속도센서, 및 MMI(Man Machine Interface: 운영자 인터페이스 장치)로 구성된다[5][6].

2.5 지상무선통신장치 구축

그림 3의 지상무선통신장치는 신림선 운영 환경과 유사하게 시설물을 배치하였다. KRTCS 상위 망 시스템인 차/지상 ATP/ATO간 통신의 연속성을 보장하기 위해 무선통신 커버리지는 다중계로 연결되도록 구축하였으며, 차/지상간 통신의 연속성을 보장하기 위해 무선통신장치의 개통 및 기능검증 시험을 진행하였다[7][8].

2.6 LTE-R 구성

그림 4 LTE-R 연동 구성은 경산시험선 삼성현역 기점 약 450m지점(RRU#2)에서 양방향 서비스 1km 지점(RRU #1) 갓바위역 방향으로 설치하였으며, 경산시험선과 마곡 검증센터 연동하여 경산시험선 LTE-R 단말기가 사용되도록 구축하였다[9][10].

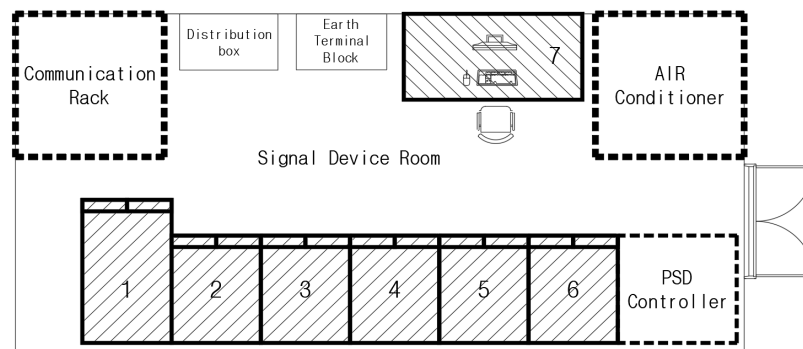


그림 2. 실내설비 구축

Fig. 2. Building indoor facilities

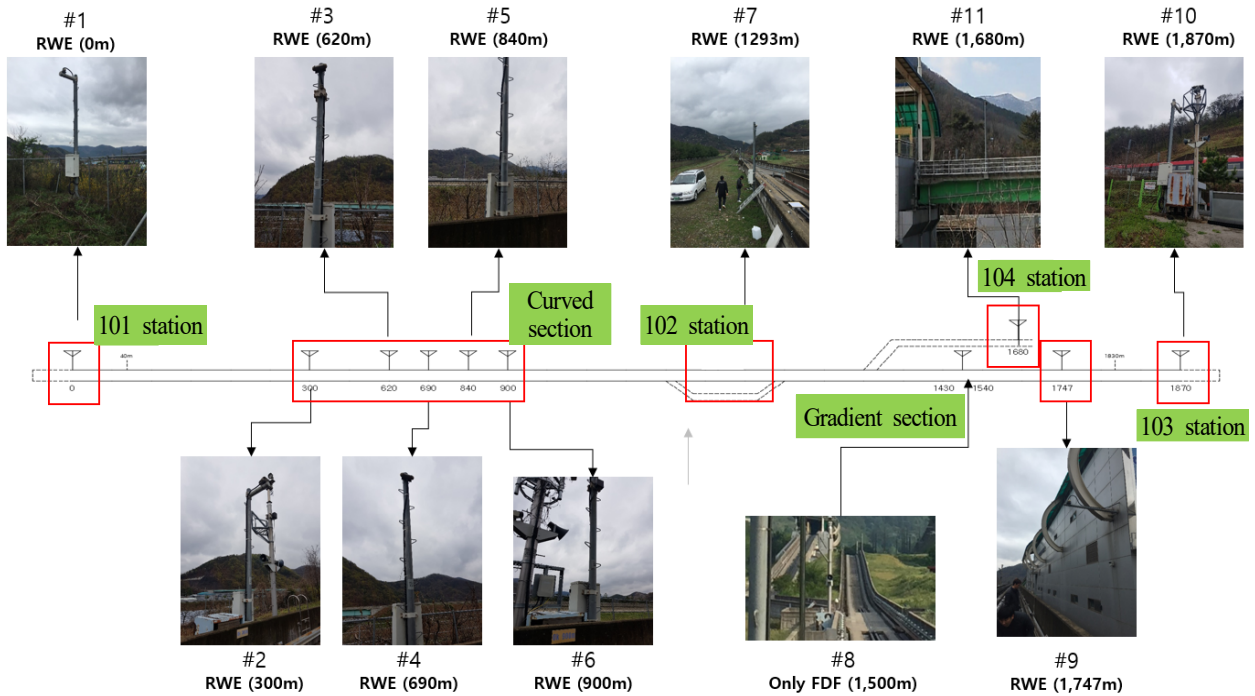


그림 3. 지상 무선 통신장치 구축
Fig. 3. Ground wireless communication device construction

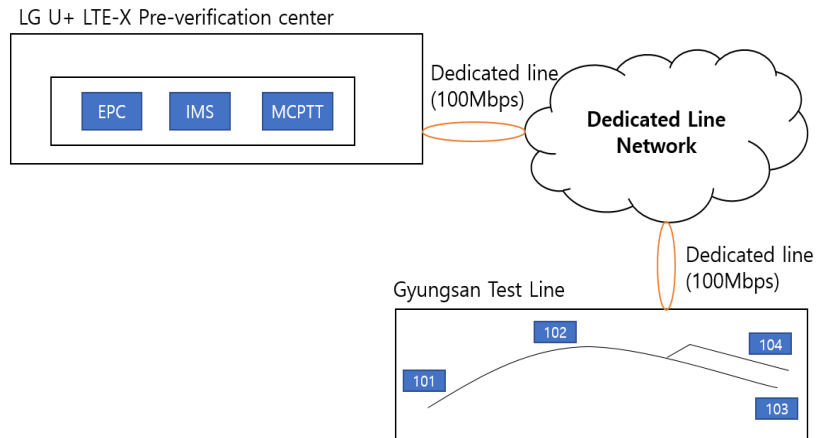


그림 4. LTE-R 연동 구성
Fig. 4. LTE-R linkage configuration

III. 개별 시험

주방지장치시험) 및 공차 시험이다.

3.1 차량시스템 시험

신립선 경전철 K-AGT 차량의 역행/제동 시험을 경산 시험선 Test-bed에서 실시하였는데, 시험항목은 역행시험(기동시험, 추가노치시험, 재역행시험, 가속도시험), 제동시험(상용제동시험, 비상제동시험, 활

3.2 신호시스템 시험

KRTCS 열차제어시스템의 기능을 검증하기 위해 크게 ATP, ATO, ATS, CBI로 조직을 구성하고, 각 장비별 기능을 검증하였다. ATP와 ATO는 지상과 차상으로 구분되며, 이외에 무선통신장치, 네트워크

장치, PSD와의 인터페이스를 확인하였다.

지상시스템 동작시험은 경산시험선에 설치된 지상시스템에 대해 각 장비에 대한 개별적인 동작시험을 통해 정상기능을 확보하고, 차상신호시스템 동작시험은 차상장치 설치 후 장치의 정상기능 확보를 위한 시험이다.

또한 지상설비 연계동작시험은 KRTCS 열차제어시스템의 개별적 자체시험이 완료된 후 차상설비와 지상설비간의 인터페이스 및 비상 상황에서 지상 및 차상의 기능 시험이다.

KRTCS 열차제어시스템에 의해 차량의 Awake 및 PDT를 시행하고 ATS Schedule에 의해 차량의 운행이 시작되며, 운행 중 승강장에 도착하여 정위치 정차 및 이에 따른 출입문과 PSD 도어의 개/폐가 이루어진다. 운행이 종료된 후 차량이 입고(경산시험선의 경우 침단, 미래역)되어 Sleep되는 모든 기능을 구현하는 시험이다.

3.3 무선통신시스템 시험

경산시험선 단선 2.37Km에 구축되는 무선통신시스템의 단위 및 연동시험을 검증하여 시스템의 안전성과 운영에 문제가 없음을 시험한다. 경산시험선 Test-bed에 구축된 무선통신시스템 시험은 ATP/ATO 장비별 통신개통 확인 및 무선통신 커버리지 확인, 차/지상 간 무선장치 시스템 연동시험(로밍시간, 전송지연)을 검증 수행한다.

IV. 안전 및 운영 요구사항 시험

K-AGT 차량 및 KRTCS 신호시스템, 무선통신장치의 개별시험 완료 이후 무인운전 안전요구사항 31건 및 운영요구사항 52건에 대한 요구조건 분석의 총 83건에 대한 검증을 S/W를 통해서 시험을 실시하였다.

4.1 검증 S/W 시스템 구성

시나리오 검증장치는 그림 5와 같이 구성되며, ATS 서버와 지상 ATP, 연동장치, 차상 ATO 등과 인터페이스 하여 해당 정보를 파악하고 각 시나리오 시험 시 각 장치별로 처리가 정상적으로 이루어지는지 확인하고 검증하였다.

4.2 시험 구성

무인운전 안전 및 운영 요구사항 시험을 위해 그림 6과 같이 구성하였다.

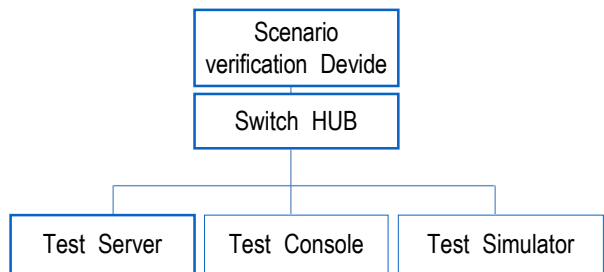


그림 6. 시험 구성
Fig. 6. Test configuration

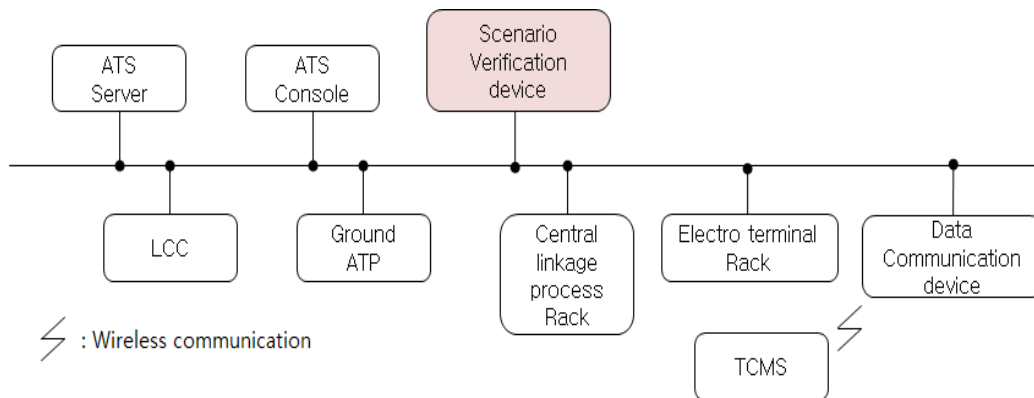


그림 5. 시스템 구성
Fig. 5. Configuration of system

V. 시험 결과

신림선 도시철도는 완전무인운전방식으로 운영되는 노선으로 K-AGT 차량과 KRTCS 신호시스템 상호 간 신뢰성 및 안전성 확보를 위해 경량전철 전용 시험선 Test-bed에서 개별시험을 통해 시스템 검증을 실시하였으며, 개별시험 완료 후 안전요구사항 31건 및 운영요구사항 52건에 대해 검증시험을 실시하였다.

그림 7은 열차 상태 및 알람에 대해 ATS 시스템에서 열차상태를 확인하는 시험 현황이다.

경산시험선에서 2020년 6월부터 2020년 10월까지 개별시험을 실시하였으며, 2020년 11월부터 2020년 12월까지 안전 및 운영요구사항 검증시험을 실시하였다. 시험결과로는 그림 8과 같이 시나리오 결과 보고서 총 83건을 완료하였다.

VI. 결론

본 논문은 국토교통과학기술진흥원의 철도기술연구사업(실용화 문턱과제)인 ‘신림선 무인운전을 위한 K-AGT 차량과 KRTCS 열차제어시스템 상호 간 안전운영 요구사항 검증 연구사업(20RTRP-C148749-03)의 일환으로 수행되었으며, 신림선 도시철도에서 완전무인운전 방식으로 운행됨에 따라 열차운행의 안전성과 효율성을 보장하기 위해서 무인운전에 대한 안전 및 운영요구사항에 대한 검증 시험을 실시하였다.

신림선 도시철도 노선에 KRTCS 신호시스템을 건설하기 전에 경량전철 경산시험선에서 안전요구사항 31건 및 운영요구사항 52건 검증 시험을 완료하였으며, 개별 시험 및 안전 및 운영요구사항 검증 시험 시 확인된 문제점을 보완하였다. 신림선에 K-AGT 차량 및 KRTCS 신호시스템은 2020년 12월 말에 납품하여 완벽한 무인경전철 시스템 구축하고 성공적인 안전한 도시철도 건설 및 운영을 기여하도록 하였다.

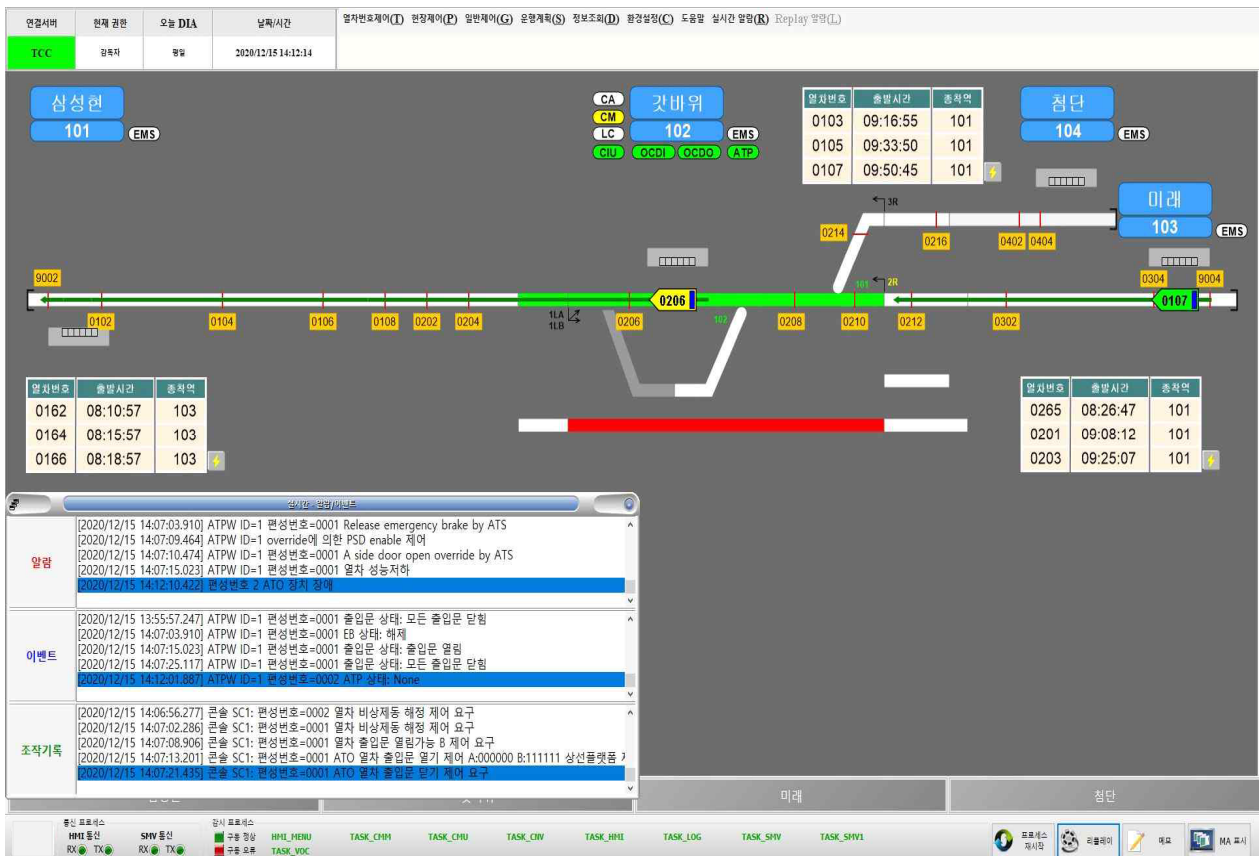


그림 7. ATS 시험 현황
Fig. 7. ATS test status

시험날짜: 2020년 12월 15일		시험레벨: 운영5-1					
시험시간: 11:27:32~12:13:48		출력날짜: 2020년 12월 15일					
시험결과: 성공		출력시간: 16:29:28					
시험자: hyendo.kim		출력자: hyendo.kim					

순번	담당자	상황	운영형태	명령주체	규정	결과
1	-	상황 개시 열차가 임의의 두 개역 사이에서 운행 중 주행이 불가능한 고장이 발생한다.	-	-	-	성공
2	신호시스템	열차가 두 역 사이에서 정지하고 있음을 인식한다. 정차된 열차의 상태정보가 종합관제실에 전송된다.	자동	관제ATS-경보	-	성공
3	열차관제자	전송된 고장정보를 이용하여 열차의 현상을 파악한다. 이 정보는 검수정보시스템에도 전송되어 검수원이 열차의 상태를 파악할 수 있다.(가정)	수동	-	운영규칙	성공
4	열차관제자	열차고장이 발생한 지정 후단의 열차들에 대하여 CM모드명령(Center Manual)을 실행한다.	수동	관제ATS-CM모드	운영규칙	성공
5	열차관제자	고장이 발생한 열차에서 가장 가까운 곳에 있는 순회요원 위치를 파악하고 파견 준비한다. 순회요원 3명 파견 순회요원 1, 2 : 구원열차 탑승 순회요원 3 : 도착할 승강장에 파견	수동	순회요원들에 무선연락	운영규칙	성공
6	열차관제자	고장 열차에 방송을 실시하여 승객에게 열차에 기술적 고장이 발생했고, 조속 조치예정임을 승객에게 알린다.(가정)	수동	고장 열차에 방송	운영규칙	성공
7	열차관제자	모든 역과 열차에 운행에 지연이 발생하였고, 운행이 곧 복구될 것임을 알린다.(가정)	수동	역사 및 열차에 방송	운영규칙	성공
8	열차관제자	전송된 열차 데이터 검토 및 출동한 검수원이 구원운전과 응급조치장비 필요여부 판단 후 구원운전 시행을 지시	수동	-	운영규칙	성공
9	열차관제자	고장열차 후부 승강장에서 대기 중인 열차를 구원열차로 선택한다.	수동	-	운영규칙	성공
10	열차관제자	고장 열차를 철수시키기 위해 할당된 운행계획 재생성을 명령한다.	수동	관제ATS-열차 재생성	운영규칙	성공

그림 8. 시나리오 결과 보고서
Fig. 8. Scenario result report

본 연구사업으로 진행된 검증시험은 K-AGT 차량 및 KRTCS 신호시스템, 무선통신으로 개별 시험 및 안전요구사항, 운영요구사항 검증 시험이 진행되었으나 신림선 도시철도는 완전무인운전방식으로 차량 및 신호시스템 뿐만 아니라 전력관제설비(SCADA), 안전설비, 보안설비 등과 연계되어 검증이 필요하다.

이에 신림선 전체시스템 구축 이후 무인운전에 대한 시험을 추가적으로 진행되어야 하며, 무인운전 검증시험을 통하여 문제점 영업운행 이전에 시험을 통하여 완벽한 무인경전철 시스템 구축이 되어야 한다.

References

[1] Korea Railroad Research Institute, <https://www.krri.re.kr>. [accessed: Jan. 20, 2020]
[2] Yong-Sam Kang, "A study on interoperability and

applicability of the Korean Radio based Train Control System(KRTCS)", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 65, No. 6, pp. 1095-1102, Aug. 2016.
[3] Chan-ho Kim, Jong-won Park, Kang-gyoo Lee, Dong-il Sung, and Hak-sun Yun, "Development of Standard Specification of Korea Radio based Train Control System(KRTCS-2) for Conventional & High Speed Railway", Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 19, No. 6, pp. 736-743, Dec. 2016.
[4] Young Sik Kim, Jae Kak Nam, and Kyoung Cheon You, "Research to Verify the Safety and Operation Requirement S/W between K-AGT and KRTCS for Manless Operation of Sillim Line", Journal of the Korean Institute of Information Technology, Vol. 18, No. 12, pp. 79-86, Dec. 2020.

- [5] Kang-Gyoo Lee, Jong-gwoan Choi, Dong-Il Sung, Hak-Sun Yun, Jong-Won Park, You-Ho Kim, Nam-Hyoung Lee, and Jong-Cheon Yoo, "Expanding Plan Study of KRTCS-2(Korean Radio Train Control System for Conventional & High Speed Railway)", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 66, No. 3, pp. 533-539, Aug. 2017.
- [6] Minseok Kim, Minkyu Kim, Doogyum Kim, and Jongwoo Lee, "Analysis of Distance between ATS and ATP Antenna for Normal Operation in Combined On-board Signal System", International Journal of Railway, Vol. 5, No. 2, pp. 77-83, Jun. 2012.
- [7] Shin-hyung Cho, Young-hyun Seo, Seung-young Kho, and Sung-mo Rhee, "Establishing the Methodology of Economic Analysis to Take into Account Opportunistic Valuation for a Radio Communication & Train Control System", Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 19, No. 3, pp. 373-379, Jun. 2016.
- [8] Chan-ho Kim, Gong-jun Jeon, Kang-gyoo Lee, Dong-il Sung, Seung-ah Choi, and Hak-sun Yun, "A Study on the Method with Design Criteria of KRTCS using LTE-R Radio Network for Conventional & High Speed Railway Through the Analysis of Design Criteria of the Trackside System", International Journal of Railway, Vol. 10, No. 2, pp. 34-39, Jun. 2017.
- [9] Ma Didi, Hu Lili, and Liu Kai, "Safety Evaluation of High Speed Railway LTE-R Communication System Based on AHP and Fuzzy Comprehensive Evaluation", International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS), Changsha, China, pp.1, Mar. 2019.
- [10] Ke Guan, Zhangdui Zhong, and Bo Ai, "Assessment of LTE-R Using High Speed Railway Channel Model", Third International Conference on Communications and Mobile Computing, Qingdao, China, pp.78, Apr. 2011.

저자소개

김 영 식 (Young-Sik Kim)



1992년 2월 : 동양공업전문대학
기계설계 (전문학사)
2004년 2월 : 충주대학교
기계설계공학 (학사)
2006년 2월 : 충주대학원
열유체공학 (석사)
1996년 11월 ~ 현재 : 우진산전

차량사업부 연구소장
관심분야 : 철도차량설계

남 재 각 (Jae-Kak Nam)



2015년 2월 : 충북대학교
전기공학과 (학사)
2015년 12월 ~ 현재 : 우진산전
차량사업부 주임 연구원
관심분야 : 철도차량설계