

차상중심 열차제어시스템 개발 동향

신광호, 백종현*, 김건엽*, 김영주*
대아티아이(주), 한국철도기술연구원*

요약

국내 철도 지선 구간에서는 열차 운행 빈도와 승객 이용률이 저조하여, 기존 열차제어시스템의 유지보수 비용을 최소화하고 운영 효율성을 향상시킬 필요성이 대두되었다. 이에 따라 고가의 지상신호 제어장치 대신 차상에서 선로변 시설물을 무선으로 제어하고자 하는 차상중심 열차제어시스템이 개발 중이다. 본고에서는 차상중심 열차제어시스템의 개념과 운영을 위한 고려 사항 및 현재 개발 동향을 살펴본다.

I. 서론

열차제어시스템은 기관사에게 선로의 신호상태 및 운전정보를 제공하고, 선형열차와의 간격제어 및 제한속도 초과시 열차의 안전을 확보하는 기능을 담당한다[1]. 이러한 열차제어를 위한 신호방식으로 기존의 자동열차정지(ATC: Automatic Train Stop) 방식으로부터 경부선, 호남선 등의 국내 주요노선을 중심으로 고속, 고밀도 운행에 대비한 자동열차방호(ATP: Automatic Train Protection) 방식으로 개량해 나가고 있다[2].

ATC가 지상에서 제한속도를 생성하여 기관사 실수에 대한 열차보호만을 담당하는 반면, ATP는 열차운행에 필요한 각종 정보를 지상자를 통해 차량으로 전송하고, 차량의 컴퓨터를 통해 속도프로파일의 생성 및 열차방호가 이루어진다. ATP를 통해 운전시각의 단축, 선로용량 증가 등의 효과를 얻을 수 있으나 이의 운용을 위해서는 발리스(Balise) 및 선로변제어유니트(LEU: Lineside Electronics Unit) 등의 지상설비가 신규 설치되어야 한다. 또한 기존 궤도회로 기반의 자동폐색장치(ABS: Automatic Block System), 전자연동장치, 건널목 제어장치 등과 연계 운용해야 하므로 일정 수준 이상의 유지보수 인력과 비용이 지속적으로 필요하다.

주요노선의 경우 ATP 시스템으로의 개량이 적절하지만, 일일 운행횟수가 적은 지선의 경우에 고가의 제어시스템을 운용하는

것은 효율성 측면에서 문제점이 있다. 이러한 점에 착안하여 저밀도 구간인 철도지선에 대하여 선로변 시설물을 최소화하여 이로 인한 유지보수 비용을 절감하면서 기존과 동등한 운행 안전성을 보장할 수 있는 차상중심의 열차제어시스템의 개발이 요구되고 있다.

본고에서는 정보통신기술(ICT: Information & Communication Technology) 기반의 차상중심 열차제어시스템의 개발 동향에 대하여 살펴본다. 2장에서는 차상중심 열차제어시스템의 개념과 구성에 대해 소개한다. 3장과 4장에서는 차상중심 열차제어시스템을 운영하기 위한 운영이슈와 운영 시나리오를 다룬다. 마지막으로 5장에서는 차상중심 열차제어시스템의 개발 현황과 성능 검증을 위한 시험 결과를 소개한다.

II. 차상중심 열차제어시스템의 개요

차상중심 열차제어시스템은 <그림 1>과 같이 차상에서 선로 전환기와 건널목의 주요 신호설비를 무선으로 제어하고자 하는 시스템으로, 차상제어시스템, 선로변제어시스템, 운행관리시스템의 세 부분으로 구성된다. <그림 2>에 차상중심 열차제어시스템의 구성도를 나타내었다.

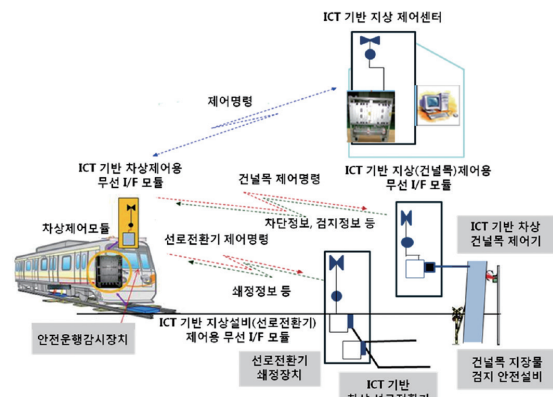


그림 1. 차상중심 열차제어시스템 개념도

표 2. 비상 운전 시나리오

구분	시나리오	조치
시스템 고장	시스템 고장	ISO 운행
	태그 검지기 고장	ISO 운행
	회전속도계 고장	ISO 운행
	무선모듈 고장	ISO 운행
	운행관리시스템 고장	ISO 운행
열차 등록 오류	운행번호 오류	차상 EB 체결
	스케줄 미전송	차상 EB 체결
	스케줄 확인 미전송	차상 EB 체결
	진입태그 등록 미완료	차상 EB 체결
열차 상태 오류	열차 상태 보고 없음	차상 EB 체결
	열차 상태 확인 없음	차상 EB 체결
열차 주행 오류	열차 비상저지 지연	기관사 수동 제동
	수동 비상정지 지연	운영자 요구 제동
	REC모듈 이상	알람 메시지
주행로 지정 오류	현재 주행로 미승인	차상 EB 체결
	다음 주행로 미승인	기관사 수동 제동
	수동 주행로 취소 지연	운영자 요구 제동
	수동 주행로 지정 지연	운영자 요구 제동
태그 인식 오류	진입예고/최초 미인식	차상 EB 체결
	진입 미인식	차상 EB 체결
	진출예고 미인식	차상 EB 체결
	진출 미인식	차상 EB 체결
	절대위치 미인식	차상 EB 체결
	선로전환기 제어 미인식	차상 EB 체결
	건널목 제어 미인식	차상 EB 체결
선로변 제어 오류	선로전환기 제어 불가	차상 EB 체결
	건널목 진입제어 불가	차상 EB 체결
	건널목 진출제어 불가	운영자 수동 변경
열차해제 오류	열차해제 미승인	차상 EB 체결
	진출태그 해제 미완료	차상 EB 체결

V. 차상중심 열차제어시스템의 개발

앞 장들의 내용을 바탕으로 실제 차상중심 열차제어시스템의 구현을 위한 차상제어장치와 선로전환기 및 건널목차단기를 제



그림 6. 차상중심 열차제어시스템 테스트베드

어할 수 있는 선로변 제어장치의 시제품을 제작하였고, 성능을 검증하기 위하여 다양한 시험을 진행하였다. 실제 현장과 유사한 통합환경을 구현하기 위하여 기존 선로변에 위치한 시설물들은 현장과 동일한 제품을 사용하여 <그림 6>과 같은 테스트베드를 구축하였다. 또한 지상 운행관리시스템을 구축하고, 차상제어장치에 정보를 전달하기 위한 열차 시뮬레이터를 구현하였다.

1. 통합 운영 시뮬레이션

실험자가 열차 시뮬레이터를 이용하여 열차의 운행을 조작하고, DMI화면을 통해 열차의 속도 정보 및 선로전환기와 건널목차단기 상태를 확인하였다. 운행관리컴퓨터(LCC: Local Control Center) 화면을 통해서도 열차의 선로 점유 정보, 주행로 지정 및 확정에 관한 정보를 확인하였다.

시험 항목 중 대표적인 정상 주행 시험, 속도감시에 의한 FSB/EB 체결 시험, 선로변 제어 실패(Fallback) 시험, 진입 실패 후 재진입 시험 등 4가지 상황으로 분류하여 시험하였다. 가상 시험 노선은 총 1.6km 구간으로 ICT구간 진입/진출, 선로전환기, 건널목차단기 등이 배치되었고, 선로변 제어장치는 선로전환기 제어용 제어장치 1식, 건널목차단기 제어용 제어장치 1식을 설치하였다. 시험결과는 열차제어시스템의 요구 기능 및 성능을 모두 충족하였다.

2. 통신 연속성 시험

각 세부장치들 간의 통신 신뢰성을 확인하기 위하여 통신 연속성 시험을 수행하였다. 차상제어장치를 중심으로 선로전환기 제어용 및 건널목차단기 제어용 선로변 제어장치간 인터페이스를 구현하여 선로전환기 및 건널목차단기 등의 선로변장치를 제어하고, 운행관리컴퓨터와의 인터페이스를 구현하여 열차등록, 스케줄 전송 등의 운행정보 전송을 수행한다. 또한, 이더넷 및 시리얼 통신으로 열차 시뮬레이터 장치와의 인터페이스를 구축하여 열차정보 입력 및 열차제어 정보 전송을 수행하도록 구성하였다.

차상제어장치와 운행관리컴퓨터간, 차상제어장치와 선로전환기용 선로변 제어장치간, 차상제어장치와 건널목차단기용 선로변 제어장치간 등 총 3가지의 통신 연속성 시험을 수행하였다. 시험을 통해 다음과 같은 통신 단절 상태가 발생하는 것을 확인하였다.

- 1) ICT모드의 차상제어장치와 운행관리컴퓨터 및 선로변제어장치간 통신 접속 상태에서 불규칙적인 시간에 Non-ICT모드로 전환되어 통신 단절
- 2) 차상제어장치가 운행관리컴퓨터와의 Sequence Number

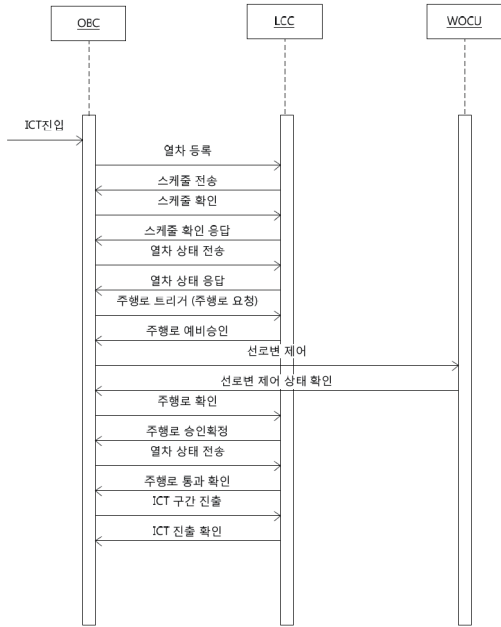


그림 7. 지상제어센터용 시뮬레이터 운영시퀀스

Error 누적에 의한 통신 단절

- 3) 차상제어장치와 운행관리컴퓨터, 선로변제어장치간 Retry 초과로 인한 통신 단절

이러한 결합사항 3건과 개선사항 2건을 보완하여 120시간 동안 통신 연속성을 확인해본 결과 이상 없이 정상적으로 동작하는 것을 확인할 수 있었다.

3. 지상제어센터용 시뮬레이터

시제품 시험을 위하여 지상제어센터를 대신할 수 있는 지상 제어센터용 시뮬레이터를 제작하였다. 열차가 ICT구간을 진입하기 전 열차 등록을 요청하여 운행관리시스템으로부터 승인을 받아 스케줄을 확인하여 ICT구간을 진입한다. 열차가 ICT구간을 진입하면 열차 상태를 운행관리시스템에 전송하고 주행로를 지정 받는다. 또한 차상제어장치에서 선로변 상태를 운행관리시스템에 보고하고 운행관리시스템의 승인 하에 선로변 제어장치에 제어 명령을 하달하여 선로변 시설물들을 제어한다. 마지막으로 ICT구간을 진출하기 전 열차 해제를 요청하여 ICT구간에서 진출한다.

지상제어센터용 시뮬레이터 메뉴는 현장제어, 열차제어, 스케줄, 선로변제어장치 제어 및 에러설정으로 구성된다.

가. 현장제어

수동진로, 주행로 설정, 주행로 취소, 주행로 릴리즈의 4가지 항목으로 구성된다. 수동진로는 열차 번호선택과 진로를 선택하면 해당 열차에 진로 아이디를 전송한다. 주행로 설정은 주행

로 승인에 해당하는 동작을 하며, 주행로 취소는 해당 주행로의 취소 요청을 한다. 주행로 릴리즈는 ICT구간에서 열차와 인터페이스 오류로 인해 3초 이상 통신이 제대로 이루어지지 않을 때 주행로가 차단되는데, 이후 주행로 차단을 해제시키기 위한 설정이다.

나. 열차제어

LCC에서 열차에 비상제동 명령을 전송하는 설정이다.

다. 스케줄

해당 열차 번호를 선택할 경우 저장되어 있는 진로 리스트가 나타난다.

라. 선로변제어장치 제어

선로변제어장치 연결, 선로전환기 제어, 건널목차단기 제어의 3가지 항목으로 구성된다. '선로변제어장치 연결'은 선로변제어장치의 COM PORT에 연결한다. Fallback 모드에서 동작하도록 시리얼 통신을 연결한다. '선로전환기 제어'는 선로변제어장치 연결 후 선로전환기를 제어하고 상태를 수신한다. '건널목차단기 제어'는 건널목차단기를 Fallback 모드로 제어하고, 제어 이후 상태값을 수신하여 표시한다.

마. 에러설정

에러설정의 내용은 통신에러, 스케줄 미전송, 스케줄 확인 미전송, 주행로 거부 메시지 전송, 열차 해제 오류 설정, 주행로 승인 미전송, 주행로 취소 미전송의 7가지로 구성된다.

4. 현장시험

현장설치 시험을 위한 구성도는 <그림 8>과 같다. 차상제어장치를 비롯하여 선로전환기 및 건널목차단기용 선로변제어장

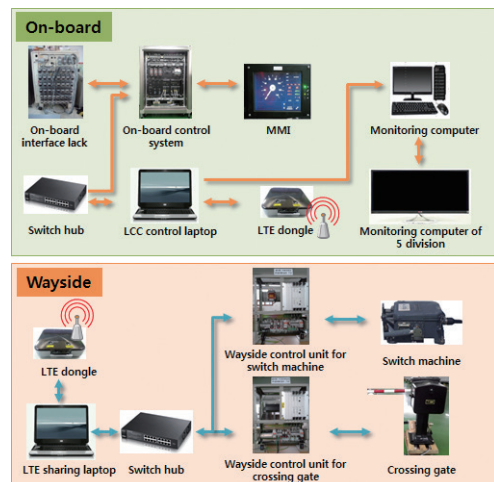


그림 8. 현장설치 시험 구성도

치에 대하여 현장 설치 장치 검사와 통신 및 인터페이스 시험을 수행하였다.

예비 현장시험은 한국형 무선통신기반 열차제어시스템(KRTCS: Korean Radio-based Train Control System) 종합 성능시험이 진행되었던 대불선에서 수행되었다. 대불선에는 철도전용 LTE 무선통신망(LTE-R)과 열차 위치 정보를 위한 트랜스폰더 태그가 설치되어 있다. 일로~대불 간 11.25km의 대불선 구간 중에 영산대교 이후 일로역을 기점으로 9.6km~10.586km의 직선구간에서 수행되었다.

〈그림 9〉에서 보듯이 실제 현장 역의 설비들과 유사한 형태의 가상 노선을 구축하여 동적 운영 시험을 진행하였다. 가상 시험 노선은 선로전환기를 포함하는 노선(가상1)과 건널목차단기를 포함하는 노선(가상2)으로 구분된다. 시험구간의 실제 제한속도 90 km/h이므로, 가상 시험노선의 제한속도는 실제 제

한속도 이하로 설정하였다. 차상중심 열차제어시스템이 동작하는 ICT 구간에서는 50km/h, 그 외의 ICT 진출입 구간에서는 25km/h의 제한속도를 갖고, 동적 운영 시험 시 주행 속도는 시험 시나리오에 따라 다르게 주어진다.

〈그림 10〉은 동적 운영 시험 중인 현장 모습으로 차상 내 시험 모니터 화면과 시험 로그를 확인 중인 모습이다. 동적 운영 시험은 〈표 3〉의 총 7가지의 시나리오에 대하여 수행되었다. 시나리오에 따라 최소 2번 이상 반복 수행하였으며, 단계별로 정상 동작 여부를 검증한 결과 모두 이상 없음을 확인하였다.

개발된 차상중심 열차시스템에 대하여 공인기관 입회하여 현장 설치 검사, 통신 및 인터페이스 시험, 동적 운영 시험이 진행되었다. 각 시험항목별 세부 시험기준을 모두 만족시키며 성능을 검증 받고 시험성적서를 취득하였다.

표 3. 동적 운영 시험 시나리오

번호	시험 시나리오
1	선로전환기 포함 노선 정상 주행
2	건널목차단기 포함 노선 정상 주행
3	속도감시에 의한 FSB/EB 체결
4	선로전환기 제어 실패 (Fallback 상황)
5	건널목차단기 제어 실패 (Fallback 상황)
6	구간 진입 실패 후 재진입
7	운영자에 의한 주행로 취소

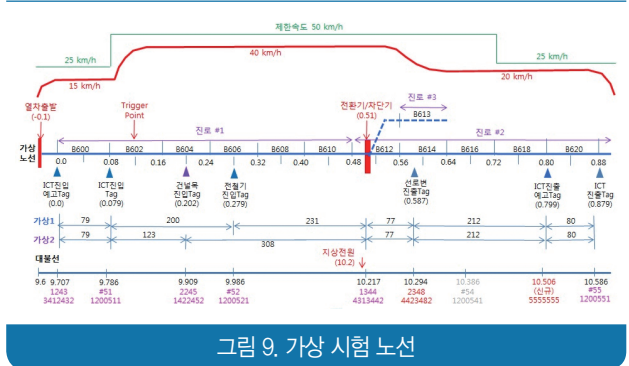


그림 9. 가상 시험 노선



그림 10. 동적 운영 현장 시험

VI. 결론

본고에서는 저밀도 직선구간을 중심으로 열차 안전성 및 운영 효율성을 높이기 위한 차상중심 열차제어시스템의 개념과 개발 동향을 살펴보았다. 개발된 시제품의 현장 시험을 통하여 성능 검증과 현장 적용성을 확인하였다. 향후 실제 현장에서 운용 시 고려해야 할 무선통신 안정성 관련 연구 또한 진행 중이다. 차상중심 열차제어시스템의 개발과 성공적인 도입을 통하여 누적된 적자 노선에서의 철도경영개선은 물론 수입대체효과도 달성할 것으로 기대된다.

참고 문헌

[1] 신덕호, 백종현, 이강미, 김용규, “한국형 탈팅열차 차상신호장치 신뢰성관리에 대한 연구,” 한국철도학회논문집, 제 12권, 제6호, pp. 825-838. 2009년 12월.

- [2] 백종현, 조현정, 이강미, 김건엽, 신덕호, 이재호, “ICT기반 차상중심 지상설비 제어기술 연구,” 2012년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1544-1545, 2012년 7월.
- [3] 김영훈, 최원석, “ICT 기반 차상제어시스템 개발에 따른 운영 이슈 분석,” 한국철도학회논문집, 제14권, 제6호, pp. 575-583, 2011년 12월.
- [4] 백종현, 조현정, 김건엽, 이강미, 김용규, “ICT기반 차상제어시스템의 기능 요구사항 연구,” 2012년도 대한전자공학회 하계학술대회, 제35권, 제1호, pp. 1797-1800, 2012년 6월.
- [5] 백종현, 황종규, 조현정, 김정태, 이강미, “저밀도 지선구간의 운영 효율성 향상을 위한 차상중심 열차제어시스템의 운영 시나리오에 관한 연구,” 한국통신학회 2013년도 동계종합학술발표회, pp. 140-141, 2013년 1월.
- [6] 박철홍, 최현영, 백종현, “선로변 시설물 차상 제어를 위한 차상중심 열차제어시스템 예비 현장시험,” 한국통신학회 논문지, 제39c권, 제3호, pp. 298-306, 2014년 3월.
- [7] 백종현, “선로변 시설물 차상제어를 위한 차상중심 열차제어시스템의 통신 연속성 시험,” 전기학회논문지, 제63권, 제5호, pp. 703-712, 2014년 5월.
- [8] 백종현, 최현영, 김건엽, 박철홍, “차상중심 열차제어시스템 현장시험을 위한 무선망 연계 인터페이스 연구,” 한국통신학회 2014년도 하계종합학술발표회, pp. 408-409, 2014년 6월.
- [9] 박철홍, 백종현, 최현영, 김건엽, “차상중심 열차제어시스템 검증을 위한 지상제어센터용 시뮬레이터 연구,” 한국통신학회 2014년도 하계종합학술발표회, pp. 1055-1056, 2014년 6월.
- [10] 백종현, “차상중심 열차제어시스템의 현장시험을 통한 성능검증,” 한국산학기술학회논문지, 제16권, 제8호, pp. 5513-5521, 2015년 8월.
- [11] 성유석, 백종현, 양도철, 김건엽, “차상중심 열차제어시스템 무선통신 안정성을 위한 간섭환경 분석,” 2015년도 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, 2015년 5월.

약 력



신 광 호

1991년 경북대학교 공학사
 1994년~2002년 한국항공우주산업(주) 우주항공연구소 선임연구원
 2006년~현재 대아티아이(주) 철도기술연구소 수석연구원
 관심분야: 철도신호/관제, ATP/CBTC, HILS기반 SIMULATION, VR/증강현실



백 종 현

1995년 전북대학교 제어계측공학과 학사
 1997년 광주과학기술원 메카트로닉스공학과 석사
 2009년 전북대학교 메카트로닉스공학과 박사
 1997년~현재 한국철도기술연구원 책임연구원
 관심분야: 현대제어, 지능형 시스템, 열차제어



김 건 엽

2008년 University of Toronto 기계공학과 학사
 2011년 한국과학기술원 로봇공학과 석사
 2011년~현재 한국철도기술연구원 주임연구원
 관심분야: 로봇공학, 철도교통



김 영 주

2002년 연세대학교 전기전자공학과 학사
 2004년 연세대학교 대학원 전자공학과 석사
 2010년 연세대학교 대학원 전자공학과 박사
 2010년~2015년 (주)삼성전자 책임연구원
 2015년~현재 한국철도기술연구원 선임연구원
 관심분야: 무선통신시스템, 철도통신