

무인자동운전을 위한 신호제어시스템 개발(I)

A Study(I) of Signalling for Driverless Operation

윤용기* 정락교** 이병송*** 최규형***
Yoon Yong-Ki Jeong Rag-Gyo Lee Byung-Song Choi Kyu-Hyong

Abstract

Because of the pressure of costs some public transport companies are forced to think new system that is more simple and more economic forms of operation. Radio-based operation and automatic driverless operation for city railways are possible to low the costs. To construct the automated driverless operation system, it is necessary to configure the new signalling. This paper focuses on the automated driverless operation system suitable for the LRT and the standard of signalling function and the R&D project in the world.

1. 서론

많은 승객을 안전하고, 편안하고 빠르게 수송하기 위해서 현재 많은 시스템이 개량 및 개발되어 사용되고 있으나 결과적으로 철도설비는 보다 복잡하고 많은 운영비용을 필요로 하고 있어 신뢰성과 경제성 등에 문제점을 가지고 있다.

높은 수송량을 처리하고 있는 선로에서 기존의 신호시스템을 사용하여 운전속도 및 정차시간을 변경하면서 안전성을 유지하면서 열차간격을 최소화하는 것은 불가능하다. 고속 또는 고밀도 선로에서 열차운행시격을 최소화하기 위해서는 연속적으로 열차의 위치를 검지하는 것이 필요하다. 더욱이 실시간으로 열차를 제어하기 위해서는 4.5m(15feet)정도의 정밀도를 유지해야 한다.⁽¹⁾

계속적으로 증가하는 수송수요를 처리하기 위해서 기존의 신호시스템을 이용하기 위해서는 많은 센서 및 통신장치를 설치하고 이에 따른 유지보수비용을 고려해야 한다. 일반적으로 연동장치와 전자폐색장치는 전체 신호시스템 비용의 1/3, 궤도회로, 신호케이블 및 건설목 설비는 1/4를 소요한다. 따라서 선로변의 신호설비가 신호시스템 구축비용의 50%이상을 차지하고 있다.⁽²⁾

또한 기존의 시스템에서는 운행시격을 최소화하기 위해서 열차위치와 제어명령에 대한 응답을 정확하고 신속하게 처리하는 것이 곤란하고 이에 따라 희생제동으로 발생하는 에너지를 효율적으로 처리하는 것이 어렵다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 표1.과 같이 1980년 초에 들어 무선통신방식을 적용한 정보통신 기술을 구사하여 제어장치의 주체를 지상에서 차상으로 대폭적으로 이동하고 유인운전 대신 무인운전을 적용하는 새로운 시스템개발을 시작하였다.⁽³⁾

1983년경 미국과 캐나다의 철도회사가 수익성향상을 위하여 전자기술과 통신기술을 활용하여 열차위치를 확인하는 ATCS(Advances Train Control System) 프로젝트, 1986년 안전도향상을 목적으로 프랑스국철이 수행한 ASTREE는 열차의 위치를 도플러레이더로 정밀하게 검지하고 범용이동통신망을 사용, 1990년대에 구체화한 EC통합과 함께 국경에서 차량을 교환하여 직통운행이 가능하도록 하는 것이 목적으로 한 ETCS(European Train Control System)프로젝트가 진행되었다. 일본에서는 CARAT를 발전시켜 실용화를 목표로 4편성 열차와 15km의 시험선로에 5개의 무선기

* 한국철도기술연구원
** 한국철도기술연구원
*** 한국철도기술연구원
**** 한국철도기술연구원

지국을 설치하여 열차위치검출, 무선에 의한 차상지상간 정보전송, 선행열차를 위치를 바탕으로 한 열차간격제어 등을 하는 ATACS(Advanced Administration & Communication System) 프로젝트, 샌프란시스코지하철(BART)에서는 열차위치검출과 열차지상간의 정보전송을 동시에 실현하는 무선시스템을 개발하여 현재 시험중인 AATC(Advanced Automatic Train Control) 프로젝트를 수행하고 있다. 또한, 뉴욕지하철에서는 기존의 신호시스템을 CBTC시스템으로 교체하는 프로젝트로 운행시격 90초, 469개 역, 6,000량의 열차의 운행을 관리하는 대규모 사업이다.

표1. 새로운 신호제어시스템 개발 프로젝트

프로젝트	개발주체	무선방식	위치속도검지
ATCS	미국, 캐나다 철도회사	전용900MHz	차륜회전과 지상자
ASTREE	프랑스 국철	전용400MHz	도플러안테나
ETCS	유럽 철도연합	이동무선900MHz	지상자
ERTMS	독일, 프랑스, EU	이동무선900MHz	지상자
AATC	샌프란시스코 연안철도	SS2.4GHz	무선전송시간
CBTC	뉴욕지하철	SS2.4GHz	지상자 및 기타
CARAT	철도총합기술연구소	LCX400MHz	차륜회전과 지상자
ATACS	JR동일본	전용400MHz	차륜회전과 도플러안테나

무선통신방식을 열차제어에 적용하기 위한 스펙트럼의 확산이나 암호화, 제어시스템의 고신뢰화, 고속처리기술 등의 발전을 통하여 전송에 수반되는 신뢰성, 안전성 문제, 프로세스의 고장 시 동작이나 증대된 소프트웨어처리에 수반된 안전성 등을 확보하여 실용화에 획기적인 전기를 마련했다.

2. 해외 신호시스템의 기능사양

2.1 FLEXIBLOCK 시스템(Adtranze)

증가하고 있는 승객수송량을 처리하기 위하여 ATC의 방향이 일반적인 고정색방식에서 차량과 지상간의 무선통신방식으로 전환되었다. 지상에 분산되어 있는 제어시스템을 따라서 높은 대역폭의 spread spectrum방식의 무선통신을 사용하여 기존시스템과 같은 정밀도와 안전성을 유지하면서도 보다 나은 성능과 정밀한 위치를 파악할 수 있다. 무선통신은 개방형통신망체제로 낮은 계층으로 연결되고 데이터프레임은 산업용표준통신프로토콜을 사용한다. 이 시스템은 Adtranze(북미) 시험선로에서 성공적으로 검증되었다. 기술적인 토의를 함에 있어 적절한 무선시스템을 선정하는 것을 포함해야 한다. GSM-R(유럽이동통신표준)는 대중교통에 적용하기에는 적절한 것으로는 보이지 않는다.

① 자동열차보호(ATP) 기능

ATP는 자동열차제어시스템의 기본적인 안전기능을 지원하는 것으로 정보에 대한 정확한 현시와 자동화된 안전기능을 갖추고 있어 운전자 또는 운영자의 결정에서 발생하는 에러를 방지할 수 있어 높은 수준의 안전을 유지한다.

- 열차위치확인 및 제한속도를 설정하여 열차 움직임 제어(연속적으로 처리).
- 측에 설치된 속도계, 레이더 또는 GPS 센서를 사용하여 과속도 방지
- 열차탈선방지 및 열차의 적절한 운행속도 인가 등 전철기 연동제어
- 열차의 운행 및 역에서 정차 중 안전한 출입문 제어를 보장하는 출입문연동제어

② 자동열차운행(ATO) 기능

ATO는 자동화된 열차제어시스템의 기본적인 운영기능을 지원을 한다.

- 승차감 향상을 위하여 가·감속을 제어하는 속도제어시스템 및 에너지 관리

- 주행시간 5%감소 및 소비전력을 10%을 통하여 신호제어시스템 교체비용 충당 가능
- 역사에서 열차의 정밀한 정차를 보장하는 역정차제어
- 무인자동화의 스크린도어 경우 +/- 6인치(15cm)정도 정차정밀도 유지
- 운행노선과 운행시격 재조정

ATS의 정보를 사용하여 운행스케줄 복구, 운행장애 회피 또는 운행지연 복구

③ 자동열차관리시스템(ATS) 기능

ATS의 근본적인 기능은 전체시스템의 운영효율을 최적화 하는 것이다.

- 출발시간, 열차진로결정, 정차시간 및 기타 수정계획 등을 제어 및 감독
- ATC 감시, 장애내용 보고 및 진단
- 노선 및 운행시격 최적화, 운행정책 및 보고서 작성 등

시스템을 개발에 사용자의 요구를 수용한 완전무인자동화시스템을 구현하여 동적충돌점, 지상에서 발생하는 사항에 위해서 어떠한 위치에서도 정지할 수 있는 차량의 성능, 역 정밀정차, 열차운행방향전환, 양방향의 차상/지상간 통신, 진로설정 등 많은 개념과 기능을 검증하였다.

2.2 CBTC(Communication Based Train Control)

CBTC는 트랙에 의존하지 않고 열차 위치를 높은 정확도로 확인, 연속적으로 고성능의 양방향의 차상/지상간 RF 데이터 통신을 통하여 최소한 열차의 위치, 속도, 진행방향 결정, 이동 권한 한계와 ATP프로파일의 결정, ATP 프로파일의 감독 및 제한, 전철기 제어와 감시, 승객출입문 연동 감시, 차상/지상간 vital 데이터의 교환 등 vital 기능을 수행한다.

① ATP 기능

ATP기능은 충돌이나, 과속, 다른 위험한 조건에 대한 고장안전을 보호하며 ATO와 ATS 기능 모두에 대해서 우선하며 양방향성 ATP를 제공한다.

- 열차위치확인 및 속도 결정
- 안전한 열차간격유지
- 선행열차의 위치 불확실성, 후미열차의 위치 불확실성, 상용제동률, 허용 과속도, 속도측정오류의 최대치, 기술기, 열차 최대 저크, 비상제동을 및 비상제동 작동시간 등을 고려한 안전제동모델 사용

- 과속방지와 제동 보증

ATP 프로파일을 결정할 때, 열차의 실속도와 비교해서 최대안전속도를 계속적으로 결정

- 계로속도 감지
- 출입문 개방을 방지하는 연동장치
- 열차는 허용오차 범위 내에서 역 플랫폼에 정렬하고 출입문의 위치를 확인하고 계로속도를 감지한다.
- 또한 열차가 움직이지 않도록 구속을 한다.
- 출발 연동장치, 비상 제동, 운전정리연동방지, 작업 영역과 작업 열차 보호
- 파손된 레일 감지, 건널목 경고, 제한된 운전정리 보호
- 물백 방지, End-of-track protection, 열차 분리와 결합

② ATO 기능

CBTC 시스템은 ATP에 의해 부여된 안전 조건 내에서 운전조건에 따라 자동적으로 열차를 운전하기 위해서 아래 정의된 어떤 혹은 모든 ATO 기능을 제공한다.

- 자동속도조절
- 승객의 안전을 고려하여 가·감속, jerk율을 정하고 ATP에 과속한계 내에서 속도제어를 유지
- 역사 정밀정차 및 정차제어
- 출입문 제어
- 역사내 출입문 개방시간은 ATS에서 설정하고 ATO에서 자동으로 제어
- 열차 상태 데이터전송, 승객정보시스템 인터페이스, MMI

③ ATS 기능

- 사용자 인터페이스
열차운행상황을 그래픽으로 처리하여 실시간으로 시각적으로 제공
- 자동화된 ATS 기능
CBTC는 열차 확인 및 추적, 서비스 모니터링 및 제어, 자동배차, 자동열차운전정리, 에너지 최적화, 경고, 데이터 처리, 보고서 작성
- 수동 처리 기능
전철기제어 및 경로요청, 운행 계획의 선택, 스케줄 조정, 정류장 정차, 제동프로파일, 임시적 속도 제한 등
- Off-line schedule builder, 시뮬레이션

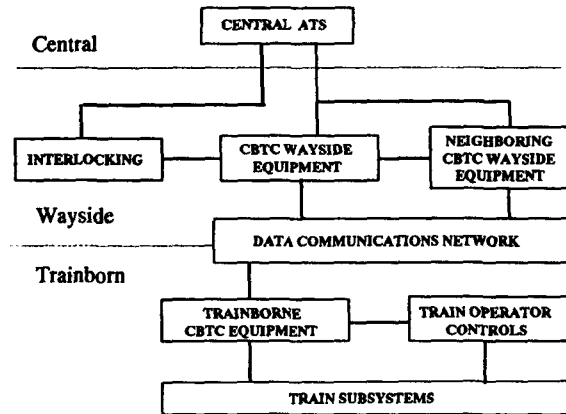


그림.1 CBTC 구성

2.3 APM(Automatic People Mover)

APM 시스템을 안내방식에 의해서 완전자동으로 운영함에 필요한 최소한의 안전성 및 성능을 만족함에 있어 필요한 사양은 다음과 같다.

ATC 하부시스템은 ATP, ATO 및 ATS기능을 제공한다. ATP는 ATO와 ATS보다 우선하며 ATO 장치는 운전자에 의해 수행되지 않는 기본적인 작동을 ATP보호범위 내에서 제어한다. ATS 장치는 시스템의 현재 상태 정보와 중앙제어 조작자가 감시할 수 있는 방법 및 시스템의 여러 가지 기능을 위한 자동제어 장치의 보조적 수동장치를 갖춘다.

① ATP 기능

- 열차위치확인, 열차확인 및 제동거리 확보
열차를 확인하고 충분한 정차거리를 제공함으로써 열차와의 충돌을 방지
정차거리는 최대 가속도, 최대 비상 제동 조건, 최대 누적된 시간 지연, 최대 가능 파속도, 기울기, 최대 운전 하중, 최소 점착력/견인력, 최소 설계 tailwind(후풍) 요소를 고려하여 해석
- 과속도방지
- 제로속도 검출 : 0.3m/s(0.95ft/s)
- 의도되지 않은 열차의 움직임 검출
- 신호통신이 중단 시 비상제동 발생
- 출입문 개폐 및 출입문 연동
열차가 운행 중(제로 속도 이상) 또는 역사에 진입 또는 출발 중 출입문이 조작되지 않도록 열차의 제동을 개시 과정이 즉시 개시되어야 한다.
- 플랫폼 정렬, 제로속도 감지, 추진 동력 제거, 열차가 움직임에 대해 확실한 억제 등의 만족여

부를 확인하기 위해서 연동보호

- 과주방지
- 열차편성 및 차량분리 시 정차제동
- 연동보호

출발연동, 양방향 운전을 위한 방향전환 연동, 비상제동제어와 추진제어와 연동. 안내면 전철기 연동

② ATO 기능

- 열차의 가·감속 제어
허용된 가·감속 및 jerk을 내에서 안내면을 따라 운행되는 열차의 출발, 정차 및 속도 제어
- 정밀정차
정류장 정차는 승객의 승·하차 시 최소한 출입문은 82cm(32.5inch)의 공간을 확보
- 출입문 제어 및 정차시간
열차 출입문과 스크린 도어는 서로 연계되어 승·하차동안 ATO에서 자동제어
출입문 개방상태에서의 정차시간은 ATP에서 자동결정

③ ATS 기능

ATS는 시스템과 운영관리자간 인터페이스 지원으로 시스템운업을 감시 및 관리

- 자동 또는 반자동으로 시스템을 운영
- 정상적인 조작이 불가능하면 최소한 열차운행중지, 동력차단 및 시스템폐쇄(운영관리자)
- 자동제어기능, 모드(mode) 조정, 열차추적, 운행시격조정, 열차운전정리
- 시시스템의 모니터링, 오기능과 고장에 대한 경보 통보
- 시스템 경보 장비 화재와 침입 경보 데이터 기록 및 보고

3. 개발 신호시스템의 구성 및 기능사양

경량전철 신호제어시스템은 ATP 및 ATO, ATS 기능을 제공하는 기능을 갖는다. ATP 기능은 충돌이나 과속, 또는 위험상황 상태에 대한 fail-safe보호를 제공하여야 하며, ATO 및 ATS 기능에 대해서 우선한다. ATO 기능은 기존의 열차 승무원이 수행하는 기본 동작을 제어하여야 하며, ATP에 의한 보호 한계 내에서 수행되어야 한다. ATS 기능은 시스템 상태 정보 및 시스템의 여러 기능에 대한 자동제어를 감시하며, 또한 이를 무효화시키는 수단을 제공하여야 한다.

3.1 자동열차보호(ATP) 기능

모든 ATP 기능은 바이탈 기능이며 양방향성 ATP를 제공한다.

- 열차위치 및 열차속도 결정, 안전 열차간격, 과속방지 및 제동보충
- 구름 방지, 종단궤도 보호, 편성분리 보호와 열차분리 및 결합
- 영속도 검지, 출입문개방제어 보호 연동기능, 출발 연동기능, 비상제동
- 진로 연동, 주행방향 전환 연동기능, 작업 영역과 작업 열차 보호, 제한된 진로의 보호

3.2 자동열차운행(ATO) 기능

ATP의 안전제한조건에 기술된 운전기준에 따라 자동으로 열차의 움직임을 제어한다.

- 자동 속도 조절, 역 정차 제어, 열차 출입문 제어

3.2 자동열차관리(ATS) 기능

ATS시스템에 열차제어기능이 인터페이스 또는 통합을 하므로 궤도회로와 무관하게 높은 정확도의 열차위치 정보에 대한 유용성, 연속 지상-차상간 및 차상-지상간 데이터 통신에 대한 유용성 및 차상 및 지상의 데이터 처리 기능에 대한 유용성을 구성한다.

- 사용자 인터페이스, 열차확인 및 열차추적
- 열차 진로 결정, 자동 열차 조정, 역 정차기능

- 열차 운행의 제한, 장애 보고, 통신기능

3.3 검토 시스템

이상과 같은 내용을 토대로 검토한 결과 현재 개발구성(안)은 그림.2와 같이 열차의 제어는 무선 통신을 근거로 하고 중앙제어실과 지역제어실은 유선으로 통신하며, 지역제어실과 차량과는 무선 통신을 행하여 정보를 주고받아 운행하는 시스템으로, 차량의 위치와 속도는 차량자체에서 검지하여 지상센타로 전송하며 차량에서 속도곡선을 구현하는 방식으로 구성한다.

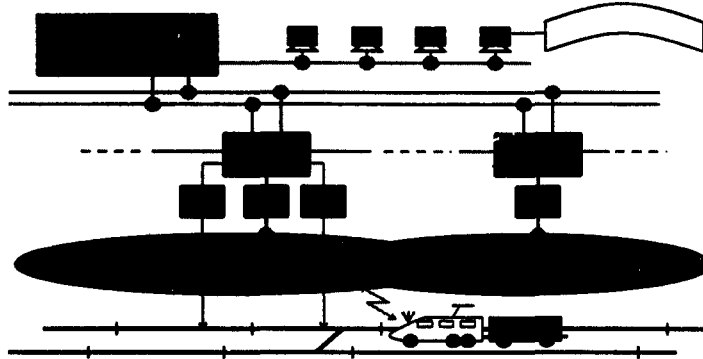


그림.2 개발모델의 신호제어시스템 구성안

4. 결론

무선통신을 바탕으로 무인자동운전이 가능한 신호제어시스템을 개발하기 위해서 필요한 신호시스템의 구성 및 기능사양을 작성하였다. 신호제어시스템은 ATP, ATO, ATS의 하부시스템으로 구성되며 각 하부시스템의 기능사양을 작성함에 있어 사업의 규모와 표준화를 고려하여 CBTC시스템을 중심으로 작성되었다.

그러나 CBTC시스템은 1명의 승무원이 탑승하는 자동운전을 목적으로 하고 있어 무인자동운전을 만족하고 있지 않다. 또한 무인자동운전을 수행하기 위해서는 차상에 탑재되는 ATP와 ATO는 열차에 탑재되는 종합제어장치(TCMS)와 기능분담 및 인터페이스정의가 되지 않았다.

따라서 다음단계에서는 무인자동운전을 하기 위한 차상신호제어장치, TCMS, 추진제어장치, 제동제어장치 및 출입문 등에 대한 위험도 분석, 시스템이증화설계 및 통신성능을 정의하여 신호제어시스템의 기능분담범위와 인터페이스를 정의한다.

참고문헌

1. "Innovative Train Control System by Radio" Y.Hasegawa, QR of RTRI, vol.30, No.4 Nov. 1989, pp181-189
2. "Train Location and Control using Spread Spectrum Radio Communications" United States Patent No.5420883, May 30, 1995 pp 1-2
3. 새로운 열차제어 시스템 佐佐木徹明 J.IEE Japan, Vol. 110, No.2 pp83-85
4. "A communication-based system for safe and economic automatic train control" C.J. Gibson Computers in Railways V Vol.2 , 1996, pp237-245
5. "Automated People Mover Standards-Part1", ASCE21-96
6. "Communication-Based Train Control Performance and Functional Requirements" IEEE P1474.1/D5.0, Nov 1998