

무선통신을 활용한 열차 통과사고 예방에 관한 연구

(A Study on Prevention of Pass-through Accident by Utilization of Wireless Communication)

장동완* · 전태현**

(DongWan Jang · Teahyun Jeon)

Abstract

Recently, various types of trains are being operated in the same railroad whose designated stop stations are not the same. In other words, each train does not stop at every station. This could cause the pass-through accidents in which a train passes a station where it is supposed to stop. Although the number of train accidents is on the decrease, this type of error is still an important problem to be resolved. It is true that the burdens of train drivers are growing because the number of high speed trains and non-stop stations is increasing in the current railway system. However, another major reason for this accident is that there is no prevention system for these errors in the current train control system although it is being constantly improved. The purpose of this study is to reinforce the train stop system with wireless communication equipment in order to decrease this type of accident and to maximize the safety of railway transportation.

Key Words : Wireless Communication, Railway Signal, Train Control System

1. 서 론

철도신호보안장치는 철도가 시작된 이래 현재 비약적인 발전을 거듭하고 있다. 1990년대 초까지만 해도 주로 유선을 이용한 통신방식이 전반적인 기술 추세였지만, 정보통신기술의 발달에 힘입어 1990년대 중반부터 무선을 이용한 다양한 열차제어기술이 등장하기 시작하여 근래에는 경량전철, 중량전철, 고속전철 등 철도분야에서 무선을 이용한 열차제어 기술은 이제 새삼스러운 현상이 아니다[1]. 하지만 열차제어기술의

* 주저자 : 서울과학기술대학교 NID융합기술대학원 박사과정

** 교신저자 : 서울과학기술대학교 전기정보공학과

* Main author : Seoul National University of Science and Technology

** Corresponding author : Seoul National University of Science and Technology

Tel : 02-970-6409, Fax : 02-978-2754

E-mail : thjeon@seoultech.ac.kr

접수일자 : 2014년 9월 26일

1차심사 : 2014년 10월 22일

심사완료 : 2014년 11월 27일

발전에도 불구하고 KTX, ITX-청춘, 광역직통열차 등 속도향상에 따른 통과사고가 증가하고 있다. 2012년에 영등포에서 발생한 KTX열차 정차위치 어긋에 따른 퇴행처럼 모든 사고의 경우 인적오류로 발생하는 경우가 많다. 이는 기계식, 전기식의 신호보안장치로 운영될 때 보다 전자식 등 신호보안장치가 발전함에 따라 오히려 인적오류로 인한 사고가 증가하고 있다.

문제는 인적오류로 인한 사고를 예방할 수 있는 보완장치가 없다는 것이다. 신호보안장치는 기존 설비를 보완하기 위한 목적으로 발전하였다. 고속화되고 무정차 역이 많아짐에 따라 인적능력에 따라 제어되는 역할이 더욱 커질 수 밖에 없는 것이다.

최근 사고 현황을 보면 그 결과를 알 수 있다. 철도 사고 유형별로 분석해 보면, 인적오류로 인한 관리장애가 급증하는 것을 볼 수 있다. 또한 철도신호보안장치는 지상설비가 없는 무선통신으로 제어되는 방향으로 진행되고 있다. 철도무선을 이용한 신호제어시스템은 유럽의 ETCS(European Train Control System), 미국의 CBTC(Communication Based Train Control) 및 일본의 CARAT(Computer And Radio Aided Train control system) 등이 대표적인 경우이다. 국내의 경우도 ATP, CBTC 등 무선통신을 활용한 다양한 신호제어방식이 도입되고 있다[2]. 현재 대불선에는 LTE-R를 이용한 무선통신 방식으로 열차 무선전화기, 열차제어 등 다양한 활용을 추진하고 있다.

앞으로 철도는 더욱 고속화되고 정차없이 직통으로 움직이게 될 것이다. 이에 본 논문에서는 기관사의 실수를 예방하기 위하여 무선통신방식으로 신호보안장치를 제어하는 방법을 제안하고자 한다.

2. 기존 역내 열차제어방식

2.1 개요

역내의 열차제어는 연동장치라는 시스템으로 제어된다. 연동장치는 정차장 구내에 열차의 운행과 차량의 입환을 안전하고 신속하게 하기 위하여 신호기, 선로전환기 궤도회로 등의 장치를 기계적, 전기적 또는 소프트웨어에 의한 로직으로 상호 연쇄하여 동작하도

록 한 장치이다.

연동장치에 모든 정보가 수신되어 열차가 역내에 진입할 수 있도록 모든 조건을 맞춰준다. 열차는 장내신호기 현시에 의해 역 안으로 진입하며, 출발신호기에 의해 역 밖으로 진출한다. 통과열차의 경우도 장내 신호기와 출발신호기를 통해 진출·입을 하게 된다. 열차와의 충돌과 추돌을 방지하기 위한 안전시스템으로 어느 일정구간 내에서 하나의 열차만 운행하는 방식을 폐색방식이라 하며 이것은 동일 선로상에서 연속적으로 열차가 주행할 때 열차간의 안전을 확보하기 위한 방법으로 오래전부터 사용되어 왔다. 어느 노선의 어느 구간에서 달리는 열차를 1편성만 허용한다고 하는 운영시스템을 폐색방식이라고 하고 나누어진 이 구간을 폐색구간이라 한다[2]. 이에 따라 열차운행제어를 위하여 모든 역과 역 사이에는 폐색구간을 설정하고 폐색장치를 설치하여 운용하고 있다. 정거장의 신호취급의 경우 관제나 로컬취급을 통해 사람이 직접 제어를 하며, 폐색신호기의 경우 궤도회로를 활용한 자동제어방식으로 운용되고 있다.

현재는 Doppler, RFID tag, Transponder, GPS 등의 원리를 이용한 다양한 시스템들을 응용한 열차 위치 및 속도를 제어하는 열차제어시스템들이 개발되어 채택되고 있다[3].

2.2 문제점

최근 열차의 수송효율 향상을 위하여 열차가 고속화되고 역을 통과하여 운행하는 급행열차 증가 있으나, 이에 따른 철도신호설비의 설치에 열차의 속도 향상만큼 빠르게 설치되지는 못한다. 현재 ATC, ATP 등 신호보안장치가 적용되고 있지만 전 구간에 설치되지 못하고 부분적으로 설치되고 있는 실정이다. 이에 따라 열차정차의 경우 기관사의 판단에 의해 이루어지고 있어 혹 기관사가 실수하는 순간 통과사고, 정차위치 어긋 등의 사고가 발생하는 것이다. 이런 사고로 인한 철도의 이미지 타격 및 여파는 생각보다 크게 작용하고 있다. 경춘선에 ITX-청춘 열차가 운행되면서 경춘선의 통과하는 역이 많이 발생하고 있다. 열차

번호에 따라 정차하는 역이 바뀌고 있으며, 정거장이 아닌 폐색구간에 정차하는 경우도 많이 있다, 경춘선의 경우 고객수요가 많은 곳에 정차하다 보니, 옥수역, 남춘천역 등 연동장치가 없는 폐색구간에도 열차를 정차하고 있다. 출발신호기의 경우 정지가 정위이나 폐색신호기의 경우 진행이 정위이기 때문에 진행을 현시하는 경우가 많아 기관사의 인적오류로 인한 통과사고 발생 가능성이 더욱 높아지고 있다. 또한 정거장의 경우 운전취급이 관제 및 로컬로 이루어지고 있다. 경춘선을 예를 들면 선로용량이 많은 평내호평역 및 춘천역의 경우 로컬운전취급을 하며, 나머지 정거장의 경우 관제에서 취급을 시행하고 있다. 철도교통관제에서는 정차역의 출발신호기를 정지로 하여 열차통과사고를 시스템적으로 예방하고 있다. 그러나 문제는 오토방식으로 취급하여 사전 열차운행시간표에 의해 자동으로 일정시간동안 출발신호기를 정지로 현시하나 열차가 지연인 경우 취급설정시간을 관제사가 변경하여야 한다. 만일 변경하지 않을 경우 출발신호기가 진행을 현시할 수 있으며, 그 신호를 보고 기관사가 통과할 수 있는 가능성이 있다. 즉 폐색구간의 역에 정차하던, 정거장에 정차하던 열차통과사고가 발생할 가능성이 있는 것이다. 이에 따라 기존 철도신호설비는 승강장의 선로에 하나의 폐색구간을 구성하기 때문에 승강장 진입 전에 지상차로부터 얻은 진입속도(60Km/h)가 정차지점까지 계속 현시되어 기관사가 실수로 승강장을 지나쳐 운전하는 경우가 종종 발생하였다. 이를 해결하기 위하여 ATS 및 ATC 시스템에서 열차 운행 시 하나의 승강장 궤도회로에 대해 2 이상의 궤도회로를 형성하여 2 이상의 서로 다른 운전정보를 순차적으로 전송함으로써 열차의 과주를 방지하는 시스템을 제시하였고[4], RFID를 활용한 궤도회로 방식을 연구하였지만, 열차는 속도를 가지는 이동체이고 속도가 비선형적이며, 고주파장애, 유도장애와 같은 EMI 간섭과 차량하부의 금속면으로 인한 난반사간섭과 다양한 무선 시스템으로 인한 주파수 간섭 등 전기적인 요인과 환경적인 온도, 습도, 고도 및 기후 변화요인과 물과 기름과 같은 여러 산업현장요인들이 혼합되어 RFID 시스템의 성능을 저하시킨다[5].

3. 무선통신을 활용한 통과사고 예방

현재 근거리 무선통신방식으로는 블루투스, Ultra Broadband(UWB), 그리고 무선 이더넷 등이 다양한 통신시스템이 우리 사회 전반적으로 사용되고 있다. 본 논문에서는 IEEE 802.15.4 기술표준을 적용하고자 한다. 현재 ITX-청춘 열차 및 급행열차의 경우 정차역과 통과역이 구분되어 있으며, 열차에 따라 정차하는 역이 다르다. 이에 열차제어에 무선통신을 사용하여 통과사고 예방이 가능한지 검증하고자 한다. 정거장의 경우 연동장치에 의해 열차가 제어된다. 열차에 송신기를 부착하고, 장내신호기에 수신기를 부착하여 열차가 장내신호기 부근을 오면 송신기와 수신기의 통신으로 인하여 출발신호기가 진행일 경우 정지로 바꾼다. 정지인 경우에는 그대로 정지를 현시한다. 동작 프로세스를 보면 그림 1과 같다.



그림 1. 정거장 시스템 블록도
Fig. 1. Block diagram for station system

열차 송수신의 조건을 통해 정거장내 연동장치 출발신호기 조건을 정지로 변경하고 타이머 동작에 따라 열차가 정거장에 도착할 시간동안 출발신호기를 취급할 수 없도록 하며, 정거장에 안전하게 도착했을 때 출발신호기를 재취급 열차를 운행할 수 있도록 설계되었다. 폐색구간의 경우 폐색신호기가 항상 진행을 현시하고 있어 열차통과사고 발생우려가 더욱 크다. 폐색구간의 동작 프로세스를 보면 그림 2와 같다.

폐색장치 내 궤도반응 계전기를 정차 열차의 송수신 장치의 조건으로 무여자시키고 타이머에 의해 일정시간동안 정지신호를 현시시켜 안전하게 열차를 정차시킨다. 혹, 기관사의 실념으로 통과하게 되더라도 정지조건에 의해 ATS장치가 동작하게 된다.

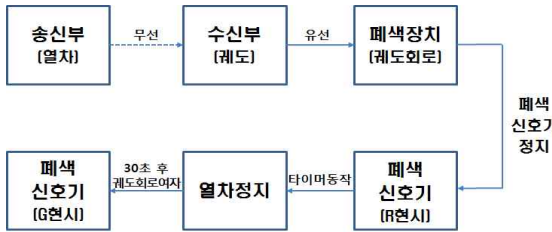


그림 2. 폐색시스템 블록도
Fig. 2. Block diagram for block system

열차에 송신기를 설치하고 궤도에 수신기를 설치하며 타이머에 의해 신호기를 일정시간 동안 정지동작을 시킴으로써 열차의 통과사고를 예방할 수 있도록 고안된 제안은 그림 3과 같다.

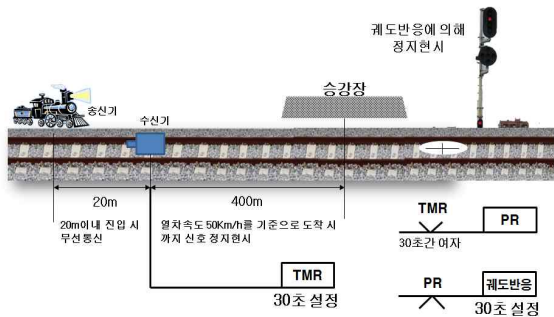


그림 3. 전체 시스템 동작 계통도
Fig. 3. Overview of system operation

4. 시스템 구축 및 실험

정거장 통과사고 예방을 위하여 철도신호 환경에 사용할 수 있도록 직접 제작하였다. 전원은 일반적인 철도신호에서 사용하는 12V/24V전원을 사용하였다. 그리고 일반적으로 많이 사용하는 IEEE 802.15.4 기술 표준을 적용하였다. 송신기는 100ms단위로 지속적인 송신을 하며 수신기의 경우 송신기의 주파수를 수신하면 5초가 12V/24V가 출력되도록 하였으며, 출력 전압으로 인하여 신호보안장치 제어를 하도록 고안하였다. 송수신기의 사양은 표 1과 같다.

송신기, 수신기 모두 송수신의 기능을 가지고 있으며, 실질적인 송신기능은 열차에 부착하고, 수신기의 기능을 수행하는 것은 선로변에 부착하였다. 열차에

부착된 송신기가 정차할 역에 근접하면 수신기에서 수신한 데이터를 통해 신호제어장치를 제어하고 열차로 정보를 송신하여 열차에서 다시 수신하여 정상적인 동작과정을 확인할 수 있도록 고안하였다.

표 1. 시스템 사양

Table 1. System specification

입력전압	12V/24V
변조방식	DSSS
전송주기	100ms
전송속도	250kbps

철도신호보안장치는 무엇보다 신뢰성이 중요하므로 송수신기의 신뢰성에 대한 실험을 진행하였다. 우선 무선송수신장치의 일반 자동차를 통해 속도별 데이터 수신현황을 측정하였다. 차량의 바퀴에 송신기를 부착하고 지면에 수신기를 부착하여 수신여부를 측정하였다. Zigbee CH은 26 (2480MHz)로 설정하여 PER측정은 총 3회 측정하였고, 수신된 Packet 개수만을 정리하였다. 송신한 1000개의 데이터 패킷을 기준으로 정지부터 20Km/h 간격으로 100Km/h까지 증가시키며 속도별 데이터 수신결과를 보면 100km/h 속도일 때 996개가 수신되는 등 충분히 수신할 수 있음이 입증되었다. 수도권에 운행되는 전동차의 경우 대부분의 최고속도가 80km/h임으로 철도용으로도 사용이 가능하다. 또한 거리별 측정현황도 측정하였다. 속도는 80km/h를 기준으로 거리별로 감소율을 측정한 결과는 표 2와 같다.

표 2. 거리에 따른 상대수신 신호감도

Table 2. Relative received signal sensitivity for varying distance

거리	5m	10m	15m	20m
감소율	-15dB	-33dB	-55dB	-68dB

송수신기의 수신감도가 -80db 이상일 때는 정상적인 동작을 하는 것을 기준으로 하였을 때 20m까지는 충분히 수신할 수 있는 거리로 증명하였다. 20m정도에서 수신된 수신기에서 제어전원을 통해 충분히 신

호기 제어가 가능한 것이다.

자동차 실험을 통해 실질적으로 철도에서 사용해도 신뢰성면에서 인정이 된 만큼 실제 이문차량기지에서 철도차량 출입문에 송신기를 부착하고 전철주에 수신기를 부착하여 그림 4와 같이 실험을 통해 정상적인 동작이 이루어짐을 확인하였다.

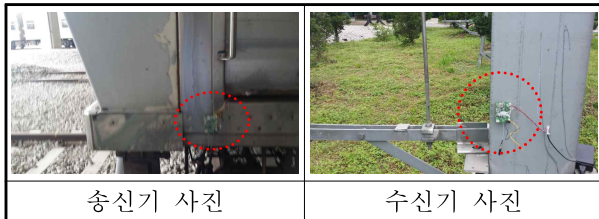


그림 4. 신호 전송을 위한 송신기 및 수신기
Fig. 4. Transmitter and receiver for signal transmission

송신기는 기관사출입문 밖에 설치하고 수신기는 전철주(지면에서 1.2m 높이)에 설치하여 열차이동 시 무선통신을 활용하여 정차역인 경우 일정시간 동안 신호기를 정지로 바꾸는 정상적인 신호기 제어가 됨을 증명되었다.

5. 결 론

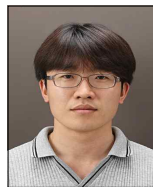
본 논문에서는 무선통신을 활용하여 신호기를 제어하고 그 조건으로 열차통과사고를 예방할 수 있는 설비를 제작하여 실험을 통해 증명하였다. 정차하여야 하는 열차에 송신기를 부착하고 열차가 정차역에 접근하면 무선송수신기의 통신을 이용하여 신호기를 정지로 변경하여 기관사가 정지신호를 보고 정차하거나 혹시 지나쳐도 ATS장치로 정차하도록 하여 통과사고가 예방되는 것이다. 기존에 사용하지 않은 방법으로 무선통신을 활용한 열차제어로 안전확보를 할 수 있다는 것이 증명된 만큼 앞으로도 더욱 많은 연구가 진행될 필요하다. 송수신 기능을 모두 활용하여 열차가 접근하면 궤도에 부착한 기기에서 수신하고 수신을 잘 이루어짐을 확인하기 위해 재송신하고 열차에서 다시 수신하여 기관사에게 알려줌으로써 안전을 보다 강화될 수 있다.

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Chang-Long Li, Ho-Hung Jung, Sea-Hwa Oh, Hak-Sun Yun, Yun-Seok Ko, Key-Seo Lee, A Study on Hybrid Track Circuit in Railway Signalling System, KIECS Conference, Vol.7, No.2, pp. 211~214, 2011.
- [2] Sang Oh Lee, Su-Jung Park, Comparative Study of Regulation Block System Among Operating Companies According to Signaling Railway System, The Korean Society For Railway Conference, Vol.2012, No.10, pp. 202~216, 2012.
- [3] Hak-Sun Yun, Key-seo Lee, Dong-In Yang, Sea-Hwa Oh, Ho-Hung Jung, Sung-Kyun Ryou, A Study on the Development of Train Control System Data Transmission Technology Using a Wireless Mesh, The Journal of KIECS, Vol.7, No.1, pp. 149~156, 2012.
- [4] Young-Hwan Ko, Jong-Ho Lee, Kyung-Kyu Park, Gu-Sik Oh, Pyo Kim, A study on the Application of Signaling System for Preventing over Stop Point of Train in the Platform, The Korean Society For Railway Conference, Vol.2012, No.10, pp. 509~514, 2012.
- [5] Ho-Hung Jung, Yang-Og Ko, Chang-Long Li, Key-Seo Lee, Study on Precise Positioning Using Hybrid Track Circuit System in Metro, The journal of KIECS, Vol.8, No.3, pp. 471~477, 2013.

◇ 저자소개 ◇



장동원(張東完)

2007년 서울산업대학교 전자정보공학과 졸업. 2010년 서울산업대학교 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년~현재 서울과학기술대학교 NID융합기술대학원 박사과정. 2001년~현재 한국철도공사 수도권동부분부 근무.



전태현(田太賢)

1989년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1993년 Minnesota 대학교 대학원 졸업(석사). 1997년 Minnesota 대학교 대학원 졸업(박사). 1997년 Motorola 연구원. 1998년 Texas Instruments 연구원. 2002년 한국전자통신연구원(ETRI) 선임 연구원. 2005년 3월~현재 서울과학기술대학교 전기정보공학과 교수.