

철도 보안 시스템의 최적 구축 방안에 관한 연구

서정욱\*<sup>1)</sup>, 김종환<sup>1)</sup>, 김봉택<sup>1)</sup>, 조봉관<sup>2)</sup>, 김종기<sup>2)</sup>  
<sup>1)</sup> 샬롬엔지니어링(주) <sup>2)</sup> 한국철도기술연구원

A Study on optimum establishing plan of railroad signalling system

Jung W. Seo\*<sup>1)</sup>, Jung-Hwan Kim<sup>1)</sup>, Bong-Taek, Kim<sup>1)</sup>, Bong-Kwan<sup>2)</sup>, Cho, Jong-Ki, Kim<sup>2)</sup>  
<sup>1)</sup>Shalom Engineering Co., Ltd. <sup>2)</sup>Korea Railroad Research Institute

**Abstract** - 열차의 신호 시스템은 열차의 안전운행에 있어 매우 중요한 기술로, 고도의 기술적 능력과 경험이 요구되는 분야이다. 그 동안 당사에서 개발한 ATS(Automatic Train Stop)를 제외한 대부분의 철도 제어 신호 시스템은 국내에서는 개발이 잘 안되었고, 설사 개발되었다 해도 실제 운행 실적이 없다 하여, 철도나 지하철 및 경량 전철에 적용하는 데에 어려움이 많았다. 이에 본 논문에서는 당사의 기술과 외국의 협력업체의 기술을 결합하여 철도 신호 보안 시스템의 최적 구축 방안에 대해 연구하였다.

1. 서 론

일반적으로 철도 신호 제어 시스템의 기본적인 목적은 다른 열차와 충돌하지 않는 것과 열차가 안전하게 운행하는 것은 기본이며, 나아가 열차 운행 효율적으로 하는 것에 있다.

그 동안 수많은 나라에서 다양한 열차 신호 제어 시스템을 개발하여 왔다. 그러나 같은 기능을 갖는 시스템이라 할지라도 각 나라와 제작회사에 따라 시스템들이 호환이 안 되는 문제점이 있다[1]. 또 다른 문제점으로 기존의 열차 신호 시스템(Automatic Train Control : ATC)은 궤도 회로에 의해 열차 위치를 검지 및 속도 신호를 차상으로 전달하고 있으며, 고정폐색 방식을 사용하여 왔다.

이에 각국의 신호 보안 시스템 제작 회사들은 위에서 언급한 문제점들을 개선하기 위해 수많은 노력을 기울이고 있는 실정이다[2].

철도 보안 시스템에는 열차 신호 제어 장치, 연동장치, 전철기, 폐색 장치, 건널목 차단기 등 많은 장치가 있으며[3], 본 논문에서는 열차 신호 제어 장치 중 국내 실정에 적합한 CBTC(Communications-Based Train Control) 시스템에 관하여 연구하였다.

2. 본 론

2.1 기존의 열차 신호 제어 시스템

국내에서 지하철을 제외한 모든 국철 구간은 ATS 가 설치 되어 있으며, 해외의 경우는 90 % 이상이 ATC 이다.

그림 2-1은 기존의 열차 제어 시스템에 관한 구성도이다. 궤도회로나 지상자에 의존하여 열차 운행을 한다. 이 시스템은 설계 및 분석이 용이한 장점이 있지만, 운행 효율성이 낮으며, 유지 보수 비용이 비싸다는 단점이 있다. 또, 각 시스템 간의 호환이 안되어 시스템 교체시 매우 어려운 단점이 있다.

2.2 CBTC

향후 열차 신호 제어 시스템은 지금보다 더 높은

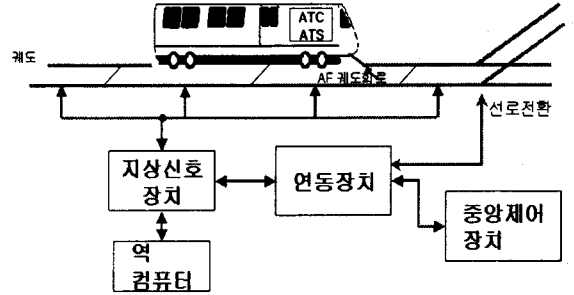


그림 2-1. 기존의 열차 제어 시스템 구성도

traffic density, 다양한 종류의 열차를 움직일 수 있는 기능, 저렴한 설치비 및 유지보수비, 더 안전한 시스템, 및 열차의 운휴 없이 기존의 시스템에 쉽게 upgrade할 수 있는 시스템이라야 한다. 이러한 문제는 열차 신호 제어 시스템에 무선 통신(wireless communication)을 적용함으로써 해결할 수 있으며, 세계적으로 약 6,000 mile에 걸쳐 운행되거나 시험중에 있다[2].

2.2.1 개요

CBTC는 연속적인 자동 열차 제어 장치로서 매우 정밀한 열차 위치를 검지하고, 궤도회로에 의존하지 않으며, 열차와 지상 장치간의 쌍방향 데이터 통신 및, vital 기능을 갖는 시스템을 말한다[5]. 이 시스템의 대략적인 구성도를 그림 2-2에 나타내었다.

북미에서는 지하철에서는 CBTC, 국철에서는 PTC(Positive Train Control)이라고 사용하고, Europe에서는 ETCS(European Train Control System), TBTC(Transmissions-Based Train Control)등 다양한 이름으로 사용되지만, 국제 conference에서는 CBTC로 사용하는 추세이다.

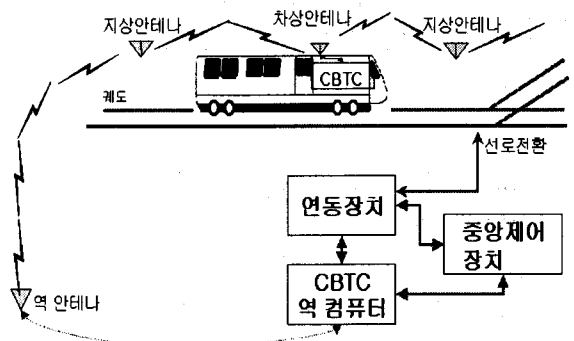


그림 2-2. CBTC 시스템 구성도

## 2.2.2 특징

CBTC 시스템은 다음의 특징들이 있다.

- 이동 폐쇄 시스템(Moving Block System)의 구축
- 지상장치와 열차간의 무선 LAN 사용
- 궤도회로가 필요없다.
- 무선 열차 추적 시스템(혹은 tachometer, balise 혹은 inductive loop 사용)
- 기존 열차 신호 시스템과 쉽게 혼용 가능.
- 높은 신뢰성 및 안전성

## 2.2.3 기능

CBTC의 기능에는 여러 가지가 있지만 공통적으로 다음의 기능들이 포함된다.

- 현재 열차의 위치와 속도에 따라서 열차의 위치 감지
- 열차가 제한된 속도 이상으로 초과하지 않게 속도를 계산하며, 움직임을 감시
- 다른 열차들, Local Control System 및 Centralized Control System 등과 데이터(열차의 위치, 속도 및 제동 특성 등) 통신
- 무인 운전을 지원하며, 만일 운전자가 지시에 따르지 않을 경우 열차 스스로 올바르게 운전할 수 있는 기능

## 2.2.4 열차 위치 감지 기술

일반적으로 CBTC 시스템에서 열차 위치를 결정하는 방법으로는 balise, inductive loop, GPS(Global Positioning System), 그리고 radio ranging 이 있다. 이중 balise와 inductive loop는 onboard sensor 를 같이 사용하여 열차 위치를 감지하게 된다.

### 1) Balise

고유 위치정보를 갖고 있는 balise를 열차가 지나갈 때, 열차의 위치를 알 수 있다. 이것은 tachometer 등에서 얻은 위치 데이터를 보정하는 역할(New York City Transit 의 경우 300-1,000 feet 사이에 설치. tag 혹은 transponder라고도 함)을 한다.

짧은 거리에서 열차와 지상장치간에 여러 데이터를 전송할 수 있는 장점이 있지만, track에 설치되기 때문에 파손의 위험이 있는 단점이 있다.

### 2) Inductive loop

이 시스템에서는 wire를 loop로 설치한 후 열차에 설치된 안테나와 통신을 하며, 위치 정보를 얻을 수 있다. Balise와 마찬가지로 열차가 loop를 지나갈 때, 열차의 위치를 감지할 수 있게된다. Balise 보다 쉽게 열차 위치를 감지할 수 있는 장점이 있지만, 이 또한 track에 설치되어 있다는 단점이 있다.

### 3) Global Positioning System(GPS)

열차와 위성간의 주고받는 시간을 비교해서, 열차의 위치를 계산하며 적어도 3개 이상의 위성으로부터 신호를 받아야만 한다.

보통의 시스템은 정확도가 약 100m 이지만, Differential GPS(DGPS)는 정확도가 약 10m 이다. 이 시스템은 장비를 track이 아닌 차상에 설치하기 때문에 위험 요소가 줄어들며, 유지 보수 및 hardware 교체가 용이한 장점이 있는 반면, 지하철이나 열차의 터널에서 열차 위치 파악의 한계가 존재한다.

### 4) Radio Ranging

San Francisco의 Bay Area Rapid

Transit(BART)에서 Advanced Automatic Train Control(AATC) 시스템으로 이 기술을 사용하고 있으며, 이 기술은 미국의 군사용으로 개발된 Enhanced Position Location Reporting System(EPLRS)을 철도 산업에 적용시킨 것이다.

열차와 다중의 지상 무선 장치 사이에 데이터 전송 시간으로서 열차의 위치를 결정하게 되며, 0.5 초마다 각각의 열차의 위치, 속도 및 방향을 측정한다.

## 2.2.5 열차와 지상간 통신

기존의 열차 신호 시스템과 CBTC의 중요한 다른 점 중 하나는 열차와 지상간에 쌍방향 통신을 하는 것이다 [5]. 열차 위치 감지 방법에 준하여 통신 방법도 분류할 수 있다.

### 1) Balise

차상안테나를 통해 위치와 속도등의 정보를 받아서, 차상에서 신호를 표시하거나 필요시 brake 명령을 내린다. 일반적으로 data rate는 565 Kbits/second 이고, 만일 열차가 고속(500km/h)일 경우 메시지 전송율은 1,023 bit/second 이다. 유럽의 경우 지금 Balise를 사용하고 있는 대부분의 main line은 ETCS Level 1 을 사용하고 있으며 점차 Leve 2, 3로 발전되고 있다. 그러나 간헐적으로 열차와 통신하는 단점이 있다.

### 2) Inductive loop

이 시스템으로 moving block을 구현(Setrac 등)하고, 실제 응용되고 있다. 그러나 상대적으로 낮은 data rate(1,200 bits/second)를 갖고 있어, 오래 지속될 기술로 보이지 않는다[2].

### 3) Global Positioning System(GPS)

European Telecommunications Standards Institute(ETSI)에서는 Global System for Mobile Communications(GSM)이라는 디지털 위성 통신 규격을 만들었다. 이중 GSM-R은 철도에 적용되는 규격이며 주파수 폭이 900 MHz를 사용한다. 현재 data rate는 9,600 bits/second 이다.

### 4) Radio Ranging

Spread spectrum 방식을 사용하여 간섭 신호 및 잡음에 강하다. 보통의 무선 전송 방식 보다 더 넓은 bandwidth를 갖고 있으며, 일반적인 data rate는 약 2 Mbits/second 이다. 주파수 대역은 900 MHz 혹은 2.4 GHz 대역을 쓴다.

## 2.3 지역별 CBTC 적용 사례

2000년 초반까지 상용화 되었거나 시험중인 CBTC 시스템은 전세계적으로 1,185 mile에 걸쳐 있으며, 북미 지역 1,109 mile 유럽 61 mile 그리고 아시아에 16 mile이 설치되어 있다[2].

### 2.3.1 북미

현재 많은 종류의 CBTC 시스템이 있으며, 대부분 기존의 시스템과 같이 사용하고 있다. 이것은 열차의 운휴 없이 시스템을 upgrade하기에 CBTC 시스템이 적합하기 때문이다.

Amtrak, Bay Area Rapid Transit, CSX Transportation, JFK Circulator, New York City Transit Authority 그리고 San Francisco Municipal Railway 등에 설치된 모든 CBTC 시스템은 선로 용량 향상, 속도 개선 및 안전성 증가 등을 위

하여 개발되었다.

### 2.3.2 유럽

유럽에서는 주로 CBTC 시스템의 연구가 European Rail Traffic Management System(ERTMS) 프로그램을 만들었으며, inter-city에 초점을 맞춰 진행되고 있다(Ankara Rapid Transit CBTC, Danish-Swedish Combined ATC System, Deutsche Bahn-FFB Pilot, Docklands Light Railway CBTC, SNCF ETCS Pilot 등). 이 프로그램의 주된 목적은 시스템의 교체 없이 고속으로 열차가 여러 나라에 안전하게 운행하는 것이다. 따라서, 여기에는 지하철이나 경량전철에 관한 내용엔 초점이 맞추어 있지 않다.

### 2.3.3 아시아

북미나 유럽에 비해서 아시아에는 많은 CBTC 시스템이 있지 않다. ETCS level 2 시스템을 적용하고 있는 India Railway, inductive loop를 적용한 Hong Kong의 west rail line, 말레이시아 Kuala Lumpur LRT system, 그리고 balise를 사용한 싱가포르 north east line이 있으며, 현재 국내에서는 경량전철 시스템에 CBTC 기술을 사용하기 위해 기술개발 중에 있다.

## 3. 결 론

향후 열차 신호 분야에서 개발될 시스템(CBTC)은 당 연히 ATP, ATO 및 ATS 기능이 기본적으로 있어야 하며, 여기에 다양한 기능들이 첨부되어야 한다. 여기에 대한 대안으로 CBTC 시스템이 제안될 수 있으며 다음의 공통적인 특징이 존재한다.

이동 폐색 시스템을 구축하여 높은 선로 용량을 갖는다. 열차와 지상 장치간의 무선 통신을 함으로 궤도 회로가 필요치 않으며, 설치비 및 유지보수비를 감소시킨다. 기존의 시스템과 쉽게 혼용이 가능하고, 높은 신뢰성 및 안전성을 갖는다. 기존의 시스템과 CBTC 시스템을 표 3-1. 에 정리하였다.

CBTC 시스템은 mainline에는 balise를 이용한 방법이 활발히 연구되리라 생각되며, 지하철 및 경량전철 분야에서는 radio ranging 방법이 활발히 진행되리라 생각된다. Inductive loop의 경우 balise보다 위치 검지 방법이 더 쉽지만, data rate가 낮은 단점이 있으며, GPS의 경우는 터널 등에서 열차 위치 파악이 곤란

표 3-1. 기존 열차 신호 제어 시스템과 CBTC 시스템 비교

	기존 열차 신호 제어 시스템(ATC)	CBTC 시스템
구성	열차 위치 검지 : 궤도회로 신호 전송 : 궤도회로	열차 위치 검지 : radio ranging, balise 등 신호 전송 : 무선 통신
특징	궤도 회로 기초 안전성이 증명된 기술 소량의 정보 전송 날씨등 외부 조건에 취약 설치 및 유지보수의 어려움 고정폐색	궤도회로 필요 없음 신뢰성 및 안전성 향상 다량의 정보 전송 외부조건에 영향이 적음(radio ranging) 설치 및 유지보수 용이 이동 폐색 다른 시스템과 혼용으로 사용 가능 무선 통신의 질이 보장되어야 함
설치비(건 설비포함)	1 block 당 약 5,000 만원(회사마다 틀림)	기존 시스템의 1/2 비용. 케이블이 필요 없으며, 상하행선에 한 곳만 설치하면 된다(radio ranging).

한 단점이 있어, 우리나라에 적용하기에는 좀 더 많은 연구가 필요하리라 사료된다.

### (참 고 문 헌)

- [1] "ETCS System Requirements Specification(SRS)", UIC, Volume 1, 1996.
- [2] "Communications-Based Train Control", Trade Press Publishing, 2000.
- [3] H. Yoshimura, "Railway Signal", JASI, 3rd Edition, 1977.
- [4] "Advanced Automatic Train Control Project Material", Harmon, 1999.
- [5] "IEEE P1474.1/D8.0 Draft Standard for Communications-Based Train Control(CBTC) Performance and Functional Requirements", IEEE, 1999.