

Smart 열차진로제어시스템 설계

윤용기, 황종규, 이재호
한국철도기술연구원

A Design of Smart Train Route Control System

Yong-Ki Yoon, Jong-Gyu Hwang, Jae-Ho Lee
Korea Railroad Research Institute

Abstract – As a result of the advancement of radio communications technologies, some investigations are in progress to apply this technologies to a train control system. Most of these investigations are focused on the train safety distance control between a preceding train and a succeeding train, an interlocking system uses train circuits to control the railway path. To make the best use of advantages and improve the safety of radio communications based train control systems, the interlocking system must use radio communications technologies. And the safety level of this system must be equal to track circuit based interlocking systems.

This paper describes the train location detection method, the system configuration and the system safety of the new system.

1. 서 론

철도신호시스템은 열차의 안전운행과 수송능력을 높이기 위한 종합적인 철도운영체계로서, 열차-열차간 안전간격을 확보하는 열차간격제어, 정거장 구내에서의 열차입환을 수행하는 열차진로제어 및 통신장치로 구성된다. 현재 상용화된 철도신호시스템은 궤도회로를 이용하여 열차간격제어, 열차진로제어 및 지상-차상 정보 송·수신 기능을 수행하고 있다. 국내·외에서는 궤도회로를 사용하지 않는 무선통신을 적용한 CBTC(Communications Based Train Control)개발을 활발히 진행하고 있으나 열차간격제어에 집중하고 있다. 그러나 CBTC의 효율성을 높이기 위해서는 열차진로제어기술을 개발하는 것이 필요하다.

궤도회로는 환경요인(강우, 폭설, 선로부식)에 의한 단락감도 변화 및 유지보수(레일절선) 등의 문제점을 갖고 있으나 현재까지 충분한 신뢰성을 확보하고 있다.

CBTC에서 궤도회로를 사용하지 않고 열차진로제어기능을 수행하기 위해서는 궤도회로기반의 열차진로제어장치와 동등이상의 신뢰성과 안전성을 충분히 확보하여야 한다. 열차진로제어시스템(장치)이 신뢰성과 안전성을 확보하기 위해서는 안전성 해석과정을 거쳐 열차위치검지방법, 시스템(장치)구성 및 알고리즘작성 등을 수행하여야 한다.

2. Smart 열차진로제어시스템 설계

2.1 Smart 열차진로제어시스템의 특징

2.1.1 열차위치검지

열차위치를 검지하는 방법은 궤도회로, 트랜스폰더, 퀼검지, 차축회전, 도플러, GPS, AOA(Angle of arrival),

TOA(Time of arrival) 등 다양한 방식이 있다. 열차위치정보를 이용한 역-역간 속도제어 및 역정밀정차제어에 적용하기 위해서 한 가지 검지방법만을 이용하는 것은 적절한 방법이 아니다.

Smart 열차진로제어를 수행하기 위해서는 열차위치정보, 열차속도정보, 열차진행방향정보, 열차진로제어구간 진입/진출정보 등을 필요로 한다. Smart 열차진로제어시스템에서 고려한 열차위치검지방법은 차축회전(타코미터), 트랜스폰더 및 도플러센서를 융합하였는데, 경제성·신뢰성측면에서 우수성을 갖고 있다. 타코미터를 주센서로 하고 트랜스폰더와 도플러센서를 보조센서로 활용하는 방법으로 다중센서 사용 시 성능향상을 위하여 필요한 센서융합기법을 적용하였다.

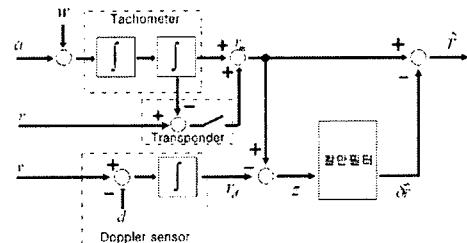


Fig.1 다중센서융합에 의한 열차위치추정

2.1.2 Smart 열차진로제어시스템의 특징

(1) 폐루프(Closed loop)제어

진로제어시스템은 지상장치와 차상장치 상호간에 정보를 교환하는 폐루프를 형성한다. 기존 진로제어시스템은 차상장치에서 지상으로 전송하는 정보가 없어 접근제어과 보류제정에 시간을 설정하여 열차진로제어의 안전을 확보하고 있다. 새로운 시스템은 폐루프를 형성하고 있어 필요한 열차정보를 송·수신(양방향통신)할 수 있어 일정한 시간을 설정할 필요가 없다.

(2) 주행로내 복수열차진입

주행로는 여러 개의 블록으로 구성되며, 블록은 열차번호, 주행방향 및 블록상태 등의 정보를 갖는다. 궤도회로는 블록을 구성하는 물리적 장치이지만, 여기서 의미하는 블록은 소프트적인 구분이다.

궤도회로의 블록과 달리, 블록 자체가 진로를 형성할 수 있어 블록집합으로 구성된 주행로에는 복수의 진로가 형성됨을 의미한다. 따라서, 하나의 주행로에 여러 편성의 열차(차량)이 진입할 수 있다.

(3) 운행최적화

진로제어시스템은 주행로에 열차번호(ID)와 열차방향을 할당한다. 임의 오류로 열차가 다른 진로로 진입을 하면 시스템이 설정된 정보(열차번호, 방향)와 진입하는 열차정보(열차번호, 방향)를 비교하여 적절한 조치를 취할 수 있다. 기존 시스템의 취급자는 열차종별과 운전형

태를 인식하고 진로설정을 할 수 있지만 시스템에서는 제한된 정보(진로점유, 진로설정)에 의해서 오진로 설정을 확인할 수 없다.

2.2 Smart열차진로제어시스템 연동처리

Smart열차진로제어시스템의 연동처리는 기존 시스템과 유사한 과정을 거친다. 즉, 조작반에서 자동 또는 수동으로 진로를 요구하면 진로를 탐색한 후 진입을 허가하는 것이다.

(1) 진로요구

진로는 출발점에서 도착점까지를 의미하는 진로명칭으로 자동 또는 수동으로 이루어진다. 진로요구에 필요한 정보는 다음과 같은데, 기존 시스템과 달리 사용하는 정보의 종류가 다양하다.

입력정보 (연동처리부->조작부)	출력정보 (조작부->연동처리부)
주행로 요구 응답	주행로 요구
:주행로ID, 열번ID, 선 로전환기ID, 상태정보	:주행로ID, 열번ID, 선 로전환기ID, 제어명령

(2) 진로탐색과 진입허가

진로요구에 대한 진로탐색은 진로상태와 블록상태를 생성한다. 진로상태는 현재 설정되어 있는 진로를 대상으로 하는 가변적인 내용이고, 블록상태는 블록연계관계 및 선로전환기 등 고정된 내용을 처리한다. Smart열차진로제어시스템의 주행로 요구처리는 다음과 같다.

단계	처리내용
1	진로명 존재 여부를 확인
2	진로상태표 생성(열차ID등록)
3	설정완료된 진로의 지장 또는 deadlock 확인
4	주행이 가능한 블록추출
5	대응되는 선로전환기의 전환필요성 확인
6	선로전환기 전환
	선로전환기 전환체정 블록열 송신(열차간격 제어에 활용)

2.3 Fault Tree Analysis

Smart열차진로제어시스템은 열차검지기능과 연동·폐색기능으로 구성된다. 이 시스템이 갖는 hazards는 열차의 충돌 및 탈선이다. 이러한 hazards의 요소는 이동폐색논리오류, 이선진입, 열차이동중 선로전환기 동작 및 비허가 블록에 열차위치 등이 있다. 여러가지 요소는 모두 열차검지오류와 관련된 현상이라 할 수 있다.

열차위치추적오류는 무선통신장치의 송수신 불량, 열차위치검지오류에 기인한다. 열차위치추적불량은 불특정정이상으로 인식되어 충돌 및 탈선을 유발한다. 열차위치검지불량 요인은 다음과 같이 구분할 수 있다.

- 열차에 장착되어 있는 열차위치검지장치의 고장
- 지상자위치, 차륜 활주/공전에 의한 보정불량
- 열차가 주행하는 선로데이터 오류
- 초기위치, 차륜경크기, 열차운전방향 등 초기값 불량

2.4 Smart열차진로제어시스템 구성

(1) 열차제어시스템

Smart열차제어시스템은 그림2와 같이 무선통신을 기반으로 열차 간격과 진로를 제어하며, 차상신호제어장치와 지상신호제어장치로 구성된다.

열차간격제어부와 열차진로제어부를 차상신호제어장치에 설치하며, 각 제어부는 독립적인 무선전송부를 갖는다. 열차진로제어부는 열차가 선로에 설치되어 있는 트랜스폰더 위를 통과하면, 트랜스폰더의 고유ID를 검지하

여 열차가 열차진로제어구간으로 진입·진출한 것을 판단한다. 또한, 열차진로제어부는 앞에서 수행된 판단정보를 토대로 무선전송부를 가동하거나 가동을 멈춘다.

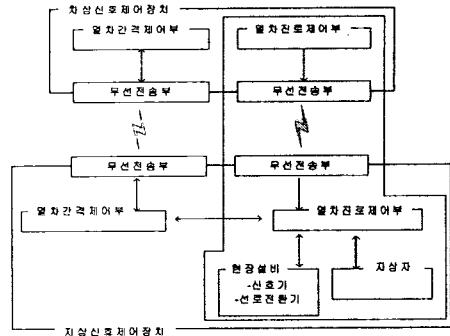


Fig.2 Smart열차진로제어시스템 구성

지상의 열차진로제어부는 지상과 차상에 설치된 전용 무선전송부를 통하여 열차가 열차진로제어부로 진입·진출한 것을 확인할 수 있다. 지상의 열차간격제어부는 지상·차상간 무선전송부를 이용하여 열차의 위치를 실시간으로 추적하고 이러한 위치데이터를 열차진로제어부로 전송을 한다. 열차진로제어부는 열차간격제어부의 위치 정보와 열차진로제어부의 무선전송부로부터 전송된 열차진로제어구간 진입과 진출정보를 토대로 현장설비인 신호기 및 선로전환기를 제어한다.

(2) 무선통신망

열차가 운행되는 모든 구간에 설치되는 열차간격제어부의 무선통신망과 달리 열차진로제어부의 무선통신망은 그림3과 같이 선로전환기가 설치되어 있는 역구내, 차량기지 등의 진로제어구간에만 설치되며, 설치구간을 주행하는 열차의 속도에 맞추어 구간의 길이를 설정을 하는데 우선 1~2km 정도로 설정하고 연구과정을 통해서 적절한 길이를 설정한다.

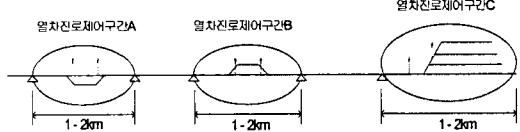


Fig.3 무선통신망 구성

열차진로제어구간의 시점과 끝점에 트랜스폰더를 설치하여 열차가 제어구간으로 들어오거나 나가는 것을 검지하는데 사용한다. 열차에 설치되어 있는 차상의 열차진로제어부는 지상자의 신호를 검지하여 제어부로 들어간 것으로 판단되면 무선전송부를 구동시켜 열차의 진입사실을 지상의 열차진로제어부로 알린다. 반대로 제어부를 벌어난 것을 판단하면 이를 지상으로 전송한 후 무선전송부의 구동을 차단한다. 그리고 진로제어구간에는 무선통신장치를 2중계로 구성하여 1대에 장애가 발생하여도 통신이 이루어질 수 있도록 한다.

(3) 차상장치 구성

그림4와 같이 열차에 장착되는 열차진로제어부는 지상자와 차상자간 비접촉 결합신호를 검지하여 열차가 열차진로제어구간으로 들어가거나 나오는 것을 판단한다. 열차가 열차진로제어구간으로 들어간 것으로 판단되면, 연결되어 있는 무선전송부를 구동하여 지상에 설치되어 있는 지상전송부와 통신로를 확보한 후 판단된 정보를 지상이 열차진로제어부로 전송한다. 지상의 열차진로제어부는 열차가 열차제어구간으로 진입한 것으로 판단하고 진로제어절차를 진행한다.

열차가 열차진로제어부 열차진로제어구간을 벗어난 것

으로 판단되면, 연결되어 있는 무선전송부를 구동을 차단한다. 통신로를 차단하기 전에 지상의 열차진로제어부로 이를 통보하면 지상의 열차진로제어부는 열차가 열차진로제어구간을 벗어난 것으로 판단하고 진로제어절차를 진행한다.

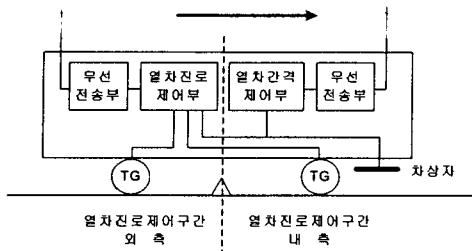


Fig.4 차상장치 구성

(4) 현장설비

그림5와 같이 현장설비는 이미 설정되어 있는 열차진로제어구간에 설치되어 있는 선로전환기 및 신호기를 제어·감시하는 장치로서 현장제어기 및 현장설비로 구성된다.

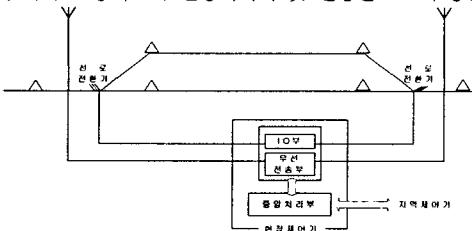


Fig.5 현장설비 구성

현장설비는 열차의 무선전송부와 통신을 하는 안테나 및 지상트랜스폰더가 있다. 현장제어기는 중앙처리부, 무선전송부 및 I/O부로 구성된다. 트랜스폰더는 열차의 선로진입과 진출을 확인하는 장치로서 열차가 트랜스폰더 위를 통과하면 차상자에서 이를 검지하여 차상의 열차간격제어부로 전송한다. 열차간격제어부는 검지한 트랜스폰더와 열차주행방향 등의 정보를 차상의 무선전송부를 경유해서 현장제어기의 무선전송부로 전송한다. 지상 무선전송부를 경유하여 중앙처리부로 전송된 정보를 토대로 현장제어기는 열차가 점유한 선로 또는 통과한 선로를 판단할 수 있다.

무선전송부는 열차의 열차진로제어부에서 전송한 정보를 받아 중앙처리부로 전송하는 기능을 수행한다.

I/O부는 중앙처리부에서 전송한 명령에 따라 신호기 및 선로전환기를 제어한다. 또한 신호기 및 선로전환기의 상태정보를 중앙처리부로 전송하는 기능을 한다.

중앙처리부는 현장제어기의 핵심기능을 수행하는 장치로서 지역제어기에서 전송한 연동처리명령에 따라 I/O부로 명령을 전송한다. I/O부에서 전송한 상태정보를 지역제어기로 전송한다. 무선전송부를 경유해서 올라온 열차정보를 이용하여 다음과 같은 판단을 하고 그 결과를 지역제어기로 전송한다.

- 열차진로제어구간으로 열차 진입
- 열차진로제어구간을 열차가 벗어남
- 열차가 점유한 선로
- 열차가 통과한 선로
- 열차진로제어구간에서의 열차위치(추가기능)

(5) 지역제어기

일반적으로 열차를 제어하기 위해서는 운영노선을 몇 개의 제어영역으로 분할을 하고 각각의 영역을 담당하는 지역제어기를 설치한다. 이러한 개념에 맞추어 Smart열차제어시스템도 각 제어영역을 구분하는 지역제어기를 설치한다. 이 지역제어기를 열차진로제어를 위한 지역제

어기와 열차간격제어를 위한 지역제어기로 구분한다.

그림6과 같이 각 현장제어기는 생성된 정보를 지역제어기로 전송하면 지역제어기는 이 정보와 열차간격제어부의 지역제어기에서 전송한 정보를 비교하여 열차진로제어명령을 결정한다. 그리고 결정된 제어명령을 해당 현장제어기로 전송을 한다.

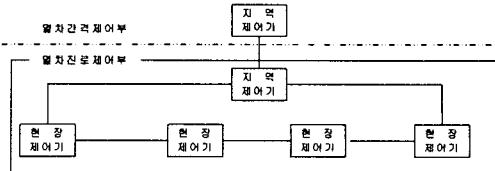


Fig.6 지역제어체계 구성

3. 결 론

무선통신기반 열차제어시스템(CBTC)의 효율성을 높이기 위한 Smart열차진로제어시스템을 설계하였다. 제안된 진로제어시스템은 궤도회로를 사용하지 않으면서도 이와 동등의 신뢰성과 안전성을 확보하도록 구성되었다. (1) 열차위치검지장치에 대한 동적특성을 모델링하여 타당성을 검증, (2) 열차간격제어부와 별도의 무선통신장치를 사용하여 열차진로제어시스템의 신뢰성을 확보, (3) 독립적인 무선통신망을 구축하여 열차진로제어구간에서의 이중계 구축 등과 같은 특징을 확보하였다.

본 연구에서 이루어진 시스템설계를 토대로 새로운 열차진로제어알고리즘설계를 진행하고 있으며, 동시에 모의장치와 검증프로그램을 이용하여 Smart열차진로제어시스템에 대한 검증을 계속적으로 진행할 계획이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이재호외, “철도시스템 Smart기술연구”, KRRI연구04-85, 2004
- [2] Koji Iwata외, “Safety Analysis of Sophisticated Interlocking System for CARAT”, J-RAIL '98, 523-526, 1998
- [3] Shigeto HIRAGURI외, “Development of Block System by Radio-Based Train Detection”, RTRI Report Vol16, No.7, 9-14, 2002.7