

# 무선 통신을 이용한 열차운행 제어 방식에 대한 연구

## Train Operation Control by Radio Based Communication

임재식\*      김치조\*\*      강만식\*  
Lim jae-sik   Kim chi-jo   Kang man-sik

---

### ABSTRACT

Train control by radio based communication is one of the interesting new fields in train signal. The radio based control has more benefits, low headway and low construction and maintenance cost, than conventional control. In this paper, a safe and efficient train operation is introduced. Triple radio communications, train to train, train to station, and train to central traffic control, are used to increase the reliability. One of these communications channels has a fault; the others can take the functions of it. Absolute position of a train is transmitted to station via radio communication. In the station, the interlocking mechanism should be activated as the legacy.

---

#### 1. 서론

무선 데이터 통신을 이용하여 신호 제어 시스템을 구축하였을 때 효율적이고 안전한 열차 운행이 가능하고 유지 보수 및 시스템 구축의 변경, 시험 등이 용이한 방법을 제안한다.

무선 데이터 통신을 열차와 열차간, 열차와 역간, 열차와 중앙제어장치 간의 삼중 통신을 하여 서로 백업토록 하여 서로 보완하도록 하여 1개의 통신에 장애가 발생하더라도 운전자가 나머지 두 개 통신을 이용하여 열차 운전을 수행할 수 있도록 한다. 무선 통신에 지장이 없도록 여러 지점에 ACCESS POINT를 두어 정보 통신이 원활하게 이루어 지도록 한다.

열차의 위치를 검지하기 위해 기존의 궤도회로 방식을 사용하지 않고 열차에 설치된 레이더 위치 센서 혹은 타코미터를 이용하여 기존의 궤도 회로 단위 보다 훨씬 정확한 절대 위치를 계산하는 방식을 사용한다. 열차의 정확한 위치가 파악이 되면 그 위치에 따른 열차 신호 제어를 수행한다.

---

\* LG산전㈜ 책임연구원, 정희원

\*\* LG산전㈜ 선임연구원, 정희원

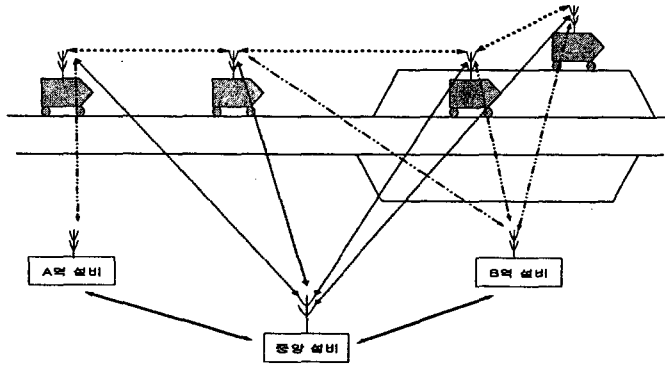


그림 1. 시스템 구성도

## 2 열차 운행

### 2.1 제어구간진입

열차가 제어 구간에 진입하는 것을 검지하면 무선으로 역 설비 혹은 중앙설비가 열차 운행에 필요한 초기 정보를 전송한다.

제어 구간에 진입하기 전의 모든 열차는 정해진 동일한 주파수를 사용하여 처음 열차가 제어 구간에 진입하는 동안 사용할 주파수를 할당한다. 주파수를 할당 받는 즉시 주파수를 변환하여 역 설비와 통신을 시도하여 이상이 없으면 열차 운영을 개시한다. 이 주파수는 열차가 제어 구간 내에서 변하지 않고 계속 사용한다. 한 열차에 할당하는 주파수는 총 세가지로 중앙장치와 통신용, 역과 통신용, 열차 간에 통신용을 다르게 할당한다. 주파수가 할당되면 열차가 제어 구간을 벗어날 때까지 동일한 주파수를 사용한다.

이렇게 주파수를 할당 받으면 열차번호 부여, 주행 속도, 운전 거리 초기화, 열차 길이, 전방 열차 번호, 전방 열차와 거리, 전방 열차의 속도, 전방 역과 거리, 전방 역 도착궤도번호, 전방 역 열차 운전 상황과 같은 초기 정보를 역 설비와 중앙 설비에서 받는다.

### 2.2 제어구간 진출

열차가 제어 구간을 빠져나가면 역설비 혹은 중앙 설비가 후방 열차에게 전방의 열차가 없다는 것을 통보하고 진출한 열차가 사용하던 모든 주파수를 회수하여 제어 구간에 진입하는 열차에 사용할 수 있도록 한다.

### 2.3 역간 구간

역설비, 중앙설비, 전방 열차와 동시에 지속적인 통신을 수행하며 열차의 위치와 속도 길이 정보를 실시간으로 교환한다. 열차의 제동이 필요한 경우 DISTANCE-TO-GO 방식으로 연속적으로 감속이 이루어지게 되므로 열차 승차감의 감소 없이 감속이 가능하다.

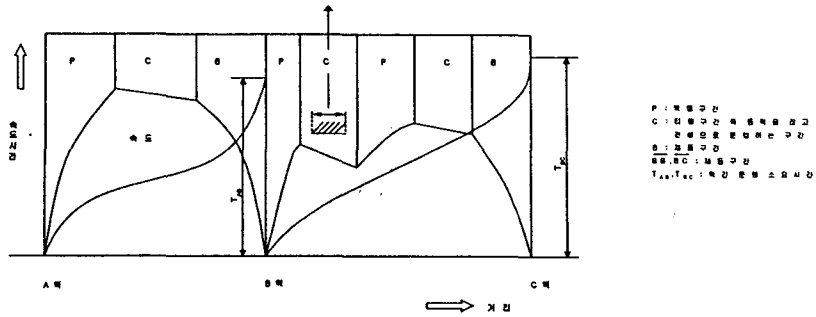


그림 2. 열차 운전 곡선

역간에서 열차는 가능한 운전 시력을 줄이도록 운행한다.

도착 예정인 역까지 전방에 열차가 없는 경우 도착 예정인 역을 전방 열차 대신 무선 통신을 수행하여 역에 접근한다.

#### 2.4 역의 경계

역간의 중간 부분에 역의 경계를 두어 열차의 제어와 열차 통신 권한을 역간에 교환한다.

열차가 역의 경계 지점을 통과하면 열차의 통신 주파수는 변화되지 않고 역간에 서로 열차와 통신 주파수를 교환하여 열차와 통신을 계속하고 열차 운행에 필요한 정보를 교환한다.

중앙설비는 열차가 역의 경계를 통과하는 것과 상관없이 열차와 동일한 주파수로 통신을 수행한다.

#### 2.5 역에 접근

열차가 역에 접근하면 역설비는 진로 설정 등의 역 상황을 통보하여 열차가 진입할 수 있는지 여부를 판단할 수 있도록 한다. 부분 진로 해정은 사용하지 않고 역에 전방에 정차하는 열차가 있는 경우 열차가 역에 완전히 정차하여 정차 신호를 전송한 다음에 다음 열차를 진입시키도록 한다. 정차할 궤도 번호는 역설비 혹은 중앙설비가 열차에 통보하고 열차 정차 신호에 정차 궤도 번호를 포함시켜 전송하고 필요에 따라 진로 설정 확인, 정위치 정차 (열차로 접근 구간에서 열차 정차 구간까지 거리 전송), 역 진입 속도를 열차에 전송하여 열차가 역에 진입하는 데 사용할 수 있도록 한다.

#### 2.6 역에서 출발

출발 순서에 따라 해당 열차에 진로를 설정하여 준다. 출발하는 열차에게 미리 운행에 필요한 출발 진로 설정 확인, 출발 속도 지정, 전방 열차 번호, 전방 열차 주파수, 전방역 주파수, 전방역

거리를 전송하여 역간에서 열차가 주행하는 데 지장이 없도록 한다.

안전성 측면에서 열차가 출발하여 역을 완전히 나가기 전에는 다른 선로의 열차는 이동할 수 없도록 한다.

### 2.7 선로 분기부 통과

선로 분기부에 설치되는 Balise를 열차에서 읽고 전송하며 이전에 지상통신으로 받은 통과 예정 정보와 비교한다.

### 3. 운전 시력

열차간의 통신을 통하여 전방 열차의 속도, 위치를 실시간으로 파악하고 있어 선행 열차와 충돌을 피하기 위하여 감속도 값을 결정하여야 하고 이러한 감속도는 선행 열차 뿐만 아니라 후행 열차의 연쇄적인 충돌을 피할 수 있어야 한다. 또한 선행 열차의 제동 곡선과 후행 열차의 제동 곡선 및 안전 거리를 고려하여 열차간의 간격을 조절하여야 한다.

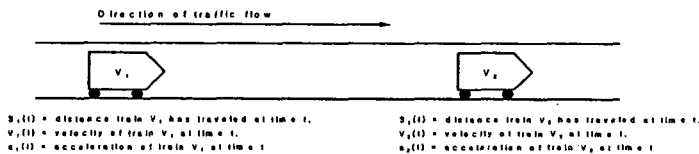


그림3 열차 운행 간격

위 그림에서 주어진 시간에서 열차  $V_i$ 는 선로를 따라 운행되는 거리  $s_i(t)$ , 속도  $v_i(t)$ , 가속도  $a_i(t)$ 에 의해 특성이 부여 된다. 열차  $V_1$ 과  $V_2$ 사이의 충돌을 피하기 위해서는  $V_1$ 이 운행되는 거리는 항상  $V_2$ 가 운행되는 거리보다 적거나 같도록  $s_1(t) \leq s_2(t)$ 이어야 한다.

### 4. 열차 속도 제어의 지연

열차 속도를 지연하는 요소는 다음과 같다. 무선통신지연 (Retry포함), 제어가 처리 지연, 운전자 조작 지연, 명령 수행 지연 (차량제어기 지연 포함) 등이 있다. 이 예상되는 지연 시간 동안 열차 속도 제어가 곤란하므로 열차 운행 간격을 계산하는 데 반영하여야 한다.

무선통신 지연 : 통신 속도와 통신 정보를 파악하는 데 소요되는 시간과 통신 장애시 재전송을 수행하고 그리고 통신 장애를 판단하는 시간 등이 모두 포함된 지연

제어기 처리 지연 : 통신과 현장 상황 등의 입력을 받아 지상과 차상 설비에서 정보를 분석 처리하는데 걸리는 시간

운전자 조작 지연 : 운전자가 열차의 상황을 파악하고 필요한 조치를 취하기 까지 소요되는 시간.  
이것은 운전자의 반응 시간과도 관계가 있다.

명령 수행 지연 : 운전자가 제어기에 명령을 지시한 경우 이것을 수행하는 데 걸리는 시간.  
제동의 경우 제동이 실제로 동작하기 까지 소요되는 시간

## 5. 역 설비 기능

역 설비는 제어구간내의 작업구간에 따른 속도 제한이나 무선망의 감시, 전철기 상태 및 기상 상태 등을 종합하고 다음과 같은 접근 쇄정, 진로 쇄정, 조사 쇄정을 설정하여 쇄정 상황을 열차에게 무선으로 통보한다.

### 5.1 접근 쇄정

열차에서 보내는 위치 정보를 이용하여 열차가 역에 접근 구역에 진입하기 전 접근 구역에 있는 경우를 인지하여 일정 시간 동안 진로를 취소하지 못하도록 한다. 접근 구역은 진로 설정에 필요한 거리와 열차가 정차시 필요한 거리를 합한 거리 만큼 설정한다.

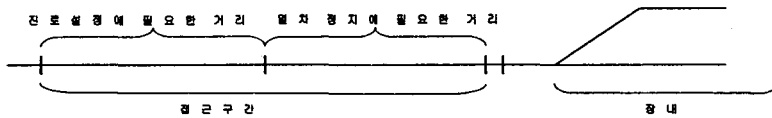


그림4 역 접근구간

### 5.2 진로 쇄정

열차에서 보내는 위치 정보를 이용하여 해당 진로에 열차가 진입한 것을 인지했을 때 그 진로를 통과할 때 까지 전철기가 전환되지 않도록 한다.

이 구간에 열차가 진입하면 절대로 다른 열차가 진입하지 못하도록 한다.

### 5.3 조사 쇄정

역에 진입하는 진로를 설정할 때 열차가 과주하는 것을 감안하여 안전 확보를 하기 위해 열차 정차 지점을 기준으로 비상제동 거리 내의 전철기를 안전한 방향으로 전환하여 놓도록 한다. 일반적으로 진로 설정시 조사 쇄정 관련된 전철기 전환이 같이 이루어 진다.

## 5.4 철사 왜징

역 설비가 전철계의 방향을 전환하도록 한다. 전철기 인접 구간에 열차가 없는 것을 확인하고 전철기를 전환한다. 전철계 인접 구간은 가능한 최소로 하여 열차 운행에 지장이 없도록 한다.

## 6. 차상 설비 기능

### 6.1 제어기

타코미터 혹은 레이다 위치 센서를 이용하여 열차의 속도와 진행 거리를 측정한다.

전후방의 열차와 전방 역과 중앙 제어장치와 각각 별도의 무선 통신을 이용하여 열차의 현재 위치 (절대위치), 열차속도 등을 주기적으로 전송하고 전 후방열차의 속도와 위치 등을 입수하여 지상 설비와 긴밀한 정보 교환을 수행한다. 수집된 정보에 의해서 열차의 상태, 선행열차와의 안전 거리, 선로의 제한 속도, 진로상태를 종합하여 열차의 제한속도를 계산하고 현재 속도와 비교하여 열차를 감속 제어한다.

선후행 열차 혹은 제상과의 통신이 두절되는 경우 다른의 정상 통신중인 경로를 통해서 통신 두절을 알리고 운행을 위한 정보를 제공 받는다. 마찬가지로 다른 열차로부터 통신 장애와 운행 정보 요청을 받으면 그대로 제상의 역과 중앙 설비로 정보를 중계한다.

모든 통신이 두절되면 제상에서는 열차의 위치를 확인할 수 없으므로 운전자는 즉시 운행을 중지하고 지상과 음성 통신으로 전환하여 적절하게 대처하여야 한다.

### 6.2 운전자 표시

차내 현시로써 현재 속도, 제한 속도, 정차 위치까지 운행 거리, 통신 주파수, 선행열차와의 거리, 선로 상태 등을 실시간으로 표시하여 운전자가 인지할 수 있도록 한다.

## 7. 결론

안전성을 고려하여 3중계 통신을 사용한 무선 열차 제어 방식을 제시하였다. 이렇게 함으로써 무선 통신으로부터 발생할 수 있는 안전성을 조금이나마 보완하였고 INTERLOCKING을 고려하여 실제 사용 가능성을 높였다.

기존 궤도회로를 이용한 신호체계 보다 신뢰도가 떨어지지 않으면서 운영 효율을 극대화 하고 구축 비용이 기존의 고정 폐색 방식 보다 저렴하게 신호 체계를 구축할 수 있도록 설계하는 기초로 활용하여 체계적으로 더 발전시켜 이 방식을 이용한 실제 구현한 시스템이 나오기를 바란다.

### ※ 참고문헌

1. ALCATEL,ALSTOM 외(2002), "ERTMS/ETCS System Requirements Specification", Chapter 3, Principles

2. Kawai, M., "Collision Avoidance Technologies", Proceedings of the 1994 International Congress on Transportation electronics, p305-316

3. 김영태(2003), 신호제어시스템, 테크미디어
4. 김용규(2001), 기존선 고속화를 위한 유럽의 열차 제어 시스템, 철도기술연구원
5. 백중현, 류상환 외 (2002), 통신기반 열차제어시스템에서의 충돌회피를 위한 알고리즘 개발  
한국철도학회 추계학술논문 p459-464