

# CBTC 시스템에서 논리 폐색과 이동 폐색의 혼용에 관한 연구

## A Study on the Mixed Usage of Logical Block and Moving Block in CBTC System

김형훈†                      양찬석\*                      조용기\*\*  
Hyung-Hoon Kim      Chan-Seok Yang      Yong-Gee Cho

### ABSTRACT

This paper proposes a CBTC wayside signaling system, which redeems existing track-circuit-based ones by using movement authorities mixed with logical block and moving block. Only one train can be entered into the logical block or the route for existing wayside signaling system. Applying moving block for CBTC system enables the train to get nearer to the preceding one, because its protection mechanism uses train's safe boundary, not fixed block unit. By narrowing the existing route set to switch machine and applying the moving block beyond that area, more than one train can enter into one route area. This paper shows that the efficient train control, i.e. shortening the headway, is possible using the moving block mixed with logical block in wayside signaling system.

### 1. 서론

무선통신 기반 열차제어(CBTC: Communication-Based Train Control) 시스템은 ATP Onboard(차상)와 ATP Trackside(지상) 간의 무선통신을 통하여 열차 위치를 검지하고, 안전 이동 거리를 산출하여 열차간격제어를 수행하는 이동폐색(Moving Block) 방식의 열차제어시스템이다. 기존 신호시스템과의 혼용 운용을 해야 하는 과도기적 상황에서, CBTC시스템은 열차 운행 시격을 줄이고 유지보수 비용을 절감하며 고 신뢰도로 안전을 강화하는 시스템이라는 측면에서 연구개발이 활발히 진행되고 있다.

열차제어시스템에서 이동폐색을 사용할 경우 고정폐색을 사용하는 방식에 비해 운전 시격이 단축되므로, 이동폐색을 사용할 수 있는 선구가 많을 수록 운행의 효율성이 증가한다. 따라서 기존 신호 시스템을 위한 논리 폐색을 최소화하고, 이동 폐색 구간을 증가시킬 때, 열차 이동의 효율성도 증가하게 된다. 이는 CBTC 시스템이 열차의 위치보고를 통해 열차의 최대 안전 영역, 현재 속도, 운행 방향을 산출하고, 열차 특성 및 선구 제원을 활용하여 제동 곡선을 생성하며, 이를 통해 차량이 절대 정지해야 하는 지점을 넘지 않도록 방호하는 시스템이기 때문에 가능하다.

본 논문에서는 기존 신호를 사용하면서 CBTC를 적용하여 이동폐색과 논리폐색을 사용하는 방법과 효율적인 운영을 위하여 논리 폐색 영역을 줄이고 이동 폐색 영역을 증가시키는 방안을 제시한다.

### 2. 본론

#### 2.1 CBTC 시스템에서 이동 폐색과 논리 폐색의 사용

CBTC 시스템은 통신 기반의 시스템이므로 기존 연동 논리를 사용하기 위하여 궤도 회로가 없는 논리적인 궤도가 필요하며, 이를 논리 폐색이라고 한다. 논리 폐색은 궤도 회로와 같이 단 하나의 열차만 진입할 수 있는 폐색이다.

† LS산전 철도시스템기술팀 과장  
\* LS산전 자동화제품연구소 수석연구원  
\*\* LS산전 자동화제품연구소 수석연구원

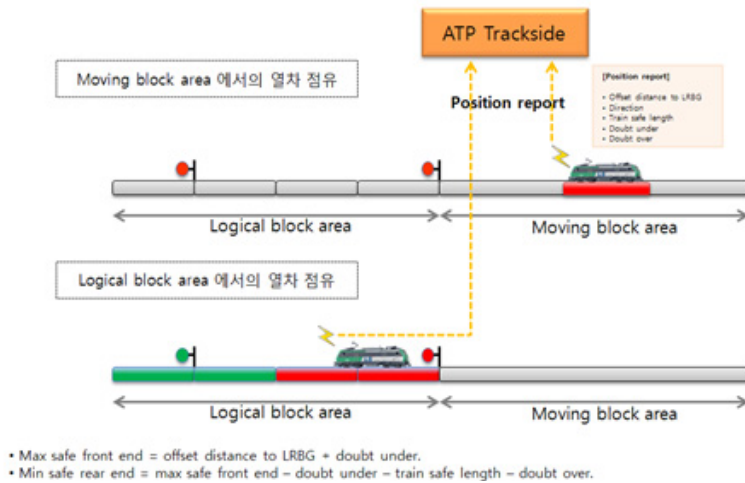


그림 1. 이동 폐색과 논리 폐색에서 열차 위치 관리

논리 폐색과 이동 폐색에서 열차 위치 보고에 따른 열차 위치 판단은 그림 1.과 같이 수행된다. 열차의 위치보고는 열차가 실제 점유하고 있는 위치에 대한 정보로 이루어진다. ATP 차상 시스템에서는 논리 폐색과 이동 폐색을 구분하지 않고, 위치 기준점을 기준으로 하여 이동한 거리를 연산하고, 열차의 길이, 무결성, doubt under 및 doubt over 추정값, 운행 방향을 관할 ATP 지상 시스템으로 전달한다. ATP 지상 시스템은 이 정보를 기반으로 관할 선구 내의 열차의 위치를 결정한다. 운행 방향과 위치 기준점을 기준으로 한 이동 거리는 열차 전두부가 선구 내의 어느 위치에 존재하는가를 판단할 수 있게 해준다. 이 때, 열차 doubt under 추정값을 적용하여 가장 안전한 전두부의 위치(max safe front end)를 결정한다. 또한 무결성이 유지되는 열차의 길이는 열차 doubt over 추정 값을 적용하여 가장 안전한 후두부의 위치(min safe rear end)를 결정한다. 이렇게 하여 결정된 최대 안전 전두부와 최소 안전 후두부는 실제 열차가 존재할 수 있는 최대 안전 열차 영역이며, 기존 신호 시스템으로 보면 실제 점유 영역이다. 그러므로 한 열차에 대한 최대 안전 영역은 논리 폐색과 이동 폐색 모두에서 사용할 수 있는 실제적인 열차의 위치이다.

기존 연동장치를 사용하는 영역에서는 논리 폐색을 기준으로 하기 때문에 열차의 최대 안전 영역을 논리 폐색 기준으로 변환하여 관리하고, 그 이외의 영역에서는 이동 폐색을 기준으로 열차의 최대 안전 영역을 사용한다. 이는 열차의 효율적인 이동권한을 설정하는데 가장 기본이 되는 영역이며, 열차 입장에서는 최대 안전 영역이 되고 지상 시스템 입장에서는 최소 안전 영역이 된다.

## 2.2 효율적 운영을 위한 이동 폐색 영역의 확장

### 2.2.1 기존 연동 논리와 논리 폐색의 사용

기존 궤도 회로 기반의 연동 논리는 궤도의 점유와 해정 정보를 기반으로 열차의 위치와 방향성을 결정하며, 이를 진로의 설정에 반영함으로써 제어 영역 내의 모든 열차가 충돌 및 추돌의 위험을 방호하는 것이다. 연동 논리의 궤도는 하나의 열차만 진입할 수 있는 폐색이며, 물리적인 궤도 회로가 존재하는 것이었다. 기존의 운전사의 시야에 의존하여 신호기로 제어하는 방식에서는 열차의 충돌 또는 추돌을 방지하기 위하여 역과 역 사이 구간에도 단 하나의 열차만 진입할 수 있었다. 그 이후로 산업 발전에 따른 열차 운행 빈도의 증가 요구에 따라 신호 시스템이 발전하여 속도 제한을 통해 하나 이상의 열차 진입이 가능해졌다.

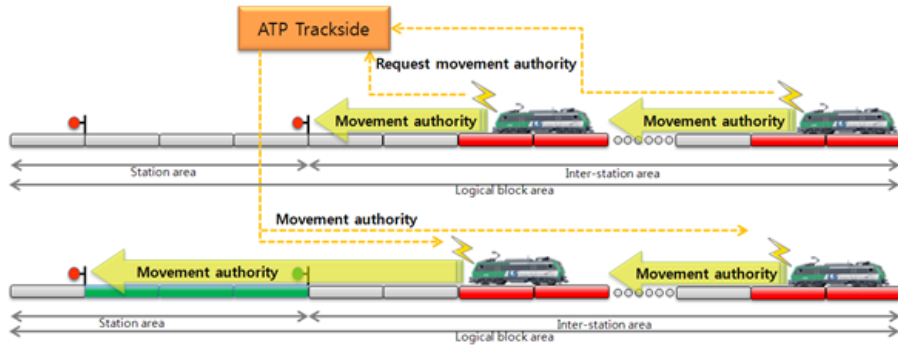


그림 2. 논리 폐색 기반의 열차 제어

CBTC 시스템에서는 한 단계 더 발전하여, 각 차량 특성에 맞는 제동 프로파일을 바탕으로 더 많은 열차를 역간에 투입하는 것이 가능해졌다. 논리 폐색을 통하여 기존 연동 논리를 유지하는 한편, 안전에는 문제가 없으면서 기존보다 더 효율적인 운행이 가능해졌다.

### 2.2.2 역간에서 접근 쇄정을 제외한 영역의 이동 폐색 적용

전철기가 존재하지 않는 영역인 역간 구간에서, 선행 열차가 위치하고 있는 이동 폐색의 후방 영역은 어떤 열차도 접근할 수 있는 영역이다. 그런데, 2.2.1절에서와 같이 기존 연동 논리를 모두 사용한 경우 논리 폐색에는 단 하나의 열차만 접근할 수 있으므로, CBTC 시스템을 통하여 열차의 최대 안전 영역을 알고 있음에도 불구하고 논리 폐색 단위로 방호해야 하는 단점이 존재한다.

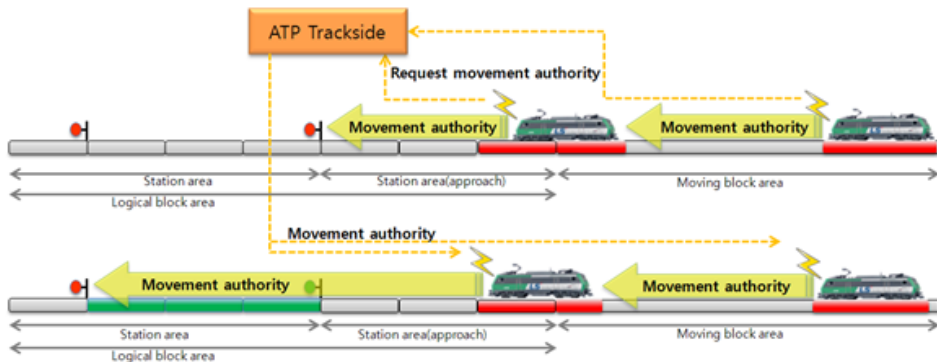


그림 3. 역간에서 접근 궤도를 제외한 영역의 이동 폐색 적용

기존 신호에서 선행 열차의 점유를 통해 후행 열차가 점유한 논리 폐색을 진입하지 못하는 선에서 방호한 반면, 열차의 최대 안전 영역을 이동 폐색으로 설정하고 해당 폐색을 진입하지 못하게 제어함으로써, 폐색에는 단 하나의 열차만 진입할 수 있다는 안전 방호를 유지하고 후행 열차를 최대한 선행 열차에 접근시킴으로 인해 안전에 문제없이 기존보다 더 효율적인 운행이 가능해진다. 하지만, 아무리 열차 간격을 최대한 근접시킨다고 하여도 역내의 진로 및 진입을 위한 접근 쇄정과 같은 연동 논리로 인해 CBTC 시스템의 효율성을 크게 증가시키지 못하는 한계가 있다.

### 2.2.3 장내를 제외한 역간 이동 폐색 적용

그림 4와 같은 구성은 역으로 진입하는 진입 신호기 이전의 접근에 대해서는 연동장치가 제어하지 않으며, 장내의 영역에 대해서만 논리 폐색을 이용하여 연동장치가 제어하는 방식이다.

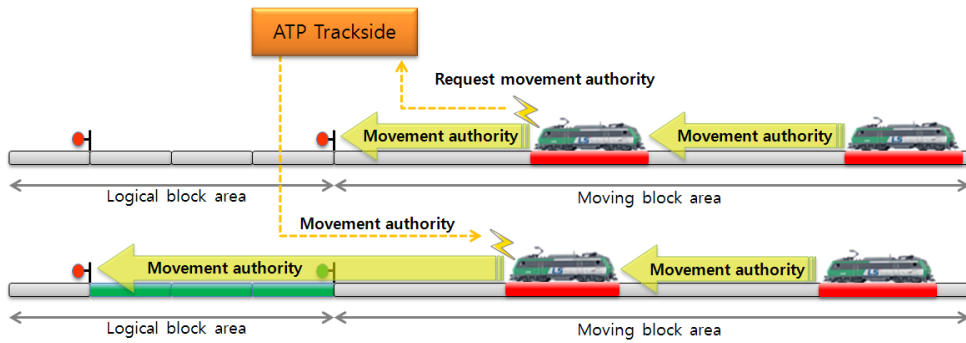


그림 4. 역간 이동 폐색

기존 연동 논리는 접근 궤도가 접근하는 어떤 열차로 인해 점유되면, 해당 열차가 접근하는 것으로 판정한다. 이때 운영자가 전방 진로를 해제하려 하면, 접근 쇄정이 걸리고 해당 진로의 신호기는 정지 신호를 현시하지만 열차가 신호기를 넘지 않는다는 확신을 할 수 없기 때문에 진로의 쇄정 상태는 유지한다. 그리고 열차가 접근 궤도를 점유한 상태로 정해진 시간 동안 점유 상태를 유지하면, 해당 열차가 정차하여 신호기를 통과하여 진로에 진입하지 않을 것이라고 짐작하여 접근 쇄정을 해제하여 진로 쇄정이 해제 되도록 함으로서 진로 해정이 진행된다.

하지만 CBTC 시스템에서 운영자의 진로 해정이 발생하면, ATP 지상 시스템과 ATP 차상 시스템 간의 확인에 의해 열차가 진로 진입지점에 정차하는 것이 가능한지 아닌지를 확인할 수 있다. 이는 CBTC 시스템이 열차의 최대 안전 영역과 열차의 속도와 운행방향을 보장하며, 열차 특성 및 선구 제원을 모두 활용하여 생성한 제동 곡선을 통해 차량이 절대 정지해야 하는 지점을 넘지 못하기 때문에 가능하다. 따라서, CBTC 시스템이 기존 연동 논리의 접근 쇄정 연동을 대신함으로써 접근 쇄정을 위한 논리 폐색을 이동 폐색으로 만들 수 있으므로 역 내를 제외한 모든 영역에 이동 폐색을 사용할 수 있어서 더 효율적인 운행이 가능해진다.

#### 2.2.4 전철기를 제외한 모든 영역에 이동 폐색 적용

CBTC 시스템은 열차의 위치가 명확하고, 방향 및 속도를 확인하며, 열차가 이동권한 내에서만 운행하도록 방호하는 시스템이다. 기존의 연동 논리는 역 내에서 열차가 어떤 진로를 이동할 경우, 충돌이 일어날 수 있는 대향 진로들에 대해서는 절대로 진로가 설정되지 못하도록 방호한다. 이것은 만의 하나 사람이 실수하더라도 사고가 발생하지 못하도록 하기 위함이다. 하지만 고의적인 반달리즘의 결과가 아닌, 사람의 실수 또는 시스템의 오류에 의해서는 어떤 경우라도 충돌이라는 사고가 발생할 수 없다면, 그림 5와 같이 전철기 영역을 제외한 모든 영역을 이동 폐색으로 구성할 수 있다.

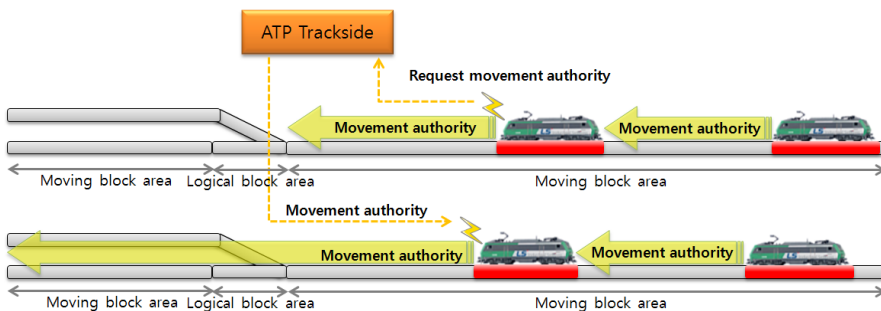


그림 5. 전 구간 이동 폐색 구성(전철기 제외)

이와 같이 구성되면, 전체 선구의 거의 모든 영역을 이동 폐색으로 구성하게 되며, 전철기 영역 또한 전철기가 전환될 때이거나 서로 다른 방향에서 두 대의 열차가 진입할 때는 이동 폐색으로 구성하여도 어떤 열차도 진입할 수 없거나 두 대중 한 대의 열차만 진입할 수 있으므로, 전철기 영역은 논리 폐색이면서 이동 폐색이라 할 수 있다. 즉, 전철기 영역을 제외한 모든 영역을 완전한 이동 폐색으로 관리한다면, CBTC 시스템을 최대한 활용하여 운전 시격을 줄이는 등의 효율적 운영을 할 수 있다.

### 3. 결론

지금까지 연동 장치의 모든 기능을 활용하는 방법에서부터 최소한의 기능만 사용하면서 CBTC의 기능을 활용하는 방법들에 대해서 설명하였다. CBTC 시스템은 관할 영역을 모두 논리 폐색으로 구성하여 기존의 연동장치의 기능을 모두 활용하면서도 효율적으로 사용할 수 있고, 전철기만 제어하는 기능을 사용하여 이동 폐색으로 구성하여 기존의 연동장치의 기능을 최소한 활용하면서 이론적 최대 효율성을 실현 할 수도 있게 해준다. 향후에는, 이와 같이 연동 논리를 CBTC 시스템이 대신하였을 때 안전성 측면에 문제가 없는지에 대해 심도있는 연구가 이루어져야 할 것이다.

### 참고문헌

1. 윤용기, 오세찬, 이강미, 조현정, 김용규, “도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 운영시나리오 연구”, 한국철도학회 2011년도 춘계학술대회 논문집, pp.904-909, 2011.
2. 이화윤, 최규형, “무선통신기반열차제어시스템의 핸드오프 최적화 연구”, 한국철도학회 2008년도 추계학술대회 논문집, pp.1321-1326, 2008.
3. 최규형, 윤용기, “무선통신에 의한 이동폐색 열차제어방식의 연동논리 구축에 대한 검토”, 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, pp.418-419, 2003.
4. 김유호, 이수환, 유종천, 김종기, 백종현, “기존도시철도의 CBTC도입에 따른 병행운전방안 도출연구”, 한국철도학회 2003년도 추계학술대회 논문집(III), pp.151-156, 2003.
5. 방용, 김형훈, 엄정규, 조용기, “도시철도 시스템에서의 운행 시격 분석”, 한국철도학회 2006년도 추계학술대회 논문집, pp.86-91, 2006.
6. ERTMS/ETCS, “System Requirements Specification Chapter 3 Principles”, SUBSET-026-3, 2.2.2