

이동권한을 이용한 열차제어시스템의 안전제동에 대한 연구

백종현 김용규
한국철도기술연구원

The Study of Safety Braking for Train Control System using Movement Authority

Baek, Jonghyun Kim, Yongkyu
KRRI(Korea Railroad Research Institute)

Abstract - 현재 세계적인 열차제어의 추세는 궤도회로에 의한 고정폐색방식을 이용한 열차 운행이 아닌 발리스 또는 무선통신에 의한 이동권한을 이용한 열차제어방식을 적용하고 있으며, 국내에서도 이에 맞추어 철도청에서는 ATP 사업을 통하여 유럽의 ERTMS/ETCS 규격에 의한 발리스 기반의 열차제어시스템을 적용할 계획이다. 또한 분당선에서는 통신기반 열차제어시스템인 CBTC 시스템을 시범구축하고 있다. 이러한 추세에 맞추어 열차제어시스템에 있어서 가장 중요한 기능 중의 하나인 안전제동 기능을 이동권한에 적합하도록 새롭게 모델링할 필요가 있으며, 본 논문에서는 이러한 이동권한에 의한 열차제어시스템의 안전제동에 대해 연구하였다.

1. 서 론

본 연구는 열차간격제어를 위해 요구되는 열차위치검지 및 이동권한 부여를 핵심기술로 하는 차세대 flexible 열차제어 알고리즘 연구의 일환으로 이를 위해 가장 핵심적인 이동권한 설정에 대한 것이다. 본 연구에서의 열차간격제어는 차상제어장치를 지능화 시켜 열차의 위치정보를 기존 궤도회로 방식을 사용한 지상제어장치에서의 열차위치 검지를 사용하지 않고, 열차의 이동거리를 열차에서 계산하여 지상에 현재 열차의 위치를 통보하는 방식의 개발을 목적으로 하며, 지상/차상 제어장치의 데이터교환에서도 기존 지상자와 차상자의 전자기 운동을 이용한 불연속제어방식 또는 궤도회로와 차상안테나의 전자기 운동을 이용한 연속제어방식에 의존하지 않는 무선통신을 이용한 지상/차상 제어장치의 데이터 전송방식의 사용을 전제로 하고 있다.

2. 본 론

열차간격제어는 역과 역간에 존재하는 열차의 이동권한(제한속도)을 부여하여 안전하게 많은 열차를 해당 선로에 투입하기 위한 기술이다. 이러한 열차간격제어 기술은 기존에 신호기와 신호기 사이를 고정된 하나의 폐색으로 나누어 고정폐색을 이용한 선행열차와 후행열차의 간격을 제어하였으나, 열차의 최고속도 및 제동능력의 향상, 다양한 성능의 차종이 병행운전 해야 하는 등의 새로운 문제점이 도출됨에 따라 효율적인 열차운행을 위한 다양한 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 지상에 고정된 설비인 지상자를 설치하여 열차가 지상자가 설치된 구간을 통과할 때 차상제어장치로 정보를 전송하여 열차의 이동권한을 부여하는 불연속제어방식과, 무선통신을 이용하여 차상제어장치와 지상제어장치가 실시간으로 링크된 연속제어방식에 대한 각각의 안전제동 방법에 대해 연구하였다.

2.1 불연속제어방식의 안전제동 설정

발리스 기반의 열차제어 알고리즘에서 필요한 데이터는 MA(Movement Authority : 이동권한)의 위치, 현재 선로환경, 다음 선로환경, 다음 선로 위치 등이다. 각각의 정보는 발리스를 지날 때 발리스로부터 열차로 전송되며 양방향 통신에 의해 열차의 정보가 발리스를 통해 중앙 집중 센터로 보내진다. MA는 중앙 집중센터로부터 지정된다. MA를 넘지 않도록 열차를 운행하는 것이 가장 중요하며 그 다음으로는 선로의 환경을 고려한 제한속도를 준수하는 것에 안전제동의 초점을 맞추었다.

- MA로부터 충분한 거리이고 다음 선로로부터 충분한 거리일 때 진행중인 선로의 제한 속도와 열차의 최대 속도 중 작은 쪽을 목표 속도로 결정한다.
- MA로부터 충분한 거리에 있고 현재 속도가 다음 트랙의 제한 속도보다 크고 충분한 거리가 아니라면 목표속도를 다음 트랙의 제한속도로 변경한다.
- MA로부터 충분한 거리가 아닌 경우 목표 속도는 0km/h로 결정하고 상용제동으로 감속을 실시한다. 목표속도를 결정하기 위해선 현재 열차의 위치가 MA로부터 안전한 위치인지, 다음 트랙으로부터 충분한 안전한 위치인지를 결정하여야 한다.

2.1.1 선로제한속도에 의한 안전제동 설정

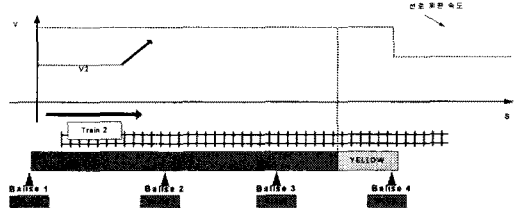


그림 1. 선로 제한속도에 의한 경우 1 (발리스)

그림 1에서 알 수 있듯이 발리스 기반 열차제어 시스템에서 다음 선로의 제한 속도를 준수하기 위한 경우는 무선통신 기반 열차제어시스템과 거의 같다. train2는 발리스 1을 지나면서 다음 선로에 대한 정보를 전송 받는다. 이러한 정보의 내용은 발리스 4의 위치와 발리스 4로부터 시작되는 선로의 환경에 관한 것이다. train2는 현재 선로의 제한속도보다 낮은 속도이고 다음선로 제한속도의 영향권 밖이라면 가속을 결정할 것이다.

다음의 그림 2에서는 train2가 발리스 2, 발리스 3을 지날 때도 다음 선로의 정보를 전송 받는다. 다음 선로 제한속도의 영향권인 YELLOW구간에 진입하여 감속도를 결정한다. 그림 3에서의 train2는 안전하게 속도를 줄여 다음선로에 진입하게 된다. 발리스 4부터는 그 다음 선로의 정보를 전송 받는다.

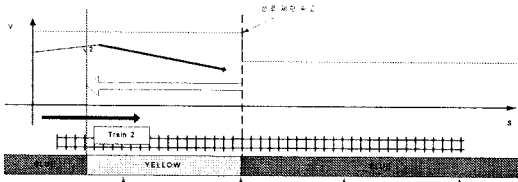


그림 2. 선로 제한속도에 의한 경우 2 (발리스)

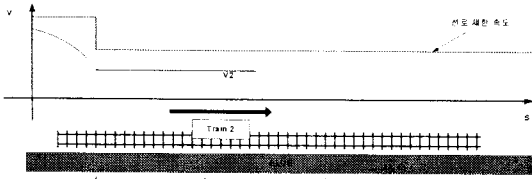


그림 3. 선로 제한속도에 의한 경우 3 (발리스)

2.1.2 이동권한에 의한 안전제동 설정

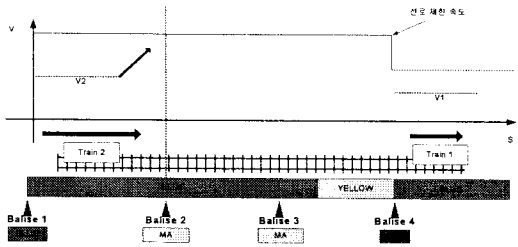


그림 4. 이동권한에 의한 경우 1 (발리스)

그림 4에서 발리스 1은 BLUE, 발리스 2와 3은 MA, 발리스 4는 RED 정보를 가진 상태이다. 발리스 4는 현재 해당되는 구간에서 열차가 존재하므로 발리스 4의 위치가 MA가 된다. 따라서 발리스 4 이전에 있는 발리스들이 MA위치로 발리스 4의 위치정보를 가지고 있어야 한다.

발리스 1은 발리스 4로부터 충분히 멀리 떨어져 있으므로 발리스 4에 대한 MA정보를 가지고 있지 않아도 된다. 충분히 멀리 떨어져 있다는 것은 열차가 발리스 1을 최고 속도(모든 기차가 낼 수 있는 속도 중 최고 속도, 현재는 KTX의 속도 300Km/h)로 지나도 발리스 2에서 MA정보를 얻는다면 충분히 발리스 4에서 멈출 수 있는 거리만큼 떨어져 있음을 의미한다. 그림 59에서 열차가 발리스 1을 지나면 BLUE 정보를 얻게 된다. 이는 앞에 선행열차가 존재해도 선로가 허용하는 최고 속도를 내도 상관없음을 의미한다. 또한 다음 선로가 시작되는 발리스 4의 위치와 환경 정보를 얻는다. 계산에 의해 다음 선로의 영향권 밖임을 판단하게 되고 가속을 결정한다.

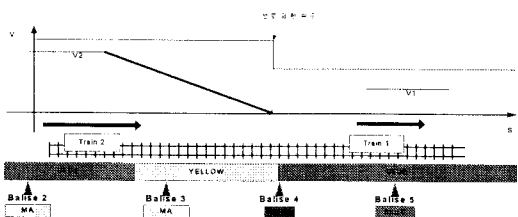


그림 5. MA에 의한 경우 2 (발리스)

그림 5에서 train1이 아직 발리스 5를 지나지 않았기 때문에 train2는 발리스 2를 지나면서 발리스 4의 위치에서 속도가 0이 되도록 감속하여야 한다. 또한 그림 5에서는 그림 4에서의 가속으로 인해 다음 선로에 의한 YELLOW구간이 길어진 상태이다.

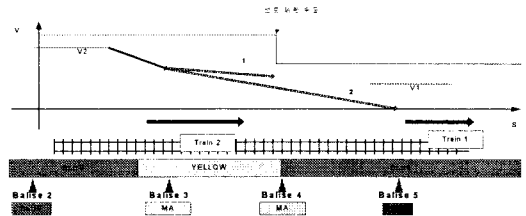


그림 6. MA에 의한 경우 3 (발리스)

그림 6에서 train1이 발리스 5를 지남에 따라 발리스 2는 BLUE 상태가 되고 발리스 3과 4는 발리스 5의 정보를 MA로 가지게 된다. 그에 따라서 train2가 발리스 3을 지나면 새로운 MA로 발리스 5의 정보를 전송 받게 된다. 그와 동시에 다음 선로의 제한 속도의 영향권인 YELLOW 구간에 진입하게 된다. 따라서 train2는 두 가지 가속도를 결정하게 된다. 그림 61의 1과 2의 속도 패턴이다. 발리스 5에서 속도가 0km/h 되기 위해서 2의 속도 패턴을 선택하여야 한다. 반대의 경우로서 1의 속도패턴이 2의 속도패턴보다 낮은 경우 1의 속도패턴을 선택하여야 한다. 즉 train2는 다음 선로 제한속도의 경우와 MA에 의한 경우 각각에 대해 가속도를 산출하고 그 중 감속이 큰 쪽을 선택하여야 한다.

2.2 연속제어방식의 안전제동 설정

무선통신 기반의 열차제어 알고리즘에서 필요한 데이터는 진행 중인 열차의 절대위치 및 속도, 현재 선로의 제한 속도, 다음 선로의 제한속도와 절대위치, 선행열차의 절대 위치와 속도이다. 가장 최우선시 되어야 할 제한 속도는 선행 열차가 존재하는 경우이며 선행 열차의 속도로부터 이동 권한 레벨을 정의한다.

- 후행 열차가 선행열차로부터 충분한 거리에 있고 다음트랙으로부터 충분히 안전한 거리라면, 진행 중인 트랙의 제한속도와 열차의 최대속도 중 작은 쪽을 목표속도로 결정한다.
- 후행 열차가 선행열차로부터 충분한 거리에 있고 현재 속도가 다음트랙의 제한 속도보다 크고 충분히 안전한 거리가 아니라면, 목표를 다음트랙의 제한속도로 변경한다.
- 선행 열차로부터 충분한 거리가 아닌 경우 목표 속도를 선행열차속도, 열차의 최대속도, 현재 트랙의 제한 속도, 다음트랙의 제한 속도 중 가장 작은 값으로 변경한다.

목표 속도를 결정하기 위해선 현재 열차의 위치가 선행 열차로부터 안전한 위치인지, 다음 트랙으로부터 충분히 안전한 위치인지를 결정해야 한다. 무선통신 기반의 열차제어 알고리즘에서는 그러한 결정의 근거로 다음과 같은 안전제동모델을 사용한다.

2.2.1 선로제한속도에 의한 안전제동 설정

선로제한 속도를 넘지 않기 위해 목표속도를 선로의 제한 속도로 정한다. 목표 속도에 이르는 동안의 가속도는 나. 절에서 제시한 식에 의해 구해진다. 다음 선로의 제한 속도와 남은 거리를 체크하고, 열차가 다음선로의 황색구간에 침범했을 때 감속을 시작한다.

선로제한 속도에 관해서 적색 구간은 없다. 다음 선로의 황색 구간에 침범하게 되면 저크를 넘지 않는 한도 내에서 감속하여 목표 속도에 도달한다 따라서 개념적으

로는 다음의 그림 7과 같지만 실제로 동작하는 것은 다음의 그림 8과 같다. 그림 8과 같이 동작하는 이유는 황색구간에 진입하게 되면 바로 감속을 시작하기 때문이다.

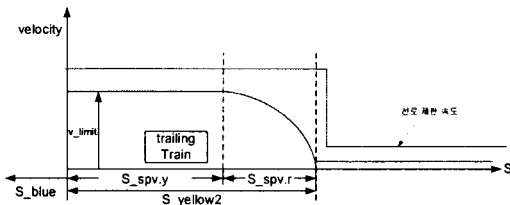


그림 7. 선로 제한속도에 영향을 받는 경우 1

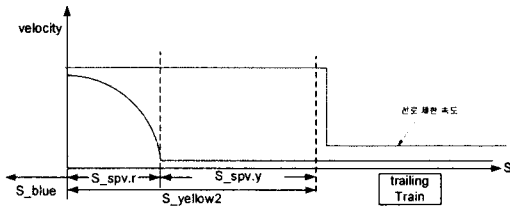


그림 8. 선로 제한속도에 영향을 받는 경우 2

2.2.2 선행열차에 의한 안전제동 설정

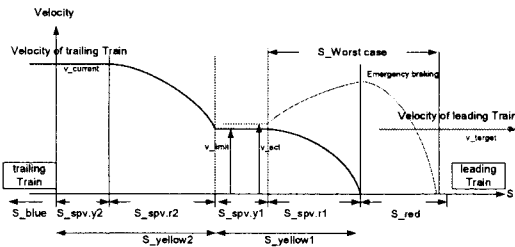


그림 9. 선행열차의 영향을 받는 경우 1

목표 속도는 트랙 속도와 앞 열차의 속도 중 작은 값이 된다. 앞 열차의 황색구역을 침범한 경우이므로 목표 속도를 앞 열차의 속도로 결정하고 감속을 행하게 된다. 이 때 트랙의 황색구역을 침범했을 때와는 다르게 앞 열차의 속도 및 뒤 열차의 감속 능력에 의해 유지되어야 할 거리가 지정되어야 한다. 이 거리는 열차의 길이와 감속 능력에 따라 충분한 완충구간을 포함하여야 한다. 따라서 선행 열차에 의해 영향을 받는 경우 역시 개념적으로는 그림 9와 같지만 실제의 동작은 다음의 그림 10과 같다.

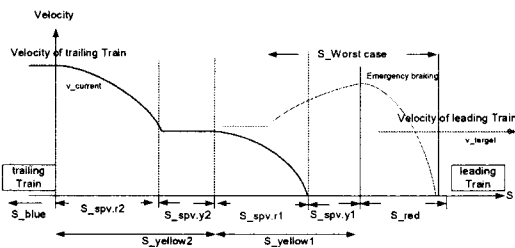


그림 10. 선행 열차의 영향을 받는 경우 2

3. 결 론

본론에서 상세하게 기술하였듯이 본 연구에서는 열차 간격제어를 위해 요구되는 열차위치검지 및 이동권한 부여를 핵심기술로 하는 차세대 flexible 열차제어 알고리즘 연구의 일환으로 연구된 내용중 안전제동 설정에 대한 부분이다. 이를 기반으로 하여 차세대 flexible 열차제어 알고리즘을 개발하였으며, 이러한 알고리즘을 가지고 축소모형을 이용하여 성능을 시험할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이재호 외, "철도시스템 Smart 기술 연구", 한국철도기술연구원 기본사업 보고서, 2005