

# 통신기반 열차 제어시스템의 이동폐색에 관한 연구 (지능형 열차제어시스템)

## A Study on Moving Block using Communication based Train Control System (Intelligence Train Control System)

채행석<sup>1</sup>                      심원섭<sup>2</sup>                      이종우<sup>3</sup>  
Chae, Hang-seog      Sim, Won-Seop      Lee, Jong-Woo

---

### Abstract

This research heightens use efficiency of existent train railroad equipment by maximum through communication based train control system, and because system that take advantage of new skill compares with safety of old signal system same or it that show that is high be .

Examined MBS Embodiment method of most suitable by presenting calculation that find out location of train that this treatise runs free curved line department to embody MBS(Moving Block System) through communication

---

### 1. 서론

철도는 대규모의 인프라를 가지고 있는 시스템으로서 건설 및 운용에 많은 비용을 필요로 한다. 이러한 대규모 시스템에서 지속적으로 추구하고 있는 것중의 하나는 철도의 운용효율 향상이다. 운용효율 향상의 방법은 철도의 여러 분야에서 시도되고 있다.

열차제어분야에서는 고정폐색을 이용하던 기존의 방식을 개선하는 방법으로서 Beacon을 이용하여 열차의 제동력에 따라서 제동체결 시점을 결정하는 것과 무선을 이용하여 열차의 위치와 제동체결 시점을 결정하는 방법을 통하여 열차의 제동점유 구간을 단축하는 방법을 사용하고 있다.

본 연구는 무선기반 열차제어 시스템을 통하여 기존 철도 시설의 운용효율을 최대한으로 높이고, 새로운 기술을 활용한 시스템이 기존 신호시스템과 비교하여 운용효율이 동일 혹은 높다는 것을 보이는데 있다.[1]

본 논문에서는 MBS(Moving Block System)을 구현하기 위해서 임의의 곡선부를 운행하는 열차의 위치를 통신을 통해 알아내는 계산식을 제시함으로써 최적의 MBS구현방식을 검토하였다.

### 2. MBS(Moving Block System)시스템의 개념

CBTC(Communication Based Train Control System ) 시스템에 의해 구현되는 열차 제어방식 중 이동 폐색시스템은 지상의 중앙제어센터에 설치된 컴퓨터가 각 열차의 위치와 속도를 주기적으로 수집하여, 선행열차 위치와 속도제한 지점까지의 거리를 열차로 전송하고, 차상의 컴퓨터가

---

\*1 서울시 도시철도공사 신호통신사업소/서울산업대학교 철도전문대학원 석사과정, 정회원

\*2 서울 산업대학교 전자·정보공학과 교수, 단체회원

\*3 한국철도기술연구원 전기·신호연구본부장 책임연구원, 정회원

열차성능에 맞는 최적의 속도제어를 하는 것이다. 기존 신호시스템과 비교하여 열차사이의 거리가 궤도회로에 의한 폐색구간에 의존하지 않고도, 최소 안전거리를 유지할 수 있고 열차사이의 운전 시격을 현저히 단축할 수 있으며, 궤도회로 등 지상설비의 필요성이 크게 줄어 유지보수 비용을 절감시킬 수 있다.

MBS 시스템 적용시 기대되는 효과는아래와 같다.

- (1) 열차간 간격 단축으로 R/H(Rush Hour) 시간대에 승객 수송용량이 증대한다.
- (2) 열차 속도증가로 고객만족도 향상된다.
- (3) 열차가속 및 제동거리 최소화로 표정속도(정차 시간을 포함한 평균속도) 증가한다.
- (4) 이용승객 증가로 재원증대가 예상된다.

MBS시스템은 제한된 철도신호시스템의 현재 여건에서 가장 합리적이고, 저렴한 차세대 신호시스템으로서 수도권의 교통문제를 해소시킬 수 있는 대안으로 대두되고 있다.

그리고, 열차간 간격제어를 위해 열차의 위치정보를 실시간으로 파악하는 것이 중요하다. 따라서, 열차위치를 계산할 수 있는 계산식을 제안하였다. [2][3][4][5]

### 3. 열차의 위치정보

열차의 위치정보를 계산하기 위해 샌프란시스코 고속통근열차(BART:Bay Area Rapid Transit)에 시범적용하고 있는 AATC(Advanced Automatic Train System)시스템을 기본 모델로 하여 열차위치 계산식을 유도하였다.

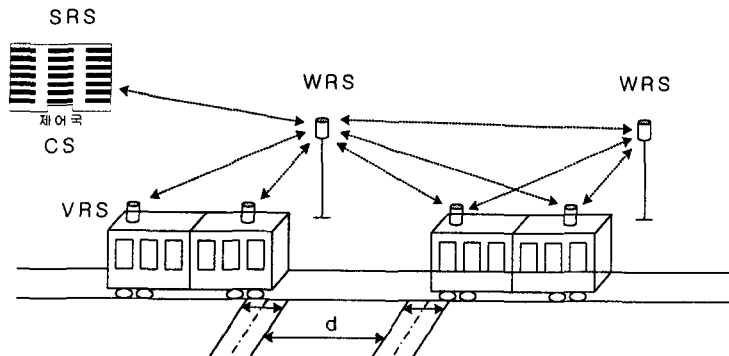


그림 1 AATC시스템 기본 구성도

- VRS (Vehicle Radio Set): 차상 무선기
- WRS(Wayside Radio Set): 지상 무선기
- SRS (Station Radio Set): 제어국용 무선기
- CS(Control Station): 제어국

그림 1과 같이 AATC시스템의 구성은 지상측에서 CS와 제어국용 무선기(SRS) 2대, 안테나, 제어용 컴퓨터(SC) 1대, 지상무선기(WRS), 안테나에 전원배선과 ID설정용 케이블이 접속되어있으며, 차상측에는 차상무선기(VRS)와 안테나 및 ATIC(기존의 ATC 장치와 접속하기 위한 인터페이스 장치)장치를 선두 차량 및 후미 차량에 각각 한 대씩 설치하였다. 따라서, 종래의 신호시스템에 비해서 적은 종류의 기기 및 설비 수로 구성되어있다. 그림 2는 VRS와 WRS간의 TOA(Time

Of Arrival)과 기준시간오차를 표시한 것으로 VRS의 기준시간이 WRS보다  $\Delta T$ 만큼 빠르다고 가정하였다. 또한, 열차가 운행하는 선로의 좌표정보와 지상 WRS 좌표정보는 이미 알고 있다. 따라서, 평면상에서 열차의 절대위치(VRS의 위치)를 구하는 절차는 다음과 같다.

- ① 두 개의 WRS와 VRS간의 거리(L)를 구한다.
- ② 각각의 WRS에서 L을 반지름으로 하는 원을 그리고 만나는 점의 좌표를 확인한다.
- ③ 실제 선로의 위치 정보와 비교하여 허상의 좌표를 버린다.
- ④ 실상의 좌표 값으로 열차의 절대위치를 확인한다.

각 단계에서 수행하는 절차는 지상무선기(WRS)에서 보낸 무선 메시지를 차상무선기(VRS)에서 수신하며 VRS는 WRS 정보에서 기준시간축의 차  $\Delta T$ 를 포함한 도착시간(TOA1)을 예측한다. 이 결과, 편도 전달거리는 그림 2에서  $TOA1 + \Delta T$ 로 표시할 수 있으며 또한, 차상무선기(VRS)에서 지상무선기(WRS)로 같은 방법으로 정보를 송신하여 이때 계산한 도착시간(TOA2)은 기준시간축의 차  $\Delta T$ 를 빼주어야 한다.

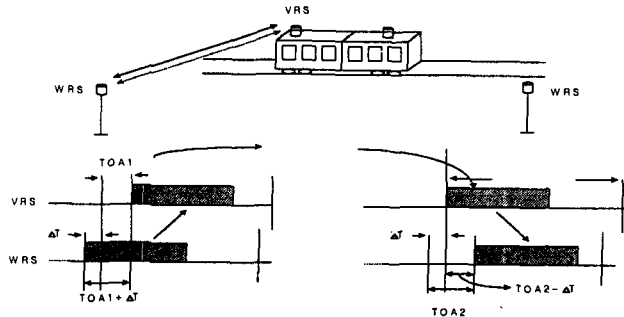


그림 2 거리측정 원리

편도 전달시간  $TOA2 - \Delta T$ 이다.  $TOA1$ 과  $TOA2$ 를 가산하여 2로 나누면 편도분 전파의 지연시간을 구할 수 있다.

WRS가 VRS로 전송한 메시지와 그에 대한 회신 메시지내부의 시간정보를 통해서  $TOA$ 와  $\Delta T$ 의 값을 구할 수 있다. 그림 3은  $TOA$ 가 2분,  $\Delta T$ 가 1분인 경우에 전송 시나리오 사례이다.

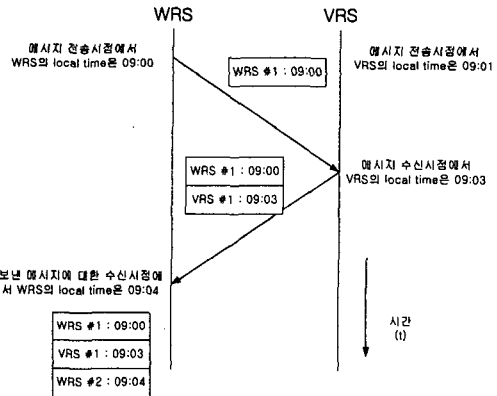


그림 3  $TOA : 2[\text{min}]$ ,  $\Delta T : 1[\text{min}]$ 인 경우

· 편도분 지연시간

$$= \frac{(TOA1 + \Delta T + TOA2 - \Delta T)}{2}$$

$$= \frac{(TOA1 + TOA2)}{2}$$

위 식에서 편도분 시간을 구해서 아래 식에 대입하면 편도분 거리를 구할 수 있다.

· 편도분 거리 (S) =  $C \times \frac{(TOA1 + TOA2)}{2}$  (C=광속= $3 \times 10^8$  [m/s])

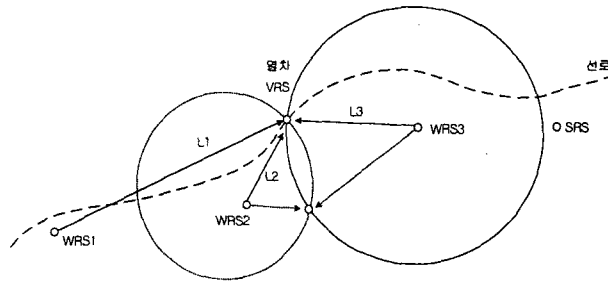


그림 4 Mapping 법

그림 4는 이미 알고있는 선로 정보를 통해서 허상의 좌표점을 버리고 열차가 존재하는 실상의 좌표점을 찾는 Mapping 법을 나타내고 있다.

2개소의 WRS로부터 측정된 VRS까지의 거리측정치로부터, 선로상에 Mapping 하여 열차의 절대위치를 구할 수 있다.

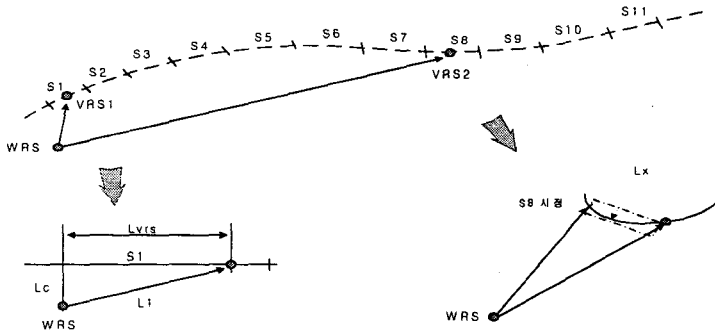


그림 5 곡선부 보정 방법

그림 5는 WRS에서 통신을 통하여 S1지점의 VRS1과의 거리를 측정하고, S8지점의 VRS2와 거리를 측정하여 열차가 이동한 VRS1에서 VRS2까지의 거리를 계산해 낼 수 있다.

그림 6은 곡선부 P1에서 P2 사이의 열차가 이동한 거리를 측정하는 방법이다.  $\triangle ABP1$ 의 세변의 길이  $L1, L2, L3$ 을 미리알고 있으므로  $\angle a1, \angle a2, \angle a3$ 의 각도를 구하기위해 삼각형 공식을 적용해 식을 정리하면 아래와 같다.

$\triangle ABP1$  삼각형 넓이 공식 ( $S = \frac{1}{2} \times \text{높이} \times \text{밑변}$ )을 이용하여 식을 전개하면

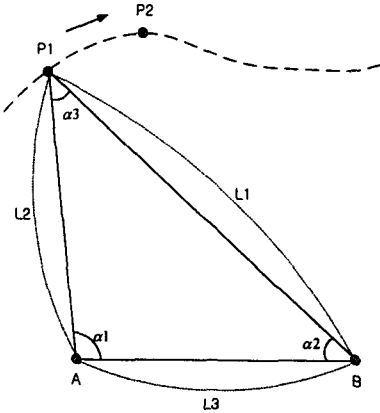
$$2S = \sin a1 \cdot L2 \cdot L3 = \sin a2 \cdot L3 \cdot L1 = \sin a3 \cdot L1 \cdot L2 \quad (S : \text{면적}, L1, L2, L3: \text{거리})$$

$$\sin a1 = \frac{2S}{L2 \cdot L3}, \quad \sin a2 = \frac{2S}{L1 \cdot L3}, \quad \sin a3 = \frac{2S}{L1 \cdot L2} \text{이다.}$$

[헤론의 공식] : 세변의 길이  $L1, L2, L3$  을 알고있으면 그 삼각형의 면적( $S$ )을 구할 수 있다.

$$S = \sqrt{s(s-L1)(s-L2)(s-L3)}$$

$$s = \frac{1}{2}(L1 + L2 + L3) \quad (s : \text{삼각형 세변의 길이의 합})$$



헤론의 공식을 이용하여  $\angle a1, \angle a2, \angle a3$ 의 각을 구하면,

$$\sin a1 = \frac{2S}{L2 \cdot L3} = \frac{2\sqrt{s(s-L1)(s-L2)(s-L3)}}{L2 \cdot L3}$$

$$a1 = \sin^{-1}\left(\frac{2\sqrt{s(s-L1)(s-L2)(s-L3)}}{L2 \cdot L3}\right)$$

$$\sin a2 = \frac{2S}{L1 \cdot L3} = \frac{2\sqrt{s(s-L1)(s-L2)(s-L3)}}{L1 \cdot L3}$$

$$a2 = \sin^{-1}\left(\frac{2\sqrt{s(s-L1)(s-L2)(s-L3)}}{L1 \cdot L3}\right)$$

그림 6  $\angle a1, \angle a2, \angle a3$  구하기

$$\sin a3 = \frac{2S}{L1 \cdot L2} = \frac{2\sqrt{s(s-L1)(s-L2)(s-L3)}}{L1 \cdot L2}$$

$$a3 = \sin^{-1}\left(\frac{2\sqrt{s(s-L1)(s-L2)(s-L3)}}{L1 \cdot L2}\right)$$

$P2$  지점의  $\triangle ABP2$  에 대한  $\angle a1', \angle a2', \angle a3'$ 의 각을 구하기위해 위 식과 동일하게 전개하면,

$$2S = \sin a1' \cdot L2' \cdot L3' = \sin a2' \cdot L3' \cdot L1' = \sin a3' \cdot L1' \cdot L2' \quad (S: \text{면적}, L1', L2', L3' : \text{거리})$$

$$\sin a1' = \frac{2S}{L2' \cdot L3'}, \quad \sin a2' = \frac{2S}{L1' \cdot L3'}, \quad \sin a3' = \frac{2S}{L1' \cdot L2'}$$

$$\sin a1' = \frac{2S}{L2' \cdot L3'} = \frac{2\sqrt{s(s-L1')(s-L2')(s-L3')}}{L2' \cdot L3'}$$

$$a1' = \sin^{-1}\left(\frac{2\sqrt{s(s-L1')(s-L2')(s-L3')}}{L2' \cdot L3'}\right)$$

$$\sin a2' = \frac{2S}{L1' \cdot L3'} = \frac{2\sqrt{s(s-L1')(s-L2')(s-L3')}}{L1' \cdot L3'}$$

$$a2' = \sin^{-1}\left(\frac{2\sqrt{s(s-L1')(s-L2')(s-L3')}}{L1' \cdot L3'}\right)$$

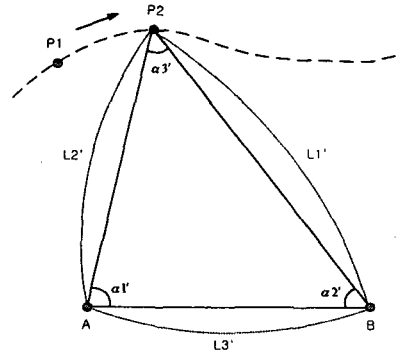


그림 7  $\angle a1', \angle a2', \angle a3'$  구하기

$$\sin \alpha\beta' = \frac{2S}{L1 \cdot L2} = \frac{2\sqrt{s(s-L1)(s-L2)(s-L3)}}{L1 \cdot L2}$$

$$\alpha\beta' = \sin^{-1} \left( \frac{2\sqrt{s(s-L1')(s-L2')(s-L3')}}{L1' \cdot L2'} \right)$$

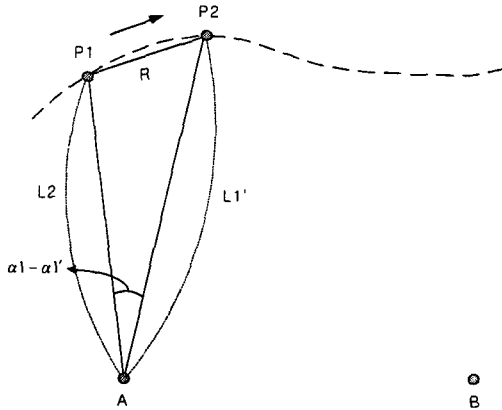


그림 8 R의 계산

위 식에서 구한  $\angle \alpha1$ 과  $\angle \alpha1'$ 을 이용하여 간단히  $\angle \alpha1 - \alpha1'$ 의 각을 구할 수 있다.

$\triangle AP1P2$  에서 P1에서 P2까지의 이동거리 R을 구하기 위해서는 아래의 식을 통해 구할 수 있다.

현재 우리는  $\triangle AP1P2$  삼각형 두 변의 길이 L2, L2'을 알고있다. P1에서 P2로 이동한 거리 R을 구하기 위해서는 삼각형 2코사인 법칙을 이용하여 이동거리(R) 계산해 낼 수 있다.

$$R^2 = L2^2 + L2'^2 - 2 \cdot L2 \cdot L2' \cdot \cos(\alpha1 - \alpha1')$$

위 식을 이용하여 R을 구하면,

$$R = \sqrt{L2^2 + L2'^2 - 2 \cdot L2 \cdot L2' \cdot \cos(\alpha1 - \alpha1')}$$

계산식을 구하는 방법을 다시 정리하면 그림 9와 같다.[6][7]

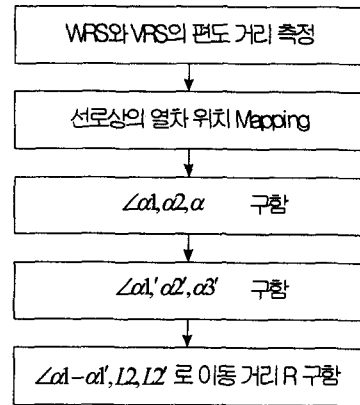


그림 9 계산식 순서도

## 6. 결론

위 계산식은 P1, P2 사이의 거리 R에 대해서만 계산하였다. 선로를 더 세분화하여 P3~P10~P100...까지 적용한다면 각각의 선로 좌표에 대한 열차의 위치를 계산해 낼수 있다.

또한 직선부 선로 보다 까다로운 곡선부 선로에 대한 거리 R을 계산을 할때는 ,거리 R을 극히 짧게 만들어 곡선부 선로를 거의 직선에 가까운 거리로 만들면 열차의 위치를 계산 할수있다.

참고로, 현재 알려진 열차간격 유지 방법에는 아래의 3가지가 있다.

- (1) 시간 간격법 : 진로상의 어느 특정지점을 선행열차가 지나가고, 일정한 시간이 흐른후 후행 열차가 운행할 수 있는 방법.
- (2) 공간 간격법 : 궤도를 물리적 구간으로 잘라 폐색 개념을 나누는 방법.
- (3) 연속 간격법 : 기존의 공간적 위치이동 개념의 열차검지에서 더 향상된 연속적 위치이동 개념의 열차간격을 검지하는 방법(MBS).

위 방법중에서 열차의 연속적 위치이동을 파악할 수 있는, 연속간격법(MBS)방식이 미래의 열차제어 방식으로 가장 적합하다고 생각된다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] "2002년 추계학술대회 논문집(2002.10)", 한국철도학회.
- [2] "우리나라 철도교통정책 (MBS)의 방향", 정보화, 건설교통부.
- [3] "철도신호공학", 동일출판사 박재영 외 2인, 2001년 9월.
- [4] "무선을 이용한 열차제어 시스템의 동향", 한국철도기술연구원 (2000), 철도신호통신 연구팀.
- [5] "도시철도 표준화 연구개발 사업 2002년도 연구결과 보고서", 2002년 12월.
- [6] "위상차(POA)를 이용한 이동체의 위치추적 기술", 윤용기외 2명, 철도기술 연구원.
- [7] "일본 전기학회 기술보고서", 제 904호, 일본 전기학회.