

EPLRS 기술을 이용한 열차위치검지 방법

The Train Detection Method Using Enhanced Position Location Reporting System

최동혁* 전종화 최혜림 박기수 류명선 최창호
Choi, Dong-hyuk Quan, zhonghua Choi, Hye Rim Park, Gie Soo Ryou, Myung Seon Choi, Chang Ho

ABSTRACT

There is growing interest in CBTC(Communication Based Train Control) system in accordance with the development of the communication technologies. The CBTC system, which adopts the moving block, has advantages such as headway and installation cost reduction compared with the existing system with fixed block. For the moving block system, it is required to locate the trains in real-time. Based on EPLRS(Enhanced Position Location Reporting System) technology, the train position can be provided only through the communication between radios. This paper introduces EPLRS based train detection method and verifies its effect by instance.

1. 서 론

1800년대 말에 개발된 궤도회로는 100년이 넘는 시간동안 유일한 열차 제어방식으로 사용되어 왔다. 하지만 근래에 들어 무선 통신기술이 비약적으로 발달함에 따라 무선통신을 이용하여 열차를 제어하는 CBTC(Communication Based Train Control) 기술이 유럽, 일본 등 철도선진국을 중심으로 연구되고 있다. CBTC 시스템의 가장 큰 장점은 궤도회로를 이용한 고정폐색 방식이 아닌 이동폐색을 구현함으로써 시격을 획기적으로 단축하여 운행성능을 높일 수 있다는 점이다.

이동폐색 방식을 구현하기 위해서는 열차의 위치를 실시간으로 검지할 수 있어야 하는데, 여러 가지 형태의 방법들이 연구되고, 구현되어 왔다. 현재 대부분의 CBTC 시스템에서는 RF-ID 태그를 이용한 열차 위치 검출방식을 사용하고 있는데, 이러한 방식은 설치된 RF-ID 태그의 숫자가 많을수록 더욱 정밀한 열차 위치 추적이 가능하다. 즉, 고정밀의 열차 위치 검출을 위해서는 RF-ID 태그를 계속적으로 추가하여야 하므로 설치비용과 유지보수 측면에서 단점을 가지고 있다.

본 논문에서 언급하는 EPLRS 기술은 추가적인 장비가 필요 없이 무선기간의 통신을 이용하여 무선 기 간의 거리를 파악할 수 있는 기술이다. 따라서 EPLRS 기술을 이용하여 열차의 위치를 검출하는 방법은 시스템의 구축과 유지보수가 용이한 장점을 가지고 있다. 이러한 EPLRS를 이용한 열차위치 검지 방법은 미국과 일본 등에서 상용화 제품을 개발 중이며, 국내에서도 경량전철 시험선을 구축하여 이 방식을 적용하고 있다. 본 논문에서는 EPLRS를 이용하여 열차 위치를 검출하는데 관련한 시스템 구축과 위치 검출 알고리즘에 대해서 설명하고, 실제 거리 측정 데이터를 제시하여 그 효용성을 증명한다.

* (주)포스콘 기술연구소

E-mail : cdh082@poscon.co.kr

TEL : (02)3290-4422 FAX : (02)925-1812

2. EPLRS 기술

EPLRS 기술은 군사 작전 시 아군의 병력 현황을 사령실에서 손쉽게 파악할 수 있도록 개발된 시스템이다. EPLRS 기술은 전체 무선 네트워크가 하나의 시간에 동기 하여야 하며, 동일한 주파수 대역으로 통신하여야 한다. 따라서 EPLRS 기술은 기본적으로 TDMA 프로토콜을 이용하여 통신을 하게 된다. EPLRS 기술에서 각 무선기간의 거리를 구하는 방법은 무선기간 통신을 수행할 때, TOA(Time Of Arrival)를 측정하여 거리를 산출하게 된다. TOA는 아래 그림 1.과 같이 메시지가 도착한 시간을 뜻한다.

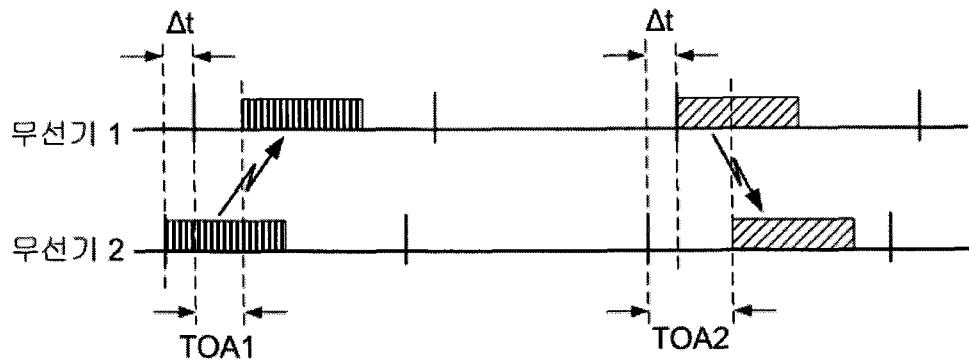


그림 1 무선기간 통신시 메시지 송수신 타이밍도

위와 같이 무선기 1과 무선기 2가 통신 중일 경우, 무선기 2에서 무선기 1로 메시지가 전송될 때, 메시지 전송지연 시간은 $TOA1 + \Delta t$ 이다. 여기서 Δt 는 Offset 시간으로 무선기간 정확한 동기가 이루어 지지 않았을 때 생기는 시간차이이다. 같은 방법으로 무선기 1에서 무선기 2로 메시지가 전송될 때, 발생한 메시지 전송지연 시간은 $TOA2 - \Delta t$ 로 구할 수 있다. 따라서 평균 메시지 전파지연 시간은 $(TOA1+TOA2)/2$ 와 같이 구해진다. 전파의 전송속도가 광속과 같다고 하면, 두 무선기간 거리 L 은 위 식(1)과 같이 산출할 수 있다. 여기서 C 는 광속을 나타낸다.

$$L = C \times \frac{TOA2 + TOA1}{2} \quad \text{식(1)}$$

3. 시스템 구성

시스템은 다음과 같은 세 가지 무선기기를 이용하여 구성할 수 있다. 제어역사에 설치되는 SRS(Station Radio Set)와 선로변을 따라 설치되는 WRS(Wayside Radio Set), 그리고, 차량위에 설치되는 VRS(Vehicle Radio Set)로 시스템은 구성된다. SRS, WRS, VRS는 설치위치만 다를 뿐 똑같은 사양과 기능을 가지는 EPLRS 무선기기이다. 시스템의 구성도를 아래 그림에서 볼 수 있다.

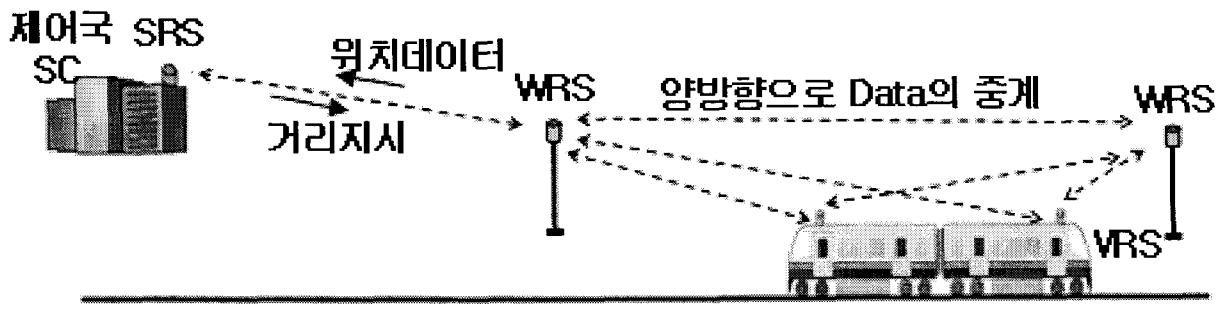


그림 2 시스템 구성도

VRS는 차량의 선두부와 후미부에 하나씩 설치된다. 이것은 열차의 정확한 길이를 파악하여 인접 열차와의 안전제동거리를 계산하기 위해서이다. 차량에 설치된 VRS는 선로변에 설치된 인접한 WRS 두 곳과 통신을 한다. 따라서 차량이 주행함에 따라 VRS 와 통신하는 WRS는 순차적으로 바뀌게 된다. VRS를 통해 WRS로 전송된 차량정보 등은 선로변에 위치한 WRS를 순차적으로 경유하여 SRS에게 전송된다. 각 무선기간의 통신이 이루어질 때 무선기간의 거리 또한 계산되어 함께 전송된다. SRS를 통해 차량 정보와 함께 VRS와 WRS 사이의 거리 정보를 수신한 제어역사에서는 차량의 위치를 파악하고 제동 패턴과 속도정보 등을 계산한다. 이 정보는 다시 SRS, WRS, VRS를 거쳐 차량에게 전송된다.

4. 열차위치 검지 방법

무선 통신을 이용한 차량 위치 검출은 VRS와 인접한 두 개의 WRS 사이의 거리를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다. 그림과 같이 VRS와 WRS1 사이의 거리를 L1이라 하고, WRS2 사이의 거리를 L2라 하면 L1과 L2의 직선거리를 가지는 지점을 두 군데 산출할 수 있고, 이중 선로상에 위치한 점이 VRS의 위치 즉, 차량의 위치로 결정되게 된다.

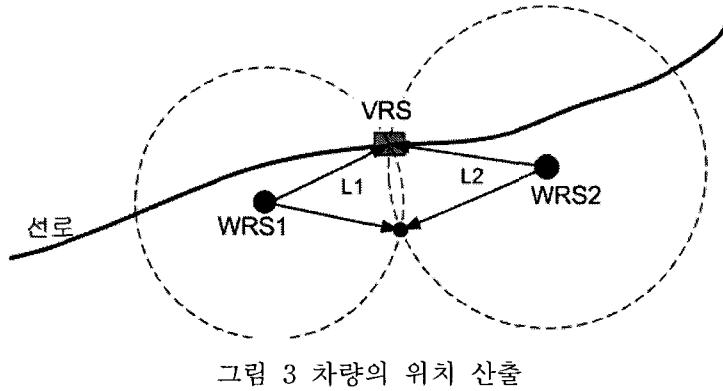


그림 3 차량의 위치 산출

위와 같은 과정을 통하여 차량의 선로상 위치를 파악하면 열차간의 거리는 다음과 같은 방법을 사용한다. 만일 선로가 직선이라면 WRS 간의 길이를 이용하여 열차 사이의 거리를 파악하는데 어려움이 없을 것이다. 하지만 철도선로가 곡선일 경우 별도의 방법을 이용하여 열차의 위치를 파악하고 열차간 거리를 구해야 한다. 곡선 또는 구배구간에서 열차의 위치를 계산하기 위해 아래 그림과 같이 선로를 적당한 길이를 가진 세그먼트로 분할하고, 세그먼트의 끝단에 맞추어 WRS를 설치한다. WRS와 각 세그먼트 끝단 사이의 거리와 각 세그먼트의 길이는 데이터베이스화 하여 제어역의 CBTC 지상장치에서 관리한다.

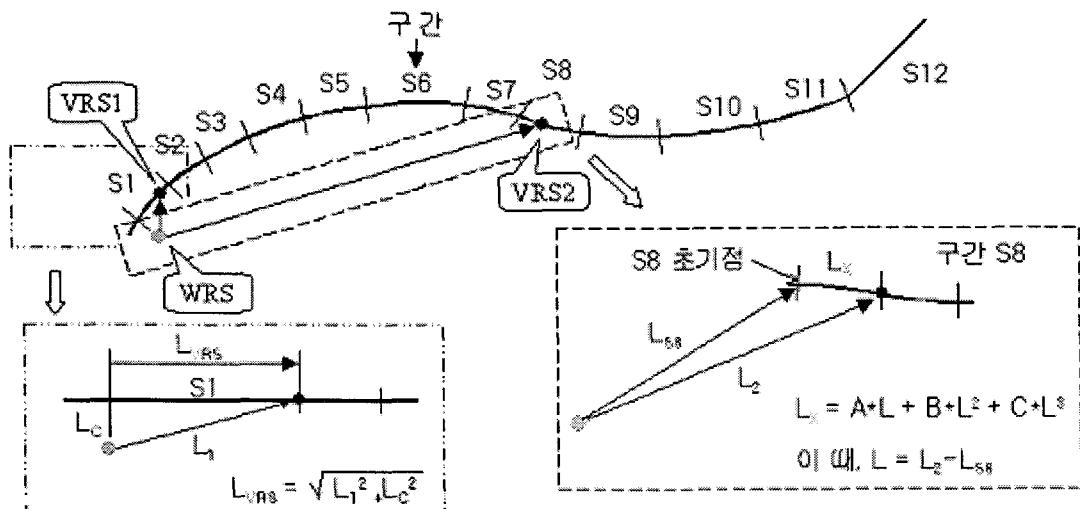


그림 4 열차간 거리 측정

만일 열차가 S1과 같이 WRS와 인접한 세그먼트에 위치하고 있다면, 선로의 길이는 그림 왼쪽 하단의 상자와 같이 피타고라스 정리를 통해 근사치를 구할 수 있을 것이다. 하지만 S8과 같이 WRS와 멀리 떨어진 지점에 위치한 열차일 경우 남은 선로의 길이를 구하기 위하여 선로의 곡선을 삼차 곡선으로 근사화 한다. 위 그림의 오른쪽 상자에서와 같이 이미 알고 있는 정보인 WRS와 세그먼트 끝단 사이의 거리(L_{ss})과 방금 측정된 WRS와 VRS사이의 거리(L_2)를 이용하여 삼차식을 만든다. 계수로 사용된 A, B C는 선로의 상태와 조건에 맞추어 미리 계산된 상수이다. 만일 계산된 L_x 값이 실제길이와 많은 차이를 가진다면, 세그먼트를 더욱 세분화하여 오차를 줄일 수 있다. 이렇게 계산된 L_x 와 세그먼트의 길이를 더하여 열차간의 거리를 계산하고, 안전제동거리와 속도 계산에 사용한다. 이러한 계산은 제어역의 CBTC 지상장치에서 이루어진다.

5. 열차 위치 측정 결과

경산의 경량전철 시험선의 무선기기는 약 1.9 킬로미터의 선로에 WRS 7기와 SRS 2기가 선로를 따라 설치되어 있다. 차량에는 VRS(201)과 VRS(202)가 선두부와 후미부에 설치되어 있다. VRS와 WRS간의 거리 측정 결과를 알아보기 위하여 아래 그림과 같은 실험환경을 구성하였다. SRS를 통하여 CBTC 지상장치에 전송되어 저장된 Log 데이터 중 VRS-WRS 거리 데이터만을 추출하여 그래프로 나타내어 보았다.

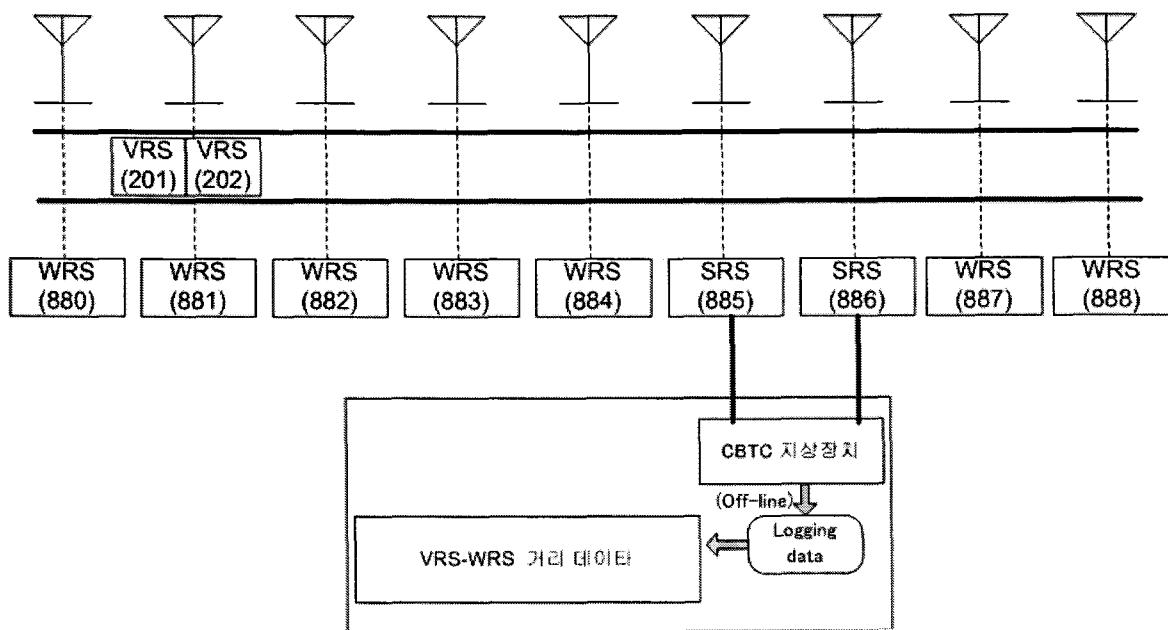


그림 5 무선기간 거리측정 실험환경

각 그래프의 Y축은 무선기간의 거리를 나타내며 단위는 Feet 이다. 선로의 위치를 나타내며 WRS880을 0으로 하여 WRS888까지 킬로미터로 나타내었다. A. 그래프를 보면 열차가 WRS880에서 출발하면서 거리가 선형적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. B. 그래프는 WRS880에서 출발한 열차가 WRS881로 접근하면서 거리가 줄어들다가 WRS881을 지나친 후 다시 거리가 증가하는 것을 볼 수 있다. C. 그래프는 WRS882와의 거리, D는 SRS886과의 거리, E는 WRS887과의 거리정보를 각각 나타내며, 열차가 지나감에 따라 B 그래프와 같이 거리의 감소와 증가를 보여주고 있다. F 그래프는 WRS888과 VRS201과의 거리를 나타내며 열차가 접근하면서 거리가 감소하는 것을 볼 수 있다. 그래프를 통해서 VRS와 WRS간의 거리 정보가 큰 오차 없이 CBTC 지상장치로 업데이트되었음을 알 수 있다. 이러한 정보를 수신한 CBTC 지상장치는 이 정보를 이용하여 앞에서 설명한 방법으로 열차의 위치와 거리등을 계산한 후 속도정보와 거리정보를 다시 차량에게 전송하게 된다.

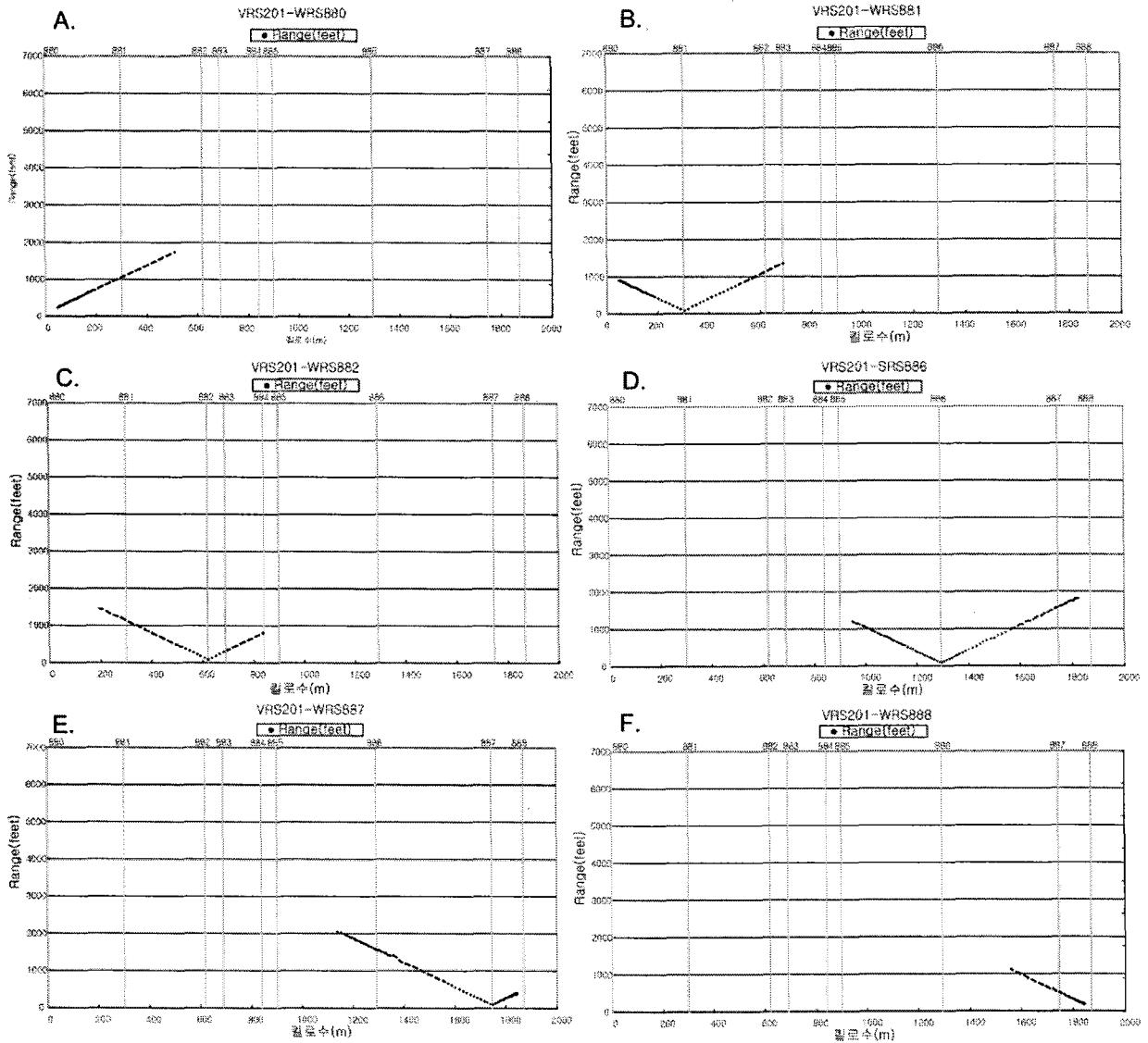


그림 6 VRS-WRS 간 거리측정 결과

6. 결론

본 논문에서는 EPLRS 기술을 소개하면서 EPLRS 기술을 이용하여 열차위치를 검출하고 열차간 거리를 산출하는 방법에 대해서 설명하였다. 그리고 실제 시험선에서 실험을 통하여 무선기간 거리 산출 결과를 알아보았다. 실험 결과를 살펴보면 차량이 이동할 때, VRS와 WRS사이의 거리가 정상적으로 측정되어 CBTC 차상장치로 업데이트 되는 것을 알 수 있다.

논문에서 언급한 바와 같이 EPLRS 기술은 별도의 장비가 필요 없이 통신기기만으로 열차의 위치 및 거리를 파악할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 따라서 시스템의 설치나 유지관리 측면에서 RF-ID 태그가 필요한 다른 CBTC 기술보다 CBTC에 더욱 적합한 기술로 볼 수 있을 것이다.

참고문헌

1. IEEE, "IEEE P1474.1/D8.0 Draft Standard for Communications-Based Train Control(CBTC) Performance and Functional Requirements", Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 1999.
2. Kivett J.A, Cook R.E., Phillips L.A.(1988), "Enhanced PLRS development testing-an overview and status report", IEEE
3. G. L. Mayhew, J. G. Himes, J. A Evans(1994), "Application of radio navigation technology to advanced automatic train control", IEEE
4. Eugene Nishinaga, Hohn A. Evans, Gregory L. Mayhew(1994), "Wireless Advanced Automatic Train Control", IEEE
5. 포스콘, 일본신호(2005), “한국 KRRI 시험선 CBTC 신호 시스템 안전성 평가 입회 시험 보고서”, 포스콘
6. 포스콘, 일본신호(2005), “한국 KRRI 시험선 신호제어 시스템 차상-연선무선기 측거 결과 평가서”, 포스콘
7. <http://www.tsd.org>