

무선통신기반 열차제어를 위한 통신시스템 구축방안에 관한 연구

A Construction Method for CBTC Communication Networks

김종기† · 최규형* · 이기서**

Jong-Ki Kim · Kyu-Hyoung Choi · Kee-Seo Lee

Abstract

This paper presents an optimization approach to the configuration of train radio communication network for CBTC. The target specifications of CBTC communication systems are derived from technical requirements for CBTC. The proposed communication system has a ring-topology backbone communication network between stations and a radio network based on IEEE 802.11b wireless lan between trains and wayside devices. The proposed method has been applied to the standardization of the signalling system of urban transits.

Keywords : CBTC(Communication Based Train Control), WLAN(Wireless Local Area Network), ATP(Automatic Train protection), ATS(Automated Train Supervision)

1. 서론

철도시스템의 효율성 향상을 위하여 열차운전시각의 단축 및 운행관리의 개선이 요구되고 있으며, 이를 위해 무선통신을 이용한 열차제어(CBTC : Communication Based Train Control)시스템이 차세대 열차제어시스템으로서 주목을 받고 있다. CBTC는, 그림 1에 보이는 것처럼, 기존의 궤도회로 대신에 무선통신을 이용하여 열차를 제어하는 방식으로써 다음과 같은 장점들이 있다[1].

- 1) CBTC에서는 열차의 위치검지를 차상에서 자주적으로 행함으로써 궤도회로와 같은 지상검지 기기를 필요로 하지 않는다. 이를 위해서 일반적으로 지상 트랜스폰더 및 차량의 타코미터(Tachometer)를 사용한다.
- 2) 지상과 차상간의 데이터 송·수신에 고주파 무선통신을 이용하여, 차상에 탑재된 위치검지 센서의 정보 및 속도가 지상으로 전송되고, 지상에서 주행허가 위치를 열차에 전송하는 방식으로써, 대량·고속의 정보교환이 가능하다.
- 3) 차상시스템에서는 제동성과 선로 구배, 제한속도

등의 데이터와 더불어 허용된 위치 내에서 정지할 수 있는 제동곡선을 계산하여 속도초과 및 과주를 방지하는 이동폐색(Moving Block) 방식의 열차제어기능을 구현할 수 있다.

- 4) 무선통신에 의한 선로전환기의 전환과 진로제어를 행하는 것 외에, 열차로부터 전송된 정보를 이용하여 건널목을 제어하는 등 응용 범위가 넓다.
- 5) 선로 주변의 장비들을 현격히 줄임으로써 신뢰성을 개선시키며 유지보수 비용도 감소한다.
- 6) 기존에 설치 운영되고 있는 신호설비에 추가설치 및 기존 설비를 중단시키지 않은 상태에서 전면적인 개량이 용이하다.

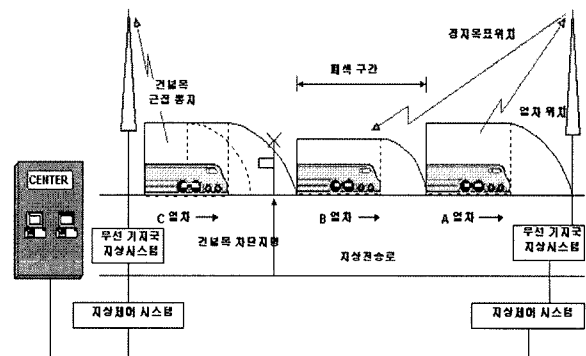


Fig. 1. Configuration of CBTC system

† 책임저자 : 정희원, 한국철도기술연구원, 전기신호연구본부
E-mail : jkkim@krii.re.kr
TEL : (031)460-5430 FAX : (031)460-5449
* 정희원, 서울산업대학교, 철도전문대학원, 교수
** 정희원, 광운대학교, 정보제어공학과, 교수

이상과 같은 CBTC 시스템의 구현에 있어서 기술적으로 가장 중요한 것은, 주행 중인 열차와 지상간의 무선통신기능으로써, 제어 및 상태 정보 증가에 따른 전송용량의 증대와 더불어 열차제어시스템에서 요구하는 높은 수준의 신뢰성 및 안전성을 확보하는 것이 중요하다. 이를 위해, 본 논문에서는 도시철도 신호표준화의 일환으로써, CBTC를 위한 최적의 무선통신 네트워크 구축방안에 대하여 검토하였다.

2. CBTC 통신시스템 기능

2.1 CBTC 통신시스템 구성

CBTC의 구성요소중 통신시스템은 그림 2에 보이는 것처럼, 선로를 따라 주행하는 차상과 지상간의 원활한 무선통신을 수행하고, 자동열차운행관리시스템(ATS:Automated Train Supervision)과 영역제어기(Zone Controller) 사이의 원활한 유선통신을 수행하기 위한 유무선 통신 인프라를 지칭한다. 이 중에서 특히 무선시스템은 지상의 고정무선장치와 차상의 이동무선장치간의 무선링크 및 각 네트워크와의 인터페이스 부분까지로써, 열차제어를 위한 핵심 네트워크로 동작한다[2,3].

2.2 CBTC 통신시스템 기능[4]

CBTC 통신시스템의 주요특성은 다음과 같다.

- ① 궤도 회로와 무관하게 차상 장비를 통해 열차위치를 검지한다.
- ② 열차의 위치정보와 기타 차량상태 정보를 차상과 지

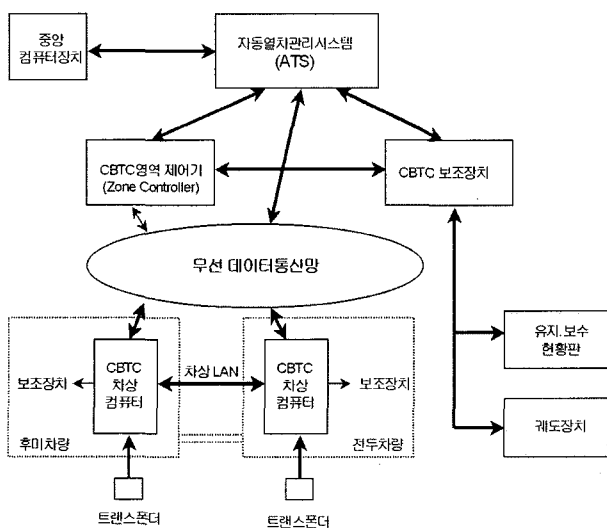


그림 2. Configuration of CBTC communication system

상간 무선데이터링크를 통해 지상의 영역제어기로 전달한다.

- ③ 열차의 위치정보 및 지상 연동장치로부터의 입력사항을 근거로 각 CBTC 장착 차량의 운행권한 한계를 결정한다.
- ④ 운행제어정보와 기타 차량제어 데이터를 차상과 지상간 무선링크를 통해 해당 열차에 전송한다.
- ⑤ 필요한 CBTC 수정 명령을 지상의 영역제어기에서 연동장치로, 또한 열차위치 등 현장 상황을 연동장치에서 영역제어기로 전송하여 CBTC 기능을 지원한다.

2.3 CBTC 무선시스템 요구조건

CBTC용 통신시스템은 기본적으로 다음의 성능조건에 맞게 설계되어야 한다.

- ① 모든 구간에 걸쳐 지상과 차상간의 무선링크는 지리적으로나 시간적으로 끊김이 없이 안정적이어야 한다.
- ② 무선링크에 의한 데이터 처리용량은 해당 CBTC 시스템 운영에 필요하다고 파악되는 통신소요량 보다 충분한 여유가 있어야 한다.
- ③ 고속의 열차운행조건에서도 안정적인 핸드오버를 통해 지속적인 로밍(Seamless Roaming)을 구현할 수 있어야 한다.

3. CBTC 무선시스템 목표성능

3.1 목표사양

이상과 같이 CBTC에 대한 기술적 요구사항을 감안하여, CBTC용 무선통신시스템에 대해 목표성능을 표 1과 같이 설정하였다. 여기서 도출된 CBTC 무선통신시스템의 목표사양은, 도시철도법에 따른 도시철도 표준화의 일환으로, 도시철도 신호 표준화사양(안)으로 제안될 예정이다.

한편 해외 사례를 보면, 미국 뉴욕지하철의 CBTC 프로젝트에서 무선데이터 전송속도 최대 1.4Mbps, BER 10⁻⁴를 목표성능으로 하고 있으며, 프랑스 파리지하철의 CBTC 프로

Table 1. Specifications of CBTC communication system

항목	목표 성능	비고
무선 데이터 전송속도	1Mbps 이상	
고속 로밍 가능 최대 속도	100Km/h	
데이터 링크 실패율	1% 이하	BER10 ⁻⁴ 이하 ¹⁾
순수 유무선링크 반응시간	0.2초 이하	

¹⁾ BER : Bit Error Rate(비트 오류율)

젝트에서는 무선 데이터 전송속도 1Mbps(최대 3Mbps), BER 10^{-4} , 시속 90Km에서의 고속로밍 구현을 목표성능으로 하고 있는 등 표 1과 큰 차이가 없다[1].

3.2 무선 데이터 전송속도

일반적인 CBTC 시스템에서 한 열차로부터의 양방향 데이터 전송량은 평균적으로 8Kbps정도 인 것으로 나타났다. 따라서, CBTC 시스템에서 무선링크를 통하여 10 편성의 열차와 동시에 통신을 수행한다면, 그 무선 링크에서의 처리율(throughput)은 80 Kbps가 요구된다. 여기서 패킷 통신 방식에서는 순수 처리율이 감소하므로, 여유분을 고려하면 2.5 배 증가된 200Kbps가 무선링크의 순수 처리율로 필요하게 된다[4].

한편, IEEE 802.11b 규격에 의한 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 방식의 무선랜에서, 무선 채널의 처리용량(throughput capacity)은, 모든 사용자가 동일한 크기의 패킷을 사용하고, 데이터 전송률(transmission rate)이 γ_s 로 동일하다면 처리율(throughput bit rate) γ_t 은 다음 식과 같다.

$$\gamma_t/\gamma_b = \gamma_s/\gamma_b e^{-\gamma_s/\gamma_b} \quad (1)$$

여기서, γ_b : 기본 전송률, γ_s : 재전송을 포함한 제공된 부하(offered load)이다.

식 (1)에서, 처리율의 최대치는 $\gamma_s = \gamma_b$ 일때, $\gamma_t = 0.368\gamma_b$ 이 된다. 즉, 데이터 기본 전송속도가 1Mbps 일 때, 최대 처리율은 368Kbps로 된다.

이상으로부터, 앞서 도출된 200Kbps의 무선링크 처리율을 확보하기 위해서는 543Kbps의 전송속도가 필요하게 되며, CBTC 통신시스템의 무선데이터 전송속도를 1Mbps로 할 경우 이의 약 2배가 된다.

3.3 고속 로밍 가능 최대속도

건설교통부에서 고시한 전동차 표준사양의 차량 최고속도인 시속 100Km를 만족시켜야 하므로 이를 기준으로 한다. 시속 90Km의 고속 로밍 시험에 성공한 상용시스템이 출시되고 있는 등 현재 기술수준에서 그 실현은 무리없이 가능하다[1].

3.4 데이터 링크 실패율

도시철도의 멀티패스(다중경로) 환경요인 등으로 인하여 구간별로 지상 무선장치와 차상 무선장치 사이에 일시적으로 링크가 단절되는 경우가 발생할 수 있다. 이에 대해, 여러

차례 선진국의 CBTC 프로젝트에 제안되었던 목표성능 대부분이 1% 이하의 기준을 제시하고 있으며, 이러한 수준은 실제 무선데이터 통신의 품질에 거의 영향을 주지 않는 것으로 보고되었다[5].

이때 무선통신기기의 성능을 설계하면서 평균비트오류율(BER: Bit Error Rate)을 설정하게 되는데, 상용제품의 경우 일반적으로 $BER10^{-4} \sim BER10^{-6}$ 정도이며, $BER10^{-4}$ 은 $BER10^{-6}$ 에 비해 비트 오류 허용률이 높아 약간의 에러를 추가로 허용하는 대신에 수신감도는 더욱 향상된다. 그렇다고 BER을 너무 높게 되면 데이터의 신뢰도가 떨어지므로 어느 수준 이하로 유지해야 한다. 이를 감안하여 최대 $BER10^{-4}$ 이하로 규정한다.

무선링크시스템의 마진이 더 클수록 데이터 링크 실패율은 더욱 작아지게 되나 범규상의 성능제한과 실제 현장의 무선환경에 따라 변수가 많으므로 해당 구간별로 현장시험을 통해서 확인하고 목표성능에 미달 시는 안테나 배치 등을 조정하거나 중계장치를 추가하는 등의 보완조치가 필요하다.

3.5 순수 유무선 링크 반응시간

CBTC 장치의 정보처리 시간을 뺀 순수 유무선 네트워크 사이의 데이터 링크시간으로서, 무선망에서 유선망으로 접속되기까지의 시간을 의미하며, 무선망 내에서도 라우터와 CSU(Channel Service Unit) 혹은 광전송장치 및 무선장치로 연결되는 인라인(in-line) 통신과 지상 및 차상 무선장치 사이의 오프라인(off-line) 통신에 소요되는 시간이 포함된다.

CBTC 전체 통신시스템의 목표성능이 최대 1초 이하이고, CBTC 정보처리 시간을 포함한 지상 ↔ 차상 간 통신 지연시간이 0.5초 이하로 요구되고 있다는 점을 감안하며, 순수한 열차제어용 통신시스템 사이의 통신 반응시간은 최대 약 0.2초(200ms)를 넘지 않도록 한다[6].

4. CBTC 통신시스템 구축

4.1 통신시스템 구축시 고려사항

CBTC 통신시스템을 구축하는데 있어 기본적으로 고려하여야 할 사항은 다음과 같다[7].

- 1) 무선망을 포함하여 전체 통신망을 단일 서브넷(subnet) 네트워크로 구성함으로써, 차상 이동국의 이동에 따른 지상기지국간의 핸드오버(handover)에 대한 부담을 최소화하고, 열차의 고속 주행에 효과적으로 대응하도록 한다.
- 2) 열차운행관리장치와 지상장치, 지상장치간의 통신경

로에 중복성(redundancy)을 확보함으로써 통신신뢰도를 향상시키도록 한다.

3) 전송경로에 오류 발생 시 경로 복구가 빠를 것 등이다.

4.2 통신시스템 방식

CBTC 통신시스템은 그림 3에 보이는 것처럼, 제어용 네트워크와 데이터 네트워크로 구분되고, 데이터 네트워크는 다시 지상-차상간의 무선 랜과 지상측의 선로변/제어국/중앙국이 연결되는 유선 랜으로 구분된다. 이때 각 네트워크에 적용되는 인터페이스 규격들은, 다음과 같이 개방된 규격을 적용함으로써, 네트워크 통합 및 확장이 용이하도록 한다.

1) 제어용 네트워크

열차 제어를 위한 제어용 네트워크로서, 데이터 전송량은 적으나 신뢰성이 높고 실시간 수행능력이 높은 IEEE 1473-L 규격을 적용한다.

2) 선로변/제어국/중앙국 간 데이터 네트워크

IP기반의 이더넷(ethernet) 유선 랜 인터페이스로 표준화된 IEEE 802.3 규격을 적용한다.

지상시스템간의 네트워크 연결로써, 무선통신에 의한 정보들이 백본(backbone) 네트워크를 통해 유선 랜과 접속되기 위한 것이다. 백본 네트워크는 유선 또는 무선을 이용하여 구축할 수 있으나, 시스템의 안정성 및 신뢰성을 고려하

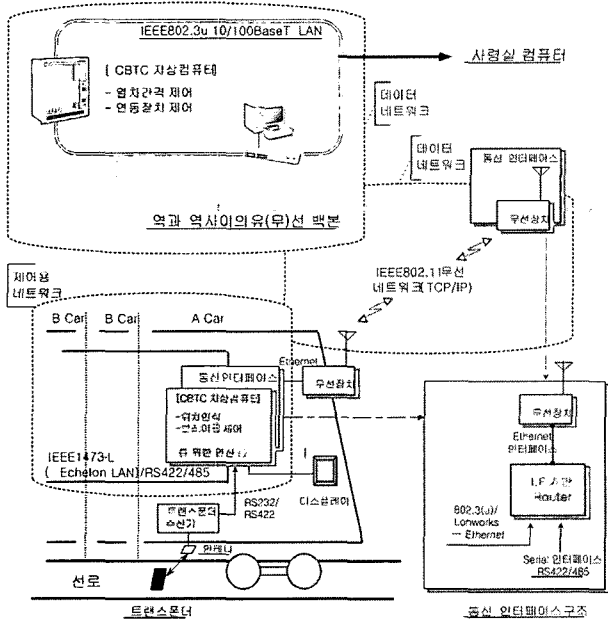


Fig. 3. CBTC communication interfaces

여 광케이블을 기반으로 하는 유선통신망으로 구성하는 것이 바람직하다.

3) 지상-차량간 무선 네트워크

IEEE 802.11 기반의 스펙트럼 확산기술과 반이중통신 방식으로써 IP 기반의 이더넷(ethernet) 인터페이스 기능을 기본으로 하고, 그림 4에 보이는 것처럼 시리얼 통신 및 IEEE 1473-L 표준규격을 준용하는 차상장치 등의 CBTC 보조시스템 및 연동장치 등과의 통신을 지원할 수 있어야 한다.

CBTC에서 지상-차상 간 데이터 전송을 위한 무선통신네트워크를 구축하는 방식은, RF 라우터(Router)를 이용하는 방식과 무선 랜을 이용하는 방식으로 나눌 수 있다. 이 중에서 무선 랜을 이용하는 방식은, 공개 규격(IEEE 802.11b)의 범용 제품들을 사용할 수 있어 호환성과 확장성 및 경제성이 높다는 장점을 가지고 있기 때문에, 표준화의 근본 취지에 부합한다는 측면에서 이 방식을 기준으로 한다.

무선 랜 방식은, 지상 장치(지상기지국)와 열차 장치(이동기지국)간의 무선 링크를 무선 랜을 응용하여 구현하는 방식이다. 이때, 지상 장치간의 라우팅(routing)은 수행하지 않으며, 지상무선장치(AP: Access Point, 이후 AP 라고 함)를 중심으로 하는 지상 장치는 열차와 제어국 장치 사이에서 중계 역할을 수행하는 데 그치도록 되어 있어, 무선네트워크 구성이 간단해진다는 장점이 있다.

4.3 통신망 구성

1) 지상 데이터통신망

CBTC에서의 전체 통신망을 단일 서브넷의 네트워크로 구성하기 위해서는, 역간 통신 등에 라우터를 사용하지 않고 브리지와 같은 OSI(Open Systems Interconnection) 7계층에서의 Layer 2 스위치를 사용하여 네트워크를 접속하도록 한다. 이와 같은 네트워크 구조에서, AP 들은 전부 동일한 IP 주소를 갖게 되므로, 차상무선국의 로밍에 있어서,

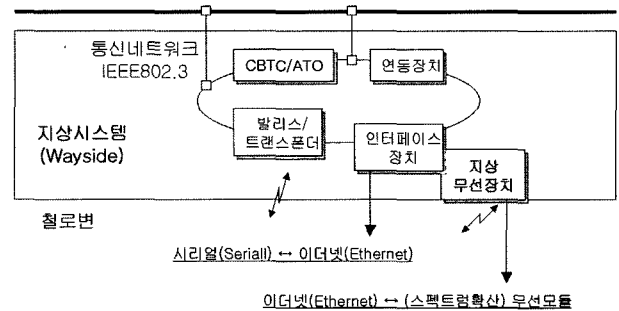


Fig. 4. Radio network interface

Mobile IP와 같은 별도의 복잡한 네트워크 이동성 기능을 부과하지 않아도 된다는 장점이 있다.

그리고, 지상무선통신망의 끊김 없는 접속 및 중복성 (redundancy) 확보를 위해, 그림 5에 보이는 것처럼 링 토폴로지를 사용하여 백본망을 구성한다.

2) 지상-차상 간 무선네트워크

지상무선통신망 구성에 있어서, 데이터의 빠른 전송과 결합발생시 고장 발생영역을 최소화하기 위해서는, 인프라스트럭처 구성의 무선 LAN망에서 트리형 토폴로지로 AP망을 구성하는 것이 바람직하다. 특히, 백본망이 구성이 링 토폴로지이고 AP망의 연결이 링 토폴로지 일 경우에는 데이터의 손실 발생가능성이 있으므로 AP 망을 트리형 토폴로지로 구성할 필요가 있다.

이 경우, 유선 백본 네트워크에 접속되는 AP와 같은 지상 무선장치들은 광케이블과 접속하기 위해 몇 단계의 신호변환 과정을 처리하기 위한 네트워크 접속기기 들이 필요하다. 이상과 같은 검토를 통해 구성된 CBTC 통신시스템 구성도를 그림 6에 보인다.

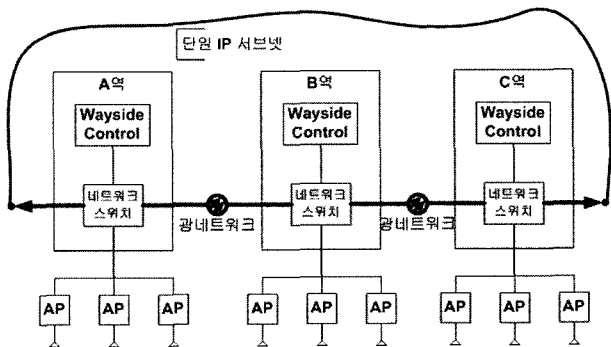


Fig. 5. Wayside data communication network

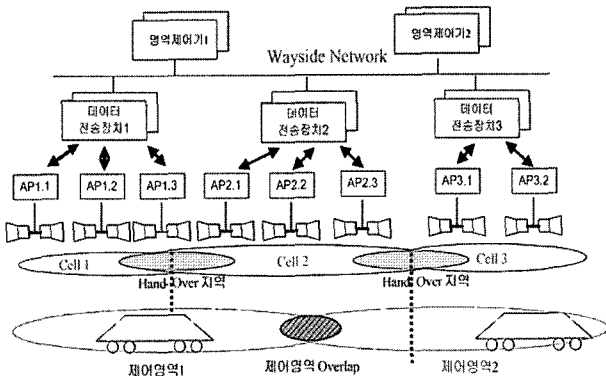


Fig. 6. Wireless LAN based CBTC radio network

4.4 무선네트워크 구성 방안

1) 이중화

무선네트워크의 신뢰성과 안전성을 보장하기 위한 방법으로 그림 7과 같이 이중화한다.

지상의 무선시스템은 전계강도 및 안테나의 패턴특성에 따라 일정한 영역의 Cell을 형성하고 이러한 Cell내에 위치하고 있는 차량 내 무선시스템에 무선 링크를 제공하여 차량과 지상 시스템 및 중앙제어국과의 통신망 구축을 가능하게 한다. 즉, 하나의 Cell에는 열차의 상하행선 모두를 담당하도록 두 대의 지상 무선시스템을 설치하는데, 각각 서로 다른 무선 채널과 독립적인 그룹 ID를 갖도록 설정한다. 예를 들면, 그림 7에 표시된 바와 같이 상행선 방향으로 이동하고 있다고 가정했을 때 좌측의 지상 무선장치들을 홀수망, 우측 지상 무선장치들을 짝수망으로 구분하고 각 Cell은 일련번호를 부여하여 관리하는 것이다. 상행선 전두 차량의 무선장치는 홀수망에 맞는 구성으로(즉, 홀수망과 무선링크를 구성) 설정하고 후미차량의 무선장치는 짝수망에 맞는 구성으로(즉, 홀수망과 무선링크를 구성) 설정한다.

따라서 정상 운행상태에서 상행선은 홀수망과, 하행선은 짝수망과 연동되어 유효데이터를 처리하지만, 홀수망과 짝수망은 실제 하나의 네트워크로 통합되어 있고 무선상으로는 상행선이든 하행선이든 전후 무선장치 모두가 항상 링크되어 있는 상태로 둔다. 가령 상행선에서 전두차량의 무선링크가 실패하는 고장이 났을 경우에는, 제어국에서 이를 감지하여 즉시 후미차량 무선장치의 데이터를 읽어 들이고 유효데이터로 처리한다.

이상과 같은 이중화에 의하여, 하나의 무선링크가 실패하는 고장이 발생할 경우에도 별도의 복구시간 없이 통신 접속이 유지됨으로써 무선링크의 지속시간이 증가되고 가용성이 향상되는 효과를 얻을 수 있다.

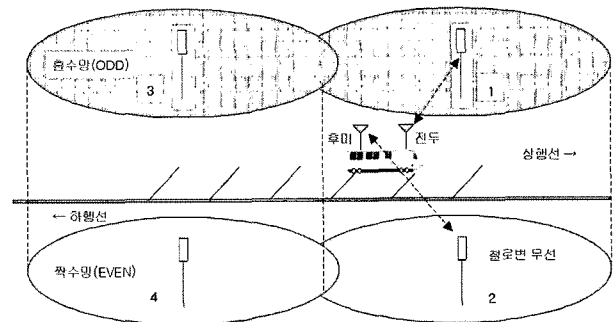


Fig. 7. Duplication of radio network

2) 고속 로밍

열차가 주행하면서 한 통신구간에서 인접한 통신구간으로 이동하게 되는데, 이때 통신이 단절되지 않고 송수신이 유지되는 것이 매우 중요하며, 차상 이동국과 지상무선기지국간의 통신범위(cell coverage) 및 로밍(roaming)을 정확하게 규정할 필요가 있다.

로밍은 일반적으로, 차량 시스템이 지상 인접 Cell들로부터 수신된 전계강도(RSS : Received Signal Strength)를 비교하여 수신신호강도가 우세한 Cell을 선택하여 자동적으로 통신 채널을 맞추어 핸드오버하는 방식으로 수행된다. 이때, 핸드오버의 결정 기준으로는 수신 신호 강도 외에도, 문턱값(일반적으로 회선 품질 문턱값)과 히스테리시스 마진을 사용한다.

IEEE 801.11b 무선랜 표준규격의 무선장치에서 허용할 수 있는 최소 수신감도가 -80dBm으로 보고되어 있고, 안정적인 로밍을 위한 히스테리시스 마진을 15dB라고 하면, 셀 간격 즉 안테나 배치를 위한 기지국 간격을 산정하기 위한 수신감도 허용치는 다음과 같이 된다[8].

$$\begin{aligned} \text{수신감도 허용치} &= -80\text{dBm} + 15\text{dB} \\ &= -65\text{dBm} \end{aligned} \tag{2}$$

이상에서 보는 것처럼, 열차의 고속주행에 대응할 수 있도록 안정적인 로밍을 위한 마진을 고려하여 수신감도 기준을 -65dBm 이상으로 하여야 한다. 즉, 거리에 따른 전파경로 손실을 감안하여, 수신감도가 -65dBm보다 작지 않도록 AP 배치간격을 설정하여야 한다.

이상과 같은 통신범위 및 로밍 기준에 대하여, 일차적으로 수치 시뮬레이션을 통하여 그 특성을 해석하고, 이차적으로 실험실 레벨에서의 축소모의 시험을 통하여 수치 시뮬레이션 결과를 확인하여 그 유효성을 확인한 후, 마지막으로 실제 선로상에 무선장치를 설치하고 반복 시험을 통하여 최적 거리를 구하는 접근방법을 적용하는 것이 필요하다.

철도선로의 특성상 이동국의 이동경로가 선로를 따라 고정되어 있기 때문에, 이를 이용하여 지상기지국간 로밍을 자동적으로 수행하는 방식을 채택할 수도 있는데, 이 경우에는 로밍에 필요한 히스테리시스 마진을 최소화할 수 있고, 결과적으로 안테나 배치 간격을 증가시킬 수 있는 여유를 갖게 되므로, 향후 이에 대한 연구가 필요하다.

5. 결론

CBTC 시스템에서 통신시스템은 열차제어를 위한 정보전

송의 핵심 인프라로써, 모든 구간에 걸쳐 지상과 차상간의 무선링크가 지리적으로나 시간적으로 단절이 없이 안정적이어야 하고, 무선링크에 의한 데이터 처리용량에 충분한 여유가 있어야 하며, 고속의 열차운행조건에도 안정적인 핸드오버를 통해 지속적인 로밍(Seamless Roaming)을 구현할 수 있어야 한다.

이상과 같은 CBTC 통신시스템의 기술적 요구사항을 감안하여, 무선네트워크에 대한 목표성능기준을 무선데이터 전송속도 1Mbps 이상, 고속 로밍 가능 최대속도 100Km/h, 데이터 링크 실패율 1% 이하(BER10⁻⁴ 이하), 순수 유무선링크 반응시간 0.2초 이하로 설정하였다.

CBTC 시스템을 효과적으로 구현하기 위한 통신시스템의 최적 구성방안은 다음과 같다.

- 1) 지상시스템간의 네트워크 연결을 위한 백본(Backbone) 네트워크는 광케이블을 이용하여 IEEE 802.3 규격 유선통신망으로 구성하되, 전체 통신망을 단일 서브넷 네트워크로 구성하여 고속 로밍에 있어 네트워크 이동성 부담을 최소화하고, 지상무선통신망의 끊임없는 접속 및 다중화 확보를 위해 링 토폴로지로 구성한다.
- 2) 지상-차상간 무선네트워크는 IEEE 802.11 규격의 스펙트럼 확산기술과 반이중통신 방식의 무선 랜 방식으로, IP 기반의 이더넷(Ethernet) 인터페이스 기능을 기본으로 하고 시리얼 통신 및 IEEE 1473-L 표준규격을 준용하는 차상장치 등의 CBTC 보조시스템 및 연동장치 등과의 통신을 지원하여, 통신네트워크의 통합을 용이하도록 한다.

또한, 무선네트워크의 신뢰성 및 안전성 확보를 위한 최적화 방안으로써, 무선네트워크를 상·하행선으로 나누어 이중화함으로써 국부적인 통신장치 고장 발생시에도 별도의 복구작업 없이 통신이 유지되는 방안을 제시하였고, 고속 로밍에 대응하여 전파수신감도 -65dBm을 기준으로 AP 배치 간격을 조정하는 방안을 제시하였다.

향후 연구과제로써, 고속 열차 주행에서의 지속적인 로밍을 확보하기 위한 효과적인 셀 설계 및 로밍 기법에 대한 심층연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부에서 시행하는 도시철도 표준화 연구개발사업의 일환으로 수행되었으며, 도출된 연구성과는 도시철도 신호표준화 사양(안)으로 검토 중이다.

참고 문헌

1. 한국철도기술연구원, “도시철도 신호시스템 표준화”, 도시철도표준화사업 연구결과보고서, 2004.12.
2. 한국철도기술연구원, “경량전철 신호제어시스템 기술개발”, 경량전철 기술개발사업 최종보고서, 2004.12.
3. I. Watanabe, “위성·이동체 통신을 이용한 철도시스템”, RRR pp.10-13, 1999.9.
4. C.C. Bantin, “DCS bandwidth Requirements for CBTC and CCTV”, Computers in Railways IX, 2004.
5. H. Moody, “North American View of Future Communication Systems Need”, pp.67-72, Proc. of WCRR '99.
6. “Communications-Based Train Control : An Analysis of Market Growth and Technology Development”, Trade Press Pub., 2000.
7. A. Eikelenboom and A. Kamerman, “Cell Planning with IEEE 802.11 Wireless LANs”, The Third International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, Thailand, 2000.
8. C. Lo and M. Lin, “QoS Provisioning in Handoff Algorithms for Wireless LAN”, IEEE Trans. on Communication, pp.9-16, 1998.