

무선통신기반 열차제어시스템 무선설비 설계 연구

Design of Wireless Communication Based Train Control System

송용수† 이재호* 김용규** 창상훈***
Yong-Soo Song Jae-Ho Lee Yong-Kyu Kim Sang-Hoon Chang

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze and improve the communication interferences in the wireless communication equipments of the CBTC applied to a model intelligence train control system. So far, train positions have been traced by the conventional fixed blocking system to control the operation of the trains, but the new CBTC system uses the on-ground location to transmit the train positions wirelessly to the ground control center continuously, so being more vulnerable to communication interferences. Although the researcher analyzed and improved such interferences in the communication equipments of the CBTC system, there remain more rooms for its improvement.

1. 서론

전자 통신 분야의 급격한 발전과 더불어 정보화 시대에 대응한 각종 통신기기의 사용이 급증하고 있고, 특히 철도교통 분야의 핵심인 열차제어시스템은 국내에서 무선통신을 기반으로 하는 CBTC(Communication-Based Train Control)시스템이 개발되어, 신규로 설치되는 철도 네트워크에서 열차제어시스템의 표준으로 자리를 잡고 있다. 또한 노후설비를 대체할 때도 신규설비로 CBTC 설비가 채택되고 있다. 무선랜이 발전하기 전에는 유도 루프(Inductive Loop)를 이용해 열차와 지상간의 연속적인 통신을 하였지만 1990년대 말 무선랜이 발전되면서 IEEE 802.11 표준과 더불어 IEEE Rail Transit Vehicle Interface Standard Committee 주관으로 Working Group2에서 CBTC 표준으로 IEEE Std1474가 만들어졌다. CBTC의 가장 핵심적인 것은 기존에 열차의 위치를 추적하기 위해 사용했던 궤도회로를 사용하지 않고 양방향 무선통신을 이용하여 열차의 위치 추적 및 열차를 통제할 수 있도록 하는 것을 말하며, 고속 대용량의 데이터 전송이 가능한 시스템을 말한다. 그러므로 전자를 1세대 CBTC인 IL-CBTC(Inductive Loop: CBTC), 후자를 2세대 CBTC인 RF-CBTC(Radio Frequency CBTC)라 부른다. 본격적으로 시작된 RF-CBTC(이하 CBTC)프로젝트는 뉴욕 지하철(NYCT)의 열차제어시스템을 개선하기 위해 1998년 시작된 카날시 라인(Canarsie Line)의 CBTC 시범사업이 처음이라고 할 수 있다 [1].

IEEE 802.11b는 2.4GHz ISM 대역을 사용하는 무선 LAN 표준으로, DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum :직접 시퀀스 확산 스펙트럼)방식을 통하여 최대 11Mbps의 전송속도를 제공한다. 그러나 IEEE 802.11의 특별연구그룹 g(Task Group)에서는 인터넷 및 멀티미디어 서비스의 수용을 위하여 2.4GHz대 역에서 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing :직교 주파수 분할 다중)기술을 적용하여 최대 54Mbps 까지 확장할 수 있으며, IEEE 802.11a는 고속 무선 LAN의 표준으로 1999년 9월 채택되었으며, 5.8GHz ISM 대역에서 OFDM 기술을 적용하여 최대 54Mbps를 제공한다[2].

† 교신저자, 한국철도기술연구원, 무선통신 열차제어연구단
E-mail : adair@krrri.re.kr

* 한국철도기술연구원, 지능형도시철도제어연구실 실장

** 한국철도기술연구원, 무선통신 열차제어연구단 단장

** 한국철도기술연구원, 광역도시철도연구본부 본부장

초기 무선랜의 표준인 802.11보다 통신 속도가 개선된 802.11b 표준을 따랐다. CBTC의 통신시스템의 요구사항으로 첫째 고속의 양방향 통신, 열차의 이동 중 액세스 포인트(AP :AccessPoint)영역의 전환에 따른 핸드오프(Hand-off)시 빠른 전환 그리고 데이터 전송 에러의 허용율이라고 할 수 있다.

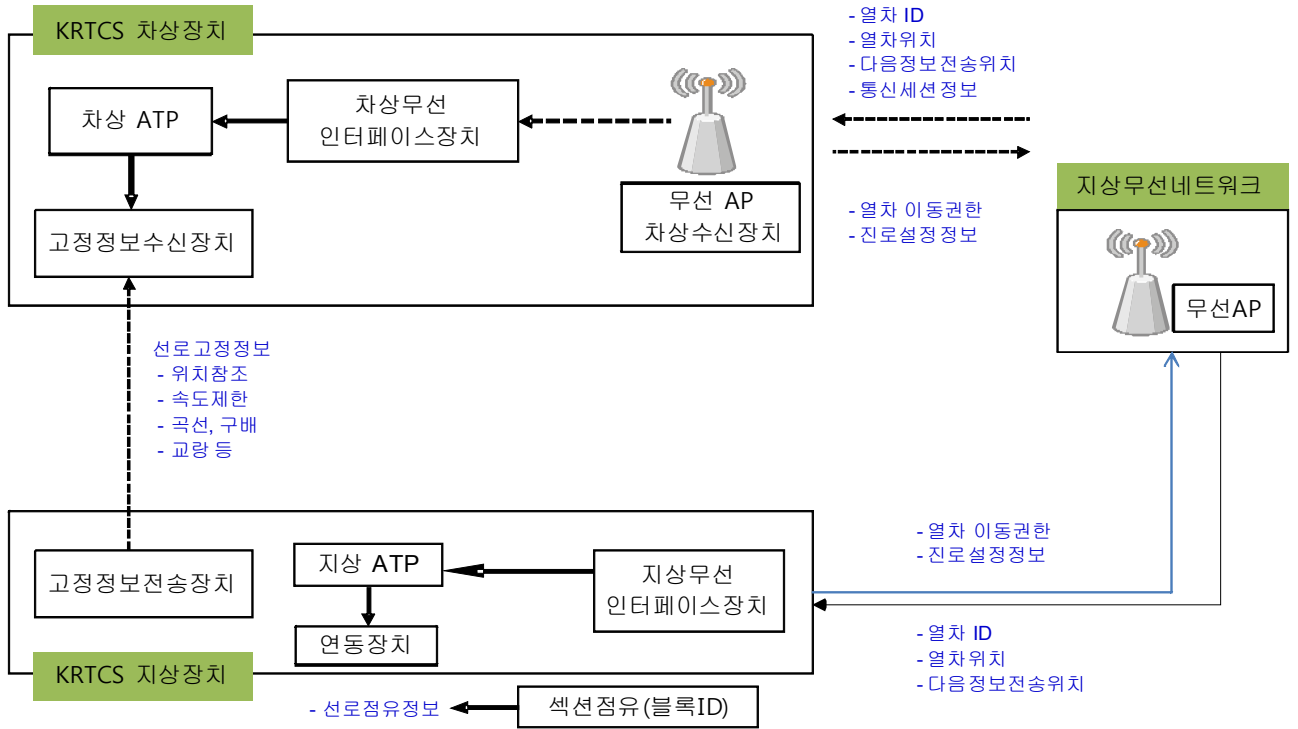


그림 2 KRTCS의 무선설비 구성도

본 논문에서는 도시철도용 무선통신 기반 열차제어시스템 성능평가 과제에 적용될 2.4/5Ghz 대의 무선랜을 이용한 통신설비의 설계 및 구축에 고려해야 할 점들을 통신장비의 송신출력 감소, 수신감도 저하, 혼신 등 통신장애를 분석하여 이를 개선해야 할 방향에 대해 연구하였다.

무선통신은 주파수라고 하는 한정된 자원을 효율적으로 배분하여 사용해야 하기 때문에 국제적으로 합의된 규약과 또한 각 나라의 실정에 맞게 세분화된 전파법규에 의해 이용이 촉진되기도 하고 상당히 제약이 따르기도 한다. 대부분의 CBTC용으로 사용되는 무선주파수로는 ISM(Industrial, scientific and Medical) Band인 900MHz와 2.4GHz대역을 사용하고 있다.

국내 도시철도의 CBTC시스템에 사용하는 무선주파수로는 2.4GHz ISM대역을 기본으로 사용하고 국내 전파법규를 준수하는 안정적인 시스템을 구성한다.

2. 결론

2.1 무선통신의 형식

무선 통신 네트워크의 기술은 IEEE(Institute for Electrical and Electronic Engineers) 802.11 Standard, Hiper LAN, Home RF, SWAP과 Bluetooth등으로 분류된다. 이러한 무선 기술들을 이용한 통신기술은 이동성, 설치 용이성, 신뢰성의 증가, 설치시간의 단축, 장기간의 비용 감소 등의 이점을 가지고 있다.

전 세계적으로 진행되어지고 있는 CBTC시스템 구축 사업에는 여러 가지형태의 무선통신 기술이 사용되어지고 있으며, 국내에서의 시범구축 사업에서는 IEEE 802.11b Standard의 2가지 방식인 직접 확

산방식(DSSS;Direct Sequence Spread Spectrum)과 주파수 호핑방식 (FH;Frequency Hopping) 중 무선 통신 사용자의 거의 대부분의 사용비중을 차지하고 있는 2.4GHz대 역의 DSSS방식을 이용하여 CBTC 시스템의 통신요건을 만족시키기 위한 요구 기능의 추가 및 변경을 통해 무선통신 시스템을 구축하였다.[1].

2.2 통신의 지속을 위한 Roaming설계

CBTC 시스템에서 선로를 따라 빠른 속도로 움직이는 열차가 운영을 유지하기 위해서 차상 시스템은 선로변 장치제어를 담당하는 지상시스템과 전체시스템을 관장하는 사령시스템과 지속적으로 통신을 유지하며 제어신호를 수신하고 상태정보를 전송하여야 한다.

선로변에 설치되어 중계 역할을 담당하는 다수의 AP들과 움직이는 열차에서 무선통신을 수행하는 SA(Station Adaptor)가 지속적인 통신을 수행하기 위해서는 SA는 다수의 AP사이를 통신의 끊김없이 옮겨 다닐 수 있어야 하며, 이렇게 통신을 지속하며 중계 장치들 사이를 옮겨 다닐 수 있도록 해주는 기능을 Roaming이라 한다.

평방식 (FH;Frequency Hopping) 중 무선통신 사용자의 거의 대부분의 사용비중을 차지하고 있는 2.4GHz대 역의 DSSS방식을 이용하여 CBTC 시스템의 통신요건을 만족시키기 위한 요구 기능의 추가 및 변경을 통해 무선통신 시스템을 설계하였다.[1].

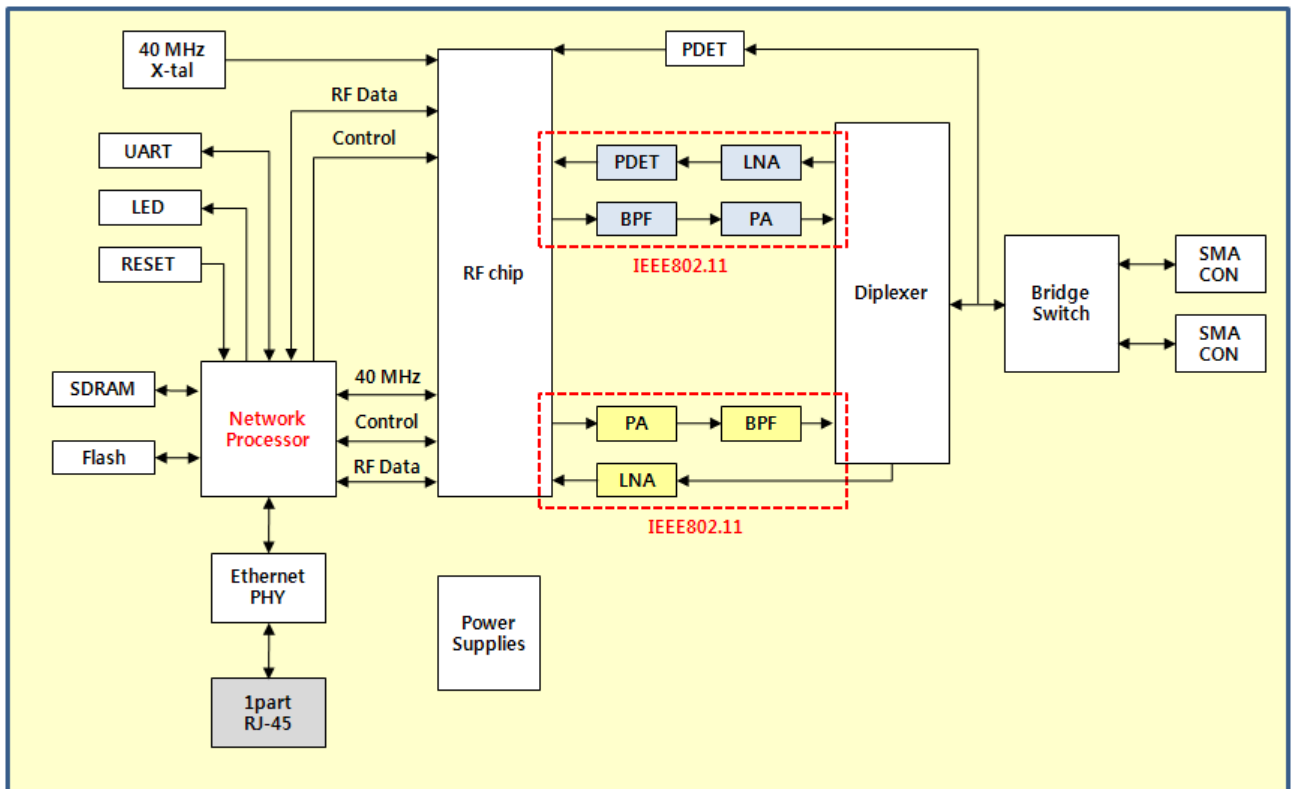


그림 3 KRTCS 무선랜 설계 구성도

2.2 통신의 지속을 위한 Roaming설계

CBTC 시스템에서 선로를 따라 빠른 속도로 움직이는 열차가 운영을 유지하기 위해서 차상 시스템은 선로변 장치제어를 담당하는 지상시스템과 전체시스템을 관장하는 사령시스템과 지속적으로 통신을 유지하며 제어신호를 수신하고 상태정보를 전송하여야 한다.

선로변에 설치되어 중계 역할을 담당하는 다수의 AP들과 움직이는 열차에서 무선통신을 수행하는

SA(Station Adaptor)가 지속적인 통신을 수행하기 위해서는 SA는 다수의 AP사이를 통신의 끊김없이 옮겨 다닐 수 있어야 하며, 이렇게 통신을 지속하며 중계 장치들 사이를 옮겨 다닐 수 있도록 해주는 기능을 Roaming이라 한다.

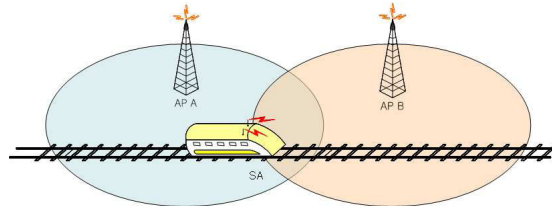


그림 4 로밍의 형태

즉, 위의 그림에서 AP A와 통신을 하고 있는 차량이 APB의 통신영역으로 진행하면서 통신을 지속할 수 있도록 하는 기능을 말한다.

사령에서 지속적으로 열차를 제어하기 위해서는 차량장치와 지상장치 사이의 통신 데이터는 데이터의 손실없이 Roaming이 수행되어야 한다. 하지만, CBTC 무선통신 시스템으로 채택한 IEEE 802.11 Standard에서는 Roaming 을 위한 설계 제시를 하고 있지 않기 때문에, WirelessLAN Vendor가 직접 Roaming프로토콜을 정의해야 한다.

2.3 데이터의 안전성을 위한 설계

RF기반 CBTC시스템에서 사용하는 IEEE 802.11b 표준규약은 2.4G의 ISM Band를 이용하기 때문에 해당 기술을 사용해 구축되어진 네트워크는 범용의 기술을 이용해 네트워크에 접속을 시도할 수 있는 네트워크이다. ISM Band란 산업(Industrial),과학(Scientific),의료용(Medical)으로 정부기관의 주파수 사용 허가 없이 자유롭게 사용할 수 있는 주파수 대역을 말하며, 이렇게 범용 대역의 주파수를 사용하기 때문에 네트워크에서 주고받는 데이터의 안전성에 문제를 제기할 수 있으며,네트워크 시스템 내에는 이의 해결을 위한 대책을 수립하는 것이 필요하다.

SA는 많은 AP들이 구축하고 있는 무선 통신망을 이용해 데이터들을 송·수신하지만, 실질적으로 제어 위해 데이터를 생성/처리하는 장치들은 무선장치들과 같이 많은 수의 장비가 아닌 한정된 일부의 기기이기 때문에 망의 노출에 대한 데이터의 안전성을 보장할 수 있는 방법으로 데이터가 발생하는 곳 과 처리하는 장비들과 무선 네트워크 사이에 전단에 IPsec기반 암호화 기술을 사용하는 H/W 장비를 추가 장착하였다.

IPsec기반의 장치들은 발생한 데이터의 암호화에 개인키를 이용하고, 공개키를 이용하여 수신한 데이터를 복호화하는 기능을 수행하며, 데이터 발생/수신 장치와 데이터 전달을 위한 매개 역할을 담당하는 네트워크 장치 사이에 위치하여 사용하도록 설계하였다.

IPsec 암호화 기술이 사용되기 이전의 보안 기술들은 모두 Application Level에서 고려하고 적용을 하였지만, IPsec을 이용한 암호화는 Application 과는 독립적으로 네트워크의 보안이 가능하기 때문에 장치와 독자적으로 추가와 제거가 가능하다.

3. 시스템 설계

3.1 이중계시스템

이중계, 즉 결함 허용 시스템이란 시스템 내에 하드웨어적이나 소프트웨어적인 결함이 발생하여도 전체 시스템의 출력에는 영향을 주지 않고 주어진 동작을 계속 수행할 수 있는 시스템을 말한다. 결함 허용 시스템은 결함 발생 시에도 시스템이 동작하도록 추가적인 장비를 대기시키는데 하드웨어적으로 구

현하는 것이 가장 바람직하다고 할 수 있다.

이중계를 구성하는 방법은 여러 가지형태로 구성할 수 있다.시스템의 설계에서는 이중계 시스템의 적용을 위해 시스템의 기능과 성능을 만족시킬 수 있는 방안의 이중계를 적용하여야 한다. 즉 부분적인 시스템의 이중계 구성을 위해 전체 시스템의 기능과 성능에 영향을 주면 안 된다는 것이다. 이중계시스템은 수동 이중계(Passive Redundancy), 능동 이중계(Active Redundancy), 하이브리드 이중계(Hybrid Redundancy)등 세 가지의 방법이 있다.

(1) Passive H/W Redundancy

수동 하드웨어 이중계를 이용한 방법은 오류를 일으키는 결함을 막아 주는 결함 방지 개념이 사용된다.이 방법의 대표적인 것이 TMR(Triple Modular Redundancy)시스템으로 모듈을 세 개 사용하여 각각 기능을 수행하고 그 출력을 삼중 보터를 사용하여 단일 결과를 출력하는 시스템이다.TMR 시스템 외에 N개의 모듈을 사용하여 다수결 보팅하는 NMR (N- Modular Redundancy)시스템도 있다.

(2)ActiveH/W Redundancy

능동 하드웨어 이중계 방법은 결함 검출,결함 한정,결함 복구에 의해 결함 허용을 이루는 방법이다.

① Duplex 시스템

듀플렉스 시스템은 두 개의 모듈이 각각의 출력을 비교기(Comparator)를 통해 시스템의 결함을 검출한다. 그러므로 두 모듈이 동기화된 동작을 이루지 못하면 오동작을 할 수 있고 두 모듈에 동일한 결함이 발생할 경우에는 결함을 검출할 수가 없다. 또한 하나의 모듈이 고장난 경우 나머지 모듈의 신뢰도에 대해 검증할 수가 없다. 따라서 모듈간의 상호 감시나 시스템 복구(Recovery)가 어렵게 된다.

② Cold-Stand by sparing 시스템

콜드 스탠드바이 스페어링 시스템은 한 개의 모듈만이 동작하고 나머지 이중계 모듈로는 전원이 인가되지 않는다. 만일 동작중인 모듈에 고장이 발생하면 사용자가 인위적으로 이중계 모듈에 기능을 부여하는 수동적인 절체방법이 요구된다. 이 방법은 전력 소비 면에서는 큰 장점을 가지지만 데이터의 연계성을 상실하게 되는 단점이 있다.

③ Hot-Stand by Sparing시스템

핫 스탠드바이 스페어링 시스템은 일반적으로 대기 이중계 시스템으로 알려져 있으며 콜드 스탠드바이 스페어링 시스템과는 달리 정상시에도 두 모듈이 동시에 동작을 하고 있고 주 모듈만이 출력을 하고 있다가 주 모듈에고장이 발생할 경우 결함 검출과 함께 나머지 이중계의 모듈이 출력을 수행하는 시스템으로써 뛰어난 데이터 연계성을 지닌다.

④ Warm-StandbySparing 시스템

웜 스탠드바이 스페어링 시스템은 콜드 스탠드바이 스페어링 시스템과 핫스탠드바이 스페어링 시스템의 장점을 모두 가진 시스템으로 하나의 모듈이동작하는 동안 다른 이중계의 모듈은 동작중인 모듈의 정보를 저장할 수 있을 최소한의 동작만을 하며 마스터 모듈과 슬레이브 모듈간의 구분이 명확하다.

(3) HybridH/W Redundancy

하이브리드 하드웨어 이중계는 수동 하드웨어 이중계의 결함 마스킹의 방법을 이용하여 오류가 발생한 정보의 전달을 방지하며, 능동 하드웨어 이중계의 결함 검출, 결함 한정, 결함 복구의 방법을 이용하여 결함이 발생했을 때 시스템의 재구성이 가능하도록 구성하는 방법이다. 하이브리드 하드웨어 이중계를 이용하는 방법의 예에는 대기 모듈을 갖는 NMR 시스템과 Self Purging 시스템이 있다. 셀프퍼징 시스템의 경우 각각의 N 모듈은 셀프 퍼징 기술을 사용하여 보팅후의 출력과 다른 경우에 자체적으로 제거 된다. 이 방법은 각 모듈이 능동적으로 보팅에 추가될 수도 있고 삭제 될수도 있다. 그리고 대기 이중계는 NMR 모듈에서 결함이 발생할 때까지 대기상태로 기다리게 된다. 하이브리드 하드웨어 이중계를 사용하는 시스템의

경우에 시스템 구성에 비교적 고가의 비용이 들지만 높은 신뢰도와 가용도를 구성할 수 있다.

구현에 사용된 시스템은 StrongArm 계열의 SA1110 MCU, 16Mb flash Rom, 32Mb SDRAM, PCMCIAI,II, Touch Screen 등으로 구성되어 있다.

작성된 애플리케이션 프로그램을 ARM용으로 컴파일 후 파일시스템 이미지를 작성하고 작성된 이미지와 수정된 커널 이미지를 시스템에 적재한다. 시스템의 동작은 호스트에서 클라이언트 시스템 간에는 무선으로 연결이 되며 호스트 시스템에서 동적으로 클라이언트 시스템에게 IP주소를 할당하는 방법과 터치스크린을 이용하여 할당하는 방법이 있으며, 직접적으로 LCD를 통하여 IP 주소 할당 사항 등을 모니터링 할 수 있다.

3.2 이중화를 위한 데이터 망의 설계

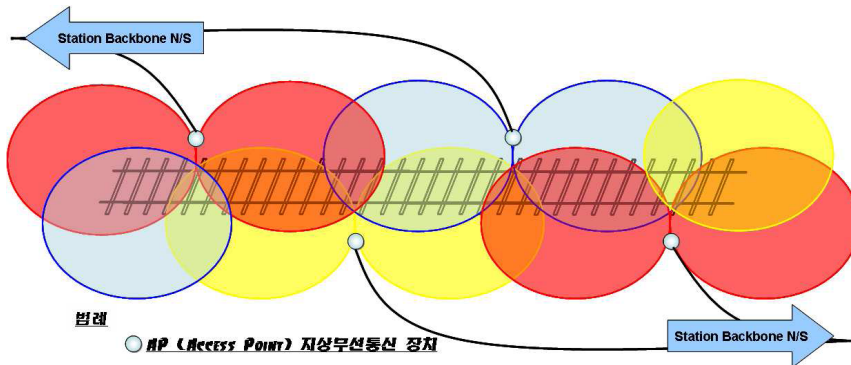


그림 5 AP무선망의 설계

무선 데이터망의 이중화를 위해서 각 AP들이 설치되어 통신을 수행할 수 있는 범위를 측정하고 이를 이용해 AP의 설치위치를 결정하여야 한다. 선로변에 설치되어지는 각 AP(AccessPoint)들의 위치는 해당 AP 지점의 통신반경을 벗어나지 않는 범위 이내에 추가의 AP(AccessPoint)를 위치시켜 단일 장애 시에도 인근의 AP들을 이용해 무선통신이 지속될 수 있도록 설계하여야 한다. 또한, 무선통신의 이중화 개념과 유선 AP망의 이중화 개념이 접목되도록 근접하는 위치에 있는 역에서 한 단위구간의 AP에 양방향에서 번갈아 가며 유선망을 포설하는 방법도 고려 할 수 있다.

4.결론 및 향후 연구 방향

무선통신기기의 출력은 통신기기가 통신을 위해 내보내는 신호의 세기를 의미한다. 통신 기기의 출력에 따라 통신 가능지역의 범위가 커지거나 줄어들 수 있다. CBTC 연구 과제에서 사용하기로 한 IEEE802.11b Standard는 2.4G대역의 신호를 사용한다. 국내의 안테나 이득 및 AP의 출력과 관련된 국내 전파 법규는 2.4G 대역의 전파 형식에 대해 아래와 같은 제한을 두고 있다.

정통부의 고시안인 「방송, 해상 항공 전기 통신 사업용 외 기타업무 용 무선설비의 기술 기준안」에 국내 무선설비의 출력에 대하여 규정하고 있다.

AP출력에 있어서는 법규에서 10mW/1MHz에 점유 주파수 대역폭을 사용하도록 하고 있으므로, 점유 주파수 26MHz에서는 이론상 260mW (24.5dBm)가 AP출력으로 가능하다.

하지만, IEEE 802.11b Standard 무선랜 규격의 직접 확산(DSS)방식에서 점유 대역폭은 22MHz로 규정하고 있고, 이를 적용시 약 220mW (23.42dBm)정도의 출력을 내게 된다. 그러나, 실제 사용되는 그림 3-4>를 보면 AP의 출력 파형은 송신출력이 일정하지 않고 실제 점유 대역폭도 15MHz이내가 된다.

따라서, 점유대역폭만으로 보면 AP의 출력은 150mW (21.76dBm)이 되지만, 출력은 항상 일정하게 발생하는 것이 아니기 때문에 전체 출력은 떨어지게 된다. 국내 법규상의 기술 기준을 만족시키기 위한 CBTC용도의 무선통신설비의 출력 기준값은 100mW (20dBm)으로 결정하여야 한다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 미래도시철도기술개발사업 연구비지원(10PURT-B056851-01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 이재호, 황종규, “통신기술 기반으로 하는 열차제어시스템 기술동향”, 한국철도기술연구원, 철도기술정보지 38호, pp.27~30, 2002
- [2] 차동완, “개념으로 풀어본 정보통신세계”, 영지문화사, pp.493~519, 2006
- [3] 김영태, “신호제어시스템”, 테크미디어, pp.36~48, 2004
- [4] 윤용기, 김용규, 신덕호, “무선통신을 이용한 열차제어시스템”, 한국철도학회지, 제7권 제2호, pp.22~28, 2004
- [5] IEEE Std 1474.1-2004, “IEEE Standard Method for CBTC Performance and Functional Requirements”, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2004
- [6] 최규형, “CBTC 무선안테나 최적 배치 프로그램 개발에 관한 연구”, 서울산업대학교 철도전문대학원, 2005.12
- [7] 김백현, 김종기, 이영훈, 신덕호, 백종현, “열차제어를 위한 무선통신 시스템의 생존성 검토”, 한국철도학회 추계학술대회, 2003
- [8] 한국철도기술연구원, “경량전철 신호제어시스템 기술개발”, 경량전철 기술개발사업 최종보고서, 2004.12
- [9] I. Watanabe, “위성 이동체 통신을 이용한 철도시스템”, RRR pp.10~13, 1999.9
- [10] H. Moody, “North American View of Future Communication Systems Need”, pp.67~72, Proc.of WCRR '99
- [11] IEEE Std 1474.2TM-2003, “IEEE Standard for User Interface Requirements in Communication-Based Train Control System”, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2003