

열차시스템에 응용되는 무선통신 기술에 관한 기초연구

Basic Study on Radio Communication Technology of application for Train Control System

윤학선* 이종우** 이인재*** 이규성*** 박한제**** 이부현*****

Yun, Hak-Sun Lee, Jong-Woo Lee, In-Jae Lee, Kyu-Seoung Park, Han-Je Lee, Boo-Hyun

ABSTRACT

The most critical function of the Communication Based Train Control system is wayside and on-board Radio communication. Radio communication must be safely made without errors. The standards for CBTC has not been established yet, and research on Radio communication systems for use in Train control systems adopting CBTC system such as the magnetic levitation train must continue. This paper will discuss the characteristics of Radio communication technology currently used domestically such as GSM-R, IEEE 802.11, TETRA, MESH, and WiMAX/WiBro, and will investigate the potential possibility of applying them to Train control systems.

1. 서 론

최근 국내외에서 연구개발 및 시험중에 있는 새로운 열차제어시스템은 무선통신기술을 이용한 방식이다. 이러한 무선기반의 열차제어시스템을 CBTC 방식이라고 부르는데 CBTC 방식에서 가장 중요한 기능은 지상과 차상 간의 무선 통신이다. 열차제어에 이용되는 무선통신은 안전하고 에러가 없는 상태로 이루어져야 한다. 국제적으로 IEEE 1474로 이미 CBTC 방식에 대한 표준이 정해져 있고, 이의 적용을 위한 연구가 국내외에서 활발하게 진행되고 있으며, 우리나라에서도 CBTC방식에 대한 표준이 확정될 것으로 예상된다.

현재 건설교통부를 중심으로 국가대형연구개발사업으로 추진중인 도시형자기부상열차실용화사업의 열차제어시스템도 CBTC 기반의 열차제어시스템이 적용될 것으로 예상된다. 이에 따라 각 연구기관 및 참여업체에서는 CBTC시스템의 핵심설비인 열차제어용 무선통신설비에 대한 신뢰성과 안전성을 확보하기 위한 연구를 계속하고 있다.

본 논문에서는 IEEE 802.11이외에 국내외에서 사용하고 있는 무선통신방식인 GSM-R, MESH, TETRA, WiMAX/WiBro에 대한 특징에 대하여 논의하고 열차제어에 어떻게 응용될 수 있는가를 제시하였다.

2. 본문

2.1 열차제어시스템에 응용되는 무선통신 기술

2.1.1 GSM-R

GSM(Global System for Mobile)은 유럽에서 사용하고 있는 이동통신용 통신 방식이다. GSM 통신 방식을 근간으로 하여 열차제어용 무선통신 방식을 개발하였는데 이 방식이 GSM-R(GSM Railway)이다. 1992년 UITC에서는 GSM이 이동통신 표준으로 정해지고 열차제어용으로 데이터 통신 기능을 제공할 수 있다는 것을 인지하였다. 1995년 GSM-R Uplink용으로 876-880 MHz, Downlink용으로 921-925 MHz를 확보하였다. 이후 다양한 프로젝트 수행으로 GSM-R에 대한 규격을 제정하였고, 검증 및 확인 작업을 수행하였다.

* 한국철도시설공단 자기부상열차사업단, 차장, 정회원

E-mail : kamayun@naver.com

TEL : (042)250-2794 FAX : (042)250-2777

** 서울산업대학교 철도전문대학원, 교수, 정회원

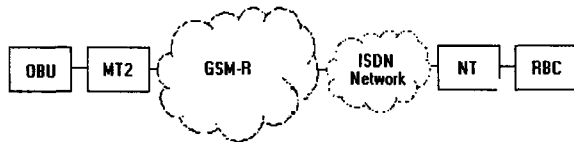
*** 한국철도시설공단 자기부상열차사업단, 부장, 비회원

**** 신우이엔지(주), 이사, 비회원

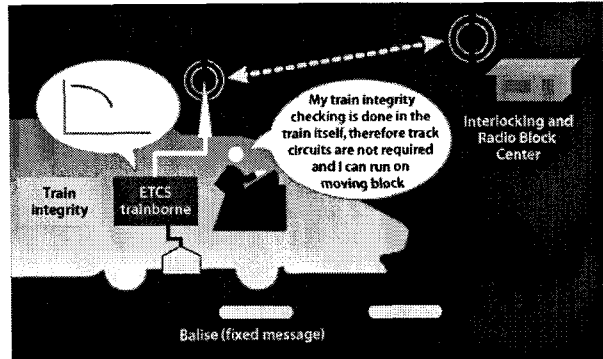
***** 신우이엔지(주), 부장, 비회원

지상에는 Radio Block Center, GSM-R 망, Network Termination, 이를 연결하기 위한 ISDN 망 및 중계기가 설치되고 차상장치에는 GSM-R 채널을 통해 열차의 각종 제어정보를 Euro-Radio 프로토콜을 이용하여 전송하는 장치인 Mobile Termination 및 GSM-R 용 안테나가 탑재 된다.

유럽철도표준 제어방식인 ERTMS/ETCS에서 열차를 제어하기 위한 지상과 열차간의 무선통신방식으로 GSM-R 을 채택하였다.



<그림 2-1> GSM-R 구조*



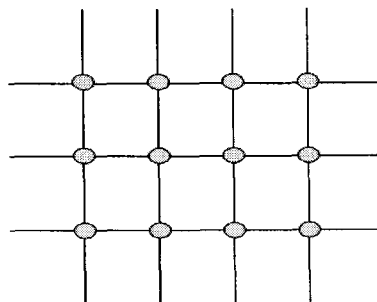
<그림 2-2> GSM-R을 이용한 ERTMS/ETCS 레벨-3 구성도

GSM-R을 이용하여 ERTMS/ETCS Level 2에 해당하는 열차제어시스템은 스위스 연방철도에서 9개역으로 구성된 35Km 시험선에서 시험하고 있는 상태이다. 이외에도 독일, 프랑스, 러시아 등 12개 유럽 국가에서 GSM-R을 이용한 열차제어시스템을 설치하여 시험하고 있다.

국내에서 사용하는 이동통신 방식은 GSM이 아니고 CDMA 방식이므로 GSM-R을 국내 열차제어용으로 사용할 수 없는 상태이다. 국내에서 이동통신을 이용하여 열차를 제어하기 위해서는 국내에서 사용하고 있는 이동통신 방식을 이용하여 열차제어용 통신방식을 새롭게 개발하여야 한다.

2.1.2 MESH

무선통신 방식의 일종으로서 미 육군에서 탱크와 탱크간의 자유로운 무선통신을 위하여 개발한 기술을 민간 기술로 개발 적용한 통신 방식이다. Wireless(무선) LAN 과는 다르게 각 통신 주체간에 통신을 할 때 중간에서 전달자 역할을 하는 시스템이 없는 통신 방식이다. 통신을 하고자 하는 주체끼리 서로 직접 데이터를 주고받는 방식이다. 그물망과 같이 자유롭게 어느 상대방과도 통신을 할 수 있다고 하여 MESH 방식이라고 한다.



<그림 2-3> MESH 구조

MESH는 Wireless LAN과는 다르게 Adhoc 모드와 Infrastructure 모드를 동시에 지원하는 유일한 무선 통신 방식이다. 서비스 범위를 증가시키고 시스템의 성능과 안정성을 보장한다. MESH 는 중계기 없이 Client 간에 직접 무선 통신을 할 수 있다.

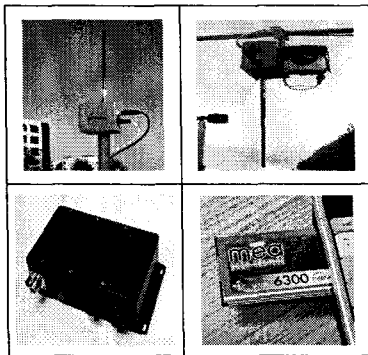
* OBU - On-Board Unit, MT2- Mobile Termination, NT - Network Termination

<표 2-1> WLAN 과 MESH 비교

구 분	기 능	WLAN	MESH
Infrastructure	Client가 네트워크상의 Access Point나 중계기에 직접 접속	지 원	지 원
Adhoc	Client 간의 직접 통신 Client는 다른 통신 주체의 도움을 받아 인접한 Client 와 통신가능	미지원	지 원

MESH에서 지원하는 기능은 아래와 같다.

- 이동 속도 : 시속 400 Km
- 통신 속도 : 1 Mbps 이상
- 통신 방식 : All IP(Internet Protocol)
- 위치 인식 : GPS없는 정확한 위치 정보
- 사용 주파수 : 2.4 GHz
- 채널 폭 : 20 MHz, 3개
- 무선 도달 거리 : 1 Km



<그림 2-4> MESH 제품 사진(Motorola)



<그림 2-5> MESH를 이용한 열차 간의 무선통신

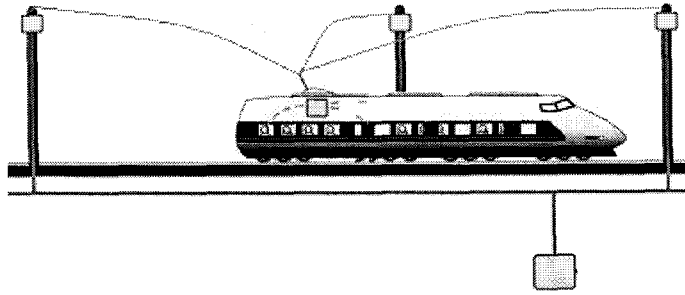
① 열차와 열차간의 무선통신

MESH에서는 지상과 열차 간의 무선 통신이외에 Adhoc 기능을 이용하여 열차와 열차 간의 무선 통신이 가능하다. 이 기능을 이용하여 이동폐색시스템(Moving Block System)을 구현할 수 있다. 열차와 열차 간의 데이터 통신을 MESH를 통함으로써 서로간의 위치 정보를 주고받아 안전한 열차 간의 거리를 유지할 수 있다. MBS 열차제어 방식에서 후행 열차는 MESH 무선통신을 통해 선행 열차로부터 위치를 입수하여 열차 운행 제어에 사용한다.

② 열차 위치 인식

위치 추적 방식은 3가지 모드를 지원한다. 첫 번째는 Absolute 모드로서 고정 장치로부터 정확한 위치 정보를 제공하는 것으로서 3개 이상의 고정 장치가 필요하다. 위치정보는 GPS 좌표방식으로 표시된다. 두 번째는 Relative모드로서 이동중계기를 통한 위치정보를 제공하는 것으로서 중계기 커버리지 기준의 위치정보를 제공한다. 세 번째는 Proximity 모드로서 특정 고정 장치로부터의 거리정보를 제공한다.

MESH 방식을 이용하면 지상과 열차 간의 무선 통신을 제공함과 동시에 열차 위치 정보를 지상에서 인식할 수 있다는 것이다. 아래 그림과 같이 3개의 중계기와 통신하는 열차의 정확한 위치를 지상에서 인식할 수 있다.



<그림 2-8> MESH를 이용한 열차 위치 정보 인식

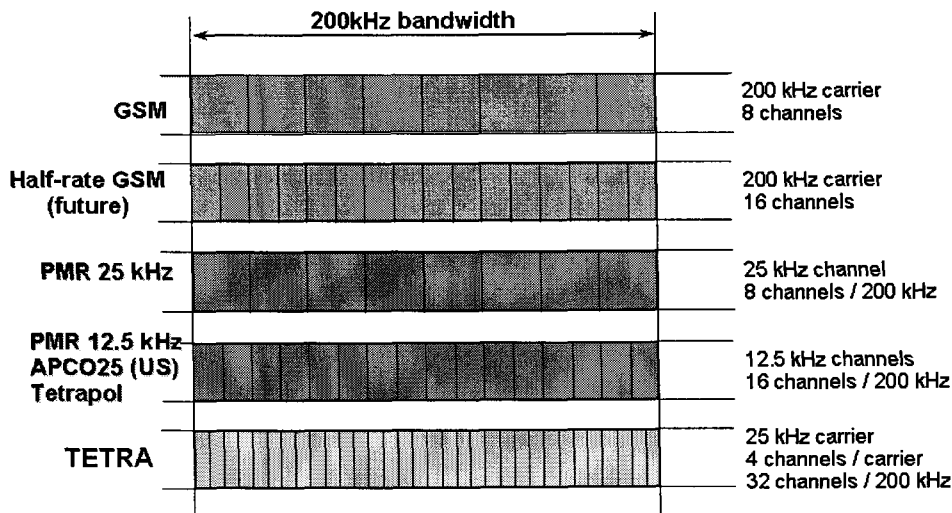
2.1.3 TETRA

Tetra(TERrestrial Trunked Radio)는 유럽 표준으로서 무선 통화 및 통신을 위해 개발한 무선 통신 방식이다. TETRA가 지원하는 기능은 아래와 같다.

- Group Call, Individual Call, Good Voice Quality, Direct Mode, Queued Call
- Short Data Service, Packet Data, Security, Encryption

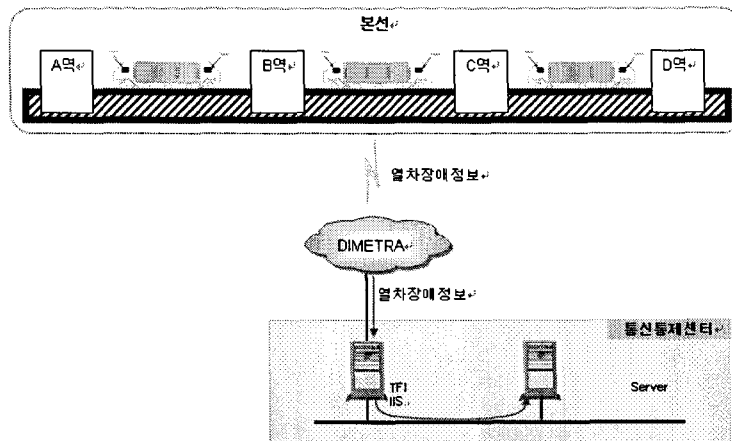
무선 주파수는 380MHz~400MHz 혹은 806MHz~870MHz이다. Call set-up 시간은 500ms 이내이다. 음성과 데이터를 동시에 전송할 수 있다. 300 Km/h 속도에서도 무선 통신이 가능하다. 무선 도달 거리는 수십 Km이다. 하나의 Carrier에서 사용하는 주파수 대역은 25 KHz이며 하나의 Carrier 당 4개의 채널을 동시에 지원한다. 4개의 채널은 TDMA(Time Division Multiple Access) 방식으로 제어된다. TETRA는 무선통신 방식 중 가장 적은 주파수 대역(25KHz)을 사용하므로 다른 통신 방식에 비해 주파수 사용 효율이 높다.

TETRA는 무선 음성 통신뿐만 아니라 데이터 통신을 제공한다. 제공되는 데이터 통신은 2가지 종류로서 단문 메시지 서비스 및 패킷 데이터 서비스이다. 단문 메시지 서비스는 미리 정해진 크기(128 Byte)의 단문을 전송하는 서비스이고, 패킷 서비스는 국제 표준인 IP(Internet Protocol) 방식을 사용하며 데이터를 일정한 크기의 패킷(128 Byte)로 전송하는 서비스이다.



<그림 2-9> 무선통신별 주파수 사용 대역 및 채널 수

채널당 지원되는 데이터 전송 속도는 7.2Kbps이고, 4개 채널 모두를 사용하면 최대 28.8Kbps까지 지원된다. TETRA는 주 제어장치(Base Station), 기지국 장치, 중계기 장치, 이동국 장치 및 휴대용 무전기로 구성된다. 주 제어장치는 중앙센터에 설치되는 장비로서 망교환장치, 시스템 관리 장치, 지령 장치로 구성된다. 기지국 장치는 기지국 채널 장치, 기지국장치제어기, 무선주파수분배 시스템으로 구성되고 중계기 장치는 광 주중계기, 광 보조중계기, RF 중계기 및 선로 중계기로 구성된다. 모토롤라, 노키아 및 Siemens사에서 TETRA 표준과 호환되는 통신 제품을 출시하고 있다.



<그림 2-12> TFIS 구성도

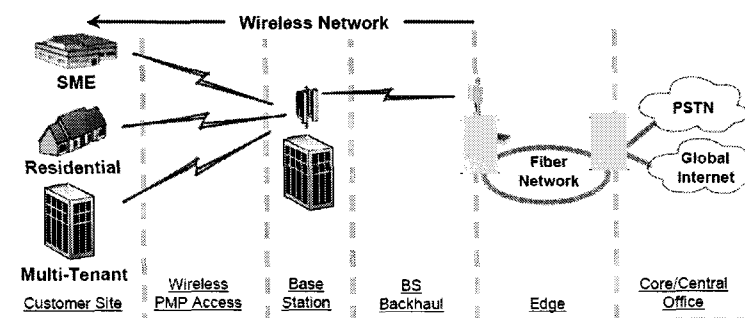
TCMS는 위와 같은 주요 장치들에 대한 고장정보를 수집하고 저장하며, 사전 약속된 중요 장치들에 대한 상태정보는 TRS에 주기적으로 전송한다. TRS는 수신된 각 장치들의 상태정보를 분석하여, 하나 이상의 장치에서 상태변화가 발생하면 TFIS 서버로 전송한다. 고장정보의 전송은 TRS 통신망의 무선 데이터 통신 서비스인 SDTS를 이용하여 전송된다. CCC의 TFIS 서버는 TRS 통신망과 인터넷 통신으로 고장정보를 수신하고, 이를 다시 인터넷으로 IIS에 전송한다.

TCI 소프트웨어는 기존 TCI의 기능을 수용하고, TFIS 서비스 기능을 지원해야 한다. TFIS 서버는 GUI를 통해 운영자에게 편리한 인터페이스를 제공하고, DB에 고장정보를 저장하며, IIS로 고장정보 전송에 대한 신뢰성을 보장한다.

2.1.4 WiMAX/WiBro

WiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access)는 넓은 지역을 지원하기 위한 무선통신 방식으로서 국제 표준 IEEE 802.16을 준수하는 무선 통신 방식이다. 근 거리를 지원한 WLAN의 거리 및 속도 한계를 개선하기 위해 제안된 방식이다. 또한 이동 중에 무선 통신이 정상적으로 수행하는 기능을 보유하고 있다.

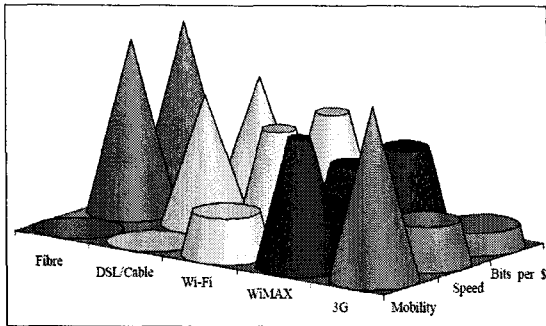
WiMAX(와이맥스)는 기존의 무선 랜이 몇 십 미터밖에 되지 않는 도달 거리 때문에 엄청난 액세스 포인트를 설치해도 가용성에 한계가 크다는 단점을 극복하는 것을 목표로 하고 있다. 개념상으로도 WiMAX는 거리와 속도를 엄청나게 늘린 무선 랜이라고 할 수 있다. WiMAX에서 사용하는 무선 주파수는 2.3GHz, 2.5GHz, 3.3GHz 및 3.5GHz이다. 우리나라에서 WiMAX용으로 할당된 주파수는 2.3GHz이다.



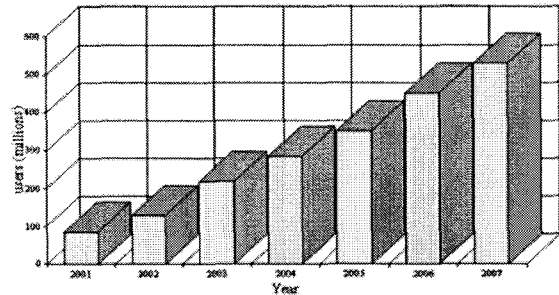
<그림 2-13> WiMAX 구성도

WiMAX는 변조방식으로 디지털 인코딩 방식인 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)을 사용하며, 하나의 Carrier만 사용하는 것이 아니라 여러 개의 중첩된 Carrier를 사용하므로 최대 속도가 증

가 되고 다양한 환경에서 안정적인 무선 통신을 지원한다. 최대 도달 거리는 48Km이고 실제 유효 도달 거리는 6.4Km에서 9.6Km이다. 통신 주체 간에 직접적으로 보이지 않더라도 통신이 가능한 NLOS(Non Line Of Sight) 기능을 지원하며 20MHz 대역폭에서 최대 100 Mbps 통신 속도를 보유하고 있다. WLAN과는 다르게 사용 가능한 채널수가 이미 제한되어 있는 것이 아니라 대역폭의 크기에 따라 사용 가능한 채널수도 증가하는 방식으로 동작한다. QoS(Quality of Service)를 지원하므로 안정적인 통신 및 음성 혹은 비디오 패킷을 손실없이 전송할 수 있다. WiMAX에서 지원하는 이동 중 통신 가능한 최대 속도는 160km/h이다.



<그림 2-14> WiMAX와 다른 광대역 기술과의 비교*

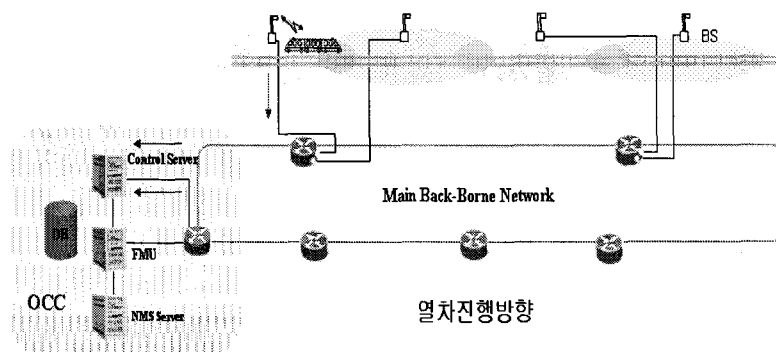


<그림 2-15> 연도별 WiMAX 사용자 개수**

WiMAX에서 사용하는 주파는 허가를 받아야 하는 주파수 대역이므로 WLAN 과 같이 주파수를 아무나 무상으로 사용하는 것이 아니라 사업자가 주파수 사용료를 내고 광대역 서비스를 하여야 한다. WiBro (Wireless Broadband Internet)의 기술 규격은 WiMAX와 거의 유사하나 무선 도달 거리 및 성능 면에서 차이가 있다. WiBro(와이브로)는 도달 거리가 5~6 Km이고 통신 속도는 1Mbps 정도이고 이동속도는 약 60 Km/h이다. WiBro는 우리나라에서 독자적으로 표준을 정해 기술 구현한 무선 통신 방식으로서 현재 KT, SAMSUNG 및 SK Telecom에서 지원하고 있으며 국제 표준으로 등록하기 위한 작업을 진행하고 있다.

① WiMAX/WiBro를 이용한 응용

그림 2-16은 WiMAX 기술을 이용한 무선통신 장비를 적용하여 기술 특성 및 규격을 검증하고자 수행한 시험이다. 응용분야는 열차 내의 상황을 지상으로 실시간으로 전송하는 기능으로서 이 기능을 활용하면 무인운전을 위한 객차 설비 보호, 비상 상황에서 시각적 판단에 기초한 정확한 상황 대처 등을 수행 할 수 있다. 객실 내에 차상 송수신기를, 선로 변에 지상 송수신기 및 안테나를 설치한 후 중앙 센터에서 성능 및 기능을 확인하였다.



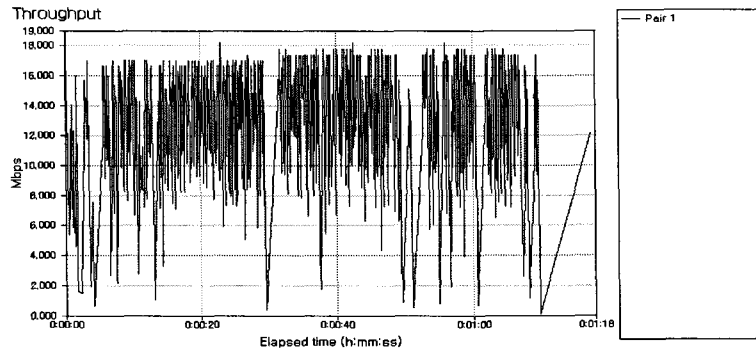
<그림 2-16> WiMAX 시험 구성도***

* OECD 2005 자료

** RF Monolithics, Inc. 제공자료

*** Nomad 제공자료, OCC: Operation Control Center, FMU: Fleet Management Unit, BS : Base Station

위의 시험 구성에서 열차와 지상 간의 통신 성능을 시험한 결과는 다음과 같다.



<그림 2-17> WiMAX 성능 시험 결과

위의 성능 시험 결과를 보면 60Km/h에서 80Km/h로 이동 중인 열차에서 평균 14Mbps 전송속도가 나오고 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 성능이라면 WiMAX를 열차 제어 및 열차 관련 영상 정보 전송용으로 사용할 수 있을 것이다.

3. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.11 ISM대역기반 무선통신 방식이외에 현재 국내외에서 열차제어시스템에 응용되고 있는 무선통신 방식인 GSM-R, MESH, TETRA, WiMAX/WiBro에 대하여 살펴보고 열차제어에 어떻게 응용되고 있는가를 알 수 있었으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. GSM-R을 국내 열차제어용으로 사용할 수 없는 상태이므로 국내에서 사용하고 있는 이동통신 방식을 이용하여 열차제어용 통신방식을 새롭게 개발하여야 한다.
2. MESH에서는 지상과 열차 간의 무선 통신이외에 Adhoc 기능을 이용하여 열차와 열차 간의 무선 통신이 가능하다. 이 기능을 이용하여 이동폐색시스템(Moving Block System)을 구현할 수 있다.
3. TETRA를 이용하여 열차제어 및 열차 안전을 확보하려면 기술 요구사항 분석 등 연구가 필요하다.
4. WiBro는 우리나라에서 독자적으로 표준을 정해 기술 구현한 무선 통신 방식으로서 현재 KT, SAMSUNG 및 SK Telecom 등에서 지원하여 국제 표준으로 등록하기 위한 작업을 진행되고 있으며, 향후 열차제어용으로 이용하기 위해서는 많은 기술적 검토가 있어야 한다.
5. 이상의 연구를 통하여 신뢰성과 안전성이 확보될 수 있는 무선기반열차제어에 응용될 수 있는 여러 가지 무선통신 기술 모델을 제시하였다고 생각되며, 향후 이 분야에서 보안기술의 적용 등 좀 더 구체적인 열차제어에 적용하기 위한 신뢰성 및 안전성 확보를 위한 연구가 필요하다.

후기

본 논문은 국가대형연구개발사업으로 추진중인 도시형자기부상열차실용화사업 시범노선 구축 과제에 일환으로 시행된 “도시형자기부상열차실용화사업 전력, 신호, 정보통신시스템 기술조사” 용역 중 무선통신 기술에 대한 조사 결과의 일부를 토대로 작성되었다.

참고문헌

1. 세종기술외(2007), “도시형자기부상열차실용화사업 전력, 신호, 정보통신시스템 기술조사” 보고서, 한국철도시설공단.
2. 한국철도엔지니어링(2007), “고속철도와 연계철도망간 최적의 신호제어시스템 선정연구” 보고서, 한국철도시설공단.
3. 최규형 외(2004), “무선통신기반 열차제어시스템의 무선시스템 설계에 대한 검토”, 한국철도학회 논문집.
4. 한국철도기술연구원(2004), “경량전철신호제어시스템 기술개발 연구결과보고서”, 건설교통부.
5. 김종기 외(2003), “Smart-Rail 기술개발(신호·운영)”, 한국철도기술연구원.