

열차제어 적용을 위한 무선통신 기술 분석

이재호, 신덕호, 윤용기, 이강미
한국철도기술연구원

A Study of Radio Communication for Train Control

Jae-Ho Lee, Ducko Shin, Young-Gi Yoon, Kang-Mi Lee
Korea Railroad Research Institute

Abstract - 철도시스템에서 열차운행의 안전성과 효율성은 열차제어시스템에 의해 결정된다. 기존의 열차제어는 일반적으로 궤도회로를 기반으로 이루어졌으나, 궤도회로의 문제점으로 부각되는 단락감도, 유지보수 비용증대 등을 해소하기 위해 궤도회로를 대신할 새로운 방법으로 무선통신기술을 기반으로 하는 새로운 형태의 열차제어로 변화를 서두르고 있다. 그러나 이러한 방식으로의 변화는 중저속구간인 도시철도에서는 일부 실용화를 추진하고 있으나 도시간을 이동하는 철도에서는 유럽에서 개념을 정립하여 시험중에 있다.

따라서 본 논문에서는 현 상황에서 도시간 및 고속용 열차제어에 적용하기 위한 무선통신기술에 대하여 선행검토를 수행한다.

1. 서 론

열차제어는 지능화, 자동화 된 열차운행 여건을 조성함으로써 최적의 운행간격과 운행속도를 제공하는 것이 목표이다. 따라서 기존의 열차제어 체계를 지원하는 궤도회로의 단점을 보완하고 열차제어의 성능을 충분히 발휘하기 위한 여건을 제공할 수 있는 진보된 방식인 무선통신을 기반으로 하는 열차제어가 필요성이 대두 되었다.

첨단 무선통신 기술을 사용하여 열차제어에 필요한 솔루션을 제공하기 위한 시도가 철도선진국을 바탕으로 진행되고 있지만 열차운행 환경인 고속이동환경에 대한 확실한 검증 및 상용화가 아직 본격적으로 이루어지고 있지 않다. 따라서 기존의 궤도회로와는 차별화를 통해 열차기술을 선도할 수 있는 초석을 마련하여 차세대 열차제어기술을 선도할 수 있도록 하기 위해 본 연구가 검토되었다.

주요 검토내용으로는 개발 중에 있거나 상용화 서비스가 제공되고 있는 무선통신기술들을 살펴보고, 각 기술별 특징과 시장 동향을 조사하여 열차제어용으로써의 적합성과 실제 시설 구축 시 가장 현실적인 방안을 모색할 수 있는 기술을 선정한다.

2. 본 론

2.1 개요

열차제어의 기본을 형성하는 궤도회로를 무선통신으로 대체하는 경우 많은 이점이 작용하지만 열차제어에 가장 필수적인 안전성과 정보전달의 신뢰성을 확보하려면 기본적으로 몇 가지의 기능을 갖추어야 한다.

고속으로 이동하는 열차를 제어하기 위한 신호를 송수신 하려면 무선통신기술은 기본적으로 열차 속도보다 높은 이동성을 제공하여야 한다. 열차는 비교적 저속으로 운행되고 있는 도시철도에서부터 300km/h를 상회하는 고속철도까지 다양한 운행속도를 제공하고 있다. 따라서 각 운행속도별로 다르게 나타나는 도플러 효과에 따른 시스템 사양의 변화가 크지 않은 기술이 있다면 그 또한 추가적인 장점이 될 것이다.

선로를 따라 설치된 기지국의 위치 특성 상 하나의 기지국 내에 다수의 열차가 통과하는 일은 불가피한 일이 된다. 역사 내에 진입/출발하는 열차의 경우나 상하행선에서 교차하는 열차 등 하나의 기지국 내에 다수의 열차가 동시에 채널을 확보하려고 하기 때문에 무선통신 기술들은 다중접속을 제공하면서 모든 열차에 균등한 채널을 할당할 수 있어야 한다. 일부 기술들 중에는 다중접속을 지원하지 않거나 지원하더라도 균등한 채널의 분배가 이루어지지 않는 기술들이 있기 때문에 세부내용에 대하여 분석한다,

2.2 GSM-R(Global System for Mobile Telecommunication)

GSM서비스는 유럽에서 개발된 유럽공용 이동통신 서비스이다. GSM은 높은 이동성과 다중접속을 통한 채널분배, 별도의 인증과정을 거치는 보안성의 확보 등 장점이 매우 많은 기술이라 할 수 있다. 따라서 유럽 통합열차제어 서비스를 제공하기 위해서 1995년 UIC는 주저하지 않고 GSM을 열차 신호제어용으로 채택하였고, 이를 개량하고 최적화하여 각국의 통합열차제어 통신망으로 사용하기위해 노력 중이다. 이미 일부 구

간에서 시험적으로 사용되고 있으며 이를 확장하는 단계에 이른 GSM-R 기술의 고찰하였다[1].

유럽에서 사용하고 있는 열차제어용 통신시스템인 GSM-R은 2세대 이동전화 기술이기 때문에 고이동성과 다중접속, 소프트 핸드오프 등을 제공하고 있기 때문에 열차제어용으로 기술적인 문제가 되지 않고 있다. 국내에서 사용하고 있는 CDMA와 마찬가지로 10년 이상의 서비스를 상용화 해왔기 때문에 실제 고속 이동 통신 환경 내에서의 실제적인 검증도 이미 완료된 기술이다. 따라서 안정적이고 신뢰성 높은 성능을 실제 시스템 적용 시 기대할 수 있다. 그러나 국내 시장 기반이 CDMA로 이루어져 있기 때문에 삼성, LG, P&C 만이 단말기 공급자로서 시장을 점유하고 있을 뿐, 여타 기지국과 제어 설비를 국산화하기 어렵다는 단점이 있다. 서비스 확장의 문제에서도 시스템 일원화를 위해서 외국기업의 독점이 우려된다. GSM-R의 특징을 정리하면 아래와 같다.

- 1) 높은 이동성과 소프트 핸드오프를 제공한다.
- 2) 시분할 접속 방식을 이용하여 다중접속이 가능하다.
- 3) 오랜 서비스기간으로 안정된 성능을 기대할 수 있다.
- 4) 유럽 표준 기술이므로 시스템 도입 시 비용이 크다.

2.3 CDMA(Code Division Multiple Access)

미국의 군용통신을 개량하여 대역확산기술을 적용한 디지털 이동통신 기술로 국내의 무선이동통신 사용자들의 요구를 충분히 만족시키고 있다.

CDMA의 열차 신호제어용으로써의 연구는 GSM에 비해 활발하지 않은 것이 사실이다. 그 이유는 GSM에 비해 코드에 의한 대역 확산이라는 다소 생소한 방식의 다중접속을 제공할 뿐만 아니라 전력제어와 같이 민감한 부분에 있어서의 기술적 문제 등에 의해 실질적인 서비스의 제공이 몇몇 나라에 제한되어 파급되었고 기반기술의 확보역시 우리나라와 미국을 제외한 몇몇 국가 이외에는 요원했기 때문이다. 따라서 기업수준에서는 남미 및 유럽에 서비스를 제공하는 기업 일부가 중국과 브라질, 멕시코에 제공하기위한 열차제어 기술로써 CDMA를 연구하고 있고, 국가적으로는 러시아와 일본에서 열차제어 통신기술로 CDMA와 TDMA를 접목하여 사용하는 방안을 연구하고 있다[2]. 이 방법을 실질적으로 적용할 수 있는 단계에 접어든 곳이 일본이다. 일본은 AATC 시스템에 사용하기 위한 통신기술로서 CDMA를 사용하려고 준비 중에 있으며 사용되는 CDMA의 방식 또한 IS-95방식을 사용하고 있는 것으로 판단된다. 그러나 주파수 자원의 활용에 있어 그 사용율이 국내보다 높기 때문에 독자적 대역의 확보가 어려웠을 것으로 보인다. 일본신호에서는 대역확보를 위한 안으로 ISM 대역을 사용하는 방법을 제안하였다. ISM 대역을 사용하게 되면 동일 대역 내 타 시스템에 의해 간섭받을 수 있기 때문에 이를 피하기 위한 교육정책으로 TDMA의 주파수 도약을 접목시킨 변형된 FH-CDMA를 연구하고 있다. 실험적인 측면에서 CDMA는 GSM보다 넓은 대역을 한 채널이 점유하기 때문에 데이터 전송에 있어 GSM보다 낭비적일 수 있다. 그러나 GSM이 주파수 도약을 위한 다수 채널을 지니야 시스템 특성을 잘 드러내는 것을 고려할 때 CDMA가 GSM보다 경쟁력을 가질 수 있다. 그러나 대역확보의 어려움 때문에 CDMA 시스템에 주파수 도약까지 사용한다면 시스템 성능에 비해 주파수 자원의 낭비가 더욱 심각한 문제가 될 수 있다. 따라서 GSM과 같은 방식이 더욱 효율적일 수 있다.

국내에서 상용화 되고 있는 IS-95방식의 CDMA는 2세대 이동전화 기술의 특징인 고이동성, 낮은 데이터 전송률을 지니며, 대역확산 기술로 보안성이 매우 뛰어나며 높은 이동성을 제공한다. 소프트 핸드오프 또한 제공하고 있기 때문에 열차제어에 필요한 필수조건을 모두 만족시킨다.

현재까지 국내의 무선 이동통신 시장의 축을 이루고 있을 정도로 시장 또한 활발하게 이루어지고 있으므로 실제 시스템 적용 시 외국기업의 참여나 외국기술의 도입에 비해 가격이 매우 저렴할 것으로 판단되거나 기술의 라이선스를 킬킬이 점유하고 있기 때문에 로열티문제가 제기 될 것으로 판단된다. 특징을 정리하면 아래와 같다.

- 1) 높은 이동성과 소프트 핸드오프를 제공한다.
- 2) 높은 수준의 보안성과 정보전달 신뢰성을 제공한다.
- 3) 대역확산 기술을 이용한 다중접속을 제공한다.
- 4) 오랜 국내 서비스 기간으로 시장 확보가 용이하여, 비용절감효과가 기대된다.
- 5) 안정된 성능을 기대되나, 라이선스에 의한 추가비용이 예상된다.

〈표 1〉 GSM-R과 IS-95 CDMA 기본사양

구 분	Specification	
	GSM-R	IS-95 CDMA
Mobility	Up to 500km/h	400km/h
Handoff	Soft Handoff	Soft Handoff, Softer Handoff
Bandwidth(MHz)	UL:876~915/DL:921~960	UL:925~960/DL:880~915
Channel spacing	200kHz	1.25MHz
Data rate	9.6kbps	128~9600bps
Data modulation	GMSK	QPSK
Coverage	3~50km	0.2~2km

2.4 WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access)

제3세대 시스템은 멀티미디어 전송을 목적으로 개발되어, 고품질 화상 서비스, 빠른 데이터 전송률 등 많은 기존 시스템과의 차별성을 가짐으로서 이전보다 높은 부가 가치를 창출할 것으로 예상되고 있다.

WCDMA는 가장 많은 국가들이 채택하고 있는 제3세대 이동통신 시스템이다. 우리나라, 유럽, 일본, 미국 그리고 중국 등의 많은 기관들이 3GPP를 구성하여 기술사양을 발전시켜 나가고 있다.

제3세대 통신시스템은 1992년 시작되었으며 IMT-2000이라 일컫고 CDMA와 TDMA를 기반으로 하는 몇 가지 무선접속규격(air interface)을 정의하고 있다. 애초 IMT-2000 시스템의 목적은 세계적으로 단일 무선 접속 규격을 만드는 것이었으나 여러 가지 정책적, 기술적인 문제들로 인해 어려워진 것이 사실이다[3,4]. 하지만 W-CDMA는 유럽의 모든 나라와 한국, 일본을 포함하는 많은 나라들에서 제3세대 통신을 위한 무선접속기술로서 채택되어 있어 부분적으로나마 ITU의 목적에 가장 부합하는 규격이라고 볼 수 있다.

〈표 2〉 WCDMA 기본사양

구 분	Specification
Mobility	Up to 500km/h
Handoff	Soft Handoff, Softer Handoff
Bandwidth	UL:1920~1980MHz / DL:2110MHz~2170MHz
Carrier spacing	5MHz
Spectrum efficiency	5bps/Hz
Data rate vs Mobility	2Mbps at 0km/h / 384kbps at 60km/h 144kbps at 100km/h / 64kbps at 120km/h 16kbps at 160km/h
Chip rate	3.84Mcps
Data/Spread modulation	QPSK/ UL:QPSK, DL:BPSK
Coverage	2~2.5km for vehicle(best 8.5dB)

WCDMA는 전송 데이터의 패킷화가 가능해지면서 여러 통신망과의 호환성이 매우 높아 열차제어 시의 데이터 전송 외에도 추가적인 부가 서비스의 제공에도 높은 적응력을 보일 것으로 판단된다. CDMA와 비슷한 기술이지만 많은 부분에서의 발전이 CDMA보다 높은 성능을 기대할 수 있다. WCDMA의 열차제어용으로서의 이점은 아직 해외에서도 상용화된 적이 없으므로 WCDMA의 열차제어용 기술개발은 해외로의 수출을 통해 선진 열차제어 기술 시장을 선점할 수 있다는 부가적인 장점도 갖고 있다. 그러나 CDMA에 비해 넓은 대역폭을 운용해야 하며, WCDMA시장이 아직 충분히 확보되거나 활성화되지 않았기 때문에 시스템 개발 시나 적용 시 대기업이 독점하거나 비용의 지출이 많을 것으로 판단된다.

2.5 WiBro와 WiMax

WiBro와 WiMax는 기존에 사용되던 무선 랜 기술을 응용하여 이동 환경 속에서도 인터넷과 멀티미디어 서비스를 제공하는 것이 목적이다. 서비스의 초점이 이동성보다는 대용량 데이터의 빠른 전송이므로 두 기술의 특성은 이동전화 기술들과는 사뭇 다른 양상을 보인다.

300km/h 이상의 이동성과 상대적으로 낮은 데이터 전송률을 보이고 있는 이동전화 기술에 비해 100km/h 내외의 이동성을 제공하지만 넓은 대역폭을 이용한 높은 데이터 전송률을 특징으로 갖는 위의 두 기술은 스마트열차제어의 특성상 개선되어야 할 부분이 상대적으로 많은 기술

이다. 그러나 열차제어용 신호는 비교적 작은 용량에 불과하기 때문에 넓은 대역폭을 이용한 대용량 데이터 전송이 실질적인 효용이 없을 것으로 판단된다. 또한 대용량의 데이터를 빠르게 보내기 위해서는 데이터 변조 시 환경의 제약을 많이 받게 되어 이동성이 떨어진다는 점도 문제가 된다. 현재 국내 서비스 중인 WiBro의 공식적으로 제공되는 이동성이 60km/h 정도이기 때문에 가장 운행 속도가 낮은 도시철도의 경우에도 사용하기 어려울 것으로 판단된다[5].

〈표 3〉 WiBro와 WMax 기본사양

구 분	Specification	
	WiBro	WiMax
Mobility	Up to 60km/h	Up to 150km/h
Handoff	Soft Handoff	Soft Handoff
Bandwidth(100MHz)	2.3GHz~2.4GHz	3.3GHz~3.4GHz
Frequency efficiency	3bps/Hz	3bps/Hz
Channel spacing	9MHz	10MHz
Data rate	3Mbps	Max up to 72Mbps
Data modulation	64-QAM	64-QAM
Duplex	TDD/OFDMA	TDD,FDD/OFDM,OFDMA
Coverage	1km(Max 5km, rural)	3km(Max 50km, rural)

WiMax가 이동성을 제공하기 시작하고 초기단계의 WiBro와 WiMax의 차이점이었던 VoIP 기능 또한 WiMax가 지원가능하게 됨으로써 개발 배경이 다른 기술이라고 해도 결국 같은 결과물이 되어가고 있는 실정이다. 두 기술 모두 대용량 데이터 전송에 역점을 두고 있기 때문에 단독기술로의 발전 방향을 살펴볼 때 데이터 변조방식에 따른 이동성의 문제와 CSMA방식의 MAC을 사용하는 채널 분배의 문제가 있어서 열차제어에는 분명 타당하지 않은 것이 사실이다. 그러나 현재 두 기술 모두 제 4세대 통신기술로 넘어가는 연결고리가 되고 있는 기술이고 4세대 기술의 특성을 전망할 때 위의 두 기술정도의 데이터 전송량을 상회하면서도 2세대의 이동전화 기술의 이동성 정도를 제공할 수 있을 것이라고 판단된다. 따라서 현재의 스마트 열차제어시스템에는 적용이 어렵다 할지라도 두 기술의 발전을 눈여겨보므로써 스마트열차제어시스템의 차세대 모델을 구체화할 수 있다는 의미를 둘 수 있을 것이다.

3. 결 론

지금까지 몇 가지 통신 방식들의 시스템 구조와 특징을 알아봄으로써 스마트 열차제어시스템에 적용하는데 미칠 수 있는 영향 등을 고려하였다. GSM-R과 CDMA, WCDMA는 이동전화 기술을 기반으로 하고 있고 WiBro와 WiMax는 무선 랜 기술을 기반으로 하고 있다.

이동전화 그룹은 매우 높은 이동성을 제공하고 있는 반면 무선 랜 기술은 낮은 이동성을 제공하지만 높은 데이터 전송률을 보이고 있다. 일단 무선 랜 기반의 기술들은 이동성의 확보가 어려운 점이 가장 큰 단점이라고 할 수 있다. 고속 전송을 위해서는 안정된 채널이 요구되고 채널이 안정되기 위해서는 역시 빠른 이동환경은 도움이 되지 못한다. 따라서 스마트 열차제어와 같이 상시 고속 이동환경에서의 적용으로는 아직까지는 이동전화기술들이 훨씬 적용하는데 유리하다 할 수 있다. 또한 채널의 확보에 있어서 이동전화의 특징인 다중접속으로 인해 이동전화 기술들은 언제나 모든 열차에 채널을 균등분배 할 수 있지만, 무선 랜 방식의 기술들은 경쟁하는 구조의 접속방식을 채택하고 있기 때문에 열차사고의 위험성이 매우 높아진다고 할 수 있다. 따라서 선택폭을 조금 줄이면 이동전화기술이 열차제어용으로는 적합하다고 할 수 있다.

결론적으로는 현재의 단계에서 열차제어에 적용하기 위한 가장 합리적인 통신기술은 좁은 대역폭과 고속의 이동성, 소프트 핸드오프를 제공하고 있는 CDMA와 향상된 성능으로 차세대 발전방향을 제공할 수 있는 WCDMA가 가능할 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Vijay K. Garg, Joseph E. Wikles, Principles & Applications of GSM, Prentice Hall, 1999.
- [2] FS Development Department of The Nippon Signal Co., Ltd., "AATC Data Communication Radio", The Nippon Signal Co., Ltd., Tokyo, 2000.
- [3] <http://www.wcdma.org>
- [4] Rudolf Tanner, Jason Woodard, WCDMA Requirements and Practical Design, John Wiley & Sons, Ltd., 2004.
- [5] 김영일, 안지환, 황승구, "WiBro와 WiMax 기술", 한국통신학회지 Vol.22, No.9, ISSN 1226-4725, 사단법인 한국 통신 학회, 2005.