

된 서비스를 제공하고자 한다면 GPRS나 UMTS으로 발전할 수 있다. 이 경우 GSM-R 망에서 GPRS 또는 UMTS망으로 외부 접속만을 허용하던 기존의 GSM-R 인프라를 유지하면서 무선망을 추가할 수 있다. ERTMS에서 열차 운용 측면에서 고속 데이터 전송을 필요로 하는 응용분야(일례로 철로변 영상 전송을 통한 복구 작업 관제 시스템)를 인지하고 이것을 표준화한다면 UMTS시스템은 반드시 필요한 시스템이 될 것이다. 열차 제어 측면에서 데이터 전송 속도와 지연요구사항을 고려하면 GPRS를 제외한 GSM-R, UMTS는 충분히 만족할 만한 성능을 지니고 있다. 추후 승객 서비스 또는 열차 운용 서비스망이 고속데이터서비스를 요구하기 때문에 UMTS망으로 발전해야 할 경우 열차 제어 서비스를 위해 사용하는 GSM-R은 모든 서비스를 통합망으로 운용하기 위해서 UMTS로 발전할 것으로 예상된다.

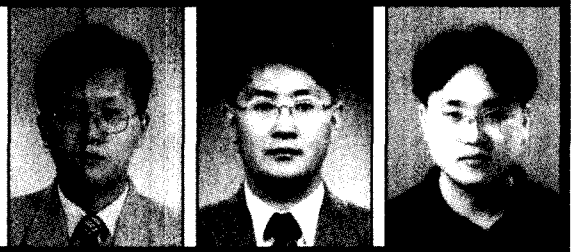
참고 문헌

1. Bernhard H. Walke, Mobile Radio Networks—Networking and Protocols, John Wiley & Sons Ltd., 1999.
2. EIRENE FRS version 6.0, Nov. 2003.
3. EIRENE SRS version 14, Nov. 2003.
4. <http://www.ceit.es/escort>
5. <http://www.cordis.lu/intowin/acts/rus/projects/ac104.htm>
6. IST 1999–20006 D6021 ESCORT Final Report.
7. Farrokh Abrishamkar, James Irvine, "Comparison of Current Solutions for the Provision of Voice Services to Passengers on High Speed Trains," IEEE VTS–Fall VTC 2000, 52nd, Volume: 4, pp. 24–28, Sept. 2000.



무선통신을 이용한 열차제어시스템

윤용기, 김용규, 신덕호
한국철도기술연구원 전기신호연구본부 | 열차제어연구그룹



1. 서론

1830년 영국의 리버풀 맨체스터철도(영국)의 개통으로 시작된 철도는 선로분기점의 파수꾼 배치, 열차신호표기를 위한 전주 사용, 모스전신기를 사용한 “공간간격법”, 1872년 펜실바니아철도(미국)에 최초로 도입된 궤도회로를, 연동기 및 CTC 등의 도입으로 철도안전과 효율적인 수송에 크게 공헌하였고, 현재까지 매우 안전하고 정확한 교통수단의 위치를 확보하고 있다. 현재는 무선을 이용한 정보통신기술을 활용하여 새로운 철도를 개발하기 위한 사업

을 국내·외에서 추진하고 있어 철도의 경쟁력이 더한층 강화될 것으로 예상된다.

무선통신기술을 철도에 적용하는 것은 간선철도 및 도시철도가 현재 갖고 있는 열차의 속도향상 및 운행시격단축 등의 문제점을 해결하기 위한 것으로 판단된다. 궤도회로를 이용한 열차제어의 경우 열차속도향상과 함께 운행시격을 단축하기 위해서는 폐색구간(길이)을 줄이면 가능하지만 이는 지상신호설비증가에 따른 신뢰성 저하 및 유지보수비용 증가 등의 문제점을 갖고 있어 적절한 방법은 아니다.

여기에서는 무선통신기술을 이용한 열차제어의 특징, 국외에서 수행되고 있는 무선을 이용한 신호제어시스템개발 내용 등을 소개한다.

2. 무선통신을 이용한 열차제어의 특징

현재 철도에서 사용하고 있는 여러 가지 기술은 도입초기 획기적인 것으로서 높은 수준의 안전성과 수송능력을 확보하였지만 지상설비용에 따른 비용절감, 많은 신호설비 사용에 따른 안전성 저하 및 새로운 서비스 제공 등의 과제를 갖고 있다.

2.1 열차제어

표 1. 신호시스템별 열차요소 비교

	현 시스템	무선통신기반 시스템
위치검지	궤도회로	지상방식/차상방식
위치정보전달	신호기/표시	무선통신(디지털)
제어(속도, 진로, 건널목)	케이블/계전로직 소프트웨어	소프트웨어
현 시스템의 개선과제	지상설비 유지관리 보수작업 등 안전성 향상 건널목 경보의 적정시간 확보 속도향상, 시격단축, 경량화 비상시 열차제어	

열차제어는 철도를 개통하던 시기부터 다음의 3가지 요소로 구성된다.

- ▶ 검지 : 열차검지
- ▶ 전달 : 자(타)열차위치정보의 송·수신
- ▶ 제어 : 수신한 열차위치정보에 근거하여 제어

위 3가지 구성요소는 현재까지 변하지 않았고, 철도가 궤도를 주행하는 한 변하지 않을 것으로 판단된다. 위 3가지 관점에서 현 시스템과 무선방식 시스템을 비교·정리한 내용은 다음 표와 같다.

2.2 무선통신기반 신호시스템의 특징

궤도회로방식 대신 무선통신을 사용하여 철도신호제어 시스템을 개발하여 기대할 수 있는 효과는 다음과 같다.

(1) 비용절감

궤도회로방식의 신호시스템은 지상에 많은 설비를 설치하고 유지·관리하는 구조이나 무선통신방식 신호제어시스템은 상대적으로 적은 설비 및 인원을 요구하는 구조이기 때문에 저비용 시스템을 실현하는 것이 가능하다.

(2) 안전성 향상

궤도회로방식의 신호시스템은 많은 설비를 설치하므로 무선통신방식에 비해서 신뢰성이 낮아진다. 또한, 열차에 전송할 수 있는 정보의 종류 및 빈도가 매우 제한되고 있다. 무선통신방식을 철도에 적용하는 경우 신호제어시스템은 물론 선로보수작업을 위한 보수관리시스템 등에서 비상시 열차제어를 위한 정보전달성능이 향상되므로 철도 시스템 전반에 대한 안전성 향상을 기대할 수 있다.

(3) 수송효율 향상

궤도회로방식의 신호시스템은 열차종류에 대한 고려없이 일률적으로 제어하고 있다. 열차의 속도향상과 운행시격단축을 위해서는 지상설비에 대한 대대적인 개선이 요구되며 오랜 기간동안 많은 비용과 인원을 필요로 한다. 무선통신방식을 철도에 적용하는 경우 열차 각각의 성능을 고려한 열차제어가 가능하고, 이동폐색구현도 가능하기 때문에 수송효율 향상을 도모할 수 있다.

3. 무선통신을 이용한 신호제어시스템 개발현황

철도무선을 이용한 신호제어시스템은 유럽의 ETCS, 미국의 CBTC 및 일본의 CARAT 등이 대표적인 경우이다. 국내의 경우 도시철도 신호개량 및 경량전철시스템도입 등을 목적으로 CBTC를 도입하기 위한 연구개발사업을 수행하고 있다.

3.1 ETCS

(1) 개발배경

프랑스의 ASTREE 연구프로그램, 독일의 DIBMOF 연구프로그램을 근본으로 시작된 ERTMS의 개발은 기본적으로 모든 현존하는 유럽 각국의 신호시스템의 통합, 신호 시스템 관련 기술 사양의 표준화에 의한 단일 시장화, 열차 운행 안전성, 그리고 에너지 효율성에 중점을 두고 개발하였다. ERTMS는 열차 운행의 안전성을 필수조건으로 하는 ETCS, ERTMS에서 중점적으로 사용할 예정인 무선 정보 전송 방식인 GSM-R 및 운영을 주요 목적으로 하는 ETML로 분류된다.

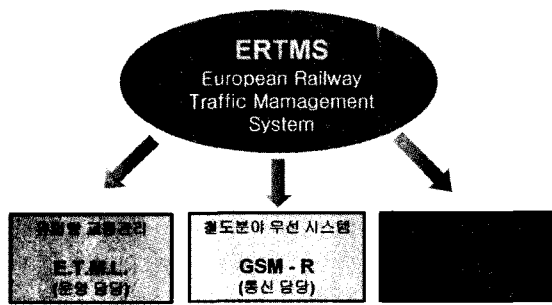


그림 1. ERTM 기본구조

(2) ETCS 프로젝트

ETCS는 열차운행의 안전에 기본을 두고 약 15개의 유럽의 상이한 신호시스템을 통합하여 유럽신호시장 단일화 및 현 신호시스템의 기술사양을 표준화하는 것이다. 이를 통하여 철도업체간 표준화한 기술사양을 공유할 수 있어 통합된 철도신호시장을 형성한다.

표 2. ETCS Level 특성

	Level 1	Level 2	Level 3
폐색	고정	고정	이동
정보전송	Balise	Radio	Radio
위치검지	궤도회로/차축 계수기	궤도회로/차축 계수기	X
신호기	사용	사용	차상신호

ETCS는 현재의 기술 한계와 미래의 가능한 기술 개발

능력(특히 무선통신시스템)을 고려하여 기능적인 면에 있어서 표 2.와 같이 Level1, Level2, Level3로 분류된다.

● ETCS Level 1

ETCS Level 1은 그림 2와 같이 고정폐색시스템과 지상 신호기에 의존한다. 이는 현존하는 ATP시스템과 동일한 형태로 불연속(Intermittent) 정보를 전송하는 Balise 또는 반연속(Semi-continuous) 정보를 전송하는 Loop가 열차의 속도 제어를 위해 궤도에서 차량으로 정보를 전송한다. 데이터는 고정데이터와 가변데이터로 분류된다. 고정데이터는 선로변 환경과 연관된 정보를, 가변 데이터는 열차운행이나 진로상태 등과 관련된 정보를 취급한다.

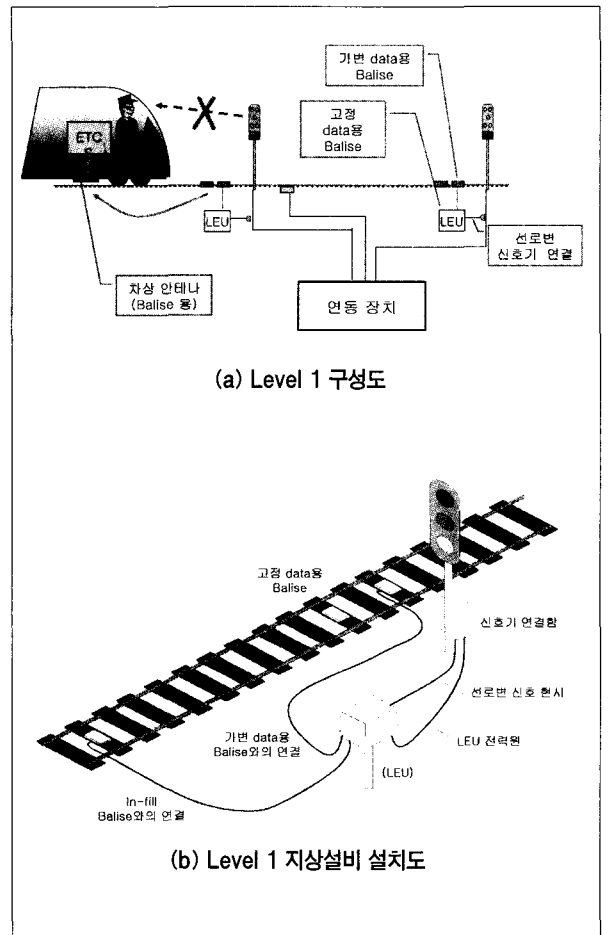


그림 2. ETCS Level 1

● ETCS Level 2

Level 2는 지상-차량간 연속적인 양방향 무선통신과 열차검지를 위한 불연속 정보전송을 이용하여 연속적인 열차속도제어기능을 실행하는 것이 Level 1과의 주요 차이점이다. 단, 기존 신호시스템과 병립하여 사용하는 경우 지상신호기를 사용한다. 열차의 안전 운행에 필요한 정보와 이동 권한, 구배, 허용 속도, 열차의 상태, 위치 등의 열차와 지상 설비 사이의 정보는 RBC(Radio Block Center)에 의해 GSM-R 통신망을 경유하여 전송된다. Level 2에 있어서 이동 권한은 고정 폐색 원리에 근거하여 부여되며, 설정된 진로의 종단, 또는 선행 열차가 있는 경우 선행 열차에 의해 점유된 고정 폐색의 종단까지 이동 권한이 부여된다.

● ETCS Level 3

Level 3은 열차검지 및 선행열차와 후속열차의 열차 간격을 조정하는 기능이 Level 1과 Level 2에서는 고정폐색을 이용하는데 비해, Level 3에서는 이동폐색을 사용한다는 것이 주요 특성이다. Level 3은 그림 4.에서 확인할 수 있듯이 선로변에 설치되는 지상신호장치는 모두 제거되어 열차운행에 연관된 신호시스템이 완전한 무선방식으로 구현된다.

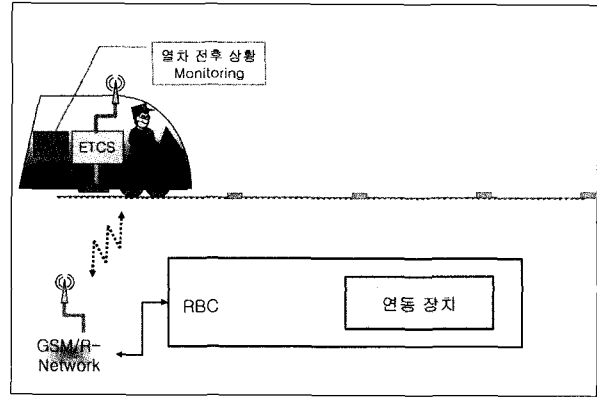


그림 4. ETCS Level 3

3.2 CBTC

(1) 개발배경

CBTC는 ETCS Level3와 유사한 신호시스템이지만 유럽의 간선철도를 대상으로 하는 ETCS와 달리 도시철도(중량전철, 경량전철)를 대상으로 하는 것이 가장 큰 차이점이다.

New York의 경우 운행중인 지하철노선에 기계식, 전기식 및 전자식 등의 신호설비가 혼재되어 있는 상황에서 수송능력을 높이기 위해서 궤도회로방식의 새로운 신호설비로 개량하기 위해서는 영업을 중단할 수 밖에 없는 상황이었다.

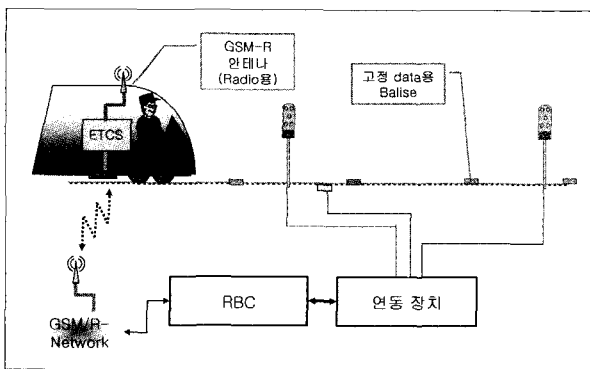


그림 3. ETCS Level 2

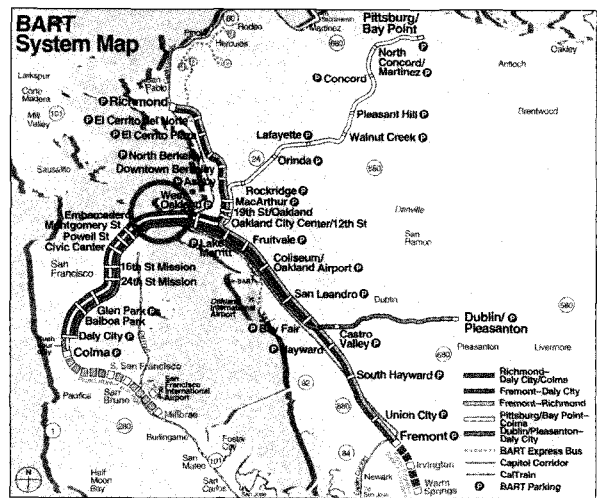


그림 5. San Francisco BART의 지하철 노선

특집

그림 5의 빨간 원 안에 있는 San Francisco의 지하철 노선은 현재 건설되어 있는 해저터널 1개를 같이 사용하고 있어 해저터널 부근에서 많은 병목현상이 발생하고 있다. 병목현상을 해결하기 위해서는 다른 터널을 건설하는 것을 검토하였으나 재정적인 문제로 인하여 신호시스템을 개량하는 쪽으로 방향을 잡고 CBTC시스템을 개발하여 현재 시험운행 중에 있다. 양 도시에서 개발하고 있는 신호시스템의 특징은 현재 운영하고 있는 신호시스템에 전혀 영향을 주지 않기 때문에 지하철운행을 중단하지 않고 시스템을 설치할 수 있다는 장점이 있다.

(2) 무선통신시스템

CBTC시스템에서 ETCS의 GSM-R처럼 무선통신망에 대한 표준화작업은 없이 ISM밴드를 사용하는 무선장치를 선정하여 사용하고 있다. 현재 가장 많이 사용되고 있는 주파수대역은 2.4[GHz]대역으로 CBTC시스템공급업체 및 무선통신시스템 공급업체를 정리하면 표 3과 같다.

표 3. CBTC시스템 및 무선통신장치

CBTC시스템			무선·통신망	
기업	시스템	업체	시스템	신호업체
Alcatel	Seltrac	Alvarion	IEEE802.11	Alcatel
Alstom	URBALIS	Andrew	Model2400	Bombardier
Bombardier	CITYFLO	GE-TS	EPLRS	GE
CSEE	OURAGAN	Saetrac	COTS	Bombardier
GE	ITCS/AATC	Siemens-TS		Siemens
Saetrac	TBS100/GEO	Siemens	GPRS	ETCS
Siemens	Meteor/SACEM LZB80/ETCS	Spring Board Alstom	Rail Path	Alcatel Siemens
WH	TBS100	Cisco	Model3200	
Wabtec	CBTM	Gestec	EasyLon	

(3) 표준화

IEEE std 1474에서 정의한 CBTC 규격 내용에서 몇 가지를 정의하면 다음과 같다.

▶ 시스템의 특징

- 궤도회로와 상관없이 높은 정밀도로 열차위치 결정

- 연속적이며, 양방향성 차상-지상간 무선데이터통신.
- 차상장치 및 지상장치에서 바이탈기능 처리

▶ 시스템의 구성

- ATO나 ATS 기능뿐만 아니라 ATP 기능
- ATP 및 ATO 기능을 제공하면서 ATS 기능은 선택사항(고장모드)
- 다른 노선과의 연계를 고려할 경우, 단지 열차제어시스템 기능만을 갖거나, 또는 다른 신호제어시스템과 연계되어 사용 가능될 수 있다.

▶ 적용 범위

- Light Rail / Heavy Rail / Commuter Rail
- IEEE에서 추진하고 있는 CBTC표준화는 무선통신망에 대해서는 제한을 두지 않고 단지, 신호시스템의 구성 및 기능을 정의하고 있다.

3.3 CARAT

CARAT는 일본의 철도종합연구소가 1987년부터 개발하기 시작한 운전제어시스템으로 궤도회로 등 선로변 장치를 이용하지 않고 차상-지상간에 디지털 무선에 의해 데이터를 전송하고 열차를 제어하는 이동폐색 열차제어시스템이다. 지상에서 수행하는 기능은 차상에서 검출하여 전송한 위치와 속도정보를 근거로 폐색제어, 선로전환기 제어 및 경보제어 등이다. 시스템의 구성은 차상시스템, 역·거점시스템 및 운행제어센터 등으로 구성되어있다.

(1) 열차위치검지

열차에서 주행위치를 연속적으로 검출하는 것으로써 시스템의 중요한 기능이다. 검출된 위치는 주행제어를 통해 무선으로 지상의 추적제어에 1~3초 정도의 주기로 전송된다. 궤도에 설치한 지상자를 이용하여 절대위치를 검출하고, 지상자간의 위치를 차륜의 회전수에서 거리를 환산하여 구한다.

(2) 열차추적제어

차상에서 송신한 각 열차의 위치·속도정보와 선로전환기 제어상태정보에 의하여 열차의 안전주행구간을 결정하는 폐색제어(열차간격제어)를 한다. 열차에 대해 제어지령

은 통상 폐색구간의 경계에서 실시하지만 임시적인 속도제한은 동일형식으로 지시할 수 있게 위치와 속도로 부여하는데 이를 속도제한점이라 한다. 제어지령은 위치정보와 같은 주기로 열차에 송신된다.

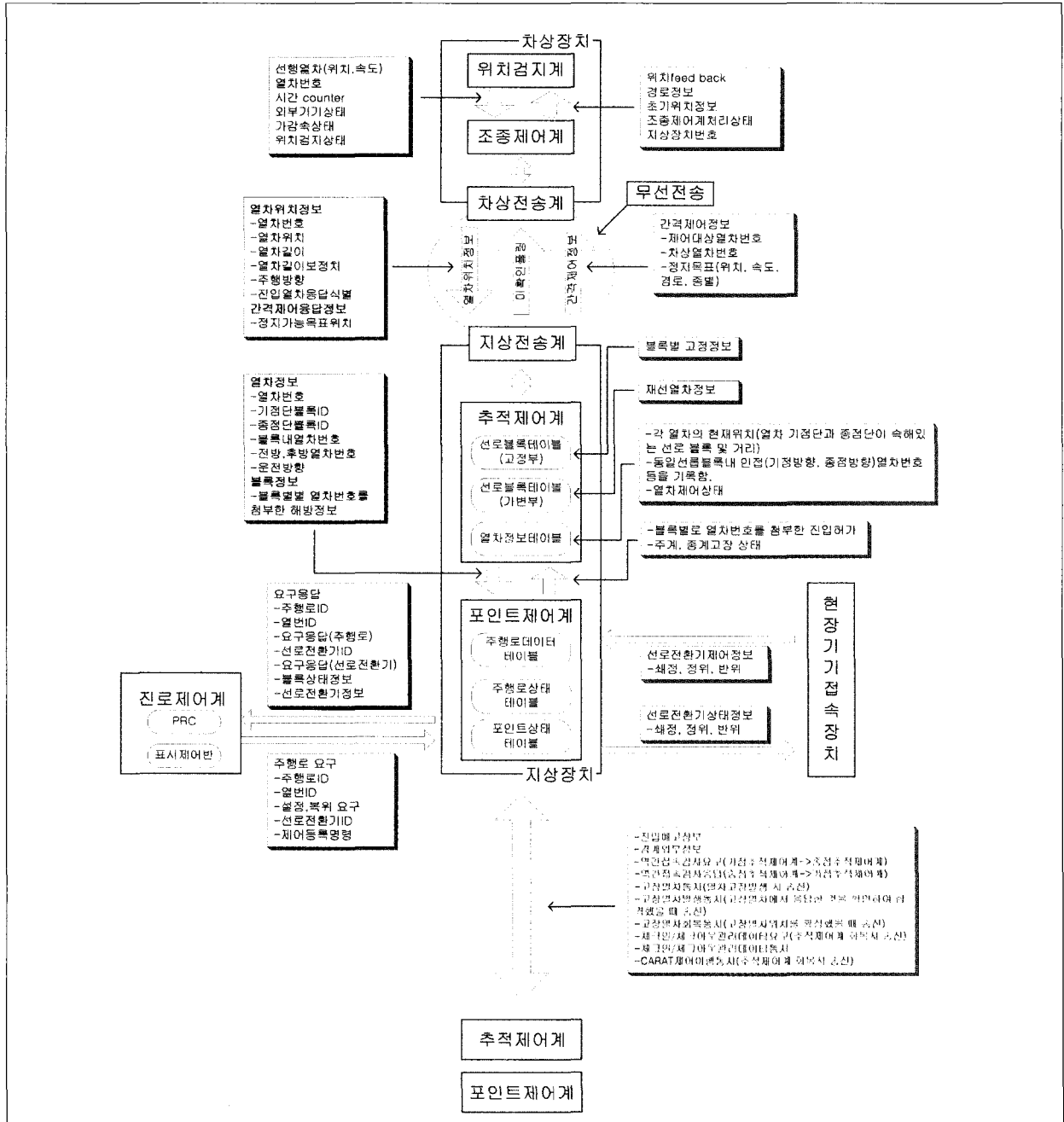


그림 5. CARAT 기능 구성도

(3) 선로전환기 제어

차상으로부터 위치속도정보와 진로제어로부터 진로요구를 근거로 선로전환기를 제어한다. 종래의 연동논리와 차이는 진로와 선로전환기의 해정조건에 열차의 속도와 제동거리를 사용하는 것과 동일 진로내에 복수열차의 진입을 허용하는 것으로 운전효율과 안전성이 높아진다. 또, 선로전환기의 해제지점 등 보다 정확한 열차위치가 필요한 장소에는 지상자를 설치하고 있다.

(4) 주행제어

지상의 추적제어로부터 수신한 속도제한점을 근거로 안전을 확보하기 위해 속도곡선을 작성하고, 속도 초과 시 제동지령을 송신하여 보안속도제어를 한다.

안전속도의 계산에는 선로구배, 속도제한 등의 선로데이터와 제동성능에 관계되는 차량데이터를 사용한다. 종래의 방식과 비교하여 차량성능에 맞는 연속적인 보안속도가 되므로 이동폐색의 도입과 함께 다양한 열차가 혼재하는 선구에서도 고밀도의 운전이 가능하다.

(5) 건널목 경보제어

건널목제어의 특징은 경보개시시기를 열차속도로부터 계산하는 것과 건널목 측에 장애를 검지한 경우에 열차가 건널목 바로 앞에서 긴급히 정지할 수 있는 것이다.

(6) 지상과 차상간의 전송

지상-차상간 통신에 LCX 및 공중파 양자를 시험하였는데 성능-가격을 검토하여 선정하는 것이 적절하다. 통신 제어는 응답시간의 변동을 줄이기 위해 지상에서 폴링(polling)방식을 채용하고 있다. 폴링주기는 최소 운전시각 및 열차속도 등의 운전조건과 안전감시의 한계시간에 의해 정해지고, 통상은 1~3초이다.

3. 결 론

이상과 같이 유럽, 미국 및 일본은 각각이 갖고 있는 철

도의 문제점을 해결하기 위해서 정보통신기술을 이용하여 새로운 신호제어시스템을 개발하고 있음을 알 수 있다.

유럽의 ETCS은 유럽의 이동통신망인 GSM을 활용한 GSM-R을 개발하여 사용하고 있다. ETCS-Level3를 개발 또는 도입하기 위해서는 GSM-R을 지원할 수 있는 이동통신망을 확보하거나 새로이 구축하여야 한다.

미국의 CBTC는 중량전철 및 경량전철과 같이 도시철도를 목적으로 개발되었으며, 표준화를 주도하고 있다. 표준화 내용의 특징으로는 무선통신방식에 대해서는 ETCS와 달리 개방을 하였다. 이에 따라 신호제어시스템을 설계할 때 개발자가 무선통신망을 선정하고 이에 맞는 인터페이스 작업이 필요하다.

일본의 경우 CARAT 및 ATACS 개발하였는데 유럽 또는 미국과 달리 무선통신망에 대한 표준화 및 신호제어시스템 사양표준화 등을 고려하지 않고 연구개발을 수행한 특징이 있다.

현재 건교부의 도시철도표준화 및 철도청의 MBS사업을 수행함에 따라 국내에도 무선통신을 이용한 신호제어시스템의 도입이 예상되는 상황이다. 따라서 국내의 연구개발결과와 해외 선진국의 개발내용을 면밀히 검토하여 국내 상황에 적합한 신호제어시스템사양을 정의하는 것이 요구된다.

참고 문헌

1. Tateishi Yukiya(2004), "무선을 이용한 새로운 열차제어 시스템 ATACS개발" JREA, 2004, pp29793~29796
2. 김용규, "열차제어기술연구개발동향" 제4회 철도신호기술 워크샵, 2004.
3. <http://www.tsd.org>
4. Yutaga HASEGAWA, "열차운전제어의 새로운 방향과 CARAT시스템", RTRI Report, 1993, Vol7, No.5, pp.1~9