

열차제어시스템 기술개발의 현황과 전망

■ 김 용 규 / 한국철도기술연구원

1. 서 론

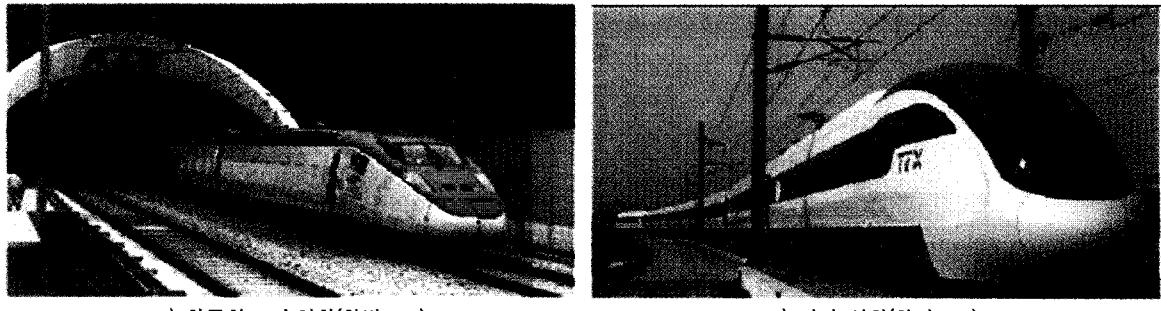
인간은 도로 상태에 따라 원하는 목적지에 도달하기 위해 자신이 진행할 방향, 이동 거리, 이동 속도, 주변 환경 및 도로 상황, 안전 표지판 등을 판단한 후, 두뇌에서 신체의 각 부분으로 관련 정보를 전송함으로서 이동하게 된다. 이때 신체의 감각 기관은 도로 및 주변 상황을 인지한 후, 두뇌 및 신체로 관련 대응 조치를 전달하며, 필요시 시각, 청각 경보 및 안전 조치를 능동적으로 실행한다. 이러한 기능은 열차의 운행에서도 유사한 조건으로 구현되며, 인간의 사고 작용은 기관사 및 주변 기기 또는 컴퓨터에 의해 실행된다는 점이 큰 차이를 갖는다. 열차의 고밀도, 고속 운전에 있어서 충돌 및 추돌없이 안전한 열차 운행을 실현하기 위해 열차제어시스템은 시간의 흐름과 함께 진화되었으며, 이러한 설비는 무선 통신 및 마이크로프로세서의 발달과 함께 급격하게 변화되고 있다. 과거의 열차 운행은 선 행 열차와 후행 열차간의 거리 유지, 열차의 속도 조절, 열차의 위치 확인 등을 선로변에 설치된 신호등을 통해 기관사가 육안으로 확인함으로서 열차 운행의 안전은 대부분 기관사에 의존하였으며, 이와 연관된 기술은 주로 신호등에 의한 열차 운행 속도 제한 명령을 의미하는 신호제어시스템으로 명명되었다. 이는 지상의 신호기계실에서 명령을 생성한 후, 신호등을 통해 기

관사에게 열차가 운행할 수 있는 허용 최고 속도를 제공한다. 그러나 현재는 다량, 다종의 특성을 갖는 열차가 함께 고밀도로 운행함은 물론 인간의 가시거리 한계로 불리는 160km/h 이상으로 열차의 운행이 실현됨에 따라 더 이상 선로변 신호등에 의존하는 열차 운행은 안전을 보장할 수 없게 됨으로서 기존의 지상에 설치된 지상 장비 위주의 시스템은 차량의 특성과 차량과의 인터페이스를 통해 열차의 속도를 제어할 필요성이 발생하였다. 그 결과, 기존의 신호제어시스템은 차량 장치의 인터페이스(TIU : Train Interface Unit)가 추가됨으로서 지상과 차량의 통합적인 의미를 갖는 열차제어시스템으로 역할이 변경되었다.

본 논고에서는 신호제어시스템에서 열차제어시스템 까지의 변천에 관련된 기술적인 특성 변환 과정을 통해 열차제어시스템에 대한 기술 변천 동향을 취급함으로서 열차제어 관련 기술에 대한 내용을 중점적으로 소개한다.

2. 열차제어시스템 정의

철도 시스템은 철도 차량, 선로, 역 설비, 차량 에너지 공급설비, 통신설비, 신호설비 등이 종합적으로 구성되어 상호호환성을 가지고 운영되는 시스템 엔지니어링으로 주어진다. 철도 차량은 사용 에너지의 특성



a) 한국형 고속열차(한빛 350)

b) 틸팅 열차(한빛 200)

그림 1 국내에서 개발된 차량

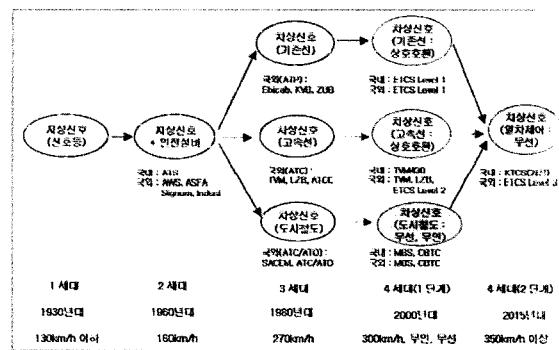


그림 2 열차제어시스템 변천 과정

표 1 지상장치 방식과 차상장치 방식의 비교

특성	지상 장치	차상 장치
건설비	낮음	높음
활용	지선, 저속,	본선, 고속,
	저밀도 운행	고밀도 운행
속도 제어 주체	기관사	차량 컴퓨터
악천후 기후 조건	저속 운행	무관
신뢰성	낮음	높음
안전성	낮음	높음
최고 속도	160km/h 이하	160km/h 이상

에 의해 중기 기관차, 내연기관차, 전기기관차 등으로 분류되며, 수송 대상에 따라, 여객 전용의 여객차와 화물 위주의 화물차로, 그리고 동력 구동 방식에 따라 전기기관차, 디젤 기관차 및 새마을호 동차와 같이 동력이 집중되어 있는 동력 집중식과 여객차에 동력원을 분산하여 열차를 견인하는 전동차 및 일반 동차와 같은 동력 분산식으로 분류된다. 아래 그림은 국내에서

개발된 차량으로 고속 열차는 동력 집중식, 틸팅 열차는 동력 분산식으로 주어진다.

이러한 철도 차량의 안전 운행에 연관된 초기의 열차제어설비는 지상에 신호등을 설치함으로서 신호등의 색상에 의해 기관사의 열차 운행 허용 속도를 제한하였다. 그러나 기관사가 신호등을 인지하지 못하는 사고가 자주 발생함으로서 기관사의 오류를 최소화하기 위한 보완장치를 지상에 설치하게 되었다. 이러한 장치의 기본은 기관사가 신호등을 인지하지 못함으로서 신호등에 의해 주어진 열차 운행 최고 속도 한계를 초과하는 경우, 약 5초간 경보를 발령하며, 기관사의 추가 조치가 없는 경우에는 안전을 위해 열차를 강제로 정지하는 시스템이 대표적인 예로서 주어진다. 국내의 경우, 1960년대에 발생된 대형 열차 참사 이후 일본에서 도입된 자동열차정지(ATS : Automatic Train Control) 장치가 이러한 시스템의 대표적인 경우이며, 유럽에서는 자동경보장치(AWS : Automatic Warning System), Indusi, Signum, 등이 유사한 기능을 위해 사용되었다. 그럼에도 불구하고 1980년대의 열차 사고는 이러한 지상신호장치가 열차의 속도를 제어하는 개념보다는 단지 문제점 발생시에 열차 운행을 중단시키는 단순한 스위치 개념으로 주어진다는 점, 열차 운행 속도가 160km/h를 초과함으로서 더 이상 기관사의 시각에 의존하여 열차를 운행하는 것이 불가능하다는 점, 그리고 철도 교통에 대한 많은 여객 의존도로 인해 고밀도 운행을 실행한다는 점이 기관사의 인적 오류로 인한 사고를 빈번하게 유발하였다. 이러한 현상은 열

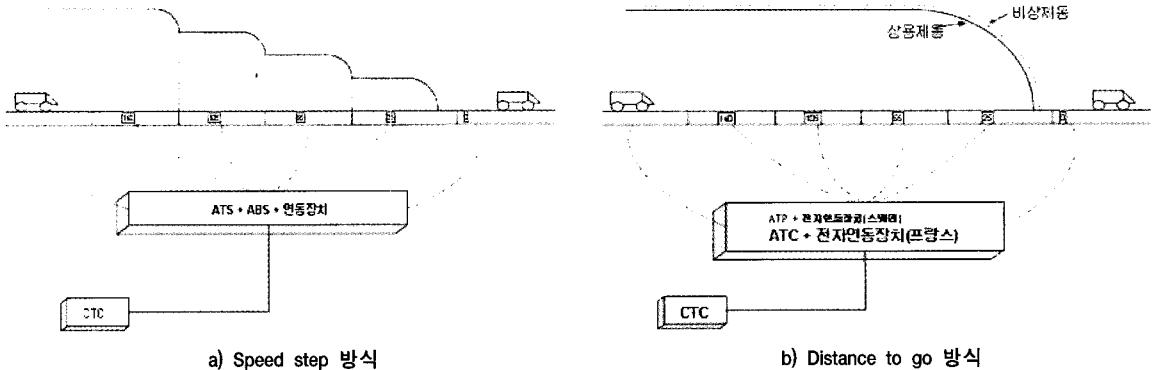


그림 3 열차제어방식

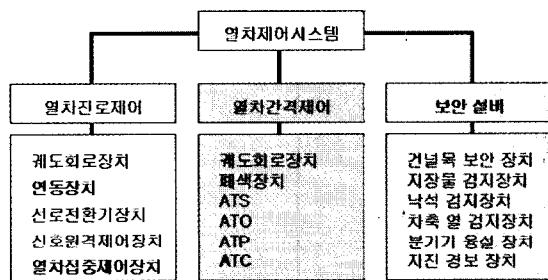


그림 4 열차제어시스템의 구성

차제어시스템의 연구 방향을 기준의 지상신호방식에서와 같이 기관사의 시각에 의존하지 않으면서, 열차의 운행속도를 제어하는 방향으로의 변환을 유도하였으며, 이는 현재의 차상신호방식이라는 새로운 개념을 탄생시켰다.

이는 기존의 지상 신호등과 기관사의 역할을 차량 컴퓨터로 대체함으로서 기관사는 더 이상 신호등에 의존하지 않고 컴퓨터에 의해 계산된 열차 및 선로별 열차 운행 환경 조건의 분석을 통해 기관실에 설치된 MMI(Man Machine Interface) Display 장치를 현시함으로서 열차의 운행을 구현한다. 또한 열차의 운행은 선로를 일정한 구간으로 분할한 후, 신호등을 통해 열차의 속도를 단계적으로 제어하는 방식(Speed step 방식)에서 후속열차가 지상의 신호기계실로부터 선행열차의 위치, 속도 및 전방 선로 환경 등의 상태 정보를 수신한 후, 실시간으로 열차의 운행 최고 속도를 설정

함으로서 항상 열차의 운행 안전거리를 확보한 상태에서 열차의 운행을 제어할 수 있는 Distance to go 방식으로 변환되었다.

차상신호방식은 선로 조건에 따라 다양한 형태로 분류된다. 경부고속선에서는 열차 이동에 대한 제어 및 열차의 안전성과 열차 운행 명령을 자동으로 실행하는 자동열차제어시스템(ATC : Automatic Train Control)이 사용된다. 이는 선행열차의 위치, 운행 진로 등 선로의 제반 조건에 따라 정보 코드가 선로를 통해 열차로 전송되며, 열차에서는 지상에서 전송된 정보를 MMI Display 장치를 통해 기관사에게 현시한다. 이러한 ATC 장치는 자동열차보호시스템(ATP : Automatic Train Protection), 자동 열차운영시스템(ATO : Automatic Train Operation), 자동열차감시시스템(ATS : Automatic Train Supervision)의 하부 시스템으로 구성된다. ATP 시스템은 전방 열차와 후방 열차의 안전 거리를 유지함으로서 열차의 안전 운행을 보호하는 개념으로, 국내의 경우에도 2002년부터 ATP 도입 타당성 조사를 기본으로 송정리-함평 구간에서의 시험선 시험 운행을 완료한 후, 현재는 경부선, 호남선을 중심으로 2008년부터 운행을 실시할 예정이다. ATO 시스템은 미리 설정된 프로그램에 의해 역에서의 열차 속도 감소 및 정지 관련 열차제어 기능을 실행하며, ATS 시스템은 열차상태 감시 및 열차운행 패턴을 유지하기 위해 열차 운행 명령에 대한 적절한 통제를 실시한다.

일반적으로 도시철도의 경우에는 역간 거리가 짧음에 따라 빈번한 열차의 정지 및 출발 등의 동작 실행을 위해 ATS와 ATO 기능이 주로 사용됨으로서 ATC/ATO 또는 ATP/ATO라는 명칭을 많이 사용하고 있다.

3. 열차제어시스템 특성

열차제어시스템의 주요 기능은 열차 검지, 속도 검지 또는 제어, 지상과 열차간의 정보전송, 신호보안설비의 활용, 및 타 철도 시스템과의 인터페이스를 실행한다.

열차 검지는 열차 위치와 열차 이동 관련 정보를 일반화함으로서 선로의 제어 영역에 위치한 모든 열차의 위치, 이동 방향, 열차 속도에 대한 정확한 정보가 요구되며, 이를 위해서는 열차 점유, 열차 존재, 열차 통과, 열차 전두부 및 후두부 위치, 열차 운행 방향 및 방위 등에 대한 검지를 실행하며, 필요에 따라 이들 검지 기능 중에서 적절한 유형을 선택하여 사용한다.

속도 검지는 운행 열차의 과속도 제어, 속도 제한 구역에서의 열차속도 제어, 선행열차와의 간격제어에 필

요한 Vital 정보를 취급한다. 검지된 속도는 지상 및 열차에서 실시간 처리 가능하며, 특히 속도 검지는 과속에 의한 열차 추돌, 탈선 및 시스템 성능 저하시 능동적으로 대처할 수 있도록 구성된다.

지상과 열차간의 정보 전송은 이러한 열차 운행 및 제어에 필요한 정보 전송은 물론 열차 운행 환경에 대한 정보도 함께 제공되며, 궤도회로, Loop, 밸리스(비콘), 무선 통신 등을 정보전송 매체로 사용한다.

신호보안설비는 열차의 안전 운행에 필요한 검지 장치로 구성되며, 열차의 운행에 중요한 영향을 인가하거나 또는 대형 사고를 유발할 수 있는 선로변, 기상 이면 예상 지역, 기타 선로의 속도 제한 구역 등에 설치된다. 대표적인 예로는 기존선의 건널목 보안장치, 고속선의 지장물 검지장치, 낙석검지장치, 차축온도검지장치, 터널경보장치, 끌림 검지장치, 레일 온도 검지장치, 강우, 강설, 강풍과 같은 기후 검지장치, 사구간 경보장치 등이 있다. 이러한 설비는 선로변에 설치되어 시설은 물론 전력, 전차선, 운영 시스템과 인터페이스 되며, 관련 설비에 대한 제어는 열차 속도 제한과 연관된 열차제어시스템에서 담당하게 된다.

4. 연구 방향 및 향후 전망

열차제어시스템에 대한 연구 방향은 지상장치의 최소화, 속도에 무관한 열차제어시스템 구성, 설비의 소형화 및 모듈화, 선로 용량 및 운전시격의 극대화, 그리고 무선 시스템의 적용 확대 등으로 세분화할 수 있다.

지상설비의 최소화는 운영 및 유지보수 그리고 선로변에서의 작업에 따른 유지보수 요원의 안전사고 등으로 인해 가능한 선로변 지상장치를 최소화, 모듈화, 단순화 하는 방향으로 연구가 진행됨으로서 지상장치의 기능을 열차에 부여할 수 있는 열차제어시스템으로의 설비 이동이 구현되고 있다. 이러한 사례는 현재 유럽에서 진행중인 일종의 통합형 ATP 시스템인 유럽형 열차제어시스템(ETCS : European Train Control System)의 연구개발에 적용되어 단순화한 선로변 설비로 열차제어시스템 기능을 구현하는 ETCS Level 1과 부분적으

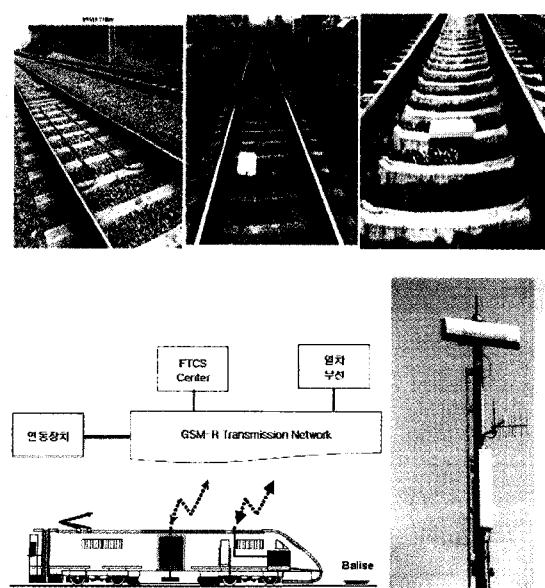


그림 5 지상-열차간의 정보전송 매체

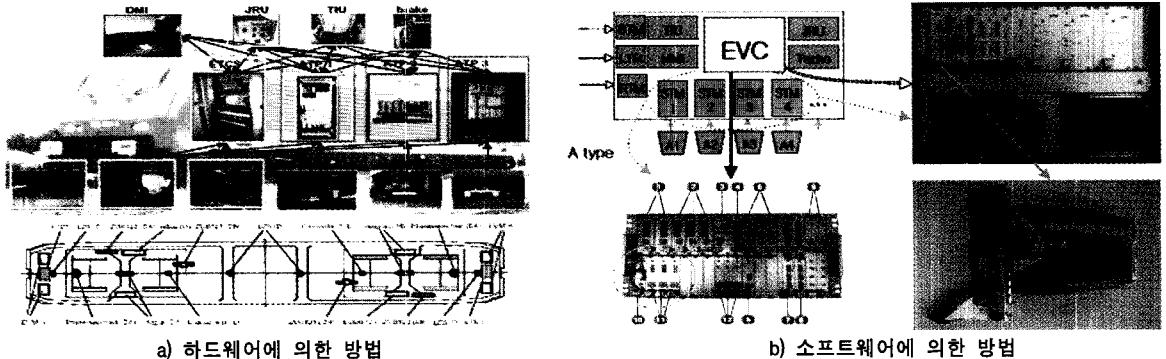


그림 6 다중 열차제어시스템 장착

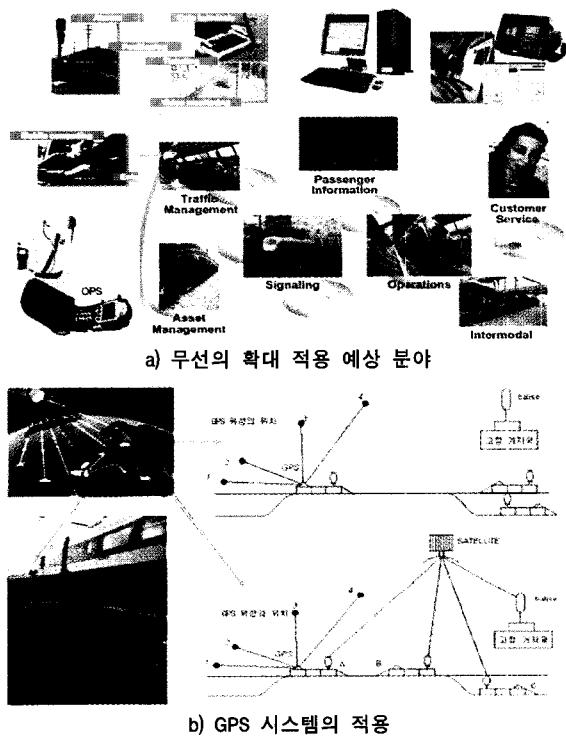


그림 7 철도시스템에서의 무선 활용

로 선로변 설비의 기능을 무선으로 구현한 ETCS Level 2가 개발, 사용되고 있으며, 완전한 무선 시스템에 의해 열차제어시스템의 기능을 구현하는 ETCS Level 3는 향후 개발될 예정이다.

두 번째로 주어지는 속도에 무관한 열차제어시스템은 현재 고속선, 기존선, 도시철도에 사용되는 시스템

이 각각의 주어진 환경에 적합한 속도와 연관되어 개발되었지만, 향후 도시철도, 광역철도망, 기존선, 고속선의 인터페이스 및 상호운영성을 고려한다면, 이러한 각각의 시스템은 운영의 효율성을 위해 통합되어야 하며, 통합 시스템은 무선에 의해 실현될 것으로 예상된다.

세 번째는 서비스의 소형화, 모듈화로, 전자 소자 및 정보기술(IT : Information Technology)의 개발에 의해 기존의 하드웨어 중심의 장비가 소프트웨어와 마이크로프로세서 중심의 장비로 전환됨에 따라 이에 대한 연구 개발은 유지보수 측면에서 더욱 요구될 것으로 예상된다. 이는 기존의 유지보수에 따른 열차 운행 중단의 문제점이 모듈화를 통해 단순한 전자 보드의 교체로 열차의 운행에 지장을 주지 않으면서 효율적으로 결함 장비의 장애 유지보수를 실현할 수 있으며, 하드웨어 위주의 전기 설비는 소프트웨어 중심의 전자 카드로 대체되어 열차 내의 기기 점유 공간을 최소화할 수 있음을 의미한다.

네 번째로는 주어진 선로 환경에 대해 선행열차와 후행 열차의 간격을 나타내는 운전시격을 최소화함으로서 선로 용량의 극대화를 통해 열차의 고속화와 고밀도 운행을 실행할 수 있다. 이는 대중 서비스 및 영업 이익 창출이라는 두 가지 명분을 모두 만족할 수 있을 것으로 기대된다. 기존의 방식은 선로를 열차 운행에 필요 한 임의의 거리로 분할하여(기존선 : 600~800m, 고속선 : 1500m, 지하철 : 200~400m), 이를 전기적인 폐회로로 구성함으로서 각각의 구간에는 열



a) CBTC 구성도



b) PRT 적용 예상도

그림 8 무선을 활용한 열차제어시스템

차 운행상의 안전을 위해 단지 한 대의 열차만이 위치 할 수 있도록 하는 고정 폐색의 개념이 사용되었다. 여기서 전기적인 폐회로는 궤도회로라 하며, 관련 거리 분할은 폐색 분할이라 한다. 향후에는 무선통신의 활용을 통해 선로에 물리적인 고정거리를 형성하지 않고 단지 열차에서 선행 열차와 차량 특성을 고려하여 선행 열차에 접근할 수 있는 최소한의 거리만을 유지한 상태에서 후행 열차가 이러한 안전거리까지 접근할 수 있도록 하는 이동 폐색의 개념이 적용될 예정이다.

마지막으로는 열차제어시스템의 획기적인 연구 개발을 가능하도록 하는 무선의 적용 확대가 기대된다. 아래 그림은 향후 예상되는 무선시스템의 철도 적용 예를 나타낸다.

과거에는 철도 무선이 단지 안전과 무관한 승객 정보 및 기관사와 운영자 상호간의 의사소통 및 통신 개념으로 사용되었지만, 현대의 무선의 발달은 Vital 정보를 취급하는 열차제어시스템은 물론 철도 시스템 전반으로 확대 적용되고 있는 추세이다. 특히 도시형 열차제어시스템에서 사용하는 기존의 ATC/ATO 및 ATP/ATO 시스템은 무선 기반 열차제어시스템(CBTC : Communication Based Train Control)으로의 변환이 가시적으로 진행되고 있으며, 기술적인 측면에서 ATC/ATO 및 ATP/ATO 시스템은 지상에서 차량으로의 정보전송매체를 선로에 설치된 궤도회로, 빌리스

또는 루프에 의존하는 반면 CBTC 시스템은 이러한 매체를 무선으로 대체함으로서 기관사를 필요로 하지 않는 무인 운전까지도 가능한 차세대 열차제어시스템으로 응용 영역이 확장되었다. 국내의 경우에도 분당선에서 CBTC 방식의 일종인 지능형 열차제어시스템(MBS : Moving Block System)의 시범 설치에 따른 성능 시험 및 무인 운전 시험이 한국철도공사에 의해 2008년 초에 성공적으로 완료되었으며, 경산의 경량전철시스템, 국산 자기부상열차 등에서도 CBTC 시스템에 대한 시험 및 시운전이 실용화 측면에서 현재 진행 중에 있다. 또한 미래 신교통 시스템으로서 도로의 택시 개념과 유사한 On demand 방식으로 운행되는 PRT(Personal Rapid Transit) 및 GRT(Group Rapid Transit)의 경우에도 무선 네트워크의 개념에 의해 열차 운행이 구현되며, 이러한 연구는 국내에서도 활발히 진행 중에 있다.

5. 결 론

열차 운행 속도 증가 및 운전 시격 감소는 열차제어 시스템에 있어서 안전성에 기반을 둔 자동화 및 무인화의 측면으로 발전이 진행되고 있으며, 정보 기술의 발전에 의한 열차제어시스템의 연구 개발은 철도시스템의 타 분야와의 인터페이스에 대한 안전까지 열차제

어시스템의 제어 영역에 의해 주어지며, 이러한 목적에 부합한 열차제어시스템의 연구 개발은 열차 운행 환경 및 열차 운행 속도에 무관한 단일화한 통합된 열차제어시스템을 요구하고 있다. 따라서 미래의 열차제어시스템은 위와 같은 기본 개념을 바탕으로 무선 및 위성의 적극적인 활용과 이와 관련된 기반 연구를 바탕으로 고속화, 무인화, 모듈화, 단일화라는 개념 하에 안전성에 입각하여 추진될 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] 김용규, “21세기 범유럽 교통망에서의 철도의 역할” 한국철도기술, 2004, 7·8월호, pp91-110
- [2] “한국형 도시철도용 무선기반 열차제어시스템 개발체계연구 보고서”, 한국철도기술연구원, 2006.
- [3] 김종기, 양도철, 정의진, “도시철도 신호시스템 표준화”, 한국철도기술, 2006, 9·10월호, pp20-25
- [4] <http://www.ertms.com>
- [5] 김용규, “열차제어시스템의 무인 자동화 기술현

황”, 전자공학회지, 2008, 제34권 11호, pp1291-1299

- [6] 윤용기, 김용규, 백종현, “ESM에 의한 열차제어 시스템 기술 개발”, 한국철도기술, 2008, vol 18, pp54-61

저자 소개

- 1984년 2월 단국대 전자공학과 공학사
 - 1987년 2월 단국대 전자공학과 공학석사
 - 1993년 9월 프랑스 INPL(Institute National Polytechnique de Lorraine) 제어공학과 DEA
 - 1997년 7월 프랑스 INPL(Institute National Polytechnique de Lorraine) 제어공학과 공학박사
 - 1985년 3월 ~ 1989년 2월 단국대학교 조교
 - 1993년 10월 ~ 1997년 7월 프랑스 CRAN(Centre de Recherche en Automatique de Nancy) 연구원
 - 1997년 12월 ~ 현재 한국철도기술연구원 열차제어·통신 연구실장
- 주 관심 분야 : TCS, ATC, ATP, CBTC