



기존선 및 고속선 신호시스템의 현재와 미래

■ 이재호, 신덕호, 백종현 / 한국철도기술연구원 철도시스템연구센터

1. 서 론

철도는 타 교통시스템과는 달리 초기부터 “안전”이라는 명제 하에서 발전하기 시작하여 산업화와 도시인구의 증가 등에 따라 정시운행과 고속·고밀도를 추구하여 최근에는 소음공해 저감, 고유가에 따른 에너지 저감 등으로 다시금 새롭게 도약을 준비하고 있다. 이러한 철도시스템의 안전 및 효율성은 신호시스템 즉, 열차제어시스템을 기반으로 하고 있다. 철도의 신호시스템은 사고발생빈도 최소화를 보장하기 위하여 초기에는 계전기를 기반으로 하는 지상신호방식이 주류를 이루고 있었으나, 컴퓨터·전자·통신기술의 발전에 따라 이를 적용한 차상신호방식으로, 운전형태도 저속·저밀도 운전에서 고속·고밀도운전을 지원하는 신호(열차제어)시스템으로 변화되고 있다. 또한 열차제어시스템도 운행되는 차량의 특성이나 인프라에 따라 다양하게 적용되고 있다.

따라서 본고에서는 국가의 기간망인 기존선과 고속선의 열차제어시스템 기본개념 확인과 함께 기술발전 에 따른 변천과정을 살펴하고, 외국의 열차제어시스템을 특성별로 분류하여 이를 바탕으로 향후 국내 기존선 및 고속선을 위해 개발되는 열차제어시스템을 선로의 특성에 맞게 적용할 수 있도록 개발방향을 제시하고 하고자 한다.

2. 신호시스템의 개요

신호시스템이란 열차의 안전운행을 확보하고 수송력의 증강을 위한 설비이다. 즉, 열차 또는 차량운행의 안전을 확보하고 선로이용률을 최대한으로 높여 수송능률을 향상시키고 열차운행을 보호하는 설비로 정의할 수 있다. 철도의 특징은 무엇보다도 대량수송을 할 수 있는데 여기에는 반드시 안전성, 정확성, 신속성이 뒷받침되어야 한다. 따라서 철도에서 가장 중요한 열차의 안전운행을 확보하고 열차소통의 원활화를 위하여 신호시스템이 필요하다.

일반적으로 신호시스템을 구성하는 장치에는 신호기장치, 선로전환장치, 궤도회로장치, 폐색장치, 연동장치, 건널목보안장치, 자동열차정지(ATS; Automatic Train Stop)장치, 열차자동제어장치 등이 존재하며, 그 중에서도 아래의 장치들을 TCS(Train Control System)의 주 장치로 간주하고 있다.

- 열차집중제어(CTC ; Centralized Traffic Control) 장치 : 중앙에서 여러 역의 열차 운행상태를 일괄 감시, 통제하며 신호장치를 조작하는 것.
 - 열차 스케줄링 작성 및 관리 기능
 - 열차 운전정리 기능
 - 열차운행상황 감시 및 표시 기능
 - 신호시스템 운영 및 유지보수 기능

로를 정의하고 현장장치인 선로전환기와 신호기를 제어한다. 또한 이러한 제어명령이 정확하게 이루어졌는가를 운행관리자인 관제사가 파악할 수 있도록 CTC로 제어확인정보를 전송한다. 기관사는 지상신호조건인 신호기의 현시조건에 따라 수동으로 운전하며, 기관사의 돌발적인 육체적 결함이나 기상현상의 악화로 신호의 누락 또는 오인으로 사고를 발생시킬 수 있는 상황을 방호하여 주는 ATS장치에 의해 안전운행을 확보 받고 있다.

표1과 그림1에서와 보인바와 같이 기존선의 운영방식은 수동운전으로 열차운행의 안전은 기관사에 의존하고 있으므로 기관사의 운전안전을 보조하기 위하여 방호장치인 ATS장치를 사용하고 있다.

ATS장치의 구성은 그림2에서 보인바와 같이 지상장

치와 차상장치로 구별되며, 지상장치에는 신호기현시의 속도정보를 표시하기 위하여 지상자와 지상자제어계전기함으로 구성되어 있으며, 차상장치는 지상자의 정보를 받고 처리하고 표시하는 차상안테나, 수신기 및 표시부로 구성되어 있다. ATS장치의 동작은 기관사가 신호기현시의 속도정보를 초과하면 ATS차상장치가 신호기현시속도와 열차운행속도를 비교하여 경보를 발하며, 이 때 기관사가 정의된 시간(3초, 5초)이내에 확인조작을 하면 경보가 소멸되지만, 그렇지 않으면 자동으로 비상제동이 작용하여 열차가 정지한다.

그러나 철도시스템의 현대화로 전철화와 동시에 고속화가 진행됨에 따라 160km/h 이상의 속도에서 지상신호방식의 신호현시를 기관사가 육안으로 확인하여 열차를 운행하기가 어렵고 또한 안전운행을 위협하므

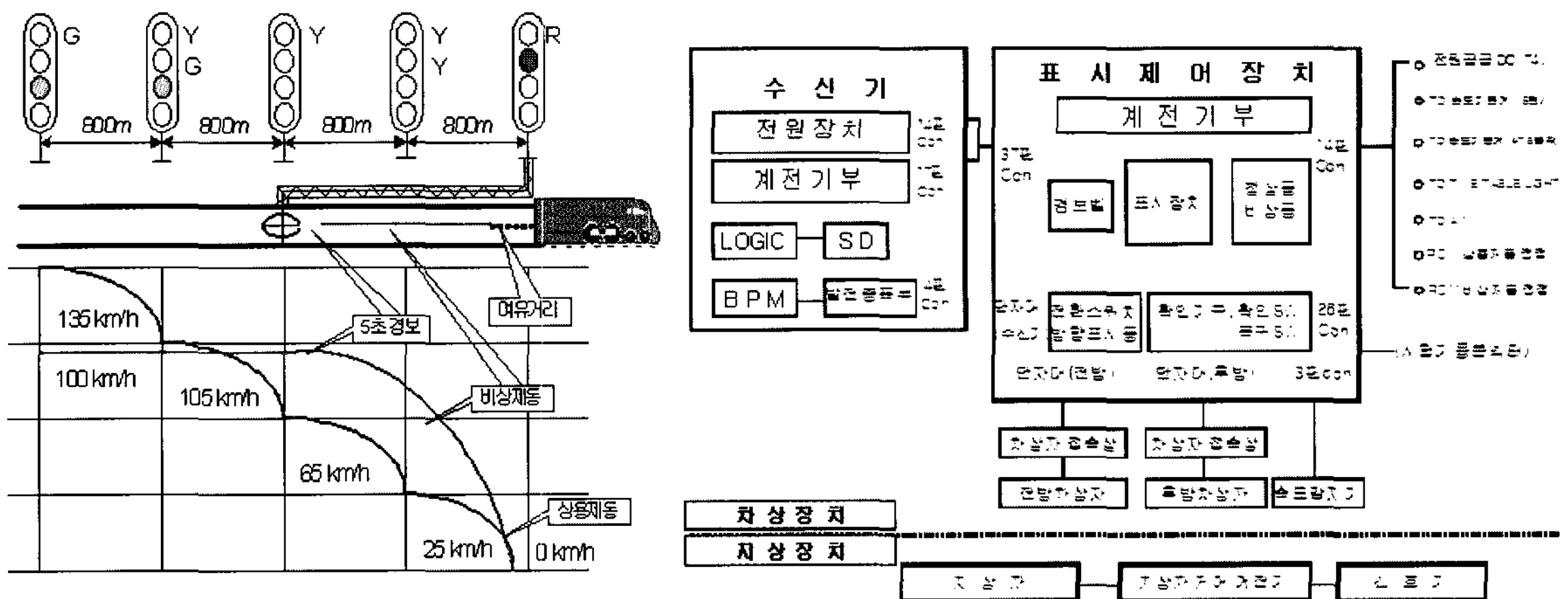


그림 2 ATS장치의 동작개요 및 기본구성

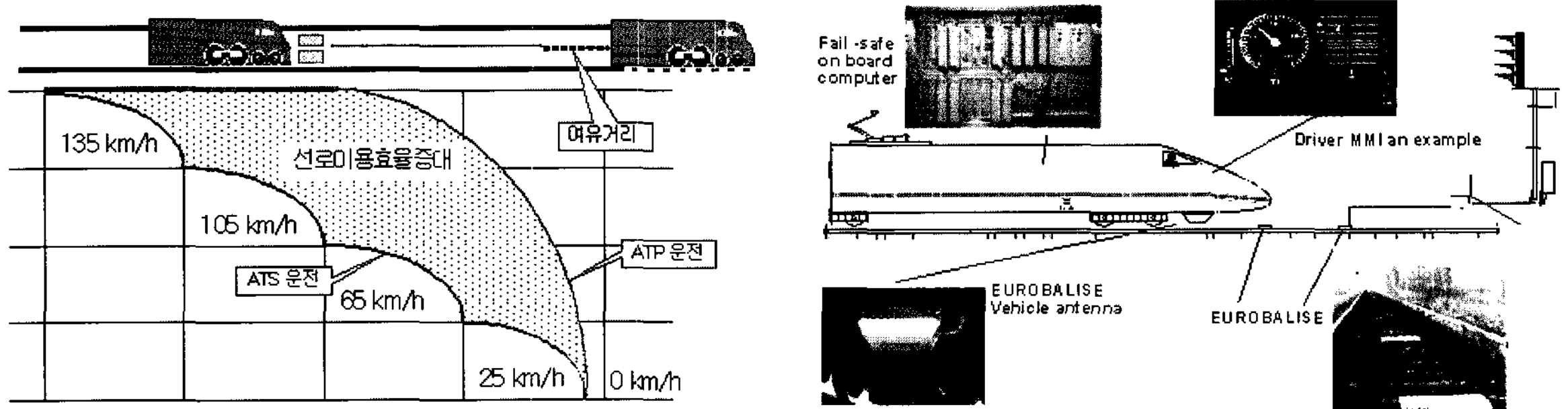


그림 3 ATP장치의 동작개요 및 기본구성

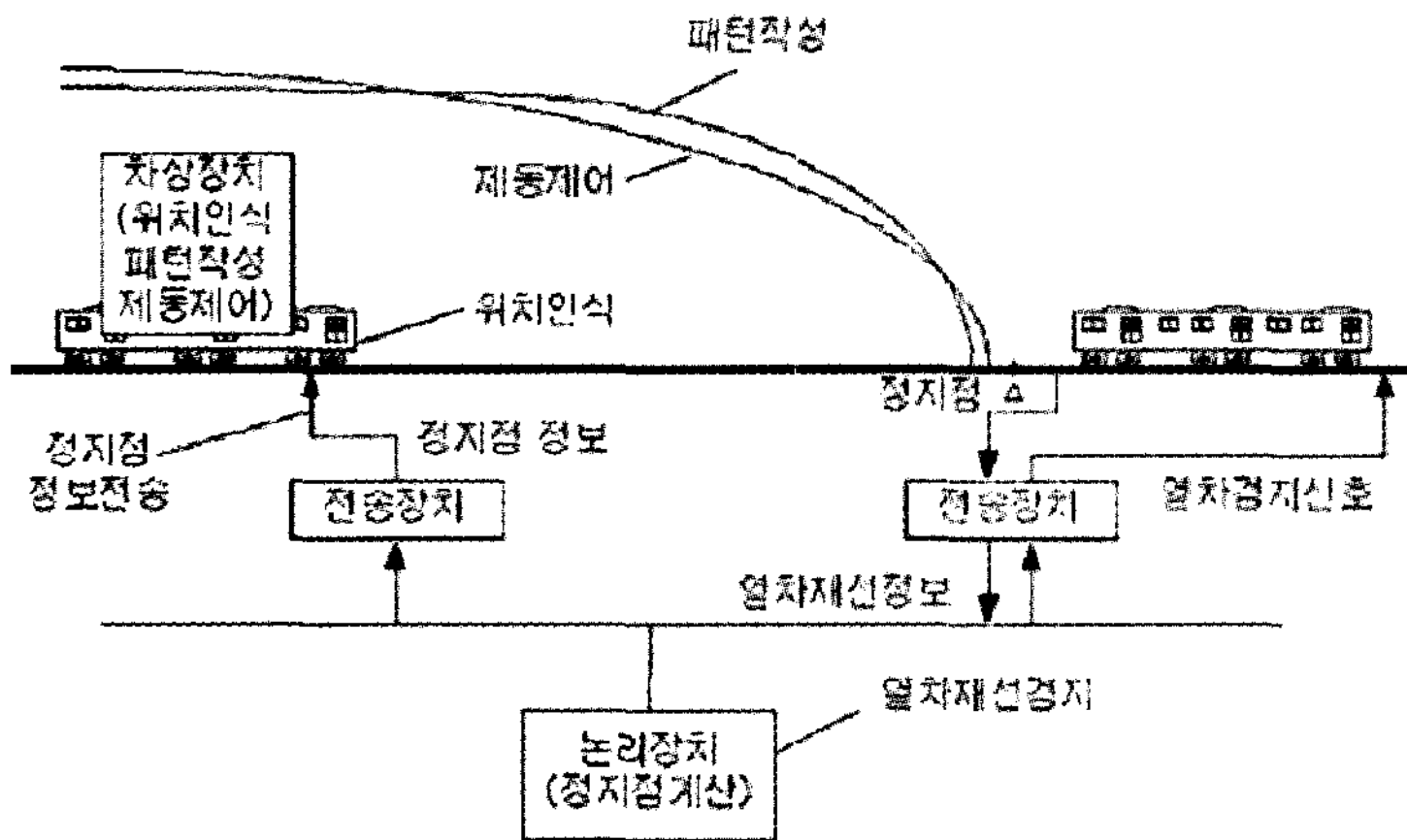


그림 4 D-ATC의 개요

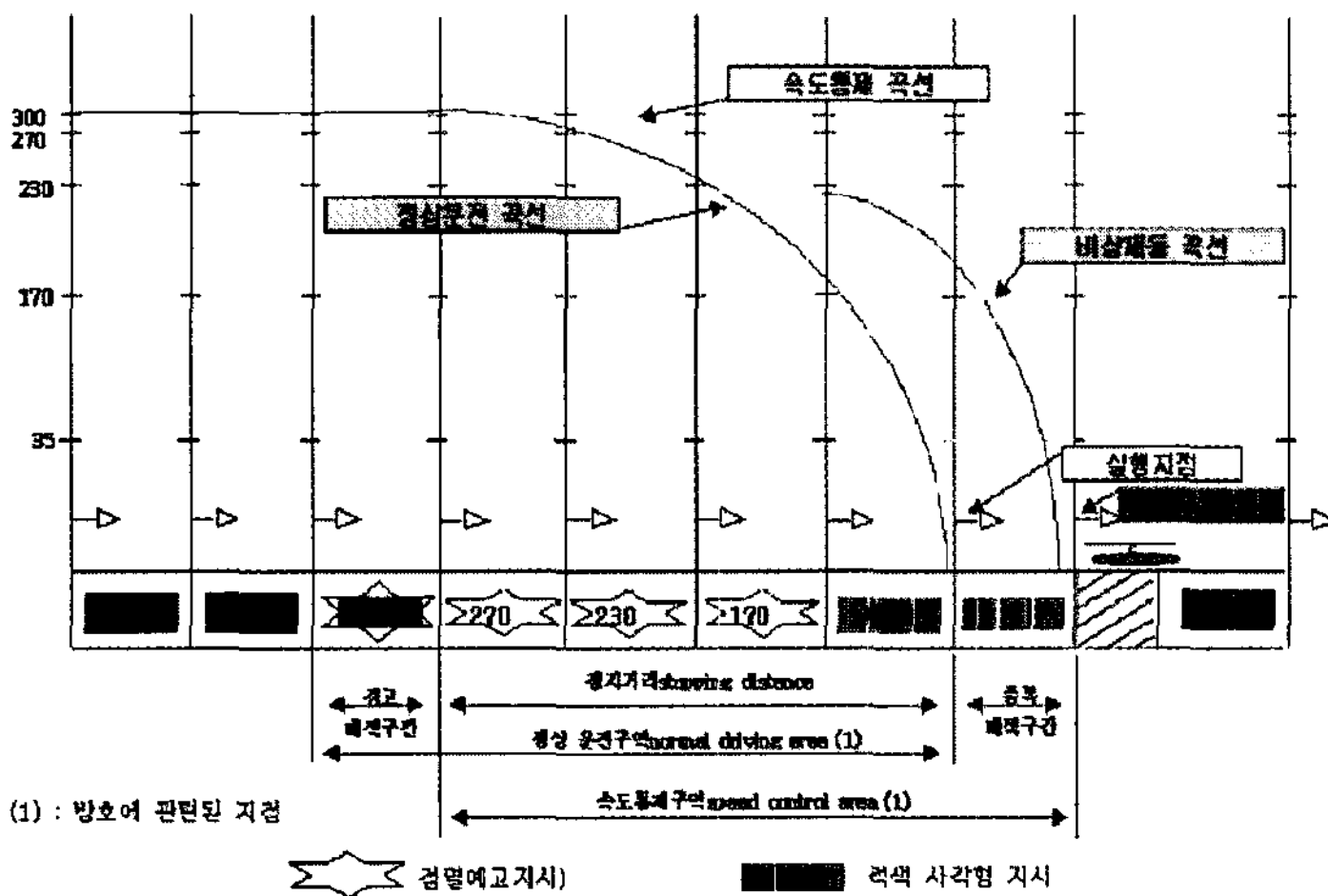


그림 5 TVM430의 제어 개요

치의 도입으로부터 20년이 경과함에 따라, 노후 교체 시기를 맞이하여, 기존 ATC장치와는 완전히 다른 방식의 새로운 ATC장치인 디지털 ATC(D-ATC)장치를 개발하였다. 디지털 방식 ATC장치에는 대략적으로 JR 동일본에서 개발한 것(D-ATC/DS-ATC)와 JR토카이에서 개발한 것(ATC-NS)이 있으며 각각의 특성은 표 3과 같이 요약할 수 있다.

3.2 유럽

유럽에서 사용되고 있는 열차제어시스템의 경우 기존선에서는 4장에서 보이는 바와 같이 각 나라마다 다

른 종류의 장치가 사용되고 있었으나 최근에는 유럽통합열차제어시스템인 ERTMS/ETCS로 교체되고 있으며, 고속선에서는 프랑스의 TVM과 독일의 LZB가 대표적인 장치이다.

가. TVM

TVM은 프랑스의 TGV가 주행하는 노선을 시작으로 유로터널 등에 도입되고 있으며 TVM300과 TVM430의 2개 시스템이 있으며 한국의 고속철도에는 TVM430이 적용되고 있다.

TVM300은 1981년의 TGV 남동선 개업 시에 도입된 것으로 열차검지는 무절연 궤도회로(궤도회로길이 : 2,000m)로 실시하고, 선행열차의 위치나 연동 조건으로 결정되는 속도신호가 궤도회로에 의해 차상으로 전송된다. 속도신호는 운전대에 표시되어 열차속도가 허용속도를 초과했을 경우에는 비상 브레이크가 동작한다. 또한 속도신호의 표시 방법에 의해, 전방의 속도신호 조건을 나타내는 것 외, 폐색 경계를 지상의 표지에 의해 명시하는 등, 운전사에 의한 속도제어를 전제로 하는 사상을 엿볼 수 있다. 속도신호는 궤도회로에 의해 반

송파(1,700, 2,000, 2,300, 2,600Hz)를 10.3~29Hz로 FS 변조하여 송신하며 최대 18 종류의 신호가 송신 가능하다. 이 외, 10m 길이의 루프선이 시스템 절체나 절대정지지점의 정지 등 필요한 곳에 설치되어 있다.

TVM430은 1993년의 TGV 북선의 개업 시에 TVM300을 베이스로 개발, 도입되었다. 사용하는 궤도회로의 종류는 TVM300과 같지만, TVM430에서는 궤도회로길이를 1,500m로 하여 디지털 기술에 의해 27bit(속도나 거리 등의 제어정보 : 18, 열차종별이나 선구의 식별 정보 : 3, 부호 : 6)의 정보를 전송한다. 차상은 수신한 제어정보와 속도측정기에 의한 검지위치

를 근거로 정지 패턴을 계산한다. 속도가 이 패턴을 초과했을 경우는 TVM300과 같이 비상 브레이크가 동작한다.

나. LZB

LZB는 1970년대 독일의 기존선에서 200km/h 운전 개시 시에 본격적으로 도입되어 그 후, ICE가 주행하는 고속선 외, 스페인, 오스트리아 등에서도 도입되고 있다. LZB는 그림6과 같이 구성되며 레일사이에 부설된 교차유도선(교차간격 : 100m)을 사용해 지상-차상간의 제어정보 전송을 실시한다.

차상은 교차유도선의 교차검지와 속도측정기에 의해 위치검지를 실시하여 위치, 속도 외, 자신의 열차길이나 브레이크 성능 등을 지상으로 송신한다. 지상의 센터에서는 차상으로부터 수신한 정보 외, 연동조건이나 무절연 궤도회로에 의한 열차검지 정보 등을 기본으로 각 열차의 정지목표의 위치, 목표속도, 브레이크 특성(감속도)을 결정해 차상으로 송신한다. 이 정보송신은 1초 주기로 행해진다. 차상에서는 목표까지의 정지 패턴을 발생함과 함께 운전대에 허용속도, 목표까지의 거리, 목표속도를 표시한다. 열차속도가 패턴속도를 초과했을 경우에는 프랑스의 TVM와 같이 비상 브레이크가 동작한다.

이러한 LZB의 큰 특징의 하나는 열차의 브레이크 성능에 맞추어 제어를 실현하고 있는 것이다. 또한 LZB를 탑재하지 않는 기존 차량의 주행을 고려하고 있는 것도 특징의 하나이다.

다. ERTMS/ETCS

ERTMS/ETCS는 유럽의 각 국가마다 서로 다른 신호 시스템을 통일하여 국가간 열차 운행을 유연하게 하는 상호운용성(interoperability)의 실현을 목적으로 1990년대 초기부터 개발이 진행되고 있는 열차제어시스템이다. 특히 최근, 역내의 여러가지 장벽을 철폐한다고 하는 EU의 시책의 하나로서 추진되고 있어 본격 도입

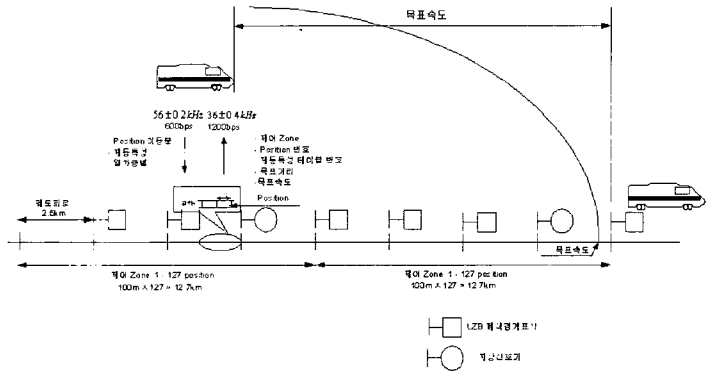


그림 6 LZB의 제어 개요

이 시작되고 있다.

장치는 기능이나 구성에 의해 레벨 1에서 레벨 3으로 분류되고 있다. 여기서 레벨 1은 한국에서 도입중인 장치로 이미 유럽에서의 기존에서는 널리 사용 중에 있으며 레벨 2에서는 열차검지를 위하여 궤도회로를 사용하지만 지상으로부터 차상으로의 제어정보 전송에는 무선(GSM-R)과 EuroBalise라 불리는 트랜스폰더를 사용하는 신호방식이 적용된다. 차상에서는 속도측정기 등을 사용해 위치검지를 실시하고 EuroBalise의 통과를 통해 검지된 위치를 보정하고 있으며, 현재 유럽에서 시험운행을 마치고 영업운행을 시작하는 단계에 있다. 레벨 3에서는 궤도회로를 사용하지 않으며 지상-차상간의 제어정보는 모두 무선으로 실시한다.

4. 열차제어시스템 분류

열차제어시스템은 차상신호 원칙, 감시 및 수행 기능 원칙, 전송모드 등에 의하여 분류가 가능하다. 아래는 상기 분류기준에 따라 유럽의 열차제어시스템을 5가지 그룹으로 분류한 것이다.

- 첫 번째 분류 그룹의 시스템은 감시기능이 없는 불연속 전송방식의 시스템이다. 이들 시스템의 선로-열차간 전송은 다양한 매체(기계적, 갈바닉, 유도접촉 등)를 통해 이루어진다. 이 분류에 속하

는 시스템으로는 ATS (Automatic Train Stop), 다양한 교외노선 AWS (영국), Crocodile(프랑스, 벨기에), Signum (스위스), SHP (폴란드)이 있다.

- 두 번째 분류 그룹에 속한 시스템은 다양한 형태의 감시기능이 있는 불연속 방식의 저용량 시스템이다. 이 시스템의 정보전송은 복합 주파수 공명회로를 통해 이루어지거나 표준형 프래그먼트(fragment)를 통한 제동감시를 통해 이루어진다. 이 분류에 속하는 시스템은 Indusi (독일, 오스트리아, 전(前) 유고슬라비아 및 루마니아), ASFA (스페인), TPWS (영국), KHP (폴란드) 등이 있다.
- 세 번째 분류 그룹에 속한 시스템은 궤도회로를 통해 코드화된 선로변 신호를 연속전송방식으로 전송한다. 이들 시스템은 신호인지여부 검사 기능, 열차정지 기능 및 정적 속도프로파일 감시 기능 등을 제공하지만 제동감시 기능은 없는 것이 보통이다. 이 분류로는 LS(체코, 슬로바키아), EVM(헝가리), BACC(이탈리아), ATB-EG(네덜란드), CAWS(아일랜드), TVM 300(프랑스 고속선) 등이 있다.
- 네 번째 분류 그룹에 속한 시스템은 동적 속도 감시 기능을 제공하는 불연속 전송 방식의 현대적 시스템이다. 두 번째 그룹 시스템의 아날로그식 전송방식에 비해 이들 시스템은 디지털 트랜스폰더를 통해 신호, 속도 프로파일 및 선로변 신호장치 및 데이터 전송장치까지의 거리 등이 포함된 세부 데이터를 전송한다. 이들 시스템은 정확한 목표 속도와 거리, 동적 속도 프로파일을 기관사에게 현시하며 지속적으로 동적 속도 프로파일을 감시한다. 다음번 트랜스폰더로 거리 정보가 전송될 때 선로변 트랜스폰더의 고장을 검출할 수 있다. 대부분의 시스템은 부가적으로 신호기에 설치되지만 일부 시스템은 독립 시스템으로써 설치되는 경우도 있다. 이 그룹에 속하는 대표적인 시스템으로는 Ebicab (스웨덴, 노르웨이, 불가리아,

아, 포르투갈), ATB-NG (네덜란드), TBL (벨기에), ZUB 121 (스위스), ZUB 123 (덴마크), ATP-VR/RHK (핀란드), GW ATP (영국, 160km/h 이상의 열차), RSDDD (이탈리아), SELCAB (스페인 고속선), ETCS Level 1 및 KVB (프랑스) 등이 있다. 프랑스의 KVB는 특별한 케이스라고 할 수 있다. 공명 회로 그룹은 디지털 데이터와 유사한 정보량의 데이터를 전송한다.

- 마지막 다섯 번째 그룹에 속하는 시스템은 동적 속도 감시 기능을 갖춘 연속 전송 방식의 고용량 시스템이다. 불연속 디지털 트랜스폰더와 마찬가지로 전송 과정 중 변경된 신호까지도 곧바로 차량에 전송할 수 있다. 기타 차상신호 및 감시 기능은 앞서 디지털 트랜스폰더의 기능과 유사하다. 이들 시스템은 고속 교통에 주로 활용된다. 이 분류로는 LZB (독일, 오스트리아, 스페인 고속선에 주로 활용됨), TVM 430 (프랑스 고속선), ETCS 레벨 2/3 등이 있다.

5. 결 론

본고에서는 열차의 간격제어 및 진로제어를 안전하게 수행하는 열차제어시스템에 대하여 국내 기존 및 고속선의 설비현황을 분석하고, 일본과 유럽의 열차제어시스템을 소개하였다. 또한 유럽의 열차제어시스템에 대해서는 발전단계에 따라 5가지로 그룹으로 시스템을 분류하여 각각의 특성을 조사 및 분석하였다.

열차의 고밀도운전 및 이에 대한 안전성확보가 요구되고, 첨단기술이 열차제어에 적용됨에 따라 열차제어시스템은 현재까지도 급속한 발전을 이룩하고 있다. 따라서 이러한 국제적 변화추이에 따라 국내 열차제어시스템의 개발로드맵을 점검해야 하며, 선진국의 열차제어시스템 변경추이를 분석하여 시행착오 및 개량단계를 단축하는 것은 향후 우리나라 열차제어시스템의 세계시장 선도를 위한 소중한 기초가 되리라 생각된다.

참고 문헌

- [1] 한국철도기술연구원, “차세대고속철도 기술개발 사업(최고시속 400km 고속열차개발) 기획보고서, 2006, 5.
- [2] 한국철도기술연구원, “고속철도 열차제어시스템 안정화기술개발 최종연구보고서, 2007.
- [3] 김용규 외, “고속선 열차제어시스템 성능 및 안전성 향상 방안”, 한국철도기술, Vol.9, 2006.
- [4] Integrating ETCS Level 2 with TVM430 on TGV Est, Railway Gazette International, March 2006.
- [5] Guy Bouchard, Francois BINET, Sylvain LE DOARE, “L’exploitation et la conduite d’une ligne mixte TVM/ERTMS”, Revue Generale des Chemins de Fer, 2004.
- [6] IRSE, “European Railway Signalling”, A&C Black
- [7] UIC(2007), Global Perspectives for ERTMS, UIC Report for the ERTMS Annual Conference Berne, 11-13, September
- [8] Tamotsu Kato(2007), R&D on Signal Control Systems and Transport Operations Systems, JR EAST Technical Review, No.7
- [9] 奥谷 民雄(2003), 最近の ATC/ATS 技術の 潮流, 鐵道と車輛技術, No.82
- [10] 佐佐木英二 外3(2005), 最新의 列車制御 System と今後の動向, 日立評論, Vol.87, No.9
- [11] Gregor Theeg/Bela Viincze(2007), European train protection systems compared, SIGNAL+DRAHT(99) 7+8