

열차제어기술 체계화 방안에 대한 연구

A Study of Systematization for Train Control Technique

이재호†

Lee, Jae-Ho†

신덕호*

Shin, Ducko*

이강미**

Lee, Kang-Mi**

ABSTRACT

Before introducing high speed train, train signal system was operated passively depending on a driver by signal lamp display. Now it is changing to onboard signaling system because of train speed increased(coventional track is 230km/h, high speed track is 380km/h), high speed · low speed freight train operation mixed, operation for high speed train in conventional track and dense operation. ie. ETCS(European Train Control System) Level 1 is introducing. Also, in case of high speed train, the train control system of France was introduced and has operated from 2004, now we have a difficulty for rising speed more than 300km/h because of commercial operation speed limited as 300km/h. Therefore, it need to establish the train control technique according to trackside surroundings and develope standard system like European ERTMS/ETCS, China CTCS(Chinese Train Control System), Japan D-ATC(Digital Automatic Train Control). In this paper, we derive the systematization method for Korea train technique by network-oriented, information-oriented, intelligence-oriented and combination-oriented corresponding train development direction. Proposed method has a merit to prevent cross by mixed operation with existing system and improvement after validity demonstration and system development and supply train system to meet user requirement in exporting.

1. 서 론

고속철도 도입 이전 일반철도의 신호시스템은 신호기 현시를 바탕으로 기관사능력에 의존하는 수동운전을 하였으나, 열차의 속도고속화(기준선 230km/h, 고속선 380km/h), 고속·저속 화물차량의 혼합운행, 고속열차의 기준선 연계운행 및 고밀도 운전 등의 운영환경 변화에 따라 현재의 신호시스템은 신호기의 현시상태에 무관한 차상신호방식으로의 변화를 추구함으로서, 국내에도 유럽 차상신호방식(ETCS Level 1)의 열차제어시스템이 도입 중에 있다. 또한, 고속철도의 경우는 2004년부터 프랑스의 열차제어시스템이 도입 운영 중이지만, 신규 고속열차 속도향상에 따른 열차제어시스템 속도향상을 위한 기술적 개량이 어려움을 겪고 있다[1].

따라서, 열차제어기술을 유럽의 ERTMS/ETCS(European Train Control System), 중국의 CTCS(Chinese Train Control System), 일본의 디지털 ATC(Automatic Train Control)와 같이 열차운행노선의 차량성능으로부터 독립적인 열차제어 기술체계를 정립하고 표준시스템을 구현해야 할 필요성이 요구된다[2,3,4].

본 연구에서는 열차제어기술 및 동향에 대하여 외국사례 검토를 통해 철도발전 방향에 부합하는 네트워크화, 정보화, 지능화 및 통합화를 중심으로 하는 한국형 열차제어기술 체계화를 위한 방안을 도출하고자 한다.

† 책임저자 : 정회원, 한국철도기술연구원, 열차제어통신연구실, 책임연구원
E-mail : prolee@krri.re.kr

TEL : (031)460-5436 FAX : (031)460-5449

* 정회원, 한국철도기술연구원, 열차제어통신연구실, 선임연구원

** 정회원, 한국철도기술연구원, 열차제어통신연구실, 주임연구원

제시된 방안의 타당성이 입증되고 시스템으로 구현되면 향후 연계운행, 개량 등에 있어서의 혼선 방지 는 물론 철도시스템의 국외 수출에 있어서 사용자가 요구하는 환경에 적합한 최적의 철도시스템 공급이 가능해질 것이다.

2. 본 문

열차제어방식은 열차의 운영형태에 따라 그 특성을 달리 하고 있다. 크게 간선철도와 도시철도 열차제어기술로 분류되며, 간선철도에서도 기관사가 시각적으로 현장의 신호설비를 보고 운전이 가능한 속도인 160km/h 경계로 구분이 가능하며, 또한 250km/h 이상의 고속열차제어기술은 고속화에 따라 증가하는 위험도의 완화를 목적으로 그 기술을 달리하고 있다. 도시철도 열차제어기술도 중량전철과 신교통시스템을 포함하는 경량전철에 대한 열차제어기술에는 몇 가지의 차이점이 존재하며[5], 본 연구에서는 간선철도의 신호시스템에 대한 내용을 위주로 다루었다.

2.1 한국철도 간선철도의 열차제어방식 분류

2.1.1 기존선 구간

가. 신호기 방식

현재 국내의 간선철도신호시스템은 기관사가 신호기 현시에 의존하는 수동운전방식 열차제어를 수행하고 있다. 이 방식은 열차운행의 안전을 기관사능력에 의존하는 방식으로 한국철도의 초기부터 사용되어오고 있는 방식이다. 이 방식의 대표적인 형태가 아래 그림1과 같다.

구 분		5번신호기	4번신호기	3번신호기	2번신호기	1번신호기
배선약도		—○	—○	—○	—○	—○ —————>
신호기의 제어방식	3현시	G	G	G	Y	R
	4현시 지상	G	YG	Y	R1	R0
	지하	G	Y	YY	R1	R0
5현시		G	YG	Y	YY	R
차상신호구간(ATC) 코드		80	60	40	0	0
고속구간코드		300	270	230	170	정지예고 RRR

그림1. 신호기 현시에 따른 속도제한

위와 같은 신호기방식에서 열차운행의 안전을 확보하기 위해 자동정지장치(ATS; Automatic Train Stop)를 보조적으로 사용하여 운영환경에 대한 기관사의 인적오류 등에 대비하고 있다.

나. ETCS Level 1

한국의 열차제어시스템은 1990년대 말부터 기존선의 속도향상, 선로용량증대 및 열차운행의 안전성 향상을 위하여 새로운 열차제어방식의 도입에 대한 연구가 진행되었으며, 그 결과 유럽을 바탕으로 표준화되고 있는 차상신호방식인 ETCS 도입을 결정하여 2004년부터 경부, 호남선구간에 도입을 추진하여 현재 지속적인 시험운행을 추진하고 있다.

한국의 ETCS Level 1은 기본적인 열차방호기능과 차상신호기능을 제공하는 ATP 제어시스템으로 구성되며, 비 개량구간인 고속선과 기존선의 상호운행을 위하여 ATC(Automatic Train Control) 및 ATS를 특정전송기능(STM)으로 인터페이스하여 구성되었다.

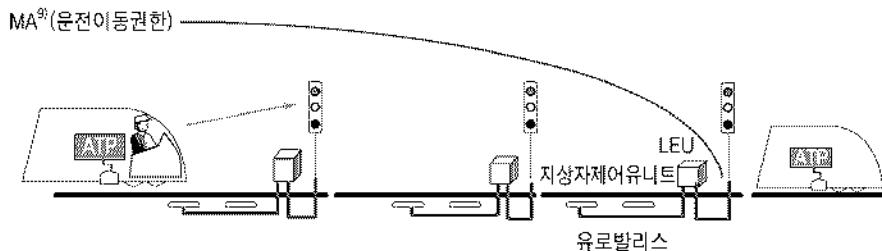


그림2. 국내에 도입중인 ERTMS/ETCS Level 1의 구성도

2.1.2 고속선 구간(TVM 430)

고속선구간의 열차제어방식은 프랑스의 고속철도에서 사용되고 TVM series 중 TVM430이 도입되어 적용되었다. TVM430은 열차의 위치를 무결연 케도회로를 사용하여 검지하고, 선행열차위치, 선로환경, 안전정보 및 연동조건에 의해 결정되는 제한속도신호가 케도회로에 의해 지상에서 차상으로 전송된다. 제한속도신호는 운전대에 표시되어 열차속도가 허용속도를 초과했을 경우에는 비상제동이 동작한다. 또, 속도신호의 표시 방법에 의해 전방의 속도신호의 조건을 나타내는 외에 폐색경계를 지상의 표지에 의해 명시하는 등 운전사에 의한 속도제어를 전제로 하고 있다. 속도신호는 케도회로에 27bit(속도나 거리 등의 제어정보: 18, 열차종별이나 선구의 식별 정보: 3, 부호: 6)의 정보를 FSK방식으로 전송한다. 차상은 수신한 제어정보와 속도센서에 의한 산출된 열차위치를 기준으로 그림3과 같이 정지 패턴을 계산한다. 이러한 고속선 지상신호체계하의 감속 시퀀스는 그림3과 같이 감속구간 이전 “경고구간”에서 감속여부를 미리 인지할 수 있다.

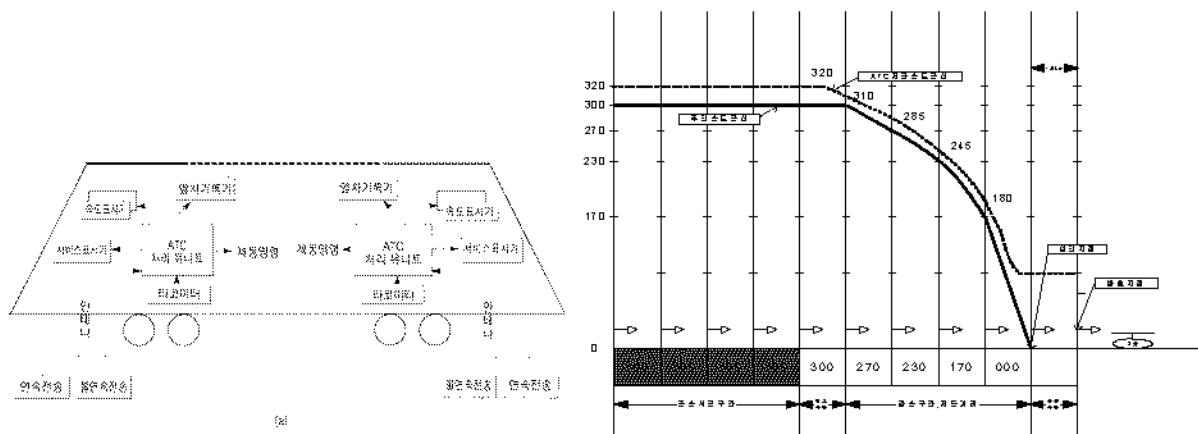


그림3. 경부고속철도 차상장치구성 및 열차제어곡선

2.2 선진국의 열차제어현황 및 국내 표준화를 위한 제안

2.2.1 일본의 열차제어방식(디지털 ATC)

일본의 신호시스템은 크게 2가지의 형태로 분류된다. 기존선의 경우 우리나라의 기존선과 유사한 신호기방식에 ATS장치를 부과한 방식과 ATS장치를 개량하여 유럽의 ETCS Level 1과 유사한 ATS-P방식이 주류를 이루고 있다. 그러나 일본의 경우 기존선은 일반적으로 160km/h이하로 운행되고 있어 우리나라의 기존선 고속화 개념인 230km/h와는 운영환경이 상이하여 본 논문에서는 기존선 보다는 고속선의 경우를 대상으로 검토하였다.

일본의 고속선에서는 그림4(1)와 같이 자동열차제어장치를 채용하고 있습니다. 초기에 도입된 ATC 장치는 열차의 운전 속도를 나타내는 신호를 지상장치로부터 아날로그 신호를 이용해 레일에 송신하고, 차상장치에서 수신된 정보는 열차의 운전속도와 비교하여 신호가 지시하는 운전 속도로 감속할 때까지 자동적으로 제동을 수행하는 구조이다.

이러한 기존 ATC장치는 열차의 안전운행에 필요한 안전성이 확보된 구조이지만, 열차의 속도제어

가 계단형으로 수행되어 돌발적인 제동수행으로 인해 승차감이 비교적 나쁘고, 열차의 운전시격 단축도 한계를 내포하고 있다. 따라서 이러한 문제의 해결을 위해 도입 및 운영기간이 20년이상인 노선에 대해서는 그림4(2)와 같이 이동권한개념의 향상된 ATC인 디지털 ATC(D-ATC)를 개발 및 적용하였다.

기존 ATC장치는 열차의 운전 속도를 나타내는 신호를 아날로그 신호로 레일에 송신하는데 반해, 향상된 D-ATC장치는 선행열차위치 등에서 후방의 열차가 정지해야 할 위치 정보를 지상장치에서 산출하고, 산출된 정보를 디지털신호로 레일을 이용하여 차상으로 송신한다. 또한, 차상장치는 운행중인 열차의 위치를 항상 파악하고 데이터베이스화 한다. 운행중인 열차의 위치정보와 지상장치로부터 수신된 이동권한 종단정보를 이용하여 제동패턴을 데이터베이스에서 검색하고, 적합한 제동제어를 실시한다. D-ATC의 제동 제어는 피드백 제어에 의해 승차감의 향상을 도모하고 있다.

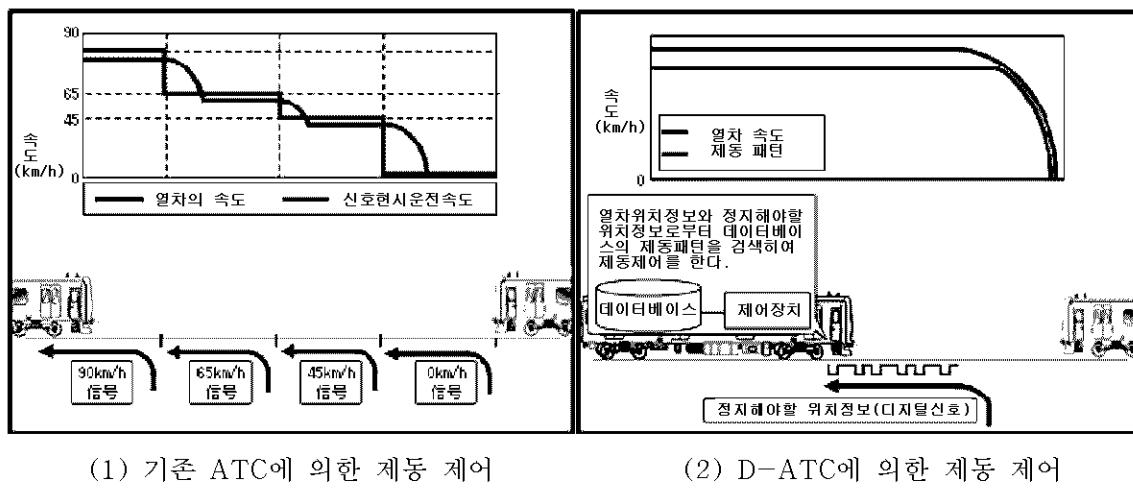


그림4. 일본의 열차제어방식 예

D-ATC의 가장 큰 특징은 지상으로부터 차상으로 열차운행을 위한 속도코드를 제공하지 않고 운행하는 열차에 적합한 제어패턴을 차량 스스로 형성함으로서 다양한 성능의 열차가 해당 노선에서 열차의 성능을 완전히 발휘할 수 있다는 장점을 갖는다. 또한 고속으로 운행되는 열차에 궤도회로를 이용한 연속적 정보송신방식을 채용하여 Balise나 Beacon과 같은 불연속제어방식보다는 열차운행의 안전성 측면에서 상대적으로 높다.

2.2.2 중국의 열차제어방식(CTCS)

중국의 열차제어방식은 초기에는 프랑스의 기술을 도입하여 사용하였으나, 중국정부의 철도시스템 현대화 및 철도인프라구축을 위한 집중적 투자에 의해 대규모의 철도건설을 추진 중에 있으며, 고속전용선은 운행속도 200km/h를 초과하여 최고속도 300~350km/h를 목표로 진행되고 있다. 특히 기존선 속도 향상은 200km/h 급을 향하고 있으며, 수송수요 증가로 인해 여객전용선을 여객/화물 혼합운송으로 운영하는 등 기존선, 속도향상노선, 여객전용선의 상호연결 교차운행을 위해 유럽의 열차제어방식인 ETCS에 바탕을 둔 CTCS(Chinese Train Control System)로 그 기본을 구성하였다.

CTCS의 목적은 중국 철도선로를 위한 신호장치의 표준화이며, 미래의 모든 신호장치의 국산화, 지상/차상장치들은 CTCS표준에 부합하도록 개량하는 것이다. 또한 CTCS 전환 작업 시 상호운용성 외에 신호장치 간의 인터페이스 표준, 기존 신호 장치에서 CTCS로의 전환, 하위 장치 간의 정보 전송 형식, 안전 및 신뢰도, 수송량 증가, 용이한 보수유지, 투자비용 대비 소득, 공개 시장 등의 요소들이 고려되고 있다.

CTCS와 ETCS구성방식의 차이점은 열차로의 정보전송을 연속적인 정보전송방식인 궤도회로를 이용하고 있다는 것이다. ETCS의 경우 Level 1은 유로밸리스를 이용한 불연속정보송신 방식이며, Level 2는 GSM-R을 이용한 연속정보송수신 방식이다. 이러한 차이는 일본의 D-ATC 장점을 보입한 것으로 추정된다.

CTCS는 기능요구 및 설비배치에 따라서 응용등급 0~4등급으로 분류한다.

- 0등급 : 기존 궤도회로, 통합 기관사실 신호 및 열차운행감시장치로 구성되며, 지상신호가 주신호이며 기관사실 신호가 보조신호이다. 이 등급은 CTCS의 가장 기본 모드이며 120km/h 이하로 달리는 열차에만 적용된다.

- 1등급 : 기존 궤도회로, 자동무선(또는 발리스) 및 ATP 장치로 구성되어 있다. 이 등급은 열차가 시속 120km에서 160km로 달릴 때 적합한 등급으로 열차운행은 주요 신호로 불리는 차상장치 ATP에 의해 작동된다. 자동 무선(발리스)는 선로에 설치되어야만 한다.

- 2등급 : 디지털 궤도회로(또는 다중정보가 포함된 아날로그 궤도회로), 자동 무선(발리스) 및 ATP 장치로 구성되었다. 이 등급은 시속 160km 이상 달리는 열차들에 사용되며, 지상신호는 더 이상 폐색분할에 종속되지 않는다. ATP의 제어모드는 운행할 거리에 의해 작동한다. 이 등급에는 고정된 폐색모드가 적용된다. 장치가 중국 철도 신호의 특정 기능을 현시하는데, 이 또한 "위치 및 연속장치"로 불린다.

- 3등급 : 궤도회로, 자동무선(발리스) 및 GSM-R이 장착된 ATP로 구성되어 있다. 궤도회로의 기능은 단지 열차 점유와 열차 상태 확인을 위해서만 쓰인다. 궤도회로는 더 이상 열차 운행과 관련된 정보를 전송하지 않으며, 이러한 정보들은 GSM-R에 의해 전송된다. GSM-R는 이 등급의 핵심이며, 고정된 폐색장치가 동일하게 적용된다.

- 4등급 : CTCS 중 가장 높은 등급으로써 이동폐색 장치 기능이 4등급에서 수행될 수 있다. 열차와 지상장치간의 정보전송은 GSM-R에 의해 수행된다. GPS 또는 자동무선(발리스)가 열차 위치 확인을 위해 사용되며, 열차 상태 확인은 차상장치에서 이뤄진다. 궤도회로는 오로지 역에서만 쓰인다. 지상장치는 장치 보수유지비용을 줄이기 위해 최소로 줄여졌다. 열차 운송의 경우, 동일 선로에서의 열차 운행량에 따라 매우 유동적으로 이뤄질 수 있다.

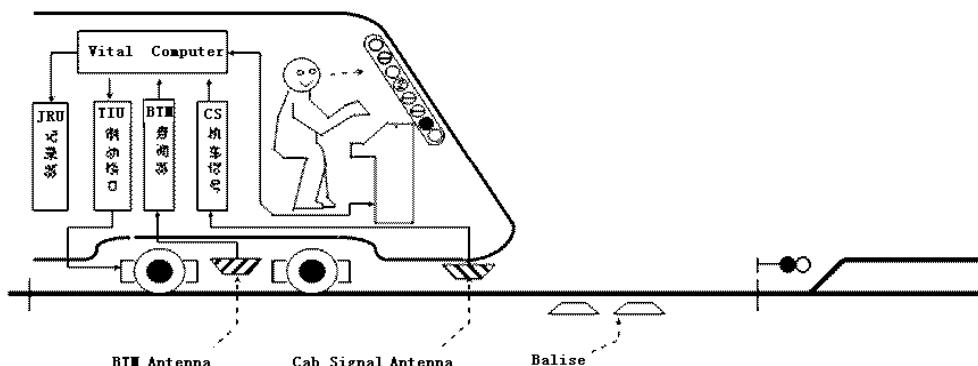


그림5. CTCS 0등급 & 1등급에서의 차상신호

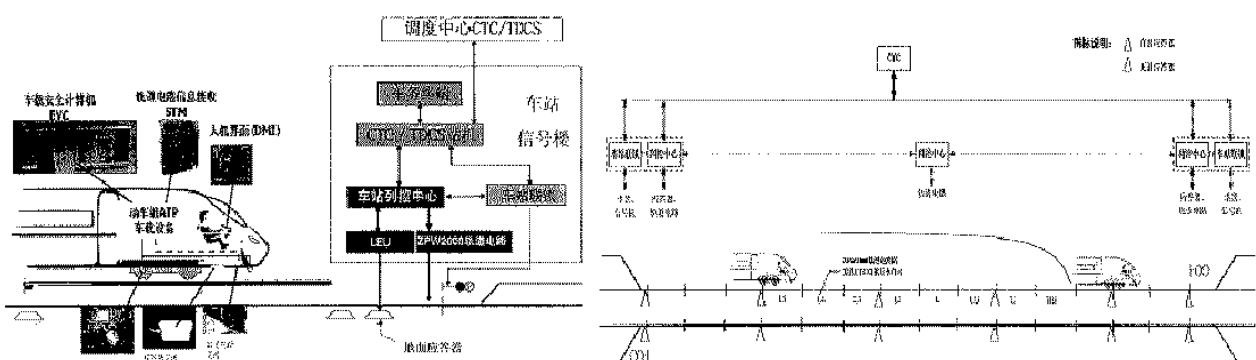


그림6. CTCS-2등급 열차제어시스템 구성 및 원리도 예

2.2.3 유럽의 열차제어방식(ETCS)

ERTMS/ETCS은 유럽에서 나라마다 다른 신호시스템을 통일하는 것으로 국제 열차의 운행을 연속적으로 하는 상호운영성(interoperability)의 실현을 목적으로 1990년대 처음부터 개발이 진행되고 있다. 특히 최근에는 EU 가입국 증가에 따라 그 영향이 점점 확대되고 있으며, EU정책의 일환으로 본격적으로 도입되고 있다.

ETCS는 장치의 기능 및 구성에 따라 레벨 1에서 레벨 3으로 분류되고 있다. 현재는 레벨 2까지 운용 가능하며, 레벨 3도 개발 중에 있다. 이러한 레벨들은 시스템의 정교함 정도에 따라 결정되는 것으로 각각의 레벨 특성은 다음과 같이 기술할 수 있다.

- 레벨 1: 기본적인 열차방호기능과 차상신호기능을 제공하는 표준형 ATC/ATP 제어시스템
- 레벨 2: 전송경로로 무선을 이용하는 ATC/ATP 포함 완전 열차제어시스템 (복합교통 환경을 위한 선로별 신호장치들은 그대로 유지하는 시스템)
- 레벨 3: 레벨 2의 연장선상에 있는 시스템으로 무선의존 비율이 보다 높으며, 대부분의 선로별 신호인프라(신호기, 궤도회로, 차축계산기 등) 없이도 구현 가능한 시스템. 필요시 이동폐색 운용을 용이하게 한다.

주목할 사항으로써 ERTMS/ETCS가 간선운영만을 고려하여 설계된 표준이 아니라는 점이다. ERTMS/ETCS는 교외노선이나 새로운 노선, 기존 네트워크 등에도 동일하게 응용 가능한 시스템이다. 특히 ERTMS는 기존의 re-signaling^o 재정적으로 많은 부담이 되는 2차노선(secondary line)이나 교외 노선에서도 사용 가능하다.

2.2.4 한국형 열차제어방식 안

위와 같이 각 국가별로 열차제어방식의 체계화를 위한 기준 및 환경은 상이하지만 열차의 운영효율 향상 및 안전확보라는 기본개념은 동일한 것으로 분석되었다. 특히 중국의 CTCS는 ETCS을 기반으로 하고 여기에 일본의 D-ATC 장점을 추가하여 구성하고 개발 중에 있다.

한국철도도 과거의 외국시스템 도입우선 정책에서 벗어나 국내운영환경 및 향후 국외진출을 고려한 한국형 열차제어방식 체계화를 목적으로 하는 정책전환이 최근의 기존선 고속화 및 고속선 속도향상의 성공적 완수를 위해 시급히 요구된다.

따라서 이러한 체계화의 구체적 방안으로써 고속선과 기존선을 통합화하는 방안과 기존선과 고속선을 분리하여 고려하는 방안을 제안한다.

첫 번째 방법인 기존선과 고속선의 통합방안은 유럽의 ETCS와 같은 형태를 추진하는 것이 가장 바람직하지만, 우선적으로 고려되어야하는 문제로써 ETCS Level 2이상에서 기본적으로 적용하고 있는 GSM-R이 국내에서는 관련 법률 및 산업환경으로 인해 도입이 불가능하다는 점이다. 따라서, GSM-R의 기능을 대체할 수 있는 무선통신네트워크를 확보하는 것이 가장 중요한 문제이다[6].

현재 이러한 문제의 해결을 위해 정부와 산학연이 공동으로 다양한 측면의 검토를 수행하고 있으나 그 대안을 확보하는 것에 어려움이 있는 것으로 알려지고 있다. 따라서 무선의 대안으로 일본에서 사용하고 있는 궤도를 통한 정보전송방법도 현실적인 대안으로 고려될 수 있다. 이 경우 현장설비의 유지보수 효율화라는 측면에서의 검토가 추가적으로 수행되어져야 할 것이다.

두 번째 방법인 기존선과 고속선의 분리방안은 일정속도, 예를 들면 현재 기존선 고속화의 최대속도인 230km/h을 경계로 그 이상의 고속선에서는 현재의 TVM430과 같이 지상에서 열차로 속도코드를 전송하는 방식이 아닌 일본의 D-ATC의 개념인 다양한 차종의 열차가 운행될 수 있도록 지상에서는 열차의 이동권한을 제공하고 이를 바탕으로 열차가 자신의 운행패턴을 작성하는 방안으로 구성한다. 이러한 방안은 무선을 필요로 하지는 않는다. 경계속도이하의 기존선에서는 ETCS Level 1을 기반으로 하나 정보전송을 Balise를 통한 불연속적인 전송보다는 궤도회로를 통한 연속적인 정보전송으로 속도향상에 따른 안전성을 추구하는 것이 바람직할 것으로 예상된다.

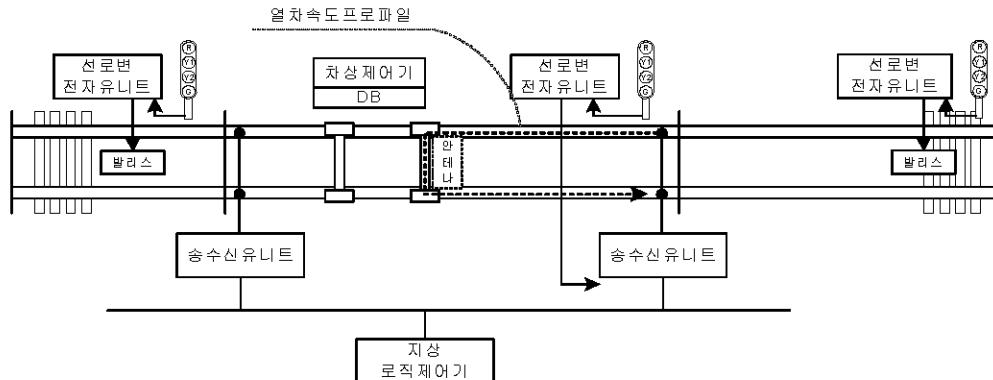


그림 7. 기존선구간의 열차제어방식 구성안

3. 결 론

이상과 같이 간선철도의 열차제어방식을 기술발전에 따른 진행되는 여러 형태를 검토하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 열차제어방식의 결정은 열차의 운행의 안전성과 효율성에 커다란 영향을 미치는 중요한 핵심부분이다. 따라서 이러한 열차제어방식의 체계화는 현재의 추세와 향후의 발전방향을 직시하여 이를 바탕으로 구성하여야 하며, 열차제어시스템의 국산화에 대한 초석이 되어야 하다.

위에서 언급한 바와 같이 간선철도의 신호시스템은 기존의 다양한 형태의 인프라가 설치된 상태에서 표준화된 형태로 통합하는 것은 많은 어려움이 발생할 것이다. 따라서 지금부터 열차제어방식의 체계화에 대한 연구가 진행되고 이를 바탕으로 국산화를 수행하여 향후 신선건설이나 시스템 개량시에 적극적으로 활용하면 외국기술에 의존하던 기존의 방식에서 탈피하고, 기술자립을 통한 국외진출의 기회가 다가올 것으로 예상한다.

참고문헌

1. 이재호 외2인(2008), "Review on signaling system for new high speed train test at existing high speed line", ICEE
2. UIC(2007), Global perspectives for ERTMS, UIC Report for the ERTMS Annual Conference Berne, 11–13, September
3. B. Ning 외3인(2004), "CTCS—Chinese Train Conrol System", Computer in railways IX
4. 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
5. 이재호외 2인 (2008), “기술발전 추이에 따른 열차제어장치의 개발방향”, 한국철도학회 춘계학술 대회 논문집.
6. 한국철도기술연구원(2007), 열차제어핵심요소기술개발 연구보고서