

열차제어의 동향과 기술개발



이재호 |
한국철도기술연구원
책임연구원

1. 서론

최근 고유가, 기후변화협약 등 각종 사회적 이슈가 세계적으로 부각되면서, 교통부문에서의 이에 대한 대응논리 개발도 급격하게 부각되고 있다. 대응논리의 일환으로 교통부문은 효율적이고 체계적인 이동성확보와 접근성 향상을 위한 대중적 교통수단의 변화가 어느 때보다 절실히 요구되고 있다. 철도교통은 도로교통이나 항공교통에 비해서 높은 수송능력을 보유한 고속대량 교통수단으로서 도로 교통대비 화물수송 기준 에너지 효율성 14배, CO₂ 배출량 8% 수준에 불과한 대표적 저탄소 녹색성장 산업이다. 또한, 국가 온실가스 감축목표가 향후 2020년까지 30%인 점을 감안한다면 철도는 물류분야에서 선도적인 역할을 할 것으로 기대된다.

철도의 신호시스템은 “열차를 어떻게 안전하고 효율적으로 제어하는가?” 라는 문제의 해결을 기본원칙으로 발전해 왔다. 과거 철도의 운영시나리오는 짧은 구간을 1일 수회 왕복하였으므로 기관사의 주의력만으로도 안전운전이 가능하였으나, 철도교통수요의 증가로 인해 열차운행 횟수 및 수송수요가 증가함에 따라 각종 운전사고와 장애가 발생하고 있다. 따라서 이를 방지하기 위한 신호시스템의 역할이 점점 증대하고 있다. 대표적인 초기 신호장치는 정지와 안전을 현시하는 신호기, 역구내의 선로전환기와 신호기를 취급하는 연동장치가 그 역할을 수행하였으나, 1990년대말부터 고속·고밀도운전의 요구에 따라 철도시

스템의 안전성과 안정성을 확보하는 방향으로 열차제어시스템의 개발이 진행되고 있다. 그 주요기능은 자동열차방호(ATP : Automatic Train Protection), 자동열차운전(ATO : Automatic Train Operation), 자동열차감시(ATS : Automatic Train Supervision)이며, 이러한 기능들은 최신의 전자(컴퓨터, 통신)기술을 바탕으로 첨단 열차제어장치로 개발되고 있다.

그러나 이러한 기능들은 운영방식이 상이한 각국의 운영환경에 의해 제조사마다 다른 형태의 열차제어장치를 개발 및 적용하고 있다. 우리나라도 운영기관별로 다양한 열차제어장치가 설치 운영되고 있으며, 이러한 장치들을 효율적으로 통합하여 운영할 수 있는 방안들에 대한 요구가 증가하고 있다.

본 고에서는 철도기술의 발전에 따른 신호장치 특히, 열차의 간격제어기술 개발현황을 고속 및 간선철도와 도시철도용으로 소개하고, 철도시스템의 시대적 요구사항에 따른 열차제어기술의 방향에 대해 제언하고자 한다.

2. 본문

열차제어 기술 및 방식은 열차의 운영형태에 따라 각각 그 특성을 달리하고 있다. 크게 간선철도와 도시철도 열차제어로 분류되며, 간선철도는 일반적으로 도시 간을 연결하며 운전은 주로 기관사에 의존하여 시각적으로 현장의 신호설비를 보고 운전이 가능한 속도인 160km/h를 경

계로 구분하여 왔으나, 최근 차상신호의 도입으로 통상 250km/h 이상을 고속철도로 구분하여 고속화에 따라 증가하는 위험도 완화를 기반으로 하는 고속철도와 그 경계가 모호해지고 있다. 한편 도시철도 열차제어 기술은 점점 더 고밀도 운전에 적합한 형태와 방식으로 진행되고 있다. 따라서 고속철도를 포함한 간선철도의 신호시스템 기술발전방향은 유지보수비용 감소를 위해 노력하고 있으며, 도시철도는 고밀도 운전을 위해 연구 및 개발이 진행되고 있다.

2.1 국내 열차제어시스템의 현황

2.1.1 간선철도

가. 지상신호기방식

현재 국내의 간선철도 신호시스템은 크게 지상신호기방식과 차상신호방식의 2가지로 구분되며, 그 중 지상신호기방식은 기관사가 신호기 현시에 의존하는 수동운전방식에 의한 열차를 제어하고 있다. 이 방식은 열차운행의 안전을 기관사의 능력에 의존하는 방식으로 초기 국내철도에서 사용되어오고 있는 방식이다. 이 방식의 대표적인 형태는 표 1과 같다.

지상신호기방식에서는 열차운행의 안전을 확보하기 위해 자동열차정지(ATS; Automatic Train Stop)장치라는 보조 안전설비를 적용하여 기관사 실수에 의해 열차과속이 발생하면, 신호장치가 제동에 개입하여 기관사의 인적 오류 등에 대비하고 있다.

나. 차상신호방식(ERTMS/ETCS Level 1)

1990년대 말부터 기존 간선철도의 속도향상, 선로용량 증대 및 열차운행의 안전성이라는 목적을 달성하기 위하여 새로운 열차제어기술의 도입에 대한 연구가 진행되었으며, 그 결과 유럽에서 표준화로 진행되고 있는 차상신호방식인 유럽 열차제어시스템(ETCS : European Train Control System)도입을 결정하여 2004년부터 그림 1과 같이 철도차량에는 차상제어장치를, 경부, 호남선구간에는 지상제어장치를 설치하기 시작하여 현재는 설치를 완료하고 시험운행을 거쳐 상업화를 목전에 두고 있다.

이 시스템은 열차제어의 기본적인 기술인 자동열차방호와 차상신호기능을 제공하기 위해 차상과 지상장치로 구성되며, 지상장치 미설치 구간이나 고속철도구간을 운행하기 위하여 기존 신호정보를 처리하여 열차를 제어하는 특수전송모듈(STM)을 차상제어장치에 포함하고 있다.

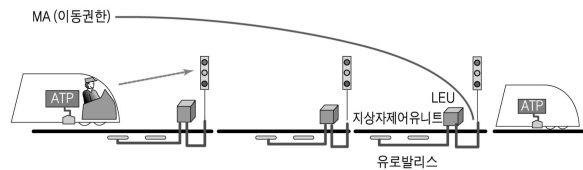


그림 1. 국내에 도입중인 ERTMS/ETCS Level 1의 구성도

2.1.2 고속철도

고속철도의 열차제어방식은 프랑스의 고속철도에서 사용되고 TVM 시리즈의 하나인 TVM430이 적용되고 있다. TVM430은 열차의 위치를 궤도회로를 사용하여 검지하

표 1. 신호기 현시에 따른 속도제한

구분		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

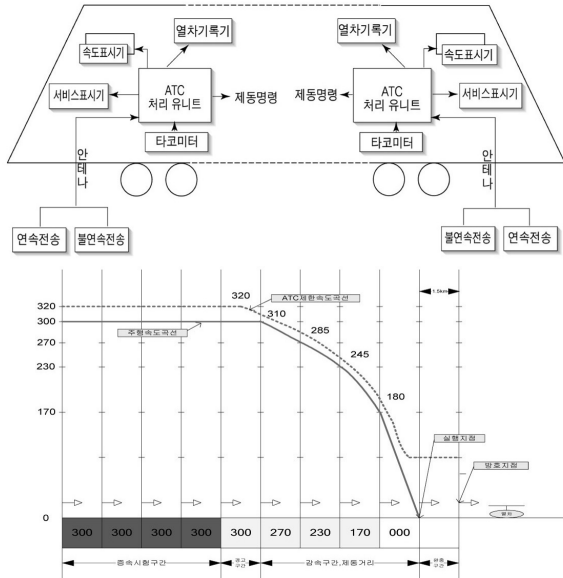


그림2. 경부고속철도 차상장치구성 및 속도제어체계

고, 선행열차위치, 선로환경, 안전정보 및 연동조건에 의해 결정되는 제한속도신호가 궤도회로에 의해 지상에서

차상으로 전송된다. 제한속도신호는 운전자표시장치(MMI)에 표시되어 열차속도가 허용속도를 초과했을 경우에는 비상제동이 동작한다. 또, 속도신호의 표시 방법에 의해 전방의 속도신호의 조건과 폐색경계를 지상의 표지에 의해 명시하는 등 운전사에 의한 속도제어를 전제로 하고 있다. 속도신호는 궤도회로를 이용하여 27bits(속도나 거리 등의 제어정보: 18, 열차중별이나 선구의 식별 정보: 3, 부호: 6)의 정보를 주파수변환전송방식(FSK)으로 전송한다. 차상은 수신한 제어정보와 속도센서에 의한 산출된 열차위치를 기준으로 그림 2와 같이 정지패턴을 계산한다. 이러한 고속선 지상신호체계하의 감속 시퀀스는 감속구간 이전 “경고구간”에서 감속여부를 미리 인지할 수 있다.

2.1.3 도시철도

도시철도의 열차제어시스템은 초기인 1970년대부터 외국사에 의존하여 도입하여 현재까지도 같은 형태로 진행되고 있다. 초기는 신호기방식에 안전설비인 ATS를 부가한 수동운전에서 아날로그방식의 ATC/ATO, 디지털방식의 ATP/ATO까지 다양한 종류의 장치가 도입 운영 중에 있다.

표 2. 도시철도 열차제어시스템의 국내 적용현황

기술 및 방식	도시 노선	주요신호설비 : 제작사
신호기방식(ATS)	서울 1,2호선	신호기방식(ATS) : 일본, 2호선 개량중(ATP/ATO : Siemens)
	안산선	신호기방식(ATS) : 일본
차상신호(궤도회로기반) Speed code (*Distance to go)	서울 5,7,8호선	ATC/ATO : 미국 US&S
	서울 6호선	ATC/ATO : 미국 Alstom
	과천/분당/일산선	ATC : 미국 US&S(일부 국산화)
	부산 1호선	ATC/ATO : 일본신호
	부산 2호선	ATP/ATO : 스웨덴 Adtranz
	대구 1호선	ATC/ATO : Alstom
	부산 3호선	ATC/ATO : 일본교산
	광주 1호선	ATC/ATO : 일본(일부 국산화)
	*인천 1호선/대전 1호선	ATP/ATO : Siemens
	*서울 9호선/공항철도/대구 3호선	ATP/ATO : Alstom
차상신호(통신기반) RF-CBTC	신분당선/김해경전철/인천 2호선	SELTRAC : Thales
	용인경전철	CITYFLO650 : Bombardier
차상신호(통신기반) IL-CBTC	의정부경전철	VAL208 : Siemens
	부산 4호선	ATP/ATO(Loop coil) : 일본신호
	대구 3호선	ATC/ATO(Loop coil) : Hitachi

최근에는 도시철도의 한 분류인 경량전철이 용인, 의정부, 부산4호선, 김해, 대구3호선 등에서 구축완료 또는 구축 중에 있으며, 여기에서는 차량의 특성이나 운영환경에 따라 통신을 이용한 열차제어(CBTC : Communication Based Train Control) 시스템이 적용되어 설치 운영될 예정이다.

2.2 국외 열차제어시스템 현황

2.2.1 고속 및 간선철도

유럽의 열차제어시스템은 신호원칙, 감시 및 실행기능, 데이터 전송을 위한 기술 등에 의해 표 3과 같이 5가지 그룹으로 분류되고 있다.

초기의 고속철도 및 간선철도의 열차제어시스템은 보편적으로 철도를 운영하는 국가의 고유한 특성에 적합하게 개발, 적용되었다.

간선철도용 열차제어시스템은 주로 지상신호기방식과 차상신호방식으로 구별되나 이들 장치는 각 나라마다 그

나라의 특징에 맞게 적용, 운영(표 3의 그룹1,2,3,4) 되고 있으나, 유럽통합에 따른 유럽횡단철도(European Corridor)운영과 관련된 국가 간 이동에 있어서 신호방식의 차이로 인한 문제점이 대두됨에 따라 신호시스템의 표준화에 따른 상호운영성(interoperability)을 확보할 목적으로 1990년대 초부터 ERTMS/ETCS의 개발을 진행하여 2000년대 초부터 ETCS Level 1이 도입되기 시작하였다.

고속철도용 열차제어시스템은 주로 표 3의 그룹 5에 속하는 것으로 연속제어방식인 프랑스의 TVM, 독일의 LZB, 일본의 Digital ATC 등이 사용되고 있으나, 최근에는 ERTMS/ETCS Level 2가 일부 적용되고 있으며, 표준화라는 특징으로 향후 고속철도용 열차제어시스템의 주류를 형성할 것으로 예상되고 있다.

한편, 현재 가장 긴 고속철도노선을 보유하고 있는 중국의 경우에는 유럽의 ETCS와 유사한 형태의 중국 열차제어시스템(CTCS : Chinese Train Control System)을 표준화하여 고속철도 신호제어설비 설계기준에서 이를 적용하도록 규정하고 있다.

표 3. 유럽의 열차제어시스템의 분류

분류	특 징	열차제어시스템
1	<ul style="list-style-type: none"> • 제동 감시기능이 없는 불연속 전송방식의 시스템 • 지상~차상간 전송매체 : 기계적, 갈바닉, 유도접촉 등 • 지상신호방식 • 경고등, 경고음 	ATS (일본, 한국) / AWS (영국) Crocodile(프랑스, 벨기에) Signum (스위스) / SHP (폴란드)
2	<ul style="list-style-type: none"> • 제동 감시기능을 갖는 불연속 전송방식의 시스템 • 지상~차상간 전송매체 : 주파수 공진회로 • 신호경고메시지 	Indusi (독일) / ASFA (스페인) TPWS (영국) / KHP (폴란드)
3	<ul style="list-style-type: none"> • 코드화된 궤도회로에 의한 연속 신호전송방식의 시스템 • 지상~차상간 전송매체 : 코드화된 궤도회로 	ATC(일본) / BACC(이탈리아) EVM(헝가리) / ATB-EG(네덜란드) TVM 300(프랑스)
4	<ul style="list-style-type: none"> • 동적 감시기능을 갖는 불연속 전송방식의 시스템 • 지상~차상간 전송매체 : 디지털 트랜스폰더 • 제동곡선 • 차상신호방식 • 기존선, 고속선 	Ebicab(스웨덴, 노르웨이, 포르투갈) TBL(벨기에) / ZUB(스위스, 덴마크) ATP-VR/RHK(핀란드) GW ATP(영국) / RSDD(이탈리아) SELCAB (스페인) / KVB(프랑스) ETCS Level 1
5	<ul style="list-style-type: none"> • 동적 감시기능을 갖는 연속 전송방식의 고용량 시스템 • 지상~차상간 전송매체 : 케이블, 무선통신 • 차상신호방식 • 고속선 	LZB(독일, 오스트리아, 스위) TVM430(프랑스) / D-ATC(일본) ETCS Level 2/3



가. 일본의 열차제어시스템

일본의 열차제어시스템은 크게 2가지의 형태로 분류된다. 기존선의 경우 우리나라의 기존선과 유사한 지상신호기방식에 ATS장치를 부과한 방식과 ATS장치를 개량하여 유럽의 ETCS Level 1과 유사한 ATS-P방식이 주류를 이루고 있다. 고속선에서는 그림 3(a)와 같이 자동열차제어장치(ATC)를 채용하였다. 초기에 도입된 ATC장치는 열차의 운전 속도를 나타내는 신호를 지상장치로부터 아날로그 신호를 이용해 레일에 송신하고, 차상장치에서 수신된 정보는 열차의 운전속도와 비교하여 신호가 지시하는 운전속도로 감속할 때까지 자동적으로 제동을 수행하는 구조이다.

이러한 기존 ATC장치는 열차의 안전운행에 필요한 안전성이 확보된 구조이지만, 열차의 속도제어가 계단형으로 수행되어 돌발적인 제동수행으로 인해 승차감이 비교적 나쁘고, 열차의 운전시각 단축도 한계를 내포하고 있다. 따라서 이러한 문제의 해결을 위해 도입 및 운영기간이 20년 이상인 노선에 대해서는 그림 3(b)와 같이 이동권한 개념의 디지털 ATC(D-ATC)를 개발 및 적용하였다.

기존 ATC장치와는 달리 D-ATC장치는 선형열차위치 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 중단 정보를 이용하여 제동패턴을 데이터베이스에서 검색하고, 적합한 제동제어를 실시한다. D-ATC의 제동 제어는 피드

백 제어에 의해 승차감의 향상을 도모하고 있다.

D-ATC의 가장 큰 특징은 지상으로부터 차상으로 열차운행을 위한 속도코드를 제공하지 않고 운행하는 열차에 적합한 제어패턴을 차량 스스로 형성함으로써 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 장치가 적용된 불연속제어방식보다는 열차운행의 안전성 측면에서 상대적으로 높일 수 있으며, 향후 열차속도향상에도 지상장치의 개량없이 대응이 가능하다.

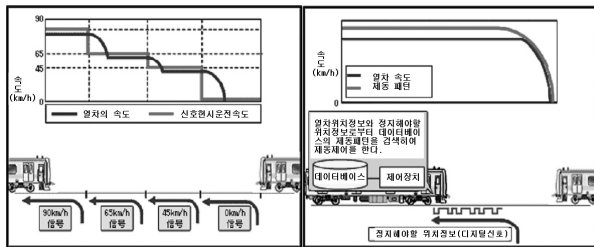
나. 중국의 열차제어시스템

중국의 초기 열차제어시스템은 해외의 열차제어시스템을 도입하여 운행하였으나, 최근에는 중국정부의 철도시스템 현대화 및 철도인프라구축을 위한 집중적 투자에 의해 CTCS라는 중국고유의 열차제어시스템 표준을 마련하여 단계적으로 CTCS의 적용을 확장해 나가고 있다.

현재 중국 고속철도 노선에 적용중인 열차제어시스템은 Qinhuangdao-Shenyang노선의 경우에는 TVM430-SEI, Taiyuan-Shijiazhuang노선에는 CTCS-2(ETCS-1)/SEI가 적용된다. 또한 2009년 12월에 개통한 Wuhan-Guangzhou노선에는 CTCS-3이 적용되어 운행되고 있다.

CTCS는 중국의 통합형 열차제어시스템으로 ETCS를 기반으로 구성되어 있으며, 특징은 열차로의 정보전송에 있어서 연속적인 정보전송방식인 궤도회로와 Eurobalise를 동시에 인터페이스 하는 것이다. 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.

현재 중국의 고속철도 열차제어설비 설계기준에 따르면 신설철도 300~350km/h급 여객전용선 열차제어설비 설계시 지상장치는 CTCS-3급(ETCS-2급 호환) 기준에 따라 설계하고, 차량기지 등은 열차 운용상황에 따라 적합한



(a) 기존 ATC에 의한 제어 (b) D-ATC에 의한 제어

그림 3. 일본의 열차제어방식

표 4. CTCS 단계별 분류

등급	구성	비고
Level 0	기존 궤도회로+통합 기관사실 신호 및 열차운행감시장치, 지상신호	• 기본 모드이며 120km/h 이하에만 적용 • 지상신호가 주신호이며 기관사실 신호가 보조신호
Level 1	기존 궤도회로+자동무선(또는 발리스) 및 ATP장치	• 120-160km/h, 차상장치 ATP에 의해 작동, 선로에는 자동 무선(발리스)설치
Level 2	디지털궤도회로(또는 다중정보가 포함된 아날로그 궤도회로)+자동 무선(발리스) 및 ATP장치	• 160km/h 이상, 지상신호는 폐색분할에 종속되지 않음
Level 3	궤도회로+자동무선(발리스) 및 GSM-R이 장착된 ATP장치	• 궤도회로는 열차 점유와 열차 상태 확인, GSM-R이 핵심
Level 4	자동무선(발리스) 및 GSM-R이 장착된 ATP장치	• 이동폐색 장치 기능 수행. • 정보전송은 GSM-R, 궤도회로는 역에서만 사용. • 지상장치는 유지보수비용을 줄이기 위해 최소화

등급을 선택하여 적용하여야 하며, 차상장치는 여객전용선 지상장치와 호환되어야 하며, 300km/h 이상 차량의 차상장치는 CTCS-3급의 기능을 적용하도록 하고 있다.

다. 유럽의 열차제어시스템

ERTMS/ETCS는 유럽의 국가마다 상이한 신호시스템을 통일하는 것으로 국가간 연속적인 열차의 운행이 가능한 상호운영성의 확보를 목적으로 1990년대 초기부터 개발이 진행되고 있다. 특히 최근에는 EU 가입국 증가에 따라 그 영향이 점점 확대되고 있으며, EU정책의 일환으로 본격적인 도입이 진행되고 있다.

ETCS는 장치의 기능 및 구성에 따라 레벨 1에서 레벨 3으로 분류되고 있다. 현재는 레벨 2까지 운용 가능하며, 레벨 3은 연구 중에 있다. 이러한 레벨들은 시스템의 정교함 정도에 따라 결정되는 것으로 각각의 레벨 특성은 다음과 같이 정리될 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 선로변 신호장치들은 그대로 유지하는 시스템)
- 레벨 3: 레벨 2의 연장선상에 있는 시스템으로 무선 의존 비율이 보다 높으며, 대부분의 선로변 신호인프라(신호기, 궤도회로, 차축계산기 등) 없이도 구현 가능한 시스템. 필요시 이동폐색운용을 용이.

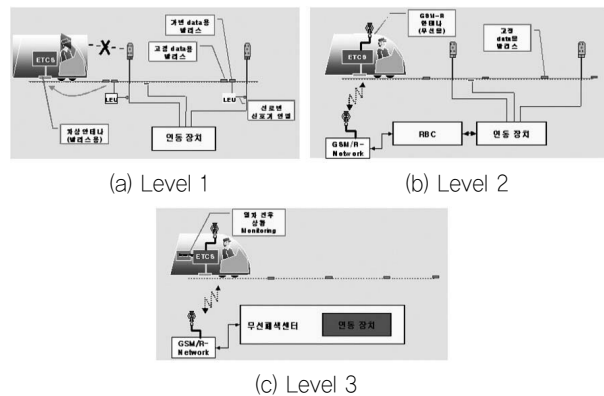


그림 4. ETCS의 각 Level 구성

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-signaling이 재정적으로 많은 부담이 되는 2차노선(secondary line)이나 교외노선에서도 사용 가능하다.

라. 프랑스의 고속철도 열차제어시스템(TVM)

TVM은 프랑스의 TGV가 주행하는 노선을 시작으로 유로터널 등에 도입되고 있으며, TVM300과 TVM430이 존재한다.

TVM300은 1981년의 TGV 남동선 개업시에 도입된 것으로 열차검지는 무절연 궤도회로(궤도회로길이: 2,000m)로

실시하고, 선형열차의 위치나 연동조건으로 결정되는 속도 신호가 궤도회로에 의해 차상으로 전송된다. 속도신호는 운전자 표시장치에 표시되어 열차속도가 허용속도를 초과했을 경우에는 비상 제동이 동작한다. 또, 속도신호의 표시 방법에 의해 전방의 속도신호의 조건을 나타내는 외에 폐색 경계를 지상의 표지에 의해 명시하는 등 운전사에 의한 속도제어를 전제로 하고 있다. 속도신호는 궤도회로에 의해 반송파(4종류)를 10.3~29Hz로 변조하여 송신하고 있다. 최대 18종류의 신호가 송신 가능하다. 그 외 10m 길이의 루프선이 고속선출입시의 시스템 절제나 절대정지지점의 정지 등 필요한 곳에 설치되어 있다. 이 루프는 1,300~3,700Hz를 사용해 14종류의 정보가 전송 가능하다.

TVM430은 1993년의 TGV 북선의 개업시에 TVM300을 기반으로 개발 도입되었다. 사용하는 궤도회로의 종류는 TVM300과 동일하지만, TVM430에서는 궤도회로길이를 1,500m로 하여 디지털 기술에 의해 27bits(속도나 거리 등의 제어정보: 18, 열차종별이나 선구의 식별 정보: 3, 부호: 6)의 정보를 전송한다. 차상장치는 수신된 제어정보와 속도발전기에 의한 검지위치를 근거로 정지 패턴을 계산한다. 속도가 이 패턴을 초과했을 경우는 TVM300과 같이 비상 제동이 동작한다. 한국의 고속철도에 적용되고 있다.

마. 독일의 고속철도 열차제어시스템(LZB)

LZB는 1970년대 독일의 재래선에서 200km/h 운전개시 시에 본격적으로 도입되어 그 후, ICE가 주행하는 고속선 외 스페인, 오스트리아 등에서도 도입되고 있는 연속자동열차제어시스템(Continuous Automatic Train Control System)이다.

시스템은 레일사이에 부설된 교차유도선(교차간격: 100m)을 사용해 지상~차상간의 제어정보 전송을 실시한다. 차상은 교차유도선의 교차검지와 속도발전기에 의해 위치검지를 실시하여 위치, 속도 외에 자 열차길이나 제동 성능 등을 지상으로 송신한다. 지상의 센터에서는 차상으로부터 수신한 정보 외에 연동조건이나 무절연 궤도회로에 의한 열차검지 정보 등을 기본으로 각 열차의 정지목표의 위치, 목표속도, 제동 특성(감속도)을 결정해 차상으로 송신한다. 이 정보송신은 1초 주기로 행해진다. 차상에서는 목표지점까지의 정지패턴을 발생함과 함께 운전자 표

시장치에 허용속도, 목표지점까지의 거리, 목표속도를 표시한다. 열차속도가 패턴속도를 초과했을 경우에는 프랑스의 TVM와 같이 비상 제동이 동작한다. 이러한 LZB의 큰 특징의 하나는 열차의 브레이크 성능에 맞춘 제어를 실현하고 있는 것이다.

이 외, LZB를 탑재하지 않는 기존 차량의 주행을 고려하고 있는 것도 하나의 특징이다. 기존 차량의 주행을 위해서는 지상신호기가 필요하게 되지만, 독일의 고속선에서는 선로전환기 주변에 절대신호기에 한해서 설치하고 있다. 기존 차량이 고속선을 주행하는 경우도 지상신호기에 따라서 주행한다. 이 때, 독일의 표준적인 점제어식 ATP인 INDUSI가 사용된다. 덧붙여 LZB 탑재 차량에도 LZB 고장시의 백업용으로서 INDUSI가 설치되어 있다. 지상신호기의 설치 위치는 한정되어 있으므로, 기존 차량이 주행할 때 선형열차와의 운전시격은 LZB 탑재 차량보다 증가하게 된다. 한편, LZB 탑재 차량이 주행할 때 지상신호기는 소동 제어하는 것으로 정지현시를 보면서 내방으로 진입하는 것을 회피하고 있다. 이 때, LZB 탑재 차량의 INDUSI는 동작이 억제되지만 지상의 INDUSI 장치는 동작을 계속한다.

바. 북미의 열차제어시스템(PTC)

PTC(Positive Train Control)는 미국에서 도입 또는 개발 중인 시스템으로 GPS에 의한 열차위치검지나 선로변기기를 포함한 무선에 의한 정보전송 등을 특징으로 한다.

1990년 대 에 는 ITCS (Incremental Train Control System)라고 하는 시스템이 개발되어 Amtrak에서는 미시간주의 일부 구간에서 2000년부터 사용하고 있다. 현재 ITCS는 PTC의 일종으로 자리매김 하고 있다. 열차는 ITCS 제어 구간 진입전에 무선을 통해서 속도제한 등의 노선 데이터를 수신한다. 주행중에 감속이 필요하게 되었을 경우에는 운전자 표시장치에 목표지점까지의 거리, 목표속도, Time To Penalty (현재속도에서 브레이크 개시 지점까지 도달하는 시간)가 표시된다. 이 Time To Penalty의 값이 제로가 되면 자동적으로 브레이크가 동작한다. PTC에 대해서는 최근, NTSB (국가운수안전위원회)나 FRA(연방철도국)가 고속열차 운행시의 안전 향상방안으로 주목하고 있어 향후, 다양한 시스템의 개발이 예상된다.

2.2.2 도시철도

도시철도의 신호시스템은 크게 2가지로 분류된다. 첫 번째로는 궤도회로 및 루프를 기반으로 하는 시스템으로 현재 도시철도 열차제어시스템의 대부분을 차지하고 있다. 대표적인 시스템으로는 SACEM, METEOR(SAET) 등이 있다. 두 번째로는 궤도회로의 단점을 보완하고 많은 정보전송으로 효율적인 열차운행을 위하여 통신을 기반으로 하는 열차제어시스템들이 개발 또는 일부 운행 중에 있으며, 대표적인 시스템으로는 Seltrac, CITYFRO, AATC, URBALIS 등이 있다.

가. SACEM

SACEM은 1988년에 파리의 근교 철도 RER의 A선에 도입된 시스템이다. 운전시격단축을 위해서 역 근방을 4에서 5의 서브 섹션으로 분할한다. 분할된 서브 섹션의 경계에는 지상신호기는 없다. 열차검지는 궤도회로로 실시하고 지상에서 차상으로는 궤도회로를 사용하여 제어정보를 디지털 전송한다. 반송파의 주파수는 40kHz, 전송속도는 250bps이다. 차상의 위치검지는 속도발전기로 하고 500m 간격으로 설치된 지상자를 이용하여 보정한다. 차상에서는 지상으로부터 수신한 정보에 근거해 정지패턴을 발생한다. 열차가 제어구간에 진입하면 지상신호기는 멸등하여 백색의 ×표가 표시된다. 운전자 표시장치에는 SACEM용의 표시장치가 있어, 선행열차와의 위치 관계 등에 따라 허용속도가 표시되는 외에 속도 표시범위의 색의 변화, 타 표시등의 점등이나 음성 등에 의해 운전사에게 주의와 적절한 운전 조작을 환기한다. 정지가 현시되었을 경우에는 운전사는 확인 버튼을 조작하지만, 일정시간내에 이 조작을 하지 않으면 비상 제동이 동작한다.

나. METEOR(SAET)

1998년 파리 지하철 14호선에 무인운전시스템이 도입되었다. 운전시스템의 명칭은 SAET로 불리고 있었지만, 최근에는 노선을 포함한 호칭인 METEOR가 일반적으로 사용되고 있다.

지상-차상간의 정보전송에는 레일사이에 부설한 케이블을 사용한다. 지상→차상의 전송은 36kHz에서 4800bps, 차상→지상의 전송은 59.1kHz 및 88kHz에서 2400bps의 속도로 전송된다. 레일사이에는 50m 간격으로

트랜스폰더가 설치되어 있어 열차는 속도발전기로 검출한 위치를 트랜스폰더 통과시에 확인된다. 또한, 역 근방에는 정지 위치 정밀도($\pm 250\text{mm}$)를 확보하기 위한 트랜스폰더가 별도로 설치되어 있다. 지상 시스템은 열차에 대해서 가상적인 폐색의 상태를 송신한다. 차상에서는 이 정보에 근거해 정지패턴을 발생함과 함께 가속, 감속의 제어를 실시한다. 또, 궤도회로, 지상신호기도 병설되고 있어 유인 운전의 회송열차 등에 대응하는 구성이 되고 있다.

다. CBTC

초기의 형태는 무선통신의 발전 이전인 1980년대로 거슬러 올라가 이미 Inductive Loop를 이용하여 열차의 위치검지 및 양방향 통신으로 열차를 제어하였으나, 무선통신의 발전으로 1990년 말부터 Radio Frequency를 이용한 RF-CBTC가 시작되었으며, 뉴욕지하철(NYCT)의 CBTC프로젝트가 대표적이다. 개발전략으로 시스템공급자를 다양화하기 위하여 3개사를 선정하여 RF를 기반으로 한 CBTC시스템을 pilot라인(Canarsie선)에서 성공적으로 구현하였으며, 이후 프로젝트를 주도할 기업으로 Siemens를 선정하였다. Siemens의 역할은 상호운영성을 주도하는 것이며, 나머지 2개사는 Siemens가 제시하는 시스템과 호환성을 갖는 시스템을 구축하는 것이다.

시스템은 기본적으로는 METEOR의 기술을 답습하고 있지만, 지상~차상간의 정보전송에는 2.4GHz의 스펙트럼 확산통신을 사용하는 것, 운전사를 승무시키는 것 등이 METEOR와의 주된 차이점이다.

현재까지 50여개 정도의 노선에서 무선통신기반 열차제어시스템의 영업운전이 예상되며, Alstom, Bombardier, Ansaldo, Siemen, Thales 등에서 이러한 시스템의 대부분을 공급하고 있다. 무선통신기반 열차제어시스템은 유럽, 북미의 신선의 신호설비, 노후신호설비개량, 소규모의 APM, 경량전철, 도시철도 등에 광범위하게 적용하고 있다.

2.3 국내 열차제어시스템의 개발 현황

2.3.1 간선 및 고속철도 열차제어시스템

기존 간선철도 및 고속철도구간의 신호체계는 지상신호

기방식(ATS부가), 차상신호방식(ERTMS/ETCS Level 1) 및 ATC(TVM430)가 설치 및 운영되고 있으며, 기존선의 거의 모든 구간은 지상신호기 방식에 ATS장치를 부가한 형태로 운행되고 있으나, 기존선 속도향상이라는 목적으로 차상신호방식으로 개량이 추진되고 있으며, 경부고속철도뿐만 아니라 호남고속철도에도 TVM430형태의 ATC 방식이 설치될 예정으로 알려져 있다.

따라서, 이러한 지상인프라 구간을 운행하는 열차는 신호측면에서 지상에서 제공되는 정보를 수신하여 이를 바탕으로 운행되어야 하므로 차상에 설치되는 신호장치는 간선철도와 고속철도의 신호체계를 수용할 수 있는 장치로 구성되어야 한다.

2007년부터 국가연구개발사업으로 추진 중인 차세대 고속철도기술개발사업에서는 지상신호방식(ATS부가), 차상신호방식(ETCS Level 1, ATC) 구간을 열차가 효율적으로 운행하기 위한 통합형 차상신호장치의 개발을 수행하고 있으며, 개념은 그림5와 같다.

또한, 간선철도의 속도향상에 따라 ERTMS/ETCS Level 1의 지상하부장치들은 경부,호남 및 경춘선의 지상열차제어장치를 공급하는 제작사를 위주로 국산화 개발을 진행하고 있다.

고속철도의 경우, 이제까지는 한국고속철도에 적용하여 운영되고 있는 열차제어시스템의 국산화 개발에 집중하였으나 앞에서 기술한 바와 같이 유럽의 열차제어시스템 표준화에 따라 이제는 국가기준의 열차제어시스템에서 표준화된 열차제어시스템 ERTMS/ETCS Level 2의 적용을

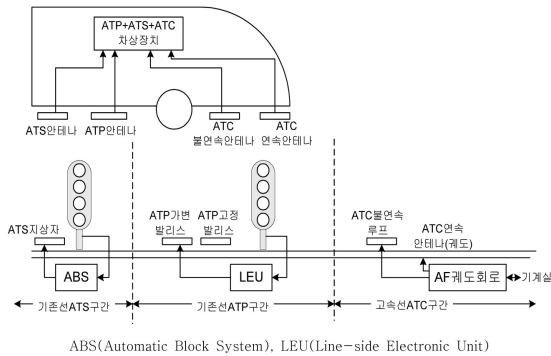


그림5. 통합형 차상신호장치 구성방안

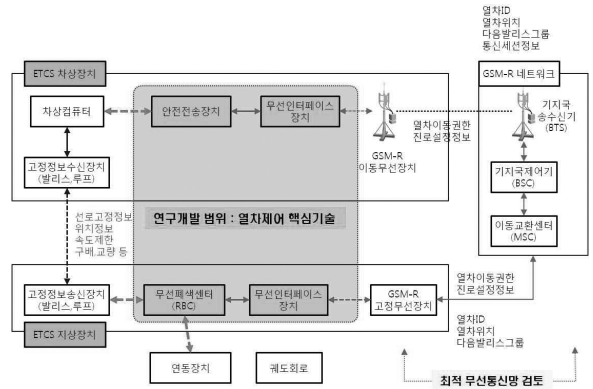


그림6. 차세대 고속철도 열차제어 핵심기술개발 범위

권고함에 따라 우리나라에서도 늦었지만 2010년12월부터 시작된 국가연구개발사업인 고속철도 인프라기술개발 사업에서 차세대고속철도 열차제어(ETCS-L2) 핵심기술개발에서 유럽표준을 따른 기술개발을 추진하고 있으며 그 주요내용은 그림6과 같다.

2.3.2 도시철도 열차제어시스템

도시철도용 신호시스템은 거의 대부분 외국에서 도입되어 국산화 기술개발에는 어려움이 있었으나 궤도회로를 이용한 아날로그방식의 ATC는 국가개발연구사업인 도시철도표준화연구에서 이미 개발을 완료하여 적용, 운영하고 있다.

그러나 1990년대 후반부터 궤도회로가 아닌 무선통신을 기반으로 하는 열차제어시스템의 연구가 국내외에서 급속하게 진행되기 시작하였으며, 우리나라에서도 경량전철시스템기술개발사업, 지능형열차제어시스템 시범구축사업에 무선통신기반의 열차제어시스템을 적용하였다. 그러나 위의 사업에서는 대부분 시스템엔지니어링 기술에 집중하여 연구함으로써 열차위치추적기술, 열차간격제어 기술 및 열차진로제어기술과 같은 열차의 안전한 운영을 실현하는 vital 기술 분야에 있어서는 완전한 국산화를 이루지 못한 것으로 분석되었으나 일부 하부장치들에 대해서는 국산화가 진행되고 있다.

신규 도시철도, 경량전철 건설과 기존 도시철도 열차제어시스템의 노후화에 따라 국산화된 시스템의 신설 및 고

체에 대한 요구가 증대됨과 동시에, 기존 도시철도는 각 호선이 독립적으로 운행되었으나 승객의 서비스 향상과 운영기관의 효율성 향상을 목적으로 선로간의 상호운행에 대한 검토가 진행됨에 따라 개별적으로 보유한 기술을 통합하여 도시철도용 열차제어시스템의 표준화를 구축할 필요성이 대두되고 있다.

따라서 한국철도기술연구원에서는 기존에 수행된 열차제어시스템 연구개발의 문제점을 분석한 결과를 토대로 2006년부터 열차제어시스템 핵심요소기술 개발 방안 및 체계 구성, 개발될 시스템의 타당성 및 경제성 조사를 실시하여 철도신호관련기업과 연구개발에 대한 공감대를 형성하였다. 2010년 12월부터 국가연구개발사업으로 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계구축 및 성능평가 연구를 시작하였으며 주요내용 및 구성은 그림 7과 같다.

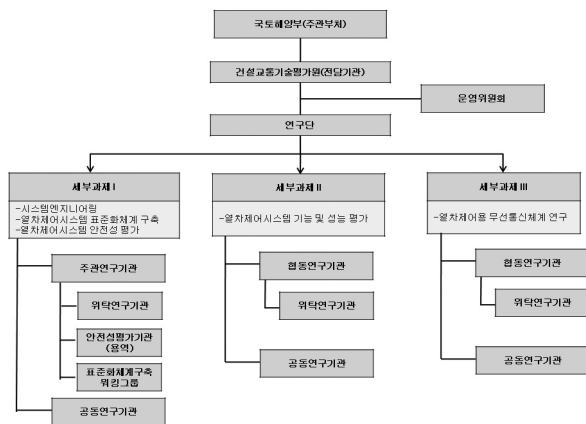


그림 7. 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 연구내용 및 체계

3. 결론

이상과 같이 기술발전에 따른 국내외 열차제어기술의 다양한 형태를 검토하였다. 서론에서 언급한 바와 같이 열차제어시스템은 열차운행의 안전성과 효율성을 최종적으로 책임지는 핵심적인 분야이다. 그러나 이러한 핵심적인 역할을 수행하는 시스템의 하부장치를 사용실적이나 안전성의 문제로 외국의 장치나 기술에 의존하여 사용되고 있

는 것이 현실이다. 따라서 열차제어시스템을 국산화, 표준화하기 위해서는 현재의 기술과 추세와 미래의 발전방향을 직시하며, 또한 운영의 효율성을 도모하는 방안으로 지속적인 연구가 추진되어야 한다.

간선철도의 신호시스템은 기존의 다양한 형태의 인프라가 설치된 상태에서 이를 하나의 차상장치가 통합하여 수행하는 현 추세에 따라 현재 진행되고 있는 통합형 차상신호장치의 개발이 완료되면 간선철도의 차상신호장치는 완성될 것이다. 그러나 지상신호장치는 상호운영성의 확보 및 수출을 고려한 유럽표준에 부합하는 통합구성이 필요하므로 미흡분야를 검토하여 지속적인 개발을 진행하여야 할 것이다. 고속철도의 경우 위에서 언급한 바와 같이 미래의 개발과 수출을 고려하여 진행 중인 연구개발사업의 결과물을 고속선로에서 검증을 수행하여 성능과 안전성이 입증될 수 있도록 하여야 할 것이다.

도시열차 열차제어시스템 또한 진행 중인 연구가 성공하면 표준화된 사양의 도출에 의해 국산화 및 실용화가 가속화될 것이다. 특히, 미래의 열차제어시스템은 무선통신이 기반이 되므로 국내의 발달된 무선통신기술을 활용한다면 미래의 열차제어시스템을 선도할 수 있는 철도선진국가로 부상할 수 있을 것으로 예상된다. 이를 위해서는 무엇보다도 한국철도기술연구원과 철도신호관련기업은 물론 정부기관, 철도건설 및 운영기관의 협조가 역사적으로 그 어느 때보다 절실히 필요하다. ☺

♣ 참고 문헌

1. IRSE, "European Railway Signalling", A&C Black
2. UIC(2007), Global perspectives for ERTMS, UIC Report for the ERTMS Annual Conference Berne, 11-13, September
3. Tamotsu Kato(2007), R&D on Signal Control Systems and Transport Operations Systems, JR EAST Technical Review, No.7
4. 奥谷 民雄(2003), 最近の ATC/ATS 技術の 潮流, 鐵道と車輛技術, No.82
5. 한국철도기술연구원(2006), 차세대 고속철도기술개발 기획연구보고서
6. 한국철도기술연구원(2007), 열차제어핵심요소기술개발 연구보고서
7. 한국철도기술연구원(2007), 한국형 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 연구
8. 佐佐木英二 外3(2005), 最新の 列車制御 Systemと今後の動向, 日立評論, Vol.87, No.9
9. Gregor Theeg/Bela Viinczel(2007), European train protection systems compared, SIGNAL+DRAHT(99) 7+8
10. 한국철도기술연구원(2010), 고속열차 증속을 고려한 인프라 핵심기술개발사업 추진계획
11. 국토해양부, 한국건설교통기술평가원(2010), 철도분야 신호시스템 상세기획연구 연구보고서