

신호보안기술의 발전동향에 관한 고찰

김종기, 류상환, 이재호, 조봉관
한국철도기술연구원 철도신호통신연구팀

Review on the technical trend of railway signalling technology

Kim JongKi, Ryu SangHwan, Lee JaeHo, Cho BongKwan

Korea Railroad Research Institute railway signalling & telecommunication research team

Abstract - As going through technical transition of signal control logic to mechanic, electric, electronic etc., railway signalling system utilizing computer control technology has recently been developed and used since railroad service had been firstly started in 1825 by beginning that horseman kept red color sign and notified something wrong existence and nonexistence of front route to train driver in the Britain. In this paper, the domestic technical change process of signalling technology to be a basic of train control technology is discussed and then reviewed about technical trend of advanced nation's development.

으며, 현재는 ATS 차상설비를 5현시방식으로 개량하고 지상차도 5현시 속도조사식 ATS 지상차(S-2형, 5현시용)로 교체하여 사용하고 있다.

<표-1> 신호설비 주요 연혁

구현기술	국철 신호설비 주요 연혁	비고
기계식 신호 ~ 1942	○1899 경인선 개통, 완 목식신호기	○1825 기마수가 선로조건 전달(영) ○1842 완목신호기 설치(미) ○1927 열차집중제어장치(미)
전기식 신호 ~ 1968	○1942 자동폐색신호기 사용(경부선) ○1968 CTC 장치 사용 (중앙선)	
전자식 신호 ~ 1988	○1969 ATS 장치 사용 (경부선) ○1988 CTC 사용(중앙 선 : 제천 철암간)	○1974 서울지하철 1호선 개 통(ATS) ○1988 부산지하철 1호선 (ATC/ATO)
컴퓨터 식신호 ~ 현재	○1991 전자연동장치 시범 설치(중앙선 : 덕소역) ○1994 전자연동장치 설치 (중앙선 3역:도봉,관당,능내)	○서울 5~8, 대구1, 인천1, 부산2호선 ○2004 경부고속전철(ATC) 개통예정

1. 한국철도 신호보안기술의 변천

철도는 그 동안 국가 교통수단의 핵심 역할을 담당하면서 오늘날의 경제발전을 이룩하는데 지대한 영향을 끼쳤다. 지속적인 산업발달과 경제사회의 발전에 따라 수송수요가 증가하고, 한국철도는 이를 해소하기 위하여 주어진 선로 상에서 보다 안전하고 신속하게 그리고 효율적으로 선로를 이용하고 수송능력을 향상시켜 나가야 했다. 철도 신호보안설비는 이러한 철도교통의 안전과 수송능력을 향상시키는 역할을 담당하여 오면서 꾸준히 발전하여 왔다.

우리나라 철도 신호설비는 1899년 9월 18일 우리나라 최초로 노량진~제물포간 경인선 철도가 개통될 당시 통표폐색신호장치를 설치하면서부터 우리 철도신호의 역사가 시작된 이래 1942년 7월 영동포~대전간 자동폐색 신호장치를 처음 사용하여 신호보안설비에 자동화 개념이 도입되었다. 그리고 본격적인 신호설비의 자동화는 1968년 영국의 Westinghouse사로부터 중앙선 망우~봉양간 단선철도에 CTC 장치를 설치하면서 부터이다. 이때부터 신호보안장치가 열차의 운행속도를 향상시키고 운전시각을 단축하여 선로이용율을 증대시키는 데 필수적인 설비라는 것으로 인식하기 시작하였다(표-1참조). 1969년 1월 31일 천안역에서 제102열차와 제10열차가 폭설의 일기 상황에서 신호기의 현시상태를 확인할 수 없는 상태에서 열차를 운행하다가 추돌사고가 일어나 41명이 사망하고 100여명이 부상하는 대형 열차사고가 발생하였다. 이에 대한 안전대책으로서 ATS(Automatic Train Stop) 장치를 설치하기 시작하여 1969년 4월 5일 경부선 서울-부산간에 공비 274백만원을 투입하여 설치를 완료하였다. 이때 설치된 ATS 장치는 신호기가 정지, 주의신호 또는 정지, 주의, 진행신호로서 정지 일때만 ATS가 동작하는 점제어방식(S-1형)으로서 열차속도에 따른 비상제동거리, ATS 장치 통과 후 경보시까지 주행거리, 경보후 비상제동시 까지 주행거리 등을 합한 거리 만큼 신호기로부터 떨어진 지점에 지상자물 설치하여 사용하였

2. 신호보안기술의 발전동향

2.1 신호설비 제어로서의 컴퓨터화

우리가 사용하고 있는 전기식 제어로서의 열차의 운행 효율 측면보다는 안전운행만을 지향하던 1970년대의 기술을 근간으로 구현된 것이며, 하드웨어적으로 안전장치를 구현하여 사용 중에 있다. 그러나 유럽 등 철도선진국의 경우 최근 열차가 고속화되고 한정된 선로에서 열차의 운행효율을 증대시키기 위하여 컴퓨터 기술을 이용한 차상신호방식을 활용하고 있으며 기존 간선에서 고속 고밀도 운전을 지향하고 있는 우리의 현실을 감안할 때 차상신호 방식의 도입을 고려해야 할 필요가 있다.

지상신호방식은 지상신호기의 현시상태를 기관사가 직접 확인하고 열차를 운전하는 방식이다. 이 방식의 경우는 열차운전의 안전을 확보하기 위해서는 차량이나 선로가 정상상태로 유지되어야 하며 승무원이 주위상황에 대한 정확한 판단과 이에 따른 민첩한 행동이 선행되어야 한다. 그러나 폭우, 폭설, 안개 등 기후변화가 심할 경우에는 신호기 현시상태의 확인이 곤란하여 지정된 속도로의 운행이 불가능하고 감속운전이 불가피하기 때문에 열차의 안전운행에 위험요소가 많을 뿐만 아니라 열차감속운전에 의한 열차지연사태 등 경제적인 손실이 발생하고 있다. 따라서 오늘날 열차의 고속화에 따른 신호기 확인, 인식거리의 증대 등 고밀도 운행에서는 지상의 안개 등과 같은 기상 조건의 관개없이 항상 안전운전을 할 수 있는 차상신호방식의 도입을 적극 검토할 필요가 있다.

2.2 열차제어방식의 Distance to go(DTG)화

우리나라 국철 간선의 신호체계는 Speed step 열차제어방식으로 구축되어 있다. 경부선은 5현시 신호체계이며 그의 모든 선로는 3현시 또는 2현시 신호체계를 사용하고 있다. 이러한 신호체계는 열차간의 운행간격이 멀어 안전운행만을 필요로 하는 시대의 신호체계이며, 오늘날 요구되고 있는 고속고밀도 열차운행방식에는 효율적이지 않다. 철도선진국인 영국, 프랑스, 독일, 스웨덴의 경우 Distance to go(DTG) 열차제어방식이 이미 오래전부터 활성화되어 있는 상태이다.

Speed step 열차제어방식의 신호체계는 지상설비에서 속도패턴을 차상설비로 전송하여 열차를 운전하는데 비해, Distance to go 열차제어방식의 신호체계는 선행열차의 위치, 속도 및 전방궤도의 지리적 특성 등 상태 정보를 후속열차가 지상설비로부터 수신하여 열차 스스로 실시간으로 일정지점에서의 열차 자신의 속도를 설정할 수 있도록하여 선행열차와의 안전거리를 확보하면서 열차를 제어하는 시스템이다. 즉, 노선에 투입된 각종 열차(새마을, 무궁화, 화물 등)의 제어특성을 충분히 발휘할 수 있게 한 것이다. 따라서 기존선을 고속화 할 때, 고속고밀도 운전을 지향하기 위해서는 열차간 절대안전거리를 확보하면서 운행되는 속도중심 제어방식보다는 열차간 상호안전거리를 확보하면서 운행되는 거리중심 제어방식(DTG 열차제어방식)이 필요하다.

2.3 신호설비 컴퓨터화에 따른 안전성기술 확보

철도신호시스템에 마이크로 컴퓨터가 도입된 지 약 15년에 경과했으며 전자연동장치부터 시작된 신호시스템의 전자화는 건널목보안장치, ATS, ATC 등에 확대 적용되어 신호시스템의 고기능화, 저비용화, 안전성 및 수송서비스 향상 등에 크게 공헌하고 있다.

마이크로 컴퓨터화에 따른 안전성 기술은 종래의 계전기 및 전자소자를 이용한 Fail-safe 기술로는 안전을 확보할 수 없으므로 주로 이중화구성, 고장진단과 이상상태 검출시 출력의 안전측 고정에 의해 안전성을 확보하고 있다. 즉 하드웨어나 소프트웨어를 이중화하거나 소프트웨어에 의한 지능형 처리나 고속처리 능력을 활용하여 고빈도로 시스템을 진단하여 오류를 적극적으로 검출하고 오류발생시에는 안전측으로 천이시켜 고정시키는 것이다.

이런 개념을 기초로한 하드웨어와 소프트웨어의 안전성과 신뢰성에 관한 향상기법의 도입과 연구가 진행되어야 하는 것이며, 우리의 경우는 연구 시작단계에 있으며 철도 신호설비의 전자화에 따른 안전성과 신뢰성 향상을 위한 연구가 필요하다

유럽 각국에서는 EU 통합에 의해 이제까지 독자적으로 제정한 신뢰성 및 안전성의 확보를 위한 제반 기술규격·지침 및 신호제어시스템의 사양 통일 등이 진행되고 있으며, 일본에서도 신뢰성 및 안전성 확보에 대한 기술에 풍부한 경험을 가진 전문가들로 구성된 '열차보안제어의 안전성기술검토위원회'가 조직되어 신호제어시스템의 신뢰성 및 안전성확보를 위한 기술지침을 작성하는 등 활발한 활동이 진행되고 있다.

2.4 무선통신방식을 이용한 열차제어기술

미국 FTA(Federal Transit Administration)는 IEEE를 통해 경량 및 중량전철에 적용할 수 있는 CBTC(Communication Based Train Control System) 시스템 및 하부시스템의 표준화를 추진하고 있다. 그리고 뉴욕 지하철에 적용하여 노후화 된 지하철 20Km 구간에 대해 신개념의 CBTC를 도입하여 시험운행 중이며, 샌프란시스코의 BART(Bay Area Rapid Transit)에서는 수송량 증대에 따른 고밀도 수송을 구현하기 위하여, 무선

통신을 이용한 차세대 열차제어시스템인 AATC(Advanced Automatic Train Control)를 개발하여 시험구간에서의 시험운행을 '99년에 완료하고 영업선에 설치하여 실용화 중에 있다. 일본 철도종합기술연구소(RTRI)는 무선통신을 이용한 지능형 열차제어시스템 CARAT(Computer And Radio Aided Train control system)를 '95년에 개발하여 JR 동일본의 영업선로에 설치 실용화 중에 있다.

무선을 이용한 신호시스템은 각 국에서 활발히 개발되고 있으며, 차세대 열차제어 시스템은 지상시스템 중심에서 차상중심의 시스템으로 옮겨가고 있다. 따라서 이러한 추세에 견주어 비록 무선에 의한 시스템의 구성이 어려울지라도 이에 대한 연구는 미래의 열차제어시스템을 수용하기 위한 수단으로써 지속적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

3. 한국철도 신호보안기술의 현안과 개선방향

유럽 등 철도선진외국에서는 열차의 안전운행과 밀접한 관계가 있는 신호기술을 세계 철도시장에서 선점하기 위하여 오랜 기간 동안 많은 투자를 하였으며, 새로운 방식의 신호기술을 확보하기 위하여 부단한 노력을 하고 있다. 이러한 추세는 비록 경제 규모가 커지고, 국민의식 수준이 향상됨으로서 철도 이용률이 증가되어, 제한된 선로의 이용을 극대화하기 위한 하나의 방편으로 시작하여 철도의 르네상스를 구가하고 있는 것이다.

신호보안기술은 컴퓨터에 의한 운행정보 수집과 분석을 통하여 안전운행 요건을 검사하고, 열차 상호간의 안전거리 확보, 선로조건에 따른 열차속도 설정, 역구내의 정차 등을 자동제어 함으로써 열차주행속도를 향상시켜 효율적인 운전을 가능하게 한다. 이러한 신호제어기술의 성능향상은 열차의 고밀도 운전과 고속화를 위한 안전운전을 이롭고 동시에 경제적 성과와도 직결되는 기술이다. 그러나 이와 관련되어 개발된 요소기술과 관련기술들의 라이프사이클이 빠르게 때문에 주기적인 관련기술의 업데이트가 이루어져야 한다. 그러나 우리 나라의 현실은 아래 표와 같이 운영기관별로 매우 다양한 신호기술이 활용되고 있으나, 독자적인 기술력 확보가 미흡한 관계로 인하여 사고 등 돌발 상황이 발생할 경우에는 관련설비의 수입 제작사에게 수리요청을 하게 되는 것이 현실이며, 많은 경비를 지불하고 있을 뿐만 아니라, 그 수리기간도 길어져 우리의 교통여건을 악화시키고 있다.

구분	도시	운영기관	주요신호설비 : 제작사	비고
도시 철도 100k m/h 이하	서울	1기 지하철	ATS,ATC(일본,미국 US&S)	-제작사별 신호설비구성과 성능이 다름 -폐쇄 : 약 250m
		2기 지하철	ATC/ATO : 미국 US&S의	
	부산	과천/분당/일산선	ATC : 미국 US&S (일부 국산)	
		부산교통공단	ATC/ATO : 일본신호 ATP/ATO : 스웨덴 ADTranz	
대구	대구지하철공사	대구지하철공사	ATP/ATO : 미국 GRS	
			인천지하철공사	ATP/ATO : 독일 Siemens

구분	노선	신호체계	주요신호설비: 제작사	비고
국철 200km/h 이하	경부선	지상신호 (5현시)	ATS : 일본 / 국산	-신호 체계별 열차제어방식이 다름 -폐색 : 800~ 1200m
	경부선 외	지상신호 (3현시)	ATS : 일본 / 국산	

구분	노선명	신호체계	주요신호설비/제작사	비고
고속전철 200km/h 이상	경부 고속선 (KTX)	차상신호	TVM430/CSEE(프)	-기술이진 -폐색 : 1500m
		ATS차상장치	국산	

한국철도 100년의 역사를 두고 생각할 때 아직까지 우리의 신호기술은 미흡하며, 이제 시작단계에 있다고 보아야 할 것이다. 그러나 좀더 긍정적인 면에서 분석하여 볼 때, 우리 나라에 시설되어 있는 철도신호설비는 CSEE, 알스톰, 지멘스, ADtranz, 교산신호, 일본신호, 대동신호, US&S, GRS 등 전세계의 다양한 신호시스템이 사용되고 있으며, 이러한 것은 각 나라 및 각 제조회사의 신호제어기술을 보유하고 있다고도 생각 할 수 있다. 이러한 기술과 세계적으로 인정받고 있는 통신, 컴퓨터 응용 기술 등을 철도신호기술에 접목 발전시켜, 향후 남북철도망, 중국과 유럽횡단철도망의 연계에 우리의 신호기술이 진출 할 수 있도록 하여야 할 것이다. 국내 신호보안기술의 현안과 개선방향을 정리하여 보면 다음과 같다.

구 분	현 안
도시철도 (100km/h이하)	<ol style="list-style-type: none"> 원천/제작기술 취약 : 국의 의존 유지보수기술 취약 : 제작사 의존 <ul style="list-style-type: none"> 보증기간 종료후 유지보수 취약 유지보수 비용 과다 소모 운영기관별 신호설비기술 상이 <ul style="list-style-type: none"> 사용처별 운영기술 지원 불가 교육훈련비등 인적투자비 과다소모
국철 (100~200km/h)	<ol style="list-style-type: none"> 지상신호체계 중심 <ul style="list-style-type: none"> 속도향상 및 운행효율 증대 한계 신뢰성 및 안전성 취약 <ul style="list-style-type: none"> 제작사 설계반영 미흡 유지보수비용 과다 <ul style="list-style-type: none"> H/W 중심 설비: 운영유지비 과다 유지보수정보 전산체계 구축미흡

총괄적 측면 개선방안
<ol style="list-style-type: none"> 신호시스템 구현용 중요기술개발 컴퓨터/제어/통신/정보기술 신호시스템 엔지니어링기술 신호체계 기술개발(차상신호체계) Distance to go 신호체계 One Step 속도제어, 이동폐색 기술 설계 및 제작 기술개발 Fail Safe 시스템 설계기술 신뢰성 및 안전성기술 운영기관의 유지보수 기술개발 장비의 현대화, 인력의 전문화 유지보수 기술자료의 전산화 국가 정책 지원 기술개발 도시철도망 연계 신호기술 남북한 철도망 연계 신호기술 신호기술 표준화 신호설비별 국산화 기술개발 전자폐색장치, 열차제어장치 등

4. 결론 및 고찰

최근 국내 전기, 전자, 제어, 통신 및 컴퓨터산업분야의 기술 발전에 힘입어 신호제어 요소기술력은 어느 정도 보유하고 있다고 판단된다. 따라서 국내의 철도 운영기관 및 제작사, 학계, 연구계, 정책수립기관들은 세계철도와 연계가 가능한 신호기술 구축에 각각의 역할을 다하여야 할 것이다. 또한 최선의 기술을 이용한 신호설비 설계 및 제작기술을 확보함으로써 독자적인 신호설비를 제작·보급할 수 있게 되어 신호체계 적용의 다양성을 확보하는 한편, 유지보수가 신속 용이하며 저렴하게 이루어질 것이다. 이에 따라 안전성 및 경제성이 확보됨은 물론 타 분야에 기술이 파급되어 전체적으로 국가 경쟁력 확보에 일조 할 수 있다.

선진외국의 시장공략 및 기술종속을 피하기 위해서는 급변하고 있는 기술개발추이를 면밀히 조사·검토하고, 보다 장기적인 기술개발 정책을 수립하여 그 대책을 세워나가야 할 것이며, 앞으로 등장하게 될 유라시아 철도시대의 주역으로서의 역할을 준비하여야 할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] 철도청, 열차제어시스템 안전성확보 기술 권고안, 2001. 7.
- [2] 박재영 외 2인, 철도신호공학, 동일출판사, 2001
- [3] 吉村 寛, 吉越三郎, 信号, 交友社, 1991.
- [4] 列車保安制御の安全性技術檢討委員會, 列車保安制御システムの安全性技術指針
- [5] CENELEC EN 50126, EN 50128, ENV 50129, 1997.
- [6] 平尾裕司, ヨーロッパの統合列車制御システム ETCS/ERTMS, RRR, pp. 20 23, 1999. 1.
- [7] 平尾裕司, 無線による列車制御の海外における動向, RRR, pp. 32-33, 1999. 10.
- [8] 渡辺郁夫, 鉄道信号の安全性技術規格の動向, 鉄道総合技術研究所信号通信技術研究部.