철도 고속화에 따른 신호시스템 동향 연구
A Study on Technology Trend over-accelerated train signaling system

김유호* 이훈구** 김진철*** 이수환† 엄기영****
Kim, You-Ho Lee, Hoon-Koo Kim, Jin-Chuol Lee, Soo-Hwan Eum, Ki-Young

ABSTRACT

Technical advancement in the field of world-class railway has brought the development of passenger safety, efficient operation and fast passenger service.

The study of the railway speed-up has been progressed for a long time. As for the speed-up of trunkline railways, its design work has already promoted in some railway tacks and some track sections has already been under construction.

In such a perspective we should review if the domestic signaling system is the optimal system and figure out the trend of signaling system for the speed-up that is recently applied over the world. In this way learning about justification and futurition, we should secure the national competitiveness in the long term and review the system available to international exports. Further, it is important to apply the result to the research project currently being pursued.

In addition, predicting the recent international trends, we should show the direction of the future-oriented and economic signaling system.

1. 서론

세계적인 철도분야의 기술발전은 승객의 안전, 효율적 운영, 빠른 여객 수송 등의 방향을 발전하고 있다. 따라서 철도의 가속화에 대한 연구는 오래전부터 진행되었으며, 간선철도의 속도향상에 대해서도 이미 국내 일부 철도에 설계를 추진하고 있으며, 이미 시공하고 있는 선구도 있다. 그러한 관점에서 국내에 적용되는 신호시스템이 최적의 신호시스템인가에 대한 고찰과 국제적으로 최근에 적용하고 있는 고속화를 위한 신호시스템의 방향을 알아보고 이에 대한 당위성 및 미래성을 검토하여 장기적으로 국가 경쟁력을 확보하고 나아가 국제적으로 수출이 가능한 시스템을 검토하여 이 결과를 현재 추진하고 있는 연구과제에 적용하는 것이 중요할 것이다. 또한 최근 해외에서 변화되고 있는 추세를 예측하여 미래지향적이며, 경제적인 신호시스템의 방향을 제시하여야 할 것이다.

2. 본론

2.1 신호시스템의 분석

속도향상을 위하여 적용되는 철도신호시스템이 유럽철도기술의 표준화에 많은 영향을 주었다. 즉 표준화방안에 따라 차량장치와 신호시스템간의 인터페이스 체계를 구축하고 이는 기관사의 선로변 신호 감시 또는 차상신호를 운용하기 위해 필수적인 것들이다.

† 책임저자 : 정회원, (주)에이알텍, 설계사업부, 상무
E-mail : ksjlsh@korea.com
TEL : (02)2083-5612 FAX : (02)2083-5650
* 정회원, (주)에이알텍, 대표이사
** 정회원, (주)에이알텍, 설계사업부, 부사장
*** 정회원, (주)에이알텍, 설계사업부, 부사장
**** 정회원, 한국철도기술연구원, 철도구조연구실, 책임연구원

유럽은 오래전부터 다양한 신호시스템을 적용하여 운영하였으며, 이에 따라 서로 다른 시스템간의 호환성에 대한 문제점을 가지고 운영하고 있었다. 각 나라마다 일부 시스템들은 한 나라에서 운영하기 위하여 호환성을 구축한 시스템도 있지만, 대부분의 시스템은 서로 다른 특징을 가지고 있다. 그 중 몇몇 장치들은 매우 단순하며 노후 되었지만, 지난 30년간 고속철도 운행의 측면에서 보면 최소한 세 번의 상이한 신호시스템으로 개량하여 운행하고 있다. 이는 적용되는 신호시스템의 개량주기에 따라 각각의 기능을 확보하면서 발전하였다는 것을 알 수 있다.

또한 다양한 신호시스템이 서로 다른 개량주기를 가지고 적용되었으며, 이중에 가장 많이 설치된 PZB/Indusi, Crocodile, AWS/TPWS 장치는 가장 오래된 원리와 기술력으로 비교적 단순한 기능을 갖추고 있다. 여기에 적용되는 다양한 신호시스템의 기능은 열차 운행 중에 운전자에게 경고신호를 주는 것으로 운전자가 신호를 오인하였을 경우 단순한 경고를 알리거나, 위험신호구간을 통과하였을 경우 자동으로 열차를 정지시키거나, 특정 위치에서의 연속 또는 불연속의 정보를 제공하고 후방에서 운행하는 열차에게는 최대 허용목표 속도에 대한 정보를 제공하는 등의 다양한 신호를 제공한다.

2.2 유럽의 신호시스템의 기술동향

2.2.1 신호시스템의 다양화

현재 유럽에서 적용되는 신호시스템은 나라마다 다르며, 일반적으로 TVM계열을 많이 이용하는 영국, 프랑스의 그룹과 LZB계열을 많이 용하는 독일, 이탈리아, 스페인, 오스트리아 등의 그룹으로 분리할 수 있다. 이는 국가 간의 인접한 형태와도 관련이 있으며, 특히 국가의 경제발전 및 언어영역에 대한 관련성을 가지고 있는 것을 알 수 있다.

(1) 유럽의 신호시스템 조사

프랑스, 독일, 이탈리아, 스페인, 영국, 오스트리아 등의 고속열차를 운행하고 있는 국가에 대하여 조사하였으며, 적용되는 신호시스템의 기본적인 기능 및 정보전송기술을 조사하였다.

도표 1. 유럽의 신호시스템의 기능

국가	신호시스템	기능	데이터 전송에 사용한 기술
프랑스	Crocodile	경고	점제어/전기접촉
	KVM	연속속도감시	점제어/트랜스폰드
	TVM	차상신호	연속제어/궤도회로
독일	PZB/Indusi	불연속 속도 감시	점제어/유도코일
	ZUB 122/262	구배 및 속도 감시	점제어/트랜스폰드
	LZB	차상신호	연속제어/케이블루프
이탈리아	BACC	불연속 속도 감시	반연속제어/궤도회로
	SCMT	연속 속도 감시	점제어/유로발리스
	SSC	불연속 속도 감시	점제어/트랜스폰드(마이크로파)
스페인	ASFA	불연속 속도 감시	불연속제어/유도코일
	Ebicab	연속 속도 감시	연속제어/트랜스폰드
	LZB	차상신호	연속제어/케이블루프
영국	AWS/TPWS	불연속 속도 감시	점제어/유도코일
	TVM	차상신호	연속제어/궤도회로
	TBL	차상신호	점제어/트랜스폰드
	Selcab	차상신호	반연속제어/케이블루프
	TASS	구배 및 속도 감시	점제어/트랜스폰드
오스트리아	PZB/Indusi	불연속 속도 감시	점제어/유도코일
	LZB	차상신호	연속제어/케이블루프

유럽에서 적용되는 신호시스템은 다양하게 운영되고 있으며, 대표적으로 PZB, Crocodile, LZB 등과 같은 신호시스템이 많이 적용되고 있으며, PZB 시스템의 경우 60,000km구간에 적용되고 있을 정도로 많이 사용되고 있다. 그러나 노후하고 퇴화된 기술력으로 보아야 할 것이다. 따라서 기존의 시스템이 아닌 새로운 기술의 도입이 필요하다.

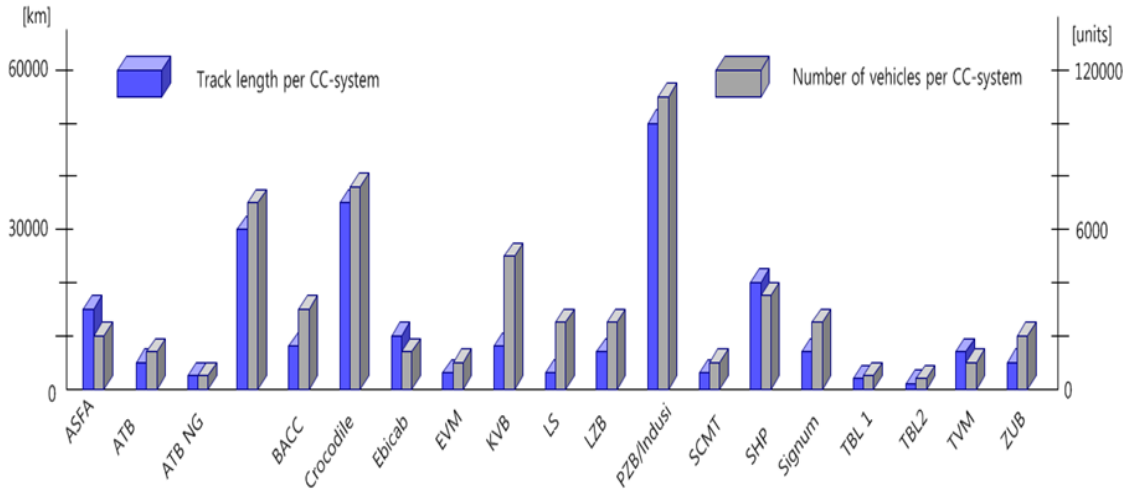


그림 2. 유럽 신호시스템의 운영 분포도

특히 신호시스템의 경우 대부분이 지상신호방식으로 운영하고 있으며, 열차의 정보제공방식에 따라 다양하게 운영되고 있다. 또한 최근에는 대부분의 신설선에서 차상신호방식을 적용하고 있다. 신호시스템의 정보제공방식에 따라 분포를 분석하면, 아무것도 없는 지상신호방식, 경고만 하는 지상신호방식, 경고와 정지를 수행하는 지상신호방식이 적용되는 것은 약 1,400,000km에 해당되고, 좀 더 상세한 정보를 제공하는 운영노선은 1,300,000km정도이며, 차상신호방식은 20,000km 정도이다. 따라서 점차적으로 정보전송이 많이 되는 차상신호방식으로 기술이 이전되는 것을 알 수 있다.

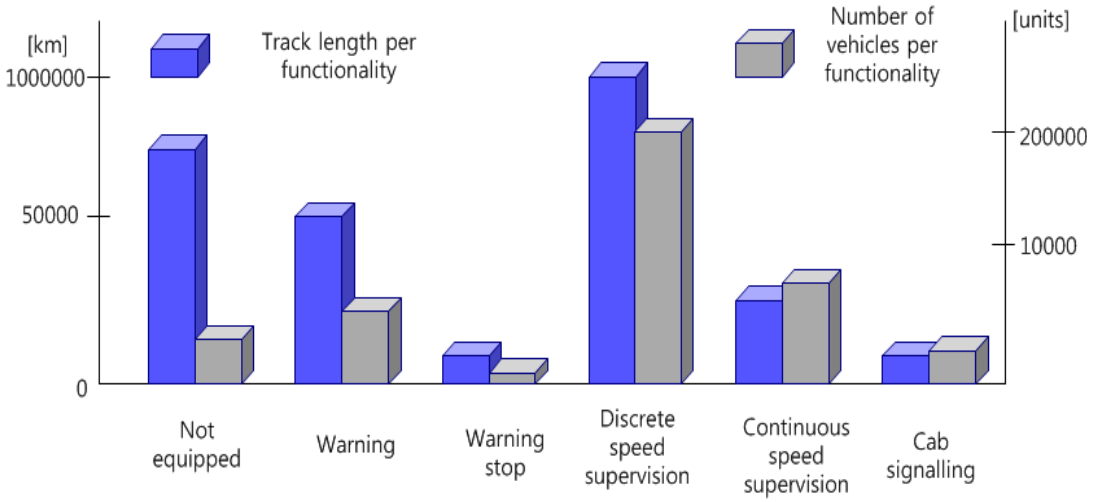


그림 3. 차상신호시스템의 종류에 따른 운영 분포도

(2) 속도에 따라 적용되는 신호시스템의 분류

현재 유럽에서 사용되는 신호시스템과 각각에 적용되는 노선속도와의 역학관계를 검토하였다. 기존의 신호시스템은 열차의 단순한 이동에 대한 안전확보를 기관사 위주의 방식에서 추가적인 보안장치에 의존하여 안전을 확보하는 단계로 발전하였으나, 전자기기의 기술발달로 인하여 부가적인 많은 정보를 제공할 수 있는 방향으로 발전하고 있는 실태이다. 따라서 기존의 저속도에서의 정보제공은 단순한 지상신호방식에 의존하여 열차의 운전정보만을 제공하였으나 최근에 적용되는 기술은 보다 많은 정보를 제공할 수 있도록 하고 있다. 속도단계에 따라 적용되는 신호방식을 검토하였으나, 160km/h이상의 속

도에서는 지상신호방식이 아닌 차상신호방식을 적용하고 있으며, 속도에 따라 시스템의 차이가 크게 발생되지 않는 것을 알 수 있다. 단, 공통된 표준화 방식을 적용하기 위하여 점차적으로 고속화에 따라 표준화된 방식인 ETCS 시스템이 적용되는 것을 확인할 수 있다.

표 3. 속도단계에 따라 운영되는 신호시스템

구 분	열차 속도 [km/h]						
	160	180	200	230	270	300	320 이상
프랑스	KVB	KVB	KVB	KVB	TVM300	TVM430	TVM SEI, TVM430, ETCS Level 2
독일	PZB, ETCS Level 1	ZUB	PZB, ETCS Level 2	LZB	LZB	LZB, ETCS Level 2	LZB, ETCS Level 2
스웨덴	Ebicab	Ebicab	Ebicab	-	-	-	-
스페인	Ebicab, ETCS Level 1	Ebicab, ETCS Level 1	Ebicab, ETCS Level 1	Ebicab, ETCS Level 1	LZB, ETCS Level 1	LZB, ETCS Level 1	LZB
이탈리아	SCMT	SCMT	SCMT	SCMT	SCMT	-	-
벨기에	TBL	TBL	TBL	TBL	-	ETCS Level 2, TVM430	-
네덜란드	-	-	-	-	-	-	-
스위스	ZUB, ETCS Level 2	ZUB, ETCS L2	ZUB, ETCS L2	ZUB, ETCS L2	-	-	-
중국	CTCS	CTCS	CTCS	CTCS	CTCS	CTCS	CTCS
사우디 아라비아	-	ETCS L1	-	-	-	-	-
영국	TPWS, KVB	TPWS, KVB	TPWS, KVB	-	-	TVM 430	-

2.2.2 신호시스템의 발전 동향

위에서 검토한 바와 같이 국외의 신호시스템의 동향은 각 나라마다 조금의 차이는 있으나 공통적으로 추구하는 목적이 동일한 것을 알 수 있다.

(1) 신호핵심기술 및 폐색방식의 흐름

최근의 전자, 정보 기술의 발달로 인하여 신호시스템의 핵심적이 기술이 기존에서 전기적인 기술을 바탕으로 하는 Relay-Based방식의 신호체계에서 전자기술의 발전을 통하여 보다 많은 논리 분석이 이루어지고 기관사의 책임한계를 보다 안전적으로 운영할 수 있는 Micro Electronic화된 전자기술을 바탕으로 하는 신호방식으로 변화되었다. 최근에는 고집적, 고속처리가 가능한 Micro-Computer-Based방식의 신호체계에 무선통신이라는 새로은 기술을 접목시켜서 신호체계를 구축하고 있는 실정이다. 따라서 변화되는 기술에 맞추어 폐색방식도 단순 속도 정보제공의 고정폐색방식에서 거리연상방식의 고정폐색방식으로 발전하여 근래에는 무선통신방식을 도입한 이동폐색방식으로 적용되고 있는 실정이다. 그러나 이러한 추세는 적용되는 환경 및 수송수요와의 밀접한 관계를 검토하여 투자성을 고려하여 적용하고 있다.

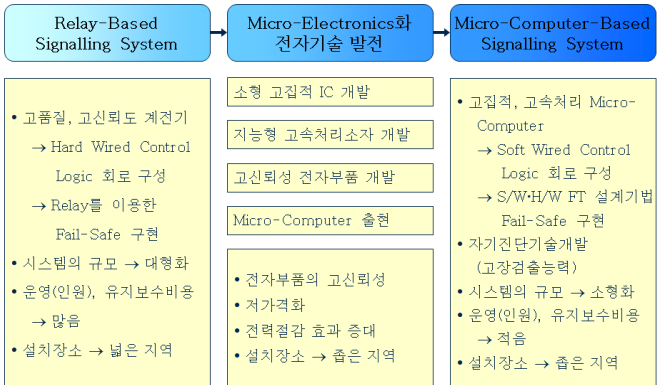


그림 4. 신호시스템의 발전 핵심요소

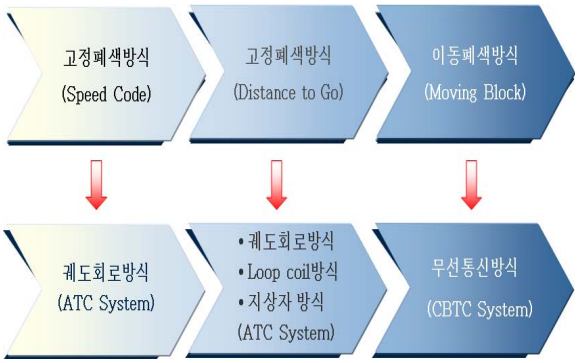


그림 5. 폐색방식과 신호정보 전송매체의 변화

(2) 국내 철도신호분야의 흐름

국내에서 적용되는 기술은 60, 70년대의 지상신호방식에서 80, 90년대의 차상연속제어방식 그리고 2000대에는 표준화된 차상신호방식 및 무선통신기술을 적용한 이동폐색방식을 적용하고 있다. 따라서 현재 적용되는 신호시스템의 방향은 국가의 기술발전의 중요할 나침반의 역할을 할 것이므로 철도신호 시스템의 중요한 전환점으로 판단된다.

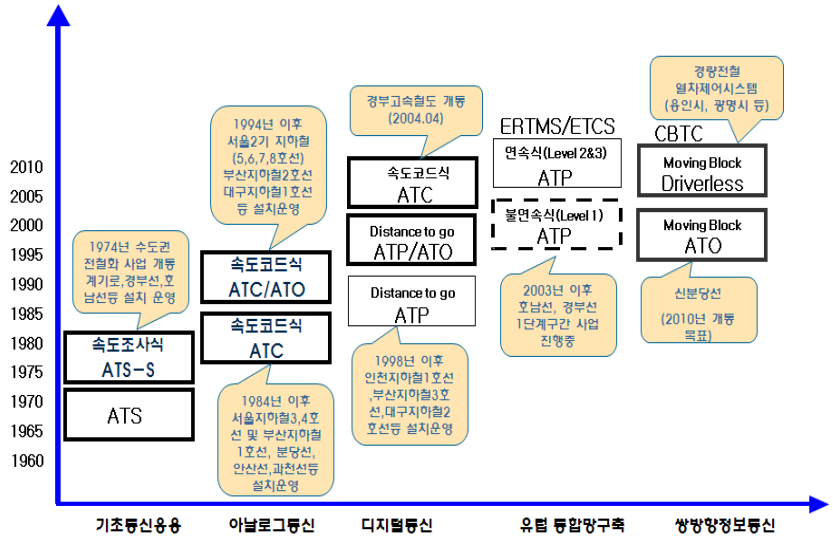


그림 6 국내 철도신호시스템의 발전방향

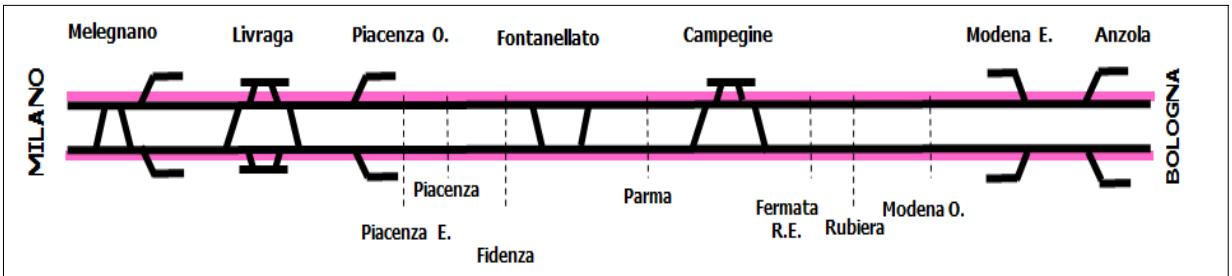
3. 결론 및 적용방안

세계적으로 많은 시스템이 적용되고 있으며, 개발되고 있다. 또한 국내에서 최근 적용되는 신호시스템도 다양하다고 볼 수 있다. 그러나 검토된 내용으로는 방향적인 측면에서 기술고도화 및 표준화라는 중요한 방향을 제시할 수 있으며, 적용되는 기술동향은 차상신호방식을 기본으로 표준화 방식의 ETCS 기술과 무선통신기술을 적용한 이동폐색기술이 가장 핵심적인 기술로 판단된다. 따라서 국내에 적용되는 기술은 단순히 현재의 시점을 기준으로 보지 말고 향후를 예측하여 적용되어야 할 것이다.

속도향상 및 고속화를 위하여 무선통신기반의 표준화시스템의 적용이 가장 타당할 것이다. 현재 해외에서 추진되고 있는 ETCS Level 3와 같은 기술이 필요할 것이다. 단, 여기에 적용되는 기술은 국제표준화가 가능한 미래지향적인 기술을 적용하여야 할 것이다. 특히 정보전송을 위한 통신기술은 유럽에서 표준화하여 사용을 계획하는 3G의 GSM-R을 적용하기 보다는 지금 개발되고 있는 4G의 LTE방식을 고려하여 신호기술에 접목이 가능하도록 연구하여 차상신호기술에 적용된 신호방식이 되어야 할

것이다. 결론적으로 ETCS Level 3와 같은 한국형 기술이 적용되어야 할 것이다. 무선통신기반의 기술은 ETCS Level 2에서도 적용되고 있으며, 적용방법은 해외의 이탈리아 선구에서와 같이 기존의 신호시스템을 운영하면서 무선통신방식으로 개량하는 방식이 되어야 할 것이다.

표 4. 이탈리아 밀라노-보르그나 구간의 개량사례



- 궤도 중심간 거리 : 5[m] - 궤도 : UNI 60 콘크리트, 침목 2,600[mm] - 전차선 전압 : AC 25[kV] X 2 - 기존선과 연결 : 7개 구간 - 터널의 전체 거리 : 3.5[km]	- 노선 연장 : 185[km] - 최대 곡선반경 : 5,540[m] (단, Modena 구간은 3,440[m]) - 최대 구배 : 1.5% - 최대 궤간 : 궤간 C

현재 단계에서 기술을 바로 적용하기에는 무리가 있으므로 현재 개발되는 시스템으로 개량을 감안한 한국형 ETCS 기술을 적용하여 아래와 같은 개략적인 구성방안을 적용하여 구축하고 향후에 ETCS Level 3와 같은 한국형 기술로 개발된 신호시스템으로 개량하여야 할 것이다.

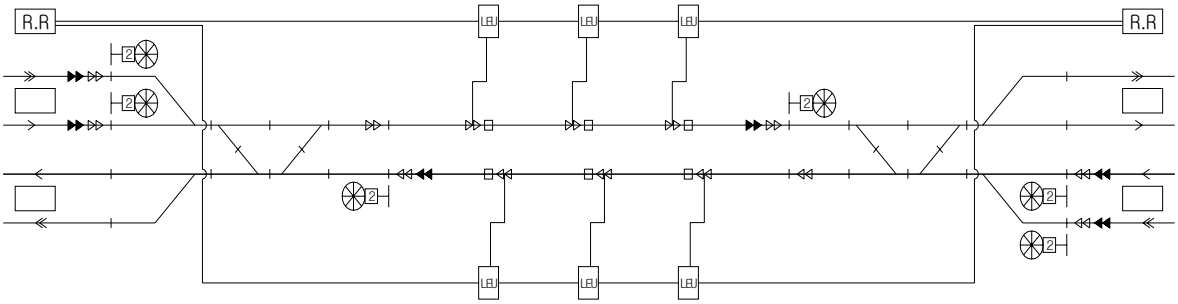


그림 8. 신설구간에서의 국내 신호시스템의 구축방향

감사의 글 : 이 논문은 국토해양부에서 지원한 "400km/h급 고속철도 인프라 시범 적용 기술개발" 과제에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Peter Winter, UIC. “World Railways Today”, Eurail Press, 서적자료, 2009. 3. 31.
2. Stefania Muscolino, AnsaldoSTS. “The Milano-Bologna High Speed Line”, AnsaldoSTS, 발표자료, 2011. 6.
3. 김진철, (주)에이알텍. “신호분야 표정속도(가감속 성능) 향상을 위한 인프라 개선방안 연구 해외출장보고서”, 출장보고서, 2011. 6. 22
4. Paolo de Cicco, UIC. “UIC ERTMS Benchmark Study 2008 Final Project Report”, UIC 보고서, 2008. 8. 8