

기술발전 추이에 따른 열차제어장치의 개발방향

A Study on the development strategy for TCS in technology context

이재호*
Lee, Jae-Ho

신덕호**
Shin, Ducko

이강미**
Lee, Kang-Mi

홍효식+
Hong, Hyosik

ABSTRACT

Signaling system, for which ensuring safe train operation, must be a fail-safe system with higher reliability and safety. TCS has made significant improvements both on signaling system, from relay based ground signaling system to computer based on-board system, and on driving mode, from low speed and low density driving to TCS supporting high speed and high density driving. In addition, TCS has been applied to rolling stock with a wide variety of context according to the characteristics of rolling stock or railway infrastructure. In this paper, therefore, we confirmed the basic concept of ATC system and analyzed its development process in technology context via referencing international cases and ATC systems introduced and applied in Korea. Based on those analyses, we suggested the new TCS development strategy for its suitable application to high speed line, conventional line and metro, and we also provided technical considerations related to TCS application.

1. 서론

철도신호시스템은 「열차를 어떻게 안전하고 효율적으로 제어하였느냐」 하는 문제를 해결하는 방향으로 발전해 가고 있으며, 철도가 짧은 구간을 1일 수회 왕복하는 것이 열차운전의 전부였으므로 기관사의 주의력만으로도 안전운전이 가능하였다. 따라서, 대표적인 초기의 신호장치는 정지와 안전을 현시하는 신호기, 역구내의 선로전환기와 신호기를 취급하는 연동장치가 그 역할을 수행하였다. 그러나 열차횟수가 점차 증가하고 수송수요가 증가함에 따라 각종 운전사고와 장애가 발생하였으며, 이를 방지하기 위한 신호장치의 역할이 증대하고 있다. 즉, 기술발전에 따른 고속 고밀도운전의 요구사항에 따라서 철도시스템의 안전성과 안정성을 최종적으로 책임지는 ATC (Automatic Train Control :자동열차제어장치)와 CTC (Centralized Traffic Control:열차 집중 제어장치)등이 개발되었다. 이들 장치는 기존의 기계(계전기)를 기반으로 하는 신호장치들을 최신의 전자(컴퓨터, 통신)기술을 기반으로 하는 새로운 기술이 결집된 성과라고 할 수 있다.

그러나 이러한 철도기술을 바탕으로 각국 또는 각 제조사마다 다른 형태의 신호제어장치를 개발하고 이를 현장에 적용하고 있다. 우리나라도 이러한 다양한 철도신호장치가 설치 운영되고 있으며, 이러한 장치들을 효율적으로 통합하여 운영할 수 있는 방안들에 대한 요구가 증가하고 있다.

본 연구에서는 철도기술의 발전에 따른 신호장치(열차의 간격제어기능)의 개발사례를 간선철도와 도시철도용으로 소개하고, 이러한 신호장치들이 철도시스템의 시대적 요구사항에 따라 변경되고 추가되어야 하는 내용 및 이러한 내용을 바탕으로 국내 철도신호기술의 기술개발 방향을 제시하고자 한다.

* 한국철도기술연구원, 신호제어연구실, 정희원

E-mail : prolee@krri.re.kr

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

** 한국철도기술연구원,

+ 한국철도대학

2. 본 문

2.1 용어의 정의

철도신호에서 자주 언급되고 있는 ATC, ATP 장치 또는 시스템 등의 용어를 유럽과 일본을 예로 들어 기술한다.

■ 유럽의 ATC 및 ATP

- ATC: 운전사는 ATC 시스템이 구축된 구간에서는 감시자가 되지만, 구축되지 않은 구간에서는 전체 책임을 가지고 운전 조작을 실시한다. ATC 시스템은 실시간으로 얻을 수 있는 속도레벨제어(ATP) 하에서 가속과 감속의 조작을 실시하는(ATO) 역할도 수행할 수 있다. ATO 시스템 자체는 fail-safe가 아니어도 좋지만 ATP 시스템은 fail-safe인 것이 필수이다.

- ATP: 운전사는 ATP의 보안 하에서 운전 조작을 실시한다. 운전사에 대해서 제한속도정보가 운전대에 표시되는 시스템과 그렇지 않은 시스템이 있다. 전자의 시스템에서는 ATP 시스템은 fail-safe인 것과 동시에 높은 신뢰성이 필요하다. 한편, 후자의 시스템에서는 운전사는 지상신호기의 현시에 따라서 주행하고 ATP 시스템은 운전사가 조작을 잘못했을 경우의 백업이 된다. ATP 시스템은 지상과 차상간의 제어정보의 전송형태에 의해, 연속제어와 점제어로 분류할 수가 있다.

■ 일본의 ATC 및 ATS

- ATC: “열차의 속도를 자동적으로 제한속도 이하로 제어하는 장치”로 정의되어 “선행열차와의 간격이나 선로조건으로부터 결정되는 지시속도 혹은 거기에 상당하는 정보를 연속적으로 지시해 열차속도가 지시속도를 초과하고 있을 때에는 자동적으로 그 속도 이하로 브레이크 제어하고 지시속도 이하가 되면 브레이크를 완해하는 장치”이다.

- ATS : “열차가 정지신호에 접근하면 열차를 자동적으로 정지시키는 장치”라고 정의되어 정지를 나타내는 신호기를 모진하는 것을 방지하기 위한 백업 장치이다.

2.2 신호시스템의 분류

2.2.1 고속 및 간선철도의 신호시스템

장거리 운행을 기반으로 하는 고속철도와 간선철도가 이 분류에 적용되며, 고속철도용 신호장치로 연속제어방식인 프랑스의 TVM, 독일의 LZB, 일본의 Digital ATC 등이 사용되고 있으며, 최근에는 고속철도와 간선철도의 연계운행을 위하여 불연속제어방식인 ERTMS/ETCS 레벨1,2가 일부 적용되고 있다.

간선철도용 신호장치는 수동운전의 신호기방식과 자동운전의 ATC/ATP가 적용되고 있으나 수동운전의 신호기 방식에는 기관사의 운전협조를 위한 안전장치인 ATS 등이 부가 설치되어 있다. 이들 장치는 각 나라마다 그 나라의 특징에 맞게 적용·운영되고 있으나, 유럽에서 나라마다 다른 신호시스템을 통일하여 국제 열차의 운행을 연속적으로 하는 상호운영성(interoperability)의 실현을 목적으로 1990년대 초부터 ERTMS/ETCS의 개발을 진행하고 있는 것이다. 특히 최근, 역내의 여러가지 장벽을 철폐하고자 하는 EU의 시책의 하나로서 추진되고 있어 본격 도입이 시작되고 있다.

ERTMS/ETCS 시스템은 기능이나 장치 구성에 의해 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 포함한 열차제어시스템 (복합교통 환경을 위한 선로변 신호장치들은 그대로 유지하는 시스템)
- 레벨 3: 레벨 2의 연장선상에 있는 시스템으로 무선 의존 비율이 레벨 2보다 높으며, 대부분의 선로변 신호인프라(신호기, 궤도회로, 차축계산기 등) 없이도 구현 가능한 시스템. 필요시 이동폐색 운용을 용이함.

또한, 북미에서는 GPS에 의한 열차위치검지나 선로변기기를 포함한 무선에 의한 정보전송 등을 특징으로 하는 PTC(Positive Train Control) 시스템이 개발, 운영 중에 있으며, 최근, NTSB(국가운수안전위원회)나 FRA(연방철도국)가 고속열차 운행시의 안전 향상방안으로 주목하고 있어 향후, 여러 시스템의 개발이 예상된다.

일본에서는 기존의 아날로그방식의 다단제어이며, 지상장치에서 제어논리를 담당하고 있어 차량이 최대의 성능을 발휘할 수 없어 이를 보완하고 설비의 노후화에 대비하여 Digital ATC를 개발하여 고속철도 및 간선철도에 적용하고 있다.

국내의 고속철도 신호시스템은 프랑스의 TVM장치를 도입·적용하고 있으며, 간선철도는 신호기에 의한 수동운전시스템으로 기관사의 운전업무를 보조하는 ATS장치가 설치되었으나 최근에는 신호시스템의 안전성과 운영의 효율화 및 고속철도의 병행운전을 위하여 경부, 호남선 구간에 유럽형 ERTMS/ETCS 레벨 1을 설치 시험운영 중에 있다.

이와 같이 국내의 고속 및 간선철도 신호시스템은 서로 상이하여 연계운행을 위해서는 2개 이상의 차상신호장치 탑재하여야 하는 문제 등이 대두되고 있다.

2.2.2 도시철도의 신호시스템

도시철도의 신호시스템은 크게 2분류로 나누어 고려된다. 첫 번째로는 궤도회로 및 루프를 기반으로 하는 시스템으로 현재 전체 도시철도 신호시스템의 거의 대부분을 차지하고 있다. 대표적인 국외시스템으로는 SACEM, METEOR(SAET), Seltrac, URBALIS 등이 있다. 두 번째로는 궤도회로의 단점을 보완하고 많은 정보전송으로 효율적인 열차운행을 위하여 통신을 기반으로 하는 CBTC 시스템들이 개발 또는 일부 운영 중에 있다.

국내의 도시철도 신호시스템은 1970년대부터 외국사에 의존하여, 도입하여 현재까지도 같은 형태로 진행되고 있다. 초기의 ATS에 의한 수동운전에서 아날로그방식의 ATC/ATO, 디지털방식의 ATP까지 여러 종류의 시스템이 도입 운영중에 있으며, 최근에는 무선을 이용한 CBTC 시스템이 적용되어 설치 운영될 예정이다.

도표.1 도시철도 신호시스템의 국내 적용현황

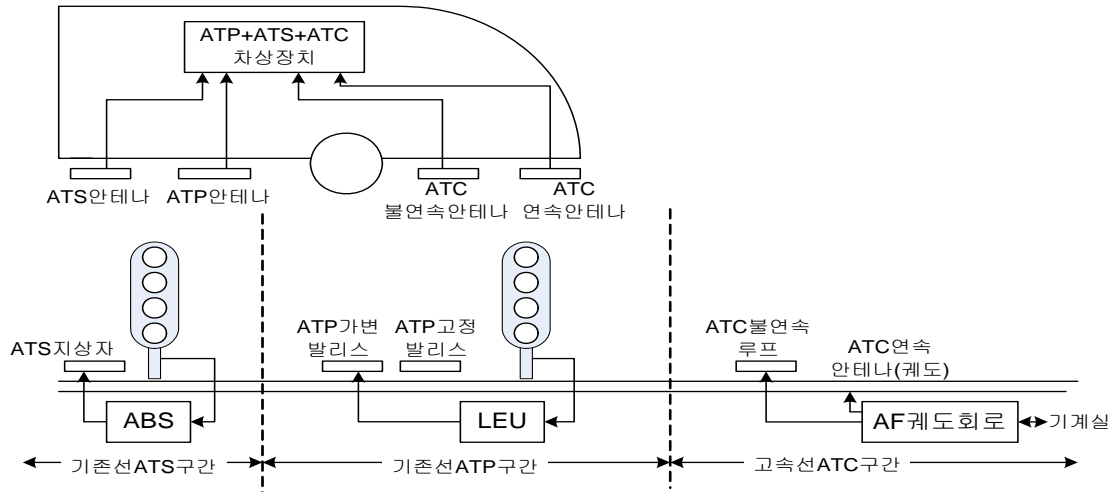
도시명	노선구분	주요신호설비 : 제작사	특 징
서울	1, 2호선	ATS : 일본 경삼, 대동신호	-고정폐색 방식에 의한 열차간격제어 구현시스템
	3, 4호선	ATC : 미국 US&S	
	5, 7, 8호선	ATC/ATO 미국 US&S	
	6호선	ATC/ATO : 미국 Alstom	
수도권	안산선	ATS : 일본 경삼, 대동신호	-궤도회로 기반 신호시스템
	과천/분당/일산선	ATC : 미국 US&S(일부국산)	
부산	1호선	ATC/ATO : 일본신호	-이동성, 안전성 (2세대 신호기술)
	2호선	ATP/ATO : 스웨덴 Adtranz	
	3호선	ATP/ATO : ROTEM	
대구	1호선	ATP/ATO : 미국 Alstom	-제작사별 신호설비의 구성과 성능이 다름
	2호선	ATP/ATO : 미국 Alstom	
인천	1호선	ATP/ATO : 독일 Siemens	
광주	1호선	ATP/ATO : 일본교산(일부국산)	
대전	1호선	ATP/ATO : 독일 Siemens	

2.3 국내 신호시스템 개발 현황

2.3.1 간선철도 신호시스템

기존 간선철도 및 고속철도구간의 신호체계는 ATS, ATC(TVM430), ATP(ERTMS/ETCS 레벨 1)가 설치 및 운영되고 있다. ATS는 과거 기존선의 거의 모든 구간에 설치되어 있으며 최근 ATP로 개량사업이 추진되고 있으며, ATC는 현재 광명-동대구 구간의 고속선 1단계 신호방식이며, 동대구-부산구간 2단계에도 동일한 열차제어시스템이 설치될 계획이다.

따라서, 간선철도의 지상신호장치는 인프라 측면에서 변경이 불가능하며, 또한 지속적인 연구를 통하여 개발이 완료되어 시험중인 상태에 있다. 그러나 차상신호방식은 각 지상신호방식별로 개발되어 현재 운영중인 ATS구간, ATC구간 및 ATP구간을 모두 커버 할 수 있는 시스템의 개발이 2007년부터 차세대 고속철도기술개발사업으로 시작되었다. ATP, ATC, ATS구간을 모두 운행하기 위한 차세대고속열차 열차제어시스템의 개념은 그림1과 같이 구성되어야 한다.



[Note] ABS(Automatic Block System): 자동폐색장치, LEU(Line-side Electronic Unit) : 선로변전자모듈
 그림1. 간선철도 신호시스템 구성안

2.3.2 도시철도 신호시스템

도시철도용 신호시스템은 거의 대부분 외국에서 도입되어 국산화 기술개발에는 어려움이 있었으나 궤도회로를 이용한 아날로그방식의 ATC는 도시철도표준화사업에서 이미 개발을 완료하여 적용·운영되고 있다.

그러나 1990년대 후반부터 새로운 방식인 무선통신을 기반으로 하는 열차제어시스템의 연구가 급속하게 진행되어 국내에서도 경량전철시스템기술개발사업, 지능형열차제어시스템 시범구축사업에 무선통신 기반의 열차제어시스템을 적용하였다. 이러한 사업에서는 대부분 시스템엔지니어링 기술에 집중하여 연구함으로써 열차위치추적기술, 열차간격제어기술 및 열차진로제어기술과 같은 열차의 안전한 운영을 실현하는 vital기술 분야에 있어서는 기술개발 및 원천기술 확보에는 부족한 것으로 분석되었다.

따라서 한국철도기술연구원에서는 기존에 수행된 열차제어시스템 연구개발의 문제점을 분석한 결과를 토대로 안전성활동을 중심으로 한 열차제어시스템 핵심요소기술개발을 2006년도부터 시작하였다. 2006년에는 열차제어시스템 핵심요소기술 개발 방안 및 체계 구성, 개발될 시스템의 타당성 및 경제성 조사를 실시하였고, 2007년도에는 14개 철도신호관련기업과 협동으로 열차제어시스템개발사양을 작성하였다. 2008년도에는 그 동안의 연구개발성과를 바탕으로 열차제어시스템 설계와 본 설계내용에 대한 안전성평가를 계속적으로 추진함과 동시에, 개발시스템의 검증에 필요한 인프라를 확보하기 위한 작업을 수행할 예정이다.

3. 결론

본 논문에서는 기술발전에 따른 철도신호시스템의 여러 형태를 검토하였다. 신호시스템은 열차의 운행의 안전성과 효율성을 최종적으로 책임지는 핵심부분이다. 그러나 이러한 핵심장치인 신호시스템이 외국의 장치나 기술에 의존하여 사용되고 있는 것이 현실이다. 따라서 신호시스템을 국산화하기 위해서는 첫째 현재의 추세와 향후의 발전방향을 직시하여 이를 바탕으로 연구개발이 추진되어야 한다. 간선철도의 신호시스템은 기존의 여러 형태 인프라가 설치된 상태에서 이를 하나의 차상장치가 통합하여 수행하는 현 추세에 따라 현재 진행되고 있는 통합형 차상장치의 개발이 완성되면 간선철도의 차상신호장치는 완성될 것이다. 그러나 지상신호장치에 대해서는 연구가 진행되고 있지 않아 이 분야에 대해서도

연구가 시급하게 진행되어야 할 것이다. 두 번째는 도시열차 신호시스템으로 무선통신을 기반으로 하는 CBTC의 국산화 개발이 수행되어야 한다. 기존의 국가연구개발사업에서 수행된 결과를 바탕으로 관련기관의 협조하에 그림 2와 같이 추진되어야 하며, 여기에 덧붙여 신호시스템의 실용화를 위해서는 개발시스템의 검증을 위한 시험 인프라가 반드시 확보되어야 한다. 특히 미래의 열차제어시스템은 무선통신이 기반이 되므로 국내의 발달된 무선통신기술을 활용한다면 미래의 열차제어시스템을 선도할 수 있는 철도선진국가로 부상할 수 있을 것으로 예상된다.

이를 위해서는 한국철도기술연구원과 철도신호관련기업은 물론 정부기관, 철도건설·운영기관의 협조하에 무선에 의한 열차제어시스템의 시험 및 시운전을 위한 검증 인프라의 구축이 수반되어야 한다.

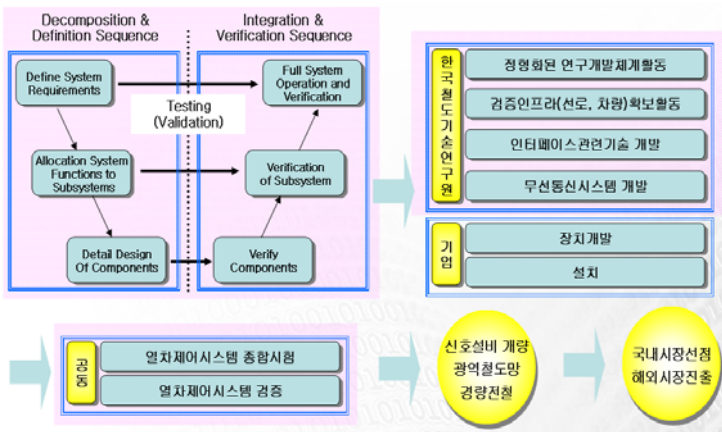


그림2. 열차제어시스템 핵심요소기술개발 개념

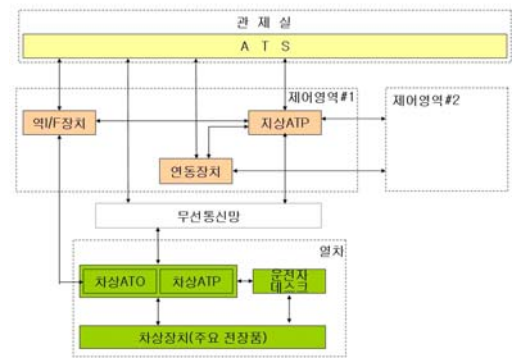


그림3. 열차제어시스템 구성도

참고문헌

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의 列車制御 Systemと今後の動向, 日立評論, Vol.87, No.9
9. Gregor Theeg/Bela Viincze(2007), European train protection systems compared, SIGNAL+ DRAHT(99) 7+ 8