차상 신호시스템 국산화 개발 및 적용
The localization development and application of onboard signaling system

김경식[1], 강덕원[2], 이종성[3], 박종천[4]
Kim, Kyoung-Shik Kang, Duk-Won Lee, Jong-Seong Park, chong chon

---

ABSTRACT

This on-board signaling system has been designed with a priority on safety. The system has been devised for both safety, and also the efficiency of train operation. The Importance of signaling system is gradually being recognized with the continuous rise of operating speed and transporting density. Until now, the adaptation of signaling system was totally dependent on foreign signaling companies, as it was difficult to be accessed by domestic technology. But, successful commercial operation of the ATC/ATO system, which is adopted in the development of Kwangju Line No.1 , heralds the use of domestic technology, which will be the basis of all future domestic signaling systems.

---

1. 서 론

철도차량의 신호시스템은 승객의 안전 및 열차운행 시격 단축 등의 중요한 부분을 차지하고 있다. 이런 점에서 차상 신호시스템(ATC/ATO)은 신뢰성과 안전성을 가진 수준 높은 시스템이 요구되고 있다. 현재까지 국내에 적용된 차상 신호시스템은 모두 해외 철도차량 신호업체에 전적으로 의존하였으며, 국내 기술로의 접근이 어려운 실정이었다.

본 논문에서는 국내 기술로 개발, 적용된 광주도시철도1호선 전동차의 ATC/ATO 시스템의 개발과 각종 시험 및 본선 시운전을 통한 적용 현황에 대해 기술하고자 한다.

2. 국내 적용 신호 시스템 및 국산화 개발 현황

2.1 신호 시스템의 국내 적용 현황

신호 시스템은 폐색방식에 따라 ATS, ATC/ATO, Semi Moving Block, Moving Block System등으로 나눌 수 있다.

- ATS(Automatic Train Stop, 점제어 방식) : 지상에 설치된 지상자를 통한 점제어 방식
- ATC/ATO(Automatic Train Control/Automatic Train Operation) : 고정된 폐색의 지정된 속도코

1) (주)로템 전장품개발팀 주임연구원, 비회원
2) (주)로템 전장품개발팀 선임연구원, 비회원
3) (주)로템 전장품개발팀 선임연구원, 정회원
4) (주)로템 전장품개발팀 책임연구원, 비회원

드에 따라 연속적으로 열차가 제어되는 방식
- Semi Moving Block : 열차가 지상설비로부터 정지목표지점, 고정폐색 위치, 선로변 정보, 선행열차 정보들을 입수하여 열차내 연산을 통해 스스로 계산하여 제어하는 방식
- Moving Block : 선행 열차가 운행하고 있는 자신의 위치를 지상설비를 통하여 후속열차에 전달하고, 후속열차는 이 정보를 바탕으로 정지위치를 계산하여 제어하는 방식

<표 1. 국내 신호시스템 적용 현황>

폐색방식 (Block System)	운 전 방 식	운전시격 (Headway)	적용노선	공급회사
점제어 자동폐색방식 (ATS 방식)	-.역간을 거리단위 궤도회로를 분할 폐색구간을 설정, -.역간에 1개이상 열차운행	3분	서울지하철 1,2호선	교산 일본신호
연속제어 자동폐색방식 (ATC 방식)	-.역간을 시간개념 궤도회로를 분할 폐색구간을 설정, -.역간에 1개이상 열차운행 -.Speed code ATC	2-3분	서울도시철도 5,6,7,8호선 부산 1호선 광주 1호선	US&S ALSTOM(GRS) 일본신호 ROTEM/교산
차내 연산 폐색방식 (Semi Moving Block System)	-.선행열차 위치 및 선로상태를 파악하여 열차 스스로 자기의 속도 및 제동거리를 계산하여 운전하는 방식으로 고밀도 운행 -.Distance to Go ATC	2분이내	부산2호선 인천1호선	ADtranz Siemens
이동 폐색방식 (Moving Block System)	-.고도의 정밀한 정보 관리체제로 고밀도 열차운행	90초이내	중량전철의 적용실적 없음	

2.2 국산화 개발 현황

차상 신호 장치의 국산화 개발은 1996년 On Board Type ATO 개발로부터 시작 되었으며, 현재 무인운전이 가능한 고정폐색 방식의 ATC/ATO가 개발되어 상용화 되었다. 또한 Distance to go ATC(Semi Moving block)가 개발되어 2005년 부산 3호선에 적용될 예정이며, 비접촉 방식의 자기부상열차에 적용될 ATC/ATO가 개발중에 있다.

3. 실용화 모델의 시스템 구성 및 기능(광주도시철도1호선)

광주도시철도1호선에 적용된 차상 신호시스템은 고정폐색 방식 ATC와 자동/무인운전이 가능하도록 설계된 ATO/TWC로 구성되어 있다. ATC는 이중계로 구성되어 있으며, 독립된 Sub Rack에 장착된다. ATO/TWC는 하나의 Sub Rack에 장착되어 있으나, 전원적으로 분리되어 있다. 또한 운전자 인터페이스를 위한 ADU(Aspect Display Unit), 속도검지를 위한 Tachometer(DF-16), ATC/ATO/TWC 각각의 안테나로 지상신호장치와의 인터페이스를 수행한다.

차상 ATC/ATO는 연속 열차제어를 수행하기 위해 32bit Micro-processor CPU를 탑재하고 있으며, ATC는 ATO/TWC 서로 간의 인터페이스 및 ADU/열차종합제어장치(TCMS)와의 인터페이스를 위한 통신보드(RS-485, 4-channel)와 출입문 상태정보, 운전대 정보등의 입력을 위한 Vital Input보드, 출입문제어 명령과 비상제동 체결등을 담당하는 Vital Output보드, 지상 ATC로부터 수신되는 2850㎐, 3450㎐, 5250㎐의 반송파주파수를 Decoding하는 DEC보드로 구성되어 있다.

ATO는 자동/무인 운전 수행 및 정위치정차 기능을 수행하기 위해 32bit Micro-processor를 탑재

한 CPU보드와 절대거리 보정을 위한 지상 Marker 검지용 MARK보드, ATC1,2, TWC, TCMS와의 인터페이스를 위한 통신보드로 구성되어 있다.

TWC는 CPU보드, RS-485통신보드와 FSK 방식의 지상/차상 TWC 통신을 위한 FSK보드, 출발전 시험 및 이동식 시험기의 시험을 위한 TEST보드로 구성되어 있다.

<그림 1. 광주도시철도1호선 차상 ATC/ATO>

ATC/ATO/TWC장치의 기능은 다음과 같다.

<표 2. ATC/ATO/TWC의 기능>

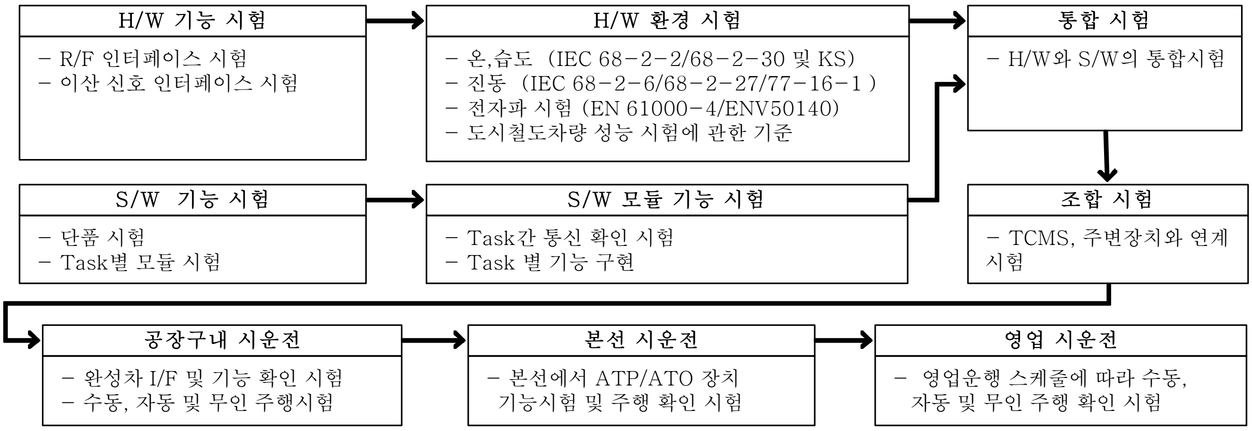
ATC기능	ATO기능	TWC기능
- 속도코드 수신 및 해석 - 과속 검출 및 보호 - 안전감속 체결 확인 - 자동절체 개념의 이중계 ATC - 전동방지	- Track Data Base를 이용한 열차 자동/무인운전 - 정속도제어 - 정위치정차 수행(±30cm)	- Key up/down을 이용한 무인회차기능 - 역번호를 이용한 출입문 안전 제어기능 - PSD Interface

4. 시스템 성능 검증 및 시험

광주도시철도1호선에 적용된 ATC/ATO는 온/습도, 진동, 전자파시험등의 환경시험을 도시철도차량 성능시험 기준에 의거하여 실시하였으며, 각 구성품에 대한 구성품시험, TCMS 장치와의 조합시험을 통해 현차 취부전 하드웨어/소프트웨어에 대해 안전성/신뢰성을 확인하였다. 또한 공장구내 시험, 본선 시운전 및 영업시운전을 통해 안정적 시스템 동작 및 수동/자동/무인 운전 시스템 동작을 확인하였다. 특히 영업시운전 기간을 통해 TTC 스케쥴에 의한 무인 운전을 실시하여 무인운전의 실제 적용 가능여부를 확인하였다.

또한, 시스템 검증 및 시험을 위해 현차 시험 이전 단계에서는 Simulator(고정식, 이동식 시험기)를 이용하여 시스템의 하드웨어, 소프트웨어에 대한 기능에 대해 검증하였다. Simulator는 ATC/ATO/TWC의 하드웨어적인 입력과 각각의 지상 송신 주파수 생성, Simulation 결과에 대한 현시부분과 자동/무인 운전에 대한 기능적인 동작여부, 지상/차상 간의 통신 상태, 출입문 제어 로직 확

인 등의 시험을 실시하였다.

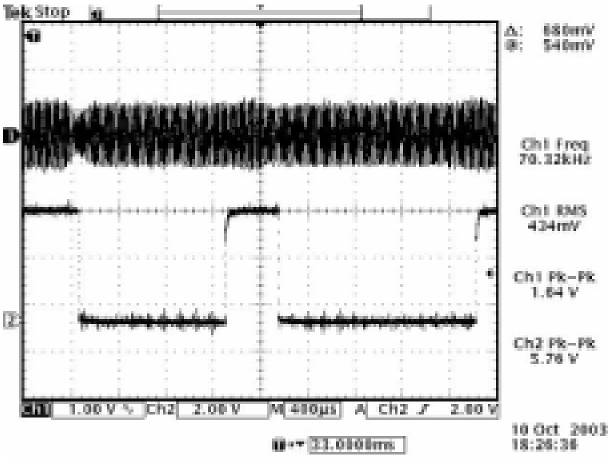


<그림 2. 시스템 검증 및 시험 절차>

4.1 지상/차상 통신확인 시험

TWC FSK의 차상 수신에 대해 아래의 3가지 항목에 대한 검증시험을 실시하였다.

- 지상 Loop 최소 전류시 차상 TWC 동작여부



<그림 3. Loop 최소전류시 TWC 동작파형>

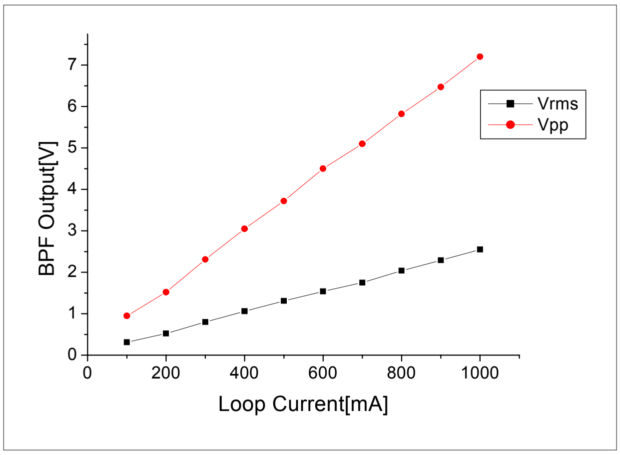
- Channel1(BPF output), Channel2(Data)
- 측정값 :1.64Vpp, 434mVrms
- 결과 : Data 손실 없이 정상적인 통신함

- 신호대 잡음비(S/N ratio) 확보

<그림 4. 신호비 측정>

- 측정장비 : Spectrum Analyzer(Agilent 8560E)
- 신호 Level : 56dBmV
- 잡음 Level : 20dBmV이하
- S/N ratio : 30dB이상 확보(13dB이상 양호)

- 입력 신호의 Dynamic Range에 대한 Linearity



<그림 5. 입력 범위 측정>

<표 3. Linearity 시험 결과>

Loop Current[mA]	dBmV(×10)	Vrms[V]	Vpp[V]
100	27.8	0.312	0.95
200	32.85	0.524	1.52
300	36.21	0.8	2.31
400	38.84	1.06	3.05
500	40.69	1.31	3.72
600	42.2	1.54	4.5
700	43.33	1.75	5.1
800	44.68	2.04	5.82
900	45.51	2.29	6.47
1000	46.34	2.55	7.2

4.2 정위치 정차 시험

열차의 자동운전은 정해진 제한 속도 내에서 ATO가 내장하고 있는 Track Data Base에 의해 수행되어 진다. 광주도시철도1호선 1단계 구간은 최대구배 35‰, 최소역간길이 547m, 최대역간길이 1882m이며, 정위치정차 오차 범위는 ±30cm 이다. 차량의 특성은 가속도 3.0km/h/s, 감속도 3.5km/h/s, 감속도 오차범위 ±15%이다. ATO는 본선 선로 조건과 차량 특성들을 고려하여 역간 자동운전을 실시한다.

광주1호선 1단계 구간의 정위치정차시험은 기술시운전, 영업시운전을 통해 확인되었으며, 전편성의 정위치 정차율의 평균값을 관리하였다.

또한 정위치 정차는 차상ATO 뿐만 아니라 선로 조건의 정확한 Data, 추진/제동 System의 영향에 의해 크게 좌우된다. 시험 과정에서 설계시 적용된 Factor의 대한 실제 적용 값 확인이 이루어 졌으며, 특히 ±30cm 이내의 정차를 위한 과정 중 회생 및 공기제동의 오차관리가 중요한 변수로 작용하였다.

<도표 3. 정위치 정차 시험 개선 및 결과>

적용일자	개선방법	평균정위치 정차율	비고
2004.01.14	회생 제동 적용에 따른 감속도 Factor 조정 및 정위치 정차 Tuning	65%	편성별 편차가 있음
2004.02.07	Linear Profile 지점에서 구배 적용 보완에 따른 제동력 제어 개선	82%	
2004.02.19	인버터 회생 제동 Fade Out 시점 변경, 회생→공기제동 전환시점 조정	94%	
2004.02.23	Linear Profile 지점에서 제동값 Fine Tuning	96%	
2004.03.18	정위치 정차 시 승차감 향상을 위한 제동력 제어 보완	99%	

4.3 무인운전 시험

본선 전구간에 대해 영업시운전 기간을 통해 열차의 무인운전 시험을 실시하였으며, 이를 통하여 차량과 신호/TTC, 통신, 변전, 전차선 및 PSD(Platform Screen Door)와의 종합적인 인터페이스를 확인하였다.

무인운전 및 무인회차 시험의 확인 결과는 다음과 같다.

- 시험 일시 : 2004년 4월 23일 오전10~ 12시(2시간)
- 시험 구간 : 광주도시철도1호선 1단계 구간(소태~상무역, 13개역사)
- 운전 모드 : 무인 운전 모드
- 운전 형태 : 영업시운전 기간의 TTC 자동모드(정상 Dia.에 의한 운행)
- 시험 편성 : 106, 108, 109, 110, 112, 113편성(총 6개편성)

5. 결 론

앞으로의 철도차량은 단순히 수송수단의 차원이 아닌 대도시의 승객증가에 따른 시격단축과 승객의 안전이 중요시 되고 있다. 신호시스템에 대한 중요성이 부각되고 있으며, 이러한 점에서 차상 신호시스템의 국산화는 앞으로의 국내 철도차량 기술 발전에 큰 역할을 할 것이다.

광주1호선에 적용된 ATC/ATO 시스템은 현재 운행되고 있는 서울시 5,6,7,8호선, 대구1호선 등의 차상시스템과 완벽한 호환성을 가지고 있을 뿐 아니라, 기존 전동차의 ATS, ATC시스템에 대한 적용 및 신설 노선의 적용되고 있는 Distance to go 방식의 ATC/ATO 기술의 기반이 될 것이다.

또한, 국내 처음으로 PSD(Platform Screen Door)와의 안정적인 인터페이스 및 99%이상의 정위치 정차율, 영업시운전을 통한 완벽한 무인운전 시스템의 구현 등은 국내 철도차량 기술의 큰 성과라고 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 한국철도차량(1999), "고유모델 ATC/ATO/TWC System Description"
2. (주)로템(2002), "광주도시철도 1호선 ATC/ATO/TWC System Description"
3. 강리택 외(2000), "차상 ATC/ATO/TWC 시스템의 열차 자동운전 구현의 현차 시험 결과고찰", 한국철도학회 2000년도 추계학술대회.
4. 강리택 외(1998), "ATO장치의 자동열차 속도 조절 알고리즘에 관한 연구", 한국철도학회 1998년도 추계학술대회.
5. 김경식 외(2003), ATC장치에 의한 자동운전 및 고장 추적에관한 연구", 한국철도학회 2003년도 춘계학술대회.
6. (주)로템(2003), "광주도시철도 1호선 합동계약 수행보고서"
7. 윤용기 외(2000), "무인자동운전을 위한 신호제어시스템 개발", 한국철도학회 2000년도 춘계학술대회.