

## 서울도시철도 3,4호선 ATC 국산화 개발품 현차 성능시험 연구

## A study on the Seoul Subway line 3,4 rolling stock ATC onboard signaling equipment localization developed product performance test

서경수\*<sup>†</sup>, 김영규\*, 장태순\*\*, 신용원\*\*\*Kyoung-soo Seo\*<sup>†</sup>, Young-gyu Kim\*, Tae-soon Jang\*\*, Yong-won Shin\*\*\*

**초 록** ATC 차상신호장치는 차량의 운행중 추돌 및 과속을 방지하기 위한 중요한 장치로 그 동작 및 운영에 있어 높은 신뢰성이 요구된다. 본 논문에서는 서울교통공사 3,4호선에서 사용하고 있는 ATC 차상신호장치 국산화 개발품인 카드파일어셈블리(CFA) 및 전원공급장치의 개발 내용과 차량 시험, 시운전 및 본선운행 등 개발 결과물의 성능을 평가하기 위한 시운전 및 현차시험을 실시하고 그 내용 및 결과를 제시하였다.

**주요어** : 도시철도차량, 차상신호장치, ATC, 성능평가, 현차시험

## 1. 서 론

서울도시철도 3,4호선에서 사용하는 열차보호장치인 ATC(Automatic Train Control) 차상신호장치는 지상에서 송출된 속도코드를 수신하여 운전실 내 ADU(Asspect Display Unit)에 현시하여 열차를 운전하는 승무원으로 하여금 지시속도 이하로 운행하게 하여 열차의 속도초과 및 추돌을 방지하기 위한 보호 장치이다.

3,4호선 ATC 차상신호장치는 장기사용에 따른 고장 발생과 물품 단종에 따른 수급 곤란으로 운영에 어려움이 발생하고 있어 차상신호장치의 핵심부품인 전원공급장치와 카드파일어셈블리(CFA: Card File Assembly)유니트를 국산화 개발하게 되었으며 현재 개발이 완료되고 현차 성능시험이 진행되고 있다.

본 논문에서는 서울교통공사 3,4호선에서 사용하고 있는 ATC 차상신호장치 국산화 개발품인 전원공급장치 및 CFA의 개발 내용과

차량시험, 시운전, 본선운행 등 개발 결과물의 성능을 평가하기 위한 시험 및 분석 내용을 제시하여 도시철도차량 부품의 국산화 개발 및 현차시험을 통한 성능평가에 시사점을 주고자 한다.

## 2. 본 론

## 2.1 ATC 시스템 및 차상신호장치 개요

ATC 시스템은 속도코드방식(speed code method)의 보호 시스템으로 중앙지상설비인 CTC(Centralized Traffic Control)가 선행열차의 점유 상태 및 속도를 파악하여 안전하게 운행할 수 있도록 사전에 설정된 속도코드를 궤도회로(AF Track Circuit)를 통해 후행 열차에 전송하는 방법으로 열차의 안전운행을 지원한다. 차량에 설치된 차상신호장치는 안테나를 통해 열차운행 제한속도 지령(속도코드)을 수신하여 차내 ADU에 현시하며 지시된 제한속도와 실제 차량 운행속도를 연속적으로 비교하여 승무원이 안전속도를 유지하며 운행하도록 하는 신호시스템이다.

ATC는 기존의 ATS(Automatic Train Stop)보다 한 단계 진보된 방식으로 기존 ATS의 경우 지상에 고정된 지상자와 신호등에서 승

† 교신저자: 서울교통공사 도시철도연구원  
(lifetide@seoulmetro.co.kr)

\* 서울교통공사 도시철도연구원

\*\* 서울교통공사 지축차량사업소

\*\*\* 서울교통공사 창동차량사업소

무원의 육안에 의해 정보를 수신하기 때문에 수신정보 대응이 늦어지고 신호등이 잘 보이지 않는 경우가 발생한다. 특히 고속주행 시 신호등 표시를 인지하기 힘들기 때문에 이를 보완하기 위해 제한속도를 열차의 속도계에 현시하게 하여 신호를 볼 수 없는 문제를 해결한 시스템이다. ATC 시스템은 특히 궤도회로로 정보를 수신하여 응답이 빠르고, 폐색구간의 세밀화가 가능하여 보다 다양하고 세밀한 속도코드를 가질 수 있다. ATC 시스템은 Yard(25), 15, 40, 60, 70, 80, Yard Cancel 등의 코드를 가지고 차량의 속도를 제한하고 과속이 감지되면 자동적으로 제동이 체결되게 하여 안전한 수준까지 속도를 줄여주게 된다.

ATC 시스템에서 만일 승무원이 ADU에 지시된 제한속도를 3km/h이상 초과(OV: Over Velocity)하게 되면 경고 발생과 함께 즉시 상용제동 최대 제동(Service Brake 6 Step)을 지령하여 제동이 체결되도록 하며 상용제동 체결 후 3.25 Sec 안에 차량의 감속도가 2.4km/h/s 이상이 되면 상용제동이 계속 작동되고 감속도가 그 이하이면 비상제동(Emergency Brake)을 지령하여 차량을 정지하도록 한다. Fig. 1은 ATC 차상신호 시스템의 속도초과 시 제동 알고리즘을 보여준다.

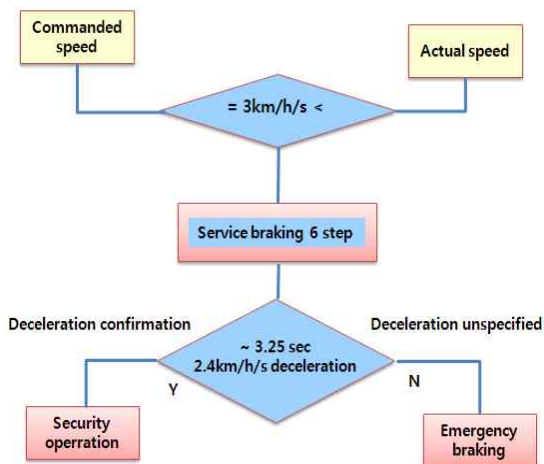


Fig. 1 Brake Algorithm for Over Velocity of Train

ATC 차상신호장치는 핵심 제어장치인 차상신호장치(ATC Unit, CFA), 승무원에게 현재

속도와 지상장비에서 전송된 속도코드에 따른 지시속도를 비교하여 표시 하는 ADU(Aspect Display Unit), 속도코드를 수신하는 안테나(Pick-up Coil), 차량의 속도를 측정하기 위한 Speed Sensor(Axle Generator)로 구성되어 있다. Fig. 2는 ATC 차상신호장치 시스템의 기기 구성을 보여준다.

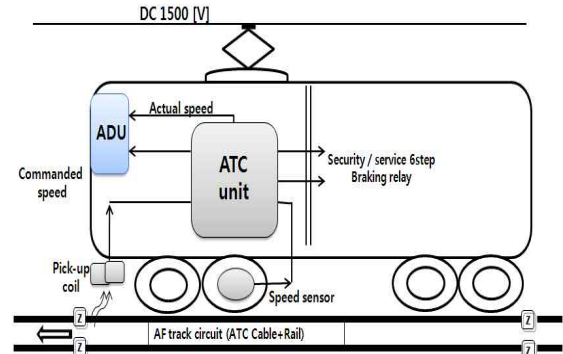


Fig. 2 Device Configuration of ATC Onboard Equipment for Train

ATC 차상신호장치는 TC차의 운전실 내에 설치되어 있으며 핵심장치는 CFA(Card File Assembly)로 CFA는 수신된 속도코드에 따라 비교연산 및 제어를 수행하고 열차의 제어 및 제동 시스템과 인터페이스 되며 15장의 PCB 카드로 구성되어 있다. 또한 차상신호장치는 각종 계전기(Vital Relay), 감속도계(Decelerometer), 전원공급장치(Power Supply Unit)를 포함하고 있다. CFA는 열차의 움직임을 감시하고 ADU에 수신 속도코드와 현재 속도를 현시 및 비교 연산하며 만일 차량이 지시속도를 초과할 시 경고 발생 및 제동지령을 출력하는 역할을 한다. Fig. 3은 ATC 차상신호장치 CFA의 블록도를 보여준다.

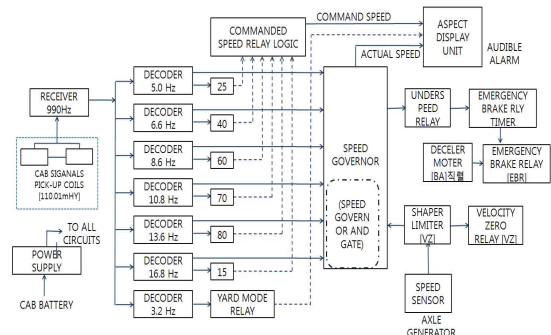


Fig. 3 Function Block Diagram for CFA

전원공급장치는 차량의 Battery 전원 DC 100V를 입력받아 DC 32V를 출력하여 ATC 차상신호장치를 구동하기 위한 장치다. Fig. 4은 ATC 차상신호장치내에 설치된 CFA 및 전원공급장치를 보여준다.



Fig. 4 CFA and Power Supply for ATC Onboard Signal Equipment

## 2.2 CFA 국산화 개발

ATC 차상신호장치 CFA 국산화 개발품의 특징은 다음과 같다.

- 1) 아날로그 연산 + 디지털 제어 및 Micro Controller 제어 방식의 하이브리드 구성.
- 2) 기존 15개 PCB 모듈 + Relay 10개 구성을 PCB 15장(2중계)으로 통합하여 시스템 구성을 간소화.
- 3) 기존의 단일 시스템에서 2중계(1,2계) 방식으로 구성하여 고장발생 시 Fail Safe 가능.
- 4) 시스템 동작 상태의 모니터링 기능을 구현하여 동작 상황을 실시간으로 확인 가능.
- 5) 차상신호장치의 운영 데이터를 저장할 수 있도록 하여 이상 상황이나 고장 발생 시 원인추적 및 분석이 용이하도록 하였음.

Fig. 5 및 6는 2중계 구성의 CFA 및 전원공급장치 개발품이 적용된 ATC 차상신호 시스템의 기기 구성 블록도 및 개발된 CFA 및 전원공급장치가 장착된 ATC 차상신호장치를 보

여준다.

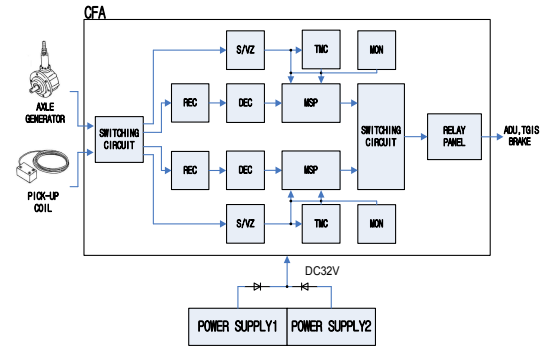


Fig. 5 Block Diagram of CFA & Power Supply



Fig. 6 ATC Onboard Signal Equipment with Developed CFA & Power Supply

CFA 개발에서 각 PCB는 기본적으로 Fig. 3에서 보여주는 기존 CFA 모듈의 각 PCB 기능을 그대로 구현해서 개발 하였다. 이는 원 개발시의 시스템 특성 및 구성 개념을 그대로 유지하여 설계의 적합성 및 신뢰성을 유지하기 위함이다.

그러나 본 CFA 국산화 개발에서는 만일의 고장에 대비하기 위하여 기존의 단일 시스템을 2중계(2 System) 시스템으로 설계 개선하여 구성하였다. 즉, 두 개의 동일한 CFA가 병렬로 구성되어 현재 동작하고 있는 CFA에 고장이 발생하면 예비 CFA로 전체시킬 수 있도록 하여 Fail Safe가 가능하게 한 것이다.

CFA를 구성하는 각 PCB중 주요 PCB중 하나인 Receiver PCB는 지상에서 송신하는 990Hz의 AM 변조신호를 수신하여 ATC 속도 기준치 펄스를 출력하는 PCB이다. Receiver PCB의 출력은 각 Decoder PCB에 입력되지만 해당 주파수와 동조되는 Decoder PCB만이 계전기

구동 출력과 Speed Governor로 신호를 출력하게 된다. Fig. 7은 Receiver PCB의 회로 설계를 보여준다.

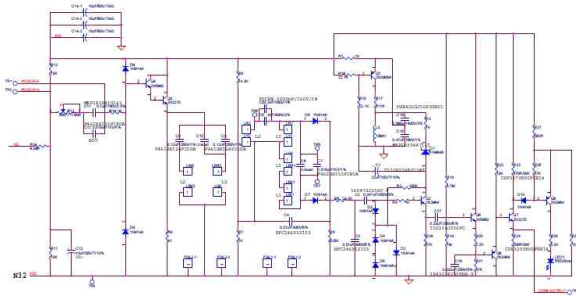


Fig. 7 Receiver PCB Circuit Design

### 2.3 전원공급장치 국산화 개발

ATC 차상신호장치에 전원을 공급하는 전원 공급장치는 차량의 DC 100V 배터리 전원을 입력받아 DC 32V를 공급하는 장치로 높은 신뢰성이 요구된다. 따라서 CFA 설계와 동일하게 2중계로 구성하여 전원공급장치 고장 발생 시 Fail-Safe가 가능하도록 하였다. Fig. 8은 전원공급장치의 블록도를 보여준다.

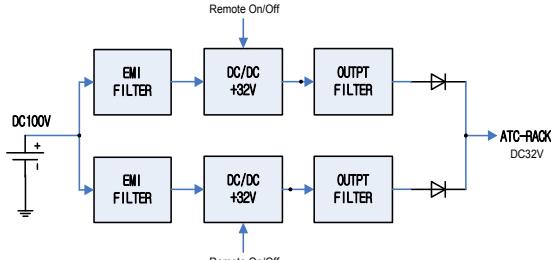


Fig. 8 Block Diagram for ATC Onboard Equipment Power Supply

전원공급장치는 EMI Filter와 출력 Filter를 사용하여 외부에서 유입 되는 노이즈와 전원부에서 발생하는 노이즈를 제거 하도록 하였으며 또한 EMI 방사량을 줄일 수 있도록 개발 하였다.

### 2.4 Monitoring 기능

Monitor 기능은 CFA에서 처리되고 있는 신호의 흐름과 전원공급장치 출력 상태를 감지 하며 만일 장치에 이상이 발생 시 그 상태를 표시하고 10ms 간격으로 이상 발생 시점 전후 5 Sec의 상태를 저장한다. 저장된 데이터

는 Laptop PC를 이용해 Download 할 수 있어 분석 프로그램을 통해 이상 내용을 분석할 수 있으며 또한 실시간 모니터링 포트를 두어 운행 중에 CFA의 동작상태를 실시간으로 확인할 수 있도록 하였다.

Fig. 9 및 10은 각각 실시간 Monitoring 화면과 분석용 소프트웨어를 보여준다.

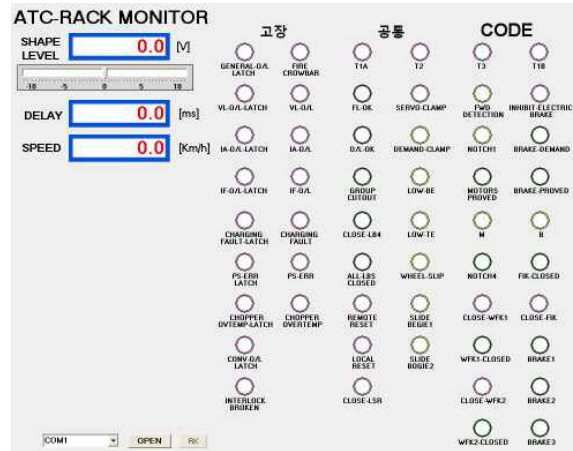


Fig. 9 Real Time Operation Monitoring

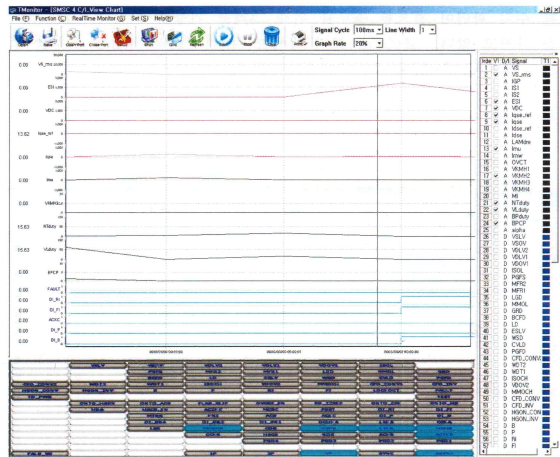


Fig. 10 ATC Operation Data Analyze SW

### 2.5 개발품 성능시험

ATC 차상신호장치 CFA 및 전원공급장치 개발품은 기능, 성능 및 안정성을 충분히 확인하기 위하여 다음과 같은 시험을 수행하였으며 현재 본선운행 성능시험을 진행하고 있다. 본선운행을 통한 성능시험은 6개월 이상으로 계획되었다.

- 1) 공인기관시험 : 속도신호 수신기능, 지령 속도 검지 및 ADU 현시, Yard Cancel

지시, 제로탐지, 과속탐지 및 제동보장, Yard 모드 환원, TGIS 인터페이스, 실시간 모니터링, 동작 상태 기록 등 공인기관 성능시험을 시행하여 최종 개발품이 개발목표와 일치되게 개발되었는지를 시험함.

- 2) 내환경시험 : 온도, 진동, 전자파 등에 적합한 내환경성을 가지고 있는지 시험함.
- 3) 완성검사 및 차량시험 : 최종 개발품을 차량에 장착하여 차량의 각종 제어 시스템과의 인터페이스 및 PDT 시험을 시행하여 개발품의 기능이 차량에서 정상적으로 발현 되는지를 시험함.
- 4) 구내시운전 : 개발품 차량적용 후 차량 기지 시험선 주행상태에서 정상적 신호 수신 및 동작에 이상이 없는지를 시험함.
- 5) 본선시운전 : 개발품이 본선 운행 구간에서 시운전시 속도코드 신호를 정상적으로 수신하고 동작하는지를 확인 하기 위해 본선시운전을 차종별로 시험함.
- 6) 본선운행 성능시험 : 성능시험 차량을 선정하여 6개월 이상 현차 성능시험을 실시하고 주기적으로 운영 데이터를 수집 분석하여 개발품의 안정성을 확인함.

## 2.6 성능시험 결과 분석

ATC 차상신호장치 CFA 및 전원공급장치 개발품의 성능 및 안정성을 파악하기 위해 본선운행 성능시험 결과를 분석하였다.

분석방법은 ATC 차상신호장치 CFA에 저장된 운영데이터를 수집하여 다음의 항목으로 분석하였다.

- 1) Code Rate 수신(Hz)
- 2) 각 Code Rate 수신에 대한 해당 계전기 동작(Feedback Output)
- 3) 지시속도 이하(US : Under Speed) 운행 검지

- 4) 정차 시 제로속도(VZ : Velocity Zero) 검지
- 5) 지시속도 초과(OV : Over Velocity) 검지
- 6) 속도 초과 검지 시 감속도 부족(2.4km/h/s 미만)으로 인한 비상제동 체결 여부
- 7) 전원공급장치 출력(DC+32V) 상태

Fig. 11은 ATC 운영데이터 분석 화면과 각 기록 항목의 동작상태를 보여준다.

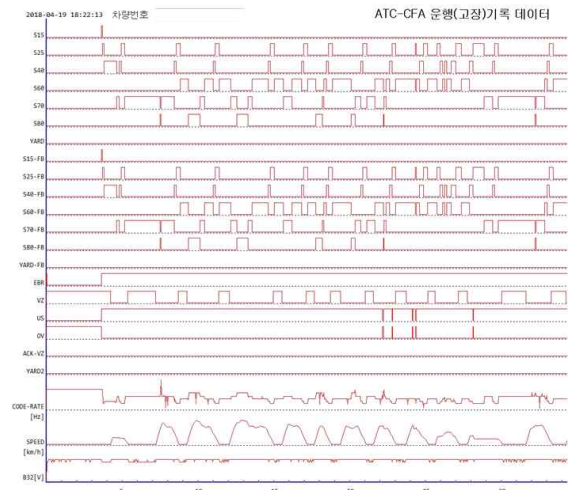


Fig. 11 Operation Data of ATC Onboard Unit

약 4개월간(2018년 4월 ~ 8월)의 운영데이터 각 항목에 대하여 분석한 결과 속도코드(Code Rate)의 정상적 수신 및 그에 따른 반응(Feedback Output)과 각 항목의 비정상적 동작이 없는 것을 확인하여 성능 및 안정성에 이상이 없는 것을 확인하였다. 개발품은 12개월 이상의 충분한 시험을 통해 성능 및 안전성을 지속적으로 확인할 예정이다.

## 3. 결론 및 향후 연구과제

단종 물품의 수급 및 성능개량을 위한 ATC 차상신호장치 CFA 및 전원공급장치의 국산화 개발은 운영차량에 적합한 안정적이고 신뢰성이 높은 차상신호장치를 개발하는 것을 목표로 수행되고 있다.

본 논문에서는 서울교통공사 3,4호선에서 사용하고 있는 ATC 차상신호장치 국산화 개발품 CFA 및 전원공급장치의 개발 내용과 성

능을 평가하기 위한 각종 시험, 시운전 및 현차시험 내용을 제시하였다.

ATC 차상신호장치는 차량의 운행 안정성을 위한 중요 장치로 장기간의 지속적인 운영데이터 분석을 통해 개발품의 성능과, 안정성을 효과적으로 검증해야 한다.

따라서 운영 데이터의 분석항목 설정, 분석방법, 분석주기 등에 대한 보다 면밀한 검토와 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] Lee, Jong - Sung, Kim, Kyung - Sik, & Park, Jae - Seo. (2000). A Study on the Present Test Results of Automatic Train Operation in ATC / ATO / TWC System. Proceedings of the Korean Society of Railway Engineers Conference, 578-585.
- [2] Seoul Metropolitan Subway Coporation. (1991). Seoul Subway Line #3 Rolling Stock Maintenance Instruction Manual. Vol 4
- [3] Seoul Metropolitan Subway Coporation. (1991). Seoul Subway Line #4 Rolling Stock Maintenance Instruction Manual. Vol 4
- [4] Seoul Metropolitan Subway Coporation. (1994). Seoul Subway Line #4 DC VVVF(170R) Rolling Stock Maintenance Instruction Manual. Vol 6
- [5] Seoulmetro. (2010). Seoulmetro Line #3 VVVF (340R) Rolling Stock Maintenance Instruction Manual. Vol 4