

표준전동차용 열차자동운전장치(ATO) H/W 개발

* 이수길, 한성호, 안태기
한국철도기술연구원 도시철도기술개발사업단

Development of Automatic Train Operation System H/W for KOREA Standard EMU

* Su-Gil Lee, Seong-Ho Han, Tae-Ki Ahn
Urban Transit Engineering Department Korea Railroad Research Institute

Abstract - The ATO(Automatic Train Operation System) system is equipment for automatic and driverless operation of electric train with minimum control of operator. In this paper, we made ATO system with national technic and passed type test. We are convinced of reliability and safety of the ATO system on the seoul metro 7 line.

1. 서 론

도시철도차량의 자동열차운전장치(ATO : Automatic Train Operation System)은 운전자의 조작을 최소화하여 전동차를 자동운전 및 무인운전으로 운행하기 위한 장치이다. 최근 도시 밀집 화에 따른 도시 철도 차량의 수요 증가와 운전 시력의 단축화, 철도차량 기술의 진보에 따라 전동차의 자동운전 및 무인운전에 대한 요구가 증가하여 ATO는 도시 철도 차량의 필수적인 요소가 되었다. 그러나 현재 국내 도입되어 운행 중이거나 향후 운행 예정인 노선의 ATO 장치 기술은 모두 외국 업체로부터 도입한 것으로 기술 의존도가 높아 국내 기술의 보유가 절실한 실정이다. 본 연구에서는 표준전동차용 자동열차운전장치를 순수 국내 기술로 제작하여 2000년 5월 30일 현재 7호선 미개통구간(청담↔보라매)에서 본선시운전을 시행하였으며, 자동열차운전에서 신뢰성 및 안정성을 검증하였다.

2. 본 론

2.1 ATO 장치의 시스템 개요

ATO장치는 전동차 내부의 종합제어장치(TCMS : Train Control and Monitoring System)와

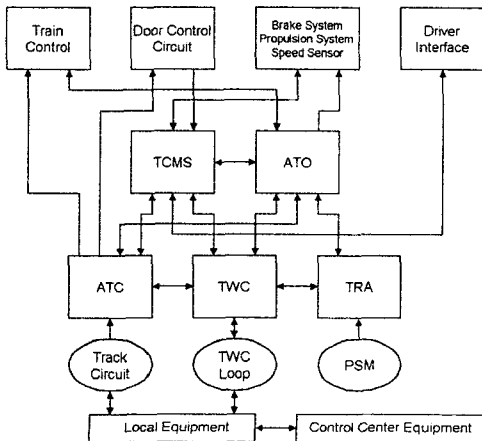


그림 1. 도시철도차량 내부 컴퓨터 시스템 계통도

추진시스템 및 제동 시스템, 자동 열차 제어장치(ATC : Automatic Train Control)등과 상호 인터페이스를 통하여 동작하는 차상 컴퓨터 장치이다. 그림 1은 도시 철도차량 내부 컴퓨터 시스템 계통도를 나타내었다. ATO는 운전자의 수동 조작을 최소화하여 전동차를 자동/무인 운전하기 위한 장치로서 TCMS, ATC, TWC, TRA등의 외부장치와 인터페이스를 통하여 시행된다. 그림 2는 각 장치와의 인터페이스 블록도 이다.

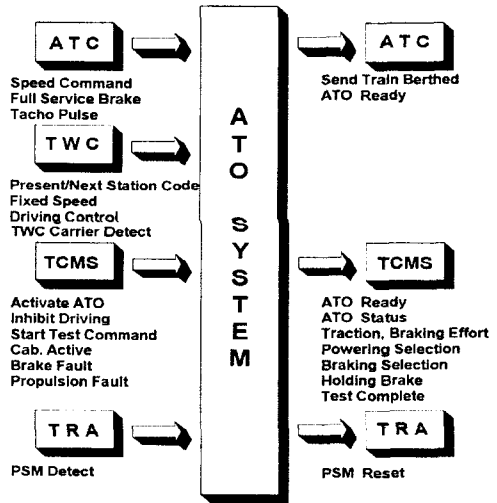


그림 2. ATO 인터페이스 다이어그램

ATO 시스템을 기준으로 ATC로 부터는 속도 코드와, 주행 거리정보, FSB(Full Service Brake)정보등을 받으며, ATO는 ATO Ready 신호와 열차정차정보를 ATC로 전송한다. 그리고 TWC는 현재역 및 다음역 정보, 고정속도, 정상 및 회복모드 정보, TWC 반송파정보를 ATO로 전송한다. TCMS에서는 활성화 ATO, 운전실 활성화정보, 운전금지, ATO 자체검사 시작신호, 제동 및 역행 고장정보를 ATO로 전송한다. ATO는 ATO 준비신호, ATO 상태정보, 제동력 및 역행력, 제동 및 역행지령신호, 정차제동정보 및 ATO 자체검사 완료신호를 TCMS로 전송한다. 그리고 TRA에서는 열차주행 거리 보정신호(PSM)를 ATO로 전송하고, ATO는 열차주행거리 보정신호 확인정보를 TRA에 전송한다.

2.2 CPU 보드의 개발

일반적으로 각종 산업용 시스템에는 시스템을 감시하고 제어하는 제어가 사용된다. 제어기는 각종 센서로부터 받은 시스템 정보를 바탕으로 시스템이 사용자에 의해 입력된 정보에 맞게 동작할 수 있도록 연산을 통해 적절한 제어 신호를 만들어 시스템에 보내주는 역할을

한다. 따라서 제어기는 센서로부터 정보를 받아들이고 제어 신호를 시스템에 보내주는 부분과 제어신호를 계산하기 위해 연산을 수행하는 부분으로 나눌 수 있는데, 이 중 연산을 수행하는 부분을 CPU 보드가 담당한다. 연산 기능은 제어기의 성능을 좌우하는 중추적 기능이므로 CPU 보드는 제어기에 있어 핵심적 역할을 수행한다고 할 수 있다. 본 연구에서 개발한 ATO의 주요 기능은 전동차를 무인 또는 자동운전하기 위한 제어 알고리즘의 수행과 수행에 필요한 계산을 하는 것과, 이러한 기능을 구현하기 위해 TCMS, ATC, TWC, TRA 와 같은 여러 장치와의 원활한 통신을 통해 데이터 및 지령을 주고받는 것이다. 이러한 기능을 수행하기 위해 ATO는 CPU 보드와 I/O 보드로 구성되어 있으며, 특히 CPU 보드는 제어 연산 및 통신 기능을 맡고 있으므로 핵심 장치라 할 수 있다. 본 시스템에서 구성한 CPU 보드는 Motorola 사의 MC68040 CPU를 사용한 VMEbus 인터페이스 방식을 사용하였다. 그림 3은 일반적인 CPU 보드의 구성을 나타내는 블럭도이다. CPU 보드는 각종 연산이 수행되는 CPU 블록을 중심으로 좌측(Memory)의 프로그램 및 데이터가 저장되는 RAM, ROM, FLASH등의 메모리 블록이 있다. 테스트 버전 프로그램을 위하여 FLASH 메모리 2MByte를 할당하여 보다 효율적인 디버깅을 가능하게 하였다. 상단 부분(Communication)의 통신 블록은 기본적으로 CPU 보드가 가지고 있는 통신 포트로서 RS232 2개의 포트와 RS485 및 Current Loop 사용할 수 있는 포트 4개를 가지고 있다.

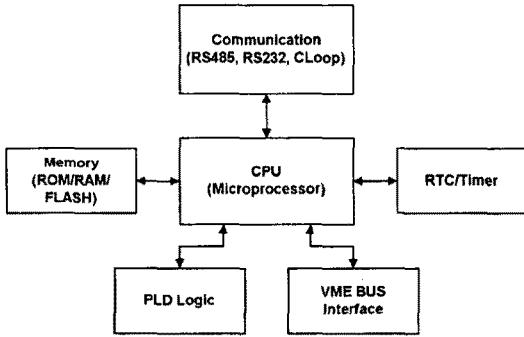


그림 3. CPU 보드 구성 블럭도

RS232 포트는 디버깅용 포트로서 프로그램 수행시 필요한 데이터를 출력할 수 있으며, 열차 자동 운전시 운행 데이터를 출력하여 ATO 시스템 튜닝에 사용하였다. RS485와 Current Loop 통신 포트는 현재 차량에 가장 많이 사용되고, 노이즈에 강한 통신방식으로 CPU 보드에 기본적으로 4개의 포트를 할당하였다. 이 통신 포트는 CPU 보드의 용도에 따라서 RS485와 Current Loop 통신 드라이브 칩을 교환함으로써 사용할 수 있다. 본 ATO 시스템에서는 TCMS와 RS485 통신을 하고 있으며, 주 ATC와 보조 ATC 그리고 TWC와는 Current Loop 통신을 사용하여, 다른 통신 캐리어 보드를 사용하지 않고 CPU 보드 1장으로 4채널의 통신을 확보하였다. 우측에 있는 블록은 실시간 클럭 및 타이머(RTC/Timer) 블록이 중심이 되어 구성된다. 대부분의 통신 채널은 Slave 통신이지만 TWC 통신의 경우 250ms Master 통신이므로 Watch Dog Timer를 이용하여 250ms 주기 통신에 사용하고, ATC로부터 입력되는 Tacho Pulse를 이용하여 현재의 열차 속도를 계산하기 위하여 Timer가 사용된다. PLD Logic 블록은 CPU와 주변 장치를 연결하기 위하여 많은 Gate들이 필요한데 이것을 하나의 칩에 구성하기 위하여 PLD Logic을 이용하였다. 우측 하단(VMEbus Interface)

의 VMEbus 인터페이스는 I/O 보드와 CPU 보드사이의 데이터 교환을 위하여 구성하였다. VMEbus 컨트롤러는 Cypress의 VIC068A를, VMEbus 트랜시버(Transceiver)로는 CY7C964를 사용하였다. VIC068A와 CY7C964는 제어신호를 일치시켜 부가로직 없이 사용될 수 있도록 설계되었다. VIC068A는 VMEbus를 이용한 전송시 필요한 신호를 제어하며 VMEbus System Controller로 VMEbus 전체를 제어할 수 있는 기능도 내장되어 있다. 또한 보드내에서 인터럽트 처리 기능을 수행할 수 있다. CY7C964를 보드 내부의 데이터 및 어드레스를 VMEbus의 데이터 및 어드레스에 연결해주는 역할을 하며 VIC068A의 신호에 따라 전송을 수행한다. 아래의 그림 4는 CPU 보드의 외관이다.

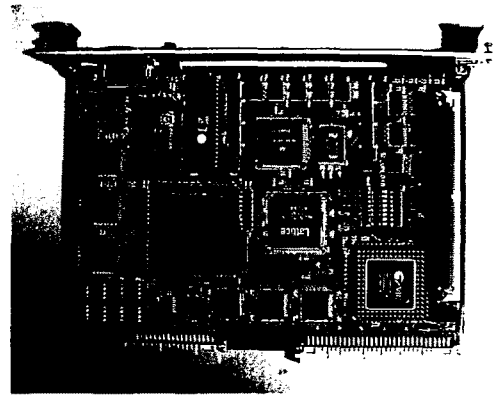


그림 4. CPU 보드 외관

2.3 I/O 보드의 개발

ATO는 주변장치로부터 전동차의 자동운전 및 무인운전을 수행하기 위한 장치이며, I/O 보드는 열차 주행 거리에 관련된 정보를 얻는 장치이다. 아래 그림 5는 I/O 보드의 구성도를 나타낸다.

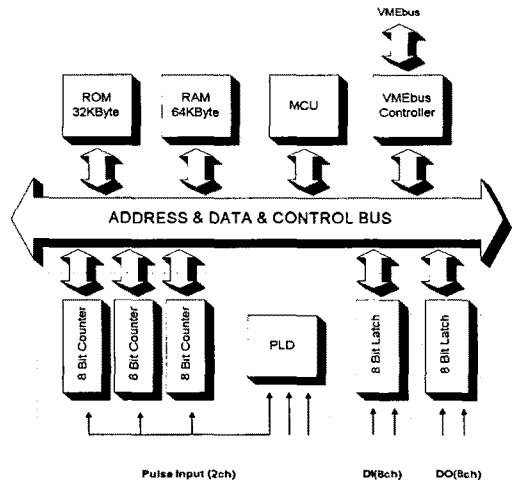


그림 5. ATO I/O 보드의 구성도

열차가 주행한 거리를 알기 위해서는 속도 데이터를 입력받아야 하는데, 그 정보가 I/O 보드로 입력된다. 열차 휠이 1 회전하는 동안 384개의 펄스를 입력 받는다. I/O 보드는 CPU 보드와 VMEbus를 통해 데이터를 전송하며 외부와의 신호 입출력을 위해 8채널의 Digital Input(DI)와 8채널의 Digital Output(DO), 두 채널

의 Pulse Input(PI) 기능을 가지고 있다. DI는 전동차의 정밀정차에 필요한 거리정보를 제공하는 PSM을 검출할 때 나타나는 신호를 입력받으며, DO로는 입력받은 신호를 올바르게 획득했다는 확인신호를 출력한다. PI는 기본적으로 2개의 채널을 할당하였으며, 주 ATC와 보조 ATC로부터 입력되는 펄스를 카운팅 한다.

2.4 ATO 장치 개발 시험

본 연구에서 개발한 ATO 장치는 표준전동차에 취부하기전, 전동차 성능시험기준에 의거하여 형식시험을 실시하였다. 모든 시험결과는 정상이었으며, 현차 주행 안전성시험은 계속 진행중이다. 아래 표 1은 ATO 장치의 시험항목 및 시험결과를 나타낸 것이다. 그림 6은 AGING 시험을 실시한 그림이다. 그림 7은 상하진동시험 데이터를 나타낸 것이다. 진동시험 후 다시 ATO를 기동시켰을 때 이상이 없었다.

표 1. ATO 장치의 형식시험 결과

시험항목	시험 방법	시험결과
구조 및 외관검사	1)배선 2)중량측정	양호
절연저하 측정시험	DC 100V 회로와 외함 사이간 (10M Ω 이상)	1000 M Ω
내전압 시험	DC 100V회로와 외함 간 AC1200V를 1분간 인가하여 이상이 없을것	양호
진동시험	KRS9144 2종 B에 의거 기기가 정상 동작하고 성능에 이상이 없을 것	양호
기능, 특성 시험	Digital 입력, Digital 출력, 전송시험	양호
전압변동시험	기능, 특성시험에서 지정된 시험의 각 판정기준을 만족 할 것	양호
소비전력시험	정격에서 150W 이하	30W
돌입전류시험	50A 이하일 것	21.5A
주위온도 변동시험	-15 $^{\circ}$ C~40 $^{\circ}$ C사이의 온도를 변화시키면서 각 온도에서 이상이 없을 것	양호
온도상승시험	상온 정격 전압에 있어서 온도 상승치가 판정치 이내일 것	양호
NOISE 시험	1000V 폭 50ns~1 μ s 인가하여 이상이 없을 것	양호
AGING시험	상온서 24시간 실시하여 이상이 없을 것	양호



그림 6. ATO장치 AGING 시험

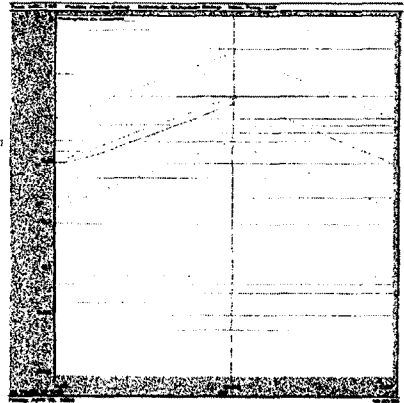


그림 7. ATO장치 상하진동 시험

3. 결 론

본 연구에서는 표준전동차용 자동열차운전장치를 순수 국내 기술로 제작하여, 형식시험을 거친 후 7호선 미개통 구간(청담 \leftrightarrow 보라매)에서 본선시운전을 시행하였으며, 자동열차운전에서도 신뢰성 및 안정성을 검증하였다. 그리고 버스 방식을 기존의 ISA 방식에서 산업 현장에서 널리 사용되고있는 VMEbus 방식을 채택함으로써 장치의 신뢰성 및 안전성 그리고 디버깅 기술을 확보하였다. CPU 보드와 I/O 보드를 국산화함으로써 유지보수 비용의 절감과 국내 산업기술의 증대 및 수입대체 효과가 기대된다.

(참 고 문 헌)

- [1] P.G. Howlett, P.J. Pudney, "Energy-Efficient Train Control", 1995, Great Britain
- [2] 한국철도기술연구원, 건설교통부, "1999년도 종합제어장치 연구개발 보고서", 1999
- [3] 한국철도기술연구원, 건설교통부, "1999년도 전동차 성능 시험기준 연구보고서", 1999
- [4] 한국철도기술연구원, "1998년도 자동열차 운전장치 (ATO) 연구개발 보고서", 1998