

전동차용 종합제어장치 소프트웨어 개발

(A Development on the software of Train Control and Monitoring System(TCMS) for Subway Train)

최병욱* · 박중헌

(Byoung-Wook Choi · Jong-Hun Park)

Abstract

TCMS is the most important controller in the subway train for reliable train control and service oriented flexibility. TCMS software charges communications and control of train and maintains control devices so we use QNX for real-time control. This paper introduces overall software development of TCMS using various diagrams. Software implementation details in TC and CC are explained using deployment diagram through train configuration. Driving control process among many processes is focused to present implement details which controls train by driver or automatic train operation and handles commands to control deriving devices in cars. Reliable operation of train and easy maintenance process is achieved through the same hardware in train control computer and car control computer.

Key Words : TCMS Software, RTOS, Driving Control Process, Subway Train

1. 서 론

전동차는 저탄소 녹색성장 산업의 중요성이 강조되는 시대에 도시에서의 높은 수송능력을 보유한 매우 유용한 대중적 교통 수단이다. 전기 전자 및 통신의 발전과 함께 열차제어 시스템의 발전은 열차의 안전 운행과 고객 서비스의 향상 그리고 경영 합리화라는 중요한 목적으로 진행되고 있다[1-2].

전동차에서 열차제어 시스템이라고 하면 궤도 상의

신호 및 원격지에서의 관제 기능을 제외하면 일반적으로 전동차에 장착되어 있는 TCMS(Train Control and Monitoring System)를 의미한다. 종합제어장치인 TCMS는 전동차의 운전 제어기능, 운전 지원기능, 차량 검사 기능을 목적으로 하는 정보관리 시스템으로 궁극적으로 차량의 성능을 책임지고 있어서 매우 높은 신뢰도와 안전성을 필요로 한다. 또한 전체 전동차의 운행 정보와 주요기기의 동작 상태를 감시하고 실시간으로 운전실에 있는 표시장치를 통하여 전동차의 운행정보 및 주요기기의 동작 상태를 기관사에게 제공한다.

TCMS의 다양한 요구사항을 만족하기 위하여 최신의 하드웨어가 필요함은 물론이고 복잡한 장치를 효과적으로 제어 감시하고 정보 표시를 하는 소프트웨어

* 주저자 : 서울과학기술대학교 전기공학과 교수

Tel : 02-970-6412, Fax : 02-973-6412

E-mail : bwchoi@seoultech.ac.kr

접수일자 : 2011년 10월 19일

1차심사 : 2011년 10월 23일, 2차심사 : 2011년 11월 16일

심사완료 : 2011년 11월 21일

어를 필요로 한다. 종합제어장치의 기능이 복잡화되고 시스템의 복잡도 역시 증가하는 상황에서 신뢰성 있고 독자적인 TCMS 개발 연구가 있었다[3,4]. 그러나 선행 연구는 TCMS 전체 시스템의 개발보다는 신뢰성 향상 또는 경전철의 기능 부여 등 부가적인 기능 확장에 한정되고 있다. 그리고 복잡한 시스템의 소프트웨어를 성능이 보장된 신뢰성 있는 소프트웨어를 개발하기 위하여서는 실시간 운영체제를 이용한 실시간 시스템 소프트웨어의 개발이 필요하다. 이와 같은 실시간 시스템 소프트웨어는 다른 이송 수단인 자동차나 엘리베이터 제어 장치에도 일반적으로 활용되고 있다[5-6].

현재 국내 도시철도의 제어장치는 외국사에 의존하여 운영되고 있으며, TCMS 역시 표 1과 같이 다양한 외국제품으로 운영되고 있다. 따라서 부품 공급의 어려움과 함께 발전하는 기술 및 고객요구를 만족하기 위한 소프트웨어 개발은 불가능한 입장이다. 전동차의 국산화 개발은 매우 의미있는 일이며, 중앙제어장치인 TCMS는 시스템 유지 보수성, 고객의 요구 분석 등 요구사항을 만족하는 형태로 개발하였다[7]. 또한 성능 개선을 위하여 QNX 실시간 운영체제 기반의 실시간 시스템 소프트웨어로 개발하였다[8].

표 1. SMRT 지하철의 TCMS 제조업체
Table 1. Manufacturers of TCMS for SMRT subway lines

구 분	5호선	6호선	7, 8호선	
			1차분	2차분
TCMS 제조사	ABB (스웨덴)	미쓰비시 (일본)	GECA (영국)	도시바 (일본)

TCMS는 운전실에 배치된 주 컴퓨터(TC: Train Computer)와 각 편성 차량에 설치되는 차량 컴퓨터(CC: Car Computer)로 구분되며, 본 개발에서는 운전실에 TC 이외에 표시 장치가 별도로 배치된다. TC와 CC는 동일한 하드웨어를 표준으로 이용하고 있으며, 제어하는 외부 인터페이스가 서로 상이하셔서 개발된 소프트웨어는 동일한 하드웨어이나 목적에 맞는 별도의 소프트웨어가 포팅되었다.

TC 및 CC에는 많은 입출력 장치가 연결되어 있고 열차의 안전 운행에 매우 중요하다[9]. 따라서 소프트웨어 모듈 역시 주어진 통신 방식을 통하여 정보를 교환하며 각각에 입출력 장치와의 제어 및 관리를 수행한다. TCMS는 매우 많은 프로세스로 구성되며 논문의 지면상 모든 소프트웨어 상세 설명은 어렵다. 따라서 운전 제어와 관련된 프로세스를 통하여 본 연구에서 개발된 소프트웨어를 소개한다. 또한 시스템적인 동작 설명을 위하여 하드웨어와 연계된 소프트웨어의 동작은 소프트웨어 배치도를 제안한다. 그리고 플로우 차트를 이용하여 구현된 TASK의 동작을 제시하였으며, 이와 같은 독자적인 TCMS 소프트웨어 개발은 추후 시스템 유지와 성능 개선에 매우 중요하다.

2. TCMS 구성

2.1 차량 구성 및 주변 장치

종합제어장치는 운전실에 위치하여 편성 차량에서 필요한 정보를 받아서 운전실 표시 장치로 표시하고 또한 운행기록이 저장됨으로써 차량의 유지보수 및 검수 목적으로 활용된다. 본 연구에서 개발된 TCMS는 그림 1과 같이 주 컴퓨터, 차량 컴퓨터와 표시장치(DU: Display unit)으로 구성된다. DU와 TC는 각 운전실에 위치하게 되며, CC는 각 편성차량에 배치하여 데이터를 진단하여 통신 선로를 통하여 TC와 통신하게 된다. TC는 차량 편성 상 2대 편성되며 내부에 두 개의 컴퓨터(LIU: Local Interface Unit)를 구현하여 이중계를 구현하고 있다.

일반적으로 TC에는 다양한 주변 장치가 설치되어 있어서 각 주변장치에 적합한 통신 방식에 의하여 상태를 감시하고 제어를 수행하는 역할이 필요하다[3,9]. 특히 ATC(Automatic train control), ATO(Automatic train operation), TWC(Train to wayside communication) 장치는 전동차의 자동운전과 관련하여 매우 중요한 제어 장치이며, 기존의 SMRT 5,6,7,8호선에서 호환성과 부품의 공유 그리고 유지 보수를 위하여 통신속도 및 주기를 설정하여 구현하였다. 따라서 소프트웨어에서도 이러한 기존 장치를 위한 통신 방식 지

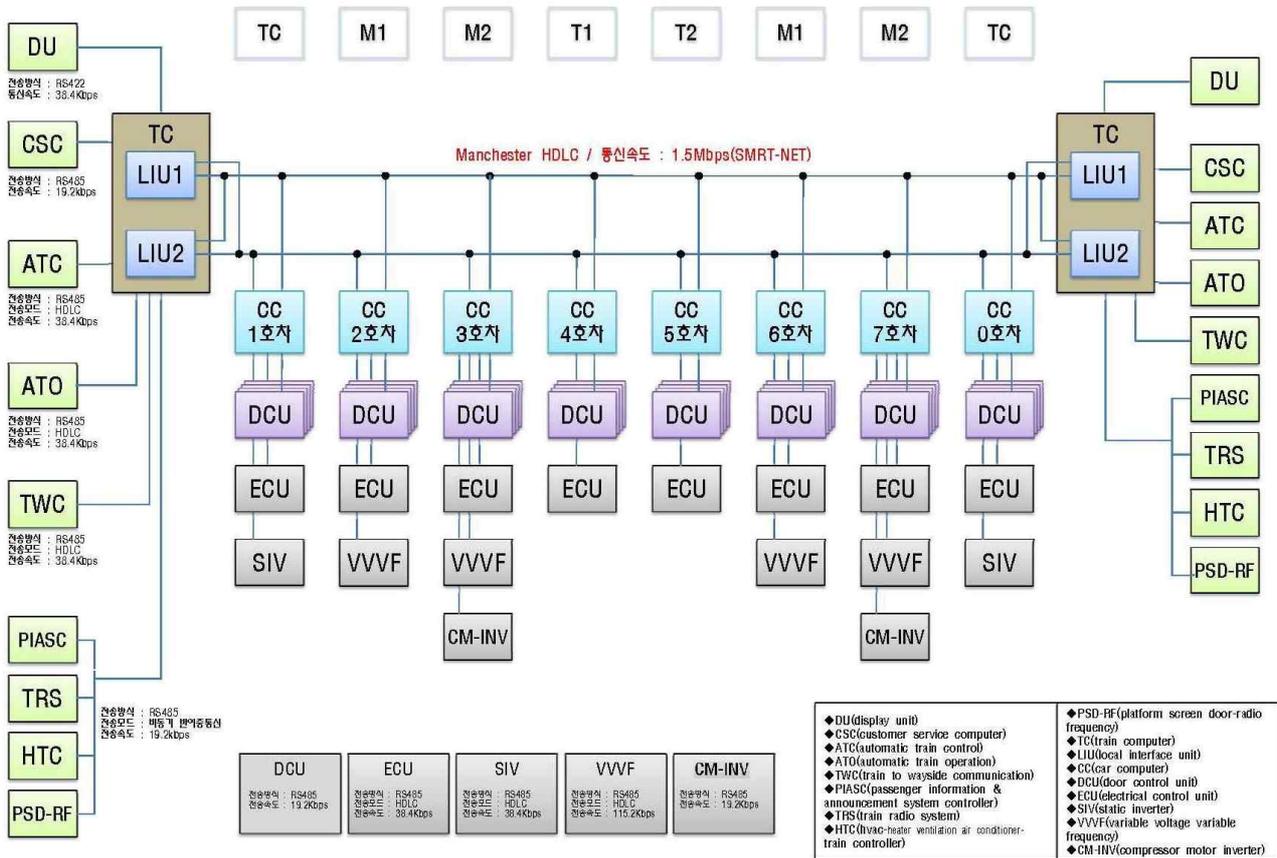


그림 1. 지하철의 TCMS 인터페이스 다이어그램
Fig. 1. TCMS Interface Diagram in Subway Train

원과 주기를 지원하도록 구현하여야 한다. 각각의 기기의 통신 방식과 응답시간을 그림 1에 자세히 표시하였다.

그리고 CC는 차량의 편성에 따라서 감시하는 장치가 조금씩 상이하게 된다. 8량 1편성을 기준으로 할 경우 그림 1과 같이 주변 장치가 구성되어 각각의 구동 장치를 제어하게 된다. 다만 그림의 복잡성으로 구동 장치는 표현하지 않았다. 그림에서 DCU(Door control unit), ECU(Electrical control unit)는 모든 차량에 장착되어 있으며 SIV(Static inverter), VVVF(Variable voltage variable frequency), CM-INV(Compressor motor inverter)는 동력 차량에 부착되어 전동기와 같은 부하를 제어한다. 실제 VVVF는 전동기 속도제어를 위한 전력변환장치이다.

결론적으로 각 차량에 장착된 부하 장치는 그림과

같이 CC에 설치된 인터페이스 통신 보드에 RS485 방식으로 제어장치가 직접 연결되어 있으며 제어와 관리를 CC 소프트웨어에서 담당하게 된다. 이와 같은 개발의 장점은 TC와 CC 모두 동일한 하드웨어에 다른 소프트웨어를 구현함으로써 부품의 호환성과 신뢰성을 확보하고 있다. 또한 차량 컴퓨터인 CC와 TC는 SMRT-NET을 구현하여 1.5[Mbps] 전송이 이루어진다. 이와 같이 각 컴퓨터에 구현된 인터페이스 보드를 통하여 제어가 이루어지며 주 컴퓨터에 존재하는 소프트웨어는 모든 처리를 원하는 주기 내에 실행하여야 함으로 실시간 소프트웨어로 구성하였다.

2.2 TCMS 소프트웨어 구성

TCMS는 그림 1과 같이 전체 편성에서 운전제어차

량(TC Car : Train Control Car)에 위치하는 주 컴퓨터 TC와 운전제어차량(TC Car), 동력차(M1/M2 Car) 및 객차(T Car)에 설치되는 차량컴퓨터 CC에 따라 제어하는 주변 장치가 조금씩 차이가 난다. 따라서 동일한 하드웨어를 이용하여 시스템을 구성하는 경우에도 제어를 수행하는 소프트웨어의 기능과 구성 역시 차이가 난다. 그러나 시스템의 전체적인 소프트웨어 관리와 기능의 신뢰성을 위하여 주요한 소프트웨어 모듈을 기능별로 개발하고 각각의 기능별 소프트웨어 모듈을 필요로 하는 각각의 컴퓨터에 배치하게 된다. 차량 편성에 따른 전체 시스템에서 각 컴퓨터가 담당하는 소프트웨어 기능을 그림 2에 정리하였다.

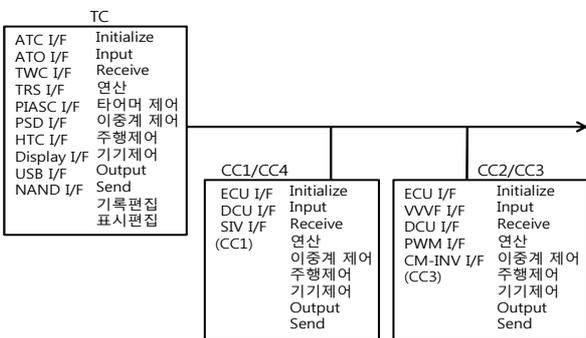


그림 2. 각 컴퓨터에 구현된 소프트웨어 모듈
 Fig. 2. Software modues deployed in each computer

그림 2의 소프트웨어 함수와 기능을 구현하기 위하여 TCMS의 주요한 기능을 담당하는 소프트웨어를 실시간 운영체제인 QNX 기반의 응용 프로그램을 작성하여야 한다. QNX는 마이크로 커널(micro-kernel) 기반의 실시간 운영체제이며, 각 프로세스와의 통신은 메시지전송버스(Message-passing bus)를 통하여 이루어진다[7]. 따라서 매우 안정적인 특징을 가지고 있으며, 열차제어와 같은 신뢰성을 필요로 하는 시스템에는 매우 적합한 운영체제라 하겠다.

표 2에 세부 프로세스별 소프트웨어 모듈을 나타내었다. 각각의 타스크는 TC와 차량 컴퓨터인 CC에 각각 필요한 기능만 동작하게 되어 전체적인 유지 관리가 용이하게 진행할 수 있도록 소프트웨어가 구성되어 있다.

표 2. 구현된 프로세스와 모듈
 Table 2. Implemented Processes and Modules

Process	Task	Process	Task
Driving Control	Control command	ATO support	Driverless turn back Inhibit driving Cab active Activate ATO
Equipment start & cutout	Pantograph up Pantograph down Emergency panto down Inverter earthing sw Aux. comp on/off	Aux. Power circuit	Extension supply Load reduction control Load cut out Load connect Contactor monitor Equipment status monitor
VVVF & SIV	VVVF reset VVVF cutout	Head control	Head control
Mode control	Mode control	Dead man	Dead man
Velocity	Velocity	Zero Velocity	Zero Velocity
Brake Control	Service brake Emergency brake FSB Holding brake Non release brake Compulsory release Security brake Parking release Air spring cut-out	Door control	Door mode display Door open Door close Door reopen Door close indication & transmission Door closing backup Door closing logic check Powering mask / FSB request
MWB	MWB	ATC support	Power control
Rescue operation	Encoder / Decoder	Emergency P.B Line	Emergency P.B line
Compressor	Compressor	HVAC	HVAC
PA	PA	Open-Door Info.	Open-Door Info.
Lighting control	Lighting control	Passenger Alarm	Passenger Alarm
Overweight signal & Long Dwell time	Overweight signal & Long Dwell time	Train NO. & Length & TWC	Train NO. Train length & formation Selecting TRS. TWC
Master Clock	Master Clock	Wheel diameter adjust	Wheel diameter adjust
Monitoring	Fault alarm		

3. TC 및 CC 소프트웨어 구현

3.1 소프트웨어 배치

소프트웨어 모듈은 물리적으로 컴퓨터에 설치되며, 관련된 하드웨어를 통하여 인터페이스 되어 있는 신호의 처리를 담당하게 된다. TC의 LIU1/LIU2에 대한 소프트웨어 배치도를 그림 3에 나타내었다. TCMS는 하드웨어 상으로 주 컴퓨터(Main CPU)와 인터페이스를 위한 다중기능보드(MFB : Multi-function board) 그리고 디지털입출력보드(DIO : Digital input/output)로 구성되어 있다. MFB에서 주요 장치와의 인터페이스가 이루어지며 각각은 주어진 통신 방식과 처리 시간에 맞추어 작업이 이루어진다.

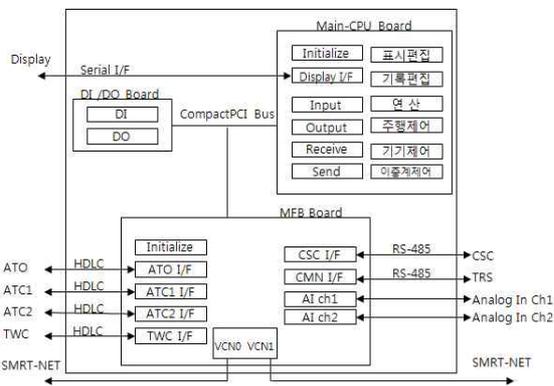


그림 3. TC에서의 기능적 소프트웨어 배치
Fig. 3. Functional Software Deployment in TC

그림에 나타낸 바와 같이 메인 컴퓨터에서는 주로 주행 및 연산에 관련된 작업과 각종 주변 장치의 인터페이스 모듈의 처리 결과를 CompactPCI 버스를 통하여 데이터 처리를 수행한다. CMN I/F는 통합설정기로 그림 1에 나타낸 PLASC, HTC, TRS, PSD-RF장치를 의미하며 RS-485 통신으로 데이터 전송을 진행한다. 또한 외부 장치와 설정된 통신을 통하여 인터페이스 되어 있으며, 외부 장치와의 직렬 통신을 담당하는 MFB 보드가 구현되어 있다. 그리고 그림 1에 나타낸 바와 같이 차량 컴퓨터를 연결하는 SMRT-NET 모듈이 MFB 보드를 통하여 처리하게 된다. 그리고 직접 입출력을 담당하는 DIO 보드가 CompactPIC 버스

를 통하여 메인 컴퓨터와 데이터 교환을 하고 있다. 따라서 소프트웨어 모듈의 경우는 하드웨어적인 인터페이스 처리 모듈을 거쳐서 데이터는 메인 컴퓨터 모듈로 전달되게 되고 처리된다.

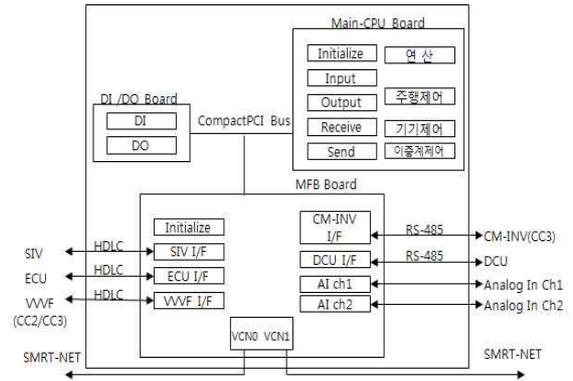


그림 4. CC에서의 기능적 소프트웨어 배치
Fig. 4. Functional Software Deployment in CC

차량 컴퓨터인 CC는 각 차량에서 설치된 장치와 인터페이스를 담당하고 TC와는 SMRT-NET을 통하여 데이터 통신을 한다. ECU는 전 차량에 설치되며 구간 제어기(M/C: Master Controller) 및 ATO 장치에서 제동 지령을 받아 전동차를 정지시키며, CM-INV는 디지털 입력을 통하여 감시되며 주공기압이 낮은 경우 인버터를 기동하여 콤프레서를 동작하여 공기압을 확보하는 기능을 수행한다. VVVF는 M1과 M2 차량에 위치하며 차량이 수동운전 모드일 때는 구간제어기(M/C : Master Controller) 또는 자동운전 모드일 경우 ATO로부터 역행 제동 지령을 받아서 견인전동기를 제어한다.

3.2 소프트웨어 기능 구현

TCMS 소프트웨어가 컴퓨터에 배치되어서 실제 하드웨어와 인터페이스 되어서 동작하는 소프트웨어 기능은 그림 3~4에서 설명하였다. 각각의 컴퓨터에서 동작하는 소프트웨어의 기능을 소개하는데 표 2와 같이 매우 많아서 본 연구에서 진행된 인터페이스 다이어그램과 플로우차트를 통하여 전체적인 개발 과정을 소개한다.

먼저 소프트웨어 모듈은 다양한 하드웨어와 연동이 되어 있으며, 또한 직렬 전송 신호와 입출력 장치와 인터페이스 되어 있다. 이와 같은 입력 장치와 출력 장치를 구분하고 외부 장치와 내부 장치의 동작을 도식화 하기 위하여 “Control Command” 모듈의 인터페이스 다이어그램을 그림 5에 나타내었다.

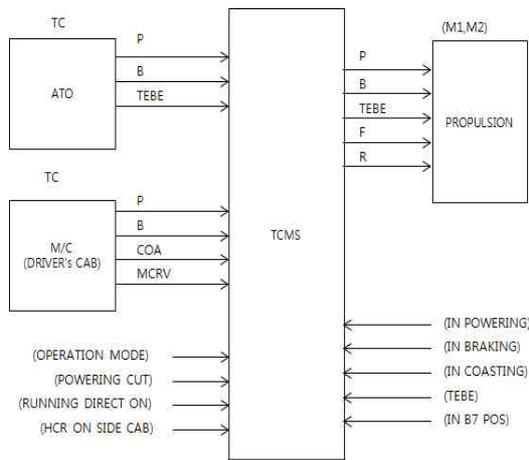


그림 5. 제어 명령의 인터페이스 다이어그램
Fig. 5. Interface Diagram of Control Command

본 모듈은 ATO나 운전실의 주간제어기(M/C: Master Controller)로부터 역행 또는 제동 지령을 M1 및 M2 차량에 배치된 VVVF로 전송하는 진송기능을 담당하는 운전 제어에 관한 동작을 수행한다. TC 차량 ATO로부터 직렬 전송 디지털 입력은 역행(P: Powering selection), 제동(B: Braking selection) 그리고 직렬 전송 아날로그 정보인 견인/제동력(TEBE: Traction/Braking Effort)를 받는다. 또한 운전실의 주제어기에서 디지털 입력으로 역행(P), 제동(B), 중립(COA) 입력과 아날로그 신호인 주제어기 기준신호(MCRV)를 받아서 처리한다. 내부적인 동작 모드는 그림에서 () 안에 표현되어 있다. 출력은 디지털 전송 신호 데이터인 역행(P), 제동(B)과 방향을 나타내는 F(Forward), R(Reverse)과 아날로그 전송 신호인 TEBE가 차량컴퓨터를 통하여 VVVF 제어 신호로 사용되어 진다. 그림 2에 표현된 모든 모듈은 그림 5와 같이 외부 기기와의 인터페이스 다이어그램을 이용하여 개발하였다.

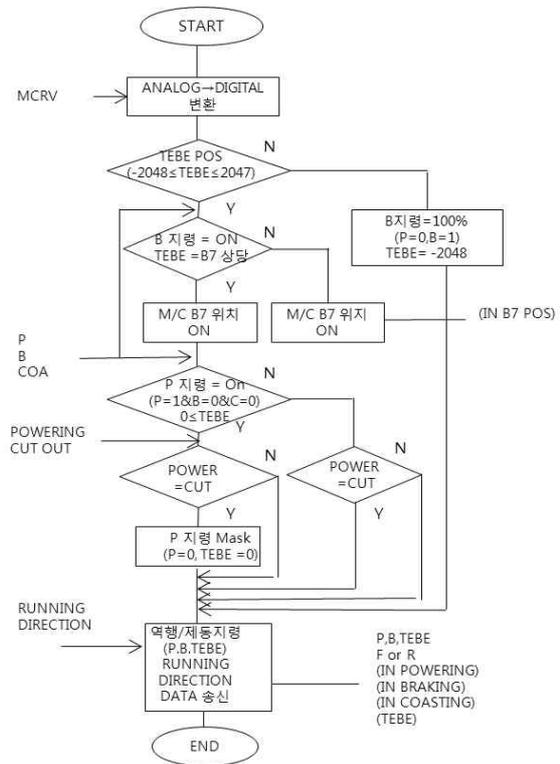


그림 6. 운전 제어 프로세스의 프로우차트
Fig. 6. Flowchart of Driving Control process

본 논문에서 개발된 “Driving Control” 프로세스에 대한 동작을 그림 6에 나타내었다. 주제어기(M/C)로부터 명령(MCRV)이 0~5[V] 범위로 들어오면 해당되는 디지털 값(-2048~2047)을 전송 받아서 차량컴퓨터에 연결된 ECU 및 VVVF 제어에 사용된다.

차량이 수동모드, 기지모드 또는 비상모드일 경우 주 제어기로부터 P, B 및 COA 신호를 받아서 그림 6에 나타낸 바와 같이 지령의 조건에 맞추어 지령을 마스크하고 역행/제동 지령(P, B, TEBE)와 주행방향(Running Direction) 데이터를 전송하게 된다. 이 데이터를 받은 차량컴퓨터 CC는 ECU 및 VVVF를 제어하는 것이다. 단 P, B이 동시에 ON인 경우에 주간제어기(M/C: Master Controller)입력은 B에 대응한 처리를 함을 알 수 있다. 또한 주행 차단(Powering Cut Out) 신호 조건일 경우에는 P 지령을 차단함을 알 수 있다. 이와 같이 복잡한 하드웨어 구성과 매우 많은 소프트웨어를 시스템적으로 개발하여야 하는 경우 소프트웨어의 인터페이스 다이어그램과 배치도 그리고

프로우차트를 통하여 신뢰성 있고 모든 제어 장치를 인터페이스하는 소프트웨어를 개발할 수 있었다.

4. 결 론

본 논문은 서울시철도에서 신형전동차를 개발하면서 제작중인 전동차용 국산 TCMS 개발품의 소프트웨어 제작과정에 대해 기술하였다. TCMS는 현재 개발 완료되어 차량에 장착되어 시운전 중에 있다. 이와 같은 개발을 통하여 TCMS 소프트웨어 국산화를 수행하였고, 기존 전동차에 적용된 외국산 TCMS 사용으로 인해 발생하는 기술종속을 탈피하게 되었으며 다양한 서비스 개선과 성능 개선이 지속적으로 가능하게 되었다. 하루가 다르게 발전하는 IT기술의 적용, 다양화된 승객서비스 등을 제공하기 위해서는 지속적인 시스템 변경이 필요한데 TCMS 소프트웨어의 독자적인 기술 확보가 없으면 실제 성능 개선이 이루어지기 어렵다.

TCMS 국산품 개발은 운영사 입장에서 볼 때 자체 기술자립에 크게 기여할 것으로 보이며, 유지 관리와 서비스 개선에 필수적인 원천 기술이다. 또한 소프트웨어 개발 과정에서 TCMS 소프트웨어의 문서화를 표준화 함으로써 상당한 유지비용 절감의 효과와 제품 개선을 효율적으로 진행할 수 있다. 국내에 도시철동용 TCMS를 시스템적으로 개발하고 소개한 논문이 전무하기 때문에 본 논문은 향후 전동차 독자 개발에 유용하게 활용될 것이다.

References

[1] 이재호, “열차제어의 동향과 기술개발”, 철도저널, pp.6-15, 제14권 2호, 2011.
 [2] 김길동, 이한민, 오세찬, “차세대 전동차 추진시스템의 기술개발 방향”, 조명설비학회지, 제2권 2호, pp.21-25, 2006.

[3] 한성호, 안태기, 이수길, 이관섭, 최규형, “한국형 표준전동차 종합제어장치(TCMS)의 신뢰성 소프트웨어 개발 기술”, 한국철도학회논문집, 제 3권 3호, pp.147-153, 2000.
 [4] 이은규, 조성주, “경량전철용 열차종합제어장치의 개발”, 한국철도학회 2002년 추계학술대회논문지, pp.528-533, 2002.
 [5] 최동호, 홍두원, 홍성수, “자동차를 위한 내장형 실시간 소프트웨어 아키텍처의 개관”, 2005년도 전기전제TS 부문 심포지엄.
 [6] 최병욱, 임계영, 고경철, “실시간 시스템인 엘리베이터 제어기 프로그램 개발”, 제어자동화시스템공학회 논문지, 제 5권 5호 pp.622-629, 1999.
 [7] 서울시철도공사 홈페이지, “http://www.smrt.co.kr”
 [8] QNX homepage, http://www.qnx.com
 [9] 강리택, 이종성, 김경식, 박계서, “차상 ATC/ATO/TWC 시스템의 열차 자동운전 구현의 현차시험 결과고찰”, 한국철도학회 2000년 추계학술대회논문집, pp.578-585, 2000.

◇ 저자소개 ◇



최병욱 (崔秉旭)

1963년 2월 13일생. 1992년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(박사). 1988~2000년 LG산전(주) 책임연구원. 2000~2005년 선문대학교 제어계측공학과 부교수. 2003~2005년 (주)임베디드웹 대표이사. 2005년~현재 서울과학기술대학교 전기공학과 교수.



박중헌 (朴鐘憲)

1959년 3월 20일생. 1994년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(박사). 1993~1997년 LG산전(주) 책임연구원. 1997~2003년 (주)로티스 대표이사. 2003~2006년 서울시 교통국 교통정보반장. 2006~2009년 영산대학교 교통시스템학과 교수. 2009년~현재 서울도시철도공사 기술본부장(상임이사).