

# 도시철도차량용 국내 표준모델의 주제어 S/W 개발(3)

## Development of Control Software for KOREA Standard EMU

안태기\*, 한성호\*\*, 이수길\*\*\*, 이관섭\*\*\*\*, 김원경\*\*\*\*\*, 최규형\*\*\*\*\*  
An, Tae-Ki Han, Seong-Ho Lee, Su-Gil Lee, kwan-Sub Kim, Won-kyoung Choi, Kyu-Hyoung

### ABSTRACT

This paper is intended to provide a method to design control software for the TCMS, train control and monitoring system. The TCMS with this control software will be applied KOREA Standard EMU. The control software is designed by SCADE Case tool to concern safety and reliability. The function for the EMU is implemented in software easily programmed, using a functional block, graphic programming language. The control software has modular design and each module is tested with SCADE simulator. This time we focus a Driving control module, including brake control module, and present a design method and a simulation method for that module.

### 1. 서 론

도시철도차량의 기능 중 가장 중요한 기능은 열차의 운전제어기능이다. 열차 운전제어기능에는 열차의 추진 및 제동에 관련된 제어기능을 의미한다. 이러한 기능은 현재 서울시에서 운행되고 있는 도시철도를 기준으로 볼 때 서울시 1, 2, 3, 4호선을 포함하고 있는 1기 지하철의 경우 아날로그 방식으로 열차의 운전 제어기능을 수행하고 있다. 그러나, 서울시 5, 6, 7, 8호선을 포함하고 있는 2기 지하철의 경우는 이러한 아날로그 방식이 아닌 통신에 의한 디지털 방식으로 열차 운전제어기능을 수행하고 있다. 서울시 1기 지하철은 종래의 인통선을 이용하여 아날로그 신호를 직접 추진/제동장치로 연결하여 운전자에 의해 제어되는 수동운전방식만이 가능하다. 그러나, 서울시 2기 지하철은 아날로그 신호를 종합제어장치 및 차상신호보안장치가 입력받아 각 조건에 따라 출력되는 디지털 신호를 통신으로 추진/제동장치로 전달하여 적절한 운전제어를 실시한다. 그러므로, 서울시 2기 지하철은 운전자에 의한 수동운전방식 뿐만 아니라 종합제어장치 및 신호보안장치에 의한 자동운전방식도 가능하게 되었다. 이러한 열차의 운전제어기능은 종합제어장치의 주제어 S/W에 의해 수행되고 있으며, 본 논문에서는 열차의 수동운전 및 자동운전에 관련된 열차의 운전제어기능에 대해서 기술하고, 기술된 내용을 바탕으로 실제적인 구현에 대한 사례를 보여주고자 한다.

열차의 운전에 관련된 기능은 safety critical 전용 CASE tool인 SCADE를 이용하여 구현하였으며, 이 모듈은 표준전동차의 종합제어장치에 탑재되어 실제 열차의 추진 및 제동장치와 연계하여 열차의 추진/제동 기능을 수행한다.

- \* 한국철도기술연구원 주임연구원, 정회원
- \*\* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원
- \*\*\* 한국철도기술연구원 주임연구원, 정회원
- \*\*\*\* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원
- \*\*\*\*\* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원
- \*\*\*\*\* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

## 2. 열차 운전제어 기능

표준전동차에 적용된 열차운전제어 기능은 자동열차운전장치 또는 주간제어기로부터 입력받은 역행/제동지령을 편성제어컴퓨터에서 차량제어컴퓨터로 통신을 이용하여 전달하고 차량제어컴퓨터는 추진제어장치 및 제동제어장치로 이 지령을 전달하여 실제적인 추진/제동의 기능을 수행한다. 그러나, 제동기능 중 일부는 열차의 안전성을 고려하여 기존의 인통선을 사용하는 부분도 있다. 자동운전장치 또는 주간제어기로부터 입력되는 추진/제동지령은 역전기가 투입되어 전두계전기(HCR; Head Control Relay)가 여자되어 있는 측의 입력신호만 유효하며, 전두계전기가 소자되어 있을 경우에는 자동열차운전장치 또는 주간제어기로부터 입력되는 추진/제동지령을 무시한다. 그림 1은 정상적인 경우 역행/제동지령에 대한 개념도를 나타내었다.

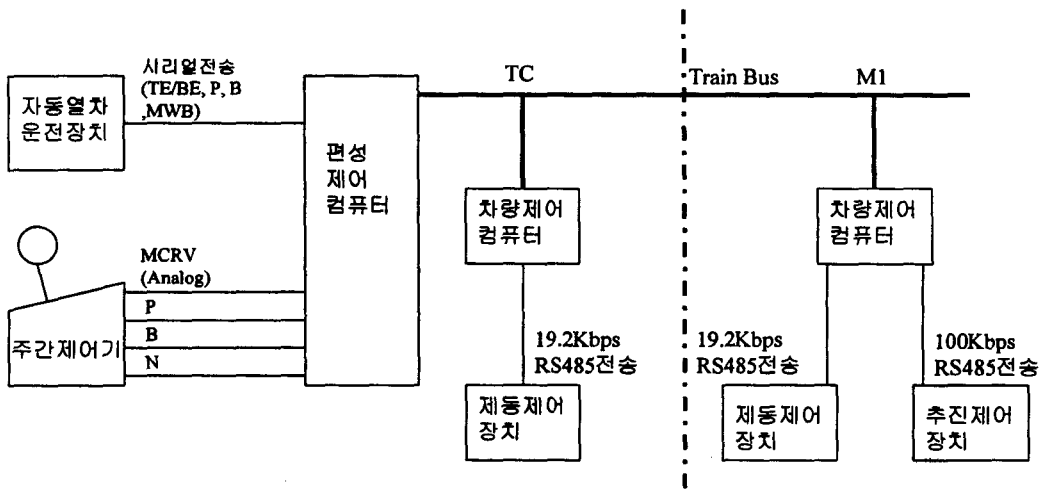
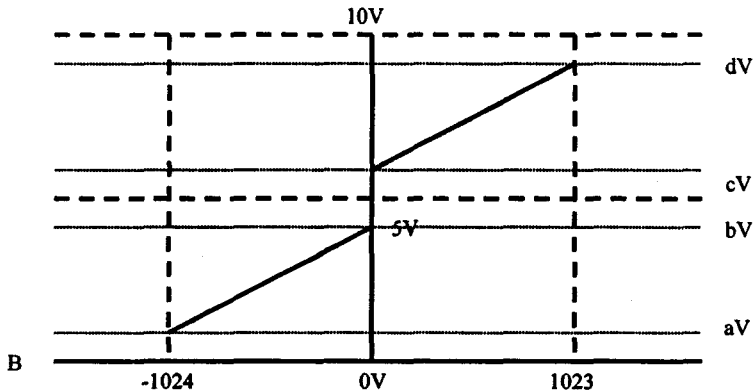


그림 1. 역행/제동지령 개념도

종합제어장치는 자동운전, 무인운전, 수동운전, 기지운전, 비상운전 모드를 가지고 있으며 각 운전모드에 따라서 역행 및 제동지령이 다른 경로로 입력이 된다. 자동운전 또는 무인운전모드인 경우 편성제어컴퓨터는 자동열차운전장치로부터 P(powering), B(braking), 역행/제동값 등의 정보를 직렬통신을 통해 입력받아 적절한 조건 판단 후 트레인버스를 경유하여 차량제어컴퓨터로 전달한다. 전달된 정보는 차량제어컴퓨터에서 추진제어장치 및 제동제어장치로 직렬통신을 통해 전달되어 이 정보를 기준으로 열차는 적절한 가감속 기능을 수행하게 된다. 이 때 역행/제동값 정보에 대한 분해능은 역행/제동 각각에 대해 10 bit로 실제 전달되는 역행/제동값은 -1024~1023의 디지털값을 갖게 된다.

열차가 수동운전, 기지운전, 비상운전모드인 경우에는 편성제어컴퓨터는 주간제어기로부터 직접 P(powering), B(braking), COA(coasting), NOTCH정보를 입력받아 적절한 조건 판단 후 트레인버스를 경유하여 차량제어컴퓨터로 전달한다. 전달된 정보는 자동/무인운전모드와 같이 차량제어컴퓨터에서 추진제어장치 및 제동제어장치로 직렬통신을 통해 전달되어 이 정보를 기준으로 열차는 적절한 가감속 기능을 수행하게 된다. 이 때 P, B, COA정보는 디지털 신호를 통해 입력되고, NOTCH정보는 아날로그 신호를 통해 입력된다. 이 때 NOTCH정보는 0~10V 범위의 아날로그신호로써 이 범위 중 0~5V 범위는 제동값을 나타내고, 5~10V 범위는 역행값을 나타낸다. 그러나,

0V 및 10V 근처의 범위는 주간제어기의 고장을 판단하기 위해 사용하지 않는 범위이며, 5V 근처의 범위는 실제로 역행 또는 제동값이 0인 중립위치가 된다. 입력된 아날로그 신호는 편성 제어컴퓨터에서 -1024~1023의 디지털값으로 변환하여 차량제어컴퓨터로 전달된다. 또한, P, B 신호가 모두 ON시에는 NOTCH 입력은 B에 대한 것으로서 처리한다. 그림 2는 주간제어기의 아날로그 값 및 대응되는 디지털값에 대한 내용과 아날로그 값에서 디지털값으로 변경하는 방법에 대한 것을 나타낸 것이다.



아날로그값	a V 이하	a~b V	b~c V	c~d V	d V 이상
디지털값	-1024	$-\frac{b-\text{아날로그값}}{b-a} \times 1024$	0	$\frac{\text{아날로그값}-c}{d-c} \times 1023$	-1024

그림 2. 주간제어기 아날로그 값 및 디지털 값 변환

도시철도차량은 안전성 및 신뢰성을 확보하기 위해 다양한 형태의 제동기능을 가지고 있다. 일반적으로 사용되고 있는 제동관련 지령은 비상제동, 상용전제동, 정차제동, 보안제동, 주차제동 등이 있다. 또한 이러한 제동기능과 함께 제동이 풀리지 않는 경우 강제로 제동을 완화할 수 있는 기능도 가지고 있다.

비상제동은 기본적으로 인통선에 의해 전달되어진다. 안전을 위하여 비상제동은 인통선이 여자가 되었을 때 풀리는 구조로 설계되는 것이 일반적인 방법이다. 비상제동은 여러 경로를 통하여 체결될 수 있다. 주간제어기에 의해 비상제동이 체결가능하며, 양 운전대의 비상제동스위치에 의해서도 체결가능하다. 또한 자동열차제어장치(ATC; Automatic Train Control System)에서 관리하는 비상제동계전기에 의해서도 비상제동체결이 가능하며, MR(Main Reservoir)의 압력스위치 상태에 따라서도 비상제동체결 조건이 성립한다. 비상제동이 작동 중일 경우에는 P(powering)지령 및 역행/제동값을 mask하며, 양쪽 Tc차량의 운전대에 설치된 비상제동등을 점등시킨다. 그러나, 이러한 조건들이 만족되어 비상제동이 인가될 수 있더라도 비상제동 cut-out 입력이 들어가 있을 때는 비상제동에 관한 출력을 mask한다. 이 경우에는 양쪽 Tc차량의 운전대에 설치된 비상제동 cut-out표시등을 점등시킨다. 또한 양쪽 Tc차량의 역전기상태의 조건에 의해 전두계전기가 on된

차량이 없는 경우, 즉 양쪽 Tc차량의 전두제전기가 모두 off인 상태일 때 비상제동이 인가된다.

상용전제동은 자동열차제어장치에서 인통선으로 출력되는 상용전제동지령 신호가 있는 경우 또는 추진장치/제동장치가 고장난 경우, 출입문이 열린 경우, 자동/무인운전모드일 때 ATO고장을 검지한 경우, dead man 스위치가 동작한 경우에 체결된다.

정차제동은 열차가 정차 중인 경우 체결된다. 정차제동은 종합제어장치로부터 제동제어장치로 정차제동지령을 내는 것에 의해 체결되며 제동압력은 상용전제동의 70%로 정해져있다. 자동/무인운전모드일 때 자동열차운전장치에 의해 통신을 통해 정차제동지령을 입력받은 경우 정차제동이 체결되며, 또한 수동/기지/비상운전모드일 때 속도가 일정속도이하인 상태에서 B(braking)상태이고 이러한 상태가 일정시간이상 지속된 경우 정차제동이 체결된다. 체결된 정차제동을 푸는 조건은 자동/무인운전모드일 때 자동열차운전장치로부터 정차제동신호가 없고, 전동기 전류가 일정값 이상인 역행상태인 경우이며, 수동/기지/비상운전모드일 때 전동기 전류가 일정값 이상인 역행상태인 경우이다. 여기에서 전동기 전류가 일정값 이상인 경우라는 것은 모든 M차 중 1량이라도 이러한 조건을 만족하는 경우를 말한다. 무인운전모드의 초기화, 무인회차시에는 정차제동을 지시한다. 자동운전장치에 의해 정차제동체결신호가 있는 경우 추진제어장치로의 P(powering)지령을 mask한다.

보안제동이 체결된 경우 Tc차량 운전대에 설치된 보안제동 동작등을 점등시킨다. 이 동작등은 보안제동이 체결되어 있는 동안 계속 점등되어 있다.

주차제동이 체결된 경우 Tc차량 운전대에 설치된 주차제동 동작등을 점등시킨다. 이 동작등은 주차제동 풀림입력이 있을 때까지 계속 점등되어 있다.

운행중 제동풀림이 없어 차량의 운행이 불가능한 경우 강제적으로 완해하는 기능이 있다. 그림 3에 제동불완해검지/제동강제완해에 대한 신호의 흐름을 나타내었다.

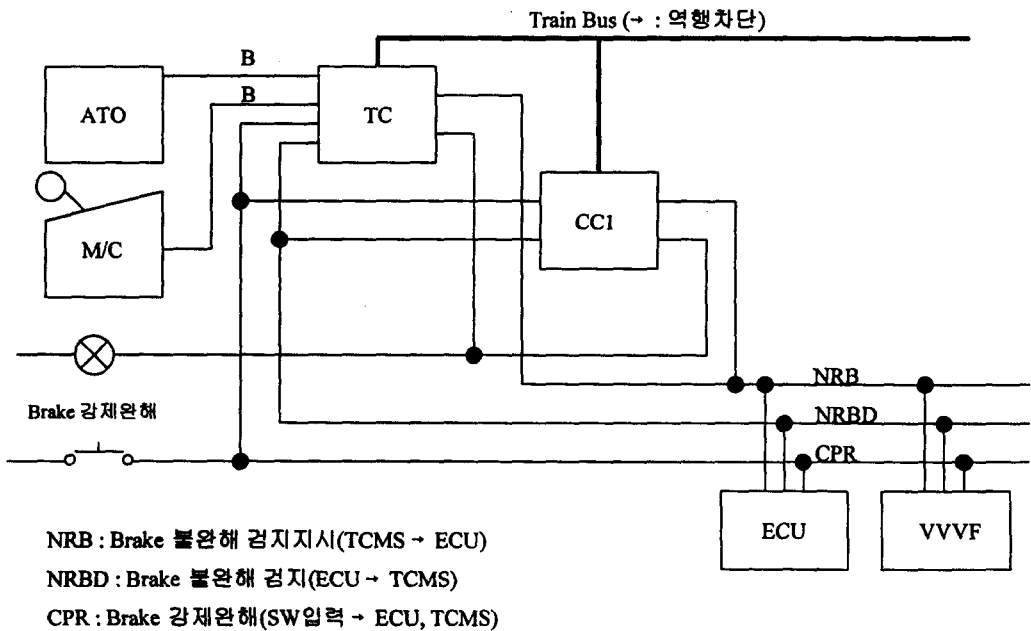


그림 3. 제동불완해/강제완해 개념도

종합제어장치는 현재 제동상태가 아니고 또한 정차제동상태가 아닌 경우 제동불완해검지신호를 각 제동제어장치로 전달한다. 이 때 제동제어장치는 보안제동 및 비상제동에 대한 조건을 조사하여 불완해검출에 대한 신호를 종합제어장치로 전송한다. 만일 제동불완해 검출시에는 제동제어장치는 “제동불완해” 신호를 출력한다. 종합제어장치가 이 신호를 수신한 경우에는 운전대에 설치된 모니터 장치에 표시한다. 그리고, 제동불완해 검출시에는 즉시 역행을 중지하고, 자동열차운전장치에는 운행불가신호를 출력한다. 제동이 풀리지 않아 운행이 불가능한 경우 제동강제완해를 통해서 제동을 강제로 완해할 수 있다. 제동강제완해는 전두계전기가 여자되어 있는 운전실의 운전대에 설치된 제동강제완해 버튼을 눌러 이 신호를 제동제어장치로 전달하는 것으로 이루어진다. 종합제어장치에서는 이러한 사항을 알리기 위해 운전실의 운전대에 설치된 제동강제완해 표시등을 점등한다.

### 3. 운전제어모듈 구현 및 결과

#### 3.1 운전제어명령모듈

운전제어명령모듈은 자동열차운전제어장치 또는 주간제어기로부터 역행/제동지령을 추진제어장치 및 제동제어장치로 전송하는 기능을 가지고 있다. 이러한 기능을 수행하기 위하여 종합제어장치는 자동열차운전장치로부터 수신한 정보와 운전실의 운전대로부터 수신한 정보, 그리고 내부 다른 모듈에서 발생한 정보를 이용하여 현재 역행/제동여부, 역행/제동지령값 등의 출력신호를 생성한다. 표 1은 운전제어명령모듈의 입출력신호를 나타낸 것이며, 그림 4는 SCADE를 이용한 운전제어명령모듈 구현결과이다.

표 1. 운전제어명령모듈 입출력신호

	신호명	신호내용
입력	DRXEMOD	비상운전모드
	DRXYMOD	기지운전모드
	DRXMMOD	수동운전모드
	DRXAMOD	자동운전모드
	DRXDMOD	무인운전모드
	DRXMCRV	역행/제동지령값(주간제어기)
	DRXP	역행위치(주간제어기)
	DRXB	제동위치(주간제어기)
	DRXCOA	중립위치(주간제어기)
	DRXPCUT	역행차단
	DRXTEBE	역행/제동지령값(자동열차운전장치)
	DRXAOP	역행(자동열차운전장치)
	DRXAOB	제동(자동열차운전장치)
출력	DRYINB7	주간제어기 B7 위치
	DRYINP	역행중
	DRYINB	제동중
	DRYINCOA	타행중
	DRYTEBE	역행/제동지령출력값

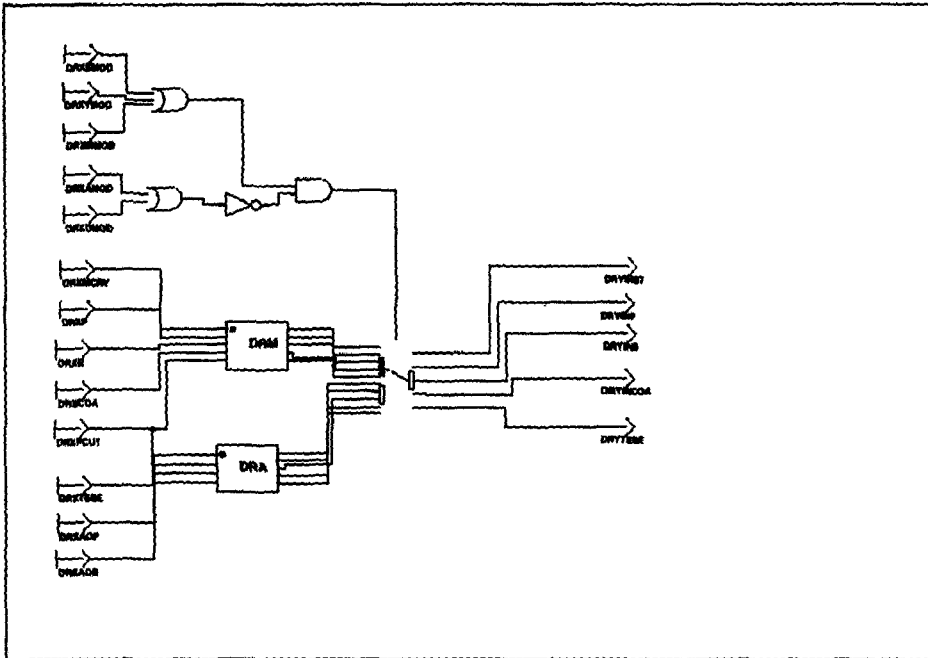


그림 4. SCADE를 이용한 운전제어명령모듈 구현결과

그림 4에서 보는 바와 같이 운전제어명령모듈 내부에는 수동/기지/비상운전모드에 대한 운전제어명령상세모듈과 자동/무인운전모드에 대한 운전제어명령상세모듈이 있으며, 현재 운전모드에 따라 두 개의 상세모듈 중 적절한 상세모듈의 출력을 사용하게 된다. 차량의 운전모드가 자동 또는 무인운전모드인 경우 자동열차제어장치로부터 P, B 지령 및 역행/제동값 지령을 직렬전송으로 수신한다. 이 때 이 값은 -1024~1023의 디지털값으로 변환하여 추진제어장치 및 제동제어장치로 전송한다. 차량의 운전모드가 수동, 기지, 비상운전모드인 경우 운전대에 설치된 주간제어기로부터 P, B 지령 및 0~10V의 아날로그값의 역행/제동값 지령을 입력한다. 이 신호 또한 -1024~1023의 디지털값으로 변환하여 추진제어장치 및 제동제어장치로 전송한다. 이 때 P, B지령이 동시에 on 되는 경우에는 B지령으로 하며 역행/제동값 지령은 B지령에 대응된 신호로 처리한다.

### 3.2 제동제어감시모듈

차량에 있어서 제동제어는 중요한 제어이므로 여러 가지 경로를 통하여 제어가 가능하도록 구성되어 있다. 또한 여러 가지 경우에 있어서 제동기능을 수행할 수 있도록 상용제동, 상용전제동, 비상제동, 보안제동, 주차제동, 정차제동 등의 다양한 종류의 제동이 있다. 상용제동에 대해서는 운전제어명령모듈에서 설명하였으며, 비상제동, 보안제동, 주차제동 등에 대해서는 직접적으로 인통선을 통하여 제어가 이루어지며, 종합제어장치는 현재 상태를 입력받아 운전대의 표시등을 점등하는 것과 같은 감시기능을 하며, 이러한 상태를 추진제어장치, 제동제어장치 등의 다른장치에 전달하는 기능을 한다. 정차제동은 구배 구간으로부터의 출발시에 차량의 밀림을 방지하기 위해 정차중에 정차제동을 출력하는 기능을 가지고 있으며, 종합제어장치는 현재의 운전모드, 자동열차운전장치에서 전송되는 정보(정차제동, 자동열차운전장치 준비상태), 추진제어장치에서 전송되는 정보(전동기전류), 현재속도, P/B/COA 상태 등의 정보를 이용하여 정차제동 출력신호를 각 차량의 제동제어장치로 전송하여 정차제동이 체결되도록 한다. 상용전제동은 상용제동 중에 가장 많은 감속률을 낼 수 있는 제동으로서 여러 가지 조건에 따라서 체결여부가 결정되며, 또한 여러 가지 경

로를 통해서 종합제어장치로 입력신호가 전달된다. 본 논문에서는 이러한 제동기능 중 차량의 이상발생시 가장 먼저 체결되는 상용전제동에 대한 입출력 신호설계 및 모듈 구현방법에 대해서 기술한다. 표 2는 상용전제동 상세모듈에 대한 입출력신호를 나타내었으며, 그림 5는 SCADE를 이용한 상용전제동 상세모듈에 대한 구현결과를 나타내었다.

표 2. 상용전제동모듈 입출력신호

	신호명	신호내용
입력	BCXEMOD	비상운전모드
	BCXYMOD	기지운전모드
	BCXMMOD	수동운전모드
	BCXAMOD	자동운전모드
	BCXDMOD	무인운전모드
	BCXVVVFF	추진장치고장
	BCXECUF	제동장치고장
	BCXBCCSF	Brake Cylinder 고장
	BCXNRB	제동불완해
	BCXATOF	자동열차운전장치 고장
	BCXDOREQ	출입문열림
	BCXACFSB	자동열차제어장치 상용전제동 요구
	BCXDMFSB	dead man s/w 작동에 의한 상용전제동 요구
	BCXINB7	주간제어기 B7 위치
출력	BCYINFSB	상용전제동 체결중
	BCYMSB	Maximum Service Brake
	BCYPCUT	역행 차단

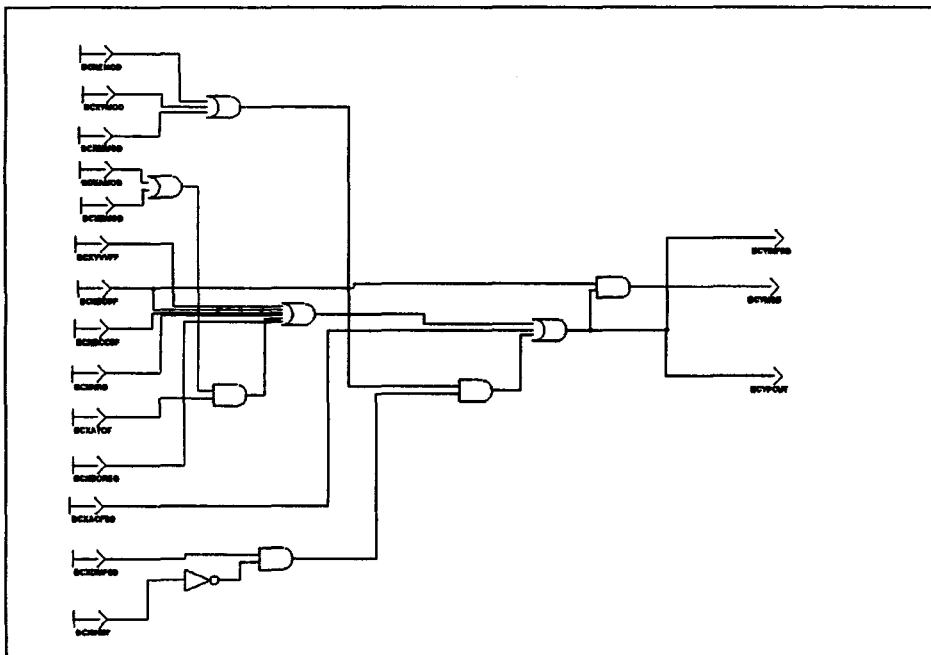


그림 5. SCADE를 이용한 상용전제동모듈 구현결과

그림 5에서 보는 바와 같이 상용전제동은 추진장치고장, 제동장치고장, 제동실린더관련고장, 제동불완해, 출입문열림신호 등의 입력신호가 발생하는 경우와 자동열차제어장치에서 상용전제동체결요구신호가 발행하는 경우에 체결된다. 또한 수동/기지/비상운전모드인 경우 테드맨 스위치가 일정시간동안 동작하지 않는 경우와 자동/무인운전모드인 경우 자동열차운전장치고장신호가 발생한 경우에도 상용전제동이 체결된다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 현재 개발중인 국내 표준전동차에 적용하기 위한 종합제어장치의 주제어 소프트웨어의 구현 방법을 열차운전제어를 중심으로 기술하였다. 열차운전제어에 대한 기능을 독립적인 모듈로 구현함으로써 기능의 수정 및 소프트웨어의 관리가 용이하여 경전철과 같은 유사한 모든 시스템에 쉽게 적용할 수 있다. 또한 Case tool을 이용하여 그래픽형식의 언어를 사용함으로써 소프트웨어의 독해성을 높였으며, 사람에 의한 잘못된 코드작업을 최소로 줄여 안전성과 신뢰성을 높였다.

#### 참고문헌

1. 한성호, 안태기, 김원경, 최규형(1997년), "CASE tool을 이용한 전동차 제어감시장치(TCMS)의 소프트웨어 설계기법", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, A권 pp303-360.
2. 안태기의 4명(1999년), "도시철도차량용 국내 표준모델의 주제어 S/W 개발(1)", 한국철도학회 춘계 학술대회 논문집, pp259-266.
3. 안태기의 4명(1999년), "도시철도차량용 국내 표준모델의 주제어 S/W 개발(2)", 한국철도학회 추계 학술대회 논문집, pp302-309.
4. 한국철도기술연구원, 건설교통부(1998), " '98 종합제어장치 연구개발 보고서"