

# 한국형 표준전동차 종합제어장치(TCMS)의 신뢰성 소프트웨어 개발 기술

## Reliability software design techniques of the Train Control and Monitoring System(TCMS) for the Standard type K-EMU

한성호<sup>1</sup>, 안태기<sup>2</sup>, 이수길<sup>2</sup>, 이관섭<sup>3</sup>, 최규형<sup>3</sup>

Soung-Ho Han, Tae-Ki Ahn, Su-Gil Lee, Kwan-Sup Lee, Kyu-Hyoung Choi

**Key Words** : Train Control and Monitoring System(종합제어장치), Safety Critical Software Engineering Tool(고안전성 소프트웨어개발 툴)

### Abstract

The train control and monitoring system (TCMS) is an on board computer system in railway vehicles performing the control, supervisory and diagnostic functions of the complete train system. This system replaces a lot of hard-wired relays and minimizes the necessary vehicle wiring thus increasing the reliability of the train. It is also one of more important equipment on vehicle to implement much higher safety and reliability train system.

We studied a software design technique of TCMS using a CASE tool that is a kind of safety critical software engineering tool (SCADE). This tool has mainly four functions such as the graphical editor, the document maker, the automatically code generator, and the test simulator. The several functions of TCMS are implemented in this software easily programmed using a functional block diagram and a graphic programming language. We applied to automatically generated TCMS modules on the SCADE each functional block for the Standard type EMU in Korea. We performed the combination test using TCMS simulator and the running test in Seoul subway 7 Line. We proved that this technique is more useful for the software design of TCMS in urban transit

### 1. 서론

최근 도시철도차량분야는 마이크로프로세서 성능 및 통신 인터페이스기술의 급격한 발전에 힘입어 실시간 영역에서의 열차자동/무인 운전

제어 기술 및 고 수준 승객서비스 지원 등 열차 운행에 관한 최신제어기술의 적용이 활발히 연구되고 있다[1,2]. 특히, 열차의 주제어장치로서 차량시스템을 편성단위로 종합관리하는 종합제어장치(TCMS: Train Control and Monitoring System)는 차량의 성능을 궁극적으로 책임지고 있어 높은 신뢰도 및 안전성을 확보한다.

TCMS는 기존의 하드웨어 릴레이 방식으로 처

\*1 정회원, 한국철도기술연구원 선임연구원

\*2 정회원, 한국철도기술연구원 주임연구원

\*3 정회원, 한국철도기술연구원 책임연구원

리되던 제어로직의 상당부분을 소프트웨어 제어 모듈로 대체함으로써 전기 회로의 단순화를 가져왔을 뿐만 아니라 이에 따른 차량내 기기의 고장빈도를 감소시켜줌으로써 차량 시스템 신뢰도를 향상시켜 준다.

또한 차량제어의 핵심장치인 추진 및 제동장치 등과 같은 차량 주요 기기에 대한 제어 및 감시기능 하며 유지보수 및 검수기능을 갖고 있어 차량의 안전운행과 유지관리의 효율성을 확보할 수 있다. 따라서, TCMS의 소프트웨어개발에 있어서 무엇보다도 중요한 것은 어떠한 형태로든 구조적 또는 기능적 오류가 발생해서는 안되며, 이를 위해 기존의 단순한 프로그래밍 접근법이 아닌 보다 체계적이고 유지보수관리가 용이한 신뢰성 소프트웨어 엔지니어링 기법의 접근이 필요하다.

최근 이러한 기술들이 산업분야에서 활발히 연구되고 있으며 사용자의 목적 및 개발환경과 요구분석, 설계, 구현, 검증 등을 단계별로 체계적으로 구현할 수 있는 CASE 툴(computer aided software engineering tool)기술이 대표적이다. 이 기술은 적용범위에 따라 소프트웨어 분석 및 검증을 위한 도구, 모델링 설계 및 구축 도구, 객체지향 분석·설계 도구, 실시간 데이터베이스 조정 도구 등 사용자의 목적에 따라 다양하게 적용되고 있다[3].

본 연구에서는 신뢰성 및 안전성을 보장하는 TCMS의 소프트웨어 개발을 위해 Safety Critical 프로그래밍 전용의 CASE tool인 SCADA를 적용하였다. 이 툴은 다중그래픽편집기능, 자동소스코드생성기능, 시뮬레이터기능으로 구성되어 있으며 현재 항공기, 헬리콥터, 원자력발전소 보호장치, 고속철도 지상신호제어장치(TVM430), 홍콩지하철 등 고도의 신뢰성을 요구하는 산업분야에 적용되고 있다[3].

또한 이 기술을 이용하여 한국형 표준화·국산화 연구개발의 일환으로 제작된 표준 전동차(4량 편성)용 종합제어장치개발에 실제 적용하였다. 특히, TCMS 시뮬레이터를 제작하여 차량탑재 이전단계에서 충분한 조합시험을 실시함으로

써 완성차시험을 단축할 수 있었으며 서울시 지하철 7호선에서 본선 시운전을 실시함으로써 실노선에서의 시스템 신뢰성을 입증 할 수 있었다. 따라서, 이 기술의 적용결과 TCMS개발에 이 기술을 적용한 결과 시스템의 안전성과 신뢰성 확보가 입증되었으며 개발기간의 단축 및 유지보수비용의 축소 효과를 얻을 수 있었다.

## 2. 도시철도차량 종합제어장치(TCMS)

### 2.1 TCMS의 구성 및 기능

TCMS는 편성제어컴퓨터(train computer), 차량 제어컴퓨터(car computer), 모니터장치(display unit) 및 기타 부수 장치로 그림 1과 같이 구성되며 고전압장치, 추진제어장치, 제동장치, 보조 전원장치 등과 입·출력신호 및 통신프로토콜을 통해 제어 및 감시 기능을 수행한다[4,5].

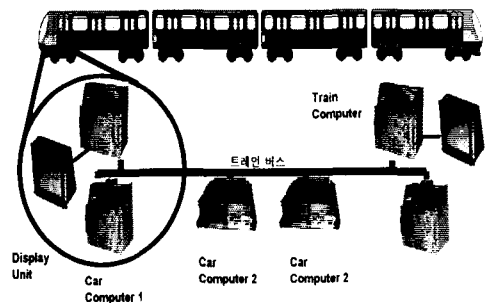


Fig. 1 System configuration of TCMS

TCMS의 각 컴퓨터가 수행하는 주요기능들은 제어 및 감시 대상 기기의 종류에 따라 각각의 소프트웨어 모듈로 구분된다. 판토타그래프, 소비전력량 등의 제어·감시기능을 처리하는 고전압제어모듈, 제동장치의 제동지령 및 감시기능용 제동제어모듈, 추진제어장치의 역행제어 및 감시용 견인제어모듈, 보조전원장치 및 배터리의 제어·감시용 보조전원제어모듈, 주·보조 공기압축기 장치의 기동제어 및 감시기능을 처리하는 공기압축기제어모듈 등 세부기능별로 20개의 각 모

들로 구성된다.

각 기능별 주요모듈과 세부모듈을 표 1에 정리하였다.

**Table 1 Module list of each Functions**

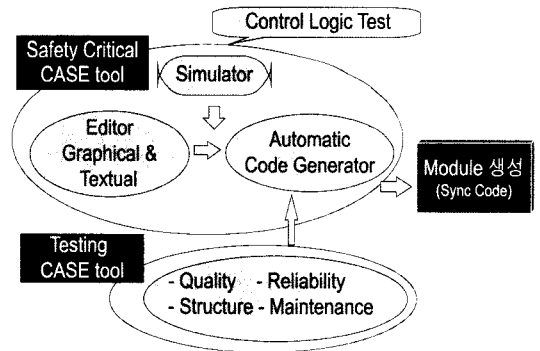
기능구분	주요 모듈명	세부 모듈명
운전명령제어	운전모드제어	DRC, DRM
	HCR제어	HCC, HCM
	테드밴제어	DMC, DMM
	속도계산	VEC
	운전모드입출력	MCC, MCM
출입문제어	출입문제어	DCCONTROL, DCCM, DCCC
	출입문안내	DIC
고 전 압	팬토그래프 상승/하강	ESPD, ESPU, ESEP
	보조공기압축기	ESAC
추진	VVVF제어/감시	VFCC, VVFM
보조전원	보조전원장치(SIV)	SIVM
	배터리제어감시	BACC, BACM
공기압축기	공기압축기제어	COC, COM
신호보안장치 지원기능	ATC지원	ACC
	ATO지원	AOC, AOM
	TWC열번지원	TNC, TWCM, TWV
제동냉방	제동제어/감시	BCC, BCM
	HVAC제어	HVC, HVCM
	방송장치	PAC, PAM
승객서비스 장치	표시기장치	PIC, PISCN
	무선장치	TRCPM
	승객경보	PMCC, PMCM
	승객하중	OLC, OLM
기타기능	마스터클럭	MK
	차량경보정	WDC, WDM
	정지속도감지	ZVR
	조명제어	LCCC, LCCM
감수지원	차상감수	PDT, INSPEC

**2.2 TCMS 신뢰성 소프트웨어 개발 기법**

도시철도차량용 TCMS의 소프트웨어 개발은 고도의 신뢰성이 요구되며 규모 또한 방대하므로 설계단계와 제작 및 유지보수 측면에서 분

때 체계적인 기법을 적용하는 것이 바람직하다. 최근 소프트웨어 공학분야에 활발하게 도입되고 있는 CASE tool은 사용자에게 소프트웨어의 요구분석, 설계, 구현의 전반적인 지원과 개발의 자동화 및 컴퓨터와 그래픽기능의 활용, 생산성향상을 위한 공학기법 등을 제공한다. 또한 소프트웨어 개발기간의 단축 및 개발비용의 절감과 생산성향상, 고품질의 시스템개발을 지원하며 유지보수의 용이함과 비용절감을 가능하게 한다[3].

도시철도차량용 TCMS의 소프트웨어개발에 있어서 CASE tool의 적용은 크게 세 가지 범위에서 고려된다. 즉 설계 및 제작단계에서의 모듈기능별 제어로직의 구현, 작성된 소스코드의 기능검증을 위한 시뮬레이션과 구조적 오류검증, 마지막으로 이를 쉽게 수정 보완하고 문서화 할 수 있는 유지보수기능이다.



**Fig. 2 Procedure of S/W engineering using tool**

이상의 세 가지 단계별 CASE tool의 적용에 따른 기능별 모듈 생성 절차를 그림 2에 나타내었다. 구현하고자 하는 각 모듈의 제어로직은 그래픽편집기 또는 텍스트 편집을 통해 입력되어 그래픽심벌 또는 라이브러리 함수를 토대로 불러워진다. 또한, 자동코드생성기능을 통해 소스코드(ANSI C)수준을 생성하며, 시뮬레이터기능을 이용하여 모듈의 제어기능을 검증한다. 또한 소스코드 수준에서의 프로그램의 신뢰성 검증을 위해 검증용 툴인 Logiscope를 이용하여 소프트웨어의 품질, 신뢰도, 구조 등을 분석하고 유지

보수측면에서의 텍스트의 복잡도, 유사성 등을 측정하며 이를 수정·보완하고 관리한다.

### 3. TCMS S/W 모듈생성 및 신뢰성 검증

#### 3.1 모듈생성을 위한 제어로직 구현

기본설계단계에서 요구분석에 따른 기능이 설정되고 이에 따른 입출력신호와 통신프로토콜이 완성되면 모듈의 분류와 설계가 가능해진다. 모듈별 제어로직의 구현방법은 두 가지가 있는데 그래픽 편집기를 이용하여 구현하는 방법과 텍스트 편집기로 입력하는 방법이다. 이들 모듈들은 연관성에 따라 계층적 구조를 갖게되며 자주 사용되는 특수 기능들은 블록함수 단위로 심벌화가 가능하므로 라이브러리로 처리하여 사용할 수 있다.

그림 3은 기능별로 구현된 모듈을 SCADE 통합환경에서 전체적으로 보여주고 있으며 그림 4는 각 모듈의 연관성을 확인할 수 있는 계층적 구조를 보여준다.

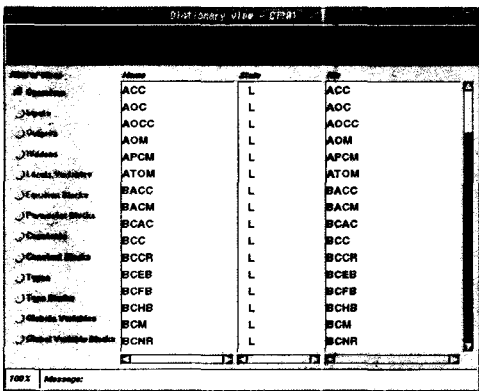


Fig. 3 Modules implemented by SCADE

전체 TCMS 제어기능 가운데 출입문제어와 관련한 DCCC 모듈을 그래픽 편집기로 구현한 모습을 그림 5에 나타내었다. 차량의 모든 출입문 개폐기능은 편성제어컴퓨터(TC)와 차량제어컴퓨터(CC)를 통해 각 차량별로 이루어진다. 이 모듈

은 차량제어 컴퓨터의 고장시에도 정상적인 출입문개폐가 이루어질 수 있도록 하는 출입문 백업기능을 수행한다. 따라서 비상출입문제어함수(DCEMC)와 비상출입문감시함수(DCEMM)와 이와 관련된 입·출력 파라미터로 표현된다

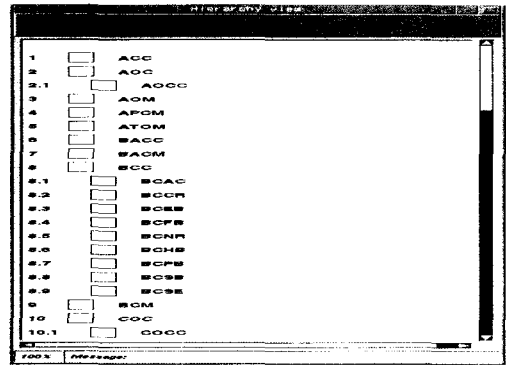


Fig. 4 Hierarchy view of modules

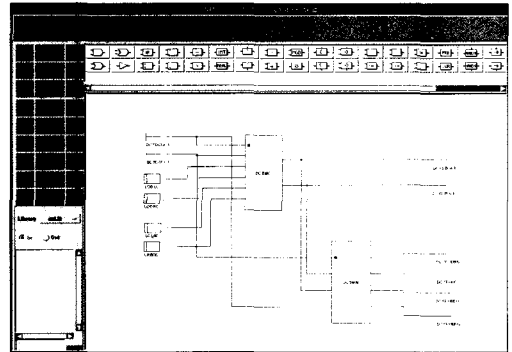


Fig. 5 Graphical input of DCCC module

#### 3.2 모듈기능 및 소스코드의 신뢰성 테스트

작성된 각 모듈은 독립된 기능을 수행하도록 구현되었으나 실제로는 입·출력이 서로 연관되어 동작한다. 따라서 구현된 모듈의 기능을 검증하기 위해서는 관련 입출력 환경을 구성해 주어야 제대로 기능을 수행하는지의 여부가 파악된다. 이는 개발자 측면에서 볼 때 상당히 복잡하고 번거로운 문제가 되며 프로그램 개발기간의 지연요소가 된다. 그러나 본 연구에서는 별도의 프로그램 추가 작업 없이 각 함수의 기능만을 독



는 TCMS와 연계되는 타 기기의 입·출력신호와 통신인터페이스를 실 시간으로 제공하며 고장시나리오에 따른 차량의 상태를 자동으로 만들어 낼 수 있는 TCMS시뮬레이터를 제작하였다. 이 시뮬레이터는 10량 편성단위의 조합시험을 실시할 수 있으며 각종 다양한 인터페이스 기능을 갖추고 있고 다른 차량시스템의 제어장치에도 활용할 수 있도록 고안하였다. 또한 필요에 따라 실제 장치와 함께 연계한 조합시험도 가능하다. 그림 9는 시뮬레이터를 이용한 조합시험 모습을 나타낸 것이다.



Fig. 9 Combination test using TCMS simulator

표준전동차의 본선시운전은 서울시 도시철도공사(SMRT)가 운영하고 있는 서울시 지하철 7호선 미개통구간(보라매↔청담)약 14.778[km]에서 실시하였으며 노선설비에 대한 상세 정보는 표 3에 나타내었다. 이 구간은 서울시가 7호선 2단계 개통(2000년 8월예정)을 위해 시운전을 실시하고 있으며 본 차량은 이들 열차다이에 편성되어 시험하였다. 표준전동차 자동운전제어 주행시험 결과를 속도-거리곡선으로 표현되는 속도 프로파일 형태로 그림 10과 그림 11에 나타내었다

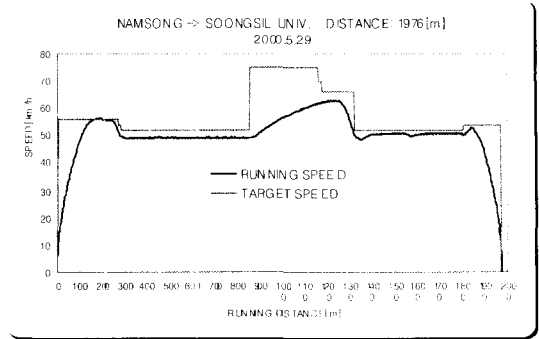
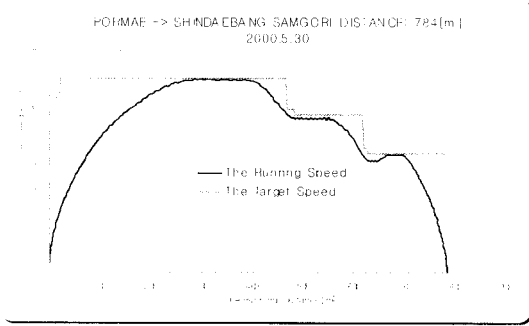


Fig. 10 The speed profile of the New Seoul 7 line (NAMSONG→SOONGSIL UNIV.)

Table 3 Informations of the new 7 line

역명	상 행(서→동)		하 행(동→서)	
	거리(m)	폐색수	거리(m)	폐색수
보라매↔ 신대방삼거리	784	3	793	6
신대방삼거리 ↔ 장승배기	1,152	5	1,158	4
장승배기↔ 상도	941	3	938	3
상도↔송실대	908	5	906	4
송실대↔남성	1,973	8	1,976	5
남성↔이수	1,011	5	1,021	6
이수↔내방	1,042	7	1,030	5
내방↔ 고속터미널	2,204	8	2,206	7
고속터미널↔ 반포	916	4	919	4
반포↔논현	846	5	845	5
논현↔학동	994	7	994	6
학동↔ 강남구청	899	4	898	5
강남구청↔ 청담	1,108	5	1,105	6



**Fig. 11 The speed profile of the New Seoul 7 line (PORAMAE→SHINDAEBANG SAMGORI)**

그림 12는 개발된 TCMS를 탑재한 표준전동차가 7호선 본선에서 시험운행하고 있는 모습을 보여주고 있다.

### 5. 결론

본 연구는 전동차의 안전운행 및 주행성능에 있어서 가장 중요한 역할을 담당하는 TCMS의 소프트웨어개발기법을 소개하였다. 이 기법의 도입으로 복잡하고 방대한 양의 TCMS 소프트웨어를 체계적으로 관리할 수 있게 되었으며, 전체 모듈에 대한 라이브러리를 구축함으로써 향후 개발되는 다양한 시스템의 기능들도 용이하게 적용할 수 있게 되었다.



**Fig. 12 Picture of Korea EMU in Line 7**

또한, 표준전동차 조합시험과 서울시 7호선 본선시운전을 실시함으로써 시뮬레이션뿐만 아니라 실증시험을 통한 장치의 신뢰성을 검증할 수 있었다. 따라서, 표준전동차에 적용된 CASE tool을 이용한 개발기법은 코드의 설계 및 구현단계에서 정적, 동적분석을 통한 품질 검증을 실시함으로써 신뢰성을 확보하였으며 전체 시스템 개발기간을 30% 절감하는 효과를 얻을 수 있었다. 이러한 개발방법은 도시철도차량 뿐만 아니라 경량전철이나 고속철도 등 다른 차량시스템에도 적용이 가능하며 시스템엔지니어링 측면에서 볼 때 국내 기술에 의한 철도차량용 CASE tool의 개발이 절실히 요구된다.

### 참고 문헌

1. K.J. Gemmeke, "Experiences with the implementation of the train communication network", Computers in RailwaysIV, Vol.1, pp253~267, 1994.
2. Motoo Kusakari, Masaharu Sakuma, Eisuke Isobe, Tadashi Takaoka, "On-Board Train Information Control Network Systems", Hitachi Review Vol.40, No.4 pp303~308, 1991.
3. G. Legoff, P.Sainton, "Using Synchronous Language for Signalling".
4. 서울특별시 도시철도공사, "서울시 지하철 5호선(336량) 전차정비지침서", 제4권-VII장, 1995.
5. 서울특별시 도시철도공사, "서울시 +-지하철 7, 8호선(226량) 전차정비지침서", 제3권-VII, 1996.
6. Peter Pudney and Phil Howlett, "Optimal Driving Strategies for a Train Journey with Speed Limits", J. Austral. Math. Soc. Ser. B36, pp38-39, 1994
7. P.G.Howlett and P.J.Pudney, "Energy-Efficient Train Control", Springer, pp215-228, 1995
8. Chang.C.S and Sim.S.S, "Optimising train movements through coast control using genetic algorithms", IEE proc. Electr. Power. Vol.144, No.1, pp65-73,1997.
9. Shih-Jer Huang외, "Fuzzy Control of Automatic Train Operation System" International Journal of Modelling and Simulation, Vol 17, No2, 1997