

고속전철용 Cab Cubicle의 이상검출과 고장부위 추정에 관한 연구

A Study on Fault Detection and Fault Device Estimation Method
for Cab Cubicle in High Speed Electrical Train

장영건*
Jang, Young-gun

조경환**,
Jo, Kyong-hwan

박계서***
Park, Gye-Seo

최권희****
Choi, Kwon-hee

ABSTRACT

This study is about fault detection and fault area detection of LV circuit in Cab Cubicle system which have control of train to keep safety in High Speed Train. LV circuit is operated with diagnosis system like safety system.

In this paper, we suggest a design and an implementation method to detect fault or to detect fault area automatically about LV circuit.

The implemented system is tested successfully after implementation of some function. We expect reduction to diagnosis area or repair time by fault area module

1. 서론

우리 나라의 철도는 도로망이 여객이나 화물 수송에 있어서 이미 적정 한계에 도달하여 그 중요성이 부각되고 있으며, 대량 고속운송체계에 대한 필요 때문에 고속철도가 건설되고 있으며, 조만간 시험구간 건설이 완료되어 시험에 들어갈 예정이다. 현재 국내에서는 프랑스에서부터 도입되고 있는 TGV-K 기술을 기초로 하여 한국형 고속전철 시스템 개발 및 그 관련 핵심기술 확보를 위하여 G7 사업으로 고속전철 기술개발 사업이 추진되고 있는 상태이다.

국내에 고속전철 기술개발 사업이 추진된 이후에 열차의 성능향상과 기술확보에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 고속전철용 Cab Cubicle장치는 차량을 운행하고 감시하는 각종 장치가 하나의

-
- 1) 청주대학교 컴퓨터정보공학과 교수
 - 2) 청주대학교 전산정보공학과 석사과정
 - 3) 한국철도 차량 주식회사 연구원
 - 4) 한국철도 차량 주식회사 연구원

캐비닛으로 구성되어 동력차에 탑재되어 있는 장치이며, 이러한 Cab Cubicle장치는 승객의 안전성에 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 높은 신뢰성이 요구된다.

Cab Cubicle 장치에는 스위치의 입력 조합에 따른 LV회로가 있으며, 입출력에 의하여 열차내의 기기 들을 제어하고 있다. Cab Cubicle의 이상 검출을 위해서는 진단 컴퓨터가 사용되며, 이상이 검출되면 LV회로와 진단 컴퓨터가 이중적으로 열차내의 승객의 안전성과 기기를 보호하면서 정해진 절차에 따라 운전을 자동적으로 멈추게 된다. 따라서 LV회로의 이상은 치명적인 사고로 이어질 수 있어 매우 높은 신뢰성이 요구된다. 개발된 LV회로의 기능, 성능적 적합성을 평가하고, 개발의 신뢰성을 보장하기 위해서는 장기간에 걸친 Lab 수준과 실차 시험이 요구되며, 본 연구는 이 시험에 동원되는 평가시스템의 일부로서 LV회로의 이상을 검출하고, 이상이 검출되면 그 원인을 추적할 수 있는 방법과 설계에 관한 것이다. 본 연구에서는 그 LV회로의 신뢰성을 평가를 위하여 소프트웨어 로직을 이용한 방법론을 제시한다. 또한, 소프트웨어 로직구현에 있어 입·출력 조합에 따른 문제점을 살펴보고, 그 해결방안을 제시한다.

2. 이상검출 및 고장부위 추정 방식

본 연구에서는 H/W로 구성된 LV회로의 기능, 성능적 적합성과 신뢰성을 평가하기 위하여 LV의 설계와 동일한 논리를 S/W적으로 구현하고, LV회로에 인가되는 각종 입력을 Cab Cubicle의 개입없이 가상적으로 설정할 수 있고, 해당 프로그램을 구동하여 그 출력을 관찰하는 도구를 개발하였다(그림1). 이 도구를 사용하여 LV회로의 동작성을 시뮬레이션 할 수 있다. 또한 열차네트워크와 연동하여 LV회로의 입출력 정보를 감시하고, 동시에 내부 S/W로직을 구동하여 같은 결과인지를 판별하고, 다른 결과가 나타나면 이상 현상이 발생한 것으로 판단하여 그 결과와 그 이전결과들을 데이터 베이스에 로깅하고, 분석할 수 있다. LV회로의 논리를 계층적으로 구현하는 또 하나의 S/W도구를 개발하고(그림4), 로깅된 데이터베이스를 이용하여 로직의 상관관계와 사용 게이트의 빈도를 분석하여 이상 현상이 일어날 수 없는 로직부를 배제하고, 이상 확률이 높은 부위를 지정하는 고장 추정 알고리즘을 구현하였다.

2.1 Cab Cubicle

Cab Cubicle장치는 차량을 운행하고 감시하는 각종 장치가 하나의 캐비닛으로 구성되어 동력차에 탑재되어 있는 장치이다. 그 주요제어 회로는 동력차량 전/후진 선택제어, Pantograph 제어/속도의 표시 및 공기압, Preset Speed 제어, 추진장치 제어, 제동장치 제어, 보존전원 블록 제어, 670VDC 연장급전 제어, 열차 상태/고장 표시등 제어 및 여압시스템 제어, Lighting 제어, Vigilance(경계) 제어, Train Speed Limit 제어, ATS 제어, 열차운행 비상조건 제어, Radio장치 제어 등이 있다.

Cab Cubicle내에는 각종 제어 스위치류 (Push Button, CAM SW, 및 저압차단 SW)등에 의해 기기 제어를 담당하는 LV 회로가 포함되어 있다.

2.2 LV 회로 고장모드

시스템을 구성하는 여러 가지 부품 또는 기능 중에서 어느 한 가지를 보증할 수 없거나 부분적으로만 보증할 경우 시스템의 일부 부품 또는 기능에서는 고장이 발생할 수 있다. 고장 발생은 곧 기능 상실을 의미한다. 일반적으로 고장 모드는 다음과 같이 구분하여 나타낼 수 있고, 표 1과 같이 고장의 성격에 따라 세부적으로 나타낼 수 있다.

- 조기동작
- 예정된 시간에 동작 없음
- 예정된 시간에 정지 없음
- 고장운전

표 1 일반적인 고장의 리스트

- 구조적 고장	- 외부누출	- 정지고장
- 기계적 결합	- 상한선초과	- switch 고장
- 진동	- 하한선 초과	- 조기동작
- 열림고장	- 예상밖의 동작	- 지연동작
- 닫힘고장	- 간헐적인 동작	- 입력에러
- 열림위치 결합	- 불규칙 동작	- 출력에러
- 닫힘위치 결합	- 지시결합	- 회로차단
- 내부누출	- 출발고장	- 회로개방

2.3 입출력 정보

Cab Cubicle의 기능은 크게 28개의 기능(제어전원 공급 및 제어부분, 운전실 및 전 후진 제어, Pantograph 제어 및 기타 25기능)으로 나눌 수 있으며 LV로직은 많은 입·출력 정보를 가지고 있지만 본 연구에서는 릴레이 로직과 관계가 있는 126개의 입력정보, 104개의 출력정보를 대상으로 한다. 그러나 각 출력정보는 입력정보와 더불어 연산이 되므로 이러한 부분은 고려해야 한다.

2.4 TCN(Train Communication Network)

TCN은 국제 전기위원회(IEC)와 국제철도조합(UIC)의 철도차량간의 프로그램이 가능한 장치들을 서로 상호접속 할 수 있도록 하는 열차 통신 Network의 표준이다.

TCN은 열차버스와 다기능 차량버스로 구성되는데, 유선열차버스(WTB)는 쌍도선으로 860m 정도의 거리에서 1Mbps로 동작하며, 차량의 자동 숫자화, 결합기 연결기의 청소와 같은 특별한 기능을 제공한다. 다기능차량버스(MVB)는 쌍도선에서 1.5Mbps의 속도로 동작하며 주기적으로 보내는 방송과 호출/응답으로 이루어지는 메시지의 두 가지 전송 서비스를 제공한다. TCN은 7층 구조를 지원하며, 논리적 주소를 이용하여 메시지 패킷을 분배 전송한다. 각 LV입출력 정보는 이 TCN을 통하여 이동한다.

3. 시물레이션

시물레이션은 LG산전의 GMwin을 사용한 PLC프로그래밍으로 작성하였다. 표 2는 판토히그래프에 대한 일부 로직의 등가표현이다. 이 릴레이 동작조건에 대한 등가식을 그림 1과 같이 PLC 프로그래밍으로 작성한 후 그 결과를 그림 2에 표시하였다.

표 2. 판토프래프의 릴레이 동작조건

□R-CNSR-01
((R-SB-13 + SW-PT-01) * PB-SR-01) + (R-OPVCB-02 + PB-CNSR-01) + OS2-RCNSR01 + OS1-RCNSR01
□R-CNSR-02
((R-SB-13 + SW-PT-01) * PB-SR-01) + (R-OPVCB-02 + PB-CNSR-01) + OS2-RCNSR01 + OS1-RCNSR01
□R-SR-01
(R-SB-06 * PB-SR-01) + (R-SR-01 * /R-CNSR-01 * /R-CNSR-02)

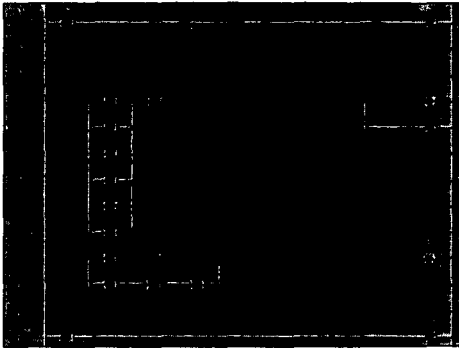


그림 1. PLC Simulation 화면

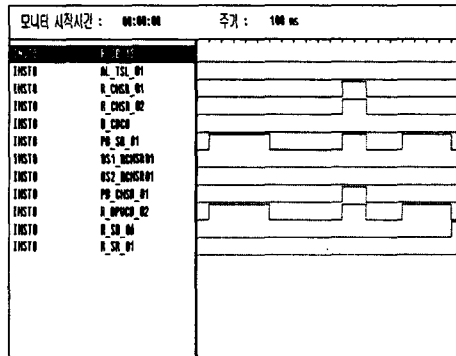


그림 2. PLC 동작 모니터링

4. 로직 신뢰성 평가

로직에 대한 평가는 Cab Cubicle의 LV회로로부터 생성된 입·출력 정보 및 Sub-system의 정보를 무선으로 연결된 평가용 컴퓨터에 전송하여 데이터베이스에 저장되며, 데이터베이스에 저장된 정보를 이용하여 평가 모듈은 각 소프트웨어 로직을 이용하여 비교 평가를 하고 그 결과를 출력한다.

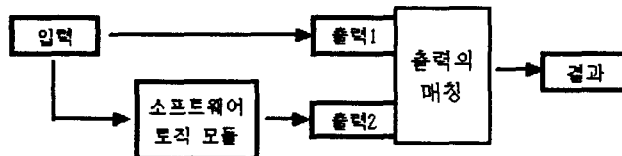


그림 3. 이상점출기능의 구성도

그림 3은 로직평가에는 각각의 입출력의 연관성과 고장에 관한 자료를 출력하는 것이다. 예를 들면, 식(1)에서 R1의 출력은 S2, R2, S1, R2와 관계가 있다. 식(2)에서 R2의 출력은 S2, R2, R6, R4, R5, R3, S8, R5, R3에 관계가 있다. 각 로직에 대한 프로그램으로 구현된 로직과, 실제 발생된 정보와의 매칭여부로 로직의 신뢰성을 결정할 수 있다.

$$R1 = (\overline{S2} + R2) \cdot \overline{S1} \cdot R2 \quad (1)$$

$$R2 = (\overline{S2} + R2) \cdot \overline{R6} \cdot \overline{R4} \cdot ((\overline{R5} \cdot R3) + (\overline{S8} \cdot R5 \cdot \overline{R3})) \quad (2)$$

또한, 각 스위치에 연관된 정보들을 추출하여 에러 발생시 각 로직에 대한 중요도를 인가하여 고장 발생지를 추측할 수 있다. 각각의 로직은 계층적으로 기능화 하여, 프로그램, 패키지, 그룹, 블록의 단계로 구성하여 사용자 인터페이스를 편리하도록 한다. 각 로직의 기능 블록은 AND, OR, NOT으로 구성되고, 각 기능 블록의 묶음은 기능그룹으로 설정한다. 패키지는 하나의 기능에 관한 사항으로 설정하면 사용자는 각 그룹 및 패키지의 관리를 원활히 할 수 있고, 작동상태를 볼 수 있으며, 서로의 연관성을 볼 수 있게 된다. 즉, 하나의 입력 변화에 대하여 각 로직 모듈에 의한 변화 상태를 알 수 있다.

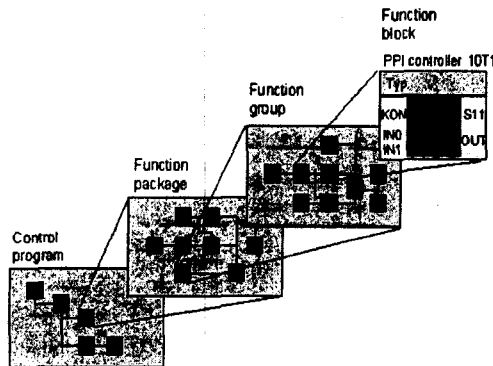


그림 4. 고장부위 추정을 위한 계층적 Logic Module 구성

식(1-2)에서 R2의 불량 입력조건인 출력 R2는 비정상 출력이 발생한다. R2는 R1의 입력조건이 되므로 R2의 입력조건인 불량이 발생하면, 순차적으로 R2 및 R1의 출력에 영향을 미치는 결과가 된다. 이러한 문제점에 대하여 하드웨어 로직구현에서는 여유도를 이용해야 할 것이다.

예를 들면 $R1=A+B+C$, $R2=A+B+C$ 이고 $R2=R1 \cdot C \cdot D$ 이면, $R2=R2 \cdot D + C + R1 \cdot D$ 와 같이 표현되어야 한다. 그렇지 않으면 한 소자의 불량 발생시 연쇄적으로 잘못된 연산으로 인한 시스템 정지가 생길 수 있으며, 이러한 것은 열차에 대한 안정성에 많은 영향을 끼칠 것이다. 소프트웨어 로직을 이용하면 하나의 입력조건에 대한 영향을 미치는 소자를 판단할 수 있다. 이러한 방법을 이용하여 중요한 출력조건인 경우는 입력조건을 분리하는 여유도를 사용해야 한다.

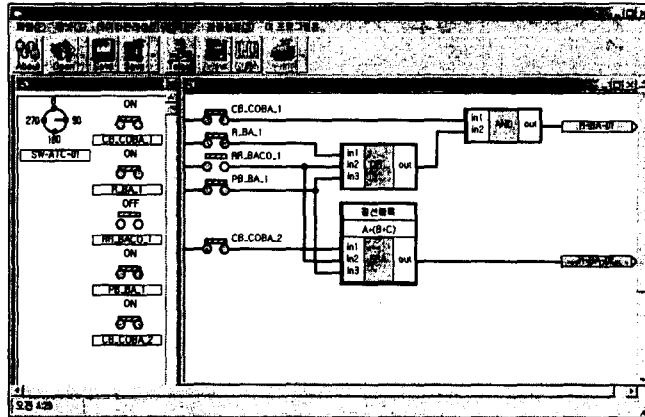


그림 5. Logic Module 구현 예

그림 5는 소프트웨어 로직을 이용한 출력화면을 구현한 것이다. 각 입력에 대하여 출력을 알 수 있다. 따라서, LV회로와의 불일치가 발생한 블록이 있다면, 어떤 블록이 문제가 있는지를 쉽게 알 수 있다.

4. 결론 및 향후 발전방향

본 연구에서는 고속전철의 Cab Cubicle장치의 LV회로 기능을 PLC로 구현 및 소프트웨어 로직을 구현하고, 그 타당성을 시험하는 방안을 제시하였다. 시험방법으로는 LV 입출력 테이블을 대상으로 발생된 입·출력 정보를 평가 컴퓨터의 소프트웨어 로직에 인가하여, 예상 출력과의 매칭 여부를 통하여 그 타당성과 신뢰성을 검증하는 방식으로 이러한 방법론은 여타 기기의 기능, 성능 및 신뢰성을 검증하는데 공통적으로 사용될 수 있을 것이다. 또한 이러한 방법에서 고장 근원지에 대한 추출이 가능하고, 한 입력에 대하여 연관된 출력을 분석함으로써, 하드웨어의 Redundancy에 대한 방안도 고려할 수 있을 것이다.

현재는 평가 프로그램에서 일부의 소프트웨어 모듈을 정의하였지만 향후 Cab Cubicle의 기기들의 성능, 기능 및 신뢰성 검사를 위하여 좀 더 자세한 기능 블록들에 대한 소프트웨어 모듈을 개발할 것이며, 이러한 기능 블록의 결과들을 분석하는 고장 모드 등과 같은 기본체계가 필요할 것이다. 이 연구는 Cab Cubicle에 사용된 기기에 대한 시험평가를 좀 더 용이하게 정량화 시키며, 신뢰성을 장기적으로 평가하는데 기여할 수 있을 것이다.

후기

본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 청주대학교 정보통신연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. Joanne Bechta Dugan(1989년), "Fault Trees and Imperfect Coverage" IEEE
2. 김종기(1999년), "고속, 고밀도 안전운행을 위한 전기·신호통신기술", 한국철도기술 18호
3. 한성호(1998년), "표준전동차 종합제어장치(TCMS)의 소프트웨어개발", 한국철도기술 17호
4. KRRI(1998년), "System Requirement for High Speed Rail System Development", Technical Report
5. Hubert Kirrman, "IEC/IEEE Train Communication Network", ABB Corporate Research
6. K. Arvind, K. Ramamrithanm, J.A. Stankovic(1991년), "A local area network architecture for communication in destributed real-time systems", Technical Report 91-04