

신뢰성 평가를 위한 LV 회로
분석시뮬레이터 구현에 관한 연구
A Study on Implementation of LV circuit
analysis simulator for Reliability Evaluation

장영건* 조경환** 박계서*** 최권희****
Jang, Young-gun Jo, Kyong-hwan Park, Kei-Seo Choi, Kwon-hee

ABSTRACT

This study is concerned with analysis and reliability evaluation of LV circuit in Cab Cubicle system which controls train to keep safety in High Speed Train. LV circuit is operated with diagnosis system as safety system.

In this paper, we suggest a design and an implementation method to analyze LV circuit or trace fault area in LV circuit. This simulator uses 28 package modules and examines input and output by equations. So, user can trace where is fault area.

The implemented system can be expected to be useful for long term test and evaluation of circuit in high speed train systems. We expect reduction to diagnosis area or repair time by this simulator.

1. 서 론

국내의 철도망은 여객이나 화물 수송에 있어서 이미 적정 한계에 도달하여 그 중요성이 날로 증가하고 있어, 프랑스에서부터 도입되고 있는 TGV-K 기술을 기초로 하여 한국형 고속전철 시스템 개발 및 그 관련 핵심기술 확보를 위하여 G7사업으로 고속전철 기술개발 사업이 추진되고 있는 상태이다.

고속전철용 Cab Cubicle장치는 차량을 운행하고 감시하는 각종 장치가 하나의 캐비닛으로 구성되어 동력차에 탑재되어 있는 장치로, 승객의 안전성에 밀접한 관계를 가지고 있다. Cab Cubicle 장치에는 스위치의 입력 조합에 따른 LV회로가 있으며, 입출력에 의하여 열차내의 기기 들을 제어하고 있다. Cab Cubicle의 이상 검출을 위해서 진단 컴퓨터가 사용되며, 이상이 검출되면 LV 회로와 진단 컴퓨터가 이중적으로 열차내의 승객의 안전성과 기기를 보호하면서 정해진 절차에

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

따라 운전을 자동적으로 멈추게 한다. 따라서 LV회로의 이상은 치명적인 사고로 이어질 수 있어 매우 높은 신뢰성이 요구된다.

그래서, 본 연구는 LV 로직에 대하여 등가식으로 표현하고, 이 등가식을 이용하여 LV회로의 신호상태와 신호별 연관 체계를 분석할 수 있는 평가 분석 소프트웨어를 제작하였다. 각 신호의 이상여부를 판별하여, 그 신호에 영향을 주는 모듈 블록을 검사함으로써 각 모듈의 중요도를 측정할 수 있다. 또, 신호들에 대한 영향을 주는 모듈의 이상여부를 판별함으로써, 고장 발생 모듈을 추적할 수 있다. 이러한 연구는 단기적으로는 Cab Cubicle의 신뢰성 확보를 위한 기본적인 체계 구축에 필수 불가결할 것이며, 장기적으로 자체 연구 개발된 제품을 고속전철 및 전동차에 도입하기 위하여 거쳐야 하는 시험평가를 좀더 용이하고, 정량화시키며, 기기의 신뢰성을 평가하고 확보하는데 기여할 수 있을 것이다.

2. 본 론

2.1. Cab Cubicle 장치

Cab Cubicle장치⁽¹⁾는 차량을 운행하고 감시하는 각종 장치가 하나의 캐비닛으로 구성되어 동력차에 탑재되어 있는 장치이다. 그 주요제어 회로⁽²⁻³⁾는 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 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 회로의 등가변환

Cab Cubicle의 기능은 크게 28개의 기능(제어전원 공급 및 제어부문, 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 총 264개의 입출력정보를 대상으로 하며 이중 출력정보는 104이다.

본 LV로직 등가식은 2000년 3월에 작성된 회로도⁽⁴⁻⁵⁾를 기준으로 하였으며, 각 로직은 AND, OR, NOT, NAND, NOR로 구성되어 있다.

표 1 . 판토티그래프의 릴레이 동작조건의 예

<input type="checkbox"/> R-CNSR-01 $((R-SB-13 + SW-PT-01) * PB-SR-01) + (R-OPVCB-02 + PB-CNSR-01) + OS2-RCNSR01 + OS1-RCNSR01$
<input type="checkbox"/> R-CNSR-02 $((R-SB-13 + SW-PT-01) * PB-SR-01) + (R-OPVCB-02 + PB-CNSR-01) + OS2-RCNSR01 + OS1-RCNSR01$
<input type="checkbox"/> R-SR-01 $(R-SB-06 * PB-SR-01) + (R-SR-01 * /R-CNSR-01 * /R-CNSR-02)$

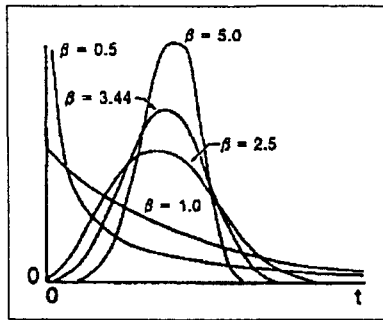


그림 2 . 여러 Shape Parameter에 따른 PDF

상기 양변에 자연대수를 두 번 취하여 정리하면 다음과 같은 직선식으로 놓아질 수 있다.

$$Y = \beta X - \beta \ln \eta \quad (\text{식 4})$$

신뢰도 측정방법을 이용한 고장진단 전문가 시스템 지원에 편리한 신뢰도 계산 방법을 사용하였다. n개의 데이터상에서 j번째 고장시간을 기준으로 할 때 (j-1)개의 고장은 이미 발생하였고 한 개의 고장이 발생하였으므로 나머지 (n-j)고장은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

표 2 . 각각의 결과가 발생할 확률

Number of Outcomes	Probability
j - 1	F(t _j)
1	f(t _j)dt
n - j	1 - F(t _j)

$$\frac{n!}{(j-1)!1!(n-j)!} [F(t_j)]^{j-1} f(t_j) dt \times [1 - F(t_j)]^{n-j} \quad (\text{식 5})$$

상기 pdf의 면적 부분이 50%가 되는 F(t_j)의 값을 구하여 이를 Median Rank값이라 하며 상기와 같은 이벤트가 생길 가능성을 가능한 한 크게 하는 F(t_j)의 값이라 한다. 이러한 F(t_j)의 값은 n과 j의 값에 따라 미리 계산되어 통상 median rank table이라고 불리는 표에 그 값이 열거되어 있다. 실용적으로 F(t_j)는 다음과 같은 개략으로 사용하여도 된다.

$$F(t_j) = \frac{j-0.3}{n+0.4} \quad (\text{식 6})$$

식 6 은 샘플사이즈가 30이상인 경우에 해당되며, 여기서 n은 전체 표본(sample)수이다. Median Rank값 대신 F(t_j)의 기대값을 사용할 수도 있으며 이 경우 다음과 같다.

$$E(F(t_j)) = \frac{j}{n+1} \quad (\text{식 7})$$

따라서, 본 연구에서는 전문가 시스템에서 사용하기 쉬운 신뢰도 계산방법을 사용하며, 각 로직에 대하여 신뢰성을 측정한다. n은 전체 샘플 수를 나타낸 것이며, t_j의 경우는 j번째 고장시간을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 DB에 시간에 순서적으로 저장하며, n은 전체 샘플수 즉 레코드 수와 같게 된다.

$$F(t_j) = \frac{j-0.3}{n+0.4} \quad (\text{식 8})$$

3. 설계 및 구현

3.1. 시스템 구성

평가 소프트웨어는 LV로직 등가식을 이용하여 소기능의 평선, 평선들의 집합인 평선블럭, 각 기능별 평선 패키지를 설계하고 이를 이용하여 세부 로직의 동작상태를 볼 수 있고, 관리 및 분석에 용이 하도록 구성하였다. 소프트웨어로 작성된 로직을 이용하여 일괄적으로 데이터베이스에 저장되는 데이터를 대상으로 그 입력 및 출력 매칭을 이용하여, 사용율 및 오류를 판별할 수 있도록 하였으며, 소프트웨어의 구조는 그림 3 과 같다.

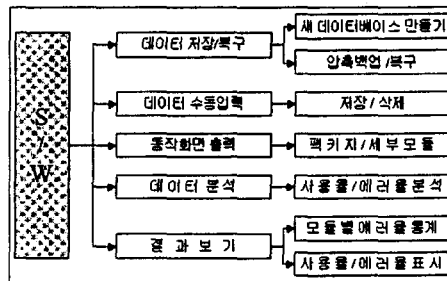


그림 3 . S/W 구조

3.2. DB 구성

로직의 입출력에 관계되는 모든 데이터를 저장하도록 데이터베이스를 구성하고, 사용자는 데이터베이스에 데이터를 저장하거나 수정 및 삭제 등의 관리할 수 있도록 구성하였다.

데이터베이스는 LV 로직의 입출력 값을 저장하며 각 로직의 상태에 대한 값을 저장하는 데이터 필드로 구성되어 있다. 필드는 총 250개로 구성되어 있으며 SCU에서 오는 데이터의 경우는 총 2개의 데이터로 구성된 필드로 구성을 하였다.

3.3. Module 설계

각 모듈 및 블록의 경우, 크게 평선 패키지, 평선 블록, 평선들로 구성되어 있으며, 평선 블록,

평선 그룹, 평선 팩키지를 라이브러리화 하여, 확장하기 편하게 구성하였다. 평선 모듈은 각 로직의 최하위 단계인 AND, OR, NOT 등으로 구성되어 있으며, 평선 그룹은 평선 모듈을 확장한 A AND (B OR C) 등과 같은 평선들의 그룹으로 구성되어 있다.

평선 팩키지는 회로도의 각 다이어그램을 기준으로 하여 구성하였으며, 팩키지는 평선 그룹과 평선 블럭로 구성되어 있다. 로직 컨트롤 모듈은 전체 로직을 나타내는 것이며, 평선 팩키지의 그룹으로 구성되어 있다.

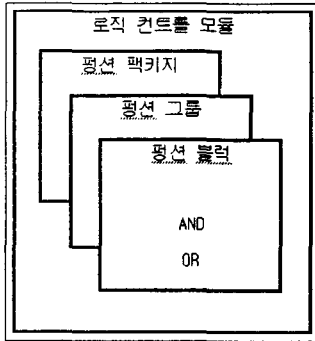


그림 4 . 모듈 구조

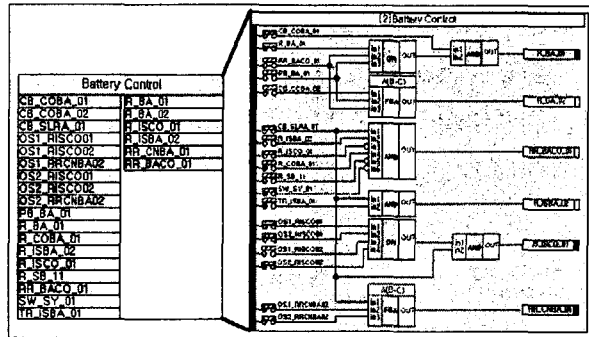


그림 5 . 평선 팩키지, 그룹 및 블럭

그림 5 는 Battery Control 의 평선 팩키지 모습과 평선 그룹, 블럭의 모습을 나타내는 그림이다. Battery control 평선 팩키지는 입출력의 이름과 상태를 표시하며, 이 팩키지는 평선 그룹과 모듈로 구성되어 그 평선 그룹과 모듈의 동작 상태를 볼 수 있다.

3.4. 평가처리

로직에 대한 평가는 Cab Cubicle의 LV회로로부터 생성된 입·출력 정보를 데이터베이스에 저장하고, 데이터베이스에 저장된 정보를 이용하여 평가 모듈은 각 소프트웨어 로직을 이용하여 비교 평가를 하고 그 결과를 출력한다.

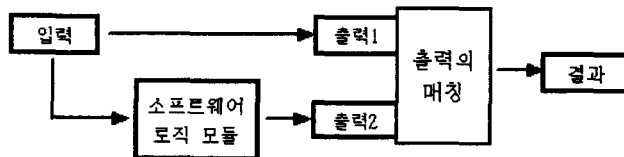


그림 6 . 이상검출기능의 구성도

입출력 매칭에 따라 전문가 시스템에서 사용하기 쉬운 신뢰도 계산방법을 사용하며, 각 로직에 대하여 사용률 및 에러율을 측정한다. n은 전체 샘플 수를 나타낸 것이며, j의 경우는 에러한 횟수를 사용한다. 전체 샘플 수는 30개 이상으로써 식 9 식을 이용한다.

$$F(t_j) = \frac{j-0.3}{n+0.4} \quad (\text{식 9})$$

3.5. S/W 화면

다음 그림은 구현된 평가 프로그램 화면이다. 데이터의 저장/압축백업 기능, 데이터의 문자현시, 데이터의 그래픽 출력, 수동입력에 대한 동작상태 확인, 사용율 측정이나 고장에 대한 출력을 표시한다. 생성된 데이터는 다음 그림과 같다. 저장된 입출력 데이터를 표시한 것이다. 각 필드는 스위치 및 접점의 이름으로 구성되어 있으며 On/Off 정보 또는 스위치의 정보가 저장되어 있다. 수동 입출력 저장 메뉴에서 데이터의 수정/삭제 및 입력의 데이터 관리를 할 수 있다.

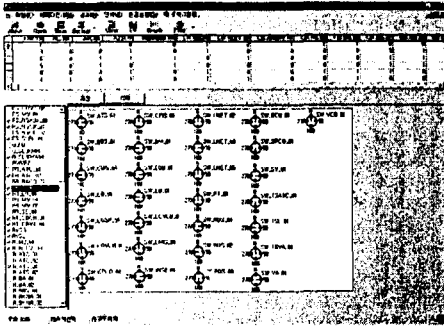


그림 7 . 데이터 수동 입력

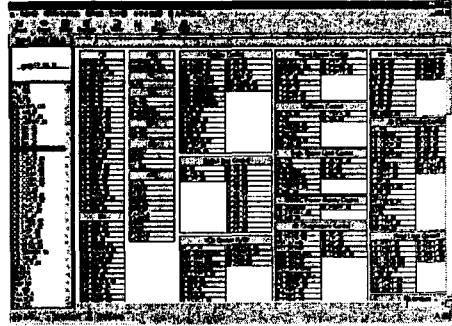


그림 8 . 패키지 전체화면

소프트웨어에서 구현된 로직의 기능 패키지 모듈리스트는 총 30개로 구성되어 있으며, 수동입력을 위하여 입출력 스위치 리스트들을 표시하고 입력을 수동으로 할 수 있게 되어 있다. 그림 9 는 각 모듈별로 입력 및 출력을 나타낸 것이며, 각 모듈은 입출력 정보를 표시한다. 데이터이름을 선택함으로써 어느 모듈에 영향을 주는지 표시를 함으로써, 입출력 관계를 확인할 수 있다.

프로그램을 테스트하기 위하여 LV로직에 대한 가상 입력 및 출력을 랜덤으로 발생시켜 100개의 데이터를 대상으로 테스트하였으며, 그 결과는 그림 9-10 과 같다.

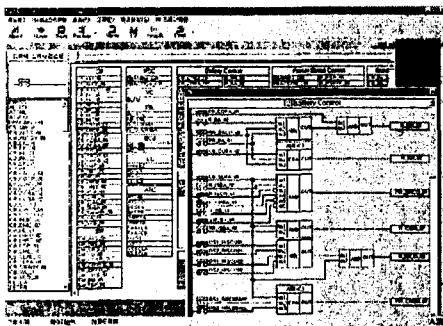


그림 9 . 내부 동작 화면 예

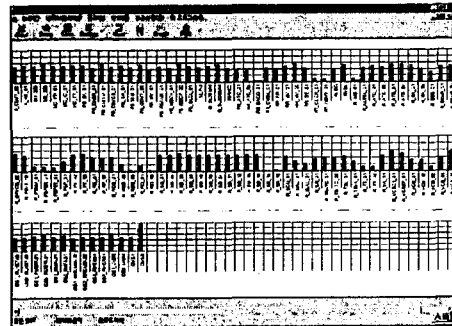


그림 10 . 신호의 에러율 및 사용율

4. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 고속전철의 Cab Cubicle내의 LV 회로의 신뢰성 분석이 용이하도록 LV로직에 대한 등가식을 이용한 소프트웨어 모듈을 이용하여 데이터의 저장, 에러율 체크, 동작상태를 볼 수 있는 소프트웨어를 구현하였다.

소프트웨어의 타당성을 시험하기 위하여 수동적으로 작성한 100개의 랜덤 데이터를 대상으로 하였으며, LV 입출력을 테이블 DB에 저장하고 그 데이터베이스를 대상으로 소프트웨어 로직에 인가하여 그 출력과의 비교를 하는 방식을 사용하였다.

소프트웨어는 각 기능에 대하여 모듈로 작성되어 있어 동작상태에 대해 다단계의 화면으로 볼 수 있으며, 수동/자동 입력을 통하여, 내부적으로 동작되는 과정을 볼 수 있으며, 데이터베이스를 이용하여 정보 저장과 분석, 일괄적으로 처리가 가능하도록 하였다.

이러한 소프트웨어 로직과의 매칭 방법을 이용하여, 여타 기기의 기능, 성능 및 신뢰성을 검사하는데 공통적으로 사용될 수 있을 것이며, 평가의 편의성, 평가기술의 수용성 및 향후 예상되는 검수자의 이동성을 고려하여 무선 LAN등의 인터페이스를 추가하면 모니터링 시스템으로도 사용될 수 있다.

이러한 연구는 Cab Cubicle의 신뢰성 확보를 위한 기본적인 체계 구축에 필수 불가결할 것이며, 장기적으로 자체 연구 개발된 제품을 고속전철 및 전동차에 도입하기 위하여 거쳐야 하는 시험평가를 더 용이하게 하며, 기기의 신뢰성을 평가하고 확보하는데 기여할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 한국철도차량 주식회사, "Aux연관입출력 자료"
2. 현대정공, "동력차 시스템 제어사양"
3. 현대정공, "차세대 고속전철 동력차 시스템 상세 제어 Requirement"
4. 한국철도차량 주식회사, "LV회로 TCN화를 위한 Signal Table"
5. 한국철도차량 주식회사, "Schematic Diagram"
6. 이승철(1995년), "고장진단전문가시스템 지원에 편리한 신뢰도 계산방법", 전기학회지, 제44권 9호, pp3-8
7. 이태섭(1996년), "와이블 분포를 따르는 수명시간의 추정", 한국군사운영분석학회지 제22권 2호, pp215-226