

실사용 인터페이스를 이용한 열차제어 소프트웨어 테스트 도구의 구조

황종규*, 백종현*, 조현정*, 이강미*

Architecture of Software Testing Tool for Railway Signalling through Actual Use Interface Channel

Jong-Gyu Hwang*, Jong-Hyun Baek*, Hyun-Jeong Jo*, Kang-Mi Lee*

요약

열차제어시스템은 최근의 컴퓨터 기술의 발달에 따른 자동화 및 지능화에 따라 소프트웨어에 의존성이 더욱 증가하고 있으며, 동시에 소프트웨어의 오류 내재 가능성이 높아지고 실제 장애발생으로 인한 위험비용도 증가하고 있다. 이에 따라 열차제어시스템 소프트웨어의 무결성 검증이 매우 중요한 이슈가 되고 있으며, 이 중에서 열차제어 소프트웨어 기능안전성 검증을 위한 블랙박스 테스트 도구의 필요성이 제기되고 있으나, 기존 상용도구들은 사용하기 어렵고 복잡하여 실제 현장에서 적용이 거의 되지 않고 있다. 본 논문에서는 이러한 분석을 바탕으로 열차제어시스템 소프트웨어 기능안전성 검증을 위한 실제 사용하고 있는 인터페이스를 통한 새로운 개념의 블랙박스 테스트 도구를 제안하였다. 현재 제안한 도구의 설계 및 프로토타입이 개발되어 열차제어시스템 소프트웨어 테스트에 시범적용 중에 있다.

Key Words : Software Black-box testing, Railway Signalling System

ABSTRACT

Many railway signalling functions have increasingly depended on computer software with recent development in computing technology, leading to evolution into more flexible and intelligent railway signalling system. Meanwhile, software programs are likely to have many errors and the cost incurred by such errors has increased. Especially, if fatal software error occurs during railway operation, it may result in loss of lives. So the software verification and validation have become more important. It is needed for software functional safety tool to support these, but most commercial tools depend on direct access to the system's memory, resulting in many difficulties in application. Owing to such difficulties and complexity, they are rarely used in railway signalling system software validation. In this study, a new testing tool for software functional testing through an external interface that can be easily used in functional testing of software was developed. Such testing tool allows development and analysis of test cases for black-box testing through analysis of actually used interface protocols, leading to increased user convenience.

* First Author : Korea Railroad Research Institute, jghwang@krii.re.kr, 정회원

* Korea Railroad Research Institute

논문번호 : KICS2014-04-127, Received April 8, 2014; Revised June 10, 2014; Accepted June 10, 2014

I. 서론

열차제어시스템은 철도시스템에서 가장 핵심을 담당하고 있는 바이탈 제어시스템으로, 최근의 컴퓨터 및 통신기술의 발달에 따라 기존의 기계 및 전기식이던 열차제어 기능들이 컴퓨터 소프트웨어로 대체되어 가고 있다. 이러한 기술의 발전에 따라 열차제어장치들의 소프트웨어에의 의존성이 더욱 증가되고 있으며, 차량의 다른 제어장치들과 통신에 의한 인터페이스도 더욱 많아지고 있다. 이러한 기술발전은 보다 지능화된 열차제어시스템으로 진화를 이끌고 있으면서, 동시에 이에 따른 소프트웨어 자체의 기능 및 복잡도가 급격하게 증가하고 있다. 이러한 이유로 소프트웨어의 오류 내재 가능성은 높아지고 실제 오류 발생으로 인한 위험 비용도 상대적으로 증가하고 있다. 특히 철도 운행 중 소프트웨어의 오작동으로 인한 치명적인 오류가 발생할 경우 인명 사고로 직결되므로 소프트웨어에 대한 확인 및 검증이 매우 중요해지고 있다^[1-4].

이러한 열차제어시스템의 소프트웨어 검증이 중요해지면서, 소프트웨어 검증을 위한 절차 및 기준이 국제 규격화되고 있으며^[5], 국내에서도 열차제어시스템과 같은 바이탈 제어장치의 경우 소프트웨어 테스트 및 검증 강화되는 등 새로운 열차제어시스템을 개발할 경우 소프트웨어의 안전성 관리, 개발 및 검증이 요구되고 있는 추세이다^[6]. 이처럼 철도 소프트웨어 검증관련 해외의 규격 등을 통한 필요성 증가로 인해, 열차제어시스템의 소프트웨어 확인 및 검증 기술, 평가기준 및 지원도구 관련 연구가 활발히 진행되고 있다. 국내에서도 철도시스템 소프트웨어 안전관련 국제 규격이 국내 규격화되었으며, 또한 철도안전법 등에 의해 열차제어시스템 소프트웨어의 테스트 및 검증활동이 요구되기 시작하고 있다. 하지만 국내에서는 아직까지 소프트웨어의 검증은 아직 시작 단계에 있으며, 일부에서 국제규격에 따른 소프트웨어의 안전성 검증, 정적테스팅(Static testing)에 의한 정량적인 분석을 통한 소프트웨어 검증이 시도되고 있다^[1,2,7,8].

열차제어시스템의 소프트웨어의 검증을 위해서는 그림 1과 같이 소스코드를 통한 소스코드의 코딩규격 및 각종 매트릭을 분석하는 직접적인 정적테스팅, 소스코드를 대상으로 한 각종 커버리지 분석을 수행하는 동적테스팅(Dynamic testing), 그리고 직접적인 소스코드가 아닌 임베디드 된 열차제어시스템을 대상으로 기능안전성 검증을 수행하는 블랙박스 테스트(Black-box testing) 방법이 있다^[8-10]. 이 중에서 직접적인 소프트웨어 소스코드를 통한 테스트 방법은 정

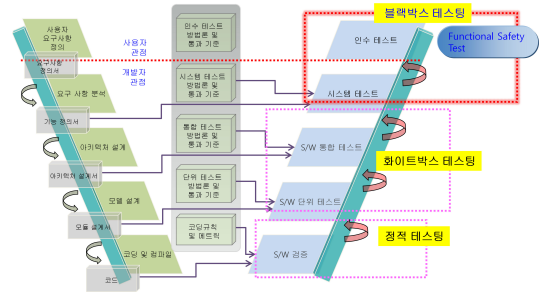


그림 1. 소프트웨어 테스트의 분류 및 기능안전성 테스트
Fig. 1. Classification of software testing and functional safety testing

적테스팅 및 동적테스팅을 지원하기 위한 도구들이 국내외에서 개발되어 상용화되고 있으며, 이 중 일부가 국내 열차제어시스템 소프트웨어 검증에 활용되고 있다^[10-12].

현재 임베디드 소프트웨어 기능안전성 테스트를 위한 상용화되어 있는 테스트 도구들은 대부분 피시험체의 메모리에 직접 액세스를 통한 테스트 방법에 의존하고 있어 실제 열차제어시스템 소프트웨어 테스트 적용에 많은 어려움이 있어 실제 현장에서는 열차제어시스템 소프트웨어 검증에 거의 활용이 되고 있지 않다. 이러한 기존의 상용도구들의 경우 실제 피시험체 내부의 실행 소프트웨어가 수행 중 활용하거나 점유하고 있는 내부 메모리 주소값을 반드시 알아야 시험이 가능하며, 사용상의 어려움과 복잡함으로 인해 실제 현장에서는 열차제어시스템 소프트웨어 검증에 거의 활용이 되고 있지 않다^[8,10,11].

본 논문에서는 이와 같은 기존 상용도구의 문제점 분석을 통해, 보다 쉽게 사용할 수 있는 새로운 구조의 소프트웨어 기능안전성 테스트 도구를 제안 및 개발하였다. 즉, 내부메모리 액세스를 통한 테스트케이스 생성 및 시험결과 분석과 같은 기존의 블랙박스 테스트 도구와는 달리 본 논문에서는 피시험체의 실제 외부 인터페이스를 통한 테스트케이스의 입력 및 분석을 통한 기능안전성을 테스트 하는 도구를 제안하였다. 이러한 방식의 블랙박스 테스트 도구는 실제 사용되는 인터페이스 프로토콜 분석을 통한 블랙박스 테스트를 위한 테스트케이스의 도출 및 분석이 가능해서 쉽게 시험을 수행할 수 있는 장점이 있다.

II. 실사용 인터페이스를 활용한 테스트 도구

2.1 제안 테스트 도구

현재 상용화되어 있는 산업용 제어시스템 블랙박스

테스팅 도구들은 그림 2의 윗부분과 같이 대부분 피시험체 내부 메모리에 접근하여 테스팅을 수행하는 접근방법을 적용하고 있다. 이에 따라 피시험체의 기능 안전성 검증을 위한 테스트케이스들을 기능레벨이 보다 하위 레벨로 도출해야 하므로, 실제적으로 이러한 접근방식에 의한 기능안전성 테스팅은 사용상의 제약이 매우 많다. 열차제어시스템은 일반 산업제어시스템보다 더욱 높은 안전성이 요구되는 바이탈 기능을 수행하는 제어장치로서, 기능 안전성 검증이 매우 중요하다. 따라서 기존의 산업용 제어시스템에 일부 활용되고 있는 테스팅 방법들보다 테스트케이스 도출이 용이하여 활용도를 높일 수 있는 접근방법을 제안하였다.

그림 2는 이러한 기존의 방법과 본 논문에서 제안한 방법의 개요를 나타낸 것으로, 제안하는 방법은 기존의 피시험체 내부 메모리에 직접적인 액세스를 통한 테스팅이 아닌 피시험체가 실제 사용하고 있는 인터페이스를 통한 방법이다. 즉, 피시험체가 다른 제어장치와 통신을 위한 실제 인터페이스 채널을 통해 테스트 입력을 전송하고, 피시험체가 이 입력에 따라 동작 후 인터페이스 채널을 통해 전송하는 데이터를 수신하여 적합여부를 검증하는 방법이다. 이 경우 피시험체와 다른 제어장치간의 인터페이스를 위한 통신 프로토콜의 분석을 통해 테스트케이스를 도출하고, 이를 통해 시험을 수행하는 접근방법으로 피시험체의 기능안전성 검증을 위해 피시험체의 입출력을 확인하는 방법이라 할 수 있다. 이러한 방법은 기존의 내부 메모리를 통한 방법보다 쉽게 사용할 수 있고, 또한 시험을 위한 테스트케이스도 피시험체의 인터페이스 프로토콜 명세로부터 분석함으로써 인해 쉽게 테스트케

이스를 생성할 수 있는 장점이 있다.

블랙박스 시험은 피시험체의 소프트웨어의 구현 로직은 고려하지 않고 피시험체의 함수 또는 기능에 대해 특정 입력값을 입력했을 경우 올바른 출력값이 반환되는지 여부를 확인하는 시험이다. 특정 입력값은 테스트케이스 형태로도 도출되게 되며, 이 입력값에 유효값 또는 비유효값을 사용함으로써, 유효값을 입력할 경우 피시험체의 기능이 의도된 방향으로 정상적으로 동작하는지를 검증하게 된다. 반대로 비유효값을 입력할 경우 의도하지 않은 상황에 대한 피시험체 기능의 오작동 여부를 시험할 수도 있다. 따라서 본 제안 도구에서는 대상(Target) 시스템의 기능이 정상 동작하는지와, 의도하지 않은 입력에 의한 오동작 여부까지 검증하는 결함주입 테스팅(Fault Injection Testing) 기능이 가능한 구조로 하였다.

2.2 테스팅 도구의 설계

본 논문에서 제안하는 블랙박스 테스팅 도구는 앞 절에서 설명한 바와 같이 피시험체가 실제 활용하는 인터페이스를 활용하는 접근 방법으로서, 크게 블랙박스 테스팅 모듈과 도구와 다중 인터페이스 모듈로 구성되어진다. 하부 모듈 중 블랙박스 테스팅 모듈은 실제 테스트케이스의 생성 및 편집, 피시험체로부터 피드백 데이터의 수집, 테스트케이스를 통한 테스트 수행 및 결과분석, 테스트 결과의 분석 및 표출 등의 기능을 수행하는 모듈로서, 블랙박스 테스팅 모듈의 가장 핵심적인 기능을 수행한다. 타겟 시스템의 블랙박스 테스팅을 위한 테스트케이스는 기본적으로 피시험체의 인터페이스 프로토콜 사양서를 바탕으로 도출되게 되며, 이를 통해 도출된 기본적인 테스트케이스는 블랙박스 테스팅 모듈로 입력되어, 내부의 경계값 분석 모듈과 등치영역 분석 모듈 등 블랙박스 테스팅 하부모듈을 통해 구체적인 테스트케이스가 생성 및 다중인터페이스 연동기를 통해 출력되게 된다. 상세 테스트케이스 생성에 활용되는 블랙박스 테스팅 하부모듈들은 기 개발된 모듈을 활용하여 본 도구를 설계 및 개발하였다.

다중 인터페이스 모듈은 피시험체가 실제 활용하고 있는 인터페이스 통신채널을 통해 테스트를 위한 데이터를 입력하고, 또한 피시험체로부터 출력 피드백을 수신 받는 역할을 수행하는 모듈로서, 실제 열차 제어시스템들의 인터페이스가 다양하여 하나의 고정된 통신방식으로 한정할 수 없다. 따라서 이러한 다양한 인터페이스를 지원하기 위한 다중 인터페이스 모듈이 필요하며, 물리적으로 피시험체의 인터페이스에

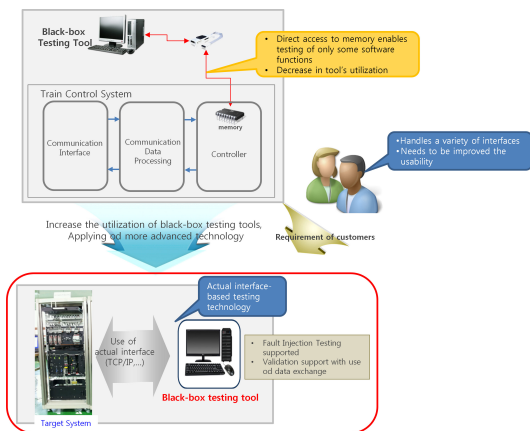


그림 2. 제안하는 블랙박스 테스팅 도구 개요
Fig. 2. Configuration of proposed black-box testing tool

대응하는 통신매체가 준비되어야 하며, 동시에 소프트웨어를 통해 테스트의 입력을 피시형체로 주입하고, 또한 반대로 피드백 데이터를 분석하기 위한 데이터 송수신 기능이 필요하다. 그림 3은 이러한 다중 인터페이스 연동기를 나타내고 있다. 그림 4는 피시형체와의 인터페이스를 담당하는 인터페이스 연동기를 포함하는 본 논문에서 제안하는 블랙박스 테스트 도구의 구조를 나타낸 것으로, 앞에서 설명한 바와 같이 하부의 블랙박스 테스트 모듈은 테스트케이스 생성 및 편집관련 모듈, 테스트 수행관련 모듈, 그리고 테스트 결과 분석 및 표시 모듈로 구성되어진다.

국제표준 시험 스크립트 언어인 TTCN-3(Testing and Test Control Notation-3)를 기반으로 한 테스트 케이스를 생성 및 편집할 수 있도록 설계하였다. 즉, TTCN-3는 국제표준 시험 언어로서 일반 산업이야 정보통신 분야에 많이 활용되고 있어^[13-15], TTCN-3 언어를 지원하는 많은 편집 툴들이 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 TTCN-3를 지원하는 상용 도구를 활

용하여 테스트케이스를 생성 및 편집할 수 있도록 하는 테스트케이스 입력모듈을 설계하였다.

III. 테스트 도구의 운용 시나리오

그림 5는 본 논문을 통해 제안한 도구를 활용하여 테스트를 수행하는 운용 시나리오를 도식화한 그림으로 맨 처음 시험자가 문서로 된 프로토콜 사양서를 분석을 통해 테스트케이스를 도출하고 이를 테스트 도구에 입력하게 된다. 그 다음 시험자는 테스트 도구에서 관리하기 위한 수행할 테스트 프로젝트의 정보를 입력하고, 테스트할 시나리오 정보를 입력하게 된다. 그리고 앞에서 설명하였듯이 테스트 도구 내부에 하부 블랙박스 테스트 모듈을 통해 시험 입력값을 자동생성하고 이를 시험자에게 제공하여 시험자가 필요할 경우 편집할 수 있도록 하고 있다. 그 다음 최종적으로 테스트 입력값을 조합하여 테스트케이스를 자동생성하고, 시험자에 의해 수행할 테스트케이스를 선택하여 시험을 수행하고, 시험 결과가 피드백 되어 시험자에게 운용 화면 및 보고서 형태로 제공되게 된다.

이러한 운용시나리오에 따라 테스트 도구가 설계 및 개발되었으며, 개발된 도구는 실제 적용에 있어서 피시형체의 인터페이스 채널에 직접 테스트 도구를 접속하여 테스트 데이터를 주입 및 피드백 받는 적합성 시험 구성 형태와 피시형체와 실제 인터페이스 하는 다른 제어장치사이의 인터페이스 매체에 접속하여 수누평 방식에 의한 상호 운용성 시험을 위한 구성 형태로 활용할 수 있다. 그림 6의 (a)는 적합성 시험을 위한 구성을 나타낸 것이고, (b)는 상호 운용성 시험을 위한 구성을 나타낸 것이다. 이 두 가지 시험이 모

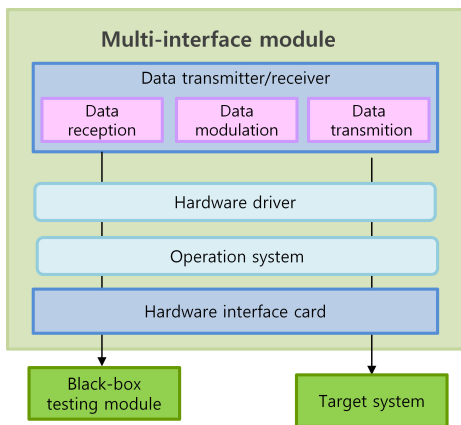


그림 3. 다중 인터페이스 연동기
Fig. 3. Multi-interface module

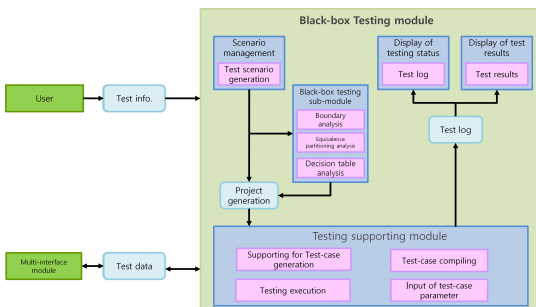


그림 4. 제안하는 소프트웨어 블랙박스 테스트 도구의 구조
Fig. 4. Architecture of proposed software black-box testing tool

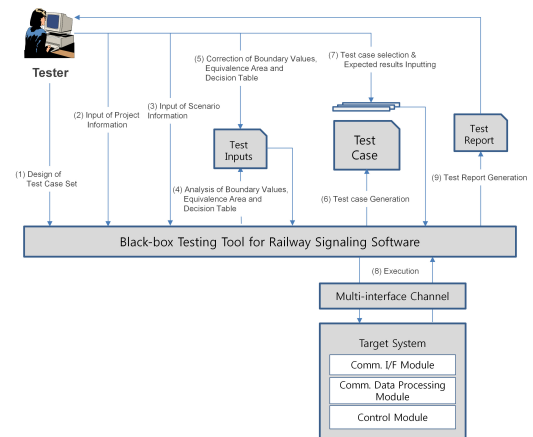


그림 5. 테스트 도구 운용 시나리오
Fig. 5. Scenario for use of testing tool

두 가능하도록 테스트 도구를 설계 및 개발하였다. (a)와 같이 구성된 적합성 시험은 인터페이스 프로토콜 분석을 통해 피시험체가 인터페이스 하는 다른 제어 장치의 송수신 역할을 테스트 도구가 수행하며, 이 송수신 결과들을 분석하여 대상 시스템의 기능 안전성을 확인하는 방식이다. 즉, 이때는 대상 시스템 측에서는 테스트 도구가 실제 인터페이스 하는 다른 제어 장치가 된다. (b)와 같은 상호 운용성 시험 구성의 경우는 실제 운용상황과 동일하게 실제 다른 제어장치와 연계동작을 수행하고, 테스트 도구가 통신케이블 중간에 접속하여 송수신되는 데이터를 모니터링 하여 타겟 시스템의 기능 안전성 적합성 여부를 확인하는 방법으로, 대상 시스템이 실제 동작되는 것과 동일한 구성이지만 테스트 도구 내부의 하부 모듈에 의해 생성된 상세한 테스트케이스를 통합 결합주입에 따른 동작확인 등의 시험(Fault Injection Test)에 제약이 따르는 방법이다.

적합성 시험과 상호 운용성 시험은 모두 각각의 특성이 있으므로 실제 열차제어시스템 기능안전성 검증에 있어서는 두 시험 방법 중 요구되는 특성에 따라 적절한 시험방법이 결정되어야 한다. 앞에서 설명하였듯이 실제 운용환경과 동일한 상태에서의 시험 구성은 상호 운용성 시험으로서, 피시험체의 실제 운용환경 하에서 시험하므로 가장 실제적인 기능안전성 확인이 가능하다. 하지만 이 방법의 경우 피시험체와 다른 제어장치 사이의 통신채널 상에서 스누핑 방식에 의한 송수신 데이터 수집을 통해 시험을 수행함으로써, 인터페이스 사양에서 정해진 항목 이외의 비정상적인 상황 발생 시 대상 시스템의 동작상태 확인 등

결합주입 시험이 불가능하다. 하지만 적합성 시험의 경우는 테스트 도구와 대상 시스템이 인터페이스 하는 다른 제어장치의 인터페이스 부분을 모의하는 방식이므로, 앞에서 설명한 상호운용성 시험과는 달리 다양한 형태의 결합주입 시험이 가능하다. 특히 본 테스트 도구 내부의 하부모듈인 경계값 분석 모듈 등을 통해 도출된 세부적인 테스트케이스를 바탕으로 보다 다양하게 대상 시스템의 기능 안전성을 검증할 수 있는 방법이다. 하지만 이 방법은 대상 시스템의 문서화되어 있는 프로토콜 명세가 정확하고 구체적이어야만 테스트 도구가 다른 제어장치의 인터페이스를 모의할 수 있으므로, 실제 적용에는 어려움이 발생할 수 있는 방법이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 시험자의 사용성을 증대시킨 새로운 열차제어시스템 블랙박스 테스트 도구의 설계 내용을 나타내었으며, 제안한 테스트 도구가 개발되어 국내에서 개발 중인 열차제어시스템 중의 한 장치를 대상으로 그 적용성을 확인하였다. 개발한 테스트 도구의 적용성 확인을 위한 피시험체는 무선통신을 이용한 차상제어시스템으로, 이 차상제어장치가 지상의 관제장치와 무선랜에 의해 인터페이스 되는 구조이다. 블랙박스 테스트 도구 인터페이스 연동기는 우선적으로 이더넷을 지원하도록 구성하였고, 물리적인 접속은 스위칭 허브를 사용하였고 인터페이스 연동기능은 소프트웨어로 구현하였다.

그림 7은 개발한 테스트 도구의 적용성 시험을 위한 타겟 시스템, 테스트 중인 사진 그리고 테스트 중인 도구의 화면 중 하나를 나타낸 것이다. (a)는 대상 시스템을 나타낸 것으로 사진의 왼쪽 및 가운데 제어랙이 차상제어장치이며, 이 장치의 기능안전성 테스트를 목적으로 하였다. 그리고 사진의 오른쪽 제어랙은 지상의 관제시스템으로 차상제어장치와 무선랜으로 연결되어 있다. (b)는 테스트 중인 사진을 나타낸 것으로 사진의 맨 앞쪽 노트북이 본 논문을 통해 개발한 테스트 도구이며, 타겟 시스템인 차상제어장치와는 이더넷으로 접속하여 적합성 시험 및 상호 운용성 시험을 수행하였다. 개발한 테스트 도구와 실제 차상제어시스템의 네트워크에 포함시켜 테스트 환경을 구성하였으며, 적합성 시험의 경우 테스트 도구가 타겟 시스템의 인터페이스 연동기 IP 주소를 가졌으며, 상호운용성 시험의 경우 차상제어장치 및 관제시스템 모두 기본 IP 주소를 설정했다. 시험 수행결과 소스카드의 잘못된 코딩

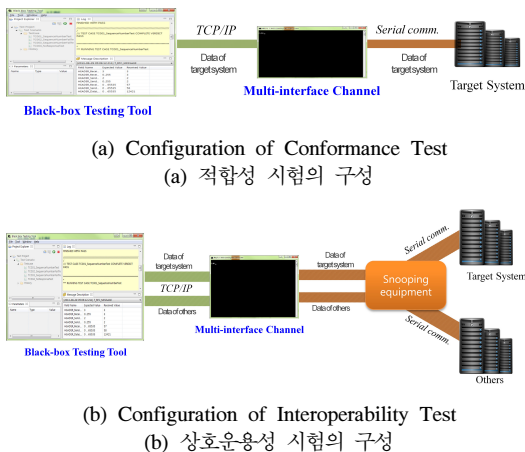


그림 6. 테스트 도구와 피시험체와의 구성
Fig. 6. Scenario for use of testing tool



그림 7. 개발 테스트 도구의 적용성 시험
Fig. 7. Testing environment for use of developed testing tool

으로 인한 오류 3건과 인터페이스 명세 오류 1건을 검출할 수 있었으며, 특히 LCC TC002의 경우 경계값 분석을 통해 입력한 비정상 메시지를 정상적인 메시지로 인식하는 오류를 발견하여 본 시험의 필요성과 효과를 확인할 수 있었다.

References

[1] Korea Railroad Research Institute, *Development of safety assessment technology for railway signaling system*, MOCT R&D research report, Jun. 2011.

[2] Korea Railroad Research Institute, *Development of technology for safety and efficiency improvement of train operation*, KRRI research report, Dec. 2012.

[3] Y. O. Kim, et al., "Logging based system design and implementation of business transaction management for a distributed network environment," *J. KICS*, vol. 38B, no. 12, pp. 976-983, Dec. 2013.

[4] J. Bang and R. Ha, "Validation test codes development of static analysis tool for secure software," *J. KICS*, vol. 38C, no. 05, pp. 420-427, May 2013.

[5] IEC 62279, *Railway Applications - Software for railway control and protection systems*, 2002.

[6] MOCT Notice 2013-839, *Technology guideline for railway infrastructure*, Mar. 2014.

[7] H. J. Jo, et al., "Analysis of S/W Test

Coverage Automated Tool & Standard in Railway System," *J. KAIS*, vol. 11, no. 11, pp. 4460-4467, 2010.

[8] J. G. Hwang, et al., "Software testing tool for railway signalling using interface channel," in *Proc. KICS*, Pyeongchang, Feb. 2014.

[9] J. D. Lawrence, "Software qualification in safety applications," *Reliability Eng. System Safety*, vol. 70, no. 2, pp. 167-184, 2000.

[10] <http://softwaretestingfundamentals.com/black-box-testing/>

[11] M. Fewstar and D. Graham, *Software testing automation: Effective use of test execution tools*, ACM Press, Addison Wesley, 1999.

[12] M. Khan, "Different approaches to white box testing technique for finding errors," *Int. J. Softw. Eng. Its Appl.*, vol. 5, no. 3, Jul. 2011.

[13] Colin Willcock, *An introduction to TTCN-3*, 2nd Ed., NY: Wiley, 2011

[14] <http://www.ttcn-3.org/index.php/downloads/standards>

[15] J. Grabowski, "TTCN-3-A new test specification language for black-box testing of distributed systems," in *Proc. 17th Int. Conf. and Exposition on Testing Computer Software (TCS'2000)*. Washington DC, Jun. 2000.

황 종 규 (Jong-Gyu Hwang)



1994년 : 건국대학교 전기공학과 졸업
1996년 : 동 대학원 석사졸업
2005년 : 한양대학교 전자통신 전파공학과 박사졸업
1995년~현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원, 철도신호

기술사

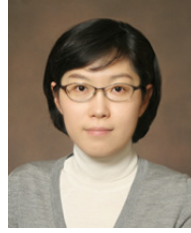
2011년~2012년 : Virginia Commonwealth Univ. 방문연구원

백 증 현 (Jong-Hyun Baek)



1995년 : 전북대학교 제어계측
공학과 졸업
1997년 : 광주과학기술원 메카
트로닉스공학과 석사 졸업
2009년 : 전북대학교 메카트로
닉스공학과 박사 졸업
1997년~현재 : 한국철도기술연
구원 책임연구원

이 강 미 (Kang-Mi Lee)



2003년 : 충북대학교 전기전자
공학부 졸업
2005년 : 전자공학과 졸업
2005년~현재 : 한국철도기술연
구원 선임연구원

조 현 정 (Hyun-Jeong Jo)



2003년 : 한국항공대학교 항공
전자공학과 졸업
2005년 : 광주과학기술원(GIST)
정보통신공학과 졸업
2005년~현재 : 한국철도기술연
구원 선임연구원