

무기체계 성능개량사업 SW 신뢰성 시험 효율적 검증 방안 연구

노시찬*, 김영길, 손민정, 김민혁
국방기술품질원

SW Reliability Test Verification in Performance Improvement Project: An Efficiency Enhancement Scheme

Si-Chan Noh*, Young-Gil Kim, Minjeong Son, Min-Hyuk Kim
Defense Agency for Technology and Quality

요 약 최근, 국방 분야의 다양한 무기체계에 최신 SW기술을 적용한 무기들이 개발되고 있으며 그 수가 점진적으로 증가하고 있다. 한 예로, 네트워크 중심적인 전장상황에 SW기반의 무기가 사용되거나, 군과 제어시스템간의 빠른 산술 처리를 위한 목적으로 SW가 사용되고 있다. SW의 중요성과 의존도가 증가됨에 따라, 신뢰성이 확보된 SW를 개발하는 것은 매우 중요하다. 무기체계 사업에서는 SW 신뢰성 시험을 통해 SW의 신뢰성을 확보하고 있으며, SW 신뢰성 시험 기준은 현재 방위사업청의 규정을 따르고 있다. 그러나 일반 무기체계를 개량하는 성능개량사업의 경우는 기존 SW를 재사용하는 문제로 인해 시험 근거, 규칙 등의 기준 설정의 어려움이 있다. 본 논문에서는, 성능개량사업의 SW 신뢰성 시험을 수행하기 위한 기준 설정 방법과, SW의 Baseline에 대한 형상 확인 과정을 통해 정부 검사 시 발생할 수 있는 문제를 사전에 해결하는 방법에 대하여 소개하였다. 또한, 코드 라인수와 변경률을 고려한 위험도 식별 과정을 통해 중요 CSCI를 식별하는 방법을 제안하였고, 실제 무기체계의 사업에 적용하여 검증 시 시간을 줄일 수 있는 효율적 검증 방안을 확인하였다.

Abstract The state-of-the-art SW technology in the defense industry has dramatically increased the use of SW in various weapon systems. SW is used for a Network Centric Warfare (NCW) on the battlefield and serves as an arithmetic processing system between soldiers and the control system. Thus, it is desirable to understand how to improve SW reliability efficiently. To address this problem, the SW reliability test for the SW-based weapons is one of the methods for determining the SW quality and is performed based on the Defense Acquisition Program-Administration (DAPA) rule. The SW reliability test in the performance improvement project has different characteristics compared to the conventional SW reliability test in the production phase, such as the range to be tested and the target value due to the reusable SW problem. This paper summarizes the progress in the SW reliability test to solve problems in the government test using a configuration check in the performance improvement project. In addition, an efficiency enhancement scheme related to the SW reliability test verification method in weapon systems implemented through risk identification depends on the code line change rate and line number.

Keywords : SW Reliability, SW Baseline, Weapon Systems, Performance Improvement Project, DAPA

*Corresponding Author : Si-Chan Noh(Defense Agency for Technology and Quality)

email: scnoh@dtaq.re.kr

Received April 20, 2022

Accepted July 7, 2022

Revised May 30, 2022

Published July 31, 2022

1. 서론

빅 데이터, 인공지능 등 지능정보기술을 포함한 첨단 기술의 발전으로 군의 미래 전장 무기체계는 네트워크 중심전(NCW, Network Centric Warfare)으로의 전환 국면에 있다. 이에 따라, 무기체계에서 SW(Software)가 차지하는 비중이 점점 높아지고 있으며, SW의 복잡한 연산과 실시간 처리를 위해 인공지능이 탑재된 자동화 시스템에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다[1,2].

현재 개발 중인 많은 무기체계에서도 SW 기반 무기체계의 설계와 개발이 이루어지고 있다. 한 예로, 지휘결심체계 구축을 목적으로 하는 J 체계개발 사업이 있다. 이 사업에서는 연동체계 확대를 기반으로, 타격 등의 기능을 개선을 위해 SW 체계 요구 분석에 따른 국방 CBD(Component Based Development)방법론을 적용하여 SW를 개발하고 있다. 그 밖에도, HW(hardware) 변경은 최소화하고 SW를 변경하여 아군의 피아식별 능력을 향상시키는 성능개량사업이 있다. 이 사업에서는, SW 변경에 의한 영향성을 최소화 하면서 기존 피아식별장비 작전운용성과 소요군의 요구사항을 충족시키기 위한 고품질 SW 개발을 추진하고 있다. 해당 사업의 주요 목적은 표적 추적정보로부터 요격 범위 내에 있는 표적의 정밀도를 높이는 것인데, 정밀도는 무기체계 성능에 큰 영향을 미치는 부분이므로, 실시간 운영체제 기반의 핵심 SW 설계를 통해 이를 해결하고 있다. 이처럼 무기체계의 기능을 수행하기 위한 SW 개발의 규모가 점점 증가하는 추세이다.

전장상황의 무기체계에 적용되거나 실제 군 운용을 위해 사용되는 SW는 민간 SW보다 민감한 특징이 있다. 민간 SW는 SW 오류 등으로 인해 발생하는 사용자 불만을 바탕으로 SW 수정 후 최신 버전을 배포할 수 있는 물리적인 시간이 존재한다. 이에 반해, 전장상황에서 SW 오류는 전장의 승패와 생존에 직결될 수 있다. 이에 따라, 무기체계 SW는 고도의 신뢰성(Reliability)과 정확도가 요구되며, SW의 신뢰성을 측정하기 위한 자동화 도구 적용 방법 등 다양한 연구들이 진행되고 있다[3-5].

무기체계 SW는 2011년부터 신뢰성과 정확도 확보, 품질향상 등을 위해 SW 신뢰성 시험을 요구하고 있다. 방위사업청은 2011년에 「무기체계 내장형 소프트웨어 획득 및 지침」을 제정한 이래 「무기체계 소프트웨어 개발 및 관리지침」(2013)을 거쳐 2020년 2월, 「무기체계 소프트웨어 개발 및 관리 매뉴얼」개정안을 발간 및 배포하였다. 해당 매뉴얼은 무기체계 SW 신뢰성 시험의 정

의, 수행 절차 등 체계적인 SW 개발과 관리를 위한 프로세스를 규정하고 있다[6].

방위력개선사업으로 획득되는 무기체계 SW에 대한 신뢰성 시험은 SW의 신뢰성을 확보하고 품질향상을 위한 중요한 절차이다. 현재 다양한 시험 도구가 존재하지만, 잠재되어 있는 결함을 사전에 높은 정확도로 제거하기 위해 국제 인증을 받은 시험 도구를 사용하도록 요구되고 있다.

최근 SW 신뢰성 향상을 위한 국제 규격 현황에 대한 연구[7]와, 국산 시험 자동화 도구를 활용한 무기체계 SW 신뢰성 시험 사례에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 그러나 기 개발된 무기체계 SW의 일부를 변경하거나 특정 모듈을 추가한 '성능개량사업'에 대한 SW 신뢰성 시험 향상에 관한 연구는 활발하지 않으며, SW 신뢰성 시험 정부 입회 검사 시 효율적인 검증 방법에 대한 연구 또한 미비하다.

본 논문에서는 방위사업청의 「무기체계 소프트웨어 개발 및 관리 매뉴얼」에 근거하여 무기체계 개발단계에 적용하고 있는 SW 신뢰성 시험 개요, 시험 항목의 구성에 대한 절차에 대하여 검토하고, 이를 바탕으로 연구개발주관기관이 수행한 SW 신뢰성 시험 결과를 SW 기술 지원기관이 정부 입회 검사 시 효율적으로 검증하는 방법을 제안하고자 한다.

2. 소프트웨어 신뢰성 시험 개요

2.1 SW 신뢰성 / SW 신뢰성 시험 정의

SW 신뢰성에 대한 정의는 매우 다양하다. IEEE 1633에서는 특정 조건 및 특정 기간 동안 SW가 전체 시스템에 결함을 미치지 않을 확률과 명시된 조건 아래 요구된 기능들을 수행하는 프로그램의 능력으로 정의하고 있다. IEEE STD-729-1991에서는 특정 조건 및 특정 기간 동안 결함 없이 시스템이 작동하는 확률로 정의하고 있으며 이 확률 값을 SW 신뢰성 확보 유무에 대한 척도로 사용하고 있다. ISO/IEC 9216에서는 SW를 성숙성(Maturity), 장애 허용(Fault Tolerance), 복구성(Recoverability), 표준 적합성(Compliance)으로 나누어 SW 신뢰성을 SW의 품질 특성 중 하나로 정의하고 있다. 방위사업청의 무기체계 SW 개발 지원에 관한 규정에서는 SW가 일으킬 수 있는 결함을 사전에 식별하고, 결함을 제거하기 위한 시험이라고 정의하고 있다[6].

2.2 SW 신뢰성 시험 적용 대상

SW 신뢰성 시험을 수행해야 하는 사업 범위는 무기체계 연구개발 사업, 핵심기술 사업, 핵심SW사업, 신개념 기술시범사업, 핵심부품국산화사업이다. 이를 제외한 기초연구 및 응용연구 사업, 구매사업, 일반부품국산화사업, 탐색개발 사업 등은 사업의 특성을 고려하여 사업관리회의를 통해 SW 신뢰성 시험 적용 여부 및 시험 범위에 대한 조정이 가능하다.

SW 신뢰성 시험에 적용되는 대상 언어는 C, C++, JAVA, C#이 원칙이며, SW 신뢰성 시험에 사용하는 자동화 도구에서 지원하지 않는 언어는 적용 대상에서 제외할 수 있다.

SW 신뢰성 시험 수행 대상 SW는 개발 SW(신규 SW 등), 사전에 SW 신뢰성 시험을 수행한 기 개발 SW, 상용 SW, 공개 SW, 자동 생성 code (SW 동작 시 생성되는 코드)로 분류 된다. 기 개발 SW 및 상용 SW는 SW 상세 설계 단계에서 수정 없이 재사용을 결정한다면 시험 대상에서 제외 가능하나, 수정 하는 경우에는 신뢰성 시험을 수행해야 한다. 개발 SW와 공개 SW는 신뢰성 시험을 수행해야 하는 반면, 자동 생성 code는 타당한 사유를 제시한다면 시험 대상에서 제외할 수 있다. Table 1은 SW 종류에 따른 SW 신뢰성 시험 대상 여부를 요약 한 것이며 이에 따라 SW신뢰성 시험을 진행하게 된다.

Table 1. Application Target Software Table

Division	Test object
Development software	O
Pre-development software	O or X
*COTS software	O or X
Open software	O
Automatic generated code	O or X

*COTS: Commercial Off-The-Shelf

2.3 SW 신뢰성 시험 시기

SW 신뢰성 시험은 SW 구현, SW 통합 및 시험 단계, 시험평가 단계, 규격화 단계, 양산 단계로 나누어 수행한다. SW 신뢰성 시험을 위해 각 단계별로 연구개발주관기관이 제출해야 하는 문서와 수행해야 하는 업무가 상이하다. 마찬가지로, SW 기술지원기관과 사업관리팀이 수행하는 업무 절차가 단계별로 다르다. Fig. 1은 SW 신뢰성 시험 시기를 단계별로 나타낸 그림이다.

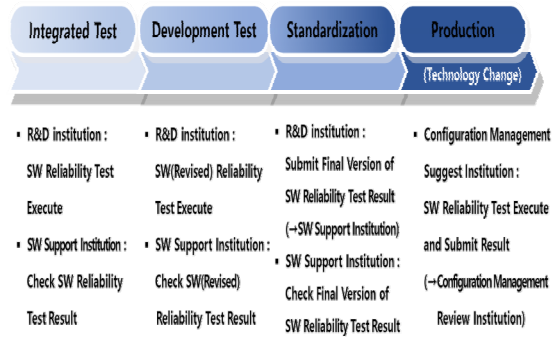


Fig. 1. Time table of SW reliability Test

SW 구현, SW 통합 및 시험 단계에서는 SW 기술지원기관의 지원 하에 연구개발주관기관이 SW 신뢰성 시험을 실시한다. 이후 시험 결과를 소프트웨어통합시험 결과서(STR, Software Test Report)에 반영함으로써 SW 기술지원기관이 해당 신뢰성 시험 결과를 확인하는 과정을 거친다.

시험평가 단계에서는 SW 기술지원기관이 개발시험평가계획에 규정된 SW 신뢰성 시험 항목(예: 시험 항목, 시험 도구 등) 및 세부내용 등을 확인한다. 시험평가 수행 중 결함 발생으로 인해 SW를 수정하거나 추가하는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우, SW 구현 또는 통합 및 시험 단계에서 신뢰성 시험을 완료하였다 하더라도 연구개발주관기관은 변경된 SW를 포함한 전체 SW에 대한 SW 신뢰성 시험을 재실시 해야 한다. 이어 변경 기능 내역, 변경 SW 목록(파일명, 생성 일자, 체크섬 등) 및 STR(수정분)을 포함한 신뢰성 시험 결과를 방위사업청(사업관리부서)을 통하여 SW 기술지원기관에 제출해야 한다. SW 기술지원기관은 연구개발주관기관에서 제출한 변경된 기능에 대한 SW 신뢰성 시험평가 수행 대상, 과정, 결과 등을 검토한다.

규격화 단계에서는 연구개발주관기관이 현 단계까지의 수정사항이 반영된 신뢰성 시험 결과(STR 수정분 포함)를 SW 기술지원기관에 제출하여야 하고, SW 기술지원기관은 제출 받은 SW 신뢰성 시험 결과의 최신 버전 검토 결과를 사업관리부서에 제출한다. 양산 단계에서는 기술변경 소요 발생시, 형상통제 제안기관이 무기체계 개발단계 소프트웨어 신뢰성 확보 활동 기준에 따라 수정된 SW에 대해 신뢰성 시험을 실시해야 한다. 시험 결과는 형상통제 제안자료(형상통제제안서 등)에 반영하여 형상관리 책임기관에 제출해야한다.

3. 무기체계 SW 신뢰성 시험 지침 및 구성

SW 신뢰성 확보를 위한 신뢰성 시험 관련 활동은 명확한 지침과 규정에 근거하여 이루어져야 한다. 방위사업청은 SW 신뢰성 시험 시 준수해야 하는 「무기체계 소프트웨어 개발 및 관리 매뉴얼」을 2014년에 제정한 이래, 2020년까지 개정하고 있다[6]. SW 신뢰성 시험은 정적(Static) 시험 및 동적(Dynamic)시험으로 구분되어 있으며 각 시험에 따라 정해진 규칙과 절차를 따라 수행해야 한다.

3.1 SW 신뢰성 시험 - 정적(Static) 시험

정적 시험이란 SW를 실행하지 않은 상태에서 SW의 잠재적인 결함을 검출하는 시험이다. 잠재적인 결함은 관련 표준에서 인증된 시험 도구를 활용하여 확인할 수 있다. 방위사업청 「무기체계 소프트웨어 개발 및 관리 매뉴얼」에 따르면 정적 시험은 코딩 규칙(Coding Rule) 검증, 취약점 검증 및 소스코드 메트릭검증으로 구성되어 있으며 시험 대상 SW가 각 시험 항목별로 제한 값을 준수하는지 확인하여야 한다.

3.1.1 코딩 규칙(Coding Rule) 검증

무기체계 소프트웨어 코딩 규칙은 방위력 개선사업으로 개발되는 SW의 신뢰성을 확보하기 위해 만들어진 규칙을 의미한다. 연구개발주관기관에서 SW 개발 시 정해진 코딩 규칙을 전부 만족시킬 수 있도록 규칙을 고려하여 SW 개발을 진행해야한다. 이후, SW 신뢰성 시험 시, 코딩 규칙 항목에 위배되는 소스코드가 발견된다면 연구개발주관기관은 코딩 규칙을 만족하도록 소스코드를 다시 수정해야 한다. 위의 과정을 거친 후 만들어진 최종 SW 산출물은 코딩 규칙을 전부 만족하는 SW가 되어야 한다.

코딩 규칙과 관련된 산업 표준으로는 IEC 61508, ISO 26262, DO-178B/C, IEC 62279, IED 60880, EN 50128 등이 있다. Table 2는 「무기체계 소프트웨어

Table 2. Coding Rule Set

Language	Coding Rule Set
C	MISRA-C 2012
C++	MISRA-C++ 2008, JSF++
C#	Coding Conventions, NET(Microsoft)
JAVA	Code Conventions, .NET(Oracle)

개발 및 관리 매뉴얼」에서 요구하는 최신 코딩 규칙이다. 다만, 사업관리회의 등에서 코딩 규칙을 변경하기 위한 타당한 사유를 제시하고 의사결정이 합의가 된다면, Table 2의 코딩 규칙에 대하여 조정이 가능하다.

부품국산화 사업 등과 같이 표준 적용이 제한되는 사업은 최신 매뉴얼에서 요구하는 Table 3의 프로그램 작성 규칙을 따를 수 있으며 소스코드 구현 시에 이 규칙을 준수하도록 규정하고 있다.

Table 3. Program Rule

Division	Content	Count	
Common Application (C, C++)	Style	Line by line, Goto statement, Abstain multi return statement, etc.	12
	Reset	Variable, String array, Pointer reset, etc.	3
	Identifier	Abstain overlap global variable, etc.	4
	Condition	Compare float data type, Conditional statement true of false, etc.	5
	Convert	Function convert, Data type convert, Constant type convert, etc.	8
	Pointer /Array	Null pointer reference, Array index excess value, etc.	5
	Operator	0 divide operate, Side effect, Abstain negative shift, etc.	9
C Application	Scanf, Malloc, Function parameter, etc.	5	
C++ Application	Throw, Virtual function, Exception out, Constructor, Destructor, etc.	15	

3.1.2 취약점 검증

취약점 검증은 SW 실행 시 프로그램 오동작, 메모리 누수(leak), 정지 등과 같은 취약점을 분석하는 검증 항목이다. 「무기체계 소프트웨어개발 및 관리 매뉴얼」에 따르면, 무기체계 대상 사업 별로 CWE(Common Weakness Enumeration) 규칙을 선별하여 소스코드의 취약점을 점검하도록 규정하고 있다. CWE란 SW의 보안 및 품질 강화를 위해 개발 시 참고할 수 있도록 SW의 취약점을 표준화한 목록이다. 미국 비영리 공익 기관인 MITRE에서 제공하며, CWE-658/659/660은 C/C++/Java 언어로 개발된 SW마다 발생 빈도가 높은 취약점을 목록

화 한 내용이다. 취약점 검증에는 CODESONAR 등의 자동화 도구가 사용되며, 결함이 있는 SW의 경우 점검하고자 하는 조건 체크를 통해 시험 비 대상 결함 수와 시험 대상 결함 수를 각각 알 수 있다. 대표적인 오류명은 Buffer Overrun, 메모리 Leak, Double Free 등이 있다.

3.1.3 소스코드 메트릭 검증

무기체계 SW에서 소스코드 메트릭은 SW 복잡도 감소, 유지보수 용이성 증대 등 SW의 품질향상을 위한 소스코드의 품질 측정 지표이다. 「무기체계 소프트웨어 개발 및 관리 매뉴얼」에서 규정하고 있는 메트릭 종류 및 제한값은 Table 4와 같다.

Table 4. Source Code Metric

Metric Statement	Limit Value(below)
Cyclomatic complexity	20
Number of call levels	6
Number of function parameters	8
Number of calling functions	8
Number of called functions	10
Number of executable code lines	200

대표적인 메트릭 종류는 함수 내 조건문 등의 최대 중첩 깊이, 타 함수로부터 호출되는 횟수, 타 함수를 호출하는 횟수가 있다. 함수가 다른 함수로부터 호출되는 것과 다른 함수를 호출하는 것은 서로 상관관계에 있음을 내포하므로, 연구개발주관기관은 SW개발 시 함수 간 상관관계를 사전에 고려하여 메트릭검증 값을 만족시켜야 한다. 소스코드 메트릭의 종류나 제한값은 소스코드 구현 방식 또는 사업 특성에 따라 수정될 수 있다. 특히, 사업 특성으로 인해 메트릭 종류와 제한값 수정을 요청하는 경우가 종종 발생한다. 이러한 경우 연구개발주관기관에서 타당한 사유를 제시하여 관련기관의 의견이 수렴될 수 있도록 해야 한다. 의견 제시는 사업관리회의나 유관기관 검토회의에서 가능하며, 회의를 통해 메트릭 종류와 제한값을 다시 설정하는 과정을 거쳐야 한다.

3.1.4 거짓 경보 / 예외 부분 및 사유 첨부

SW가 「무기체계 소프트웨어 개발 및 관리 매뉴얼」에서 규정한 모든 규칙을 준수하여 SW를 개발하도록 하는 것이 SW 신뢰성 시험의 주요 목적이다. 그러나 실제 SW 자체의 오류가 아님에도 불구하고 시험도구의 오검출로 인해 결함이 검출되는 경우가 있다. 예를 들어, 규칙을

만족하도록 SW를 개발하였는데 도구의 오탐(False Alarm)으로 계속 오류가 나오는 경우가 이에 속한다. 이런 경우는, 실제 SW의 결함이 아닌, 시험도구의 한계로 검출된 결함이기 때문에 연구개발주관기관은 도구의 오탐에 대한 분석이 포함된 설명 자료를 추가하여 거짓 경보로 처리할 수 있다. 또한, 기능구현을 위해 반드시 사용해야 하는 경우에도 해당 검출 결함을 거짓 경보에 포함할 수 있다. 예를 들어 MISRA C++:2000의 ‘동적메모리 할당금지’ 코딩 규칙은 프로그램이 실행되는 동안 Heap 메모리를 할당 받지 않고 메모리의 크기를 사전에 결정하라는 규칙으로써, Stack(정적) 메모리 할당을 통해 충족시킬 수 있으나, 무기체계 요구사항 만족을 위한 SW 구현 시에 필요한 메모리가 Stack 메모리를 초과하는 경우 코딩규칙을 충족시킬 수 없다. 이러한 경우, 관련기관들의 협의를 통해 거짓 경보 처리 여부에 대한 내용을 확정해야 한다.

3.2 SW 신뢰성 시험 - 동적(Dynamic) 시험

소프트웨어 동적 시험이란 소프트웨어를 실제 무기체계의 HW에 탑재한 상태에서 소프트웨어통합시험절차서(STD, Software Test Description) 요구사항 기반으로 소스코드의 코드 실행률(Coverage)을 점검하는 시험이다. 코드 실행률은 전체 소스코드에서 시험된 소스코드를 백분율(%)로 수치화한 값으로, 동적 시험의 수준을 결정하는 기준이 된다. 동적 시험은 시험 수준에 따라 문장(Statement) 실행률, 분기(Branch) 실행률, MC/DC(Modified Condition/Decision Coverage)로 구성되며, 코드 실행률 달성 기준은 100%이다. 코드 실행률의 세부 기준은 Table 5와 같다.

Table 5. Coverage

Division	Specification
Statement coverage	- Basic level of code coverage - Ratio of the tested statement at least once in the test object source code during the dynamic SW reliability test
Branch coverage	- Ratio of the conditional statement (true & false) is tested at least once in test object source code during the dynamic SW reliability test at least once tested
MC/DC (Modified Condition/ Decision Coverage)	- Highest level code coverage - Ratio of how independent variation affect the combination of true & false branch statement between all conditional statement in the test object source code during the dynamic SW reliability test

3.2.1 동적 시험 코드 실행률

Table 6은 방위사업청 「무기체계 소프트웨어 개발 및 관리 매뉴얼」 부록에서 제공하는 동적 시험 세부 설정 기준이다. 코드 실행률 시험 종류는 결함의 발생빈도, 영향성, 제어가가능성을 평가한 후 Table 6에 따라 그 수준 별로 설정하며, 이에 대한 코드 실행률 달성 기준은 100%이다. 무기체계 또는 사업 특성에 따라 국제표준을 적용하여 SW를 개발할 경우에는 해당 표준에 규정된 SW 동적 시험 내용을 따를 수 있다. 지원 장비, CBT(Computer Based Training) 등과 같이 무기체계의 주 장비의 운영과 관련이 없는 장비인 경우 SW 동적 시험 대상에서 제외할 수 있다.

Table 6. Specific Criteria for Dynamic Test

Severity	Exposure	Controllability		
		C1	C2	C3
S1	E1	S	S	S
	E2	S	S	S
	E3	S	S	S
	E4	S	S	S
S2	E1	S	S	S
	E2	S	S	S
	E3	S	S	S
	E4	S	S	B
S3	E1	S	B	B
	E2	B	B	B
	E3	B	B	B
	E4	B	B	M
S4	E1	B	B	M
	E2	B	M	M
	E3	B	M	M
	E4	M	M	M

*S: Statement, B: Branch, M: MC/DC(Modified condition/Decision Coverage)

Severity	
Level	Content
S1	Negligible
S2	Marginal
S3	Critical
S4	Catastrophic

Exposure	
Level	Content
E1	Very low probability (highly unlikely)
E2	Low probability (several times / life cycle)
E3	Mean probability (several times / 1 year)
E4	High probability (several times / 1 month)

Controllability	
Level	Content
C1	Simply controllable
C2	Usually controllable
C3	Difficult controllable

*S : Difference between one level in test : 10 times
ex. S2 : S1 * 10

3.2.2 동적 시험 미달성 분석 보고서

SW 신뢰성 시험(동적 시험)을 수행한 결과, 코드 실행률 기준(100%)을 충족하지 못하는 경우가 있다. 이는 미달성 분석 보고서 작성을 통해 예외 처리할 수 있으나, 사업관리부서 및 연구기발주관기관 등의 유관기관은 해당 건의 코드 실행률 계산 시 예외 처리 여부에 대한 협의가 필요하다.

예를 들어, 입력되는 파라미터의 값에 대한 포인터 배열의 NULL체크 동작 확인을 위해 매우 예외적인 상황에서 동작하는 방어 코드는 코드 실행률 기준(100%)을 충족시킬 수 없으며, 해당 건이 사전에 협의한 예외사항이라면 미달성 분석 보고서를 작성하여 코드 예외 처리할 수 있다.

4. SW 신뢰성 시험 효과적 검증 방안

4.1 무기체계 성능개량사업 추진 경위

국방부 국방전력발전업무훈령[8]에 따르면, 방위사업청은 현재 양산 중이거나, 전력화되어 배치된 무기체계의 성능 및 품질향상 등을 위해 성능개량 사업을 추진할 수 있다.

성능개량 사업의 추진 여부를 결정하는 절차는 다음과 같다. 먼저, 소요 제기 기관이 제기한 성능개량 사업에 대한 소요에 따라 합참은 소요제기기관, 방위사업청의 의견을 바탕으로 성능개량 필요성, 타당성 등을 검토하여 그 결과를 각 기관에 통보한다. 방위사업청은 자체 심의를 거쳐 성능개량 사업 추진 여부를 최종 확정하여 사업에 착수할 수 있다.

4.2 무기체계 성능개량사업 SW 신뢰성 시험 범위, 절차 등 설정 방안

무기체계 성능개량 사업의 SW는 크게 재사용 SW, 재활용 SW, 신규 SW 세 가지로 구분한다. 재사용 SW는 기존 소스코드를 수정하지 않고 사용하는 경우이며, 재활용 SW는 기존 소스코드 일부를 수정한 소스코드, 신규 SW는 성능개량사업에서 구현하고자 하는 기능을 포함하여 새로 개발한 소스코드를 의미한다. 「무기체계 소프트웨어 개발 및 관리 매뉴얼」은 재사용, 재활용, 신규 SW 모두 SW 신뢰성 시험을 통한 SW 신뢰성 확보의 필요성을 규정하고 있다.

소프트웨어 상세설계(SDD, Software Detailed Design)

단계 에서 수정 없이 재사용이 결정된 상용 SW와 성능개량사업 이전 신뢰성 시험을 기 실시한 SW는 SW 신뢰성 시험 대상에서 제외할 수 있으나, 수정이 결정된 경우에는 해당 함수에 대하여 신뢰성 시험을 수행해야 한다. 공개 SW는 공개 SW 무기체계 적용 가이드라인에 따라 신뢰성 시험을 수행해야 하며, 자동 생성 code는 타당한 제외 사유를 제시하지 않는다면 신뢰성 시험 대상에서 제외할 수 없다.

SW 신뢰성 시험은 사전에 시험 대상, 범위, 절차 등에 대하여 사전 식별하는 것이 중요하다. 성능개량사업의 경우 기 개발된 사업의 개발/계약시점과 SW 신뢰성 시험 관련 규정 및 지침의 제정 시기가 사업마다 상이하기 때문에 SW 신뢰성 시험을 수행하는 명확한 근거를 확보하는 것에 어려움이 있다. 예를 들어, SW 신뢰성 시험 규정이 제정되기 이전에 기 개발된 사업이 계약/개발 되었다면 현재 운용되고 있는 SW가 신뢰성이 확보된 기 개발 SW라고 단정할 수 없다. 기 개발된 SW 기반 무기체계가 전력화 이후 수년간 군에서 정상적으로 운용되고 있는 것이 SW 신뢰성 시험의 근본적인 목적을 달성했다고 생각할 수 있지만, 문제없이 운용되고 있다는 근거가 신뢰성 확보 여부의 기준이 될 수 없다. 이에 따라, SW 신뢰성 시험을 수행하지 않은 기 개발된 SW를 수정 없이 재사용 하는 경우 SW 신뢰성 시험 여부에 대한 사전 협의가 이루어져야 한다. 또한, 성능개량 사업의 계약/개발 시점이 SW 신뢰성 시험 규정이 개정된 시기와 유사하다면 개정된 규정의 소급 적용 여부에 따라 시험 대상, 범위 등이 결정되므로 규정을 어떻게 적용할 것 인지 사전에 확정해야 한다. SW 신뢰성 시험수행 전, 사업의 특성을 반영한 시험 대상, 범위, 절차 등의 관련 근거를 확보하는 것이 매우 중요하다.

4.3 무기체계 성능개량사업 SW 신뢰성 시험 절차

Fig. 2는 무기체계 SW에 대한 신뢰성 시험 수행하기 위한 각 기관의 주요 단계별 활동을 나타내는 그림이다.

무기체계 성능개량사업의 SW 신뢰성 시험은 「무기체계 소프트웨어 개발 및 관리 매뉴얼」 및 부록 등의 관련 규정을 참고하여 수행한다. 연구개발주관기관은 자체적으로 수행한 SW 정적 및 동적 신뢰성 시험 결과를 SW 신뢰성 시험 계획과 함께 사업관리부서에 제출한다. 사업관리부서장은 연구개발주관기관이 제출한 자체 시험결과 등을 SW 기술지원기관에 통보하여 정적 시험은 확인, 동적 시험은 검토를 의뢰한다. SW 기술지원기관은 연구개발주관기관과 협의하여 정적 시험은 검증단계를, 동적

시험은 검토단계를 거친다. SW 기술지원기관은 연구개발주관기관의 신뢰성 시험 결과를 정부 입회 검증 후, 신뢰성 시험 수행 내용과 그 검토 결과를 사업관리부서에 제출한다.

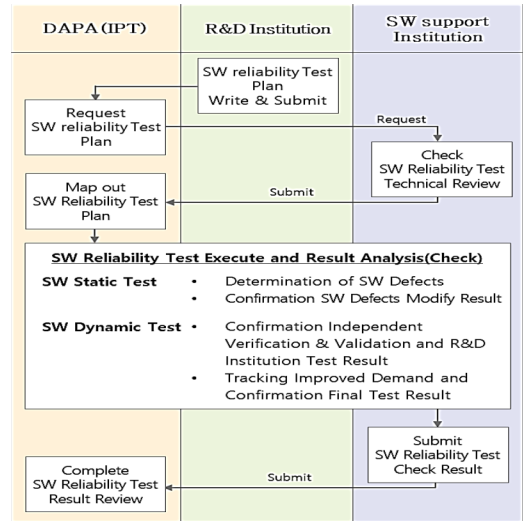


Fig. 2. Actions for Software Reliability Test

*R&D Institution submit SW reliability test result draft when they submit SW reliability test plan

4.4 효율적인 무기체계 성능개량사업 SW 신뢰성 시험 검증 방안

SW 기술지원기관은 연구개발주관기관이 자체 수행한 SW 신뢰성 시험 결과를 정부 입회 검사 시 효율적으로 검증하는 방안을 수립해야 한다. 이를 위해 기 개발 SW의 신뢰성 시험 여부와 시험 절차, 시험도구, 시험 방법 등을 사전에 식별해야 한다. 만약 이러한 근거의 식별이 곤란하다면, SW 신뢰성 시험 계획 단계에서 각 유관기관의 역할을 통해 시험 여부, 절차 등에 대한 근거를 수립하도록 해야 한다. 이와 더불어, 연구개발주관기관이 시험 대상 여부 파악 등의 절차를 수립할 수 있도록 규정에 입각한 의견을 전달해야 하며 사업관리부서는 필요시 사업관리회의를 통해 최종 의견을 수립해야 한다.

또한, 시험 결과 정부 입회 검사 시 효과적인 검증을 통해 신뢰성 확보하는 방안을 검토하여야 한다. 표본을 최대화한 전수검증은 신뢰성 시험 결과를 확인하는 것에 있어 정확성이 높아질 수 있지만, 많은 시간이 소요되며 비효율적인 방법이다. 최소 몇 십만 줄에서 최대 몇 백만 줄로 이루어진 소스코드의 신뢰성을 검증을 위한 빌드시 오랜 시간이 걸리기 때문이다.

4.4.1 효율적 SW 신뢰성 시험 방안- I

SW 기술지원기관은 기 개발 SW 신뢰성 시험 유무, 시험 대상 식별, 시험 항목, 시험 절차 및 근거 등을 확보하기 위해 신뢰성 시험 이전 사업관리회의를 통해 관련 의견을 개진해야 한다. 예를 들어, 성능개량사업의 경우 기 개발된 SW 시점의 규정으로 신뢰성 시험을 진행할 것인지, 성능개량된 SW 부분만 시험 대상으로 확인할 것인지, 성능개량된 SW가 포함되어 있는 함수 전체를 시험 대상으로 할지 등에 대하여 사전에 확정해야 한다.

신뢰성 시험 대상 범위를 어떠한 시점을 기준으로 할 것인지에 대하여 사전에 확인하는 과정도 필요하다. 성능개량사업의 경우 국방표준종합정보시스템(KDSIS)에 탑재되어 있는 최신 버전의 SW를 바탕으로 SW를 개발하고, 신뢰성 시험을 해야 한다. 그러나 간혹 연구개발주관기관에서 자체적으로 보유하고 있는 SW로 성능개량을 하는 경우가 발생하여 기존에 없던 파일이 포함된 상태로 SW가 개발된다거나, 기존에 파일이 제외된 상태로 개발 되는 경우가 존재한다. 이러한 경우 SW 신뢰성 시험 대상 선정의 문제가 아닌, 신뢰성 시험 입회 자체를 하지 못하는 사유가 될 수도 있다. 이를 해결하기 위해 SW의 Baseline이 맞는지에 대한 형상 확인 과정이 필요하다. 형상 확인 과정은 성능개량 사업을 위한 개발 기준 SW와 기존의 규격화된 SW를 비교하는 기준선 확인 과정을 거친다. 확인방법으로는 SW 형상의 파일명, 생성일자, 체크섬, 파일크기, 상용라이브러리 등의 일치여부 점검이 있다. 이 과정을 통해 SW 성능개량 시 기준점이 되는 포인트를 명확히 할 수 있고, 누락 및 추가 SW에 대한 확인이 가능하다.

4.4.2 효율적 SW 신뢰성 시험 방안-II

SW 기술지원기관은 연구개발주관기관이 사전에 자체 수행 한 SW 신뢰성 시험 결과에 대한 정부 입회 검사 시, 많은 시간이 소요되는 전수 검증 대비 시간을 줄일 수 있는 효율적인 방법을 고려해야 한다.

SW 신뢰성 시험 정부 입회 전, SW 기술지원기관은 연구개발주관기관의 SW 신뢰성 시험 자체 시험결과를 사업관리부서로부터 통보받고 서면 검토를 수행한다. 서면검토 이후, 정적/동적시험을 확인할 수 있는 장소에서 입회 검증을 진행하는 절차를 따른다.

정부 입회 검증 시, 전체 SW에 대한 빌드를 진행하는 것은 굉장히 많은 시간이 소요된다. 이에 따라, 본 논문에서는 결함 발생률이 높은 SW 형상항목(CSCI, Computer Software Configuration Item)을 사전에 식별하여 해

당 CSCI의 입회 검증과 전체 CSCI에 대한 서면 검토 방법을 통한 효율적인 신뢰성시험 정부 입회 검증 방법을 제안한다.

Fig. 3은 무기체계는 SW는 형상관리를 위해 분리한 SW 집합체인 CSCI, CSCI를 구성하는 SW 구성품(CSC, Computer Software Component), 그리고 CSC를 구성하는 단위 소프트웨어(CSU, Computer Software Unit)를 나타낸다.

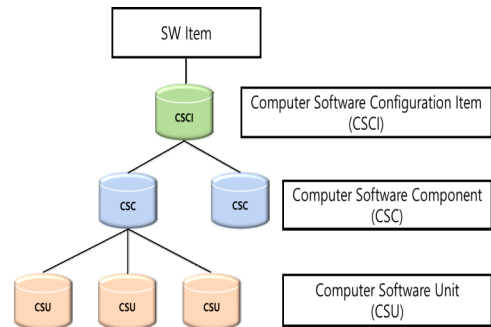


Fig. 3. Hierarchical SW Component

「무기체계 소프트웨어 개발 및 관리 매뉴얼」은 무기체계 SW는 CSCI별로 주요 기능과 개발방안을 식별 및 관리해야 한다고 규정하고 있다. 효과적인 SW 신뢰성 시험 검증을 위해서는 CSCI 별로 정해진 기준에 근거하여 검수하는 방법이 필요하다.

CSCI는 기능별로 무기체계 구현을 위해 필요한 소스 코드의 복잡도, 코드 라인 수, 변경률 등이 상이하다. 예를 들어, 중요 기능을 담당하는 핵심 모듈의 CSCI는 소스 코드의 양이 매우 방대하며, 핵심 CSCI를 보조하거나 입력 값을 받아 처리하는 단순 CSCI는 상대적으로 소스 코드의 양이 적다. 성능개량사업의 경우에는 기 개발된 SW를 재사용하거나 재활용 하는데, 재활용의 경우 소스 코드 변경률이 높은 CSCI와 낮은 CSCI로 나뉠 수 있다.

재사용 SW는 기 개발된 SW를 그대로 사용하는 경우로써, 기 개발된 사업 시점에 따른 SW 신뢰성 시험의 기준으로 SW의 신뢰성을 확보하였는지 여부와, 현 시점에서 최신 규정을 바탕으로 신뢰성 시험을 재 실시 할지에 대한 여부를 결정해야 한다. 재활용 SW는 기 개발된 SW에 신규 SW 함수, 라인 등이 추가된 SW를 의미한다. 재활용 SW의 경우 기 개발 시 SW 신뢰성 시험을 진행하였더라도 신규 SW가 추가된 부분이 있으므로, SW 신뢰성 시 재 실시 여부를 명확하게 사전 협의해야 한다.

본 논문에서는 성능개량사업에서 재활용 SW가 신뢰

성 시험 대상인 경우, 효율적 검증 방법을 제안하고자 한다. 재할용 SW의 경우 CSCI별로 코드라인수가 다르고, 기 개발된 SW CSCI와 비교했을 때 변경률이 높은 CSCI가 존재한다. 코드 변경률이 높은 CSCI는, 기존 무기체계를 성능개량하는 사업의 관점에서 보았을 때, 본 사업에 해당하는 주요 기능을 위해 대폭 수정된 것이라고 볼 수 있다. 또한, 라인 수가 많다는 의미는 단순 기능 구현 동작이 아닌 실제 여러 모듈과의 상호작용을 위한 동작을 위해 개발된 것이라고 볼 수 있다. 이에 따라, 소스코드 라인수와 변경률이 높은 CSCI가 핵심 CSCI라고 판단하였고, 실제 CSCI에 확인했을 때 두 가지 요인을 고려하여 판단한 CSCI가 핵심 SW에 속하는 것을 확인하였다.

Table 7은 000 합정 무기체계 성능개량 사업의 소스코드 라인 수, 소스코드 변경률에 따라 CSCI의 결함 발생 위험도를 정량화하는 기준 식별표이다. Table 7을 바탕으로 CSCI별 결함 발생 위험도를 정량화 및 판정 후, CSCI 간 위험도 점수를 상대 비교함으로써 SW 신뢰성 시험 입회 검사 시의 검증 대상을 식별하였다. 총 CSCI 7종 중, 결함 발생 위험이 높은 2종을 최종 식별하였다. 식별된 2종의 CSCI를 바탕으로, 전수 조사가 아닌 핵심 SW를 고려한 입회 검증을 진행하였다. 실제 검증 시 효과적인 정부 검사를 위해 위와 같은 방법으로 입회를 진행하였으며, SW 신뢰성 시험 결과 검증의 정확도를 높이기 위해 입회 검증 이전에 통보받은 연구개발주관기관이 수행한 자체 SW 신뢰성 시험 결과를 다수의 서면 검토를 통해 확인하였다. 최종적으로 서면검토와 실제 핵심 CSCI를 선별하여 입회 검증 하는 방법을 통해 전체 모든 CSCI를 입회 검증하는 전수 검증 대비 소요되는 시간을 72% 절약하여 최종 SW 신뢰성 시험 결과를 효율적으로 입회 검증할 수 있었다.

Table 7. Criteria for the Risk Identification on CSCI in 000 Shipment Project

Rate of code change \ Number of lines of code	Number of lines of code				
	~ 1,000	~ 3,000	~ 10,000	~ 20,000	20,001 ~
~ 20%	2	3	4	5	6
~ 40%	3	4	5	6	7
~ 60%	4	5	6	7	8
~ 80%	5	6	7	8	9
~ 100%	6	7	8	9	10

*CSCI criteria score is identified by considering both rate of code change and number of lines of code

*Test CSCI is chosen in comparison to risk identification score

5. 결론

본 연구에서는 방위사업청 「무기체계 소프트웨어 개발 및 관리 매뉴얼」을 바탕으로 무기체계 SW 신뢰성 시험의 개요, 구성, 절차 등 전반에 대해 검토하고, 무기체계 성능개량사업의 특수성에 대해 알아보았다. 또한, SW 기술지원기관의 SW 신뢰성 시험 정부 입회 검사 시 시간을 단축하여 효율적으로 검증할 수 있는 방법에 대해 제안하였다. 성능개량 사업의 경우 SW 신뢰성 시험 대상, 항목 등을 식별하는 것이 중요하므로, 명확한 절차가 없는 경우, 사업관리 회의 등을 거쳐 절차를 수립하는 것이 필요하다. 또한, SW의 Baseline에 대한 형상 확인 과정을 통해 정부 검사 시 발생할 수 있는 문제를 사전에 검토 및 확인하는 절차가 필요하다. 위의 과정을 통해 SW 신뢰성 시험 대상을 명확히 할 수 있다. 추가적으로 본 논문에서는 정부 입회 검사 시, 코드 라인 수와 코드 변경률에 근거한 위험도 식별 값을 기준으로 중요 CSCI를 선별하였고 이를 통해 전수검증 대비 소요시간을 감소시키는 효율적 검증 방안을 제안하였다.

SW 신뢰성 시험은 단순한 주어진 규칙의 만족 여부를 확인하는 소스코드의 검증 행위가 아니다. SW 기반의 무기체계 개발 사업을 성공적으로 완수한 후, 전력화하여 우리 군 무기체계의 목적에 따라 적합하게 운용할 수 있음을 검증하는 역할로, SW 신뢰성 시험은 국가 안보와 직결된 중요한 요소 중 하나이다.

SW 신뢰성 확보를 위해 전반적인 신뢰성 시험 프로세스 측면, 자동화 도구 등에 관한 지속적인 연구가 진행되어야 한다. 그리고 사업 범위 내의 비용, 시간 등 한정된 자원을 고려하여, 개발된 SW가 오류 없이 동작함을 보장할 수 있는 SW 동작에 관한 다양한 예측 모델 및 추정 모델들에 대한 연구 또한 필요하다. 효율적으로 SW 신뢰성 시험과 그 검증을 할 수 있도록 연구개발주관기관을 포함한 관련 기관들의 관심이 지속되어야 한다.

References

- [1] K.Y. Shin, J.K. Lee, K.H. Kang, W.G. Hong, C.H. Han, "The Current Applications and Future Directions of Artificial Intelligence for Military Logistics", Journal of Digital Contents Society, Vol.20, No.12, pp.2433-2444, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2019.20.12.2433>
- [2] J.W. Ahn, S.W. Noh, T.H. Kim, I.W. Yun, "An empirical study on defense future technologies in

artificial intelligence”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society. Vol.21, pp.409-416., 2020.

DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.5.409>

- [3] D.U. Bak, “An Application of Software Reliability Estimation Model on Weapon System”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, No.21, pp.178-186, 2020.
DOI: <https://doi.org/doi:10.5762/KAIS.2020.21.6.178>
- [4] S.B. Lee, J.M. Sim, I.Y. Han, “A case study on software reliability test for weapon systems using domestic testing automation tools” Communication of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers, No.34, pp.60-67, 2016.
- [5] S.J. Park, “A Study on Automatic Test Equipment Validation in the Realm of Defense”, Vol.21, No.9, pp.144-150, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.9.144>
- [6] A weapon system software development and management manual. Defense Acquisition Program Administration, 2020.
- [7] K.I. Woo, J.S. Woo, “The trend of international standard to improve SW reliability”, Communication of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers, Vol.30, pp.72-8, 2012.
- [8] Defense Force Development Operation Regulation, MND Regulation No.2539, April 6, 2021.

노 시 찬(Si-Chan Noh)

[정회원]



- 2019년 2월 : 연세대학교 글로벌 융합공학과 (공학석사)
- 2020년 12월 ~ 현재 : 국방기술품 질원 연구원

〈관심분야〉

무선통신, 5G 표준

김 영 길(Young-Gil Kim)

[정회원]



- 2019년 2월 : 광주과학기술원 기전공학과 (공학석사)
- 2019년 8월 ~ 현재 : 국방기술품 질원 연구원

〈관심분야〉

전파공학, 통계학

손 민 정(Minjeong Son)

[정회원]



- 2016년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과 (기계공학석사)
- 2020년 9월 ~ 현재 : 국방기술품 질원 연구원

〈관심분야〉

기계공학, 체계공학

김 민 혁(Min-Hyuk Kim)

[정회원]



- 2019년 2월 : 경북대학교 전기공학과 (공학학사)
- 2020년 9월 ~ 현재 : 국방기술품 질원 연구원

〈관심분야〉

전기공학, 인공지능