

MOSA 정책을 적용한 군용 표준 자동화시험체계 개발방안 연구

Studying on the Development Method of Military Standard Automatic Test System Applying MOSA Policy

최현웅*, 이재민**, 안재광**, 권익현**, 최경진***

Heon Woong Choi*, Jae-Min Lee**, Jaegwang Ahn**, Ik-Hyun Kwon**, Kyungjin Choi***

ABSTRACT

Sustaining Engineering, which involves performing technical activities to analyze and improve causes of failures during the operation and maintenance phases to enhance the operational availability of primary equipment, is a core element of Integrated Product Support(IPS). For sustaining engineering activities, test equipment is essential, and it is also included in the scope of Support Equipment, which identifies, acquires, and manages equipment needed for the operation and maintenance of primary systems. Therefore, policies aimed at developing economical and efficient test equipment are vital for the advancement of integrated logistics support elements. The United States is promoting the maximization of efficiency and flexibility in the development and operation of defense systems over their entire life cycle by applying the Modular Open System Approach (MOSA). The MOSA policy enhances interoperability through open standards, allowing different system components to communicate and collaborate efficiently, while reducing costs by enabling system upgrades through modular replacement rather than comprehensive overhauls. This study aims to propose a development method for military standard automatic test system that can be commonly used across various weapon systems by analyzing global test equipment standards, MIL-STD for test equipment, and MOSA policies to ensure compatibility with operational environments and mission requirements.

초 록

주장비의 운용가용도 향상을 위한 운영유지 단계에서의 고장원인을 분석하고 개선하는 기술적 활동을 수행하는 유지관리(Sustaining Engineering)는 통합체계지원요소의 핵심요소이다. 유지관리 활동을 위해서는 필수적으로 시험장비가 필요하며 또한 시험장비는 주장비 운용 및 정비에 필요한 지원장비 소모를 식별 및 확보하여 관리를 수행하는 지원장비(Support Equipment) 활동범위에 포함된다. 따라서 경제적이고 효율적인 시험장비를 개발하는 정책은 중요한 통합체계지원요소 발전 방안이다. 미국은 MOSA(Modular Open System Approach, 모듈식 개방형 시스템 접근방식) 정책을 적용하여 국방 시스템의 총 수명주기 측면의 개발과 운용에 있어서 효율성과 유연성 극대화를 추진하고 있다. MOSA 정책은 모듈식 설계를 통하여 시스템을 개선할 때 큰 비용이 지출되는 일괄 개조가 아닌 특정 모듈의 교체로 비용을 절감시키면서도 서로 다른 시스템 요소가 효율적으로 소통하고 협력할 수 있도록 개방형 표준을 통해 상호운용성을 강화하는 정책이다. 따라서 본 연구는 다양한 무기 체계에 공통적으로 사용될 수 있는 개방형 표준을 갖추고 있는 군용 표준시험장비를 개발하기 위하여 글로벌 시험장비 표준, 시험장비의 MIL-STD 및 MOSA 정책 분석을 통하여 운용환경과 임무에 적합한 표준 시험장비 개발방안을 제시하였다.

Key Words : Sustaining Engineering(유지관리), MOSA(모듈식 개방형 시스템 접근방식), MIL-STD(군사표준), Standard ATS (표준 자동화시험체계)

* 최현웅, 국립금오공과대학교 첨단방위산업융합센터(교신저자 E-mail: heonwoong@kumoh.ac.kr) 및 자율전공학부

** 이재민, 안재광, 권익현 국립금오공과대학교 ICT융합특성화연구센터

*** 최경진, 한화시스템 MRO사업부 시험기술팀

I. 서론

무기체계 운용의 지속성을 위해서는 유지관리에 필요한 지원장비가 소요되며 지원장비는 무기체계의 운용과 유지관리를 지원하는데 필요한 모든 장비로 특수/일반공구, 검정/교정장비, 측정장비, 시험장비(수동, 자동), 발전기 및 냉방기 등의 보조 장비와 기타장비로 구성된다[1].

시험장비는 무기체계를 개발 및 양산하는 과정에서 주장비의 기능을 확인하고 검증할 뿐만 아니라 운영유지 단계에서의 주장비에 포함된 구성품 및 부품의 설정 정비계단별 부품의 고장 진단을 통하여 원인을 분석하고 개선하기 위한 필요지원장비의 하나로써 소요를 최소화하기 위해 주장비 설계에 반영하고 가능한 기존 운용 장비와의 호환성을 유지시키기 위하여 범용장비로 확보하는 등 신규 지원장비의 개발을 최소화하여야 함을 권장하고 있다[2-3].

또한 정비용 시험장비는 필요시 Class 5 대화형 전자식 기술교범(ITEM, Interactive Electronic Technical Manual)과의 연동을 통해 주장비의 고장탐구 및 정비를 위한 필요한 기술정보를 상호대화식 형식으로 전달받아 고장 진단 및 정비로 연결되어야 한다[4]. 그러나 현실적으로 시험장비는 무기체계 연구개발과정에서 규격화가 제외되는 경우가 대부분[5]이어서 또는 필요에 따라 업체 자체적으로 개발한 상용품과 자체제작이 포함된 제품이라서 대화형 전자식 기술교범과의 연동이 대부분 제한되며 기존 운용장비와의 범용 호환성 또한 제한되는 것이 현실이다. 따라서 새로운 주장비를 개발할 때마다 새로운 시험장비를 개발하여야 하며 기존에 제작된 시험장비를 개조하여 활용하여야 하는 경우 특정 업체에 의존적으로 재활용을 하다 보니 경쟁구조 미형성으로 경쟁을 통한 비용절감을 기대하기 어려운 현실이다.

미국의 경우 국방체계의 개발과 운용에 있어서 효율성과 유연성 극대화 추진을 위하여 체계공학 절차의 사업절차에서 모듈식 개방형 시스템 접근방식(MOSA)를 적용을 강조하고 있다. 특히 2019년 1월 육군, 해군 및 공군이 동시에 서명한 3군 각서(DoD Tri Services memo)에는 모듈식 개방형 시스템 접근방식(MOSA)은 전투에서 피할 수 없는 요소임을 강조하고 미래 무기체계 개량 및 신규 연구개발사업에 있어서 최대한 사용할 것을 요구하는 내용이 기술되어 있다[6]. 이에 따라 개방형 표준을 통해 첨단 무기체계의

대표 제품인 전자장비를 표준화함으로써 상호운용성 및 확장성을 증가시키고 체계비용을 감소시키며 유지비용을 증가시키는 요인인 전자장비 설계의 수를 최소화하려는 미 방산업체의 노력들이 보고되고 있다[7].

MOSA을 적용하면 새로운 기술이나 기능이 등장할 때 기존 시스템을 대체하거나 대규모 개조를 하지 않고 필요한 부분만 빠르게 추가하거나 교체할 수 있기 때문에 신속한 전력증강과 기술발전에 빠르게 대응할 수 있는 장점이 있으며 개방형 모듈표준을 사용하기 때문에 많은 기업들이 국방획득 프로그램에 참여할 수 있고 플랫폼 간 호환성과 통합성이 증대되는 장점이 있어 특정 기업이나 독점적 체계에 의존을 줄이는 정책효과가 있다. 따라서 주장비 운용에 필수적으로 소요되는 시험장비를 기존 운용 장비와의 호환성을 확장하면서도 비용은 감소시키는 경제적 효과 등 미국의 MOSA 정책이 추구하는 효과를 구현할 수 있는 모듈식 개방형 시스템 접근방식의 표준자동화시험체계 개발 방향을 제시하고자 본 연구를 수행하였다.

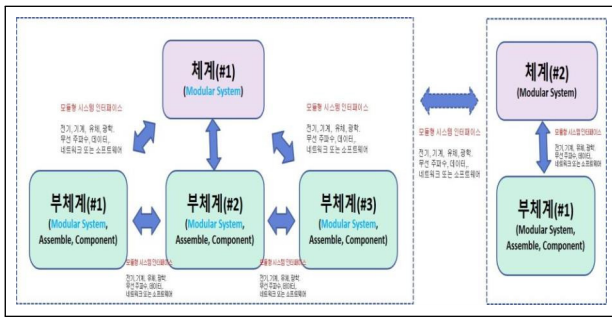
본 연구에서는 자동 시험시험 기능을 갖춘 자동시험장비(ATS : Automatic Test System)를 대상으로 국외 시험장비 표준화 정책, 시험장비 표준 및 규격 연구를 통하여 국내 시험장비가 임무운용환경이 상이한 각 정비계단별 운용하고자 하는 표준 시험장비를 개발 시 적합화하여 적용하여야 할 합의기반 표준을 분석·제시하였다.

II. 본론

2.1. 미국의 MOSA

2.1.1 미 국방부의 MOSA 정책

MOSA는 <그림 1>에 묘사된 것처럼 모듈형 시스템 인터페이스를 사용하는 모듈형 디자인을 활용하는 통합된 비즈니스 및 기술전략을 지칭하는 용어이며 여기에서 모듈형 시스템 인터페이스란 시스템, 시스템 구성요소 또는 모듈 시스템 간의 공유경계(전기, 기계, 유체, 광학, 무선 주파수, 데이터, 네트 워킹 또는 소프트웨어와 같은 다양한 물리적, 논리적 및 기능적 특성)로 정의된 경계를 지칭하는 용어다.



〈그림 1〉 모듈 시스템 간의 공유경계에 적용되는 비즈니스 및 기술전략 : MOSA

따라서 시스템 구성요소 또는 모듈 시스템 간의 공유경계에 적용되는 모듈식 개방형 표준 비즈니스 및 기술전략을 의미한다[8].

그러나 미 국방부에서도 MOSA 정책지침을 실행하는 방법에 대한 지침이 부족하여 MOSA 기술의 실행은 프로그램마다 상이한 문제점이 있음을 지적하고 있다[8]. 국방시스템 엔지니어링에 관련된 미 국방부 지시문서에서는 설계를 적용하여 획득하는 모든 획득프로그램은 가능한 모듈형 개발시스템 접근방식을 최대한 통합하여야 하며 추진하고 있는 프로그램 이외 다른 모든 프로그램은 MOSA를 실행하는 것으로 고려하여야 함을 명시하고 있다 [9]. 또한 프로그램 관리자는 획득 프로그램을 추진시 제안요청서에 MOSA를 가능하게 하는 인터페이스를 준수하도록 보장하는 책임을 부여하고 있다. 따라서 SE에서는 합의 기반 표준을 사용하고 사용할 수 없거나 부적합한 경우를 제외하고는 상호 의존적인 프로그램에 대한 정의의 개방 공유를 제공해야 한다고 강조하고 있다. 한편 미 공군 군수사령부의 MOSA 실행을 위한 지침서에서는 국방부의 지침을 고려하되 추가적으로 합동프로그램 또는 외국 군 판매를 위한 합동 또는 국제표준요구사항을 고려해야 함을 강조함으로써 시스템 구성요소 또는 모듈 시스템 간의 공유경계에 표준의 정책이 중요함을 강조하고 있다.

2019년 공표된 3군 각서에는 MOSA 지원표준은 가능한 모든 요구사항, 프로그래밍 및 미래 무기시스템 수정 및 신규개발활동에 포함되어야 하고 엄격히 규정된 표준은 없지만 <표 1>에 제시된 표준을 권장하였다.

〈표 1〉 MOSA를 실행하기 위한 권장 표준

표준	용어
OMS	Open Mission System
SOSA	Sensor Open System Architecture
UCI	Universal Command and Control Interface
FACE	Future Airborne Capability Environment
VICTORY	Vehicular Integration for Command, Control, Communication and Computers(C4) C4ISR/Electronic Warfare Interoperability

그러므로 주장비와 같이 운용되는 시험장비 또한 MOSA 정책지침을 실행하기 위해서는 시험장비를 구성하는 HW와 SW의 각 기술요소별 전기, 기계, 광학, 데이터 및 네트워크 등의 물리적 표준을 준수하여 모듈식으로 설계되어야 함이 중요하며 운용 임무가 상이한 각 정비 계단별 운용환경을 고려한 표준요소를 식별하여 적합화하는 적용 절차가 필요 된다.

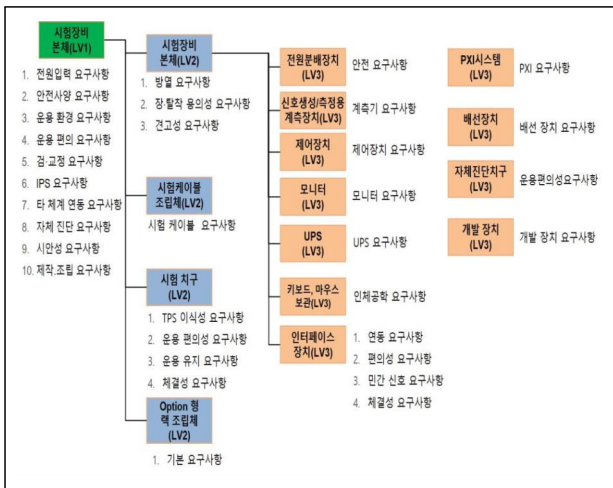
2.1.2 자동화 시험장비

자동화 시험장비 체계(ATS, Automatic Test System)는 요구기능에 대한 성능을 컴퓨터를 활용하여 자동으로 시험하고 분석하는 체계를 지칭하며 미 국방부에서 정의하는 구성은 시험이 되는 대상 장비(UUT, Unit Under Test), 시험대상 장비에 특화된 시험에 필요한 SW, 케이블, 시험 지침, 인터페이스 기기 등을 총칭하는 시험프로그램 셋(TPS, Test Program Set) 및 시험을 위한 시험장비 HW와 운용SW(자체시험 및 자체교정 등의 기능)가 장착되어 있는 시험장비(ATE, Automatic Test Equipment)이며 아래 <표 2>에 제시된 내용과 같다[5, 10].

〈표 2〉 자동화 시험장비 체계 용어의 정의(DoD)

구분	체계 용어의 정의
ATS	ATE + TPS
ATE	시험체계 하드웨어 + 소프트웨어
TPS	시험 소프트웨어, 인터페이스 도구, 케이블, 시험 매뉴얼(지침)
UUT	시험대상 장비

따라서 운용임무가 상이한 각 정비 계단별 운용환경을 고려한 표준요소를 식별하고 적합화하는 절차를 적용하기 위해서는 시험대상 장비의 전기적, 물리적 특성을 고려한 ATE 및 TPS에 대한 표준식별이 중요하다. 본 연구에서는 사용자정비 단계부터 창정비 단계까지 사용되는 고정형 및 이동형 시험장비의 작업분할구조와 이해관계자의 요구 사항을 분석한 이후 작업분할구조의 이해관계자 요구사항을 충족시키기 위한 관련된 MIL-STD 및 국제표준 표준을 조사·분석하였으며 <그림 2>는 조사·분석에 적용된 대표적 고정형 시험장비의 작업분할 구조이다.



<그림 2> 한화시스템 고정형 시험장비의 작업분할구조 및 공통요구사항

2.1.3 ATE 및 TPS 관련 MIL-STD 및 국제표준

<그림 2>의 고정형 시험장비의 작업분할구조에 분석된 시험케이블 조립체, 전원분배장치, 신호생성/측정용 계측장치, 제어장치, 모니터, PXI, 배선장치 등에 요구되는 인터페이스 등의 자동화 시험장치 국제 규격 및 상용규격을 중점으로 조사·분석하였다. 군사표준이 없는 경우 국제 표준과 산업표준 등이 우선적으로 고려됨을 고려하여 ATE 및 TPS에 대한 표준식별을 통한 적합화 과정을 제시하고자 관련 미 군사 표준, 국제표준과 국외제품에 적용된 표준을 조사·분석 하였다.

<표 3>과 <표 4>는 ATE와 TPS에 관련된 미 군사 표준 및 국제표준이다. ATE에 관련된 대표 군사표준은

<표 3> 자동화 시험장비 체계 관련 MIL-STD

구분	규격 요약 설명	비고
MIL-PRF-28800	전기 및 전자 장비를 위한 시험장비	ATE
MIL-STD-1839	교정 및 측정요구사항	ATE
MIL-HDBK-1839	교정 및 측정요구사항	ATE
MIL-STD-202	전자 및 전기구성품 부품의 환경, 물리적 및 전기적 특성시험,	ATE
MIL-STD-1472	인체공학	ATE
MIL-PRF-49503	자동화시험장비의 시험프로그램 셸트의 일반형태 및 형식	TPS

<표 4> 자동화 시험장비 체계 관련 국제표준(계속)

구분	규격 요약 설명	비고
IEEE 1641-2022	시험에 사용되는 신호정의 및 설명	TPS
IEEE 16411a-2018	IEEE 1641 표준 사용방법(지침)	TPS
IEEE 1636-2018	복잡한 시스템의 진단과 유지보수에 관련된 데이터를 교환할 수 있는 SW 인터페이스(SIMICA)를 정의	TPS
IEEE 16361-2018	SIMICA의 구성 요소 표준들의 단위 테스트(UUT)의 시험결과를 XML 형식으로 교환하기 위한 방법	TPS
IEEE 16362-2018	SIMICA의 구성 요소 표준들의 유지 보수 정보를 XML 형식으로 교환하는 방법을 정의	TPS
IEEE 16399-2013	SIMICA의 구성 요소 표준들이 공유 하는 정보 모델과 XML 스키마를 정의	TPS
IEEE 16711-2017	자동 테스트 마크업 언어 (ATML) 테스트에 대한 정보를 명시	TPS
IEEE 16712-2012	자동 테스트 마크업 언어(ATML) 기기 설명 부분을 정의	TPS
IEEE 16713-2017	ATML의 단위 테스트(UUT) 설명을 위한 XML 스키마를 정의	TPS
IEEE 16714-2014	자동 테스트 마크업 언어(ATML) 테스트 구성을 정의	TPS
IEEE 16715-2015	XML을 이용하여 시험 어댑터 설명 및 인스턴스 정보를 교환하는 형식	TPS
IEEE 16716-2015	자동 테스트 마크업 언어(ATML) 테스트 장소 설명 및 교환 형식	TPS
IEEE 18711-2014	합성 계측기를 설명한 계측기 설명 템플릿(IEEE 1671.2)을 사용 방법	TPS
IEEE 18712-2017	테스트 장비 템플릿(IEEE 1671) 및 케이블, 인터페이스 어댑터, 시험장비의 고유 신호 경로 정보를 설명하기 위한 확장 클래스 제공	TPS
cPCI	산업용 컴퓨터를 위한 컴퓨터 버스 인터커넥트	ATE
IEC 60488-1 (IEEE Std 488.1)	IEC/IEEE 프로그래머 계측을 위한 고성능 프로토콜 인터페이스	ATE
IEC 60488-2 (IEEE Std 488.2)	IEC/IEEE 프로그래머 계측을 위한 표준 디지털 인터페이스	ATE

〈표 4〉 자동화 시험장비 체계 관련 국제표준

구분	규격 요약 설명	비고
IEEE 802	이더넷 시리즈 및 LAN 시리즈	ATE
IEEE 1014	다목적 회로기판 버스를 위한 IEEE 표준: VMEbus	ATE
IEEE 1149.1	IEEE 표준 테스트 액세스 포트/영역 주사 아키텍처	ATE
IEEE 1149.4	혼합 신호 테스트 버스 용 IEEE 표준	ATE
IEEE 1149.6	첨단 디지털 네트워크의 경계 스캔 시험을 위한 IEEE 표준	ATE
IEEE 1149.7	축소 핀/확장 가능 테스트 액세스 포트/영역 주사 아키텍처 표준	ATE
IEEE 1155	계측을 위한 VMEbus 확장을 위한 IEEE 표준: VXIbus(안정 표준)	ATE
IEEE 1174	프로그래머 계측을 위한 IEEE 표준 직렬 인터페이스	ATE
IEEE 1284	양방향 병렬 주변 장치를 위한 IEEE 표준 신호 방식	ATE
IEEE 1284.1	정보 기술을 위한 IEEE 표준 - 트랜스 포트 독립 프린터 및 시스템 인터페이스	ATE
IEEE 1394	고성능 직렬 버스(FireWire)를 위한 IEEE 표준	ATE TPS
IEEE 1588	네트워크 측정/제어 시스템을 위한 정밀 동기화 프로토콜의 IEEE 표준	ATE
DefStan00-250	시스템 설계자를 위한 인적 요소	ATE
LXI	계측을 위한 LAN 확장 (정보: LXI 컨소시엄 참조)	ATE
PXI	계측을 위한 PCI 확장 - CompactPCI 구현(정보: PXISA 참조)	ATE
USB	USB Universal Serial Bus (정보: USB Implementers Forum, Inc 참조)	ATE

MIL-PRF-28800F [11], TPS에 관련된 대표 군사표준은 MIL-STD-1839D[12] 및 MIL-PRF-49503C[13]가 조사되었다.

전기 및 전자장비를 시험하고 교정하는데 사용되는 시험장비의 성능형 규격인 MIL-PRF-28800F 에서도 적용 문서로써 IEEE, IEC 및 EIA의 민간 규격이 적용되었음을 고려 시 시험장비를 위한 XML표준인 ATML에 대한 내용이 주를 이루고 있음이 확인되어 이러한 표준들은 ATS

개선 등의 작업을 고려하여 중장기적으로 적용을 검토하는 것이 필요하다. 군사용 규격으로 제시된 MIL-PRF-28800F에서는 시험 장비를 의도된 사용에 필요한 성능 특성과 해당위치의 가혹한 운용 환경 조건에 따라 4가지 유형으로 분류하였으며 분류유형 시험장비별 이러한 환경적 요구조건에서 각 충족하여야 환경적 물리, 기계적 성능과 전기적 성능을 명시하였다. 따라서 군사용 시험장비로써 사용되기 위해서는 정비 계단별 의도된 임무 목적에 따라 성능을 갖추 수 있도록 설계되어야 하며 이러한 성능에는 물리, 기계, 화학(환경)적 성능 및 전기적 성능이 포함되기 때문에 이러한 표준 중 가장 적합한 표준을 적합화(Tailoring) 적용하는 것이 MOSA 정책을 구현한다고 할 수 있다.

2.1.4 국외 군용 시험장비

MOSA 지침을 활용하여 시험장비 요구사항을 정의하고 강한 재사용성을 보장하는 구성가능 시험체계(CTS, Composable Test System) 표준을 활용하여 모듈형 시험장비를 구현한 MOSA 기반의 시험 장비 개발은 레이 시온사 제품이 대표적 사례이다[14]. 새로운 개발구조인 MOSA 기반의 TERA (Test Environment Reference Architecture)를 적용하였으며 MOSA 기반의 시험장비를 개발하기 위하여 기능을 시험하기 위한 공통적 구성가능 시험체계를 적용하였다. 해당 기능을 시험하기 위한 CTS를 구축하고 제품을 핵심기능 단위로 분해하여 모듈형 개방 체계구조를 활용할 수 있도록 시스템 내에 내재화하였다. 즉 공통시험 방법을 적용할 수 있고 시험하고자 하는 기능에 맞춰 모듈형 제품으로 추가구성 가능한 시험체계 개발이 용이하도록 반영함으로써 시험장비 개발주기를 단축하고 현장에서 시험을 간소화 할 수 있는 장비를 개발한 것으로 판단된다. 기타 MOSA기반의 시험장비 및 제품은 많지 않으나 2019년 미국에서 공표된 3군 각서에서 권장하는 MOSA 지원표준을 적용하고 있음을 기업 제품 안내 책자 및 기업백서 등을 통해 소개 하고 있으며 아래 〈표 5〉와 같은 유형의 제품들이 있다.[15-19].

〈표 5〉 국외 시험장비 MOSA 관련 제품

업체	제품	제품 특징
Elma Electronic	3U 12-Slot 개발플랫폼, SOSA 1.0, CMOSS, ETC	<ul style="list-style-type: none"> SOSA(Sensor Open Systems Architecture) 및 C5ISR/EW Modular Open에 대한 조정이 필요한 시스템 설계자를 위해 12 슬롯 3U 임베디드 컴퓨팅 설계 개발 새시 임베디드 컴퓨팅을 위한 개발 새시와 테스트 및 측정 시스템은 SOSA 및 CMOSS 이니셔티브를 위한 애플리케이션 개발을 지원하는 시험환경을 제공
		
Integrays	2x3U OpenVPX MOSA 액추에이터 인터페이스 장치, ETC	<ul style="list-style-type: none"> NAI의 MOSA(Modular Open Systems Approach) 솔루션. 제품군은 ARM® Cortex®-A53 프로세서 기반이며 -40°C~+71°C를 견딜 수 있도록 견고하고 50ms 유지(VITA) MIL-STD-1275D 및 MIL-STD-704A MIL-STD-461F 및 MIL-STD-810G.
		
System	다목적 랙마운트 서버	<ul style="list-style-type: none"> COTS 및 맞춤형 MOSA 정렬 랙마운트 서버와 SFF(소형 폼 팩터) 임베디드 컴퓨터를 제공
		
Collins Aerospace	컴퓨팅, 네트워킹, 소프트웨어, 디스플레이, ETC	<ul style="list-style-type: none"> Mosarc는 개방형 시스템 표준을 충족하는 동시에 항공기와 임무 시스템 장비의 분리와 둘 사이의 정보 교환을 관리하는 기능을 보장하는 디스플레이, 네트워크, 컴퓨팅 및 소프트웨어 빌딩블록을 기반으로 하는 혁신적인 항공 전자 솔루션
		<p>Mosarc: A family of modular products</p>  <p>Computing Featuring low high-integrity multicore co-processor, Get ahead of engine core obsolescence and meet the future. Collins Aerospace MOSA compliant co-processor ranging from multicore computing to 2D/3D graphic generation power supply.</p> <p>Networking Featuring low digital backbone hardware and software tool kit. We propose high-integrity solution developed for helicopter operations.</p> <p>Software 3D/2D Target Service Segment, Situation Awareness Modules, SMS, Primary Flight Information/Regulation, Area Alert/Track/Ident/Alert, etc. MOSA applications get you covered.</p> <p>Displays Featuring our HD-4020 large area display and our AFSDU touch controller and backup display.</p>

2.2. 군용 표준시험장비 개발방향

2.2.1 MIL-PRF-28800F 분석

MIL-PRF-28800F은 전기 및 전자장비를 시험하고 교정하는데 사용되는 시험장비에 대한 일반 요구사항을 정의하는 성능형 규격이다.

이 규격에서는 시험 장비를 의도된 사용에 필요한 성능 특성과 해당 위치의 가장 가혹한 일반적 환경조건에 따라 〈표 6〉과 같이 4가지의 유형으로 분류하고 시험장비의 작업분할구조에 기초하여 작업분할구조에 포함된 전기 커넥터, 내부 배선, 냉각장치, 디스플레이, 자체시험 진단기, 디지털 인터페이스, 전원 및 시험 장비 보관 상자의 물리적, 전기적 및 기계적 특성을 명시하며 전체적 구성은 〈표 7〉과 같다.

〈표 6〉 MIL-PRF-28800의 시험장비 분류유형

구분	규격 요약 설명
유형1	<ul style="list-style-type: none"> 환경 조건이 세계 기후 변화의 극한인 절대적인 운영 환경을 위해 설계 예 : 항공기 근처, 궤도 및 차륜차량, 일반적인 갑판 위 응용 분야에서 사용하기 위한 시험장비
유형2	<ul style="list-style-type: none"> 보호되지 않고 통제되지 않는 기후에서 환경 조건이 일상적으로 발생하는 견고한 작동 환경을 위해 설계 상당한 수준의 환경 보호를 갖춘 두 곳 이상의 장소에서 휴대용 장비로 사용하기 위한 시험 장비
유형3	<ul style="list-style-type: none"> 다양하고 통제된 기후에서 일상적으로 발생하는 조건이 있는 작동 환경을 위해 설계 예 : 벤치탑, 랙 마운트 또는 다양하고 환경적으로 제어되는 위치에서 가끔 휴대용으로 사용하기 위한 시험 장비
유형4	<ul style="list-style-type: none"> 환경 조건이 제어되고 보호되는 온화한 작동 환경에 맞게 설계 예 : 실험실과 같이 완벽하게 보호되고 환경적으로 통제되는 서비스 영역에서 사용하기 위한 시험 장비

〈표 7〉 MIL-PRF-28800의 규격 구성(계속)

구분	세부구성
1. 범위	1.1. 범위
	1.2. 분류
2. 적용 가능한 문서	2.1. 일반사항
	2.2. 2.2.1. 사양
	2.2.2. 기타 정부문서, 도면 및 간행물
	2.3. 비정부 간행물
	2.4. 우선순위

〈표 7〉 MIL-PRF-28800의 규격 구성(계속)

구분	세부구성	
3. 요구 사항	3.1. 요구사항	3.1.1. 장비샘플 요구사항
		3.1.2. 초도제품
	3.2. 장비 구성요소	3.2.1. 마감
		3.2.2. 색상
		3.2.3. 호환성
		3.2.4. 제한(금지)되는 재료
	3.3. 설계 및 시공	3.3.1. 운영자 조정
		3.3.2. 운영자 제어
		3.3.3. 전기 커넥터
		3.3.4. 내부배선
		3.3.5. 내부냉각
		3.3.6. 전면패널 디스플레이
		3.3.7. 자체시험기능
3.4.	사이버 보안	
3.5. 디지털제어 인터페이스	3.5.1. IEEE 488 인터페이스 요구사항	
	3.5.2. IEEE 802.3 이더넷 인터페이스 요구 사항	
	3.5.3. USB 인터페이스 요구 사항.	
3.6. 전원 및 연결	3.6.1. 전력원	
	3.6.2. 전력연결	
3.7. 외함의 물리적 특성	3.7.1. 치수	
	3.7.2. 무게	
	3.7.3. 기계적 안정성	
	3.7.4. 인클로저 요구사항	
3.8. 운송 상자	3.8.1. 운송상자 커버	
	3.8.2. 운송상자 적재규정	
	3.8.3. 운송상자 손잡이	
	3.8.4. 운송상자 엑서서리 보관	
	3.8.5. 운송상자 모서리	
	3.8.6. 방수 및 기밀 운송상자 압력 평행밸브	
	3.9.1. 환경 조건	
	3.9.2. 온도 및 습도	
	3.9.3. 고도	
	3.9.4. 진동	
3.9.5. 기계적 충격		
3.9. 환경조건	3.9.6. 방수	
	3.9.7. 곰팡이 저항성	
	3.9.8. 염수분무	
	3.9.9. 분류유형	
	3.9.10. 1등급장비 및 단단한 운송상자의 먼지노출	
	3.9.11. DC자기장(해군) 자기환경	
	3.9.12. 음향 소음	
	3.9.13. 태양 복사	

〈표 7〉 MIL-PRF-28800의 규격 구성

구분	세부구성		
3. 요구 사항	3.10.	전자파 적합성	
	3.11. 안전	3.12.1.	표시
		3.12.2.	장비식별
		3.12.3.	운송상자 식별판
		3.12.4.	재사용 가능한 용기
		3.12.5.	명명법 할당
	3.13.	교정 간격	
	3.14. 신뢰성	3.15.1.	오류 격리
		3.15.2.	예방적 유지보수
		3.15.3.	유지보수 조항
		3.15.4.	세척성
	3.16.	환경 스트레스 선별	
	3.17. 사용 및 설치 매뉴얼과 유지보수 및 서비스 매뉴얼	사용 및 설치 매뉴얼과	
		유지보수 및 서비스 매뉴얼	

1장의 범위에서 사용임무 및 운용환경에 따라 4가지 시험장비 유형을 제시하고 각 분류유형에 적합한 작업분 할구조별 전기적 인터페이스 및 물성 요구사항을, 3장은 요구사항의 설계 및 시공, 디지털 제어 인터페이스, 전원 및 연결에서 정의하였다. 이의 값은 <표 3>과 <표 4>의 ATE와 TPS에 관련된 미 군사표준 및 국제표준의 범위에서 크게 벗어나지 않은 범위에서 기술됨을 확인하였으나 일부 환경조건과 전자파의 표준은 전 세계지역을 대상으로 분류하여 놓은 기후 권역대의 운용 및 저장온도[20]와 상이하고 특히 민간 전자파 시험기준인 CISPR[21]과 IEC의 시험기준이 제시되어 이를 우선하여 적용하여야 할 MIL-STD-461[22]과 비교 시 보완 필요함이 분석 되었다.

2.2.2 표준시험장비 분류유형별 운용환경

MIL-PRF-28800F에서 정의하는 시험장비 유형별 운용 되는 표준 환경조건중 적합화 과정을 통하여 새롭게 제시 되어야 할 대표적 내용은 다음 <표 8>과 같다.

유형1의 시험장비 저장온도는 -51℃부터 71℃로써 전 세계지역의 기후 권역대[20, 23]를 분석하여 보면 심한 추위 (예 : 시베리아, C3)지역과 고온 건조(예 : 적도 아프리카,

〈표 8〉 MIL-PRF-28800의 적합화가 필요한 항목

구분	시험장비 분류유형			
	1	2	3	4
저장온도	-51~+71℃	-51~+71℃	-40~+71℃	-40~+71℃
운용온도	-40~+55℃	-10~+55℃	0~+50℃	10~+40℃

A1)한 지역으로 이의 운용온도는 기후 권역대 분류를 적용하면 -51℃부터 49℃의 온도를 적용하여야 한다. 그러나 이와는 상이한 운용온도가 표준으로 제시되어 있어서 저장온도와 운용온도가 여러 종류 무기체계의 범용적 군사표준과는 상이함이 분석되었다. 따라서 운용 환경에 적합한 온도로 조정이 필요하다. 유형2는 보호되지 않고 통제되지 않은 기후의 환경조건에서 사용되는 휴대용 장비이고 유형1과 달리 환경조건이 상이함에도 불구하고 세계 기후 변화의 극한인 절대적 운영 환경의 조건과 동일하게 저장온도가 제시되며 운용온도가 완화된 추위(C0)지역의 높은 온도와 낮은 온도의 중간 온도이며 가장 더운 지역인 고온 건조(A1) 지역의 운용온도를 초과하는 온도로서 더위와 추위가 서로 다른 기후 지역으로 제시되어 있어서 이 또한 조정이 필요하다. 따라서 유형분류 기준에 적합하게 극한의 온도 조건이 아닌 보호되지 않고 통제되지 않는 기후의 환경 조건으로 설정을 고려하여 한반도 지역에서 보호되지 않고 통제되지 않은 실외지역에서 운용함을 고려하여 한반도 지역의 운용온도 및 저장온도로 조정 제시하였다[20].

유형3은 다양하고 통제된 기후에서 일상적으로 발생하는 운용환경에서 가끔 휴대용으로 사용하는 시험 장비이고 유형4는 환경조건이 제어되고 보호되며 온화한 작동환경에 맞게 설계된 실험실과 같은 실내에서 사용되는 시험장비로 정의되었으나 이와는 달리 저장온도가 -40℃부터 71℃로써 기본 추위(C1) 지역의 온도와 추위(C2) 지역의 중간온도인 -40℃와 고온 다습(B3) 지역의 저장온도로 설정되었으며 실내의 환경에서 사용하는 시험 장비이나 총 수명 주기 기간에 외부의 조건에서 보관되는 상황을 반영한 온도 조건을 표준으로 제시함이 분석되었다. 그러나 이러한 온도는 한반도 지역과는 거리가 먼 온도이므로 한반도 지역의 실내지역에서 사용함을 고려하여 유형3은 KS C 0214에서 설명된 민수 및 군수품의 환경시험 기준을 적용[23]하여 실내/옥외 설치장비 기준인 -20℃ ~ 43℃를 유형4는 실내 전용/옥내전용의 운용온도 기준인 0℃ ~ 43℃의 온도로서

조정 검토 하였다. 다만 저장온도는 MIL-PRF-28800F와 동일한 개념으로 총 수명주기 기간에 한반도 지역의 실외 조건에서 저장되는 상황을 반영하여 저장온도는 -33℃~63℃를 검토하였다. 이러한 결과를 반영하여 분류유형별 임무유형과 운용환경을 고려하면 다음〈표 9〉와 같이 적합화하여 제시될 수 있다.

〈표 9〉 표준시험장비 분류유형 및 운용·저장온도

구분	규격 요약 설명 및 운용·저장온도
유형1	<ul style="list-style-type: none"> • 환경 조건이 세계 기후 변화의 극한인 절대적인 운영 환경을 위해 설계 • 예 : 항공기 근처, 궤도 및 차륜차량, 일반적인 갑판 위 응용 분야에서 사용하기 위한 시험장비 • 운용온도 : -51℃ ~ +49℃ • 저장온도 : -51℃ ~ +71℃
유형2	<ul style="list-style-type: none"> • 기본더위 및 기본추위 지역(한반도)의 환경조건에서 견고한 작동 환경을 위해 설계 • 실외 지역에서 휴대용 장비로 사용하기 위한 시험 장비 • 운용온도 : -32℃ ~ +43℃ • 저장온도 : -33℃ ~ +63℃
유형3	<ul style="list-style-type: none"> • 다양하고 통제된 기후에서 일상적으로 발생하는 조건이 있는 작동 환경을 위해 설계 • 예 : 벤치탑, 랙 마운트 또는 다양하고 환경적으로 제어되는 위치에서 가끔 휴대용으로 사용하기 위한 시험 장비 • 운용온도 : -20℃ ~ +43℃ • 저장온도 : -33℃ ~ +63℃
유형4	<ul style="list-style-type: none"> • 환경 조건이 제어되고 보호되는 온화한 작동 환경에 맞게 설계 • 예 : 실험실과 같이 완벽하게 보호되고 환경적으로 통제되는 서비스 영역에서 사용하기 위한 시험 장비 • 운용온도 : 0℃ ~ +43℃ • 저장온도 : -33℃ ~ +63℃

2.2.3 표준 시험장비 전자기 적합시험

새로운 장비를 개조 및 개발하였을 경우 기존장비와 새로운 장비가 각 가해 장비와 피해 장비로써 또는 피해 장비와 가해 장비로써 역할을 수행하며 발생될 수 있는 전자기적 적합성을 보는 전자기 적합시험은 전원선의 도체와 공중의 무선파를 통하여 전달되어 가해와 피해를 받기 때문에 경로의 유형과 대응방식에 따라 유도방사, 유도내성, 복사방사 및 복사내성의 시험 종류가 있으며 MIL-PRF-28800F에서 정의하는 전자기 적합시험을 위한 표준조건은 IEC 1000-4-2, 1000-4-3, 1000-4-4, 1000-4-6 및 CISPR 11의 국제 민간시험을 제시하고 있다. 그러나 이러한 시험은 군사용

시험범위와 상이한 문제가 있고 일부 시험의 경우 적합화 과정을 통하여 선택적으로 적용하여야 하는 시험 항목이 누락되는 경우가 있어 적절치 않음으로 판단되며 이러한 세부 분석비교 내용은 아래 <표 10>과 같다.

<표 10> MIL-PRF-28800 대 MIL-STD-461 비교

MIL-PRF-28800	MIL-STD-461
유도방사 전원선	유도방사 전원선 • 30 Hz - 10 kHz CE101
유도방사 • CISPR 11, Class A, 전원선 150 kHz - 30 MHz	유도방사 전원선 • 10 kHz - 10 MHz CE102
유도내성 전원선	유도내성 • 30 Hz to 150 kHz 장비 및 부체계 AC 전원선 CS101
유도내성 • IEC 1000-4-6, 3V AC-RMS, 150 kHz - 80 MHz,	유도내성 CS104 • 장비를 사용하는 군 CS105 유형에 따라 시험항목 CS106 선택 CS108
유도내성 • IEC 1000-4-4, 1kV 전원선, 스파이크 (신호, 조종, 직류선)	유도내성 CS104 • 장비를 사용하는 군 CS105 유형에 따라 시험항목 CS106 선택 CS108
복사방사 전기장	복사방사 전기장 RE101 • 30 Hz to 100 kHz 전기케이블 인터페이스 포함 부체계 및 장비 로부터의 복사방사
복사방사 • CISPR 11, Class A, 전기장 30 MHz - 1,000 MHz	복사방사 전기장 RE102 • 지상 : 2 MHz to 18 GHz • 함정 : 10 kHz to 18 GHz • 잠수함 : 10 kHz to 18 GHz • 항공기(육군 및 해군) : 10 kHz to 18 GHz • 항공기(공군) : 2 MHz to 18 GHz • 우주 : 10 kHz to 18 GHz
복사내성 전기장	복사내성 전기장 RS103 • 2 MHz to 30 MHz (육군, 해군 및 기타 모든 경우 선택) • 30 MHz to 18 GHz 모두 해당 • 18 GHz to 40 GHz (모두에게 선택사항)
정전기 방전내성	CS117 • 개별 전원케이블 포함 낙뢰 모든 안전에 중요한 장비 상호연결 케이블 및 인터페이스에 적용 유도내성 CS118 • 인간-기계 인터페이스 정전기 전기, 전자 및 전기 방전 기계 하위 시스템 및 장비에 적용
정전기 • IEC 1000-4-2, 4kV 접촉 방전, 8kV 대기 방전	유도내성 CS118 • 인간-기계 인터페이스 정전기 전기, 전자 및 전기 기계 하위 시스템 및 장비에 적용

MIL-PRF-28800F의 경우 CISPR 11의 전원선에 대한 유도방사와 전기장에 의한 복사방사 범위로써 150KHz와 30MHz의 주파수 최저범위를 적용하나 군사시험규격인 MIL-STD-461의 경우 전원선에 대한 유도 방사와 전기장에 의한 복사방사 범위로써 주파수 최저범위를 30Hz의 적용하여 군의 규격이 저주파수의 범위까지 포함하는 규격임을 알 수가 있고 특히 복사방사의 경우 육·해·공군 운용체계 별 최대 18GHz까지 시험을 하는 상이한 시험규격임이 확인된다.

따라서 IEC 및 CISPR 민간규격의 시험을 인용함으로써 주파수 시험범위의 상이함과 낙도시험이 반영되지 않은 MIL-PRF-28800 시험의 문제점을 고려하여 여러 무기 체계에 범용적으로 적용되는 군사표준 MIL-STD-461의 규격으로 수정 반영되어야 함을 제시하였다.

2.2.4 인체공학을 고려한 시험장비 설계

시험장비가 배치되어 운용되는 정비고나 함상 셀터지역에서의 운용성과 정비성을 고려하기 위해서는 시험장비가 배치되는 위치에서의 공간의 가용성을 고려한 작업이 진행되어야 하며 주로 어떠한 자세로 임무를 수행하느냐에 따라 장비의 기능이 배치되어야 하므로 인체공학을 우선적으로 고려하였다. 또한 폐쇄된 지역에서의 시험장비 운용은 소음발생으로 인한 청력기능에 해로움이 없어야 하며 또한 시험정보와 관련된 잦은 직접적 대화를 필요로 하는 일반적 작업지역으로 분류됨을 고려하여 인체공학에서 권장하는 75 dBA 소음수준을 시험장비의 소음한계로[25-26] 고려하였다.

시험장비의 시험정보를 표시하여 주는 전시기 탑재 높이는 정보를 읽고 판독하는데 중요한 요소로써 운용되는 공간의 가용성에 따라 배치가 상이하여 질 수 있으나 인체공학을 고려하여 배치되어야 하며 권장 되어 지는 전시기와 제어장치의 탑재높이는 각 공간의 가용여부에 따라 임무를 수행하는 자세가 상이하여 질수 있어서 <표 11과 표 12>의 범위에서 시선의 각도 및 손이 도달할 수 있는 범위를 고려[25]하여 설계되도록 제안하였다.

또한 시험장비는 가능하다면 모듈형 패키지로 교체되도록 설계되어야 하며 모듈식 패키지 부품을 교체 간 가능한

〈표 11〉 임무수행 동작을 고려한 전시기 탑재 높이

운용목적	무릎을 꿇는사람	쪼그리고 앉은사람	서있는 사람	앉아서 작업 *
최대높이(cm)	145.0	125.0	177.8	111.8
정확한 판독, 빈번한 접근 또는 긴급사용이 필요한 디스플레이의 최대 높이(cm)	132.0	102.0	165.1	90.0
정확한 판독, 빈번한 접근 또는 긴급사용이 필요한 디스플레이의 최소 높이(cm)	54.0	63.5	139.7	35.6
최소높이(cm)	45.7	50.8	104.0	15.2

* : 앉아 있는 좌석(시트) 기준으로부터의 높이

〈표 12〉 임무수행 동작을 고려한 제어장치 탑재 높이

운용목적	무릎을 꿇는사람	쪼그리고 앉은사람	서있는 사람	앉아서 작업 *
최대높이(cm)	145.0	125.0	188.0	106.7
정확한 판독, 빈번한 접근 또는 긴급사용이 필요한 디스플레이의 최대 높이(cm)	132.0	81.3	139.7	86.0
정확한 판독, 빈번한 접근 또는 긴급사용이 필요한 디스플레이의 최소 높이(cm)	54.0	40.0	86.4	20.3
최소높이(cm)	45.7	36.0	76.0	15.0

* : 앉아 있는 좌석(시트) 기준으로부터의 높이

1인이 제거하고 교체할 수 있도록 구조적 및 기능적으로도 고려되어야 하지만 1인이 다룰 수 있는 탈착식 구성요소의 무게는 13.6Kg, 최대 20.5Kg 미만으로 하는 등의 중량이 고려되어야 하기 때문에 가능하면 부품을 한 번에 쌓아 두는 것보다는 2차원 표면에 질서정연하게 배열하여 장착하고 장비내의 다른 하위 조립체에 접근하기 위해 하위 조립체를 제거할 필요가 없도록 풀 아웃(Pull-Out) 또는 슬라이드 아웃(Slide-Out) 방식의 랙 또는 콘솔이 권장되어 진다. 랙 또는 콘솔 방식의 시험장치의 부품 중 무거운 구성품은 가능한 손이 가장 쉽게 닿고 들어올리기 보다는 밀어서 꺼낼 수 있도록 배치하였으며 시험장비가 실내 지역 또는 실외 지역에서 운용되는 임무 운용성을 고려하여 맨손으로 시험장비의 조작 단추를 누를 수 있는 경우에는 조작 단추의 지름이 32mm 이상, 장갑을 끼고 조작 단추

를 누를 수 있는 경우를 고려하여 지름 38mm 이상 되도록 인체공학을 고려한 시험장비 운용성[26] 등을 권장하였다.

III. 결론

시험장비에 MOSA 정책지침을 구현하기 위해서는 시험 장비 구성 HW와 SW의 각 기술요소별 전기, 기계, 데이터 및 네트워크 등의 물리적 표준을 준수함이 중요하며 운용 임무가 상이한 각 정비 계단별 운용환경을 고려한 표준 요소를 식별하여 적합화 하는 적용절차가 필요하다. 전기 및 전자 장비를 시험하고 교정하는데 사용되는 대표적 시험장비 성능형 규격인 MIL-PRF-28800F에 기초하여 정비 계단별 의도된 임무목적에 따라 화학(환경)적 성능 및 전기적 성능을 갖출 수 있는 각 표준을 조사하고 분석하여 표준장비를 개발 시 적용하여야 할 합의기반 표준을 분석·제시 하였다. 또한 국외 시험장비 표준화 현황, 시험장비 표준 및 규격 연구를 통하여 임무운용환경이 상이한 운용 지역으로 시험장비를 패키지로 포함하여 수출 추진 시 고려하여 적용하여야 할 표준을 제안하였으며 인체공학특성을 고려하여야 할 요소를 제시하였다. 따라서 MOSA 정책을 적용한 무기체계의 시험장비의 개발 실행 지침이 미미한 국내의 방위산업 현실을 고려 시 합의기반 표준과 인터페이스의 표준 조사 등이 향후 개발을 위한 중요 지침이 될 것으로 판단된다.

Acknowledgement

본 논문은 한화시스템의 산학기술개발과제인 “글로벌 시험장비 표준연구를 통한 표준 시험장비 개발방향 연구, 50%” 과제와 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원(ITRC, IITP-2025-RS-2024-00438430, 50%) 지원을 받아 수행된 연구입니다.

참고문헌

- 1) Integrated Product Support(IPS) Elements Guidebook, Defense Acquisition University, 2021. 3.
- 2) 이승상, 김무영, 이명진, 김경훈. A Study of Domestic Application of U.S. IPS의 국내 적용방안 연구, 한국방위산업학회지, Vol. 27, No.2, 69-86, 2020. 12
- 3) 이승상, 김무영, 이명진, 서양우, 무기체계 수명주기관리를 위한 체계지원관리 발전방안 연구, 한국방위산업학회지, Vol. 29, No.2, 57-72, 2022. 8
- 4) 종합군수지원개발 실무지침서 제4절 ITEM 저작도구 활용, 방위사업청. 2015
- 5) 윤영호, 구기영, 금종주, 황운희, 우순, 무기체계 양산단계 자동화 시험장비(ATE) SW 신뢰성 향상방안 연구, 전자 공학회, 제47권 제6호, 359 - 366(2010)
- 6) Modular Open Systems Approaches for our Weapon Systems is a Warfighting Imperative, Office of the Secretary of the Navy, Army and Air Force, 2019
- 7) Matt Renola, MOSA, SOSA 및 VPN 개방형 아키텍처를 사용하는 표준 국방플랫폼의 미래, Semiconductor Network, 88-92(2023)
- 8) Guidebook for implementing Modular Open System Approaches in Weapon Systems, Air Force Materiel Command(AFMC)(2022)
- 9) DoDI 5000.88, Engineering of Defense Systems, Department of Defense, 2020. 11
- 10) DoD Automatic Test Systems Master Plan, DoD Automatic Test Systems Executive Directorate, 2009
- 11) MIL-PRF-28800F, Test Equipment for Use with Electrical and Electronic Equipment, 1996
- 12) MIL-STD-1839D, Calibration and Measurement Requirements, 2010
- 13) MIL-PRF-49503C, General Style and Format, Test Program Sets for Automatic Test Equipment, 2013
- 14) VT Weaver, JE Ramos, S Nielsen, Composability Applications for Test System Development, IEEE AUTOTESTCON, 2019
- 15) 이재민, 안재광, 권익현, 최경진, 최현웅, 글로벌 시험장비 표준연구를 통한 (한화시스템) 표준시험장비 개발방향 연구, 국립금오공과대학교, 2024
- 16) Sensor Open Systems Architecture(SOSA), <https://www.elma.com/en/capabilities/sosa>(검색일 2024.5.2.)
- 17) Modular Open Systems Approach (MOSA) Solutions, <https://integrys.com/2021/11/08/modular-open-systems-approach-mosa-solutions/>(검색일 2024.5.2.)
- 18) All-Purpose Rugged Rackmount Servers-systel, <https://systelusa.com/what-we-do/products/rackmount-servers/all-purpose/>(검색일 2024.5.2.)
- 19) Mosarc™ Solutions for Open Systems Architecture, <https://www.collinsaerospace.com/what-we-do/industries/military-and-defense/avionics/open-systems>(검색일 2025.4.9.)
- 20) MIL-STD-810H, Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests, Part Three-World Climatic Regions, 2019
- 21) CISPR 11, Industrial, scientific and medical equipment - Radio-frequency disturbance characteristics - Limits and methods of measurement, IEC, 2024
- 22) MIL-STD-461G, Requirements for the Control of Electromagnetic Interface Characteristics of Subsystems and Equipments, 2015
- 23) MIL-HDBK-310, Global Climatic Data for Developing Military Product, 1997
- 24) KS C 0214, 환경시험방법, 한국표준협회, 2007
- 25) MIL-STD-1472H, Design Criteria Standard, Human Engineering, 2020
- 26) MIL-STD-1474E, Design Criteria Standard, Noise Limits, 2015

