

대공유도무기체계의 전자기 시험 고찰 및 시험 보완 방법

Study on Electromagnetic Testing for Surface-to-Air Missile system and Method for Test Complementation

김영재^{1*} · 고상훈^{1*} · 박동현² · 한석주² · 이대현¹ · 안정우¹

¹LIG 넥스원

²국방과학연구소

Young-jae Kim^{1*} · Sang-hoon Koh^{1*} · Dong-hyun Park² · Seok-choo Han² · Dae-hyun Lee¹ · Jeong-woo An¹

¹LIG Nex1, Gyeonggi-do 13488, Korea

²Agency for Defense Development, Daejeon 34186, Korea

[요 약]

대공유도무기체계는 생산배치 이후 폐기 전까지 운용하게 되고, 체계개발 단계에서 필요한 시험평가를 수행하여 배치 후 운용 성능을 보장하여야 한다. 유도무기의 전자파 분야 관련 기술 발전이 요구됨에 따라 전자기 환경에 대한 검증이 더욱 중요해지고 있다. 따라서 시험평가 절차 수립 시 대공유도무기체계에 대한 분석을 통하여 취약점이 없는지 면밀히 검토할 필요가 있다. 본 논문은 대공유도무기체계의 일반적인 전자기 시험 절차에 대하여 고찰하고 보완이 필요한 사항에 대하여 논의하고자 한다. 또한, 보완을 위한 방법 및 검토 결과에 대하여 기술하였다.

[Abstract]

The SAM(Surface-to-Air Missile) systems will be operated until disposing of it after production, the necessary test and evaluation should be performed during the development stage to ensure the operational performance after deployment. As development of technologies related to the electromagnetic wave field of missile system is required, so the verification of the electromagnetic environment has become more important. Therefore it is necessary to carefully review whether there are any weaknesses through the analysis of the SAM system when establishing the test and evaluation procedure. This paper describes the general electromagnetic test procedure for SAM system and discusses the matters that need to be supplemented. Also, methods for supplementation and review results were written.

Key word : Cable assembly, MIL-STD-464C, MIL-STD-461G, Surface-to-air missile system, Test bed.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2022.26.6.456>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 30 October 2022; Revised 1 November 2022
Accepted (Publication) 1 December 2022 (30 December 2022)

*Corresponding Author : Young-jae Kim, Sang-hoon Koh

Tel: +82-31-5179-7210 / 4189

E-mail: youngjae.kim2@lignex1.com / sanghoon.koh@lignex1.com

1. 서론

대공유도무기체계는 탐지 및 타격을 효율적으로 통제하여 대공 방어를 수행하는 것으로, 개발을 거쳐 전력화를 통하여 군에 배치된다. 배치 후 폐기까지의 전체 수명주기 동안 운용성능을 보장하기 위하여 개발기간 중 운용평가 및 환경평가를 수행한다 [1].

최근 군사과학기술 발전 동향을 살펴보면 무기체계의 발전 추세에 따라 전자과 영역에 대한 우세권 확보 노력이 필수적이고, 무기체계의 복잡성이 높아진 만큼 구성 장비 자체의 전자기 영향성 검증이 중요하여 졌다 [2]. 대공유도무기체계의 경우 이러한 전자기 영향성 검증 요구에 대응하고자 미국 국방규격을 적용하여 전자기 시험에 대한 방법 및 절차를 수립하는데, 시험 대상을 시스템으로 하는 경우 전자기 환경 영향성 적합성 평가를 수행하고 장치를 대상으로 하는 경우 전자기 간섭시험 평가를 수행한다.

그림 1은 대공유도무기체계의 구성이다. 효율적인 대공 방어를 수행하기 위하여 표적 탐지 및 추적을 위한 레이더 시스템 (Multi Function Radar), 표적의 위협을 물리적인 타격으로 무력화시키는 유도탄(Missile), 발사 절차를 제어하는 발사통제 시스템(Launch Control Unit) 그리고 사격을 명령하고 통제하는 교전통제 시스템(Engagement Control System)으로 구분되고, 각 시스템은 통신 및 전원 등의 전기 신호가 연결된다 [3]-[4]. 시스템을 통합하여 전자기 시험을 하는 경우 MIL-STD-464C를 적용하여 부체계나 장비 간 커플링에 의하여 발생 되는 전자파를 버틸 수 있는 정도를 시험하는 여유치(Margin) 시험을 포함하여 내부 전자기 적합성, 외부 전자기 적합성, 전기접속 및 외부접지, 낙뢰 내성 및 수명주기를 평가하게 된다. 전자기 시험을 유도탄 혹은 하부 장치 단위로 시험하는 경우 MIL-STD-461G를 적용하여, 전선을 따라 전도 되거나 전자파의 형태로 방사되는 정도를 측정하거나 각 경로에 의하여 유입되는 노이즈를 견딜 수 있는지 확인한다. 시험절차 수립 시 시스템을 운용하는 조건에 따라 항목을 조정할 수 있고, 시스템의 작동 요구 규격과 설계분석을 통하여 각 요구 규격과 검증 방식을 조정할 수 있다 [5]-[6]. 전자기 간섭 시험은 대상 장비를 유도탄 혹은 구성품 조립체로 정의하여 시험을 수행하는데, 전기적 인터페이스를 제공하는 배선장치 조립체의 경우 전자기 시험 대상에 따라 시험 구성에서 생략 된다.

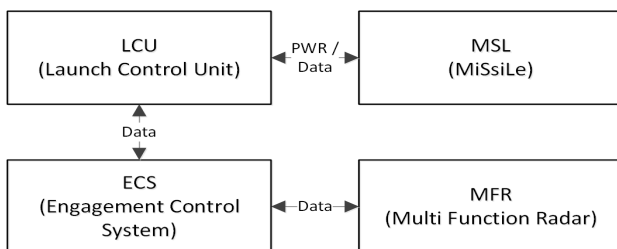


그림 1. 대공유도무기체계 구성
Fig. 1. Configuration of SAM system

구성품 조립체를 대상으로 하면 전자기 시험 전용 케이블을 사용하여 시험을 수행하기에 유도탄 내 구성품 중 배선장치 조립체가 시험 대상에 포함되지 않는다 [7]. 그러나 실제 배선장치 조립체는 유도탄내 구성품 간 전원과 통신 등 전기적 신호를 전달하는 역할을 수행하기 때문에 배선장치에서 방사되는 전계가 유도탄내 구성품에 영향을 줄 수 있고 운용 중 구성품의 방사 노이즈가 배선장치에 영향을 미칠 수 있어 실제 배선장치의 전자기 영향성에 대한 검토가 필요하다 [8].

이에 본 논문은 대공유도무기체계 전자기 시험평가에 대한 보완 방안을 제시하고자 한다. 2장에서는 유도탄 분석 및 취약점 도출을 위하여 유도탄 구성품 분석과 전자기 시험 평가 방법에 대하여 고찰하고, 3장에서는 보완할 사항에 대한 시험을 위해 시험 방법 및 테스트베드 구성과 시험 환경 검증 결과에 대하여 기술하였다.

II. 유도탄 분석 및 취약점 도출

2-1 유도탄 구성 및 노이즈 저감 설계

유도탄은 발사 후 제어 및 구동 등의 기능을 수행하기 위하여 구성품 조립체(Sub system) 단위로 나누어 설계 및 제작한다. 그림 2는 유도탄 내부 구성과 발사통제장치와 연결되는 구성이다. 각 구성품 조립체는 배선장치 조립체(Cable assembly)를 통하여 연결되고 배꼽연결기(Umbilical)를 통하여 전원 및 통신 등의 전기 신호가 발사통제장치(LCU)와 연결된다. 구성품 조립체의 경우 전자기 간섭 시험 대상 장비이기에 설계 단계부터 노이즈를 저감시키기 위하여 노력하여야 한다. 대표적인 노이즈 원으로는 시스템 사용 주파수를 생성하기 위한 오실레이터와 전력 효율이 좋은 스위칭 전력 변환 장치가 있다. 추가적으로 인접한 신호선 간 누화가 발생할 수 있고 시스템 간 임피던스 차이에 의하여 반사파가 형성되어 노이즈가 될 수 있기에 설계 반영 요소로 관리해야 한다.

노이즈 저감을 위하여 유효한 신호 주파수 성분, 노이즈 주파수 분포, 노이즈 발생원 및 전달 경로를 파악한다. 파악된 원인에 따라 차폐, 그라운드 강화 및 노이즈 필터 적용을 통하여 노이즈 강건 설계를 수행한다. 그림 3은 해당 노이즈 절감 방법에 대한 절차이다 [9].

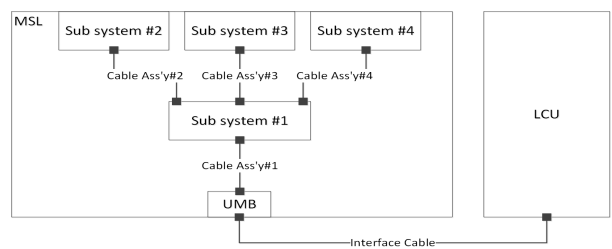


그림 2. 유도탄 구성 및 발사통제장치 연결
Fig. 2. Configuration of missile with Launch Control Unit

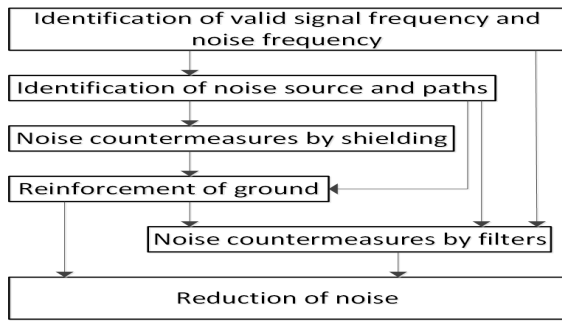


그림 3. 노이즈 저감 절차
Fig. 3. Procedure for reduction noise

제작된 구성품 조립체는 전자기 간섭 시험을 수행하여 요구 환경 조건을 만족하는지 확인한다. 배선장치 조립체의 경우 노이즈 저감을 위하여 형상을 최적화 하거나 전용 선재를 사용한다. 전도 방사는 공통모드 혹은 차동모드 노이즈가 있고, 공통모드 노이즈 E_{CM} 는 케이블 길이와 비례하여 증가하고 차동모드 노이즈 E_{DM} 는 루프 면적에 비례하여 증가한다. 식 1은 원거리장(far field)에서 거리(r)에 따른 공통모드 노이즈의 세기(E , 단위 : volts/meter)를 나타낸다. 식에서 f 는 주파수, l 은 길이, I_{CM} 은 공통 모드를 통한 노이즈 전류 그리고 θ 는 방사면과 관측점 사이의 각도이다. 식 2는 차동모드 노이즈를 수식으로 나타낸 것이고 A 는 단면적, I_{dm} 은 차동모드를 통한 노이즈 전류이다 [10].

$$E_{CM} = \frac{4\pi \times 10^{-7} (f l I_{CM}) \sin \theta}{r} \quad (1)$$

$$E_{DM} = 131.6 \times 10^{-16} \times \frac{(f^2 A I_{dm})}{r} \times \sin \theta \quad (2)$$

배선장치 조립체는 케이블 제작 시 해당 노이즈를 줄이기 위해 형상을 최적화 설계 하여 길이에 비례하는 공통모드 노이즈를 최소화 시키고 선재의 경우 전용 꼬임 선을 사용하여 단면적에 비례하는 차동모드 노이즈를 최소화 시킨다. 통신 신호를 전달하는 케이블은 표 1과 같이 임피던스 특성을 갖고 있는 선재를 사용하여 반사파로 인한 노이즈 방사를 최소화 한다 [11]-[12].

표 1. 선재의 전기적 특성
Table 1. Electrical characteristics for cable

ELECTRICAL CHARACTERISTICS	
CHARACTERISTIC IMPEDANCE	100 ± 7 ohms, Method C at 1MHz
CAPACITANCE-MUTUAL	13.5 pF/ft. (nominal)
VELOCITY OF PROPAGATION	76% (nominal)
CAPACITANCE UNBALANCE	3% (nominal)

2-2 유도탄 전자기 시험 분석

유도탄 혹은 하부 구성품 조립체는 비행 중 겪게 되는 운용 환경에 견딜 수 있게 설계를 수행하고 개발 기간 중 요구되는 시험 규격을 만족하는지 평가를 수행한다. 전자기 시험을 수행하는 경우 MIL-STD-461G에 정의된 플랫폼을 참조하여 전도 방사(Conducted Emissions), 전도 내성(Conducted Susceptibility), 복사 방사(Radiated Emissions) 및 복사 내성(Radiated Susceptibility)의 세부 시험 항목을 정하게 된다.

유도탄의 경우 유도탄 운용케이블을 상호연결케이블(Interconnecting Cable) 형태로 수정하여 사용한다. 구성품 조립체의 경우 배선장치 조립체의 형상 한계로 라인 임피던스 안정화 네트워크와 점검장비를 연결할 수 있도록 전자기 시험 전용 케이블을 제작하여 시험을 구성한다. 상호연결케이블 제작 시 전원 리드는 차폐용 브레이드를 제거하여 라인 임피던스 안정화 네트워크와 연결되어야 하고 다른 부분은 시뮬레이션 장비나 모니터링 장비에 연결하여 상태를 확인하여야 한다.

그림 4는 MIL-STD-461G 규격을 따르는 전자기 간섭 시험 구성도이다. 전자기 간섭 시험 수행을 위하여 시험대상장비(Equipment Under Test)의 방향은 최대 복사 방출을 생성하고 복사 신호에 가장 쉽게 반응하는 표면이 측정 안테나를 향하도록 방향을 잡는다. 전자기 시험 전용 케이블은 피시험기에 연결 후 피시험체의 잠재된 복사 결합의 효과를 극대화시키기 위하여 케이블의 처음 2 m를 노출시켜 경계면과 평행하게 설치한다. 또한, 라인 임피던스 안정화 네트워크(Line Impedance Stabilization Network)를 사용하여 구성품에 안정적이고 정규화된 임피던스를 제공하여 전원부에서 생성된 모든 RF 노이즈를 분리시킨다 [13]. 이후 점검장비를 운용하여 방사시험을 수행하는 경우 시험대상장비가 최대 방출을 생성하는 작동 모드에 두고, 내성 시험의 경우 시험대상장비의 운용을 가장 가혹한 상태로 둔다.

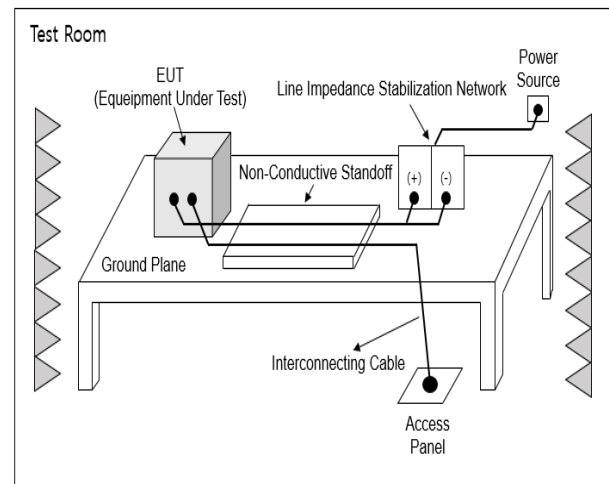


그림 4. 시험 대상 장비 전자기 시험 구성
Fig. 4. Configuration of electromagnetic test for EUT

배선장치 조립체의 경우, 구조적으로 유도탄 내에서 안테나의 백-로브나 구성품의 방사 노이즈의 영향을 받거나 전기적 신호 흐름에 의하여 자체적으로 전계를 형성하여 유도탄 내 장착된 구성품 조립체에 영향을 미칠 수 있다. 이에 배선장치 조립체가 형상에 따라 유도탄 내 전자기 환경에 어떠한 영향을 미치는지 검토가 필요하다.

III. 보완시험 방법 및 환경검증 결과

3-1 보완시험 테스트베드 구성 및 방법

배선장치 조립체를 대상으로 전자기 환경 영향성 검증을 수행하기 위하여 그림 5의 전자기 간섭 시험 구성 내 피시험장비를 배선장치 조립체로 변경하여 구성품 조립체에 요구되는 전자기 시험을 수행하여야 한다. 대공무기체계의 경우 MIL-STD-461G의 “Ground, Air Force”를 적용하여 해당 플랫폼에 맞는 시험 목록을 수행하고, 해당 목록은 표 2와 같다 [14].

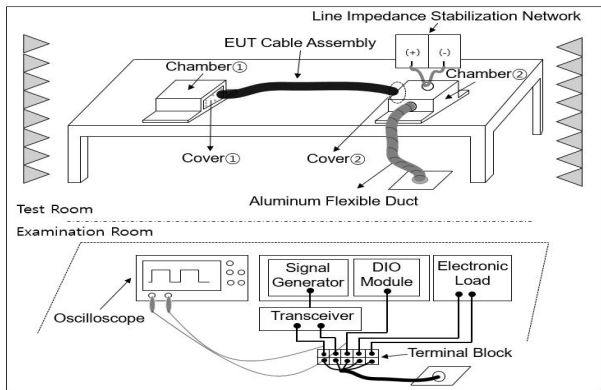


그림 5. 배선장치 조립체 전자기 시험 테스트베드 구성
Fig. 5. Figure of electromagnetic test-bed for cable assembly

표 2. 대공무기체계 전자기 간섭 시험 적용 항목
Table 2. List of electromagnetic test for surface to air missile system

Requirement	Description
CE102	Conducted Emissions, Power Leads, 10 kHz to 10 MHz
CE106	Conducted Emissions, Antenna Terminal, 10 kHz to 40 GHz
CS101	Conducted Susceptibility, Power Leads, 30 Hz to 150 kHz
CS114	Conducted Susceptibility, Bulk Cable Injection, 10 kHz to 200 MHz
CS115	Conducted Susceptibility, Bulk Cable Injection, Impulse Excitation
CS116	Conducted Susceptibility, Damped Sinusoidal Transients, Cables and Power Leads, 10 kHz to 100 MHz
RE102	Radiated Emissions, Electric Field, 10 kHz to 18 GHz
RS103	Radiated Susceptibility, Electric Field, 2 MHz to 40 GHz

배선장치 조립체를 대상으로 전자기 간섭 시험을 구성하는 경우 내부 배선에 구성품 간 전기신호가 모사되어야 한다. 구성품 간 전기 신호의 종류로는 전원과 통신 그리고 이산신호가 있는데, 각 신호를 모사할 수 있게 시험 장비를 구성한다. 전원 신호를 모사하기 위해 실제 유도탄이 소모하는 전류 파형을 참조하여 전자 부하기(Electronic Load)를 설정 후 라인 임피던스 안정화 네트워크에서 출력된 신호를 연결하고, 통신 신호는 트랜시버를 사용하여 송신과 수신 라인을 루프-백 시킨다. 이산신호의 DIO 모듈을 사용하여 실제 유도탄에서 주고받는 신호를 모사한다.

시험 구성 완료 후 유도탄 혹은 구성품 조립체의 전자기 간섭 시험과 동일하게, 모든 시험 장비를 운용하여 배선장치 조립체가 최대 방출을 생성할 수 있게 구성품 조립체 동작을 모사한다. 이후 전자기 간섭 시험 절차로 배선장치 조립체를 시험한다. 그림 6과 같이 배선장치 조립체를 위한 시험 치구는 챔버①, 점검장 연결용 덕트를 포함한 챔버②, 덮개①, 덮개②, 터미널 블록(Terminal Block)과 알루미늄 후렉시블 덕트(Aluminum Flexible Duct)로 이루어져 있다. 테이블 위에 놓여진 챔버① 및 챔버②는 시험대상 케이블 조립체 별 전면 연결기가 달린 덮개를 제작하여 덮개 교체만으로 다른 케이블의 시험이 가능하도록 범용적으로 설계하고 케이블에 맞는 덮개를 활용하여 챔버 ① 및 챔버② 커넥터 사이에 시험대상 배선장치 조립체를 연결한다. 챔버②는 라인 임피던스 장비와 배선장치 조립체를 통하여 전원을 공급할 수 있도록 연결하고, 챔버②는 시험치구의 점검장 연결용 덕트에서 나오는 케이블은 점검장 내 각 신호를 모사할 수 있는 시험 장비와 연결하도록 구성한다.

시험치구 및 제작된 케이블의 영향 없이 시험대상인 케이블 조립체의 전자기 영향성을 확인하기 위해 챔버① 및 챔버②의 부는 호일과 동 테이프로 보강하고, 챔버②의 점검장 연결용 덕트는 테이블 높이에 따라 조절이 가능한 자바라 구조의 알루미늄 후렉시블 덕트를 사용하여 시험장비 연결 케이블이 노출되지 않도록 차폐한다.

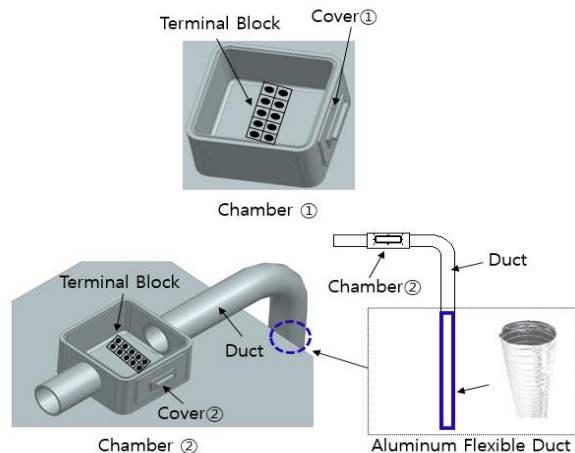


그림 6. 시험 치구의 구성
Fig. 6. Components of text fixture

3-2 시험 치구 검증 방법

배선장치 조립체의 전자기 환경 영향성을 검토하기 위하여, 그림 5의 시험 구성 내 배선장치 조립체를 제외한 상태에서 모든 시험 장비를 운용하였을 때 시험장에서 검출되는 방사 노이즈를 확인하여 시험장 환경의 무결성을 검증하여야 한다. 이를 위하여 표 2의 항목 중 복사 방사 항목을 적용하여 시험치구 자체에 대한 복사 방사량(전계)를 측정하고 결과에 따라 측정 환경을 보완하여 주어야 한다.

검증을 위하여 케이블 조립체와 챔버① 제외하고 그림 7과 같이 챔버② 전체와 챔버②의 연결기 덮개 부분을 호일과 동 테이프로 차폐 보강 후 챔버② 안의 전원 및 신호 라인에 전원 신호와 통신 및 이산 신호를 동시에 인가한다. 그림 7의 전원 신호는 챔버② 내부의 터미널 블록을 루프-백용 케이블로 연결하여 귀환시켜 나오는 전원 신호를 전자 부하기로 연결하고 부하는 유도탄이 소모하는 전류 파형을 참조하여 인가되도록 설정한다. 통신 신호는 트랜시버를 사용하여 데이터를 끊임없이 송수신하도록 설정하고 송신 신호가 인가되면 챔버② 내부의 터미널 블록과 루프-백용 케이블을 통해 귀환하도록 구성한다. 이산신호는 DIO 모듈을 사용하여 신호를 인가하면 챔버② 내부의 터미널 블록과 루프-백용 케이블을 통해 귀환되도록 구성하였으며, 귀환된 신호는 오실로스코프 파형으로 모니터링 할 수 있도록 구성한다.

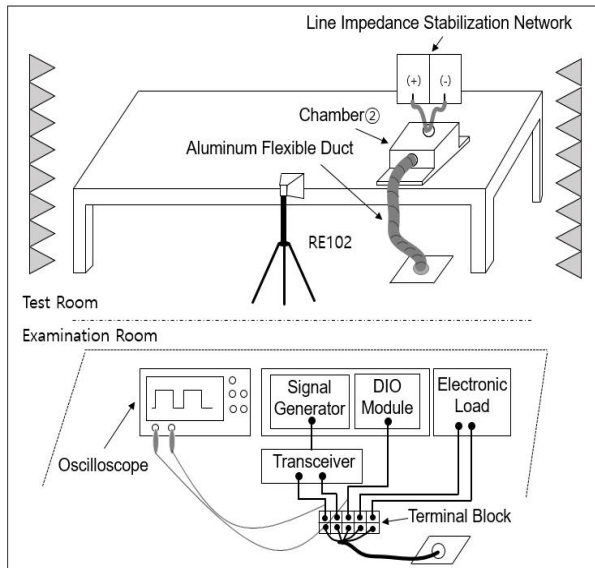


그림 7. 시험치구의 RE102 측을 위한 구성도
 Fig. 7. Configuration for measurement of RF noise through RE102 of test fixture

3-3 시험 치구 검증 결과

그림 8부터 그림 11까지는 시험치구 자체에 대한 RE102 시험항목 중 2 MHz ~ 18 GHz 대역의 수직 편파에 대하여 측정한 결과(초록선)이다.

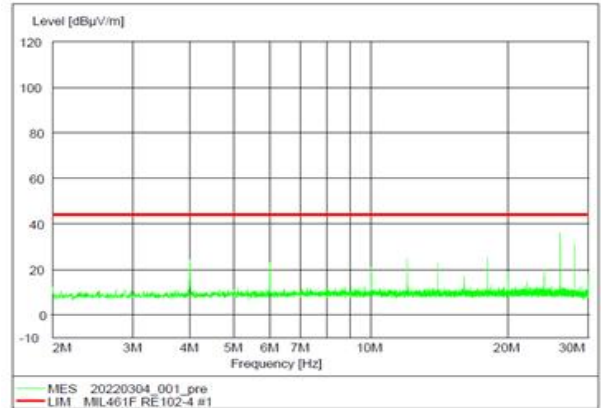


그림 8. 2 MHz ~ 30 MHz 대역 측정 결과 (수직편파)
 Fig. 8. Result of 2 MHz ~ 30 MHz bandwidth (Vertical)

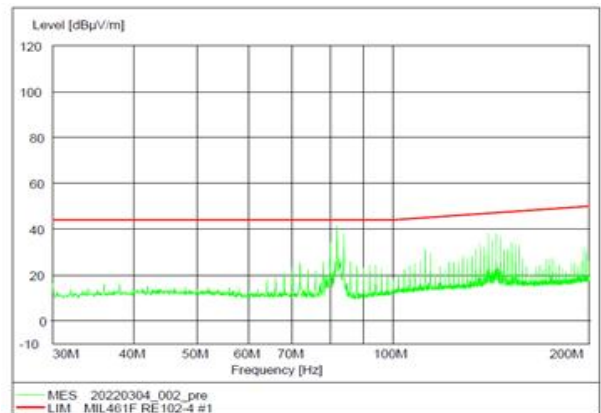


그림 9. 30 MHz ~ 200 MHz 대역 측정 결과 (수직편파)
 Fig. 9. Result of 30 MHz ~ 200 MHz bandwidth (Vertical)

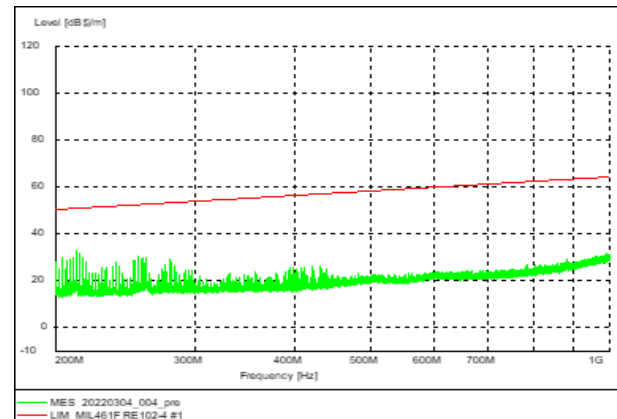


그림 10. 200 MHz ~ 1 GHz 대역 측정 결과 (수직편파)
 Fig. 10. Result of 200 MHz ~ 1 GHz bandwidth (Vertical)

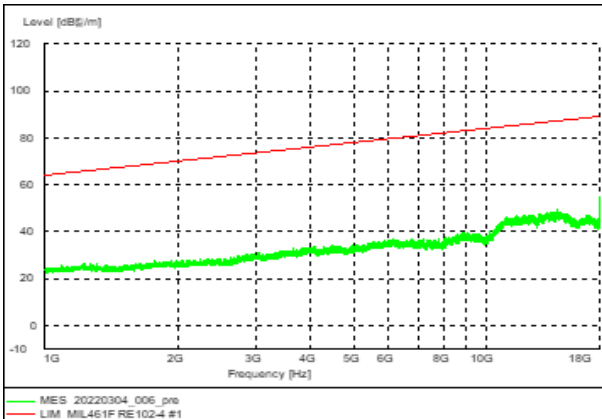


그림 11. 1 GHz ~ 18 GHz 대역 계측 결과 (수직편파)
 Fig. 11. Result of 1 GHz ~ 18 GHz bandwidth (Vertical)

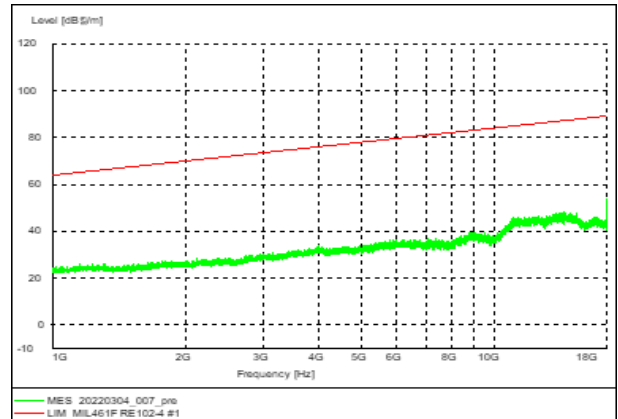


그림 14. 1 GHz ~ 18 GHz 주파수 대역 계측 결과 (수평편파)
 Fig. 14. Result of 1 GHz ~ 18 GHz bandwidth (Horizontal)

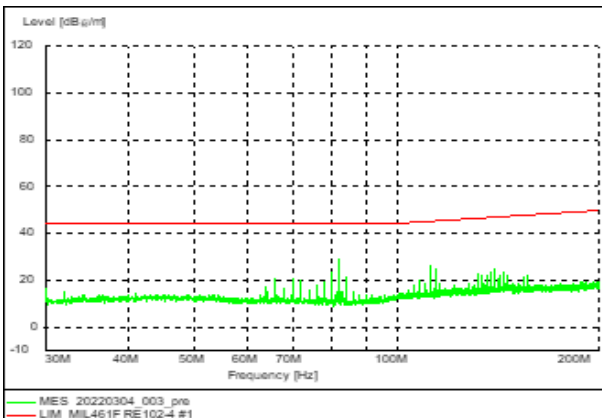


그림 12. 30 MHz ~ 200 MHz 대역 계측 결과 (수평편파)
 Fig. 12. Result of 30 MHz ~ 200 MHz bandwidth (Horizontal)

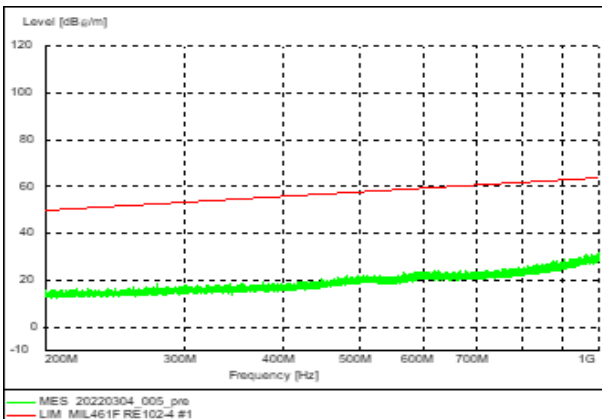


그림 13. 200 MHz ~ 1 GHz 대역 계측 결과 (수평편파)
 Fig. 13. Result of 200 MHz ~ 1 GHz bandwidth (Horizontal)

그림 12부터 그림 14는 30 MHz ~ 18 GHz의 주파수 범위에서 수평 편파에 대해 계측한 결과(초록선)이며, 시험 치수가 RE102 전 항목에서 규제치(빨간선 이내)를 만족하는 것을 확인하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 대공유도무기체계 및 유도탄 구성과 노이즈 저감 설계 방법에 대하여 기술하고, 전자기 시험에 대하여 고찰하였다.

전자기 시험은 유도탄 혹은 구성품 조립체를 대상으로 수행할 수 있는데, 구성품 조립체로 수행할 경우 형상의 제한으로 배선장치 조립체를 사용하지 않는다. 배선장치 조립체는 구성품 조립체 사이에서 전원 및 통신 등의 전기 신호를 연결하는 매개체로 유도탄 내에 설치할 경우 취약점이 될 수 있다. 이에 배선장치 조립체가 유도탄 내 전자기 환경에 영향을 미칠 수 있는지 검토하기 위한 시험 방법을 제시하였고, 시험 환경에 대한 무결성 확인을 하였다.

향후 케이블 조립체에 대한 전자기 시험을 진행하고 결과를 분석하여 케이블 조립체의 전자기 간섭 영향성 여부에 대한 검토가 필요하다.

References

- [1] Y. H. Lee, J. Y. Kim, K. S. Moo, and K. S. Lee, "A Study on Stockpile Reliability Program for Effective Life Cycle Management of Domestically Developed Missile," *Journal of The Korea Association of Defense Industry Studies*, Vol. 28, No. 1, 2021.
- [2] J. R. Kim, "An analysis of the Trends of Future Weapon Systems and Military Science and Technologies," *Strategy Studies, Korea Research Institute for Strategy*, No. 76, Nov. 2018.
- [3] H. S. Hwang, K. H. Jo, I. C. Park, and W. S. Yun, "System Integration Test Design to Ensure Reliability of Complex Guided Missile System," *Journal of applied reliability*, Vol. 12, No. 2, pp. 105-119, 2012.
- [4] J. B. Shin, S. H. Kim, "Reliability Analysis of The Mission-Critical Engagement Control Computer Using Active Sparing Redundancy," *The KIPS Transactions Part A*, Vol. 15, No. 6, pp. 309-316, Dec. 2008.
- [5] MIL-STD-464C, Department of defense interface standard : Electromagnetic environmental effects requirements for systems, department of defense: united states of america, 2010.
- [6] MIL-STD-461G, Department of defense interface standard : Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment, department of defense: united states of america, 2015.
- [7] D. H. Lee, T. K. Oh, S. K. Oh, H. J. Kim, and D. H. Park, "Study on Methods of Missile Electromagnetic Susceptibility (EMS) Test," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 24, No. 5, pp. 424, Oct. 2020.
- [8] D. H. Park, S. C. Han, J. Y. Jung, D. H. Lee, and Y. J. Kim, "Verification of the Necessity of Cable Braid Inside the Guided Missile for Radiated Emissions(RE102) Test," *Korea Institute of Military Science and Technology*, JeJu, pp. 1833-1834, 2022.
- [9] DImaterials. EMC technicaldata [Internet]. Available : <http://www.dsic21.com/kr/sub/technicaldata/emc.asp>
- [10] H. W. Ott., *Electromagnetic Compatibility Engineering*, John Wiley & Sons, pp. 346-378, 2011.
- [11] Twisted Pair Cabling [Internet]. Available: <https://www.te.com/usa-en/product-6270993001.html>
- [12] High Speed Digital & Data Cable [Internet]. Available: <https://www.te.com/usa-en/product-D84263-000.html>
- [13] S. J. S, "Why So Many Different Types of LISNs?," *Com-Power Corporation*. [Internet]. Available: https://www.com-power.com/uploads/technote/Why_so_many_types_of_LISNs.PDF
- [14] H. J. Jin, K. W. Jung, D. H. Shim, and C. K. Song, "Analysis of EMC test application of Surface-to-Air Missile System," *Korea Institute of Military Science and Technology*, DaeJeon, pp. 1478-1479, 2021.



김 영 재 (Young-Jae Kim)

2018 2월 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 (공학석사)
2021년 11월 ~ 현재 : LIG넥스원 유도무기연구소 선임연구원
※관심분야 : 유도무기, 회로설계, 배선장치, 전자기파



고 상 훈 (Sang-Hoon Koh)

2011년 2월 : 고려대학교 전기전자컴퓨터공학과 (공학석사)
2011년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원 유도무기연구소 수석연구원
※관심분야 : 유도무기, 정보통신, 임베디드시스템, RAMS



박 동 현 (Dong-Hyun Park)

2011년 8월 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 (공학사)
2013년 8월 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 (공학석사)
2014년 10월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임연구원
※관심분야 : 유도무기, 정보통신



한 석 주 (Seok-Choo Han)

1991년 2월 : 경희대학교 전자공학과 (공학사)
1999년 12월 : SIUC(미국) 전자공학과 (공학석사)
2005년 5월 : SIUC(미국) 전자공학과 (공학박사)
2005년 1월 ~ 2007년 10월 : 삼성전자 무선사업부 책임연구원
2007년 12월 ~ 현재 : 국방과학연구소 책임연구원
※ 관심분야 : 유도무기, 안테나, 전자기파



이 대 현 (Dae-Hyun Lee)

2008년 2월 : 경희대학교 동서의료공학과 (공학사)
2010년 2월 : 경희대학교 동서의료공학과 (공학석사)
2013년 5월 ~ 현재 : LIG넥스원 수석연구원
※ 관심분야 : 유도무기, 탄 체계, 신호처리, 임베디드 시스템



안 정 우 (Jeong-Woo An)

2013년 2월 : 인하대학교 항공우주공학과 (공학사)
2013년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원 선임연구원
※ 관심분야 : 유도무기, 소음진동, 공력구조