



Received: 2026/02/12
Revised: 2026/02/24
Accepted: 2026/03/11
Published: 2026/03/31

***Corresponding Author:**

Jeheon Ji
27, Hwangsaoul-ro 360beon-gil, Bundang-gu,
Seongnam-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea
E-mail: jeheon.ji@hanwha.com

EMC 설계 대책과 항공전자 시험장비 적용에 대한 유효성 검증

Validation of EMC Design Application in Avionics Test Equipment

지제현^{1*}, 엄명진¹, 이승목², 길성준², 이광희³, 신상윤³

¹한화시스템 항공시스템개발팀 전문연구원

²한화시스템 항공시스템개발팀 수석연구원

³한화시스템 항공시스템개발팀 선임연구원

**Jeheon Ji^{1*}, Myungjin Eom¹, Seungmok Lee², Sungjun Gil², Kwanghee Lee³,
Sangyoon Shin³**

¹Senior engineer, Hanwha Systems Avionics System R&D Team

²Chief engineer, Hanwha Systems Avionics System R&D Team

³Engineer, Hanwha Systems Avionics System R&D Team

1. 서론

1.1 EMC 도입의 배경

항공기에 전자장비가 본격적으로 탑재되기 시작한 20세기 중반 이후, 전자기 간섭은 항공 안전을 위협하는 주요 요인으로 꾸준히 보고되어 왔다. 초기에는 항공기 내 장비 간 상호 간섭을 방지하기 위한 부분적 대책에 그쳤으나, 제트기와 레이더/항법 장치가 보편화된 1950~1960년대에 이르러 문제의 심각성이 부각되었다. 특히 베트남전 시기 통신 두절, 항법 오차, 무기체계 오작동과 같은 EMI(electromagnetic interface) 관련 사례가 다수 보고되었으며, 이는 미국 국방부가 군용 장비의 전자기 적합성(electromagnetic compatibility, EMC)을 확보하기 위한 체계적 규격 제정에 나서게 되었다. 그 결과 1967년 미국 국방부에서 제정된 MIL-STD-461은 군용 항공기 및 전자장비에 적용되는 최초의 포괄적 EMI 기준으로 자리매김하였다[1,4].

민간 항공 분야에서도 EMI는 항공기의 안전에 중대한 영향을 미치는 것으로 드러났다. 1960년대 후반 FAA(federal aviation administration) 보고서에는 계기착륙장치(instrument landing

Abstract

항공기 안전에 있어 항공전자 장비는 국방 및 민간 부문 모두에서 별도의 EMC 규정이 제정되어 검증되어 왔으며, 현재도 지속적으로 개정되고 있다. 이러한 규정을 검증하기 위해 EMC 시험은 항공전자 장비와 이를 구동하는 시험장비로 구성되어진다. 대부분의 항공전자 장비는 EMC를 고려한 설계를 적용하지만 시험장비에 대해서는 이러한 중요성이 간과되어진다. 본 논문에서는 EMC 설계 방법을 시험장비에 적용하고 그 영향과 효율성을 설명하고자 한다.

The Elettromagnetic Compatibility (EMC) verification of avionics equipment is directly related to aircraft safety. Due to this importance, EMC regulations for aircraft have been established and continuously revised in both the defense and civilian sectors. EMC testing to verify these regulations requires avionics equipment and the test equipment used for testing. However, although most avionics equipment are designed considering its EMC immunity, the impact and importance of the test equipment in EMC testing has been ignored. This study applies EMC design techniques to this test equipment to clarify its impact and effectiveness.

Keywords

전자파 적합성 시험(EMC Test),
군사용 전자파적합성 시험규격(MIL-STD-461),
항공전자(Aviation Electronics),
시험장비(Test Equipment), 전자전 컴퓨터(EWC)

Acknowledgement

이 논문은 2026년도 한국해군과학기술학회
하계학술대회 발표 논문임.

system, ILS)와 통신 장비가 외부 전자파 간섭이나 승객의 휴대용 전자기기(portable electronics device, PED)로 인해 영향을 받는 사례가 기록되어 있다. 일부는 착륙 접근 과정에서 ILS 신호 교란으로 불안정한 비행이 보고되었으며, 이는 EMI 내성 확보의 필요성을 직접적으로 보여주는 사례였다. 이러한 배경 속에서 RTCA(radio technical commission for aeronautics)는 1975년 DO-160을 제정하여, 민간 항공전자 장비의 EMI 및 환경 시험 기준을 표준화하였다[6].



Fig. 1. Avionics EMC test

DO-160은 이후 국제적으로 민항기 전자장비 인증에 요구되는 핵심 기준으로 확립되었으며, 장비 개발 단계에서부터 필수적인 인증 절차로 적용되고 있다.

1980~1990년대에는 휴대용 전자기기의 보급이 EMI 규제 강화를 촉발하였다. 카세트 플레이어, 노트북 등에서 발생하는 전자파가 항공기 통신 및 항법 장비에 간섭을 일으킬 수 있음이 보고되었으며, 이에 FAA는 기내에서의 PED 사용을 제한하는 지침을 발표하였다. 2000년대 이후에는 기내 와이파이와 위성통신 도입으로 EMI/EMC 문제가 다시 주목받게 되었으며, 규제 기관은 PED 사용 허용 범위를 확대하는 동시에 EMI 시험 요건을 강화하는 이중의 정책을 추진하였다.

이와 같이 항공기 EMI 기준은 특정 사고와 운용 경험을 통해 제정 및 강화되어 왔으며, 군용 분야의 MIL-STD-461과 민간 분야의 RTCA DO-160은 각각의 역사적 맥락 속에서 도입된 대표적 규격이다.

1.2 항공전자 시험장비에서의 EMC 중요성

EMC 규격을 만족하기 위해 항공 전자장비는 외부

환경으로부터 발생할 수 있는 EMI의 영향을 억제하기 위하여 다양한 필터링 기법을 적용한다[2]. 특히, 장비 외부와 접속되는 신호 라인 및 전원부에는 EMI 필터가 기본적으로 요구될 정도로 항공 전자장비에서 EMC 성능 확보는 매우 중요하다. 이러한 중요성은 실제 운용 장비뿐만 아니라, 전자장비의 기능을 검증하기 위해 사용되는 시험장비에서도 동일하게 요구되어진다. 항공 전자장비는 비행 시험 전 통합 시험 환경인 SIL(system integration laboratory)을 구성하여, 장비들 간의 연동 및 장비 기능에 대한 검증을 수행해야 한다[5]. 하지만 현대의 시험장비는 SIL이 구성되기 전, MIL-STD-1553B Module, ARINC-818 to DVI Converter 등 다양한 모사장치를 탑재하여 SIL과 유사한 통합 시험환경을 구성하여 개발 일정 단축에 기여한다. 하지만 이러한 다양한 모사장치들은 시험장비에 의한 항공 전자장비의 EMC 영향력을 확대할 수 있는 위험성을 내포하고 있다. 시험장비는 운용 환경을 모사하고 각종 입출력 신호 및 전원 조건을 제공하는 역할을 수행하는데, 이 과정에서 항공 전자장비에 직접적으로 연결되어진다. 시험장비는 비록 EMC 시험을 진행할 때, 챔버 외부에 위치하여 항공 전자 장비의 EMC 시험에 대한 영향성은 제한적일 것으로 생각하기 쉬우나, 내부의 항공 전자장비와 cable로 연결되어 있어, 외부의 간섭 신호가 내부로 유입될 가능성을 내포하고 있다. 이는 곧 시험장비가 항공 전자장비의 EMC 성능 검증에 영향을 미칠 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 시험장비는 항공 전자 장비의 성능 검증을 위하여 최소한의 EMC 성능을 확보하여야 한다. 본 논문에서는 항공전자 장비의 EMC 시험 수행 간 시험장비의 역할과 해당 장비가 항공 전자장비의 EMC 성능 검증시 어떠한 영향을 발생시키는지에 대하여 시험을 통해 확인한 사항을 기술하였다.

2. 본론

2.1 EMC의 저감 설계 방법

EMC 영향성을 줄이기 위한 대표적인 설계 기법으로는 shielding, grounding, filtering 등이 있다.

이러한 기법들의 목적은 단순하게 노이즈가 빠져나갈 경로를 만들어주거나, 들어오는 길을 막는 것

로 정의할 수 있다. 이번 연구의 주제인 시험장비는 위의 방식들을 모두 적용하여 설계하였지만, 이번 연구에서는 filtering과 grounding 기법에 대하여 중점적으로 기술할 예정이다.

Common EMC Solutions for Aviation Systems

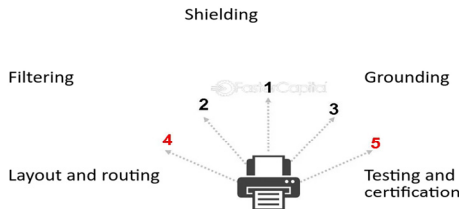


Fig. 2. EMC design method

- **Shielding:** 전자파가 외부로 방출되거나 내부로 침투하는 것을 막음(Ex. Shield cable, shielding can)
- **Filtering:** 외부에서 들어오는 고주파 잡음을 억제(Ex. EMI 필터)
- **Grounding:** 노이즈가 빠져나가는 경로를 형성하여 외부로 방출되는 EMI를 감쇄
- **Layout and routing:** PCB stack up 및 routing을 활용하여 노이즈의 유입 및 방출을 억제

2.2 Filtering, Grounding 방식의 적용 사례

생존체계간 효율적으로 통신을 주고받으며, 위협 상황에서 최적의 대응을 할 수 있는 EWC(electronic warfare computer, 전자전 컴퓨터)는 RWR(radar warning receiver), MAWS(missile approach warning system) 등의 위협 센싱 장비들로부터 데이터를 받아 DIRCM(directional infrared computer measures)으로 대응할지 CMDS(counter measures dispenser system)로 대응할지 회피 기동을 어떻게 해야 할지 판단하여 각 장비에 명령을 내려주는 역할을 한다. 이렇게 EWC는 RWR, MAWS, DIRCM과 같은 생존 장비 및 DU 등 다양한 외부 LRU와 연결되어 있으며, 이렇게 주변 장비와 연결된 EWC는 해당 장비와의 간섭을 차단하는 것이 무엇보다 중요하다[2]. EWC에는 실제로 Fig. 3와 같이 외부로 연결되는 전원 및 다양한 통신선에 그라운드 분리 및 optocoupler의 사용 등 LRU 외부와 내부를 분리

하기 위한 다양한 방법이 적용되어 있어 노이즈에 대한 간섭 및 방사를 최소화하도록 설계되어 있다. 아래 그림 및 설명은 실제 EWC에 적용된 방식을 설명하고 있다.

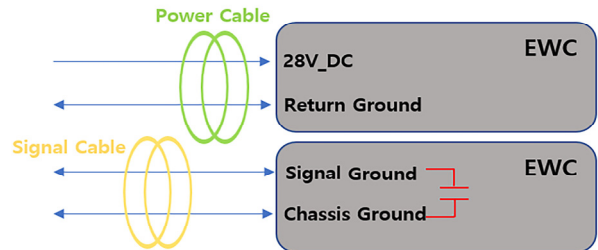


Fig. 3. EWC grounding structure

- 외부 28 V 전원을 별도의 return path로 분리: return ground는 EWC의 chasis, signal ground와 연결되지 않은 별개의 ground로 전원을 통한 외부 noise 유입을 차단

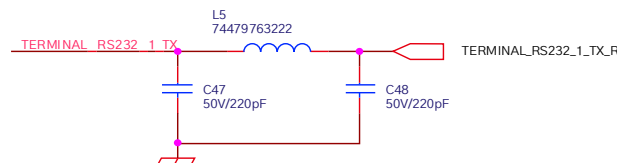


Fig. 4. EWC π -filter

- EMI π -filter: EWC 내/외부로 연결되는 신호선에 π -filter를 구성하여, 입출력 신호를 통한 고주파 노이즈 유입을 감쇄

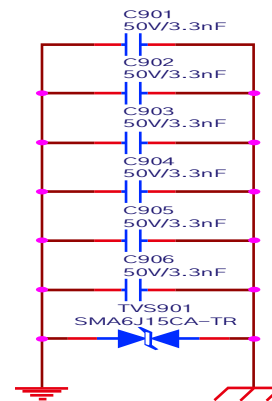


Fig. 5. Chasis and signal ground

- Capacitor를 통한 ground 분리: Chasis/signal ground를 capacitor로 연결하여, 내외부간 고주파 노이즈의 이동을 감쇄

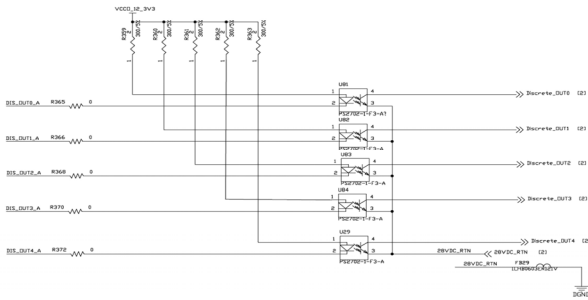


Fig. 6. Optocoupler

- Optocoupler: 입력과 출력을 optocoupler를 통해 연결하여, 내/외부 신호 라인을 절연하여 노이즈 유입을 방지

2.3 시험 장비의 역할과 EMC 시험에서의 영향

EWC를 검증하기 위해서는 주변 장치의 기능을 모사하여 기능/성능 시험이 가능하게 해주는 시험장비가 필수이다. 일반적인 시험 장비와 달리 EWC 시험장비는 다른 구성품들도 연결하여 EWC와의 연동을 검사할 수 있어야 한다. 또한 시험장비 내부에 위협신호를 모사하는 모듈이 장착되어 다양한 케이스에서 EWC가 정상적으로 동작하는지 검증할 수 있어야 한다[3].

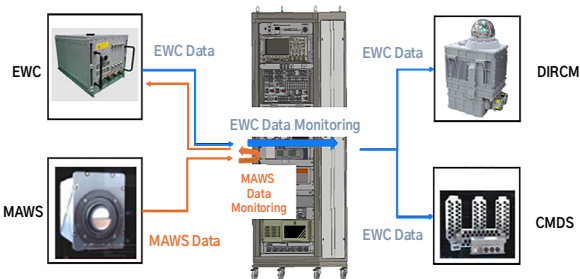


Fig. 7. EWC test equipment

하지만 이러한 시험장비를 설계할 때 EWC와 주변 LRU 간의 기능 검증에만 집중하여 시험장비에 의하여 EMC 시험 검증 시 영향을 미칠 수 있다는 점은 간과되어지기 쉽다. EWC는 EMC 시험 시, 정상적으로 동작되는지 확인하기 위하여 필연적으로 시험장비에 연결될 수 밖에 없으며, 비록 시험 수행 시 외부와 차단된 환경에서 시험이 진행되더라도 EWC, 시험장비와 연결된 cable을 통하여 시험 결과에 영향을 미칠 수 있다. Fig. 8은 EMC 시험환경을 도식화한 것이며, cable을 통해 시험장 내/외부의 EWC와 시험장비

가 연결되어 있음을 보여준다.

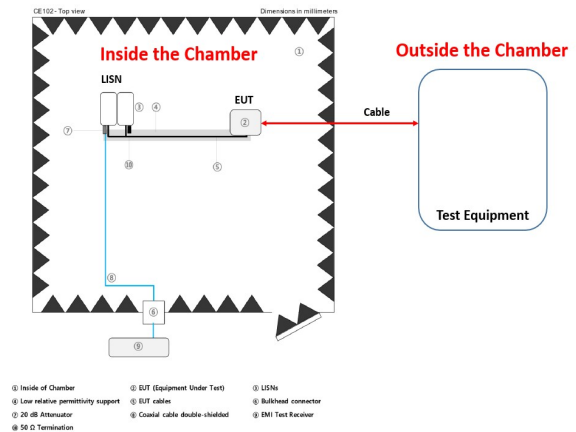


Fig. 8. EMC test environment

이러한 문제를 최소화하기 위해 시험장비에도 EWC에 적용된 EMI 저감 대책을 동일하게 적용하여야 한다. Chassis와 signal의 그라운드를 분리하기 위해 커넥터와 고정하는 나사를 제거하고, 시험장비 내부의 LRU 모사 장비를 고정하는 서포터의 재질을 고무로 변경하는 등 그라운드를 분리하기 위한 설계를 적용하여 시험장비와 EWC가 연결되었을 때, EWC의 그라운드가 분리된 설계가 유지되고, 시험장비의 노이즈가 EWC로 전이되는 것을 방지하였다. 또한 시험장비 내부에서 외부와 연결되는 통신 라인에 EWC와 동일한 π -filter를 적용하여 내부 노이즈가 외부로 전이되는 것을 방지하였다.

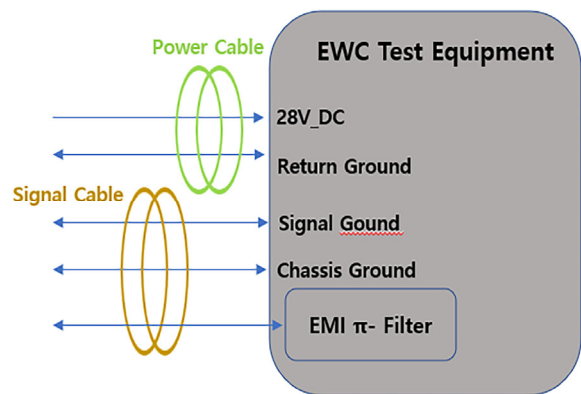


Fig. 9. EWC test equipment structure

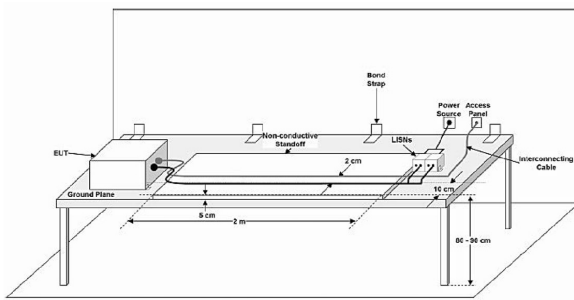
이와 같은 설계적 접근을 통해 시험장비는 EWC와의 연결에서 전자파 간섭의 경로를 차단하고, 시험 환경 내에서 발생할 수 있는 상호 간섭 가능성을 최소화

할 수 있다. 결과적으로, 시험장비의 EMI 저감 대책은 EWC의 EMC 시험 결과가 시험 장비의 영향이 아닌 EWC 자체의 전자기적 특성을 반영하도록 보장한다. 또한 이러한 설계는 EMC 시험 진행 시 그라운드 분리와 결합을 용이하게 하여, EMC 디버깅 과정에서 많은 편리함을 가져다줄 수 있다.

2.4 EMC 시험 결과

EWC에 적용된 EMC 관련 설계를 동일하게 시험 장비에도 적용하여 그 영향성을 확인하기 위해 아래와 같이 CS117 시험을 수행하였다.

CS117 시험은 MIL-STD-461 규격의 장비에 대한 전자기 간섭 특성 요구 사항 표준에 정의된 전도성 민감성 시험 방법으로 항공기 케이블 및 전원 코드에서 낙뢰로 인해 유도될 수 있는 과도 현상에 대한 장비의 내성을 평가한다. EWC에서는 J1 power cable, J3 signal cable에 대해 시험을 수행하였다.



(General test setup)

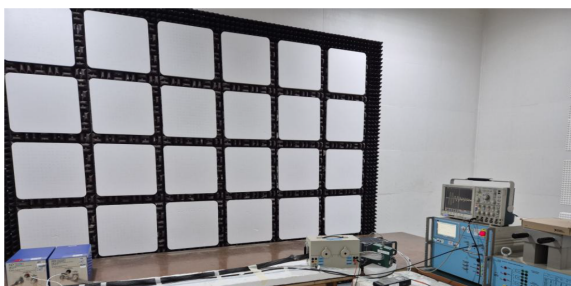
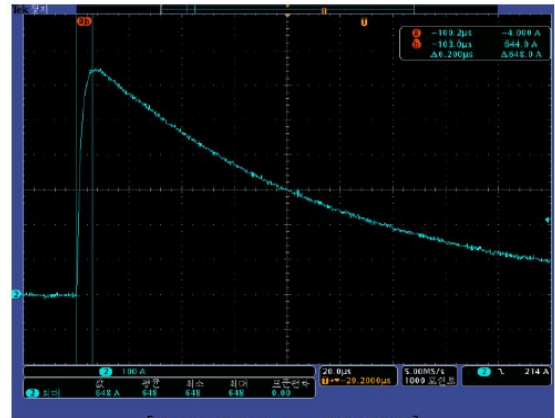


Fig. 10. CS117 test environment

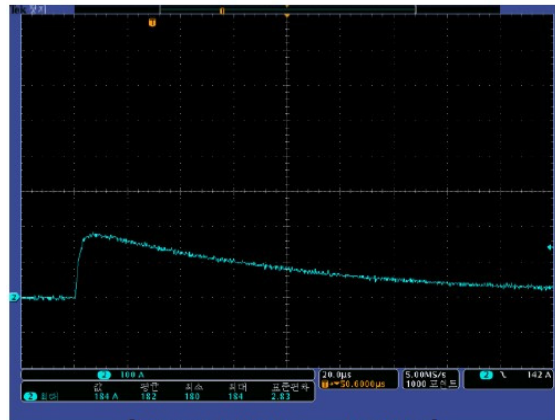
EWC 시험장비에서의 그라운드 영향성을 확인하기 위해, CS117 시험 수행 시, 시험장비의 프레임 그라운드, 시그널 그라운드, EWC의 28 V 리턴 그라운드, 프레임 그라운드의 접지 유무에 따라 시험을 수행하여 그 결과를 확인하였다. 시험의 시작은 CS117 시험 중 waveform 1을 적용하여 수행하였다.

Table 1. CS117 waveform 1

Test Description	Frist Stroke	Subsequent Strokes
Waveform 1	IT = 600A	IT = 150A



[First Stroke _ Positive]



[Second Stroke _ Positive]

Fig. 11. Waveform 1

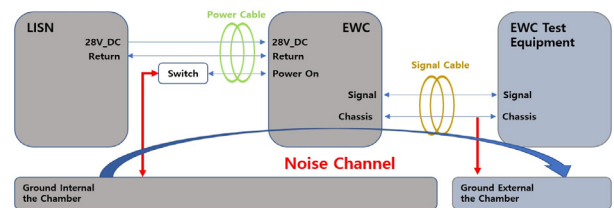


Fig. 12. Case 1 test block diagram

2.4.1 시험 case 1

Power on discrete cable과 시험장 바닥 ground를 스위치로 연결하여 power on 신호를 주고, 시험장비의 chasis ground를 시험장 외부 바닥 ground와 접지한다(Fig. 12의 빨간 선). 이렇게 할 경우 return 그라

운드와 chassis ground가 연결되어, power cable로 노이즈가 유입될 경우, chassis ground를 통하여 EWC, EWC 시험장비와 연결된다.

2.4.2 시험 case 2

Power on discrete cable을 return cable(Fig. 13의 빨간 선)과 연결하고 시험장비의 chassis ground와 시험장 외부 바닥 ground를 분리한다. 이렇게 할 경우, EWC와 시험장비가 cable을 통해 연결되더라도, return ground, signal ground, chassis ground 모두 분리되어, power cable을 통한 노이즈 유입이 차단되게 된다.

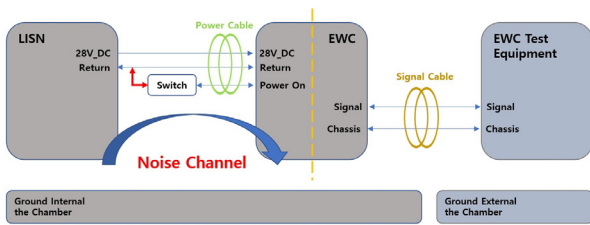


Fig. 13. Case 2 test block diagram

2.4.3 시험 결과

EWC와 시험장비의 chassis ground, return ground, signal ground 모두 분리한 case 2에서 CS117 시험을 통과하였고, return ground와 chassis ground가 연결된 상태에서는 WF1에서 외부의 노이즈가 EWC로 진입하여 시험을 통과하지 못하였다.

Table 2. CS117 test

Test Items	Case 1	Case 2	
CS117 WF1	J1 Bundle	X	0
	J1 Hot	X	0
	J3 Bundle	N/A	0
CS117 WF2	J1 Bundle	N/A	0
	J1 Hot	N/A	0
	J3 Bundle	N/A	0
CS117 WF3	J1 Bundle	N/A	0
	J1 Hot	N/A	0
	J3 Bundle	N/A	0

이처럼 EWC의 CS117 시험에서는 전원선의 return 그라운드와 chassis ground를 분리하는 것이 전원선에 유입된 노이즈가 시스템 내부로 전이되는 것을 방지하여 EMC 내성에 더 유리한 결과를 보여준다. 따라서 시험장비를 연결하였을때도 이러한 설계는 유지되어야 하며, 시험장비를 개발할때도 이러한 EMC 설계 기법을 적용하여야 한다.

3. 결론

본 논문에서는 국내외 참고 자료 및 실 사례를 바탕으로 EMC 시험에 있어 시험장비가 어떻게 영향을 미치는지에 대해 설명하였으며, 그러한 영향성을 회피하기 위한 방안에 대해 기술하였다.

항공 전자에서 외부와의 간섭을 최소화하기 위한 설계는 기본적으로 요구되어지며, 이러한 영향을 최소화하기 위해 항공전자장비의 설계 방안이 시험장비에도 함께 적용되는 것이 항공 전자 장비의 성능을 정확하게 확인하는데 도움이 될 것이다.

즉 시험장비도 단순 기능/성능 시험용으로만 사용되어지는 것이 아닌 EMC 시험에서도 필수적인 구성 요소로 설계 단계에서부터 EMC 영향성을 최소화하고 또한 이슈 발생 시 디버깅을 용이하게 할 수 있는 방안이 마련되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] MIL-STD-461F Interface Standard: Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment, December 2007.
 [2] MIL-STD-15533B Military Standard Published by the United States Department of Defense That Defines the Mechanical, Electrical, and Functional Characteristics of a Serial Data Bus, 1978.
 [3] Jaegi Hong, Wonyoung Shin, Seungmok Lee, Hyunchul Jo, & Sinyoung Kim, 'Development of Test Equipment for Electronic Warfare Computer (EWC) Verification,' Journal of the KIMST, 2024, VOL. 27, NO. 6, pp. 3-5.
 [4] Jack Black, 'EMC and Aerospace,' In Compliance, 2010.
 [5] Eunkyung Ko, Seonghun Kim, Seungyeol Yang, & Hyeongjin Kim, 'System Integration Test of Aircraft Electronic Equipments Using Simulator in the Laboratory,' in Proceedings of KSAS Fall Conference, November 2015, pp. 1147-1150.
 [6] DO-160, RTCA, Environmental Conditions and Test Procedures for Airbone Equipment, 1975.