

# ELINT 포드를 장착한 전투기의 전자기 환경 영향(E3) 시험평가에 관한 연구

## A Study on Electromagnetic Environmental Effects(E3) Test and Evaluation of Fighter Equipped with ELINT Pod

김인선\*      박영주\*      최대규\*      김장표\*      이병남\*

In-Seon Kim      Young-Ju Park      Dae-Kyu Choi      Jang-Pyo Kim      Byeong-Nam Lee

### Abstract

This paper describes the verification test on Electromagnetic Environmental Effects(E3), which conducted on ground as a final step to confirm the normal operation of ELINT pod and Safety-of-Flight of KF-16C/D mounted with ELINT pod prior to the initial flight. Based on MIL-STD-464A, indispensable 7 requirements among 14 detailed requirements total were carried out in the test. Considering the Safety-of-Flight(SOF), we invest a great deal of time and effort on Hazards of Electromagnetic Radiation to Ordnance(HERO) and Intra-system EMC test. E3 test and evaluation were performed on 62 equipments of KF-16C/D, respectively. As a result, we verify that KF-16C/D mounted with ELINT pod(hereafter “system”) are electromagnetically compatible among all subsystems and equipment within the system and with environments caused by electromagnetic effects external to the system.

Keywords : E3, Intra-system EMC/RFC, Electrical Bonding, EMRADHAZ

### 1. 서론

#### 가. 전자기 환경 영향(E3)

KF-16C/D에 장착하여 운용되는 ELINT 포드(이하 “포드”)는 적 전자파 방사체에 대한 위협 자료를 수집, 분석, 식별하고 데이터링크를 이용하여 지상처리장비에 실시간 전송하는 전자전체계이다. 따라서 운용 중 포드의 데이터 송신장치는 지상처리장비에 고출력 전

자파 신호를 지속적으로 방사한다. 이때 이 포드의 데이터링크 신호에 의해 전투기에서 기 운용중인 장비에 오작동 및 성능저하를 유발하거나, 항공 장비가 포드의 운용 성능에 영향을 미치는지를 확인하는 지상점검 절차가 반드시 요구된다. 따라서 정상적인 포드 운용과 비행안정을 위해 포드 및 전투기의 전자장비가 전자기환경(EME : Electromagnetic Environment)에 어떤 경로로 노출될 수 있으며, 어떤 영향을 주는지와 관련된 충분한 사전 검토가 선행되어야 한다. 최근까지 전자기간섭(EMI : Electromagnetic Interference)<sup>[1]</sup> 및 전자기적합성(EMC : Electromagnetic Compatibility)을 고려한 운용 체계에 대한 전자기환경 영향(E3 : Electromagnetic

† 2012년 2월 1일 접수~2012년 5월 4일 게재승인

\* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 김인선(naechon199@naver.com)

Environment Effect) 평가는 대부분 미 국방규격 MIL-STD-464A<sup>[2]</sup>를 준용한다.

전자기 환경 영향성 검증은 독립적으로 운용되는 체계개발 사업의 경우 체계조립이 완료되고 세부 계통별 기능시험이 종료된 이후에 최종 단독 지상시험이 수행되는 것이 일반적이나, 포드와 같이 플랫폼(전투기)에 탑재되는 경우 플랫폼 개조, 장착에 따라 연동, 변경, 추가 부분에 대한 최종 지상시험을 실시하여 장비들 간의 전자기적 상호작용을 확인하고, 비행 안전에 필수적인 기능과 장비 운용성능을 저하시키는 요소를 사전에 파악하여 장비의 고장점검 및 원인제거를 수행하고, 필요시 장비의 운용제한 요소를 도출하여 운용교범에 반영할 수 있도록 하여야 한다.

MIL-STD-464A에 14가지 범주의 전자과 환경영향에 대한 평가가 정의되어 있지만 일반적으로 모든 항목을 시험하기 보다는 각 체계별 선별적으로 필수항목에 대해서 수행한다.

본 연구에서는 우선 시험의 정확성을 보장하기 위한 접지, 전기적 접합 등의 조건을 검증하였으며, 전자기 복사에 따른 인체 및 무장에 대한 위해 정도, 포드의 전자기간섭(EMI) 수준 등 7개 항목에 대해 직·간접적인 시험을 수행하였다<sup>[3-5]</sup>. 특히 E3 분야 중에서 가장 기본적이고 중요한 요소로서 체계 외부의 EME 영향을 배제한 조건에서, 체계 또는 부체계들이 상호 연동되어 동시에 운용할 경우 포드 성능과 비행안전을 보장하기 위한 체계 내 EMC(Intra-system EMC) 검증에 많은 노력을 집중하였다. 또한 안전성에 대한 요구조건을 더욱 확고히 하기 위해, 전자기 복사에 대한 위해성 중 무장 탑재에 따른 요구조건인 HERO(Hazards of Electromagnetic Radiation to Ordnance) 시험에도 많은 시간과 노력을 기울였다.

## 2. 본 론

### 가. 시험조건

포드 전자기 환경 영향성 검증은 포드 자체의 기능과 성능이 완전히 확인된 이후 전투기 체계의 기본형상에 장착한 상태에서 최종적인 지상시험으로 실시된다. 이때 시험대상 전투기는 결함이 없이 정상적으로 운용이 가능한 상태로 준비되어 전자기 상호작용에 따른 간섭여부의 판단에 혼선을 초래해서는 안된다. 따라서 지상에서 동작 가능한 장비에 대해 각 계통별

점검장치를 사용하여 전투기 운용 장비들의 사전 정상작동 여부를 확인하고, 전투기의 자체점검시험(BIT)을 통해 정상동작 여부를 재점검한다. 시험을 통과하지 못한 장비는 자체시험을 정상완료한 장비로 교체한다. 또한 시험 중 발생할 수 있는 의도하지 않은 전자기 상호작용으로 인한 접화, 발사 등을 고려하여 무장류는 탄두를 제거한 모형(Dummy)탄을 장착하고 외부 연료탱크는 빈(Empty) 상태로 준비하여 안전한 시험이 이루어 질 수 있도록 준비한다.

본 시험은 포드의 설딩, 접지, 본딩 등의 조건이 효과적으로 적용되고 EMI 요구조건을 만족하도록 시험이 정상 종료된 이후에 전투기에 장착한 포드를 대상으로 하므로 장치간의 EMC 보다는 포드의 데이터링크 송신 주파수가 전투기 계통에 주는 영향성을 고찰하는 RFC(RF Compatibility)가 주된 관점이다. 따라서 시험은 포드의 데이터링크 송신 ON/OFF 시 인접한 항공장비에 미치는 간섭과 전투기 장비 운용 시의 운용 송신 신호가 포드에 미치는 영향성을 동시에 고찰한다. 시험 시 가능하면 시험 대상 장비의 모드는 간섭 또는 내성에 대한 잠재적 징후를 극대화 할 수 있는 운용모드에서 수행한다.

결과의 검증은 시험, 분석, 검사 또는 그들의 조합으로 실시한다. 그들 중 가장 일반적인 방법이 시험계측을 통해 결과를 정량적인 판단하는 것이지만 시각적인 계기지시, 청각적인 잠음청취 등을 이용한 조종사, 정비사, 무장사의 정성적인 판단도 널리 통용되는 방법이다. 본 시험에 대한 결과 검증은 후자(정성적 판단)에 해당하는 방법으로 데이터링크 송신 ON/OFF시에 전투기의 각 계통에 나타나는 변화 유·무를 고찰하여 적합성 여부를 판단한다. 단, 시험수행 중 전자기 상호작용이 발생하여 장비가 비정상 동작할 때, 1회의 결과로 판단하지 않고 포드를 일시적으로 차단시킨 다음 재 작동시켜 재현성/반복성이 확인될 경우에만 부적합으로 판정하는 기준을 설정하였으며 또한 이런 경우 상호작용 원인을 분석하여 우선적으로 수리 및 교체 조치하고 재시험을 수행한다.

### 나. 시험 구성

포드를 장착한 전투기에 대한 외부 전자과의 영향을 원천 차단하기 위해 전투기를 Table 1과 같은 규격을 갖는 국방과학연구소의 대형 챔버로 입고하였다. 이렇게 함으로서 포드 데이터링크 송신 신호 이외에 주변에서 동시간대 운용되는 타 장비에서 방사되는

전자파 영향을 제거할 수 있도록 하였다.

Table 1. Anechoic chamber requirements

구 분	규 격
주파수 범위	10kHz~40GHz
차폐성능	100dB
크기	42m(L)×33m(W)×18m(H)
인가 전계의 세기	MIL-STD-464A 표 1A. 1F 수준
전자파 흡수체	24", 36", 48"
부수장비	30t 호이스트, 11m 턴 테이블

계측기를 이용해 챔버 내부 전체에 대한 전자파를 측정하여 전자파 상호간섭 시험에 영향을 미치지 않을 정도의 주변 전자파 분포 수준을 먼저 확인 하였다.

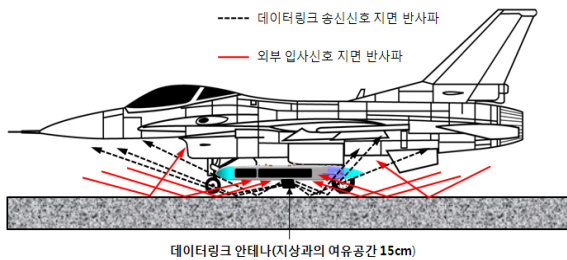


Fig. 1. The reflective waves of ground surface

Fig. 1과 같이 시험 전투기의 5번 중앙 파이론(Pylon)에 장착되는 포드의 데이터링크 안테나는 지면과 약 15cm 정도만 이격되어 있으므로 고풍력 데이터링크 송신 신호가 지면 및 주변 구조물에 난반사되어 전자파 적합성을 고찰하고자 하는 직접파 보다 반사파가 항공장비에 더 큰 영향을 제공할 수 있다. 또한 전투기 일부 방사신호도 지면에 반사되어 포드에 영향을 줄 수 있다. 따라서 실제 운용(비행) 조건에서 지면반사파가 없는 조건을 모사하기 위해서는 이런 영향성을 배제하여 시험을 수행할 수 있는 환경이 마련되어야 한다. 특히 챔버의 바닥은 도체로 구성되어 반사에 매우 취약한 재질인데다 Table 1의 흡수체(최소 높이 24" : 60cm)를 Fig. 1 상태에서 데이터링크 안테나 주변에 배치할 수 없으므로 안테나를 지상으로부터 이격시키고 그 아래에 공간을 확보하여 흡수체를 깔아

지면 반사파가 시험에 영향을 주는 것을 최대한 배제하기 위해 전투기를 들어 올려놓을 장착대를 설계하였다.

전투기 장착대는 전투기의 중량을 세 바퀴로 충분히 지지할 수 있을 강도를 가져야 하며, 장착 구조물 주변에는 흡수체 처리를 하여 반사파를 최소화 할 수 있는 구조이어야 한다. 설계를 위해 상용 툴(Tool)인 Ansys 10.0을 이용해 전투기 장착대에 일정한 하중을 부과한 3차원 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 2는 바퀴가 닿는 장착대 상판의 접촉면에 10t 하중이 부과되었을 때 상판의 최대 전단응력의 시뮬레이션 결과로서 229kg/cm<sup>2</sup>로 구해진다. 강(剛)의 정하중 시 전단응력은 960~1440kg/cm<sup>2</sup>이므로<sup>[6]</sup> 바퀴 세 개에 무게가 분산된다고 임의로 가정하면 30t의 중량도 충분히 견딜 수 있음을 예측할 수 있다. 따라서 전투기 중량이 15~20t 이하(무장 고려)임을 고려하였을 경우 제작된 장착대로 충분히 전투기를 지지할 수 있을 것으로 예상된다.

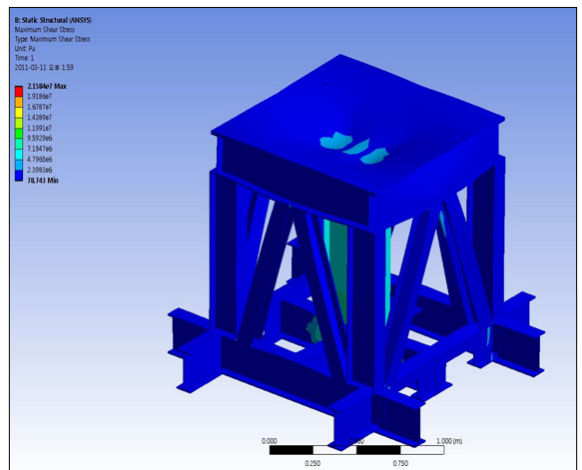
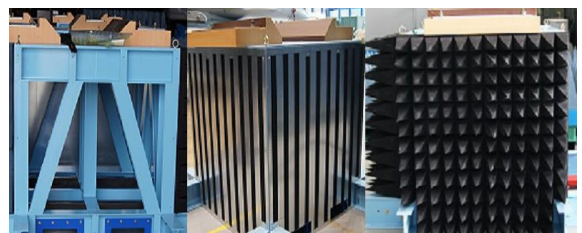


Fig. 2. The Simulation of shear stress



(a) Frame (b) Metal Surface (c) Absorber

Fig. 3. A base for test

Fig. 3은 시뮬레이션 결과를 근거로 한 제작과정을 보여준다. 실제 H-빔 구조로 골격을 제작하고(왼쪽) 주변 사면을 철판으로 덮고(중간) 그 위에 피라미드 형태의 전자파 흡수체를 부착(오른쪽)하도록 고안하였다.

이상과 같은 시뮬레이션 예측 및 실제 제작된 전투기 장착대를 통해 전투기를 지상으로부터 상당부분(1.2m) 이격시켜는 데는 어려움이 없고 지상 반사파의 영향을 상당부분 제거할 수 있을 것으로 예측된다.

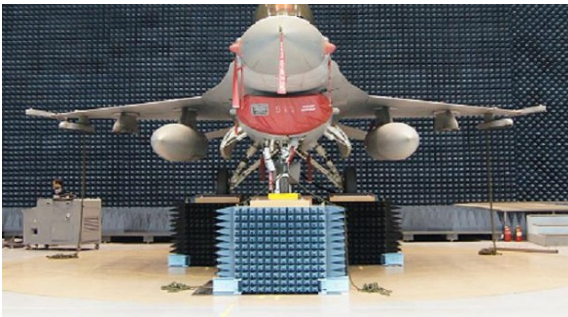


Fig. 4. A fighter on the base

그러나 시험 시 전투기를 장착대에 올려놓은 상태에서 시험을 지원하는 시험 및 지원요원이 조종석에 착석한 후 장시간 시험을 수행해야 되기 때문에 전투기가 장착대 위에서 움직이지 않도록 하는 안전장치가 요구된다. 이는 시험요원에 대한 안전성은 물론 만약의 경우 전투기의 파손에 대해 안전을 보장하기 위해서도 절대적으로 필요한 선결 조건이다. 따라서 Fig. 5와 같이 두 가지의 부가적인 안전장치를 고려하였다. 첫째, 전투기 장착대 상판에 전투기 바퀴를 고정시켜 전투기의 전·후 미세한 움직임도 방지할 수 있는 고정 구조물을 만들었다. 둘째, 전투기의 안전로프(Sling)를 챔버의 호이스트(Hoist)에 걸어 전투기에 장착함으로써 만약의 경우 장착대가 파손되거나 불안정하여 넘어졌을 경우 전투기를 보호할 수 있도록 하였다.

상기와 같이 안전장치를 고려하여 전투기를 시험 위치에 배치 및 고정하고 최종적으로 Fig. 6과 같이 챔버 모든 바닥면에 흡수체를 배치하였다.

Fig. 7은 반사파 영향을 고찰하기 위해 Fig. 1의 조건과 Fig. 6의 조건에서 외부로부터 포드를 향해 단일의 모의 신호를 방사하고 포드로 신호를 수신했을 때 전투기의 다기능전시기(MFD) ELINT 위협창에서 전시되는 결과를 보여준다.



(a) A Wheel fixture



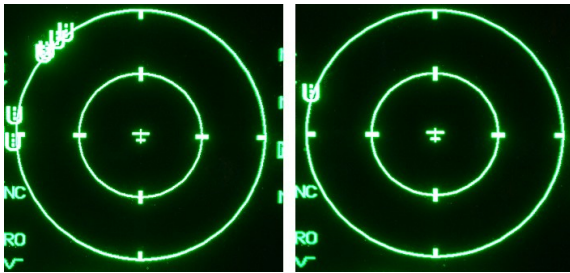
(b) A safety rope(sling)

Fig. 5. The safety devices



Fig. 6. Absorber arrangement of bottom

Fig. 7(a)에서는 바닥 등 구조물의 다중 반사에 의해 단일 신호가 마치 여러 신호처럼 전시됨을 보여준다. 반면에 Fig. 7(b)는 단일의 신호만 전시됨을 볼 수 있다. 이는 Fig. 6의 시험 구성이 Fig. 1의 구성에 비해 반사파의 영향이 상당히 감소되었음을 의미한다.



(a) Fig. 1 condition (b) Fig. 6 condition

Fig. 7. The effects of reflective wave

따라서 Fig. 6의 구조에 전투기 냉각장치 및 포드 냉각장치, 지상 데이터링크 모의장치, 각종 점검장치를 Fig. 8과 같이 챔버 내에 설치하고, 챔버에서 제공하는 항공전원을 연결하였다.

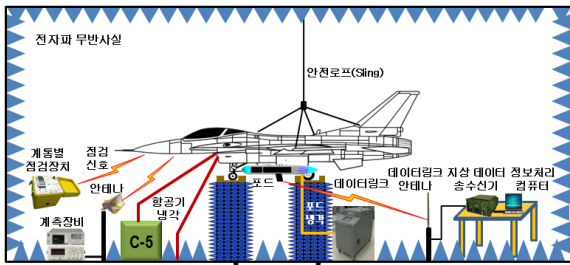


Fig. 8. Test setup(anechoic chamber)

포드 데이터링크 송신신호의 영향성을 고찰하는 대부분의 시험은 Fig. 8과 같이 챔버에서 이루어지지만 GPS나 엔진시동 후 시험이 이루어져야 하는 시험 항목은 챔버 시험이 불가하여 상공이 개방되고 주변에 인화물질이 없는 주기장에서 시험을 수행하여야 한다. 이 경우 전투기를 챔버에서와 같이 지면으로부터 띄울 수 없기 때문에 Fig. 9와 같이 지면에서 시험장비를 구성하고 데이터링크 안테나 주변에 평판형 전자파 흡수체를 깔아 일부분이라도 지면 반사파 영향을 줄일 수 있도록 하였다.

Fig. 8, Fig. 9에서 C-5, C-10은 항공기 외부 냉각장치를, GTG는 항공기 외부전원 발전기를 의미하며 공군으로부터 대여하여 사용하였다. Fig. 8, Fig. 9의 시험구성에서 만일의 경우 발생할 수 있는 각종 정전기와 고전류 누설로 인한 인체 쇼크, 무장 및 연료 점화, 하드웨어 손상 등을 보호하기 위해 전투기는 물론 지원장비, 시험장비를 각각 규정된 위치에 접지하였다.

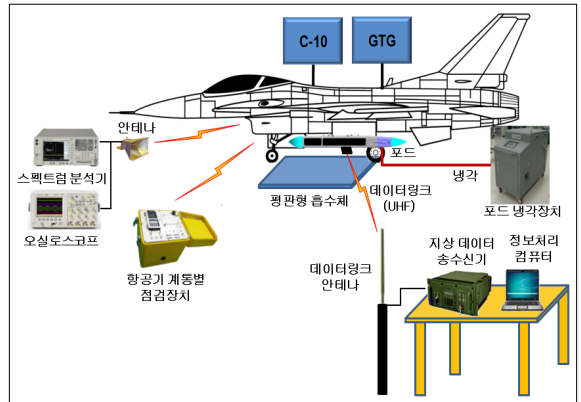


Fig. 9. Test setup(outdoor)

#### 다. 시험 및 결과

##### 1) 전기적 접속(Electrical Bonding)

지상 전자기 적합성 시험 전에 포드와 전투기 동체 간의 저항을 최대한 줄여 전기적 접속을 가장 좋은 상태로 유지함으로써 전투기 전자 장비들에 발생할 수 있는 간섭 현상을 최대한 줄이고자 접지저항이 규격에 규정된 2.5mΩ 이하로 측정되는지 확인하였다. KF-16C는 FLUKE 8025B를, KF-16D는 QuadTech 1880 밀리옴미터를 사용하여 Fig. 10과 같이 포드와 전투기 동체 사이의 전기적 접속특성을 측정하였으며, 시험 전투기가 변경될 경우 재 측정하였다.

Table 2. The test results of ground resistance

시험기	측정점	기준값	시험 결과
KF-16C	포드와	2.5mΩ 이하	2.1mΩ 이내
KF-16D	전투기 동체		2.1mΩ 이내



Fig. 10. Ground resistance test

2) 전자기 복사 위해성(EMRADHAZ)

EMRADHAZ(Electromagnetic Radiation Hazards)는 전기적으로 작동되는 EID(Electrically Initiated Device)에 또는 EED(Electro-Explosive Device)에 있어서의 전자기 방사체에 의한 위해성으로 정의되는 HERO(Hazards of Electromagnetic Radiation to Ordnance), 인체에 대한 위해성으로 정의되는 HERP(Hazards of Electromagnetic Radiation to Personnel), 연료에 대한 위해성으로 정의되는 HERF(Hazards of Electromagnetic Radiation to Fuel)로 구분된다. 본 시험에서는 HERP와 HERO에 대한 시험을 수행하였다.

가) 인체에 대한 전자기 복사 위해성(HERP)

HERP 시험은 포드의 데이터링크 송신 전자파가 인체에 대해 위해한지를 점검하고 복사 전자파가 기준치를 초과하여 위해한 경우 시험인원을 보호하기 위한 안전거리를 설정하기 위해 수행된다. 포드 데이터링크를 송신상태로 두고 계측장비(EMR-300)를 포드의 데이터링크 안테나에서 2m 이격시키고 지상에서 1.7m 높이에 위치시켜 6분 동안 방사되는 전자파의 최대값 및 평균값을 측정하였다. 또한 조종석에서도 동일한

Table 3. The test results of HERP

시험기	기준	측정 위치	시험 결과
KF-16C	61.4V/m	포드근처 (거리 2.0m 높이 1.7m)	최대 : 7.64V/m 평균 : 3.21V/m
KF-16D		후방석	최대 : 9.38V/m 평균 : 2.07V/m



Fig. 11. HERP test

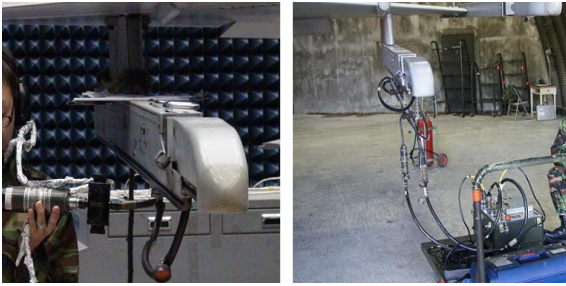
시험을 수행하였다. DoDI 6055.11<sup>[7]</sup>에 근거하여 데이터링크 시험주파수가 포함되는 주파수에서 61.4V/m을 초과할 경우 인체에 위해한 수준으로 판단되지만, Table 3과 같이 포드에서 나오는 전자기 복사 수준은 매우 미약한 수준으로 전투기에 인접하여 시험하는 인원, 정비요원, 조종사에게 안전한 것으로 판단된다.

나) 무장에 대한 전자기 복사 위해성(HERO)

HERO<sup>[8]</sup> 시험은 EID를 점화시킬 수 있는 수준의 전자기 에너지가 데이터링크 안테나로부터 직접적인 입사나, 케이블 또는 점화회로로의 결합(Coupling) 등으로 인해 발생할 수 있는 비정상적인 작동을 사전에 탐지하여 비행안전성을 확보하기 위해 수행된다. HERO 시험에 대한 입증은 포드 데이터링크를 송신상태로 유지하며 전투기 각각의 스테이션 #1~4, #6~9에 대한 잔류전압(Stary Voltage)측정 및 J/R RIU 점검, Missile Operational Check을 무장계통 점검장비인 5060 tester와 501 tester를 이용해 수행하였고, ECIU(Enhanced Central Interface Unit) 상태 확인을 위한 SMS Confidence Check Out을 수행하였으며, 조종사가 조종석에서 BIT 점검을 수행하였다. 점검대상 무장은 공대공 미사일 2종, 공대지 미사일 1종, 레이저 유도 폭탄 2종에 대해 수행하였다. 시험 시 각 스테이션은 미사일의 경우 Launcher 조건으로, 폭탄의 경우 Ejector Rack 조건에서 시험을 수행하였다. 조종사가 수행한 미사일 BIT 점검은 공대공, 공대지 각 1종씩은 기폭장치가 없는 모의탄(Dummy)으로 수행하고 나머지 공대공 1종은 활성(Live) 탄으로 수행하였다.

Table 4. The test results of HERO

시험기	시험항목	검사	Station	결과
KF-16C/D	Stray Voltage	5060 Tester	#1~4 #6~9	정상
	J/R RIU점검		#3, 4 #6, 7	
	Confidence Check (ECIU)	기술교범 (TO)	#1~4 #6~9	정상
	Missile Operational Check	501 Tester	#1, 2 #8, 9	정상
	BIT 점검	기술교범 (TO)	#1, 2 #8, 9	정상



(a) 5060 Tester (b) 501 Tester

Fig. 12. HERO test

무장계통과 관련된 HERO 측면의 부적합 사항은 비행안전에 직결되므로 운용제한 사항으로 반영할 수 없으며 EMC 고장탐구를 수행하여 전자기 상호작용에 대한 원인을 반드시 제거하고 시험을 재수행하여 정상결과를 얻을 수 있을 때까지 반복 수행하여야 한다. 본 시험 결과는 최종적으로 Table 4와 같이 무장에 대한 전자기 복사 위해성은 없는 것으로 확인되었다.

### 3) 체계 내 EMC/RFC(Intra-System EMC/RFC)

체계 내 EMC/RFC<sup>(9,10)</sup>는 전투기 외부의 EME 영향을 배제한 상태에서 전투기에 장착된 각종 계통 및 장비들 간에 존재하는 내부적인 전자기 상호작용으로 정의된다. 각 계통별로 가해장비(Source) 및 피해장비(Victim)를 결정하고, 가해 및 피해장비의 운용 주파수와 시험 주파수를 선정한다. 여기에선 포드를 전자파를 발생시키는 가해장비로, 전투기 체계의 각 계통장비들을 전자파 영향을 받는 피해장비로 가정하였다. 시험을 위해 Fig. 8, Fig. 9와 같이 시험 구성을 완료하고 정해진 주파수에 따른 포드 동작 상태에서 피해장비를 각 모드별로 순차적으로 변경하면서 적합성 여부를 확인하였다.

체계 내 EMC/RFC는 지상전원장치(GPU) 사용 또는 항공기 자체전원(Idle Power) 사용 여부에 따라 정적시험(Static Phase)과 동적시험(Engine Run Phase)으로 구분한다.

#### 가) 정적시험(Static Phase)

정적시험은 엔진을 작동하지 않은 상태로 지상전원(GTG) 및 냉각장치(C-5 또는 C-10)를 사용하여 전자파 무반사실(Anechoic Chamber, 이하 “챔버”)에서 수행하였다. 지금까지 국내의 항공탑재 장비 체계개발에서 정적시험은 KF-16C/D급 전투기를 수용할 수 있는 규

모의 챔버를 국내에 미보유한 관계로 전자파 환경이 비교적 양호한 주기장(Hardstand)을 찾아 시험에 영향을 미치지 않는 배경 잡음 하에서 근사적인 시험을 수행하였다. 반면에 본 시험은 국방과학연구소의 비행시험장에 건설된 대형 EMI 챔버 내에 전투기를 입고하고 시험을 수행하여 외부의 전자파 영향을 차단한 정확한 시험이 이루어질 수 있도록 하였다. 이는 본 연구 과정에서 조사한 바에 의하면 KF-16급 전투기에 대해 국내 최초로 이루어진 챔버 내 동적시험으로 확인되었다.

Fig. 8과 같은 시험 구성으로 포드의 데이터링크 신호를 송신 ON/OFF 상태로 하면서 전투기 각 계통 장비의 정상 유무를 확인하였다. 시험에 소요되는 모의기는 각 계통별 정비요원의 지원을 받아 운용하였으며, 장비의 정상 유무에 대한 판단도 각 계통별 정비요원 및 조종사의 정성적인 판단으로 이루어졌다.



Fig. 13. Static Phase test(anechoic chamber)

시험은 KF-16C/D 각각 15종의 항전장비, 39종의 전기/계기/화력/무장/비행조종 계통 등에 대해 수행되었다. 이때 항전장비의 경우 가능한 다양한 운용모드 및 폭넓은 주파수 채널에 대해 시험을 수행하려고 노력하였다. 시험결과 항전장비 15종 중 13종은 전자기 간섭이 전혀 없이 정상 동작하였다. 그러나 시험에 사용된 포드 데이터링크 주파수(f)의 2·f 근방에 해당하는 UHF 1개 채널 및 f/2 근방에 해당하는 VHF 1개 채널에서 잡음 유기 현상이 발생하였다. 이는 통신장비에서 송·수신(송신 : 데이터링크, 수신 : U/VHF Radio) 장치의 운용주파수(채배 주파수 포함)가 일치하거나 근접할 경우, 수신감도 범위 내에서 발생하는 일반적인 현상으로, 실제 운용될 포드의 데이터링크 운용주파수에 근접하는 UHF/VHF 채널의 사용을 가급적 지양할 것을 운용제한 사항으로 적용하는 것이 타

당할 것으로 판단된다.

항전장비 중 GPS 시험은 챔버 내부에서 GPS가 수신되지 않아 시험이 불가하여 야외시험으로 수행하였다. 또한 각종 계통 39종 시험 중 랜딩 기어와 훅(Hook) 시험은 시험 여건상 주기장에서 시험이 이루어졌다. 결과는 39종 모두 정상 판정되었다.

나) 동적시험(Engine Run Phase)

정적시험 완료 후 주기장에서 엔진 공회전(Idle Power) 상태로 동적시험을 수행하여 실내에서 이루어질 수 없는 엔진계통 등 8종에 대한 전자기 적합성 검증이 조종사에 의해 수행되었다. 챔버 내 시험과 같이 야외에서 전투기를 부양할 수 없기 때문에 Fig. 9와 같은 시험구성으로 엔진 시동 후 시험을 수행하였다. Fig. 14는 엔진시동 후 캐노피(Canopy)를 닫고 조종사가 각종 엔진관련 계통을 점검하는 시험장면이다. 시험결과 8종의 항목이 모두 정상으로 확인되었다.



Fig. 14. Engine Run Phase test(flight line)

4) 외부 RF 전자기 환경(External RF EME)

외부 전자파 방사체(타 체계의 방사체)에서 방사된 전자파가 입사될 경우 체계 성능저하 및 고장을 유발하여 문제가 발생할 수 있는 경우를 고찰하기 위한 시험으로, 고정익 전투기의 경우 MIL-STD-464A 5.3절 표 1F의 적용에 의해 챔버 내부에서 수행되어야 한다. 본 연구에서 전투기 자체의 외부 RF 전자기 환경시험은 표 1F의 조건을 이미 충족하였을 것으로 판단되나 수신기인 포드 자체에 대한 표 1F의 조건은 과도한 것으로 판단하였다. 따라서 대안으로 RS103 전자기간섭 시험결과로 외부 RF 전자기 환경 시험결과를 대체하였다. ELINT 포드의 운용조건(비행중에만 신호수신) 상 비행 중 표 1F와 같은 큰 신호를 조우할 경우가

거의 없을 것으로 판단되어 RS103 정도도 수용하기에 충분한 조건으로 판단된다. 또한 포드는 체계개발 규격에 의해 수신기 설계 시부터 고전력 입력에 대한 수신기 보호 목적으로 CW 1W, Pulse 5W를 견딜 수 있는 제한기(Limiter)를 안테나 바로 다음에 보유하기 때문에 포드는 이미 외부 전자파 입사에 대한 영향성을 고려한 것으로 간주할 수 있다.

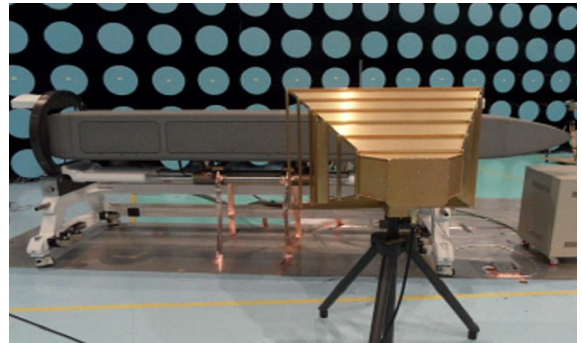


Fig. 15. External RF radiation test

시험 결과는 Table 5와 같다.

Table 5. The test results of RS103

주파수	편파	외부인가 전계강도	결과
2MHz ~ 18MHz	수직	200V/m	정상동작
30MHz ~ 18MHz	수평	200V/m	정상동작

5) 부체계 및 장비 EMI(Subsystem and Equipment EMI)

포드의 전자기간섭 시험은 전자파간섭 특성요구조건 만족 여부를 확인하기 위하여 MIL-STD-461E(Aircraft, Air Force 기준)에 의거하여 시험을 수행하였다. 포드 자체의 전도 및 복사환경에 대한 특성을 확인하여 포드가 전투기에 전자기적 영향을 줄 수 있는지 확인하고, 외부로부터 유입되는 잡음에 대하여 포드의 내구성을 확인함으로써 전자파간섭 특성요구조건 만족 여부를 확인하였다. 전도방사, 전도내성, 복사방사 및 복사내성 총 10개 항목에 대하여 국가공인 인증기관인 국방과학연구소 및 한국조선기자재연구원 EMI 챔버에서 시험을 수행하였다. 시험결과는 Table 6에 정리하였다.



Table 6. The test results of EMI

시험항목	평가항목	결과
전도방사	CE102, CE106	기준만족
전도내성	CS101, CS103, CS104 CS114, CS115, CS116	기준만족
복사방사	RE102,	기준만족
복사내성	RS103	기준만족

6) 전자기 스펙트럼 적합성(EM Spectrum Compatibility)

포드에서 RF를 사용하는 데이터링크 송·수신기는 개발 초부터 국방부(국군지휘통신사령부) 및 방송통신위원회(주파수정책과)의 규정을 준수하였으며, 동 기관으로부터 승인된 주파수에 운용 적합하도록 장비를 개발하였다. 본 시험에 사용된 주파수도 할당된 범위 내에서 사용하였다.

7) 외부접지(External Ground)

외부 접지는 전투기 정비교범에 포함된 연료탱크, 지원장비, 무장 관련 계통에 대한 접지 요구조건 등을 모두 준수하였고, 접지저항 측정시험 대신 정해진 장비 및 시험소(주기장 및 챔버)의 접지점에서 정상적인 접지가 이루어졌는지 접지상태를 점검하였다.

3. 결론

본 연구에서 체계가 내·외부적인 전자기 환경 영향(E3)에 대한 적합성을 검증하기 위해 전투기에 장착된 포드 수준에서 MIL-STD-464A를 기준 규격으로 적용하였다. Table 7과 같이 총 14개 세부 요구항목 중 본 체계 적용에 필수 항목으로 구분한 7항목에 대해 시험을 수행하여 적합성을 확인하였다.

또한 본문에서 구체적으로 기술하지는 않았지만 상호간섭 차원에서 항공장비 중 고주파를 방사하는 장비를 가해장비로, 포드를 피해장비로 가정하고 체계 내 EMC/RFC(Intra-system EMC/RFC) 시험도 병행하여 항공장비가 포드의 운용 성능에 미치는 영향성도 확인하였다. 빈번히 고주파를 방사하는 항전장비와 포드 간에는 블랭킹(Blanking) 기능을 두었고, 또 일부 고주파 방사 항전장비는 포드의 수신범위 밖에서 빔 지향

각이 존재하는 관계를 이용해 격리도(Isolation)를 확보하였다. 따라서 항공장비가 포드 성능에 주는 영향성도 매우 미미함을 확인할 수 있었다.

Table 7. The whole results of E3 test

MIL-STD-464A 세부 요구항목	적용	검증 방법			결과
		검사	분석	시험	
Margin	-				-
Intra-System EMC	○			○	정상
External RF EME	○			○	정상
Lightning	-				-
EMP	-				-
Subsystem and Equipment EMI	○			○	정상
Electrostatic Charge Control	-				-
EMRADHAZ	○			○	정상
Life cycle, E3 hardness	-				-
Electrical Bonding	○			○	정상
External Ground	○	○			정상
TEMPEST	-				-
EMCON	-				-
EM Spectrum Compatability	○	○			정상

본 시험을 통해 얻은 커다란 성과는 다음의 세 가지로 요약할 수 있다.

첫째 전투기와 포드의 전자기 적합성을 확인하여 포드의 성능보장과 비행 안전성을 확보할 수 있었다.

둘째 국내 최초로 외부 전자파 환경을 차단한 실내(챔버) 시험을 수행하여 시험 결과의 신뢰성을 향상시킬 수 있었다.

셋째 최근 해외에서 도입해 동급 전투기에 장착하여 운용하는 외장형 모(某) 장비에서 수행한 시험과 동일한 항목의 전자기 환경 영향(E3) 시험(제작 해외 업체가 국내 비행장의 주기장에서 시험 수행)을 독자적으로 수행하였다. 뿐만 아니라 무장에 대한 1개 항목에 대해서는 해외 업체가 수행하지 못한 시험 항목을 독자적인 방법으로 수행하여 HERO 측면의 시험을 더욱 충실히 수행하였다.

본 연구에서 수행한 지상 전자기 환경 영향(E3) 시험 이후 KF-16C/D에 실포드(Real Pod)를 장착하고 7 소티(Sorties)의 비행전자기간섭 시험(지상에서 수행한 항목과 동일한 항목)을 수행하여 포드의 정상동작과 비행안전성을 확인하였다. 이를 통해 지상에서 수행된 전자기 환경 영향에 대한 시험구성, 절차, 평가 방법이 타당함을 검증할 수 있었다. 이상의 결과로부터 그동안 해외 선진업체에 절대적으로 의존하거나, 국내에서 일부의 항목에 대해서 주기장에서 근사적으로 수행되던 전자기 환경 영향 시험평가에 대해, 추후 전투기에 장착되는 유사장비 개발에 있어 매우 양호한 전자파 환경(챔버 조건)에서 선진국 수준으로 시험을 수행할 수 있는 독자적인 기술을 확보하였다.

### References

- [1] MIL-STD-461E, Requirements for the Control of Electromagnetic Interface Characteristics of Subsystems and Equipment, Aug. 1999.
- [2] MIL-STD-464A, Electromagnetic Environment Effects Requirements for Systems, Dec. 2002.
- [3] 홍재영 외 2인, XKO-1 EMI/EMC 인증보고서, MADC-501-031215, 국방과학연구소 보고서, 2003. 12.
- [4] 강설목 외 2인, 철매-II 유도탄 전자파시험 결과 보고서, ADDR-516-110019, 국방과학연구소 보고서, 2011. 1.
- [5] 이진호 외 3인, MUAV 전자기환경 요구조건(탐색 개발), ADDR-509-091912, 국방과학연구소 보고서, 2009. 12.
- [6] 박연수, 건설학도를 위한 재료역학, 구미서관, 2011. 2.
- [7] DOD Instruction 6055.11, Protection of DOD Personnel from Exposure to Radiofrequency Radiation, Feb. 21, 1995.
- [8] 신승재, “HERO 시험평가 기법 연구”, 한국군사과학기술학회지 제10권 제2호, pp. 76~83 1997. 6.
- [9] 조재호, 중거리 GPS 유도킷트 체계개발 F-5/F-16 Intra-system EMC 시험결과, ADDR -501-101615, 국방과학연구소 보고서, 2009. 12.
- [10] 권종광, 조재호, 저속통제기 Intra-system EMC 시험결과, MADC-501-020280, 국방과학연구소 보고서, 2002. 3.