

# 군사과학의 EMI 문제

최 태 인

(진해기계창 전자기 연구실장)

## 1. 서 론

군사장비에 대한 EMI 문제는 2차세계대전 이후 전자장비에 대한 의존도가 높아짐에 따라 크게 변화하였다. 2차세계대전 초기에는 주로 전투기의 엔진 점화장치에서 발생하는 3~30MHz 대역의 무선주파수간섭(RFI)이 통신장비 사용에 문제가 되었으며 그 당시에는 방사한계만 제한하였다. 그러나 전자공학의 급격한 발전 및 전술요구조건의 다양화에 따라 단순한 AM 무선통신장비가 복합적인 지휘·통제·통신·정보체계(C<sup>3</sup>I)로 향상되고 고성능 통신장비 및 레이더가 등장하였으며 각종 전자장비도 고출력화, 고밀도화됨에 따라 장비 자체에서 방사되는 전자파 잡음의 세기가 증가되고 잡음주파수 대역은 DC~40GHz 까지 확장되어 전자파간섭(EMI)이란 명칭이 사용되게 되었다. [1] 이에 반해 모든 장비들이 마이크로프로세서화 됨에 따라 제어신호수준은 더 낮아져서 전자파간섭에 더욱 취약해졌다. 그러므로 컴퓨터를 사용하여 각종 기능을 제어하는 전자장비는 서로 전자파간섭을 일으키고 있으며 간섭에 의한 무기체계의 고장은 장비 자체의 성능손상 뿐 아니라 심할 경우에는 전투력에 치명적인 손실을 입히게 된다.

다음에 소개되는 EMI 관련사고는 원인이 규명되어 기술잡지에 발표된 내용인데 실제 발생한 사고중 보안에 관련되는 사항, 원인이 확인되지 못한 문제, 수리중 저절로 문제가 해결된 사항 등의 사유로 공

개되지 않은 사고의 수는 더욱 많을 것으로 생각된다.

### 1.1 Forrestal 항공모함의 유도탄 사고[2]

1967년 7월 미 항공모함 Forrestal 함상에서 출격준비가 끝난 전투기의 유도탄 작동회로가 함상 레이더신호에 의한 전자파간섭으로 유도탄이 점화되어 대형 폭발사고가 발생한 결과 함정 승무원 134명이 사망하였으며 72대의 전투기 손실을 포함하여 막대한 재산손실을 초래하였다.

### 1.2 Sheffield 전투함 침몰[3]

1982년 영국과 아르헨티나 간의 Falkland 전쟁시 영국의 지상 통신장비와 함정의 레이더가 서로 전자파간섭을 일으켜 두 장비를 동시에 작동시킬 수 없었기 때문에 한 장비씩 서로 다른 시간에 작동되던 중 레이더가 작동되지 않을 때 아르헨티나의 Exocet 유도탄의 집중공격을 받아 영국 전투함 Sheffield호가 침몰되었다.

### 1.3 Black Hawk 헬기 추락[4]

1982년 이후 미 육군 Black Hawk 헬기가 시험비행 중 수차례 추락되었는데 그 원인은 헬기가 육상 또는 함정 레이더나 통신소 근처를 지나갈 때 송신

되는 고출력 전자파가 민감한 전자장비의 반도체 부품에 전자파간섭을 일으켜 비행조정시스템이 오작동을 일으킨 것으로 추정되고 있다. 레이더 및 통신장비 수신기의 Diode, 저전력 MOS 논리회로 및 육상 기동차량의 전자점화장치 등에 사용되는 반도체는 고 에너지밀도의 극초단파에 아주 취약하므로 적절한 보호대책이 강구되어야 한다.

#### 1.4 Minuteman 유도탄의 비행고장[5]

미 육군의 Minuteman 유도탄이 개발단계에서 처음 2회의 시험비행 중 1단계 연소가 끝나기 전에 큰 고장이 발생되어 두 유도탄을 각각 고도 7.6km, 21.8km에서 자폭시켰다. 시험자료를 분석한 결과 그 원인은 두 경우 모두 유도탄 내부 연소기의 전기적 접속(Bonding)이 불완전한 부분에서 발생한 고압 전기방전에 의한 전자파간섭으로 생긴 유도탄 유도 제어시스템의 기능고장 때문이었다.

이상과 같이 현대의 전장(Battlefield)은 수많은 전기, 전자장비가 동시에 작동되어 발생하는 전자파로 인해 복잡한 전자파환경이 형성된다. 특히 해군 함정은 복합적인 기능을 가진 전투장비로서 많은 송수신 장치 등의 전자파 발생장비를 사용하고 있으므로 여러 가지 EMI 현상이 발생하고 있으며[6] 장갑차량 및 전차와 같은 육상기동장비[7]는 제한된 좁은 공간 내에 최신의 고출력, 고감도 전자장비가 밀집하여 배치되어야 하기 때문에 전장에서의 지휘 통제 기능을 저하시키는 EMI 현상을 감소시키기 위해 세계 각국에서는 1960년대 후반 부터 많은 연구가 진행되어 왔다. 그리고 점점 복잡해 지는 EMI 문제 해결을 위해서는 최종 완성품에서 발생하는 문제를 해결하는 대중요법적인 해결방법보다는 설계단계에서부터 부품 및 체계의 EMI에 대한 대책을 수립하여 발생될 문제를 사전에 근본적으로 제거해야만 문제를 쉽게 해결할 수 있고 수정을 위한 비용 및 시간을 줄일 수 있다.

본 고에서는 군사장비에 대한 EMI 대책 중 일반 상용장비의 대책과는 다른 분야인 EMI 예측, 관련 군사 EMI 규격, 시험시설, EMP 및 TEMPEST 에 대한 세계의 기술현황을 간단히 소개하겠다.

## 2. 분야별 연구현황

### 2.1 EMI 예측[8][9]

일반적으로 군사장비는 많은 부속장비로 구성되며 이 장비들은 연결선, 신호 송수신을 위한 안테나 등으로 결합되어, 발생하는 전자파잡음도 복잡적으로 나타나기 때문에 복잡한 EMI 문제를 해결하기 위해서는 각 장비단위 및 안테나, 케이블 등의 결합경로에 따른 전자기결합 문제를 정확히 예측해야만 적절한 억제대책을 사용할 수 있다. 일반적으로 많이 사용되는 예측방법은 모멘트방법(MOM), GTD 방법이다. 모멘트방법은 적분방정식을 미지변수에 대한 선형대수방정식으로 변환시키는 방법으로 안테나간의 전자장 해석을 위해 Maxwell 방정식을 미지전류 분포에 대한 대수방정식으로 전환시켜 전류분포를 계산한 후 복사패턴, 입력임피던스, 전자기 결합계수 및 근거리장에서의 전자장 분포 등을 계산하는 방법인데 이 방법에 복사체 주위 도체표면의 반사, 회절 효과를 포함한 GTD방법을 결합시킨 Hybrid MOM-GTD방법이 연구되어 안테나와 대형 도체표면에서의 복잡한 EMI 예측 정밀도를 향상시켰다.

그리고 무기체계가 EMI 문제 없이 최소 비용으로 요구성능을 발휘하기 위해서는 해당 장비가 사용될 전자파 환경을 예측하고 그에 따라 부속장비와 전체 체계의 EMI요구조건을 결정해야 한다. 미국 RADC에서 개발된 IEMCAP(Intrasystem Electromagnetic Compatibility Analysis Program)는 육상기동장비, 항공기, 우주선 및 유도탄에 대한 EMI 특성을 예측, 분석할 수 있는 소프트웨어로서 전체 시스템을 복사기(Emitter), 결합기(Coupler) 및 수신기(Receiver) 모델로 변환시키고 각 구성장비 간의 전기적 결합을 모델링하여 구성장비 및 전체체계의 EMI 성능을 정량적으로 계산할 수 있다. 이 소프트웨어는 구성장비의 EMI 특성과 전체체계의 EMI 특성을 연결시켜 주며 육상/항공/유도탄 등 구체적인 용도에 맞도록 EMI 요구성능을 조정, 결정하며 다음과 같은 기능을 갖고 있다.

- 적용될 무기체계에 따라 조정된 EMI 규격 결정
- 체계 설계 변경에 따른 EMI 특성 데이터베이스 계산
- 규격 수정시 체계에 미치는 영향 분석

-체계내 EMI 문제 발생 가능 위치 탐색

-EMI 규격 조정, 결정에 필요한 상대적인 비교 분석 자료 제공

## 2.2 관련 군사 EMI 규격

세계 각국에서는 1980년대 초반까지 미국에서 제정한 EMI 시험규격 MIL-STD-461/462를 주로 사용하였으나 무기체계가 다양해지고 고성능화 됨에 따라 장비 성능상 필요한 시험규격을 새로 제정하거나 수정하기 시작하였다. [10]

미국은 1950년대 부터 EMI 시험규격을 사용했으나 1967년 전자장비에 대한 시험규격 MIL-STD-461/462를 제정한 후 수차례의 수정을 통해 1986년에는 MIL-STD-461C 개정판을 발간하였다. 주요 변경 내용은 장비가 사용되는 전자과환경에 따라 적용기준을 달리 하였고 전투차량 및 특수차량 등과 같이 특수환경에서 사용할 때 필요한 시험항목을 추가하였으며 전술목적상 주요장비에만 적용시키던 EMP 시험규격을 이 규격에 추가시켰고 장비 설계 단계에서 부터 EMI 문제를 통제할 수 있는 EMI 통제계획을 요구하고 있다. [11] 그리고 이 규격에 적용시킬 수 없는 특수상황에서 사용될 전투기나 유도탄 등의 무기체계에 대해서는 관련 기관 내에 전문연구팀을 구성하여 해당 무기체계에 적합한 EMI 규격을 제정, 운용하고 있다.

영국, 독일, 프랑스 등 유럽국가에서는 1980년대 초반 부터 고감도 전자장비를 탑재한 항공기의 전자과내성(Susceptibility) 분야에서 미국 규격을 보완하여 NATO 시험규격인 STANAG 4234~4239의 초안을 작성하여 시험 적용 중이다. 영국에서는 특히 시험 계측 정밀도를 향상시키고 항공기의 EMC 능력을 정확히 확인하기 위해 시험규격 DEF-STD-59-41을 제정, 사용 중이며 양호한 결과를 얻고 있다고 발표하였으며 정밀도 향상을 위해 시험기법 및 계측장비 구성에 대한 연구를 계속 진행 중이다.

군사장비에 대한 EMI 요구성능은 일반장비 보다 더욱 엄격하다는 것은 관련규격을 비교해 보면 잘 알 수 있다. 그림1은 전도성방사(Conductive Emission) 한계값을 군사규격과 상용규격인 VDE, FCC와 비교한 결과인데 각각 다른 시험조건에서의 한계값을 동일 조건으로 환산시킨 값으로 잡음 한계가 규

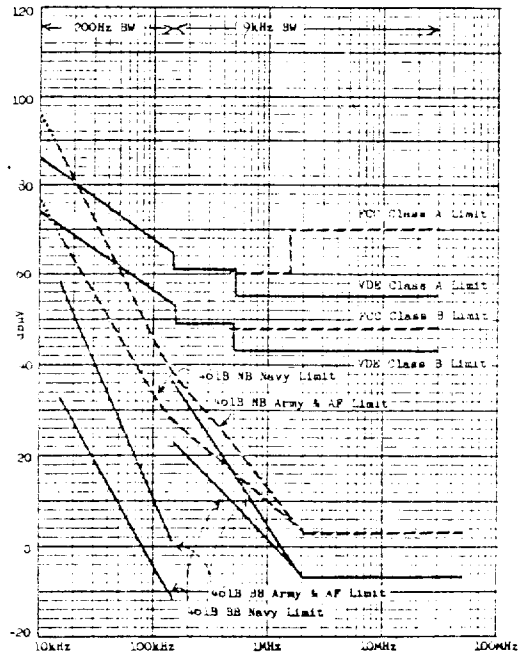


그림1 군사규격과 상용규격의 잡음한계 비교

격보다 훨씬 낮게 요구하고 있기 때문에 규격 만족이 어렵고 요구규격을 만족시키기 위해서는 추가적인 억제대책을 강구해야 하므로 장비의 무게 및 비용이 증가하게 된다는 것을 알 수 있다. [14]

## 2.3 시험시설

일반장비는 대부분이 장비자체로서 기능을 발휘하기 때문에 관련 EMI 시험시설 및 장비도 소형이지만 항공기, 장갑차, 전차 등과 같이 각종 장비가 종합된 복합 무기체계의 EMI 시험을 위해서는 무기체계 전체를 시험시설 내에 넣고 전장에서의 EMI 환경과 유사한 전자장으로 EMI 시험을 수행한다. 그림2는 미국 달라스에 설치되어 있는 시험시설로서 길이 36m, 폭 25m, 높이 12m, 차폐율 100dB의 대형 무향차폐실(Anechoic Shielded Chamber) 규격이며 내부 벽면에는 전자파를 흡수할 수 있는 길이 1.8m의 대형 전파흡수재를 부착시켰다. 이 시설은 비행시뮬레이터, 적군 및 야군의 레이더 및 C<sup>3</sup>I 정보 데이터베이스들이 결합되어 실제 비행 전에 시험실 내에서 실제 전투상황과 유사한 시뮬레이션을 할 수 있다. 예를 들면 소련의 전자과환경을 재현시키고

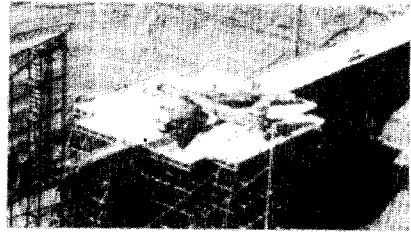
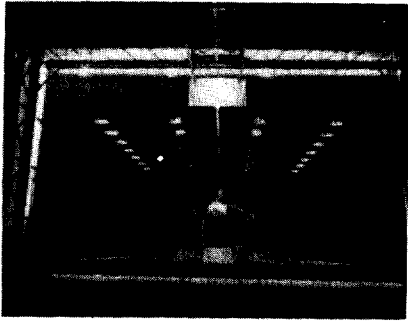


그림4 B-52 폭격기의 EMP시험중인 Trestle EMP 시험시설

그림2 미국에 설치된 항공기 시험용 대형무향 차폐 시설

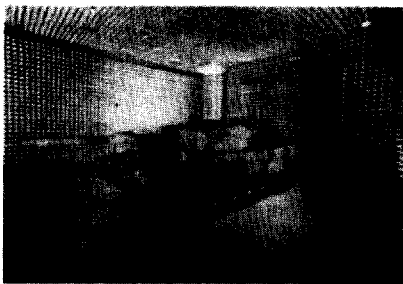


그림3 독일 전차 Leopard II의 EMI 시험 장면

비행시뮬레이터를 작동시켜 전투기에 발생 가능한 문제를 사전에 찾을 수 있다. 시험시설 내부에는 항공기를 공중에 매달고 시험할 수 있는 40톤 용량의 대형 크레인이 설치되어 있으며 폭 25m, 높이 15m, 무게 70톤의 대형 출입문을 여는데 6분이 소요된다고 한다. 현재 시설 운용 소프트웨어를 개발하고 있다고 한다. [15] 그림3은 독일 Krupp Mak에 설치된 무향차폐시설에서 독일 최신 전차 Leopard II의 EMI 시험장면이며 [16] 독일에는 최근 Greding에 유럽 최대 규모의 길이 41m, 폭 16m, 높이 14m, 차폐율 100dB의 무향차폐실과 부품단위의 EMP시험시설 및 TEMPEST 시험시설 등이 종합된 복합 시험시설이 건설 완료되었다. [17]

### 2.4 전자파펄스(EMP) [18]~[21]

핵폭발시 발생하는  $\gamma$ 선이 고속으로 공기분자와 충돌할 때 생성되는 Compton전자가 지구자장에 의해 나선형태로 이동하면 강한 전자파펄스(EMP)가 발

생되어 각종 전자장비에 피해를 주게 된다. EMP에 의한 효과는 이미 1960년대 초에 미·소 핵실험 시에 확인되었는데 1961년 소련이 북극해에서 58MT급 핵실험시 발생된 EMP에 의해 알래스카의 경보레이더가 손상되었으며 1962년 미국이 Johnson섬 400km 상공에서 1.4MT급 핵실험시 약 960km 떨어진 하와이의 전력경보체계 및 원거리 통신장비가 손상되었다.

EMP의 효과는 막대한 펄스 크기와 아주 높은 상승율로 인해 고전압 및 고전류를 유기시키며 40km 이상의 고공 폭발시에는 그 효과가 아주 넓은 지역까지 미치므로 보호대책을 강구하지 않은 전자장비에 큰 피해를 주며 특히 컴퓨터를 사용하는 무기체계, 통신체계, C<sup>3</sup>I체계 등에 치명적인 손상을 입히므로 미국, 유럽 각국, 일본 및 이스라엘에서는 이에 대한 대책연구를 진행하고 있다.

EMP에 대한 보호대책은 장비나 시설 또는 연결케이블에 차폐방법을 사용하여 장비에 전달되는 EMP신호 침투를 감쇄시키는데 저주파에서는 전장에 비해 자장의 감쇄율이 작기 때문에 자장에 대한 감쇄요구조건을 더욱 엄격히 규정하고 있다. 장비 연결케이블을 통해 전달되는 대전류 억제를 위해 가스관 및 Spark Gap 등의 과도신호 억제장치와 대역통과필터 등을 사용하였다. 그리고 미국에서는 B-1B 폭격기, Minuteman 유도탄, MILSTAR 전략 ELF 통신시스템 및 군사위성 등의 전략무기체계에는 취약부분에 사용되는 부품을 EMP에 견디는 MOSFET 소자 등을 사용하여 수차례의 핵폭발 시에도 피해 정도를 감소시킬 수 있도록 연구 중이다.

그리고 장비에 대한 EMP 영향을 분석하고 EMP 보호대책의 성능확인을 위해 EMP와 유사한 전자파펄스를 발생시켜 피시험체에 복사시키는 대형 EMP

시뮬레이터가 사용되고 있는데 대표적인 것은 미국 Kirtland AFB에 설치된 Trestle EMP 시뮬레이터이다. 이 시설은 세계 최대의 23층 목조시설로서 B-52, B-1B와 같은 대형 항공기의 EMP 시험을 위해 설치되었으나 피시험체는 최대 60m×60m의 크기까지 시험 가능하므로 대형유도탄 C<sup>3</sup>I 통신망 및 기타 무기체계의 시험이 가능토록 설계되어 있다. 그림4는 Trestle EMP 시뮬레이터를 사용하여 B-52 폭격기의 EMP 시험을 하는 장면이다. 현재 EMP 발생원리 및 예측기술은 점점 많이 알려지고 있으며 장비전체의 EMP 시험기술 발전을 위해 연구가 진행 중이다.

## 2.5 TEMPEST [22]

TEMPEST란 통신장비나 정보처리장비에서 발산되는 미약한 전자신호가 탐지, 도청되는 현상인데 각국에서는 명칭에 대한 의미조차도 비밀로 제한하기 때문에 이 분야에 대한 정확한 기술현황 파악은 어렵다. 일반적으로 전산터미널 또는 전동타자기에서 발산되는 전자파는 단순 주파수성분을 가지며 신호의 크기도 상당히 강하므로 고감도 수신장비를 사용하면 방해요인이 없을 경우에는 수백m 떨어진 곳에서도 신호를 탐지, 재생시켜 정보를 획득할 수 있다. 또한 암호장치를 사용한 통신장비의 신호도 탐지가능할 뿐 아니라 암호화되기 전의 전도성 발산신호와 안테나를 통한 복사성 발산신호를 비교하여 암호장치 자체의 알고리즘도 탐지가능하게 될 것으로 예측된다.

이와 같은 전자파도청을 방지하기 위해 주요 통신장비나 전자장비는 차폐상자를 사용하여 전자파의 복사성 발산을 차폐시키고 장비 내에서도 연결선의 통과 신호 종류에 따라 선을 분류하여 중요도에 맞게 차폐 또는 필터 등의 방법으로 발산신호를 감소시키고 있으며 허용신호 발산한계는 타장비의 작동에 영향을 주는 전자파 방사한계 보다도 더 낮은 수준의 잡음세기 까지 제한하고 있다. 관련 시험규격은 NACSIM 5100A이나 세부내용은 알려지지 않고 있다.

## 3. 결 론

개괄적으로 군사장비에서 발생하는 EMI 현상과 이를 억제하기 위해 세계 각국에서 진행중인 연구결과와 관련 시험시설들을 소개하였다. 앞으로 군사전략 및 전자공학의 발전에 따라 심각해 지는 EMI 문제를 해결하기 위한 연구가 더욱 활발해 질 것으로 예측되며 국내에도 대형 무향차폐시설을 설치하고 EMI 시험을 수행 중이며 세계의 발전추세와 한국적 여건을 고려하여 연구가 계속 추진될 계획이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Ron Brewer, MIL-STD-461/462, EMC EXPO 1987, May 1987, pp T 12.18-12.20
- [2] Paul Sikora, Testing Military Hardware To Meet Battlefield EMC Requirements, EMC Technology, Nov. 1987, pp 29-34
- [3] Ressel V. Carstensen, Navy Accreditation of EMC Personnel and Laboratories, EMC Technology, Nov.-Dec. 1987, pp 25-26
- [4] H. Keith Florig, The Future Battlefield: A Blast of Gigawatts?, IEEE Spectrum, Mar. 1988, pp 50-54
- [5] Li Yiming, Review of EMC Practice for Launch Vehicle Systems, 1988 IEEE International Symposium on EMC, Aug. 1988, pp 459-464
- [6] Ressel V. Carstensen, Birds Astray, EMC Technology, Nov.-Dec. 1987, pp 21-23
- [7] George Frank, EMI Control in USMC Light Armored Vehicles(LAVs), EMC EXPO 1986, May 1986, pp T 13.1-13.8
- [8] Steven A. Davidson & Gary A. Thiele, A Hybrid Method of Moment-GTD Technique for Computing Electromagnetic Coupling Between Two Monopole Antennas on a Large Cylindrical Surface, IEEE Trans. on EMC, May 1984, pp 90-97
- [9] Rager F. Harrington, Field Computation by Moment Method, Macmillan
- [10] Robert G. Siefker, Tailoring MIL-STD-461B for Naval Avionics Application, 1986 IEEE International Symposium on EMC, Sept. 1986, pp 387-395
- [11] Department of Defense, MIL-STD-461C, 1Apr. 1986
- [12] N.J.Carter, International EMC Cooperation in the Military Area, 1986 IEEE International Symposium on EMC, Sept. 1986, pp 4-8

- [13] N.J.Carter, Changes in VK Military EMC Test Procedures and the Resultant Impact on Instrumentation Requirements, EMC EXPO 1988, May 1988, pp E04.7-04.23
- [14] Robert B. Cowdell, The Relationship Between MIL-SPEC. and Commercial EMI Requirements, 1986 IEEE International Symposium on EMC, Sept. 1986, pp 396-400
- [15] Carole A. Shifrin, General Dynamics Begins Tests, In New Anechoic Chamber, Aviation Week & Space Technology, Oct. 1987
- [16] Wolfgang Flume, Tank Development in the FRG: Interesting Prospects, but Excess Capacity, Military Technology, MILTECH, Nov. 1988, pp 16-37
- [17] 독일 Greiding 소재 EMI/EMS 시험시설 소개 Pamphlet
- [18] 米田照信, EMP 防護對策, 兵器と技術, 88. 9~11
- [19] Gordon K. Soper & Kendall F. Casey, Understanding the EMP Threat, Defense Electronics, Nov. 1987, pp 156-169
- [20] Robert Warner, Interference Technology: Problems and Solutions, Military Technology, MILTECH, May 1988, pp 61-62
- [21] Phillip E. Thibodeau, Radiation Hardened MOSFETS Enhance Survivability of Military Systems, Defense Electronics, Jan. 1988, pp. 102-110
- [22] Bruce C. Gabrielson, Red/Black Design-A Description and Approach, ITEM 1984, pp 154-164