

EMI/EMC 기술 동향 분석

2003. 10.

김영수(전문연구위원)

<목 차>

제1장 서론	1
1. 기술의 개요	1
2. 기술의 특성	2
3. EMI 사고 사례	6
가. Forrestal 항공모함의 유도탄 사고	6
나. 미니트맨 유도탄의 비행고장	7
다. HMS Sheffield 전투함 침몰	7
라. F111 추락사고	7
마. UH60(Black Hawk)헬기 추락사고	8
바. AH64(Apache) 헬기 사고	8
사. 패트리엇 유도탄 우발발사	8
아. 함정에서 발생한 전자파간섭	9
자. 기타	9
제2장 EMI 기술개발 동향	11
1. EMI 예측	11
2. EMI 대책 설계	13
가. 전원계통 EMI 대책	14
나. 전자파 차폐설계	23
3. EMI 시험관련 규격	25
가. 민수규격	25
나. 군사규격	26
4. EMI/EMC 측정 및 시험	27
가. 안전여유치(Safety Margin)	29
나. 체계 내 전자기적합성(Intra-system EMC) 시험	29
다. 체계외부 전자파환경(External EME) 시험	30
라. 낙뢰(Lightning) 시험	31
마. 전자파펄스(EMP) 시험	33

바. 정전기방전(ESD) 시험	33
사. 전자과복사위험(RADHAZ) 시험	34
아. 방사통제(EMCON) 시험	35
제3장 기술정보 분석	36
1. EMI/EMC 분야 국내외 학술정보	36
2. 국내외 특허 동향	37
가. 국내특허 동향	37
나. 해외특허 동향	38
제4장 전망	42
1. 해당 기술의 전망과 예측	42
제5장 결론	44

<표차례>

<표 2-1> 구성단위별 해석 범위	12
<표 2-2> 합정 EMC 프로그램	14
<표 2-3> 필터구성 부품의 특성	22
<표 2-4> 장비 관련 군사규격 변천 과정	27
<표 3-1> 미국특허의 주요 등록인별 등록건수	39
<표 3-2> 전자파 차폐 관련 주요 미국특허	40

<그림차례>

<그림 1-1> 전자파 전달 경로 개념	2
<그림 1-2> 전자파 간섭원 분류	3
<그림 1-3> Inter-System EMC(system to system)	4
<그림 1-4> Intra-System EMC(System 내부)	4

<그림 1-5> Forrestal 항공모함에서 사고 장면	6
<그림 2-1> 공통모드 및 차동모드 노이즈	21
<그림 2-2> 전원선 EMI 필터 회로	22
<그림 2-3> Anechoic Chamber에서 시험 중인 F-16 전투기	30
<그림 2-4> External EME 시험(미국 RTTC)	30
<그림 2-5> 낙뢰전류 파형	31
<그림 2-6> 레이돔 직접뢰 시험	32
<그림 2-7> 유로파이터 간접뢰시험(영 BAE)	32
<그림 2-8> EMP 파형	33
<그림 3-1> 국내특허 연도별 출원 현황	37
<그림 3-2> 국내특허 주요 업체별 등록 현황	38
<그림 3-3> 미국특허의 연도별 등록 추이(I)	38
<그림 4-1> EMP탄 운용 개념도	42

제1장 서론

1. 기술의 개요

반도체 기술의 발달에 따라 첨단 전자 및 컴퓨터 산업이 눈부시게 발전하고, 전자파의 이용도 급격히 증가하였다. 이에 따라 수많은 전기전자 기기들이 만들어져 우리의 생활을 편리하게 하고 있다. 이제는 이러한 기기들이 우리 생활의 필수적인 요소가 되어 이들 없는 현대사회는 상상하는 것조차 어렵게 되었다. 이 기기들에 의해 발생하는 많은 전자파는 바람직하지 않은 면에서 우리 생활에 직접 또는 간접으로 영향을 미치게 되어, 일반에게 잘 알려진 수질오염, 대기오염, 소음 등과는 특성이 다른 환경공해인 전자파 오염으로 등장하게 되었다. '전자파 장애'라고 불리는 이 새로운 공해는 인체에 직접 나쁜 영향을 주기도 하지만, 현재 더 심각한 문제가 되고 있는 것은 전기 전자장비들의 정상 동작을 방해하여 우리 생활에 여러 가지로 좋지 않은 영향을 미치고 있는 것이다.

전자파간섭(EMI, Electromagnetic Interference)이란 불필요한 전자파신호에 의해 원하는 신호의 탐지 및 해석에 간섭을 초래하거나 장비의 성능 저하를 일으키는 현상으로 전기 전자장비 사용 시 항상 고려해야 할 필수적인 문제이다. 여기서 EMI의 정의는 좁은 의미의 정의로 단순히 장비로부터 나오는 전자기 복사의 정도를 뜻한다. 전자기 적합성(EMC, Electromagnetic Compatibility)은 전자파 환경에서 시스템, 장비 및 부품이 정상 동작하는 상태를 의미하며, 전기전자장비로부터 불요 전자파의 복사를 최소한으로 억제하고, 외부 전자파 환경으로부터 장비가 방해를 받지 않고 정상적으로 동작하도록 전자파 내성을 가져야 하는 것을 뜻한다.

EMC라는 용어가 최초로 사용된 것은 미3군이 레이더기지를 건설할 때 기지 상호 간의 영향과 방해를 적게 하기 위해 아나폴리스(Annapolis)에 EMC 연구센터를 설치하고 레이더기지 건설의 적합성을 판단하던 때라고 이야기하고 있다. 이와 같이 레이더의 실용화와 EMC는 깊은 관계가 있다. 강력한 펄스를 방사하는 레이더가 통신장비 등에 그릇된 동작을 유발하는 사태가

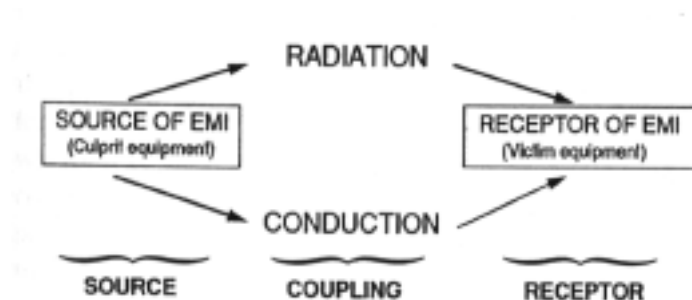
발생함에 따라, 레이더와 통신기기가 공존하여 정상적으로 동작할 수 있게 하기 위한 수단과 방법을 강구하려는 데서 나온 것이 EMC의 개념이라고 할 수 있다.

현대적 개념의 전자기 적합성(EMC)은 우리가 동작시키려는 기기의 입장에서 보는 것으로, 전자장비나 시스템이 설치하려는 위치의 전자기적 환경에서 의도된 성능을 가지고 제대로 동작할 수 있는 능력을 뜻한다. 또한 한 단계 더 나아가 이 장비나 시스템이 새로 추가됨으로 기존의 전자기적 환경에 변화를 가져와 거기에 이미 있었던 다른 기기에 영향을 주지 않아야 하는 뜻도 포함하는 것이다. 즉, EMC는 넓은 의미로는 EMI의 문제를 포함하는 개념이라 하겠다.

2. 기술의 특성

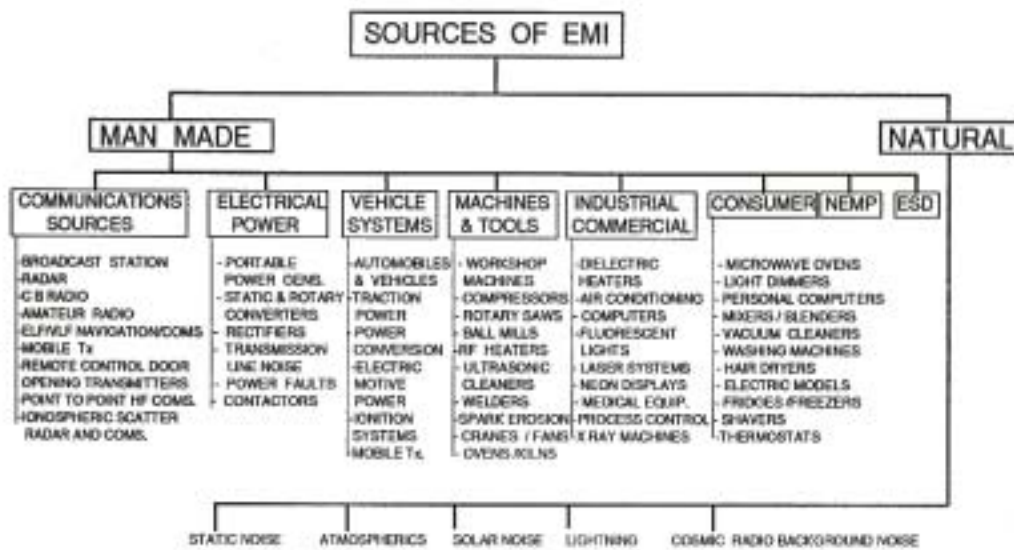
<그림 1-1>에 EMI 관계가 성립하기 위한 3개의 기본요소인 잡음원, 매개 경로, 피해원을 보여주고 있다. 여기서 잡음원은 전파잡음 및 시스템에서 이용하고 있는 모든 형태의 전자기 에너지의 발생체이며, 이들이 각종의 매개 경로를 통하여 모든 피해원(전자기기, 생물체, 사회 등)에 방해를 주고 있는 상태가 바로 기본적인 EMI 관계가 된다. EMC 단계는 이러한 각 요소들이 조화를 이루고, 공존하게 하기 위한 기술적 문제의 해결을 강구하는 일과 사회적 또는 제도적 규제를 마련하는 일이 중요한 과제가 된다. 이를 올바르게 파악하고 해결하기 위해서는 그 대상을 객관적으로 정확히 포착(측정)할 수 있는 측정기술이 중요한 위치를 차지한다.

<그림 1-1> 전자파 전달 경로 개념



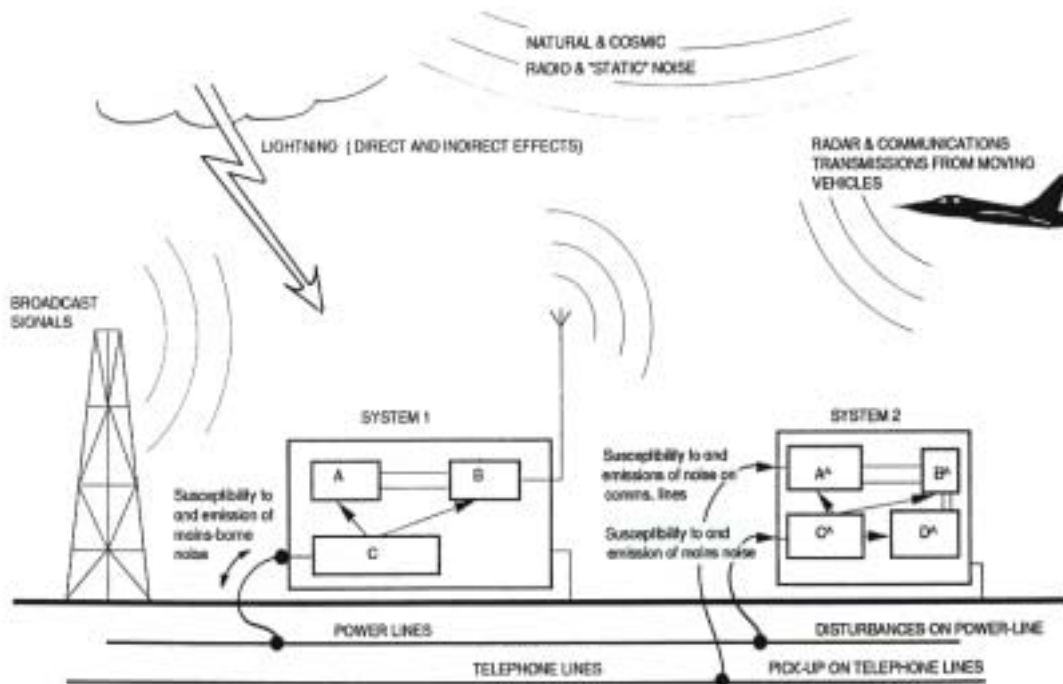
EMI 간섭원은 자연적으로 발생된 것과 인위적으로 생성된 전자파로 크게 구분할 수 있다. 인위적인 전자파는 공장 지역에서 발생되는 저주파신호로부터 방송국과 레이더기지에서 송신하는 초고주파대역에 이르기까지 다양한 특성을 보여주고 있다.

<그림 1-2> 전자파 간섭원 분류

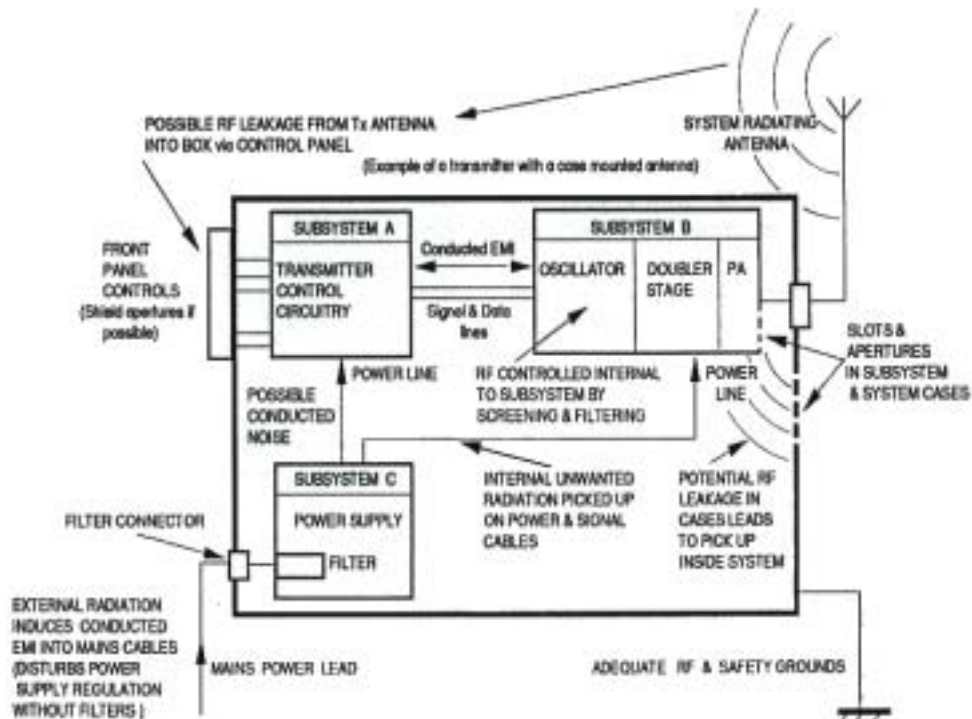


EMI/EMC의 상황을 구체적으로 나타낸 것이 <그림 1-3>과 <그림 1-4>이다. 두 개 이상의 서로 떨어진 시스템 내에서 소자 사이에서 일어나는 전자파 장애를 'Inter-system EMC'라고 하고, 한 시스템 내에서 장비 사이에 발생하는 전자파 장애를 'Intra-system EMC'라고 한다. 이러한 장애의 기본적인 경로가 아래 그림에 나타나 있다.

<그림 1-3> Inter-System EMC(system to system)



<그림 1-4> Intra-System EMC(System 내부)



전자장비의 사용밀도 조밀화로 인해 장비에서 발생하는 전자파가 주변기기에 영향을 주어 오동작을 일으켜 산업재해를 유발하는 경향은 시간이 흐를수록 크게 증가하는 추세에 있다. 현대인들은 일상생활에서 전자파와 함께 생활하고 있어 이에 의한 공해의 발생도 피할 수 없게 되었다. 보통 전자파 장애 때문에 텔레비전 화면이 찌그러지는 것을 볼 수 있다. 보다 심각한 예로 인공신장을 가진 사람이 전자파 장애로 인해 인공신장의 정상 동작에 방해를 받아 의식을 잃거나 생명도 잃는 결과를 초래할 수 있다. 산업현장에서는 자동화공장에서 전자파 장애에 의한 자동제어장치의 오동작으로 인명피해를 가져올 수 있다. 또한 인체가 한계치 이상의 전력밀도의 마이크로파에 노출되면 생식기관에 손상을 가져와 불임을 일으키거나 안구에 손상을 가져와 백내장을 일으킬 수 있다고 알려져 있다. 또한 비록 약한 전자파라도 장시간 지속적으로 노출되면 중추신경에 영향을 준다고 보고되었다^[1].

군수 분야의 경우 2차 세계대전 초기까지는 주로 항공기의 엔진점화장치에서 발생하는 3MHz~30MHz 대역의 무선 주파수간섭(RFI, Radio Frequency Interference)이 문제가 되었으며 간섭현상도 그다지 심각하지 않았다. 그러나 각종 전자장비가 고출력화, 고밀도화됨에 따라 장비 자체에서 방사되는 전자파잡음의 세기가 증가되고 잡음주파수 대역도 DC~수십 GHz까지 확장되어 전자파간섭이란 이름으로 바뀌게 되었다.^[2] 이에 반해 모든 전기/전자장비들은 마이크로 프로세서화됨에 따라 제어신호 수준이 더욱 낮아지고,^[3] EMI에 더욱 취약해져서 컴퓨터를 사용하여 각종 기능을 제어하는 전자장비는 EMI에 의해 장비 자체의 성능 손상뿐만 아니라 심할 경우에는 전투력에 치명적인 손상을 입히고 있다.

특히 최근에는 집적회로를 설계할 때 요구되는 조건으로 저전력 소모(low-power)가 대두되고 있다. 고속 집적회로 설계를 위하여 종래의 PCB 레벨(level) 혹은 시스템 레벨(system level)에서 칩 레벨까지 고려되어야 하지만, Cross talk, ground bounce, ringing 혹은 reflection 등의 signal integrity 문제와 EMI 문제들이 커지고 있다. 장비들이 소형화되면서 저전력 및 고속화(high-speed) 소자들이 사용되고 있고, 이러한 소자들은 전자파나 타 장비에서 발생하는 전자파로 인해 심각한 장애를 일으키는 문제점을 가지게 되었다. 이러한 사례의 대표적인 소자는 반도체이며, 특히 마이크로프

로세서는 매우 심각한 상태이다.

세계 각국에서는 EMI 문제의 심각성을 인식하고 1960년대 후반부터 전자과간섭 문제에 대한 본격적인 연구를 시작하였다. 현재 세계적으로 알려져 있는 첨단 무기체계들 중 많은 경우가 시험 중 또는 운용 중에 EMI 사고가 발생되어 임시 보완 및 해결하고는 있지만, 문제발생 후에 대책을 수립하기 위해서는 설계변경의 제한 및 과도한 비용이 추가로 필요하므로 장비운용상에 많은 문제점들이 야기되고 있다.

3. EMI 사고 사례

무기체계를 중심으로 사고사례를 살펴보고자 한다.

가. Forrestal 항공모함의 유도탄 사고^[4]

1967년 7월 미항공모함 Forrestal 함상에서 출격준비가 끝난 전투기의 유도탄 작동회로가 함상 레이더신호에 의한 전자과간섭으로 유도탄이 발사되어 대형 폭발사고가 발생했다. 그 결과 함정 승무원 134명이 사망하였으며, 전투기 32대의 손실을 포함하여 막대한 재산 손실을 초래하였다.

<그림 1-5> Forrestal 항공모함에서 사고 장면



나. 미니트맨 유도탄의 비행고장^[5]

미 육군의 미니트맨(Minuteman) 유도탄의 개발단계에서 처음 2회의 시험 비행 중 1단계 연소가 끝나기 전에 큰 고장이 발생되어 두 유도탄을 각각 7.6km와 21.8km에서 자폭시켰다. 시험자료를 분석한 결과 그 원인은 두 경우 모두 유도탄 내부 연소기의 전기적 접속(Bonding)이 불완전한 부분에서 발생한 고전압 전기방전에 의한 전자파간섭으로 생긴 유도탄 유도제어 시스템의 기능 고장 때문이었다.

다. HMS Sheffield 전투함 침몰

1982년 영국과 아르헨티나 간의 Falkland 전쟁시 영국의 지상통신 장비와 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 공격을 받아 영국 전투함 Sheffield호가 침몰되었다.

라. F111 추락사고

미국에서는 1986년 리비아 공습 때 발생한 F111충돌(추락)의 원인을 EMI 문제로 추정하였다. 미공군 Charles Quisenberry 대령은 “아군장비에 의해 우리가 EMI 영향을 받았다”고 결론지었다. 1986년 미공군 전투기 32대가 리비아의 5개 지역 공격명령을 받고 출격하였다. 그 작전은 정밀유도무기 작동 및 리비아 항공방위를 교란시키기 위해 상당한 전파방해망을 형성한 가운데 수행되었다. 32대 중 한 대는 추락하였고, 7대는 한 발의 무기도 발사하지 못하고 임무를 포기해야 하였다. Quisenberry 대령은 신속한 무기체계 조달 배치를 위해 EMI 성능 상 문제점에 대한 규격완화가 자주 일어나서 EMI 문제가 완전히 분석되고 억제되기 전에 정책적으로 무기체계를 실전배치한 것이 원인이라고 지적하였다.

마. UH60(Black Hawk)헬기 추락사고

Sikorsky사에서 생산하여 미육군의 주력 공격무기로 사용 중이며 1989년까지 약 1,000여 대 이상이 배치된 UH60 Black Hawk 헬기가 시험비행 중 수차례 추락되었다. 그 원인은 헬기가 육상 또는 함정 레이더통신소 근처를 지날 때 송신되는 고출력 전자파신호가 민감한 전자장비의 반도체부품에 간섭을 일으켜 비행조종장치가 오동작을 일으킨 것이었다고 한다. 이 문제를 해결하기 위해 EMI에 취약한 연결케이블의 차폐 성능보완으로 외부의 전자파 침투를 감소시켰고, 전자파에 의한 교류전류 침투현상을 분석하여 전류 침투 경로를 차단시킨 후 White Sand Missile Range 내의 취약성 평가 시험실(Vulnerability Laboratory)에서 각종 전자파환경시험을 수행하였다고 한다.

바. AH64(Apache) 헬기 사고

걸프전에 투입된 AH64 Apache 헬기에 장착된 Hellfire 유도탄이 발사 지령 없이 우발적으로 5회 발사되었고, 전자속도제어기 주위의 차폐가 불충분하여 엔진고장을 일으킬 수 있는 과속상태가 발생하였다고 보고된 적이 있다. AH64 헬기도 UH60 헬기와 마찬가지로 전자파내성 규격을 20V/m 수준으로 개발하였기 때문에 문제해결을 위해 헬기 출입문에 도전성 페인트를 도장하여 전자파침투를 감소시켰고, 해군의 전자파내성 수준까지 설계보완을 해야 할 필요성을 제시하였다고 한다. 또한 개조작업 수행여부는 확인할 수 없었으나 헬기에 대한 각종 전자파환경 시뮬레이션 시험이 수행되었다고 한다.

사. 패트리엇 유도탄 우발발사

걸프전 시 개전 첫 주 동안 패트리엇 유도탄 158기가 발사되었으나 그 중 24기가 허공으로 발사되었다는 사실이 밝혀졌다. 그 원인을 분석해 본 결과 다른 통합체계로부터 발생된 전자파신호가 유도탄 지상설치 레이더의 뒷부분으로 침투하여 스커드 유도탄이 자동 발사되게 되었다고 확인되었으며, 미 육군에서는 개전 초기부터 이 사실을 알았다고 한다. 그리고 문제를 일으

킨 전자파잡음은 조기경보통제기(AWACS)인 공중감시항공기와 폭격기에 장착되어 있는 Jammer Pod와 비행장에 설치된 레이더 및 통신기 등의 장비로부터 발생되었을 것으로 추측하였으며, 미 육군에서는 패트리엇 유도탄체계의 운용 소프트웨어를 수정하고, 레이더 후부의 전자파침투를 막기 위한 차폐 격판을 부착시켜 보완하였고, 그 성능은 시험을 통해 확인하였다고 한다.

아. 함정에서 발생된 전자파간섭

미 해군에서는 함정에서 발생하는 EMI 문제를 억제하기 위한 연구가 1950년대부터 수행되었으나, '60년대에 EMI 사고가 많이 발생되어 체계적인 간섭 억제 연구가 '70년대부터 시작되었다. 그리고 미 NAVSEA 산하에 함정관리 정보추적체계(SMITS)를 설치하여 함정에서 발생한 EMI 사고에 대한 데이터 베이스를 구축하여 사고원인 분석, 개조 결과 및 설계 시 얻은 교훈 등을 종합적으로 정리, 관리하여 필요시 누구나 전화로 이용가능토록 전산기와 연결되었다. 이 자료에 의하면 1990년 2월까지 기록된 함정 EMI 사고는 약 4,580건이며 그 중 약 60%인 2,930건 정도가 수정되었다고 보고되고 있다.

이상과 같은 EMI 사고가 발생한 전투기, 함정 및 유도탄체계들은 설계단계에서부터 EMI를 억제시키기 위한 연구가 진행되었다. 그러나 각 무기체계가 운용되는 전자파환경은 수많은 전기/전자장비 및 고출력 무선 송수신장치 등의 전자파 발생장비가 사전에 간섭억제대책이 개발단계에서 적용되었기 때문에 간섭 사고가 그 정도 수준으로 감소되었다고 생각할 수 있다.

자. 기타

초인종이 울릴 때 TV에 점선들이 나타나거나 또는 화면이 멋대로 움직이는 경우가 있는데 이 모두가 전자파 장애의 결과이다. 이 경우는 단순히 불쾌감을 주는 정도일 수 있지만, 보다 심각한 예로, 인공심장을 가진 사람이 전기연장이나 차폐가 되지 않은 자동차 옆에 있는 경우의 EMI 영향은 인공심장의 정상 동작을 방해하게 되고, 이 결과 단순한 불편으로 그치는 것이 아니라 그 사람의 의식을 잃게 하거나 또는 생명까지도 위협하는 결과를 가

저오게 되는 것이다. 산업 분야와 관련된 예로는, 일본에서 자동화 공장의 로봇이 오동작을 일으켜 인명에 피해를 가져온 것이 EMI에 의한 자동제어 장치의 잘못으로 나타났고, 우리나라에서 수출한 자동차의 자동정속 주행장치(cruise controller)가 가까이 부착된 고성능 라디오 때문에 오동작을 하는 것이 발견되어 시정해준 사례도 있었다. 더 심한 경우의 예로, 험한 기상 조건을 만난 비행기들이 EMI로 항행에 오류를 가져오거나 또는 폭우 중 번개에 의하여 컴퓨터 메모리가 지워져 항로를 이탈하거나 충돌을 일으키는 등 많은 인명과 재산의 손실을 가져올 수 있다.

제2장 EMI 기술개발 동향

현재 세계 각국에서 연구 중인 EMI 대책은 사용되는 체계의 환경 특성에 따라 체계, 구성장비 및 단일 부품단위까지 세분화되어 체계적으로 연구되고 있으며, 그 중 주요 연구 분야는 크게 EMI 예측, EMI 대책설계, EMI 시험관련 규격, EMI/EMC 시험시설 및 응용기술로 분류할 수 있다.

1. EMI 예측

복잡한 무기체계를 중심으로 고찰기로 한다.

무기체계는 일반 민수용 장비와는 달리 많은 부속장비로 구성되며 이 장비들은 연결케이블과 신호의 송수신을 위한 안테나 등으로 결합되어 운용 중 발생하는 전자파잡음도 복합적으로 나타나기 때문에, EMI 문제를 해결하기 위해서는 각 장비단위 및 안테나, 케이블 등의 결합경로에 따른 전자기적 결합(Coupling) 문제를 분석해야만 적절한 억제대책을 수립할 수 있다. 활용되고 있는 EMI 예측연구 분야는 다음과 같다. 체계 내 EMI 예측은 무기체계가 EMI 문제없이 최소비용으로 요구 성능을 발휘하기 위해서 체계가 운용될 전자파환경을 예측한 후 부속장비와 체계 전체의 EMI 요구조건을 결정하는 것이다. 대표적인 체계 내 종합 EMI 예측프로그램은 미국 RADC(Rome Air Development Center)에서 개발한 IEMCAP(Intra-system Electromagnetic Compatibility Analysis Program)이며, 육상 기동장비, 항공기 및 유도탄에 대한 EMI 특성을 예측, 분석할 수 있다. 그러나 제한된 공간에 많은 통신기(HF~UHF)와 레이더가 탑재되는 함정체계의 경우에는 설계단계에서 상부에 설치되는 금속 구조물 위의 영향을 고려한 합상 전자파환경을 예측하여 최적의 안테나 배치를 수행해야 한다. 체계탑재 통신안테나에 관련된 일반적인 전자파환경 예측방법은 컴퓨터를 이용하여 전자파산란(Scattering) 문제를 수치해석으로 해결하는 모멘트 방법(MOM, Method of Moment)과 GTD(Geometrical Theory of Diffraction)방법이 있다.

Simulation Tool을 분류해 보면 FDTD(Finite Difference Time-Domain)의

경우 PML(Perfectly Matched Layer) Absorbing 개념을 갖고 1990년 초에 고안된 것으로 해의 정확성이 높아짐에 따라 최근에 개발된 패키지는 이 방법을 많이 사용하는 추세이며, EMC에서는 주로 Encloser나 SAR에 주로 쓰이고 있다. 주파수 및 시간영역에서 동시에 해석이 가능하므로 3차원 구조물 해석에 많이 사용되고 있다.

FEM(Finite Elements Method)의 경우 미분방정식의 해를 풀기 위해 Galerkin-method(기본적으로 closed boundary 영역을 사용)을 사용하고 있는데, 발생된 매트릭스(Matrix)를 풀기 위해 Conjugate Gradient 방법을 사용하고 있다. Iterative Matrix solution은 3차원 구조물에 많이 사용되며, 기존의 Field(S parameter)해석에 사용되고 있지만, Open Boundary(Far Field) 해석에는 반드시 ABC(Absorbing Boundary Condition) box가 필요하다.

BEM(Boundary Elements Method)의 경우는 미적분 방정식(Green's 2nd theorem)을 푸는 것으로 Open Boundary에 사용할 수 있어서 PCB 선로 EMI 해석알고리즘으로 가장 많이 사용되고 있다.

PEEC(Partial Elements Equivalent Circuit)의 경우는 MOM(Method of Moments)를 EFIE(Electric Field Integral Equation)에 적용한 것으로 PCB처럼 복잡한 구조를 가장 정확히 등가모듈을 만들어 낼 수 있어 PCB EMI 해석에 많이 사용되고 있다.

<표 2-1> 구성단위별 해석 범위

구분	해석 범위
부품 단위	케이블 Cross-Talk, RF/MW 설계
장비 단위	PCB Layout, Housing 설계
시스템	안테나 복사패턴, 배치, RADHAZ 분석(HERO, HERF)
EM 환경	Lightning, EMP Coupling 해석
기타(인체)	SAR(Specific Absorption Rate) 해석, RADHAZ 분석(HERP)

2. EMI 대책 설계

무기체계 개발 시 적용되는 EMI 대책설계 기술로는 접지(Grounding), 접속(Bonding), 차폐(Shielding), 케이블링(Cabling) 및 필터링(Filtering)등이 있다. 이러한 EMI 대책설계 기술은 무기체계의 운용 전자파환경에 따라 다르게 적용되고 있으며, 무기체계의 설계단계에서 작성되는 EMI 통제계획서(Control Plan)에 포함된다. EMI 통제계획서는 먼저 체계가 운용될 전자파환경을 설정하여 개발될 체계 및 부속체계에 적합한 EMI 규격을 결정하고 그에 따른 세부 EMI 대책 설계지침과 시험평가계획을 작성한다. 또한 설계된 부속체계는 EMI 설계지침에 따라 EMI 설계검토 과정을 거치고, 제작된 부속체계에 대해서는 EMI 시험평가를 수행하며 문제점 발생 시에는 세부 원인 분석을 통해 설계에 재반영 된다. 따라서 복잡한 전자파환경에서 운용되는 무기체계는 개발단계에서부터 EMI 통제계획서에 의해 EMI 대책 설계를 체계적으로 수립하므로 전체 체계에서 생길 수 있는 전자파간섭 문제를 최소화 시킬 수 있다. 독일의 경우 <표 2-2>와 같이 함정 건조 시 EMC 프로그램 절차를 통해서 단계적으로 접근하여 해결하고 있다.

<표 2-2> 함정 EMC 프로그램(예)

건조/개발단계	수행항목
1. Concept Phase	EMC 경향 분석 EMC 예측 준비 EMC 위험요소 정의 Definition Phase 적용, EMC Program Plan 수립
2. Definition Phase	EMC Program Plan Review EMC 시스템 분석(예측) 시스템 및 장비 EMC 요구사항 정의 Development Phase 적용, EMC Program Plan 수립 (문서: building Spec.)
3. Development Phase	EMC Program Plan Review 장비 EMC 데이터 수집 EMC 분석(계속) EMC Test Plan, EMC Control Plan 수립 Construction Phase 적용 EMC Program Plan 수립 (문서: Workshop Drawing)
4. Construction Phase	EMC Program Plan Review EMC 관련 조치사항 체크 EMC 문제해결 체계 시험계획 보완 및 시험 수행

가. 전원계통 EMI 대책

(1) 전원장치의 발전 추세

전력용 반도체 기술의 발달과 더불어 전력 취급 용량과 전력용 반도체 소자의 스위칭 속도는 놀랄 만큼 향상되고 있다. 마이크로프로세서와 마이크로 컴퓨터 기술의 발달은 전력용 반도체 소자에 대한 제어와 제어 수법의 합성에 지대한 영향을 주고 있으며, 이미 현대 기술에 있어서 중요한 위치를 차지하고 있다. 전원장치의 기술 동향은 다음과 같다.

(가) SMPS(Switched Mode Power Supply)

전자계산기, 전자교환기 및 OA 기기 등 전자·통신 기기의 직류 안정화 전원으로 폭 넓게 이용되고 있는 SMPS는 반도체 소자의 스위칭 프로세서를 이용하여 전력의 흐름을 제어함으로써 종래의 안정화 전원에 비하여 고효율, 소형 및 경량에 큰 장점을 갖는 안정화 전원이라고 할 수 있다. 그런데 이러한 전자통신기기에 있어서 시스템 부분은 반도체 집적 회로의 발전에 수반하여 급속히 소형 경량화가 이루어지고 있다. 반면 전원 부분은 에너지 축적용 소자인 인덕터 및 커패시터의 존재로 인하여 기대하는 만큼의 속도로 소형 및 경량화가 이루어지지 못하고 있는 실정이다. SMPS는 스위칭 주파수를 높여 에너지 축적용 소자를 소형화함으로써 소형, 경량화를 이룰 수 있다. 이를 위해서는 고속의 반도체 스위칭 소자의 개발이 필요하게 된다. 그러나 스위칭 주파수를 고주파수화하면 스위칭 손실, 인덕터의 손실 등 전력 손실이 증대하게 되므로 이에 대한 대비책이 별도로 강구되어야 한다. 그리고 스위칭에 의해서 발생하는 서지와 노이즈의 문제도 함께 고려되어야 할 것이다. 또한 SMPS는 전자통신기기에 있어서 안정된 전력을 공급해 주어야 한다는 의미에서 시스템의 심장부라고 할 수 있으며, 많은 경우에 있어서 시스템의 고장이 안정된 전력을 공급해 주지 못하는 데 기인한다는 사실을 고려할 때 SMPS의 연구개발은 현대의 전자, 정보, 통신 산업의 발달에 기본적이고 필수적인 위치에 있다고 할 수 있다.

(나) Resonant Converter

반도체 스위치 소자가 스위칭 동작을 할 때 일정한 스위칭 시간, 즉 턴 온 시간과 턴 오프 시간이 존재하면 그 동안 스위치의 전압과 전류가 중복된다. 전력용 BJT의 경우, 대개 수 ms~수십 ms 정도의 턴 온, 턴 오프 시간이 존재한다. 이에 대하여 전력용 MOSFET의 스위칭 시간은 수십 ns~수백 ns로 BJT에 비하여 매우 짧다. 이 MOSFET의 경우 턴 오프일 때 축적 시간은 존재하지 않지만 수백 ns 정도의 턴 오프 지연 시간이 존재한다. SMPS의 경우, 스위칭될 때 스위치의 전류 파형과 전압 파형이 중복됨에 의해 전

력손실을 야기한다. 이러한 장애를 극복하기 위한 한 방법으로 공진 스위치를 이용한 공진형 컨버터가 제안되고 있다. 반도체 스위치에 공진 회로를 결합하여 전류 또는 전압을 사인파의 형태로 변화시킴으로써 앞에서 논의한 스위치에서의 스위칭 손실을 거의 0으로 저감시킬 수 있는데, 이를 공진 스위치(Resonant Switch)이라고 하며 이를 이용한 SMPS를 총칭하여 공진형 컨버터(Resonant Converter)라고 한다. 스위칭 주파수의 고주파수화를 위한 대책으로 앞서 설명한 PWM 컨버터의 컨버터 스위치를 공진 스위치로 대체함으로써 공진형 컨버터를 구성할 수 있는데, 이를 준 공진형 컨버터(Quasi-Resonant Converter, QRC)이라고 한다. 공진형 컨버터는 사용한 공진형 스위치가 전류 공진형 스위치인가, 전압 공진형 스위칭인가에 따라서 전류 공진형 혹은 전압 공진형으로 분류할 수 있다. 전류 공진형 컨버터의 경우 부하 전류에 상한이 존재하고, 전압 공진형 컨버터의 경우는 부하 전류에 하한이 존재한다. 따라서 이 부하 한계를 넘어서는 경우, 영전류 스위칭 또는 영전압 스위칭으로 동작하지 못하여 큰 스위칭 손실 및 스위칭 서지를 초래하기도 한다. 또 전류 공진형 컨버터에서는 스위치가 도통일 때의 전류 펄스 시간폭 T_{on} 은 공진 회로에 의해 결정되며, 펄스폭을 제어하기 위해서는 도통 시간을 고정하여 스위치의 차단 시간을 조절해 주어야 한다. 한편 전압 공진형 컨버터에서는 스위치가 차단일 때의 전압 펄스 시간폭 T_{off} 는 공진 회로에 의해 결정되며, 펄스폭을 제어하기 위해서는 스위치의 차단 시간을 고정하여 스위치의 도통 시간을 조절해 줄 필요가 있다. 결과적으로 두 경우 모두 스위칭 주기를 변화시키는 것이 되므로 공진형 컨버터는 스위칭 주파수 변조에 의하여 제어된다.

(다) Soft Switching Converter

SMPS의 소형화를 실현하는 데 가장 대표적인 방법은 스위칭 주파수를 고주파수화 시켜서 수동소자들의 크기를 소형화하는 것이다. 그러나 SMPS의 경우, 부하에 공급되는 전력이 미리 결정되기 때문에 전압, 전류를 감소시킬 수 없으므로 소형화하기 위해서는 손실을 저감시켜 효율을 높일 필요가 있다. 따라서 SMPS의 소형화에는 우선 회로 내의 손실분을 가능한 한 감속시

킬 필요가 있음을 알게 된다. SMPS는 반도체 스위칭의 스위칭 프로세서에 의한 장치이므로 원리적으로는 저손실이지만 스위칭 손실이 존재하며 이것은 스위칭 주파수에 비례하여 증가한다. 또한 SMPS에는 트랜스포머, 인덕터 등의 자기소자와 평활용 커패시터가 존재하며 이것 또한 스위칭 주파수에 비례하여 손실이 증가한다. 스위칭 주파수를 증가시키면 자기소자와 평활 커패시터의 크기가 감소하여 SMPS의 소형화에 기여한다. 그러나 손실의 증가에 의한 온도 상승은 신뢰성의 저하를 초래하게 된다. 따라서 스위칭 주파수를 증가시키기 위해서는 스위칭 손실을 저감시킬 필요가 있으며, 이를 위해서는 고속의 스위칭 소자가 필요하다. 그러나 고속 스위칭이 되면 회로에 존재하는 인덕턴스, 용량 성분 또는 다이오드가 갖는 축적 전하의 영향에 의해서지 노이즈가 발생하여 주위의 전자기에 악영향을 미칠 뿐 아니라 SMPS 자체의 신뢰성도 현저히 저하한다. 이에 대한 하나의 대책으로 R-C 및 L-C 스너버 또는 아몰퍼스 코어에 의한 자기 스너버 회로가 이용된다. 그러나 MHz 이상의 고주파화에 있어서는 공진회로를 이용하여 스위치에 전달하는 전압 또는 스위치에 흐르는 전류를 정현파 형태로 하여 스위칭 손실을 저감 시킴과 동시에 서지 노이즈의 발생을 억제할 수 있는 방식의 SMPS인 공진형 컨버터에 관한 연구가 활발히 진행 중에 있다.

(라) Variable SMPS

기존의 가변 선형 전원장치는 매우 낮은 출력 리플을 갖는 대신에 상용 주파수용 변압기에 의해 부피가 크고 무거우며, 스위칭 동작을 능동영역에서 사용하여 출력전압을 제어함으로 스위치에서의 손실이 증대하여 전체회로의 효율이 낮았다. 특히 가변 선형 전원장치는 낮은 전압에서 정격 출력의 대부분을 전원장치의 내부에서 열로 소모하여 변환효율이 더욱 낮았다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 스위칭 레귤레이터방식이 사용되는데 이 방식은 선형 전원장치의 동작 손실을 줄일 수 있고, 고주파 스위칭으로 인해 수동 소자의 크기와 무게를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 모든 출력 전압에서 균등한 파워를 낼 수 있다. 하지만 스위칭 모드에서 가장 큰 문제점은 출력 전압이 영까지 내려가도록 제어를 해야 하는 것이다. 출력 전압이 낮을 때는 매우

좁은 구동 펄스가 필요하지만 이것은 출력 전압 제어가 어렵다. 그러므로 고정 주파수 PWM으로는 출력 전압 제어가 어렵다는 것을 의미한다.

이 문제점은 고정 주파수 제어와 가변 주파수 제어를 병행함으로 해결된다. 대부분의 출력에서는 고정 주파수를 제어하고 정해진 출력 이하에서는 구동펄스의 온 시간은 고정시키고 오프 시간을 늘려서 단위시간 안에 전력이 전달되는 양을 줄인다. 즉 주파수를 가변하여 출력 전압을 제어하는 것이다. 또한 가변 스위치모드 전원장치는 일정한 파워를 출력하므로 낮은 출력 전압일 때는 100A 이상의 큰 전류를 출력하게 된다. 이것은 주회로 소자에 전류 스트레스를 증가시켜서 전원장치의 안전에 위험을 주게 된다. 그러므로 전류 제한을 전원장치 내부 소자의 정격에 맞게 설정하여 최대 부하 전류를 제한하여야 한다.

(마) Class D Audio Power AMP

주파수 대역이 20kHz 이상인 오디오 앰프는 원음을 그대로 재생하여야 한다는 기능적인 측면을 고려하여 선형 트랜지스터를 사용하여 선형과워 앰프(A, AB, B급)를 메인 앰프로 적용한다. A급 앰프의 경우 신호크기에 관계없이 최대의 전류가 흘러 음질은 최상이나 효율이 매우 낮다. B급의 경우는 신호와 전류의 크기가 달라짐에 따라 A급보다 효율을 증가시켰지만 크로스 오버 현상이 일어나 음질이 뛰어나지 못하다. AB급은 B급의 크로스 오버 현상을 줄이기 위해 A급 방식을 약간 도입한 형태가 된다.

이런 선형 앰프는 매우 낮은 $T \cdot H \cdot D$ 를 갖고 있어 음질이 뛰어나지만 효율이 매우 낮고 방열판의 체적이 커지게 되어 전체적인 부피와 중량이 증가하게 된다. 위와 같은 단점의 보완으로 스위칭 트랜지스터를 사용한 D급 증폭기를 오디오 앰프로 적용한다. 스위칭을 이용한 증폭기의 제어 방법 중 하나는 펄스폭 변조(PWM)제어 기술이다. 입력신호와 캐리어 스위칭 주파수에 의해 PWM 신호로 변환되고 이 PWM 신호를 출력 LC 필터에 의하여 고주파 신호를 제거하여 음성신호를 재생한다. 이론적으로 D급 방식은 100%의 효율을 얻을 수 있지만 스위칭 손실과 도통 손실 등에 의해 이보다 낮은 효율을 얻는다. 위와 같은 D급 오디오는 부피가 작고 중량이 가벼워 자동차용

오디오로 많이 개발되고 있고, 가정용 Hi-Fi용으로도 많이 개발단계에 있다. 에너지 절약과 소음문제가 많이 대두되고 있는 현대 사회에서 D급 앰프의 개발 및 보급이 더욱 요구된다.

(바) Thin Film Inductor

지금까지 DC-DC 변환기 및 DC-AC 변환기 등의 전원장치의 소형, 경량화를 위한 기술로 여러 가지 효과적인 방법들이 연구되어 왔다. 그러나 현대의 정보통신기술의 괄목할 만한 발달로 더욱 소형화된 전원장치에 대한 요구가 높아지고 있으나 아직 전원장치의 연구가 이 요구에는 미치지 못하고 있다. 이에 많은 연구자들에 의해 전원장치의 소형화에 대한 연구는 활발히 진행되고 있으며, 그 중에 전력용 박막 인덕터의 연구와 이를 이용한 전력변환기기의 개발은 현재 널리 사용되고 있는 정보통신기기 및 컴퓨터의 전원장치의 소형화에 크게 기여할 것이 기대된다. 현재 선진 기술국들의 박막 인덕터를 이용한 전원장치 개발의 연구는 상용화단계에 이르고 있으며, 커패시터, 트랜스 등에 대한 박막 자기 디바이스의 개발 및 IC화에 대한 연구를 병행하고 있다. 다가오는 시대에는 쌍방향 통신기능을 갖는 전자 메일, 데이터 베이스 검색 등의 정보·통신 서비스의 질이 개인 및 국가 발전의 주역이 되리라 기대되고 있으며, 이에 따라 휴대형 멀티미디어 단말기로서 전자·통신기기에 대한 낮은 가격, 고기능화 및 소형·경량화 요구는 급증하리라 예상된다. 그러나 현재 국내에서는 이에 대한 기반기초기술조차 확립되지 않은 상태이다. 따라서 박막 인덕터 응용의 기초기술을 확립하고, 박막 인덕터를 이용한 소형·경량의 DC-DC 컨버터의 개발은 전력전자 분야에서 21세기의 주역이 되기 위한 필수적인 과제라 사료된다.

현재 이러한 박막 인덕터 개발은 80% 이하의 효율을 갖는 전력변환기의 개발 단계에까지 도달하고 있으나 박막 인덕터의 기생 손실성분으로 인하여 이를 적용한 고효율 전력변환기기의 개발이 어려운 실정에 있다. 박막 인덕터의 높은 기생손실 성분으로 야기되는 컨버터의 효율 저하를 보상할 수 있는 전력변환기로 ZVS-CV Buck 컨버터 등 고주파, 고효율 및 소형화된 전력변환기기 등이 연구개발 중이다. 더 나아가 전원장치의 IC화에 기여하기 위

한 연구가 진행되고 있다.

(2) EMI 필터설계

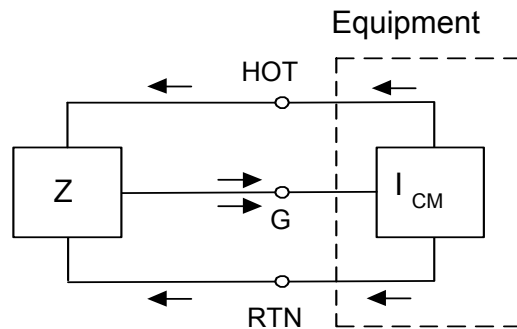
전자파간섭은 전도방사(Conducted Emission), 복사방사(Radiated Emission), 전도내성(Conducted Susceptibility) 및 복사내성(Radiated Susceptibility) 등 4가지의 유형으로 구분된다. 이 중에서 전도방사는 전원선을 통해 장비의 노이즈가 외부로 노출되어 타 장비에 전자파간섭을 일으키는 주요 발생원으로 작용하며 대부분의 경우 전도방사 노이즈는 복사방사의 형태로 동시에 나타나게 된다. 일반적으로 전도방사 노이즈의 주요 발생원은 전원장치이며, 이 전원장치는 주 공급전원을 장비 내부의 디지털회로 등의 전자기기를 동작시키기 위하여 필요한 크기의 전원으로 바꾸어주기 위한 장치로서 거의 모든 전기전자장비에 사용되고 있다. 특히 앞에서 언급한 스위칭 전원장치(SMPS, Switched Mode Power Supply)는 효율이 높고 제어가 쉬우며 스위칭 주파수를 높일 경우 회로가 차지하는 부피를 상대적으로 작게 할 수 있는 장점으로 인하여 각종 전기전자장비의 전원장치로 급격히 보급되었으며, 개발된 신형 무기체계의 탑재장비에도 대부분 SMPS형 전원장치를 채택하고 있는 추세이다.

그러나 SMPS는 상기 여러 가지 장점이 있는 반면 전력변환을 위한 다이오드, 트랜지스터, FET 등의 스위칭 동작 시 스위칭 주파수 및 고주파를 포함한 많은 양의 노이즈가 발생하게 되는 문제점도 포함하고 있다. 전도방사 시험규격 불만족 원인은 대부분 이러한 스위칭방식의 전원장치에서 발생하는 노이즈 영향인 것으로 입증되어 전원선 노이즈에 대한 대책으로 전원선 EMI 필터 설계가 필수적으로 요구되고 있다.

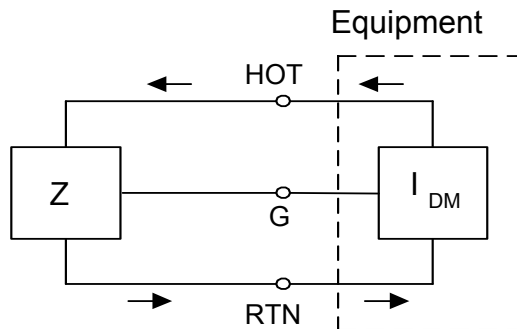
전기전자장치에서 발생하는 전도 노이즈(Conducted Noise)는 공통모드(CM, Common Mode) 노이즈와 차동모드(DM, Differential Mode) 노이즈로 구분되며, 각 노이즈의 전도경로 및 특성은 차이가 있다. 공통모드 노이즈는 핫라인(Hot Line)과 리턴라인(Return Line)에 위상차 없이 접지(Ground)에 대하여 같은 크기의 전위로 나타나며, 노이즈 전류(I_{CM})는 핫라인과 접지, 리턴라인과 접지를 통해 각각 전도된다. 차동모드 노이즈는 핫라인과 리턴라인

에 같은 크기의 전위로 나타나지만 서로 180° 의 위상차를 가지며, 노이즈 전류(I_{DM})는 핫라인과 리턴라인을 통해 전도된다.

<그림 2-1> 공통모드 및 차동모드 노이즈



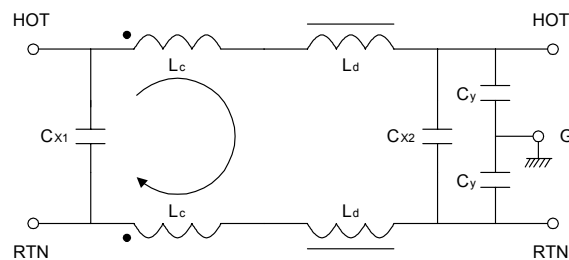
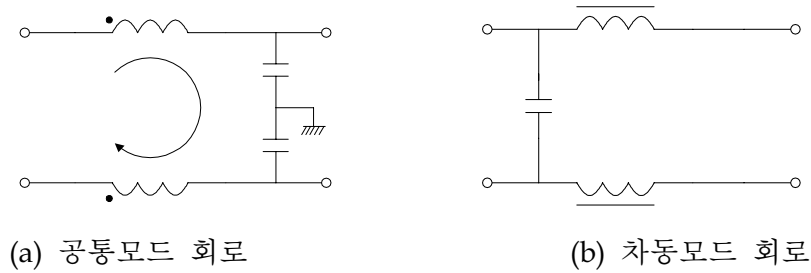
(a) 공통모드 노이즈



(b) 차동모드 노이즈

전원선 EMI 필터는 수동소자로 구성되는 저주파 대역 통과회로(LPF, Low Pass Filter)로서, EMI에 대한 전기적인 장벽을 만들어 전기 전자장비로부터 발생된 노이즈를 차단시켜 준다. 필터를 통과하는 공급전원의 감쇄 없이 노이즈 성분만을 감쇄시키기 위하여 저항성 소자보다 L, C와 같은 리액티브 소자가 사용된다. <표 2-3>은 <그림 2-2> (C)의 세부내용을 설명하고 있다.

<그림 2-2> 전원선 EMI 필터 회로



(c) 기본 회로

<표 2-3> 필터구성 부품의 특성

기호	명칭	주역할
Lc	Common Mode Inductor	- 저주파대역 공통모드 노이즈 제거 - 고투자율을 갖는 코어 Amorphous(Co계), Ferrite (MnZn) 등에 동일한 권선으로 두 개의 코일이 트랜스 모양으로 감겨져 있음. 공통모드 노이즈에 대해서는 자속이 같은 방향으로 강하게 발생하여 강력한 인덕턴스가 발생. - 차동모드 노이즈에 대해서는 발생하는 자속이 서로 상쇄되어 인덕터의 효과가 없어짐
Ld	Differential Mode Inductor	- 고주파대역 차동모드 노이즈 제거 - 전원공급 전류에 의한 코어의 포화를 줄이기 위해 저투자율의 코어 사용 Amorphous(Fe계), MPP, Iron Powder 등) - 한쪽 방향으로 코일을 감아서 자속이 한 방향을 가지게 되므로 차동모드 노이즈 억제
Cx	Line Cross Capacitor (X-Capacitor)	- 저주파대역 차동모드 노이즈 제거 - 손실이 적은 필름(폴리프로필렌) 커패시터 사용 - 커패시터 용량이 클수록 저주파 대역의 감쇄량 증가, 고주파 대역의 감쇄량 감소
Cy	Line Bypass Capacitor (Y-Capacitor)	- 고주파대역 공통모드 노이즈 제거 - 고주파 임피던스가 낮은 세라믹 커패시터 사용

현재 사용되는 코어(core) 중에 페라이트(ferrite)는 대전류에서 포화가 발생하여 자성을 잃어버리는 단점이 있고, 철코어(iron core)는 높은 손실이 있어, 역률 개선 리액터용으로는 비정질(amorphous), 금속분말(metal powder)을 이용하여 제조된 코어가 대부분 사용되고 있다. 이 중 비정질 코어는 직류중첩 특성을 향상시키기 위해 얇은 공극(gap)을 만드는데, 이것으로 인해 발생하는 누설자속은 코어의 효율을 저하시키고, 다른 전자 부품 및 인체에 전자파 영향을 미칠 수 있다. 금속분말로 제작된 코어는 분말을 절연 코팅한 후, 성형 및 열처리를 하여 제조하기 때문에 누설자속이 없어 비정질 코어에 비해 상대적으로 우수한 특성을 보이고 있다. 우수한 재료 특성을 가지고 있는 금속분말 코어는 현재 미국의 회사들이 전 세계 시장을 독점하고 있으며, 국내에서도 일부 업체가 연구 개발하여 생산하고 있다.

나. 전자파 차폐설계

전자기술의 발달에 따른 전자파의 증가는 다양한 주파수의 전자파의 발생을 초래하여 여러 가지 문제를 발생시키므로, 이를 예방하고 전파환경의 보호를 위해 불필요한 전자파의 복사방지 기술개발의 중요성이 부가되고 있다. 선진국에서는 이미 오래 전부터 각종 전자기기에 대한 전자파 환경의 악화 방지 및 악화된 전자파 환경에서의 신뢰성 보장을 위하여 자국산 및 수입품에 대하여 국가 차원의 엄격한 시험절차를 통한 전자파 복사 규제를 적용, 시행하여 왔으며, 점차 증가하는 전자화에 대처하기 위해서 규제 수준을 강화하고 있다. 이러한 국제 추세와 최근 국내에서도 전자파 차폐가 필수적인 휴대폰과 노트북컴퓨터의 생산이 급격히 늘어나고 있는 것을 볼 때, 연구개발을 통해 전자파 차폐에 대한 대응 능력을 확보하고 품질을 개선하는 것이 시급히 요구되고 있다.

전자파장해 문제는 유럽, 미국, 일본과 같은 선진국에서는 국가적 차원의 관심사가 되어 전자파장해를 방지하기 위하여 규제를 강화하고 각종 법규로 강력하게 대처할 전망이며, 비관세 무역장벽의 수단으로 활용하여 상품의 판매 및 수출입 규제에 이용하고 있다. 한편, 우리나라에서도 91년 7월 관계법

인 전파 관리법을 개정하여 품목별로 단계적으로 규제를 실시하고 있다. 이러한 노력의 일환으로 한국표준연구소, 전자통신연구소, 한국전파연구소를 비롯한 관련 연구소들과 산업체에서 전자파장해에 관한 기초연구를 수행해 오고 있다.

최근에는 소형화·경량화 추세와 대량 생산에 의한 저렴한 가격 및 디자인 용이성으로 인해 컴퓨터, 휴대폰 및 대부분의 전자제품이 하우징 재료로 플라스틱을 사용하고 있다. 그러나 플라스틱은 전기 절연체로 전자파 차폐 재료로 적합하지 못하므로 다음의 네 가지 방법으로 플라스틱 하우징에 도전성을 부여하여 전자파장해 차폐효과를 얻을 수 있다^[7]. 플라스틱에 전자파 차폐성을 부여하는 방법으로는 ① 금속 박막을 플라스틱에 씌우거나, ② 플라스틱에 도전성 표면층으로 코팅처리 하거나, ③ 플라스틱에 도전성 충전제를 혼입하는 방식으로 충전제는 보통 금속 입자나 섬유, 금속이 코팅된 유리 섬유, 탄소섬유 및 카본블랙 등을 사용한다. 마지막으로 ④ 플라스틱 자체의 도전성을 크게 하는 방법 등을 생각할 수 있다.

이 중 도전성 플라스틱은 플라스틱에 금속섬유나 금속미립자 등의 도전성 충전제를 혼입하는 방식으로 알루미늄, 구리, 스테인리스 등의 금속을 단섬유나 flake화하여 플라스틱에 섞어 전기전도성을 높인 것이 대표적이다. 하지만 금속섬유 외에도 유리섬유에 각종 금속을 도금한 것이나 탄소섬유에 니켈을 도금한 것을 짧게 잘라 혼입한 것도 있다. 미국의 Compmat사의 MCG (Metal Coated Graphite Fiber)의 경우, 섬유직경은 8 μ m이고 약 6mm 길이로 chopping되어 aspect ratio(length : diameter)가 780 : 1로 커서 낮은 충전율에도 도전성 네트워크(network)를 잘 구성되어 높은 전자파 차폐효과를 보였다^[8]. 최근에 Celstran사는 나일론(Nylon) 6 결합재에 탄소섬유를 35%나 충전시킨 휴대용 컴퓨터 하우징 재료를 개발하였다^[9]. 이러한 탄소섬유 충전 재료는 좋은 EMI/RFI 차폐효과, 정전기 제거효과 및 전기전도성을 보여 도료나 도금 등의 값비싼 2차 코팅이 불필요하였다.

나노 탄소섬유는 탄소를 함유하는 가스가 니켈, 코발트, 철과 같은 전이금속의 substrate 위에서 열분해 반응될 때 생성되는 직경이 100nm 정도 되고 길이가 수십~수백 μ m에 이르는 섬유형태의 탄소재료로 나노 탄소섬유(carbon filaments 혹은 carbon nanofiber)라고 불린다^[10]. 나노 탄소섬유는 흑

연화도가 섬유로서 높은 도전성을 가지고, 섬유의 크기가 아주 미세하여 외관상 표면적이 비교적 큰 것으로(약 $300\text{m}^2/\text{g}$) 알려져 있어^[11] EMI 차폐재료로 적합한 조건을 갖고 있다. 이러한 나노 탄소섬유는 촉매로 사용되는 전이금속의 종류와 증착반응의 조건에 다양한 구조 즉, 직선형, branched, twisted 및 helical형 등으로 제조될 수 있고^[12,13], 증착반응이 종료된 후 촉매입자들은 극 미세섬유의 끝 부분이나 내부에 잔존한다. 여러 가지 구조 중에서 특히 helical이나 코일(coil) 형태의 나노 탄소섬유가 뛰어난 EMI 차폐효과를 나타낸다고 보고하고 있다^[14]. 미국의 Hyperion Catalysis International사는 에틸렌으로 제조한 나노 탄소섬유 페인트에 2~5% 정도의 첨가로 직접적인 정전기 도장과 효율적인 정전기 소산이 가능하였다고 보고하였다^[15].

3. EMI 시험관련 규격

가. 민수규격

과거에는 무선 통신의 성능을 보호하기 위하여 전기전자기기로부터 발생되는 전자파장해를 규제하여 왔으나 산업기술의 발전에 따라 가정, 사무실 산업현장 등에 전기제품 및 통신기기를 많이 사용함에 따라 전자파환경이 악화되었다. 이에 따라 제품의 전자파 내성을 강화하는 데 많은 노력을 기울여 왔으며 현재 우리나라뿐만 아니라 유럽 공동체에서도 전자파 내성에 대한 규제를 강화하고 있다. EMC로 인한 문제가 대두됨에 따라서 미국 및 유럽 선진국들은 EMC 문제의 표준화 작업을 준비하였고, 자국 내에서 사용되어지는 특정 제품군에 대해서는 이 표준화에 만족하도록 강제 규격을 만들었다. 상기 특정 제품군은 전기 및 전자 관련 산업 거의 전체에 이르고 있으며, 산업의 발달로 그 확대범위가 급속히 증가하고 있는 추세다.

국제 규격 동향과 국내 관련 업체와의 관계를 살펴보면 이러한 규격은 단순히 표준화된 규격을 넘어서 선진 각국의 무역장벽 수단으로 이용되고 있다. 이 추세는 90년대를 넘어서면서 급팽창하고 있고, 지금 이 순간에도 또 다른 관련 규격이 만들어지고 있다. 이러한 규격은 각국마다 대동소이 하면서도 약간씩 차이를 가지고 있는데, 각국들의 이해가 상호 규격인증으로 음

직이면서 각국의 규격들을 하나로 통일시킨 안이 제안되어서 조만간 시행될 예정이다.

이러한 규격은 유럽을 중심으로 한 IEC 규격(International Electrotechnical Committee)이 대표성을 띠고 있으며, 통일안인 CISPR 규격 또한 이를 근간으로 하고 있다. 각국들의 규격을 살펴보면 미국은 FCC, UL, SAE 및 MIL 규격 등을 사용하고, 유럽은 IEC, CE, EN, VDE, NEMKO, CISPR 및 ISO 규격 등을 활용하고 있다. 일본, 중국, 소련, 기타 국가에서는 자국 규격을 사용하고 있지만, 통일된 CISPR 규격을 사용하려는 추세이다. 우리나라에서는 최근에야 규격이 제창되었지만, 보호 차원의 무역장벽보다는 수출 장려라는 특수성 때문에 CISPR 통일 규격으로 가자는 안이 지배적이며, 사실 그렇게 움직이고 있다.

전자파장해 및 내성의 최적 조건을 만족시키기 위해 국제적 전문가그룹으로 구성된 CISPR(International Special Committee on Radio Interference, 국제전자파장해 특별위원회)에서 매년 회의를 개최 규격의 제 개정 작업을 추진하고 있으며, 각국의 의견을 최대한 반영 투표에 의해 규격을 확정시키고 있다. 우리나라도 1996년 폴란드 바르샤바 CISPR회의부터 참석하기 시작하여 매년 10여 명의 전문가가 참석하여 국제규격 제 개정작업에 참여하여 지속적인 활동을 하고 있다. 국내 규격은 1997년 정보통신부에서 고시된 전자파 장해방지규칙과 전자파보호(내성)에 관한 규칙이 있으며, 1999년부터 전파연구소에서 제 개정 작업을 추진해 2000년 하반기에 새로운 기준을 고시하였다.

국내 업체의 동향을 살펴보면, 대기업들은 이미 선진국 각국 규격에 준한 설비들을 구축하였지만, 중견업체 이하 거의 모든 중소기업들은 규격의 특수성과 설비 비용의 문제점, 관련 전문인력의 문제로 인해 외주 위탁을 하고 있는 실정이다.

나. 군사규격

EMI 시험 관련 군사규격은 1960년대 후반 미국이 제정한 MIL-STD-461/462 규격이 전 세계적으로 공통 적용되고 있는데, 당시 각 군별로 산재해 있던 관련 규격들을 통합하여 새로운 규격으로 제정한 후 <표 2-4>와 같

은 변천 과정을 거쳐 현재의 MIL-STD-461E를 발간하게 되었다.

유럽 각국 및 일본의 EMI 군사규격은 미 군사규격을 각국 실정에 맞게 변경하여 사용하고 있다. 군사장비에 대한 EMI 요구 성능이 일반 상용 장비보다 더욱 엄격하다는 것은 관련 규격서를 서로 비교해보면 잘 알 수 있다. 군사규격의 시험한계치가 상용 규격보다 다소 엄격하기 때문에 군사규격을 만족시키는 것이 어렵고 요구규격을 만족시키기 위해서는 추가적인 EMI 억제 대책을 강구해야 하므로 장비의 무게 및 비용이 증가하게 된다.

<표 2-4> 장비 관련 군사규격 변천 과정

규격번호	개선사항
MIL-STD-461/462 (1967. 7. 31)	○ MIL-I-6181 등 10개 규격 통합 ○ 대상장비 4 Class, 24항목 분류시험
MIL-STD-461A/462 (1968. 8. 1)	○ 육/해/공군별 수정판 발간(Notice 1-6) ○ 시험절차보완
MIL-STD-461B/462 (1980. 4. 1)	○ 운용환경별 세부분류 : 10 Part, 21항목 분류시험
MIL-STD-461C/462 (1986. 8. 4)	○ EMP 시험항목 추가 : CS10, CS11, CS05
MIL-STD-461D/462 (1993. 1. 11)	○ 체계단위 시험 제외 ○ 전자파내성(RS103) 시험규제 강화 ○ 협대역/광대역 구분 삭제
MIL-STD-461E (1999. 8. 20)	○ CS114 적용 limit 일부 조정 ○ CS115, 116 반드시 적용하도록 변경 ○ RS103 적용주파수 변경

4. EMI/EMC 측정 및 시험

대부분의 방해 전자파는 공중으로 방사되거나 또는 장비에 연결된 전원선이나 신호선을 통하여 전도된다. 전자파 방해의 종류는 이러한 매개경로의 형태에 따라 크게 복사성과 전도성으로 나뉘어 진다. 복사성 전자파 장애는 다시 복사방사와 복사내성으로 구분되며, 전도성 전자파장애 역시 전도방사와 전도내성으로 분류할 수 있다.

전자파 방사 특성을 평가하기 위해서는 시험대상기기로부터 전도되거나 방사되는 전자파를 잡아내어 정확히 그 스펙트럼 특성(진폭, 주파수 등)을 측정해야 한다. 그리고 전자파 내성 특성은 정확히 특성을 알고 있는 전자기 신호를 발생시켜 시험대상기기에 가해주고, 이 기기의 성능 저하나 오동작, 그리고 명시된 규격에 벗어나는지를 관찰함으로써 평가할 수 있다. 이러한 측정에서 어려운 점은 시험대상기기의 성능 저하나 오동작을 객관적으로 평가해야만 하는 것인데, 시험대상기기가 어떠한 전자파 환경에서 어떤 목적으로 사용되는가를 충분히 고려하여 평가해야 하기 때문이다.

일반 상용 장비는 장비 자체로 기능을 발휘하기 때문에 관련 EMI 시험시설 및 장비도 소형이지만 항공기, 장갑차, 전차 등과 같이 각종 전기전자장비가 종합된 무기체계의 EMI 시험을 위해서는 무기체계 전체를 시험시설 내에 넣고 전장(Battle Field)에서의 전자파환경과 유사한 전자장으로 EMI 시험을 수행해야 한다. 군사장비에 대한 EMI/EMC 시험시설의 종류는 차폐시설과 야외 시험장(Open Test Site)이 있으며 일반적으로 차폐시설이 많이 사용되고 있다.

항공무기를 비롯한 대부분의 무기체계가 운용 중 접하게 되는 전장 전자파 환경은 낙뢰(Lightning)와 같이 자연적 원인에 기인하는 과도 전자파환경과 레이더/통신기 등 전기/전자장비 운용에 따른 인위적인 전자파환경이 상존하고 있으며 이러한 체계 외부 환경 하에서도 체계 내부의 구성장비 간 전자파간섭, 더 나아가 부품단위의 커플링 현상 등 매우 복잡하고 다양하게 존재하므로 이를 체계적으로 분류/정량화하여 통제할 필요가 있다.^{[16],[17]}

무기체계에 적용하는 전자파시험 기준은 국가별 또는 그룹별(NATO)로 적용 항목, 시험주파수 및 기준치(Limit 또는 Threshold Level)가 다소 차이점이 있으나 시험 목적, 적용 대상물 분류 및 적용 기준에 상호 유사성이 있으며, 일반적으로 미 군사표준서인 MIL-STD-464 및 MIL-STD-461 표준서가 각각 시스템단위 및 장비단위 시험기준서로 사용되고 있는 추세이다.

예를 들어 항공기의 경우 다음 항목을 적용하여 시험 분석하고 있는 추세에 있다.

가. 안전여유치(Safety Margin)

측정체계 운용성능 요구조건, H/W 허용오차 및 설계검증 과정의 불확실성에 대비한 전자기적 성능 여유치 확보를 목적으로 하며 낙뢰, EMP, 체계 외부 EME 등으로부터 전기기폭장치(EED), 안전핵심(Safety Critical)장비 및 임무핵심(Mission Critical)장비가 피해를 입지 않을 수 있는 여유치 보유 여부를 측정 분석한다. 대상 전기기폭장치는 외부장착물인 무장 및 관련 기폭 회로를 대상으로 하며 16.5dB의 여유치(15% of MNFS: Maximum No-Fire Stimulus)를 확보해야 한다. 안전/임무핵심장비는 무장제어, 비행/항법/조종 계통 등을 대상으로 하며 6dB의 여유치를 확보해야 한다.

나. 체계 내 전자기적합성(Intra-system EMC) 시험

체계 외부의 전자파환경 영향을 배제한 상태(무반사차폐실 Anechoic Shielded Chamber)에서 항공기 부속체계(Subsystem)와 장비의 정상 동작 중 발생 가능한 상호간섭현상을 점검하는 시험으로 각각의 장비를 가해(Culprit) 장비와 피해(Victim)장비로 분류하여 매트릭스(Matrix)를 작성한 후 항공기 운용 절차에 의거 지상모드/이륙/비행모드 등 모의 가능한 운용 상태에서의 장비 상호 간 간섭 여부를 확인하고, 간섭발생 시 간섭원 및 간섭경로를 파악해야 한다. 탑재 통신기의 경우는 가해장비인 동시에 피해장비일 수 있으므로 가용주파수 전 대역에 걸쳐 시험 수행한다. <그림 2-3>은 미국 커틀랜드에 설치되어 있는 항공기용 EMI/EMC 시험시설로서 비행시뮬레이션, 적군 아군 레이더 및 C³I 정보 데이터베이스들이 결합되어 시험실 내에서 전투 상황과 유사한 시뮬레이션을 할 수 있다. 시험시설 내부에는 항공기를 공중에 매달고 시험할 수 있는 대형 크레인이 설치되어 있다.

<그림 2-3> Anechoic Chamber에서 시험 중인 F-16 전투기



다. 체계외부 전자파환경(External EME) 시험

대상 항공기 외부의 RF 간섭원(Source : 지상/해상/공중의 고정형 또는 이동형, 피아를 망라한 레이더, 전자전장비 및 통신기기)으로부터 방출되는 전자파에너지를 모의하여 피시험체계에 주사한 상태에서 체계 운용모드별 성능 이상 유무를 확인한다. 시험 주파수대역은 10KHz~40GHz로 가능한 모든 RF/MW 간섭원을 포함하고 있으며, 전파전달 형태에 맞게 수직/수평 각 편파 조건에서 수행하며 통신신호 변조 특성을 고려하여 시험한다.

<그림 2-4> External EME 시험(미국 RTTC)



(a) 야외 시험실

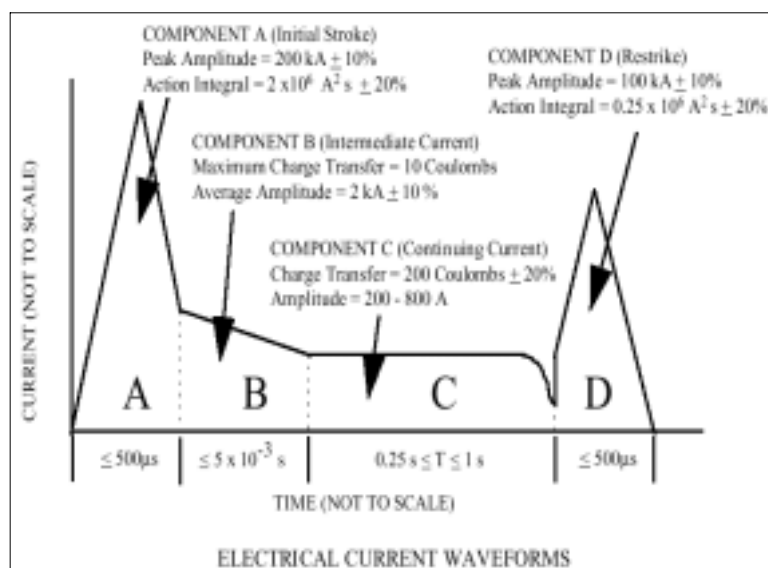


(b) 차폐실

라. 낙뢰(Lightning) 시험

직접뢰(Direct Lightning) 및 간접뢰(Indirect Lightning)로 구분되며 직접뢰 시험은 항공기의 주 뇌격지역인 레이돔, 주익 및 미익 종단부와 연료주입구 등에 대한 부품단위시험으로 전기체에 대해서는 항공기 파손의 위험성이 있으므로 제한한다. 직접뢰시험에서는 <그림 2-5>와 같이 최대전류 200kAmp.의 낙뢰전류파형을 인가한다.

<그림 2-5> 낙뢰전류 파형

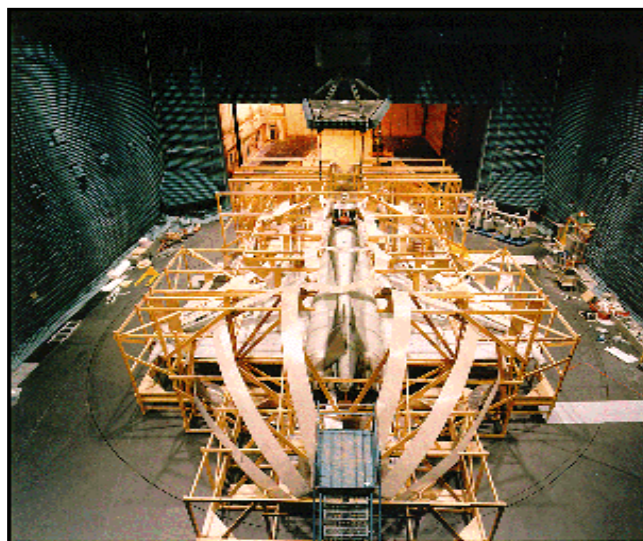


<그림 2-6> 레이돔 직접뢰 시험



항공기체에 대해서는 Coaxial Method로 저전류 모사시험을 수행한다. 그림에서와 같이 동체주위를 절연체를 이용하여 일정 간격의 접지선로를 형성해 주고 동체에 모사된 파형의 저전류를 인가하여 안전 임무 핵심장비 관련도선 및 기폭회로에 유입되는 전류 전압치를 측정한 후 외삽법으로 실제 낙뢰 전류에 대한 환산치를 구하여 해당 장비를 비롯한 시스템의 안전 여유치를 분석한다.

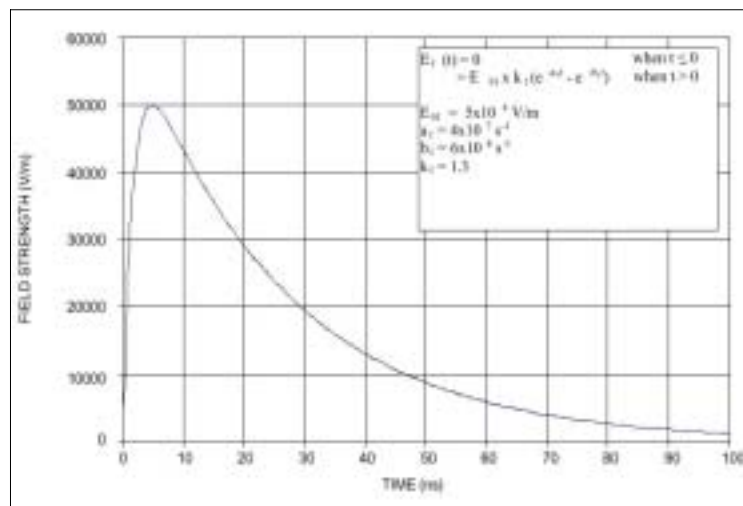
<그림 2-7> 유로파이터 간접뢰시험(영 BAE)



마. 전자파펄스(EMP) 시험

고고도 전술핵폭발(HEMP) 또는 신형 비살상무기의 일종인 EMP탄에 의한 전자파펄스 위협을 모사한 시험으로 EMP 침투경로에 대한 전자파 차폐효과 시험, 펄스전류주입(Pulsed Current Injection, PCI) 시험과 시스템 방어성능 입증시험으로의 연속파인가(Continuous Wave Immersion, CWI) 시험, 위협 수준주사(Threat- Level Illumination, TLI) 시험이 있다. 인가하는 펄스파형은 HEMP의 경우 <그림 2-8>과 같이 표준화되어 적용되어 왔으나 최근 개정된 464A 표준서에 의하면 MIL-STD-2169(Classified) 표준서에 통합되어 기준치가 공개되지 않고 있다.

<그림 2-8> EMP 파형



바. 정전기방전(ESD) 시험

비행 중 기체에 대전되는 P-static의 방전, 수직이착륙기나 공중급유기의 방전전압(300kV), 인체 방전전압(25kV)으로 인해 연료 점화, 무장 오폭, 인체 감전쇼크 등이 발생할 수 있는데, 이러한 시스템의 위협요소에 대해 적절한 대책설계가 적용되었는지 여부를 검증하는 시험으로 병기에 대한 인체정전기방전 시험의 경우 MIL-STD-331 기준에 따라 수행된다.

사. 전자파복사위험(RADHAZ) 시험

레이더나 마이크로파오븐 같은 데서 나오는 강도가 높은 전자파에 인체가 일정한 시간 이상 노출되면 생체적인 해를 줄 수 있다. 전자파는 그 주파수에 따라서 생체에 무척 해로울 수 있는데, 어느 정도의 전자파 복사가 인체에 해로우냐 하는 데는 아직도 논란이 많다. 인체에 해롭지 않은 전자파 복사의 한계치를 정하는 데 널리 사용되는 몇 가지 기준이 있다. 그 중에 하나는 미국국가표준협회(ANSI, American National Standards Institute)의 기준이다. 여기에 표시된 한계치 이상으로 노출되면 생식기관에 손상을 가져와 불임(不妊)을 일으키거나 안구에 손상을 가져와 백내장 등을 일으킬 수도 있다고 한다.

그러나 낮은 세기의 전자파에 오랫동안 노출되었을 경우 누적되는 전자파의 생체 영향이 있는지 또는 순간적으로 강한 전자파가 인간 행동에 어떤 나쁜 영향을 주는지에 대하여는 잘 알려져 있지 않다. 하지만 일부 연구보고에 따르면 비록 약한 전자파라도 장시간 지속적으로 노출되면 인간의 중추신경에 영향을 준다고 한다. 이것은 주로 순간적으로 강한 펄스파, 중추신경과 연계된 아주 짧은 시정수(time constant), 전자파 노출 누적 등의 복합 결과로 보고 있다. 이에 따른 증세는 두통이나 노곤함 등이라고 말하고 있다. 컴퓨터 터미널 앞에서 장시간 일하는 사람들이 머리가 자주 아프다는 얘기를 종종 듣는데 그 원인이 눈의 피로에서 오는 것인지 또는 EMI에서 오는 것인지는 알 수 없으나 더 많은 조사와 연구가 이루어져야 한다고 생각한다.

RADHAZ는 대상에 따라 병기, 연료, 인체에 대한 위험(Hazard)으로 분류하여 시험하고 통제한다. HERO(Hazard of Electromagnetic Radition to Ordnance)는 병기에 대한 전자파복사 위해로 MIL-STD-464A par. 5.8.3의 표 3A & 3B에는 체계의 운용전자파환경에서 병기가 오동작을 일으켜서는 안 되는 전계 요구치를 병기의 이동/저장, 분해/조립, 장전/제거 및 발사 등 전주기에 걸쳐 제시하고 있다. HERF(Hazard of Electromagnetic Radition to Fuel)는 연료에 대한 전자파복사 위해로써 연료 취급 중 고출력 전계로 유도된 아크가 증발되는 연료에 점화되는 것을 방지하기 위해 연료취급 또는 급유지역의 전계측정을 통해 위험지역을 표시하고 통제한다. HERP(Hazard of

Electromagnetic Radition to Personnel)는 항공기 고출력안테나 주위의 전계 측정(Survey)을 통해 DoDI 6055.11기준 노출 요구치에 준한 접근인원의 안전거리를 결정하고 통제한다.

함정 상부의 경우에는 통신기(HF/VHF/UHF 송신기), ECM/ESM 장비 및 레이더 등이 운용되고 있으며, 운용 시 방사되는 전자파는 인체, 병기 및 연료 등 광범위하게 영향을 미치고 있다. 상부구조에 형성되는 전자파환경은 수십 kHz에서 수십 GHz까지 광대역 분포를 보여 주고 있다. 전계분포는 수십 V/m에서 수백 V/m까지 운용조건에 따라 높은 전계의 분포를 보여주고 있다. 인체, 병기 및 연료에 대한 RADHAZ 분석을 수행하기 위해서는 이에 적합한 기준 규격서를 설정하고, 함상의 금속구조물에 의한 영향을 고려한 전자파환경 예측이 수행되어야 한다. 그리고 각 통신기, 고출력 전자장비 및 레이더의 운용주파수를 세분화할 필요가 있다. 인체에 대한 RADHAZ 분석은 승조원의 통로나 함상에서 승조원이 주로 활동하는 지역을 포함해야 하고, 병기에 대한 RADHAZ 분석은 주요 센서나 전자파에 민감하게 응답할 수 있는 장비가 설치되는 위치가 포함되어야 하며, 연료에 대한 RADHAZ 분석은 연료 주유와 관계되는 모든 지역이 포함되어야 한다. 따라서 RADHAZ 분석을 위한 분석점을 충분히 설정해야 한다.

아. 방사통제(EMCON) 시험

적에게 탐지될 수 있는 비의도적인 전자파신호의 방사량을 통제하기 위해 수행되며 대상 항공기의 어느 방향에서건 시험주파수 500KHz~40GHz 범위에서 $-110\text{dBm/m}^2 @ 1 \text{ nautical mile}$ ($-105\text{dBm/m}^2 @ 1\text{km}$) 이하의 방사요구조건을 만족해야 한다. 항공기의 임무핵심장비 동작 중 의도적인 신호방출이 필수적일 때는 피탐 확률 및 취약성을 산출하여야 한다.

제3장 기술정보 분석

1. EMI/EMC 분야 국내외 학술정보

국내의 경우 EMI/EMC 분야를 전문으로 발표하고 게재하는 학회는 전자과학회가 대부분 그 역할을 하고 있다. 전자과학회의 경우 초창기에는 EMI/EMC 분야의 논문이 다소 발표되기는 하였으나, 최근에는 EMI/EMC 분야 자체보다는 EMI 소스인 안테나 설계 등 응용 분야로 방향이 계속적으로 전환되고 있다. 최근 논문발표 분야는 EMC/EMI 분야, 안테나 분야, 마이크로파 능동/수동회로 분야, 광파 분야, 통신/시스템 분야, 전자파 전파/산란 분야 및 기타 전자파 기술 관련 분야 등이다^[18]. 특히 이동통신의 발달로 인해 휴대폰에서 발생하는 전자파가 인체에 미치는 영향 등을 다룬 논문들이 있으며, 휴대폰 자체 성능에 필요한 세부기술인 초고주파 필터, 소형안테나 설계 및 케이블 간 cross-talk 등의 논문이 급증하고 있다^[19].

외국의 경우 EMI/EMC 분야는 IEEE에서 주도적으로 연구가 진행되고 있다. 세부 분과로 "Electromagnetic Compatibility, IEEE Transaction on"이 있으며, 국내와 유사하지만 추가로 케이블과 관련하여 하네스 설계이론, 차폐율 분석 및 결합분석(Coupling Analysis), 고출력 전자파분석에 관련된 분야로서 EMP(Electromagnetic Pulse)/HPM(High Power Microwave) 신호의 침투/결합이론이 발표되고 있다^[20]. 최근 컴퓨터와 수치해석 S/W의 발달로 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션모델 관련 논문이 지속적으로 증가 추세에 있다.

그러나 대부분 시스템 수준의 모델링보다는 소형 안테나 모델링, 안테나와 안테나 간 결합분석, 케이블과 케이블 간의 침투/경로 분석 등이 주류를 이루고 있다. 또한 낙뢰(Lightening)에 대한 모델링과 검증 기술이 지속적으로 발표되고 있다. 도청기술과 관련하여 Tempest 응용 논문이 조금씩 다루어지고 있지만 핵심적인 부분은 거의 공개하고 있지 않으며, 정전기방전(ESD, Electro-Static Discharge) 분야도 산업기술과 관련하여 일부분 발표되고 있다. 산업체에서 필요로 하는 분야에 집중되는 현상이 보이고 있는데, 그 예로 전자회로의 기본이 되는 PCB(Printed Circuit boards)에 대한 모델링 논

문이 꾸준히 늘고 있다.

국내의 기술 동향과 외국의 경우에는 다소 차이점이 있다. 국내에서는 상당히 많은 논문이 이동통신과 관련된 안테나, RF 부품, 노이즈 차단 관련 이론 등에 치중하고 있지만 외국의 경우 다양한 분야에서 각자의 독특한 이론과 검증에 관련된 논문을 발표하고 있다.

2. 국내외 특허 동향

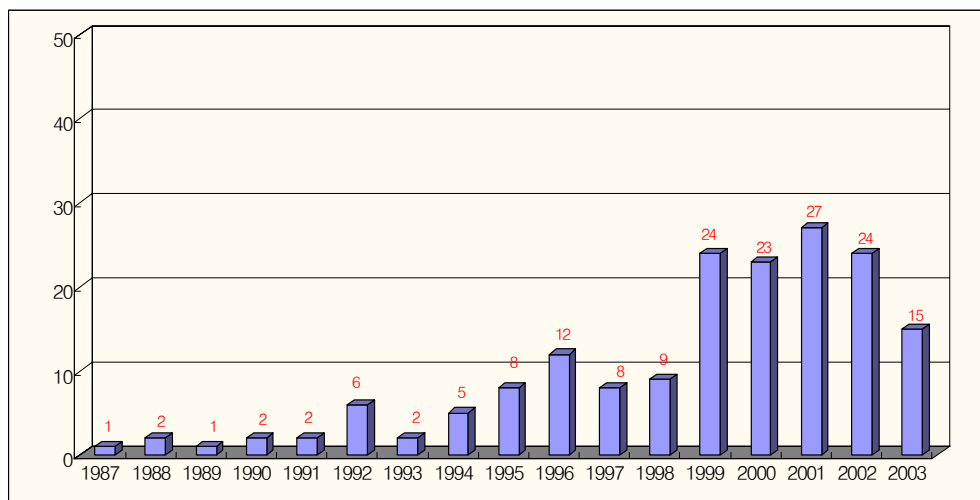
본 조사에서는 특허정보원에서 제공하고 있는 국내특허 데이터베이스(www.kipris.or.kr)를 이용하였다. 그리고 미국특허는 Delphion 데이터베이스(www.delphion.com)를 이용하여, 특허 검색 및 분석이 이루어졌다.

가. 국내특허 동향

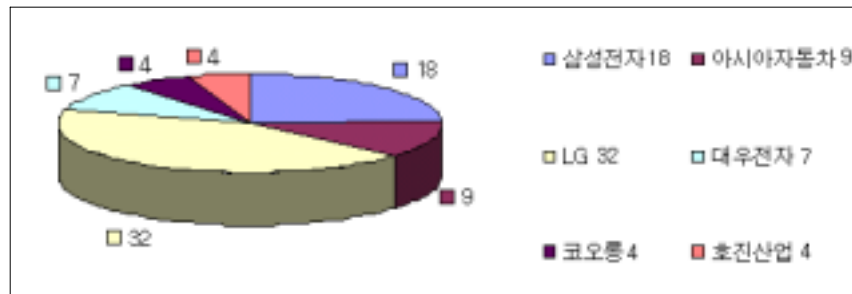
특허정보원의 데이터베이스를 이용하여, 발명의 명칭과 초록에 “전자파 & 차폐” 포함하는 특허를 검색한 결과 총 171건이 검색되었다.

- “전자파 시험”은 3건 등록, 1건이 출원
- “전자파 예측”은 1건 등록, 2건이 출원

<그림 3-1> 국내특허 연도별 출원 현황(검색식 = 전자파 & 차폐)



<그림 3-2> 국내특허 주요 업체별 등록 현황

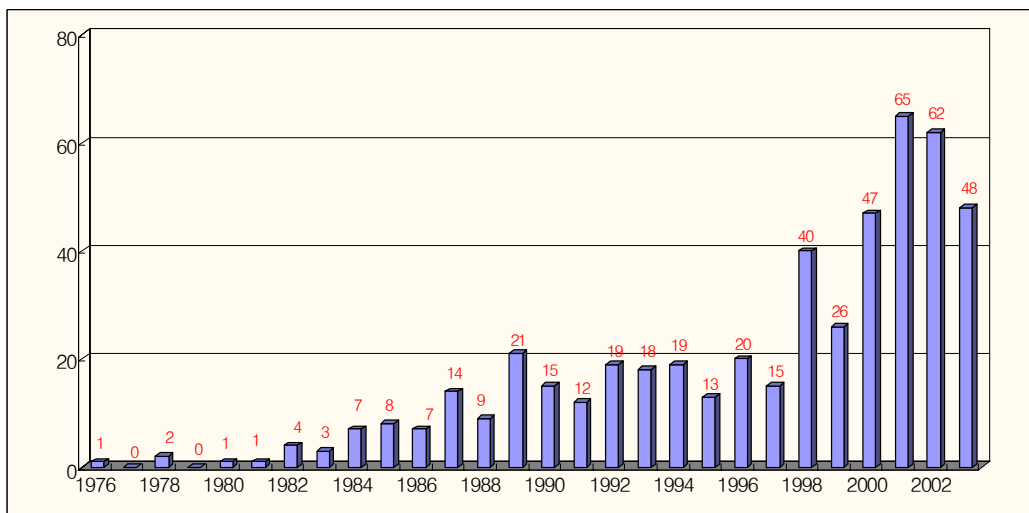


나. 해외특허 동향

해외특허는 특허데이터 베이스 Delphion을 이용하여 미국 특허를 검색하였다.

- EMI Shield: 497건
- EMI Test: 5건
- EMI Countermeasure: 3건

<그림 3-3> 미국특허의 연도별 등록 추이(I) (검색식 = EMI & Shield)



<표 3-1> 미국특허의 주요 등록인별 등록건수(검색식 = EMI & shield)

회사	등록건수
Akzo NV	6
Allied Corporation	5
AMP Incorporated	8
Apple Computer, Inc.	5
Avaya Technology Corp.	4
Cascade Microtech, Inc.	12
Compaq Computer Corporation	6
Dell Products L.P.	14
Digital Equipment Corporation	7
General Electric Company	20
Hewlett-Packard Company	18
Hon Hai Precision Ind. Co., Ltd.	22
IBM	7
Intel Corporation	12
Lucent Technologies, Inc.	10
Motorola, Inc.	9
Northern Technologies Ltd.	9
Parker-Hannifin Corporation	18
Raychem Corporation	5
Stratos Lightwave, Inc.	7
기타	293
총	497

<표 3-2> 전자파 차폐 관련 주요 미국특허(검색식 = EMI & Shield)

등록번호	등록제목	출원인	등록일자	점수
US6590784	Snap-on-EMI-shield-retention system for use with electronic devices	Hewlett-Packard Development Company, L.P.	2003-07-08	89%
US6482017	EMI-shielding strain relief cable boot and dust cover	Infineon Technologies North America Corp.	2002-11-19	89%
US5811050	Electromagnetic interference shield for electronic devices	none	1998-09-22	89%
US6570085	Electromagnetic interference shield for electronic devices	Shielding For Electronics, Inc.	2003-05-27	89%
US6283791	EMI shielded connector of a hub	Accton Technology Corporation	2001-09-04	88%
US5825634	Circuit board having an EMI shielded area	BFGoodrich Avionics Systems, Inc.	1998-10-20	88%
US5519585	Sandwiched insulative/conductive layer EMI shield structure for printed circuit board	Dell USA, L.P.	1996-05-21	88%
US6608766	Integrated EMI-shield-and-bezel-retention feature for use with electronic devices	Hewlett-Packard Development Company, L.P.	2003-08-19	88%
US5565656	Self-fastening EMI shielding enclosures	Lucent Technologies Inc.	1996-10-15	88%
US6624432	EMI containment apparatus	Shielding for Electronics, Inc.	2003-09-23	88%
US6624353	Electromagnetic interference shield for electronic devices	Shielding for Electronics, Inc.	2003-09-23	88%
US6613976	Electromagnetic interference shielding gasket	Vanguard Products Corporation	2003-09-02	88%
US6410846	Electromagnetic interference shielding device	Vanguard Products Corporation	2002-06-25	88%
US5335147	EMI shield apparatus and methods	Alcatel Network Systems, Inc.	1994-08-02	87%
US6596937	Board-level conformal EMI shield having an electrically-conductive polymer coating over a thermally-conductive dielectric coating	Hewlett-Packard Development Company, L.P.	2003-07-22	87%
US5226210	Method of forming metal fiber mat/polymer composite	Minnesota Mining and Manufacturing Company	1993-07-13	87%
US5124198	Metal fiber mat/polymer composite	Minnesota Mining and Manufacturing Company	1992-06-23	87%
US6521828	Notched gasket for low closure force EMI shielding applications	Parker-Hannifin Corporation	2003-02-18	87%
US6348654	Compound waveform gasket for low closure force EMI shielding applications	Parker-Hannifin Corporation	2002-02-19	87%
US6431764	Optical transceiver RJ-jack with EMI shield	Stratos Lightwave	2002-08-13	87%

US6497588	Communications transceiver with internal EMI shield and associated methods	Stratos Lightwave, Inc.	2002-12-24	87%
US5286318	Method of forming EMI shielded enclosures, EMI shielded enclosures and EMI shields	The Curran Company	1994-02-15	87%

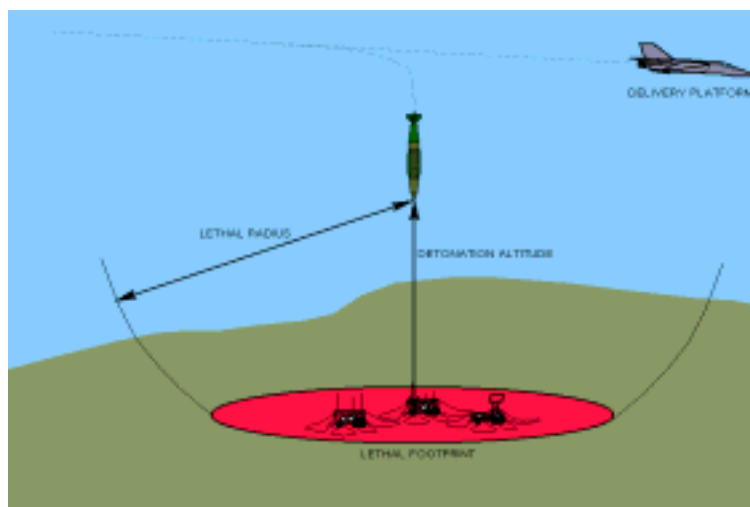
제4장 전망

1. 해당 기술의 전망과 예측

국내에서는 1980년대 중반까지는 체계개발 시 EMI 문제가 발생되면 그 문제에 대해 단편적으로 해결하였으며, 발생하는 문제도 크게 심각하지는 않았다. 그러나 고성능 전자장비가 밀집하여 탑재된 체계를 개발함에 따라 EMI 문제가 점점 심각해지므로 1980년대 후반부터 체계적인 분야별 연구가 진행되었다. 각종 EMI 시험시설 및 장비를 갖추고 시험기법을 개발하였고 체계개발 시 EMI 통제계획을 수립하여 전체 체계에서부터 부속장비 수준까지 체계적으로 EMI를 억제할 수 있는 설계대책을 적용시켜 개발되는 체계의 EMI를 최소화 시키고 있다. 또한 EMI 대책을 과학적으로 수립하기 위해 EMI환경예측 및 분석 소프트웨어를 개발하여 체계 설계에 적용하고 있다.

미국의 경우 전투기를 수용할 수 있는 무반사 차폐실을 보유하고 있지만 국내에서는 아직 준비 중에 있다. 향후 시험용 초대형 전자파시험시설이 설치되면 해당 시험기술 분야의 비약적인 발전이 기대되며, 앞으로 TEMPEST 시험기술과 금번 이라크전에서 선보였던 EMP탄과 같은 고에너지 전자파환경 시험기술과 방어기술의 발전이 예상된다.

<그림 4-1> EMP탄 운용 개념도



전기, 전자, 통신 분야의 급속한 기술발전으로 무기체계 주변의 전자파환경은 현재의 위험 수준보다 훨씬 더 열악해질 것은 확실하며 이에 대한 대책 설계 기술과 시험평가 기술이 동등 이상 수준으로 발전해야만 무기체계의 성능 및 안전을 책임질 수 있다. 이를 위해 향후 환경 변화의 적극적 대응, 기술발전 선도를 위해 관련 시설장비의 능력 보강 및 투자가 국내에서도 지속적으로 이루어져야 한다.

제5장 결론

EMI/EMC 분야 기술 현황에 대해 각 분야별로 개략적으로 소개하였다. 무기체계의 성능이 고도화되면 될수록 EMI에 더욱 취약해지게 될 뿐만 아니라 앞으로는 전자파 신호를 이용하여 각종 장비 및 무기체계를 인위적으로 무력화시키는 “전자파테러”의 단계도 머지않아 도래할 것으로 예상된다. 그럴 경우에는 EMI를 발생시키는 장비 자체의 전자파 잡음뿐만 아니라 인위적인 강한 적성 전자파에 대한 방어대책도 수립해야 할 것이다. 현 단계에서 생각할 수 있는 장비 자체에서 발생하는 EMI만 고려하더라도 무기체계 개발 초기단계에서부터 EMI 억제연구가 함께 진행되어야 하며, EMI 억제 능력을 더욱 고도화시키기 위해서는 산·학·연에서 보다 많은 관심과 투자가 있어야 할 것으로 판단된다.

앞으로 민수 분야에서도 휴대폰 등 무선 통신량이 증가하여 전자파환경이 더욱 열악해지고 전산 제어장치를 사용하는 체계(차량, 각종 운동제어장치, 각종 전산망 등)의 수가 계속 증가하므로 EMI 문제를 최소화하기 위해서는 군사장비에 사용하고 있는 각종 대책 기술을 민수 분야에서도 활용해야 할 것으로 예측된다.

오늘날 우리들의 생활은 전기전자기기 없이는 상상할 수 없게 되었고, 앞으로 이들의 사용은 점점 늘어갈 것이다. 이는 EMI/EMC 문제가 심각한 과제로 대두되리라는 것을 뜻하며, 이미 각 분야별로 실제적인 당면 문제가 되고 있다. 국제적으로 이 문제의 심각성이 매우 일찍 인식되어, 많은 연구가 진행되어 왔고, 정부나 산업체 또는 관련되는 사람은 누구나 EMI/EMC 측면에서 접근을 하려고 노력하고 있다. 우리나라의 경우 이 문제의 어려움이나 심각성은 연구기관 등에서 알고 있었지만 적절한 뒷받침이 없어서 많은 연구가 이루어지지 못한 실정이었는데, 최근에 산업계의 당면 문제가 되면서 관심의 대상이 되었다. 또한 정부 차원에서 해결되어야 할 과제들이 늘어나면서 이 문제를 본격적으로 다루기 시작하게 되었다.

현재 많은 산업체에서 전담 부서가 생겨나고 있고 필요 설비를 갖추었거나 갖추고 있는 중이며, 연구기관에서도 준비가 되어있는 상태로 볼 수 있고, 학계에서도 많은 관심을 가지고 있는 상황이므로, 지속적인 투자를 해 나간

다면 우리나라 EMI/EMC의 전망은 밝다고 하겠다.

<참고문헌>

1. 김능수 외, 電磁波障害(EMI/EMC), 산업기술정보원, 1991.
2. Ron Brewer, MIL-STD-461/462, EMC EXPO 1987, ppT.12.18-12.20, May 1987.
3. Radm R. J, Grich, USN, Electromagnetic Environment Engineering, A Solution to the EMI Pabdemic, Naval Enginerrs Journal, pp 202-209, May 1987.
4. Paul Sikora, Testing Military Hardware to Meet Battlefield EMC Technologiy, pp29-34, Non.1987.
5. Li Yiming, Review of EMC Practice for Launch Vehicle Systems, 1998 IEEE International Symposium on EMC, pp459-464, Aug.1988.
6. Ressel V. Carstensen, Navy Accreditaion of EMC Personnel and Lab-oratoties, EMC Technology, pp25-26, Nov.-Dec.1987.
7. <http://www.tno.nl/instit/indus/emc43.html>
8. <http://www.compmat.com/plastics.htm>
9. <http://polymercomposites.com/whatnew/news/menu.htm>
10. Baker, R.T.K., Carbon 27, 315 (1989).
11. Kim, M.S., Rodriguez, N. M., and Baker, R. T. K., Journal of Catal-ysis 131, 60 (1991).
12. Baker, R. T. K. and Harris, P. S., in "Chemistry and Physics of Carbon", Vol 14 (P. L. Walker, Jr. and P. A. Thrower ed.), Marcel Dekker, New York, 1978, P. 83.
13. Rodriguez, N. M., J. Material Research 8(12), 3233 (1993).
14. Motojima, S. and Iwagana, H., Tanso 1996(174), 215.
15. 한국전자과학지, 전자파기술, Vol 13, No.1, 993-10, (2002.)
16. MIL-STD-464A, Electromagnetic environmental effects requirements for systems, 2002.12
17. MIL-STD-461E, Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems & equipment, 1999,8

18. www.kees.or.kr
19. 한국전자과학지, 전자파기술, Vol 14, No.3, pp1-111, 2003.7.
20. www.IEEEExplore.ieee.org, Electromagnetic Compatibility,
IEEE Transaction on(2003)