

# EMC 최근 기술 동향

## 전자파 보안 기술 동향

정 연 춘  
서경대학교 전자공학과

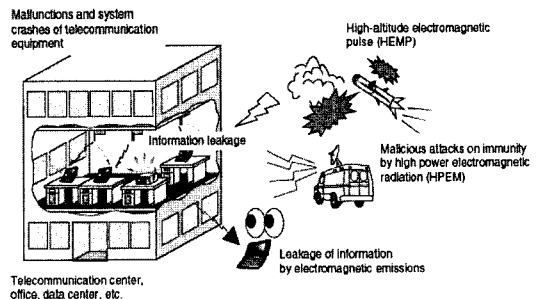
### I. 서 론

지난 해 7월 27일, 미국 백악관에서는 “미국의 전력산업이 고출력 전자파 펄스(EMP: Electromagnetic Pulse)에 얼마나 취약한 지, 그리고 그에 대한 대비를 어떻게 할 것인지”에 대한 청문회가 개최되었다고 사이언스 뉴스가 보도한 바 있다. 보도에 따르면 근래에 들어 국제적으로 화두가 되고 있는 “스마트 그리드 기술”의 핵심인 컴퓨터 제어 회로, 계전기 및 센서 등이 고출력 전자파 펄스에 매우 취약하고, 따라서 전자파 테러에 쉽게 노출되어 전 미국의 전력망을 마비시킬 수 있으며, 복구에 매우 긴 시간이 걸릴 수 있다고 전하고 있다.

이렇듯 근래에 들어 국제적으로 전자파 보안에 대한 중요성이 크게 증가하고 있다. 누설 전자파 차폐를 통한 정보 유출 방지, 고출력 전자파에 의한 에너지·통신 등의 국가 사회 기반 시설의 방호 대책 등이 중요한 화두로 떠오르고 있다. 이는 현대의 사회 기반 시설은 정보화, 자동화 욕구에 따라 많은 전자 통신 장비가 상호 연계되어 있고, 따라서 이들 장비로부터의 정보 누설은 물론 고출력 전자파 펄스에 의한 오동작 등은 국가 안전 시스템 전반에 걸쳐 막대한 피해를 끼칠 수 있다. 특히, 고출력 전자파 펄스에 대한 에너지·통신 등의 사회 기반 시설의 방호 대책이 중요한 화두로 떠오르고 있는데, 거의 모든 정보 통신 장비가 전력망과 통신망에 연결되어 운영되고 있기 때문이다. 미국과 러시아는 물론, 일

본, 독일, 영국, 스웨덴, 노르웨이 등에서는 방호 대책 관련 기술 기준을 비롯하여 다양한 가이드라인과 실무 매뉴얼을 작성하여 대비하고 있다. 특히, 미국은 2003년부터 하원에 전자파펄스위원회를 설치하여 국가의 주요 사회 기반 시설에 대한 대응 방안을 강구하고 있으며, 2004년과 2008년에 매우 많은 분량의 보고서를 발표한 바 있다<sup>[1],[2]</sup>. 우리나라의 안보 현실을 감안할 때 미국의 대응 조치들은 우리에게 시사하는 바가 매우 크다.

본 기술 해설에서는 전자파 보안과 관련된 최근의 연구 동향을 소개한다. 전자파 보안 분야에는 [그림 1]에서 볼 수 있는 것처럼 다양한 정보 통신 기기로부터의 누설 전자파에 의한 정보 유출 방지와 고출력 전자파 펄스에 의한 정보 통신 기기의 오동작이 그 연구 대상이 된다<sup>[3]</sup>. 특히, 고출력 전자 펄스는



[그림 1] 전자파 누설에 의한 정보 유출 및 고출력 전자파 펄스에 의한 정보 통신 시스템의 기능 마비

핵폭발에 의해 발생하는 고 고도 전자파 펄스(HEMP: High-altitude Electromagnetic Pulse)와 고출력 전자파(HPEM: High Power Electromagnetics)로 구분되어 다루어지고 있다. 특히, 이 분야는 과거 군사 보안과 관련된 부분이 많고, 아직 관련 기술 기준 등이 비밀 문서(classified document)로 분류되는 경우가 많으므로 상세히 다루기는 어렵다. 아무튼 본 기술 해설이 이 분야 기술 동향을 이해하는데 조금이나마 도움이 되었으면 한다.

## II. 누설 전자파에 의한 정보 유출 방지

### 2-1 정보환경의 변화

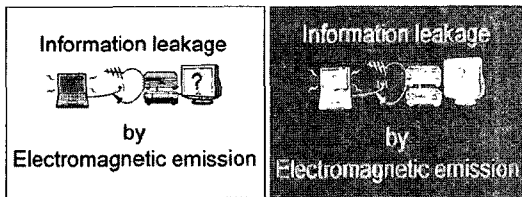
오늘날 유비쿼터스 사회 진입에 따른 다양한 정보기기의 사용으로 누설 전자파에 의한 정보 유출 가능성이 증대되고 있다. 전자 정부의 구현에 요구되는 정보통신망과 행정 정보 등의 안전성 및 신뢰성 확보를 위해 전자 문서를 보관·유통함에 있어서 위조·변조·훼손 또는 유출을 방지하기 위한 대책을 강구하여야 한다. [그림 2]는 개인용 컴퓨터로부터 전원 선을 타고 누설되는 전도 잡음을 탐지하여 복원한 실제 사례를 보여준다<sup>4)</sup>. 또한 인간과 직접적으

로 연결되는 기기(화면 정보 등)는 암호화하기 어렵기 때문에 개인 정보 유출 가능성이 증대하고 있는데, 예를 들면 전자 투표의 도입에 따라 개인의 투표 정보 등도 유출될 수 있으며, 따라서 U-사회 진입에 따라 개인 정보 보호 대책이 시급한 실정이다.

### 2-2 외국의 기술 연구 동향

미국, 영국, 프랑스 등은 80년대 초부터 고감도 수신기를 제작하여 PC에서 발생하는 누설 정보를 탐지·재생하여 도청에 활용하고, 누설 전자파 관련 종합대책을 강구하여 실행 중에 있다. 미국은 NSA(National Security Agency) 주재로 TEMPEST<sup>1)</sup> 관련 정책 및 기준(NACSIM<sup>2)</sup>)을 수립하여 시행 중이며, Systemware사에서는 고성능 TEMPEST 수신 시스템을 개발하였다. 또한 NATO(북대서양조약기구) 회원국에서도 TEMPEST 방지 기준(AMSG<sup>3)</sup>)을 시행하고 있으며, 이러한 기준의 대부분은 비밀로 취급되어 제3국으로의 이전을 엄격히 제한하고 있다. 독일, 스웨덴 등도 고성능 TEMPEST 수신 시스템을 개발·제작하였으며, 등록된 기관이나 국가 이외에는 판매를 제한하고 있고 90년대 초부터 PC 누설 전자파 차폐 장비를 사용으로 판매하고 있다. 아무튼 미국과 대부분의 유럽 국가에서는 TEMPEST 규격을 만족하는 정보통신기기를 개발하여 사용하고 있으며, 또한 수출에 대해서는 엄격한 규제를 적용하고 있다고 할 수 있겠다.

일본은 지난 2004년 10월에 국가정보통신연구소에서 홈페이지에 누설 전자파 재생 시연 내용을 공개하면서 위협성에 대처하도록 하는 경각심을 일깨운 바가 있다. 1994년에 NTT에서는 Systemware사로부터 소프트웨어를 구입하여 100 m 정도 떨어진 위



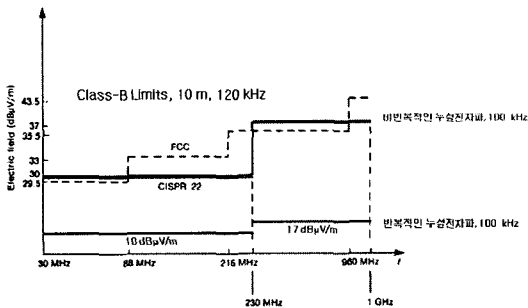
(a) 원래 영상

(b) 복원 영상

[그림 2] 누설 전자파를 이용하여 정보를 복원한 사례

- 1) 특별한 용어의 약어로 지칭되지는 않지만, 흔히 Transient ElectroMagnetic Pulse Emanation SStandard라고 부르기도 한다.
- 2) 현재는 NSTISSAM(National Security Telecommunications and Information Systems Security Advisory Memoranda)으로 규격 명칭이 바뀌었다.
- 3) 현재는 SDIP-27 규격으로 명칭이 바뀌었다.

치에서 영상 재생이 가능하다고 발표한 적이 있고, 2001년 7월에 JNSA(Japan National Security Agency)를 발족하여 군사 수준의 보안 제품 확보 추진과 정보 유출에 대한 보안 대책을 강구 중이다. 또한 2004년 4월에는 정보 보안 관련 학계 및 기업체들이 '신정보보안연구회'를 설립하여 정기적인 세미나 등의 활동을 통해 누설 전자파 침입 및 침입 전자파 기준 및 종합 대책을 포함한 '전자파 보안 가이드 라인'을 작성·발표한 바 있으며, [그림 3]에 100 kHz의 수신기 대역폭에 대한 누설 전자파 방지 기준과 전자파 장해 방지 기준을 비교하였다. 개인용 컴퓨터와 같은 반복적인 누설 전자파를 방사하는 경우, 전자파 장해 방지 기준보다 20 dB 정도 엄격하게 전자파 방사를 규제하고 있음을 알 수 있다.



[그림 3] 누설 전자파 방지 기준과 전자파 장해 방지 기준의 비교

그동안 정보 보안과 관련하여 주로 통신보안(COMSEC) 차원에서 다루어져 왔지만 근래에 들어 전자파보안(EMSEC)도 중요한 영역으로 인식되고 있으며, 국제적으로 전자파 누설 방지를 위한 특수 도료·자재·부품, 화면 폰트 등이 지속적으로 개발되고 있는 추세이다. <표 1>은 전형적인 누설 전자파 대책 수단이다.<sup>[5]</sup> 가장 효과적인 수단은 기기, 방, 또는 거의 적용하지는 않지만 건물을 금속 재료로 차폐하는 것이다. 그러나 방이나 건물을 차폐하는 이러한 수단은 대개 비용이 많이 드는 단점이 있고, 또한 이동성을 지닌 개인용 컴퓨터와 같은 장비에 적용하기에는 무겁고, 비싸기 때문에 적합하지 않다. 접속 케이블에 필터를 삽입하는 것도 누설을 줄여주지만, 이 경우도 접속 케이블을 통해 주로 누설이 일어나는 경우에만 효과적이다. 소프트 템페스트(soft TEMPEST)는 일종의 소프트웨어 대책 수단으로서 특별히 고안된 폰트를 사용하여 누설 전자파의 크기를 크게 줄일 수 있는 것으로 보고되고 있다. 구역(zoning) 방법은 누설 전자파를 탐지하고자 하는 자리부터 일정한 거리를 유지하도록 구역을 지어 관리하는 수단이다. 거리에 따라 누설 전자파의 크기가 줄어들어서 보호하고자 하는 장비로부터 적절한 거리에 따라 구역을 정하고 거기에 알맞은 대책 수단을 강구하는 방법이다. 재밍(jamming)은 누설 전자파로부터 정보를

<표 1> 누설 전자파 대책 수단의 종류와 특징

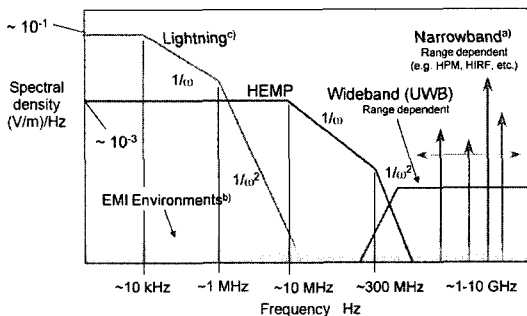
Countermeasure methods	Protection performance	Initial cost	Availability for mobile use	Additional Appliance for pre-installed equipment
Shielding structures	High	Very high	Impossible	Hard to apply
Shielding equipment	High	High	Available but not suitable (Heavy weight)	Hard to apply
Filtering	Medium	Low	Available	Applicable
Soft TEMPEST	Medium	Low-medium	Available	Applicable
Zoning	(Applicable for each use)	Low	Difficult to apply	Applicable
Jamming	High	Low-Medium	Available	Applicable

획득하기 어렵게 랜덤 신호나 무의미한 신호와 같은 재밍 신호를 본래의 신호에 겹치도록 하는 수단이다. 아무튼 이러한 수단 중 어느 하나에 대책을 하는 것보다 이러한 수단들을 적절하게 복합적으로 활용하여 효과적인 대책을 할 수 있을 것으로 판단한다.

### Ⅲ. 고출력 전자파 펄스에 의한 오동작 방지

고출력 전자파 펄스는 전자 장비를 물리적으로 파괴시킬 수 있을 정도의 강력하고 순간적인 전자기적 충격과를 통칭하여 일컫는 말이다. 이러한 고출력 전자파 펄스에는 지상 40 km 이상에서의 핵폭발에 의해 발생하는 NEMP<sup>a)</sup>(Nuclear EMP)와 지상에서의 의도적으로 전자파 장애 현상을 일으킬 수 있는 고출력 전자기파(HPM: High Power Electromagnetics)가 있다. 인위적으로 발생시키지는 않지만 낙뢰에 의한 전자파 펄스(LEMP: Lightning EMP)와 근접 정전기 방전(ESD: Electrostatic Discharge)도 이러한 고출력 전자기파의 범주에 포함된다.

이러한 고출력 전자파 펄스에는 [그림 4]에서 볼 수 있는 것처럼 HEMP의 스펙트럼 밀도는 매우 넓은 주파수 대역에 걸쳐 퍼져 있으며, 고출력 초단 펄



a) Narrow band extending from 0.2 to 5 GHz  
 b) Not necessarily HPEM  
 c) Significant spectral components up to 10 MHz depending on range and application

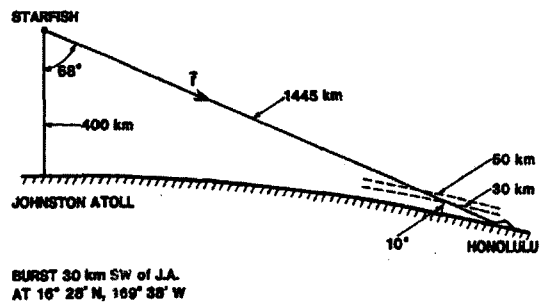
[그림 4] 고출력 전자기파의 종류와 주파수 특성

스와 같은 초 광대역 UWB(Ultra Wide Band) 신호, HPM(High Power Microwave), HIRF(High Intensity Radiated Field) 등과 같은 협대역 고출력 전자기와 등이 마이크로파 대역에서의 위협 요인이 되고 있다<sup>6)</sup>. 근래에 들어 이러한 위협을 통칭하여 의도성 전자파 장애(intentional EMI)로 부르고 있다.

#### 3-1 고 고도 전자파 펄스(HEMP)

##### 3-1-1 고 고도 전자파 펄스에 의한 위협

고 고도 전자파 펄스는 핵폭발로 인해 유도되는 전자파 펄스를 뜻하며, 이러한 영향은 미국과 구 소련에서 있었던 핵폭발 실험의 결과로 조금씩 알려지기 시작했다. 미국은 [그림 5]와 같이 1962년 7월에 태평양의 Johnston 섬 상공 400 km에서 핵폭발 실험을 하였는데, 그곳으로부터 무려 1,400 km나 떨어진 하와이에서 가로등과 신호등이 꺼지고, 경보가 울렸으며, 통신 장비 등이 오동작하는 사태가 발생되었다. 이러한 실험은 무려 6,400 km 정도 떨어진 뉴질랜드에서도 북쪽 수평선 위로 붉은 섬광이 나타났다가 공간 및 바다 수면 위로 쏘아 퍼지는 현상이 관측되었다. 이러한 혼란의 원인이 핵폭발에 의한 강력한 전자파 펄스라는 사실이 알려지면서부터 이에 대한 독자적인 방호 대책이 강구되어 왔던 것이 사실이다.



[그림 5] 미국의 Starfish Prime test의 지리적 상황

4) 흔히 HEMP(High-altitude Electromagnetic Pulse)라고 부른다.

구 소련에서도 거의 같은 시기에 카자흐스탄에서 핵폭발 실험을 하였는데, 약 600 km 떨어진 지역 내의 지상 및 지하 매설 케이블에 큰 피해가 발생되었다. 이러한 피해는 핵폭발 이후 수 초에서 수 분 동안 지속되는 느린 전자파 펄스에 전력선 및 통신선이 장기간 노출되어 유기된 과도 전류에 의해 발생되었음이 1994년 유럽의 한 심포지움에서 발표함으로써 서구 사회에 알려졌다<sup>17)</sup>.

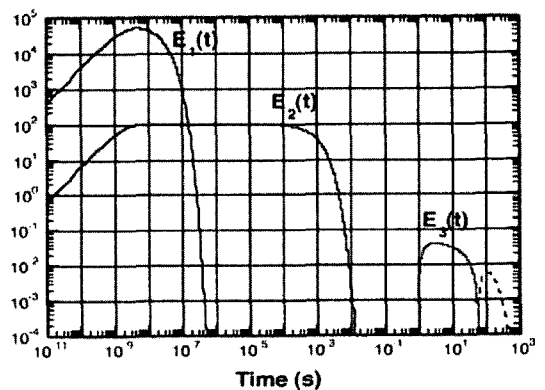
2003년 8월에 미국과 캐나다의 동부 연안에서 발생한 대규모의 정전 사고로 인해 뉴욕에서 수천 명이 지하철에 갇히고, 도로 교통이 마비되는 비슷한 사례가 있었었다. 이러한 정전사고는 이동 통신망이나 경찰 무선망에 영향을 주지 않았기 때문에 사고 대책이 비교적 빠른 시일 내에 가능했다. 그러나 고출력 전자파 펄스에 의한 영향은 전력망, 통신망을 비롯한 거의 모든 전자 장비에 영향을 미치기 때문에 사고 대책이 불가능할 정도로 막대한 피해를 미칠 것은 분명하다. 미국 헤리티지재단의 보고서<sup>18)</sup>에 의하면 전자파 펄스에 의해 단지 하루만 정전 사태가 일어나도 약 7조원에서 10조원 정도의 사회적 비용이 초래될 것으로 예측하고 있다. 이러한 피해는 직접적인 피해는 물론, 정전으로 인해 파급되는 간접적인 피해, 예를 들면, 음식품의 손상, 생산 중단에 따른 손해, 초과 근무에 따른 임금 등을 포함한 비용이다. 미국 인구의 1/7 정도 이상이 이와 관련된 비용의 부담이 발생될 것으로 예상하고 있다. 과연 우리는 이러한 심각한 사태에 대해 너무 둔감한 의식을 가지고 있지 않은지, 알면서도 너무 안일한 자세로 대처하고 있지 않은지 되돌아봐야 할 것 같다.

### 3-1-2 고 고도 전자파 펄스의 특성

고 고도 전자파 펄스의 파형은 단일 파형으로 기술하기 어렵다. [그림 6]에서 볼 수 있는 것처럼 수 ns에서 수 초 동안 지속되는 일련의 파형으로 이루어져 있다. 수년간의 연구를 통해 이러한 파형은 핵

발생과 대기 상태에 따라 세 가지 종류의 주요 파형으로 표현될 수 있는 것으로 알려졌다. E1으로 표현된 초기 시간(early time) 파형, E2로 표현된 중간 시간(intermediate time) 파형, E3로 표현된 늦은 시간(late time) 파형이 그것이다. 이러한 각각의 파형의 펄스 폭은 약 100 ns, 1 ms, 수십 초 정도이고, 침투치 전계 강도는 50 kV/m, 100 V/m, 40 V/km 정도이다.

이러한 파형의 특성은 전자파 적합성 분야에서 다루는 시험 항목과 비교해 보면 E1 파형은 복사 특성과 관련하여 근접한 정전기 방전과 유사하고, 전도 특성은 EFT(Electrical Fast Transient)와 비슷하고, 그 진폭은 두 시험 항목보다 훨씬 더 크다. 따라서 이러한 파형에 전력 선로가 노출되면 전력망을 통해 가정이나 공장으로 유기된 과도 신호가 흘러 들어가게 되고 내성이 약한 연동된 전자 통신 장비는 손상될 것이다. 또한 E2 파형은 낙뢰(lightning)의 대지 귀환(ground return) 스트로크(stroke)에 의해 발생하는 전자기장에 비해 진폭은 훨씬 낮지만 매우 유사한 파형을 가진다. 이러한 파형은 매우 긴 전력 선로나 통신 선로에 문제를 일으킬 수 있다. 마지막으로 E3 파형은 수 초에서 수백 초 동안 지속되는 지자기 태양 폭풍(geomagnetic solar storm)에 의한 전자기장과 유사한 파형을 가지지만 침투치 전계 강도는 지자기



[그림 6] HEMP에 의한 세 가지 형태의 전계 강도 파형

폭풍보다 훨씬 더 크다. 따라서 과거의 지자기 폭풍에 의한 대규모 정전 사태를 비추어볼 때, 이러한 E3 HEMP는 전력망에 훨씬 더 심각한 치명적인 손상을 끼칠 수 있음은 명확하다.

고 고도 전자파 펄스의 위협은 노출 전계 강도에 있지만, 보다 심각한 위협은 이러한 높은 전계 강도에 매우 넓은 면적이 노출된다는 점이다. 만약 지상 100 km에서 핵폭발이 일어날 경우, 극히 짧은 시간(수 ns)에 직경 1,200 km 내에 있는 모든 전자 장비는 강력한 전자파 펄스에 노출된다. [그림 7]은 미국의 EMP 위원회 보고서에서 고 고도 전자파 펄스의 위협을 상징적으로 보이는 그림이다<sup>[1]</sup>. 이 그림으로부터 미국 오하이오 주 상공에서 핵폭발이 일어나면 극히 짧은 시간 내에 직경 3,000 km 내의 지역에서 초기시간 침투치 전계 강도의 반, 즉 25 kV/m 정도의 전계 강도에 노출됨을 알 수 있다. 보고서에는 핵폭발 고도(HOB: Height of Burst)에 대한 언급이 없지만 노출 면적을 고려해 볼 때, 지상 150 km 정도의 고도에서 핵폭발을 일으킬 때를 가정한 것으로 추정된다.

특히, 고 고도 전자파 펄스의 위협은 전력망에 큰 피해를 일으킬 수 있고, 근래에 들어 회자되고 있는 스마트 그리드(smart grid) 개념에는 훨씬 더 심각한

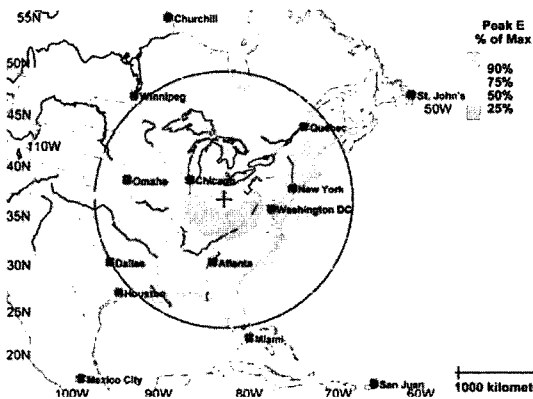
위협이 될 수 있다. 통신, 수송, 금융 서비스, 재난 구호 서비스, 에너지 보급, 식수 및 식품 공급 등과 같은 사회 기반 시설은 모두 전력망과 연계되어 있으며, 따라서 전력망의 손상은 사회 전반에 큰 영향을 미치게 된다. 미국의 EMP위원회 보고서에 따르면 다음과 같은 영향이 있는 것으로 결론짓고 있다.

1. E1 과도 현상은 안전 계전기의 보호 능력을 초과한다.
2. E3 과도 현상은 전력망 전체에 심각한 손상을 초래하는 전류를 유기시킬 수 있다.
3. 미국의 국가 전력망은 동시 다발적으로 발생하는 붕괴에 대해 견딜 수 있도록 설계되어 있지 않다.
4. 전자파 펄스 공격이 일어난 후 발생하는 정전 사태의 복구에는 통신 및 에너지 수송이 반드시 필요하며, 정전 사태에서의 이러한 업무에 대한 절차가 없다.
5. 미국의 국가 전력망의 복구에 수 개월에서 수 년이 소요될 수 있다.
6. 전자파 펄스에 의해 전력망 부품이 손상되고, 이들 부품의 신규 제작, 공급에 따른 복구 지연은 불가피하다.

### 3-2 의도성 전자파 장해(Intentional EMI)

#### 3-2-1 고출력 전자기파에 의한 위협 및 무기 개발 실태

고출력 전자기파를 사용하는 무기로 E-Bomb가 있다. 이러한 고출력 전자기파 무기의 적용 사례로서 미국이 발칸 지역에서의 유고 전에 무선 통신 장비와 전자 장비만을 무력화시킬 목적으로 E-Bomb를 코스보 상공에서 투하하였다고 당시 러시아 국방부장관이 언급한 내용을 Tass 통신이 인용 보도한 바 있으며, 또한 미국과 이라크의 전쟁에서 미국이 바그다드를 공격할 때 E-Bomb을 사용하여 이라크 국



[그림 7] 초기 시간 HEMP 파형이 미치는 위협의 범위

영 방송이 15~20분간 중단되었다고 BBC가 보도한 바 있다. 그러나 심각한 문제는 이러한 고출력 전자기파 장치가 과거에는 군사적 목적으로 개발되어 왔지만, 근래에 들어 [그림 8]에서 볼 수 있는 것처럼 보다 작은 크기로 보다 큰 출력을 내는 소형 고출력 전자기파 발생 장치가 민간에서 개발되고 심지어 인터넷 상으로 유통되고 있다는 점이다.

실제 [그림 8] (a)에서 볼 수 있는 손가방 정도 크기의 고출력 전자기파를 발생시킬 수 있는 장치가 러시아에서 개발되고 독일에서 상품화되어 전시회에 출품된 바 있다. 이 장치는 거리 1 m에서 120 kV/m 정도의 전계 강도를 갖는 350 MHz 감쇠 진동 정현파를 등방성으로 발생시킬 수 있으며, 지향성 출력을 갖도록 변형 제작도 가능하다. 또한 초당 5개의 펄스를 30분간 연속 동작시킬 수 있으며, 버스트 형태로 3시간 동작시킬 수 있다. 특히 이 발생 장치는 크기가 50×50×20 cm에 불과하고, 28 kg의 무게 밖에 되지 않기 때문에 불순한 목적을 가진 자가 쉽게 보호 대책이 필요한 전자 통신 장비의 최 근접 구역까지 접근하여 고출력 전자기파를 발생시킬 수 있다는 점이다.

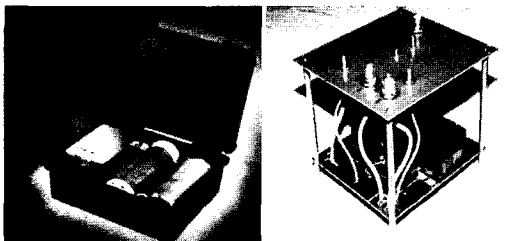
[그림 8] (b)에서 보인 장치는 인터넷에서 “Car stopper용 Pulsar”로 광고되고 있는데, 50 Ω 부하 양단에 2.5 kV의 전압을 1.7 ns의 펄스 폭과 700 ps의 상승 시간을 갖는 펄스로 인가할 수 있는 장치이다. 이 장치는 고속으로 반복하여 사용하기 위해서는 냉각

부품을 불소에 담겨 사용하도록 되어 있다. 이러한 장치는 원자력 발전소 같은 매우 중요한 사회 기반 시설의 보안 구역 근처로 무단 접근하는 자동차를 정지시키기 위해서 사용되고 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 이러한 장치에 지향성 안테나를 달아서 불순한 목적으로 달리는 차량이나 초고속 전기철도 차량을 향해 쏘았을 때 어떻게 될 것인가를 상상하면 매우 심각한 상황이 발생될 수도 있음을 예측할 수 있다.

현재까지 개발된 몇 종류의 HPEM sources에 의한 위협 예를 <표 2>에 보였다. 향후 어떤 종류의 고출력 전자파 펄스 발생 장치가 개발될 것인지, 또는 현재도 알려지지 않은 보다 큰 출력의 발생 장치가 개발되어 있는지는 모른다. 그러나 ITU-T SG(Study Group) 5에서 고출력 전자파 펄스의 위협으로부터 어떻게 통신 센터를 보호할 것인지에 대해 표준화 작업을 진행하고 있으며, 가능한 위협의 예로서 <표 2>에 보인 발생 장치를 대상으로 하였다<sup>[9]</sup>. <표 2>에서 볼 수 있듯이 고출력 전자기파 위협에는 미 공군 연구소(AFRL: Air Force Research Laboratory)에서 개발한 JOLT와 같이 트레일러에 싣고 다니는 것부터 정전기 방전 권총처럼 쉽게 휴대할 수 있는 것까지 매우 다양한 장치가 있고, 또한 수 백 MHz에서부터 수십 GHz까지 매우 넓은 주파수 대역에서 동작하는 장치가 있음을 알 수 있다.

### 3-2-2 외국의 기술 개발 실태

1990년대 후반 러시아에서 고출력 전자기파에 노출된 PC의 피해 사례가 발표되면서 의도적인 EMP/HPM(High Power Microwave)에 대한 기술 개발의 필요성이 대두되었다. 2004년에 노르웨이의 ‘Defence Research Establishment’에서는 HPM에 의한 정보기기의 파괴 및 동작 불량 가능성을 실험적으로 확인한 바 있다. 선진 각국에서는 특정 목표 지역의 전자기기를 무력화시킬 수 있는 HPM 무기 개발에 주력



(a) Diehl EM Emitter (b) The Russian Car-Stopper

[그림 8] 소형 고출력 전자파 펄스 발생 장치

〈표 2〉 고출력 전자기파와 관련된 위협 사례

Threat type	Example of attack device	Strength	Frequency range
Electromagnetic wave attack-radiated	JOLT	500 kV/m @ 100 m	300 MHz~10 GHz
	IRA (Hi-tech)	12.8 kV/m @ 100 m	300 MHz~10 GHz
	Commercial radar (mid-tech)	60 kV/m @ 100 m	1~10 GHz(1.285 GHz)
	Navigation radar	385 V/m @ 100 m	1~10 GHz(9.41 GHz)
	Magnetron generator	475 V/m @ 10 m	1 GHz~3 GHz
	Amateur wireless device	286 V/m @ 1 m	100 MHz~3 GHz
	Compact amateur wireless device	169 V/m @ 10 cm	100 MHz~3 GHz
	Illegal CB radio	573 V/m @ 10 m	27 MHz
Electrostatic discharge attack	Stun gun	500 kV	100 MHz~3 GHz
Electromagnetic wave attack-radiated	Lightning-surge generator	50 kV(charging voltage)	1.2/50, 10/700
	Compact lightning surge generator	10 kV(charging voltage)	1.2/50, 10/700
	Cw generator	100 V~240 V / 4 kV	1 Hz~10 MHz
	Commercial power supply	100 V~240 V	50/60 Hz

하고 있을 뿐만 아니라 반도체 소자 등을 이용한 다양한 신호·출력 형태의 소형 발생기 개발에도 매진하고 있다.

군사 강대국들은 특정 목표 지역의 전자기기를 무력화 시킬 수 있는 HPM 무기 개발에 주력하고 있다. 이중에서도 E-Bomb는 실용화 단계에 있는 것으로 알려져 있으며, HERF(High Energy RF) Gun은 비밀 공작에 사용되고 있는 것으로 추정되고 있다. 러시아에서는 3MH, 프랑스에서는 IEM이라는 약어의 고출력 전자기파 관련 중점 기술을 개발하면서 비밀리에 고출력 전자기파 무기 개발을 추진하였고, 미 공군에서는 HPM 무기 및 HEL(High Energy Laser) 무기를 포함한 DEW(Directed Energy Weapon)을 적극적으로 개발하고 있는 것으로 알려져 있다. 영국, 프랑스, 독일, 스웨덴 등에서도 비밀리에 고출력 전자기파 무기를 개발 중인 것으로 추정되고 있지만 단편적인 자료만이 공개되고 있는 실정이다.

미국은 육·해·공군의 예산 지원 하에 MURI(Multidisciplinary University Research Initiative) 프로그램

으로 Maryland 대학, Texas Tech 대학 등의 몇 개 대학에서 관련 기술을 개발하고 있으며, 공군은 자체 연구실에서 자체 연구 개발을 수행하고, 개발업체로는 Bae system, L3Comm 및 APELC 등이 참여하고 있다. 현재 Damped Sinusoidal 방식 등을 적용하여 수 GW 급의 HPM이 개발되고 있다.

러시아는 러시아 내의 여러 RAS(Russia Academy of Science) 중 Institute of Electrophysics, Institute of High Current Electronics, Ioffe Physico-technical Institute 등에서 연구 개발이 이루어지고 있으며, 특히 Ioffe 연구소는 고출력 반도체를 이용한 소형 HPM을 개발하여 Megalmpuse 및 FID Technology 등의 업체에 기술 이전하여 상용화 개발을 추진하고 있다.

독일은 일부 대학에서 연구 중이고, 러시아 Ioffe 연구소에서 개발한 기술을 이전 받은 FID Technology(St. Petersburg 소재)가 여러 제품을 개발하고, FID Technology GmbH에서 제작 판매하고 있다. 또한 미사일 관련 군수업체인 DIEHL Munitionssystem에서는 가방 형태의 소형 휴대용 장비를 개발하였다.



기타 유럽 국가 중에서, 영국의 Sowerby Research Center, 네델란드의 NTO, 스위스의 Spiez, 벨지움의 Royal Military Academy 등의 기관들에서도 활발한 관련 연구가 이루어지고 있다. 특히, 우크라이나 Karazin Kharkov 국립대에서는 러시아 Ioffe 연구소에서 개발한 반도체 소자(DSRD: Drift Step Recovery Diode)를 사용하여 고출력 전자기 펄스 발생 장치를 개발하고 있으며, 중국에서는 Northwest Institute of Nuclear Technology와 Jiaotong 대학이 공동으로 개발하고 있는 것으로 알려져 있다.

선진 강대국을 중심으로 휴대가 가능한 고출력 전자기파 발생 장치를 개발하여 테러 또는 무기 목적으로 사용할 가능성이 노후해지고 있고, 국외에서

는 일부 전자적 통제 시스템 및 군사 시설에 대해 피해 사례가 보고되고 있다. 이러한 고출력 전자기파에 의한 통신·에너지 등 사회 기반 시설의 기능 마비 등은 새로운 형태의 보안 위협으로 급격히 대두되고 있으며, IEEE, IEC, ITU-T 등에서 관련 연구 활동 및 표준화 활동을 활발히 진행하고 있다. <표 3>과 <표 4>에 관련 표준화 문서를 보았다.

#### IV. 전자파 보안 방호 대책

##### 4-1 방호 대책의 중요성과 관련 시험 기술 기준

고출력 전자기파에 의한 통신·에너지 등 사회 기반 시설의 방호 대책이 중요한 화두로 떠오르고

<표 3> IEC SC77C에서 발행한 국제표준화 규격 현황

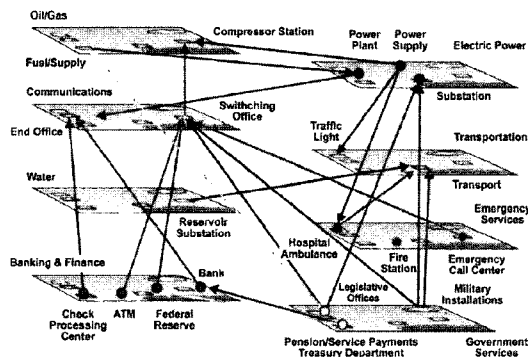
■ HEMP 관련 규격	
Document number	Title
61000-1-3	The effects of high-altitude EMP (HEMP) on civil equipment and systems-first edition
61000-2-9	Section 9: Description of HEMP environment - radiated disturbance basic EMC publication first edition
61000-2-10	Description of HEMP environment-conducted disturbance-first edition
61000-2-11	Classification of HEMP environments-first edition
61000-4-23	Test methods for protective devices for HEMP and other radiated disturbances-fist edition
61000-4-24	Test methods for protective devices for HEMP conducted disturbance basic EMC publication-fist edition
61000-4-25	HEMP immunity test methods for equipment and systems-first edition
61000-4-32	High-altitude electromagnetic pulse (HEMP) simulator compendium-first edition
61000-5-3	HEMP protection concepts-first edition
61000-5-4	Immunity to HEMP-specifications for protective devices against HEMP radiated disturbance-basic EMC publication-first edition
61000-5-5	Specification of protective devices for HEMP conducted disturbance-basic EMC publication first edition
61000-5-7	Degrees of protection provided by enclosures against electromagnetic disturbances (EM code)
61000-6-6	HEMP immunity for indoor equipment-first edition
■ HPEM 관련 규격	
Document number	Title
6100-1-5	High power electromagnetic (HPEM) effects on civil systems
61000-2-13	High-power electromagnetic (HPEM) environments-radiated and conducted
61000-4-33	Measurement methods for high power transient parameters

<표 4> 통신 센터에 대해 ITU-T SG 5에서 진행 중인 표준화 작업 현황

Document	Recommendation title	Timing
K.sec	Guide for the application of electromagnetic security requirements-basic recommendation	2010
K.hemp	Application of requirements against HEMP to telecommunication systems	2008
K.hpem	Application of requirements against HPEM to telecommunication systems	2008
K.leakage	Test method and requirements against information leakage through unintentional EM emission	2009
K.secmi	Mitigation methods against EM security threats	2011

있다. 2003년 8월에 미국과 캐나다의 동부 연안에서 발생한 대규모의 정전 사고로 인해 뉴욕에서 수천 명이 지하철에 갇히고, 도로 교통이 마비되는 비슷한 사례가 있었다. 이러한 정전 사고는 이동 통신망이나 경찰 무선망에 영향을 주지 않기 때문에 사고 대책이 비교적 빠른 시일 내에 가능했다. 그러나 고출력 전자파 펄스에 의한 영향은 전력망, 통신망을 비롯한 거의 모든 전자 장비에 영향을 미치기 때문에 사고 대책이 불가능할 정도로 막대한 피해를 미칠 것은 분명하다. 현대의 사회 기반 시설이 정보화, 자동화 욕구에 따라 많은 전자 통신 장비가 [그림 9]에서 볼 수 있는 것처럼 상호 연계되어 있으며, 따라서 어느 한쪽의 고출력 전자파 펄스에 의한 사고 영향은 국가 안전 시스템 전반에 걸쳐 막대한 피해를 끼칠 수 있다.

특히, 민수 전자 통신 장비에는 현재 고출력 전자



[그림 9] 사회 기반 시설의 상호 연계성

파 펄스에 대한 시험 요구가 국제적으로 전혀 이루어지지 않고 있으며, 단지 개별 기기 상호간의 전자파 장애 방지를 위해 전자파 적합성 시험만을 적용하고 있다. 현재 정보 기술 장비(ITE: Information Technology Equipment)의 합체(enclosure)에 적용되고 있는 시험기준은 <표 5>와 같다. <표 5>에서 볼 수 있는 것처럼 3 V/m의 전기장에 대한 내성(immunity)을 80 MHz~1 GHz의 주파수에서 적용하고 있음을 알 수 있다. 만약 이 정도의 전계 강도에 내성을 가지는 일반적인 정보 기술 장비에 앞 절에서 설명한 고출력 전자파 펄스 발생 장치에서 복사되는 전계 강도가 인가된다면 거의 대부분의 장비는 오동작할 것이다.

또한 방산 장비도 마찬가지로 미국의 방산 규격인 MIL-STD-461의 요구 사항을 따르고 있다. 이 규격에서는 플랫폼(platform)의 종류에 따라 각기 다른 전계 강도에 대한 내성을 요구하고 있는데, 항공기 및 선박의 외부 노출 부분에 대해서는 200 V/m의 비교적 강한 전계 강도를 요구하고 있지만 대부분의 지상 장비와 선박의 갑판 아래에 있는 장비에 대해서는 10 V/m~50 V/m 정도의 전계 강도에 대한 내성을 요구하고 있다. 특히, [그림 10]과 같은 고 고도 전자파 펄스에 대한 시험 요구 사항이 규정되어 있지만 매우 제한적으로 적용되고 있다<sup>[10]</sup>. 새로운 위협으로 대두되고 있는 고출력 전자파 펄스에 대해서는 MIL-STD-464A<sup>[11]</sup>에서 전자기적 환경 영향(E<sup>3</sup>: Electromagnetic Environmental Effects) 평가 차원에서 다

<표 5> 일반 정보 기술 장비에 적용되는 전자파 내성 권고 규격(CISPR-24)

	Environmental phenomenon	Test specification	Units	Basic standard	Remarks	Performance criterion
1.1	Power-frequency magnetic field	50 or 60 1	Hz A/m (r.m.s)	IEC 61000-4-8	See <sup>1)</sup>	A See annex B
1.2	Radio-frequency electromagnetic field Amplitude modulated	≤80~1,000 3 80	MHz V/m (unmodulated, r.m.s) % AM (1 kHz)	IEC 61000-4-3	The test level specified is prior to modulation See <sup>2)</sup> and <sup>3)</sup> .	A
1.3	Electrostatic discharge	4(Contact discharge) B(Air discharge)	kV(charge voltage) kV(charge voltage)	IEC 61000-4-2		B

<sup>1)</sup> Applicable only to equipment containing devices susceptible to magnetic fields, such as CRT monitors, Hall elements, electrodynamic microphones, magnetic field sensors, etc.  
<sup>2)</sup> The frequency range is scanned as specified. However, when specified in annex A, an additional comprehensive functional test shall be carried out at a limited number of frequencies. The selected frequencies are: 80, 120, 160, 230, 434, 460, 600, 863 and 900 MHz (±1 %).  
<sup>3)</sup> The test may be performed with a start frequency lower than 80 MHz, but not less than 26 MHz.

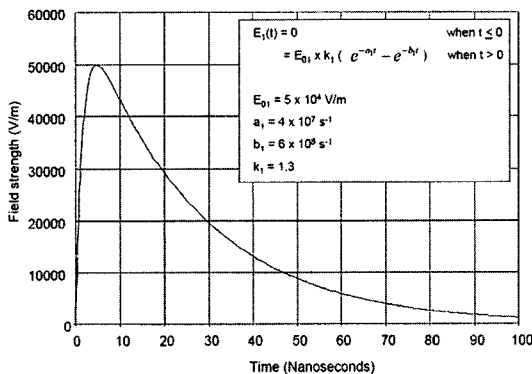
루고 있는데, 특히 그동안 제기된 고출력 전자파 펄스에 대한 위협을 고려하여 HPM과 DE(Directed Energy)에 대한 시험 요구사항의 표준화 작업이 지난 해 말에 마무리되어 새로 출간할 MIL-STD-464B에 포함시킬 예정이다.

그동안 전자 장비가 고출력 전자파 펄스에 어떤 영향을 받는지에 대해서는 개별 기기의 전자파 내성에 따라 다르다. 그동안 보고된 사례를 살펴보면 고

출력 전자기파에 의한 전자기적 위협은 다음과 같다 [12]~[14]. PC는 500 V/m~2 kV/m 정도의 전계 강도에서 오동작을 일으킬 수 있고, 5~200 kV/m 정도의 전계 강도가 인가되면 부품이 파괴될 수 있다. 자동차는 500 V/m 정도의 전계 강도에서 엔진이 정지되고, 5 kV/m 정도의 전계 강도가 인가되면 제어 관련 부품에 고장을 일으킬 수 있다. 특히, 10 MW 출력의 HPM과 지향성 안테나를 사용할 경우, 15 m 거리에서 자동차를 고장나게 할 수 있고, 500 m 정도의 거리에서 자동차의 동작을 멈추게 하는 사례가 보고되고 있다.

#### 4-2 방호 대책 기술 동향

복잡한 시스템에 대한 고출력 전자파 펄스의 영향을 평가하는데 중요한 것은 전자파 펄스에 의한 여기(excitation)를 어떻게 분석에 포함시키는 가와 시스템을 구성하는 다양한 부분들 사이에서의 상호 작용을 어떻게 표현하는가이다. 전자기적 에너지가 흘러가는 가능한 경로와 더불어, 시설 내의 다양한 경계(barriers)의 특성을 규정함으로써 시스템의 전자기

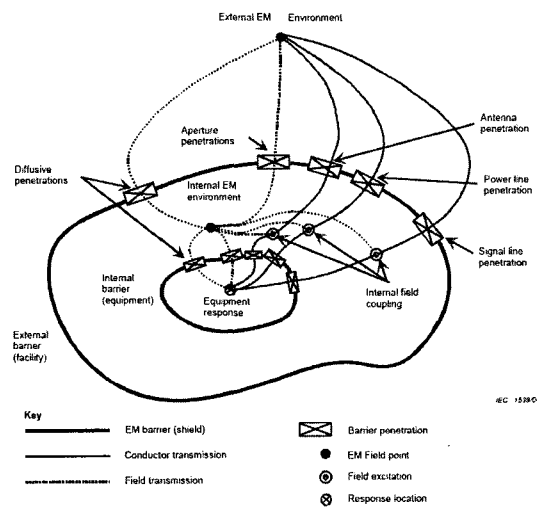


[그림 10] 고 고도 전자파 펄스에 의한 과도 전자기장에 대한 내성 요구 사항(MIL-STD-461F)

적 토폴로지(topology)에 대한 서술이 가능해진다. 이러한 접근은 시스템을 고출력 전자파 에너지의 흐름을 방해하거나 또는 촉진시키는 하나의 경계 집합으로 보는 것이다<sup>[6]</sup>.

낙뢰와 마찬가지로 고 고도 전자파 펄스는 시스템 외부에 위치하는 것으로 볼 수 있고, 다양한 종류의 고출력 전자파 펄스 발생 장치는 크기와 이동성에 따라 각기 다른 구역에서 에너지가 발생하는 것으로 볼 수 있다. 실제적인 시스템의 전자기적 경계는 완전히 밀폐될 수 없으며, 따라서 결과적으로 전자기적 에너지가 흐르는 몇 개의 개구(openings)가 존재하게 된다. 임의의 합체 내부에서의 전계 강도는 도체 벽의 개구와 벽을 통한 전자기 에너지의 확산에 의한 감쇠(attenuation)와 신호가 흐르는 경로에 기인하여 경계 외부에서의 전계 강도보다 낮을 것이다.

전자기적 토폴로지의 개념을 사용하면 시스템의 방호 대책을 간단하게 접근할 수 있다. 시스템은 [그림 11]에서 볼 수 있는 것처럼 하나 또는 그 이상의 전자기적 경계를 갖는 하나의 집합으로 간주된다.



[그림 11] 고출력 전자파 펄스에 대한 방호 대책의 토폴로지

이러한 경계 면과 전자기 에너지가 침입하는 모든 지점의 상호 접속을 식별하고, 분류하여야 한다. 절연된 전원 공급 장치의 도선이 도체 벽의 구멍을 뚫고 지나고 있는 것과 같은 시스템 내부로의 도전성 침투는 가장 심각하고, 다음으로 개구를 통한 침투, 마지막으로 도체 벽을 통한 확산성 침투가 중요하게 다루어진다. 물론, 안테나 또는 다른 기기를 통한 침투도 있을 수 있으며, 이 경우 외부의 전자기 에너지에 바로 결합될 수 있으므로 주의가 필요하다.

고출력 전자파 펄스에 대한 방호 대책은 경계 구역에 따라 각기 다른 대책 기법이 사용되며, 각각의 구역을 외부 공간, 건물, 방, 장비 등으로 구분하여 필요한 보안 조치를 하고, 요구되는 대책을 강구해야 한다. 이러한 대책에 전형적으로 전자파 차폐, 전원선 및 신호선 필터, 그리고 과도 전류 및 전압에 대한 선형 대책 부품 및 비선형 대책 부품 등이 요구된다. 이러한 대책 설비에 관한 내용은 방대하므로 본 기술 해설에서는 다루지 않겠다.

고출력 전자파 펄스 방호 대책 기술과 관련하여 미군과 NATO의 기술 기준 이외에 IEC, 미국 ANSI, 일본 IST 등의 표준화 단체에서도 상용 장비·시설에 대한 방호 기술 기준을 제정 중에 있다. 특히, 미국은 군, 행정부, 의회, 표준기관, 학계, 민간업체 등에서 고출력 전자파 펄스 대응 방안을 모색하고 있으며, 의회 내에 EMP 위원회를 설치하여 국가의 중요 기반 시설에 대한 대응 방안을 강구하고 있다. 나아가서 미국과 유럽연합은 고출력 전자파 펄스 공격을 평상시에도 테러로 간주하여 대테러 방안에 포함시키고 있으며, 고출력 전자파 펄스 방호 규격 및 가이드라인 문서를 발간한 바 있다. <표 6>에 미국방성에서 전자파 보안과 관련하여 발간한 다양한 방호 대책 기술에 관한 규격 등을 보였다. 고출력 전자기파에 대한 방호 대책은 물론, 누설 전자파에 의한 정보 유출 방지를 위해 좋은 참고 자료가 될 것이다.

<표 6> 미 국방성에서 발간한 전자파 보안 관련 규격 및 지침

문서 번호	년도	문서명	비고
EP 110-3-2	1990	Engineering and design electromagnetic pulse (HEMP) and tempest protection for facilities	Canceled
MIL-STD-188-125	1990	High-altitude electromagnetic pulse (HEMP) protection for fixed and transportable ground-based C <sup>4</sup> facilities performing critical, time-urgent missions	Canceled
MIL-STD-188-125A	1994	상동 VOLUME 1: Fixed facilities	Canceled
MIL-STD-188-125-1	1998	상동 PART 1: Fixed facilities	공개
MIL-STD-188-125-2	1999	상동 PART 2: Transportable systems	공개
MIL-HDBK-423	1993	High-altitude electromagnetic pulse (HEMP) protection for fixed and transportable ground-based C <sup>4</sup> facilities VOLUME 1: Fixed Facilities, VOLUME 2: Ground-mobile and transportable facilities	비공개

### V. 결 론

국제적으로 전자파 보안에 대한 중요성이 크게 증가하고 있다. 누설 전자파 차폐를 통한 정보 유출 방지, 고출력 전자기파에 의한 통신·에너지 등 국가 기반 시설의 방호 대책 등이 중요한 화두로 떠오르고 있다. 인간과 직접적으로 연결되는 기기(화면 정보 등)는 암호화하기 어렵기 때문에 개인 정보 유출 가능성이 증대하고 있는데, U-사회 진입에 따라 개인 정보 보호 대책이 시급한 실정이다. 또한 현대의 사회 기반 시설이 정보화, 자동화 욕구에 따라 많은 전자 통신 장비가 상호 연계되어 있으며, 따라서 고출력 전자기 펄스에 의한 사고 영향은 국가 안전 시스템 전반에 걸쳐 막대한 피해를 끼칠 수 있다.

앞에서 이러한 외국의 기술 개발 동향을 소개하였으며, 선진 각국에서 이 분야의 연구 개발에 많은 노력을 경주하고 있음을 알 수 있을 것이다. 특히, 우리나라의 안보 현실을 감안할 때 미국과 유럽 각국에서 핵폭발에 의한 고출력 전자파 펄스는 물론, 소형 고출력 전자파 펄스 발생 장치의 위협에 대비한 대응 조치들은 우리에게 시사하는 바가 매우 크

다. 아무튼 본 기술 해설이 전자파 보안 기술 동향을 이해하는데 조금이나마 도움이 되었으면 한다.

### 참 고 문 헌

- [1] Report of the Commission to Assess the Threat to the United States from Electromagnetic Pulse (EMP) Attack, 2004.
- [2] Report of the Commission on Critical National Infrastructures, 2008.
- [3] Kimihiro Tajima, Yoshiharu Akiyama, Tetsuya Tomimaga, and Tadahito Aoki, "Activities for information security against electromagnetic radiation from telecommunication facilities", *NTT Technical Review*, vol. 6, no. 10, pp 1-5, Oct. 2008.
- [4] Hidenori Sekiguchi, Shinji Seto, "Measurement system of information signal in display image leaking from conducted emission on power leads of a personal computer", *Proc. of 2009 Int'l Symp. on EMC*, pp. 5-8, Jul. 2009.
- [5] Yasunao Suzuki, Masao Masugi, Hiroshi Yamane

- and Kimihiro Tajima, "Countermeasure technique for preventing information leakage caused by unintentional PC display emanations", *Proc. of 2009 Int'l Symp. on EMC*, pp. 9-12, Jul. 2009.
- [6] IEC 61000-1-5, Electromagnetic Compatibility (EMC)-Part 1-5: General-High power electromagnetic (HPEM) effects on civil systems, 2004.
- [7] Vladimir M. Loborev, "Up to date state of the nemp problems and topical research directions", *Proceeding of the European Electromagnetics International Symposium-EUROEM 94*, pp. 15-21, Jun. 1994.
- [8] Jena B. McNeil, R. Weitz, "Electromagnetic Pulse (EMP) Attack: A Preventable Homeland Security Catastrophe", No. 2199, The Heritage Foundation, Oct. 2008.
- [9] Draft text of Recommendation K.hpem: Application of requirements against HPEM to telecommunication systems", International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector (ITU-T), Geneva, Switzerland, 2008.
- [10] MIL-STD-461F, "Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment", Dec. 2007.
- [11] MIL-STD-464A, "Electromagnetic environmental effects requirements for systems", Dec. 2007.
- [12] D. Nitch, M. Camp, F. Sabath, J. ter Haseborg, and H. Garbe, "Susceptibility of some electronic equipment to HPEM threats", *IEEE Trans. on EMC*, vol. 46, no. 3, pp. 380-389.
- [13] M. Backstrom, K. Lovstrand, "Susceptibility of electronic systems to high-power microwaves: Summary of test experience", *IEEE Trans. on EMC*, vol. 46, no. 3, pp. 396-403.
- [14] R. Hoad, Nigel J. Carter, D. Herke, and Stephen P. Watkins, "Trends in EM susceptibility of IT equipment", *IEEE Trans. on EMC*, vol. 46, no. 3, pp. 390-395.

≡ 필자소개 ≡

정 연 춘



1984년 2월: 경북대학교 물리학과 (이학사)

1986년 2월: 경북대학교 물리학과 (이학석사)

1999년 8월: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)

1985년 12월~2001년 5월: 한국표준과학연구원 전자기환경그룹 책임연구원, 그룹장

2000년 3월~2001년 2월: Univ. of York, Visiting Academics

2001년 6월~2002년 2월: (주)AMIC 중앙연구소장, 부사장

2002년 3월~현재: 서경대학교 전자공학과 교수

2005년 6월~2008년 11월: 한국전파진흥협회 EMC 기술지원센터 센터장

[주 관심분야] EMI/EMC 측정 및 대책기술, 전자파 재료