본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락 없이 무단 사용을 금합니다.

고 고도 핵 전자기파/ EMP 방호기술 개발동향

(EMP 모의 시험도구 "KTI CODE" 개발)

주)한국기술연구소 정용관, 민경찬

(minkti@naver.com. emc.re.kr 010-8600-5257)

Notice: 본 원고는 정보통신산업진흥원에서 발행하는 "주간기술동향 통권 제1491호(2011.4.15) 포커스"에 게재되었던 원고로 인용 시 반드시 저자의 허락을 받아야 합니다. HEMP란 용어가 원문이나 EMP란 용어와 병용한다.

1. EMP관련연구 및 모의 시험도구의 개발현황

최근 들어 북한의 핵 위협과 연평도 도발 그리고 GPS 교란 등 고출력 전자무기의 군사적 활용 빈도가 높아지고, ITU-T K.78(EMP), ITU-T K.81(HPEM) 그리고 IEC 77C에서 상용기기에 대한 HEMP(High Altitude Electro-Magnetic Pulse)관련 규격을 제정하면서 국내 EMC분야에 높은 관심을 받고 있는 것이 고고도 핵 전자기파/HEMP이다. 우선 용어 정의에 있어 고고도 핵 전자기파는 에너지량에서는 매우 크지만, 목적에 따라 분류하면 사람이 만든 고출력 전자무기/HPEM(High Power Electromagnetic)의 한 부류에 속하며, 지구에 영향을 주는 전파 현상적 측면에서 보면 최근에 문제되었던 Solar storm하고 맥을 같이한다. 특히 Solar storm의 경우 EMP의 E3 신호와 같이 지자계/ dc 자계가 ac용 Transformer 전류용량의 10%이상만 변위 지자계로 인가되어도 일반 코어에서 dc가 중첩되는 현상과 같이 코어가 포화를 일으켜 화재를 일으키는 사례가 2008년 NASA의 workshop에서 발표되었다[480nT, 92초]. 1964년 이후 40년 이상 EMP분야 연구를 주도한 미국의 군사 기술문서 상당수가 제한적이기는 하지만 IUT-T문서, IEC 77C를 제정하면서 관련 전문가들이 많이 참여하고, 당시 연구자들이 정년퇴임 하면서 공개되고 있다. 그러나 미국에서 그 동안 개발된 EMP 모의시험도구는 보안 처리되어 공개되지 않고 있다. 특히 EMP의 경우 우리의 입장에서 볼 때 실제 실험과 측정이 거의 불가능하기 때문에 절대적으로 EMP방호시설의 설계 및 시공에 있어 컴퓨터 모의시험도구에 의존 할 수 밖에 없다. EMP Tool은 미국에서 1974년 미국의 공군무기연구소에서 개발한 **CHAP** 코드 그리고 CHAP 코드와 약 5%정도 오차는 있으나 컴퓨터 연산시간을 단축하여 개발한 미공군 기술대학의 Louis W. Seller가 1975년 제시한 HAEMP [1], 1990년 독일의 K.D Leuthâuser [2]가 개발한 **EXEMP** 코드가 있는데 이들 관련 논문을 처음 대하면 기초 물리학, 핵공학, 기상학, 전자공학, S/W공학 등 매우 여러 분야가 복합되어 매우 난해하다.

이들 각각의 모의시험도구의 특징은 모든 이론적 배경이 1962년 W.J Karzas와 Richard Latter가 발표한 논문[3),4)]에 바탕을 두고 있는 것이 공통점이다. 최근 2010년 1월에 미국의 Metatech에서 발표한 보고서[5)]에서는 HEMP 발생구조는 과거이론을 그대로 사용하면서 앞서 개발된 코드를 전파의 방향과 각도를 잘 정리하여 혼동하기 쉬운 감마선 방사- 지표면 20-30km상단의 대기층과 충돌- 1차 전자발생- 2차 전자 발생-지자계의 영향- 고도별 대기의 도전율 변화- EMP발생과 전계, 자계의 방향- EMP의 진행방향-관측점의 전계량 계산에 이르기까지 물리량의 변화와 여러 가지 벡터적 각도를 알기 쉽게 정리하고 전력선 유도에 대한 통계적 내용을 담고 있다. 다만 이 보고서의 내용중 Smile diagram의 Tan 거리에서 "0"에 수렴하도록 한 것은 기존 논문이 Tan거리에서 $0.5E_{max}$($0.17E_{max}$)가 되는 것과 다소 차이가 있다. 당소 개발 툴로 Simulation 한 결과 EXEMP코드 결과와 최대 전계 상승비가 Tan값에서 $0.17E_{max}$로 정확히 일치하는 것을 확인하였다. 당 소에서는 앞서 설명한 필요성에 의해 관련 이론을 바탕으로HEMP 방호시설을 효과적으로 설계, 시공하기 위한 목적으로 개발되었으며, 이후 한 단계 더 나가 방호시설 상세설계와 재료설계까지

본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락 없이 무단 사용을 금합니다.

내용을 포함하여 가능한 한국형 EMP 코드 즉, EMP 전계 발생량 모의 시험도구 “KTI CODE”를 개발하게 되었다. 여기서 고고도 핵 전자기파/HEMP란 용어에 충실하기 위한 폭발고도/HOB(Height Of Burst)는 최소 30km이상 되어야 하고, 지상폭발과 저고도 폭발에 의한 전자기적 해석은 똑같이 전자파가 발생되나 열 폭풍, 방사선 등의 피해에 비해 가시적인 피해가 적으므로 본 원고에 포함시키지 않았다.

2. 개발목표 및 개발과정

2.1 개발목표

탄두의 크기별 감마 생성량 계산, 고도별 EMP가 미치는 범위와 면적 계산, 단위 벡터를 이용한 수직, 수평면상의 전계분포(Smile diagram), 가공 및 지중 매설 케이블의 HEMP 에너지 유도량 계산 등 HEMP방호시설 설계를 위한 주요 내용을 시뮬레이션 할 수 있게 개발하였다. 주요 개발 목표는 다음과 같으나, 여기서는 그 일부만 소개한다.

1) EMP의 발생구조 해석/Smile diagram

- 탄두의 크기 별 감마선 생성량
- 고도 별 EMP가 미치는 영역 계산
- 고도 별 EMP가 미치는 거리계산
- EMP 전계의 수평, 수직 Cut view
- 지표면상 EMP 발생 전계의 3차원 그래프 표현
- 수평, 수직 Smile diagram 자동 연산 구현
- 한반도 주변국가가 포함된 지도 위에 EMP 수직, 수평전계 Mapping기술 구현

2) 가공선 및 지하매설 케이블의 HEMP유도량 계산

- 가공선(전력선, 통신선)의 길이와 입사각도에 따른 유도량 계산
- 지하 매설 케이블의 깊이에 따른 유도량 계산
- 차폐 케이블에 의한 EMP 유도량
- 가공 전력선, 통신선의 길이 별, 높이 별, 수직/수평, HOB별 유도전압의 확률분포

3) EMP 방호용 차폐시설 재료 및 구조(이음매, Pin hole, Honeycomb 구조) 설계 방법

- 차폐 재료정수(재료, 두께)에 의한 차폐도 계산
- 차폐재 이음매 개수 및 차폐판 공극이 차폐도에 미치는 영향 해석
- 방호용 차폐시설의 크기에 따른 Cavity 공진주파수 계산
- 차폐실에 취부되는 WBC, Hole의 형상, 개수, 크기가 차폐도에 미치는 영향 해석
- WBC 유전재료가 방호실 차폐도에 미치는 영향 해석

4) 다층 지하 구조물의 자연 차폐도 컴퓨터 시뮬레이션

- 다층 구조 흙의 종류, 암반의 종류에 따른 자연 자체도 연산
- 매우 다양한 토양, 암반의 특성에 따른 차폐도 연산의 오차를 줄이기 위한 최소 자승법 통계이론 적용

5) HEMP 방호용 필터 회로설계를 위한 컴퓨터 시뮬레이션

- 접촉저항이 필터특성에 미치는 영향 분석

본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락 없이 무단 사용을 금합니다.

- 인덕터의 분포용량이 필터 특성에 미치는 영향 분석
- 컨덴서의 ESL, ESR이 필터 특성에 미치는 영향 해석
- EMP용 필터 설계를 위한 L, C값 최적 설계, Damping factor 계산

6) 기타 자료

- EMP 방호실 최적 접지체계
- EMP, HPEM에 의한 전자장비, 전자부품, 전자회로에 미치는 영향과 내성 레벨
- EMP용 과전압 보호회로 최적 설계
- EMP 방호실의 유지보수를 위한 관련 부품의 경년 변화 그에 대한 대책
- EMP 방호실 성능 감시장치, EMP/HPEM 발생검출을 위한 MZ sensor를 이용한 방향 탐지기

2.2 개발과정과 결과

2.2.1 EMP의 발생구조 해석/Smile diagram 개발 과정

고고도 핵 전자기파의 발생 및 전달구조의 이론적 분석절차는 다음 그림1로 요약된다. EMP발생구조 해석은 전자공학을 전공한 사람으로 괘 많은 어려움을 겪었다. 특히 기초물리에 분야에 사용되는 각종 공식, 용어, 수식의 물리적 의미를 파악하는데 상당히 어려운 해석과정을 거친다. 본 툴 개발에 가장 어려웠던 것은 통일되지 못한 표기체계와 각 물리량이 갖는 차원식 즉, 단위계산이었다. 여기서는 주요과정의 간략, 개발된 툴의 주요 결과 그리고 방호시설 설계를 위한 고려요소 등 전체적인 기술동향에 대해만 설명한다. 특히 본 연구결과는 국익에 큰 영향을 줄 수 있기 때문에 가급적 ITU-T와 IEC TC77C내에서 설명한다.

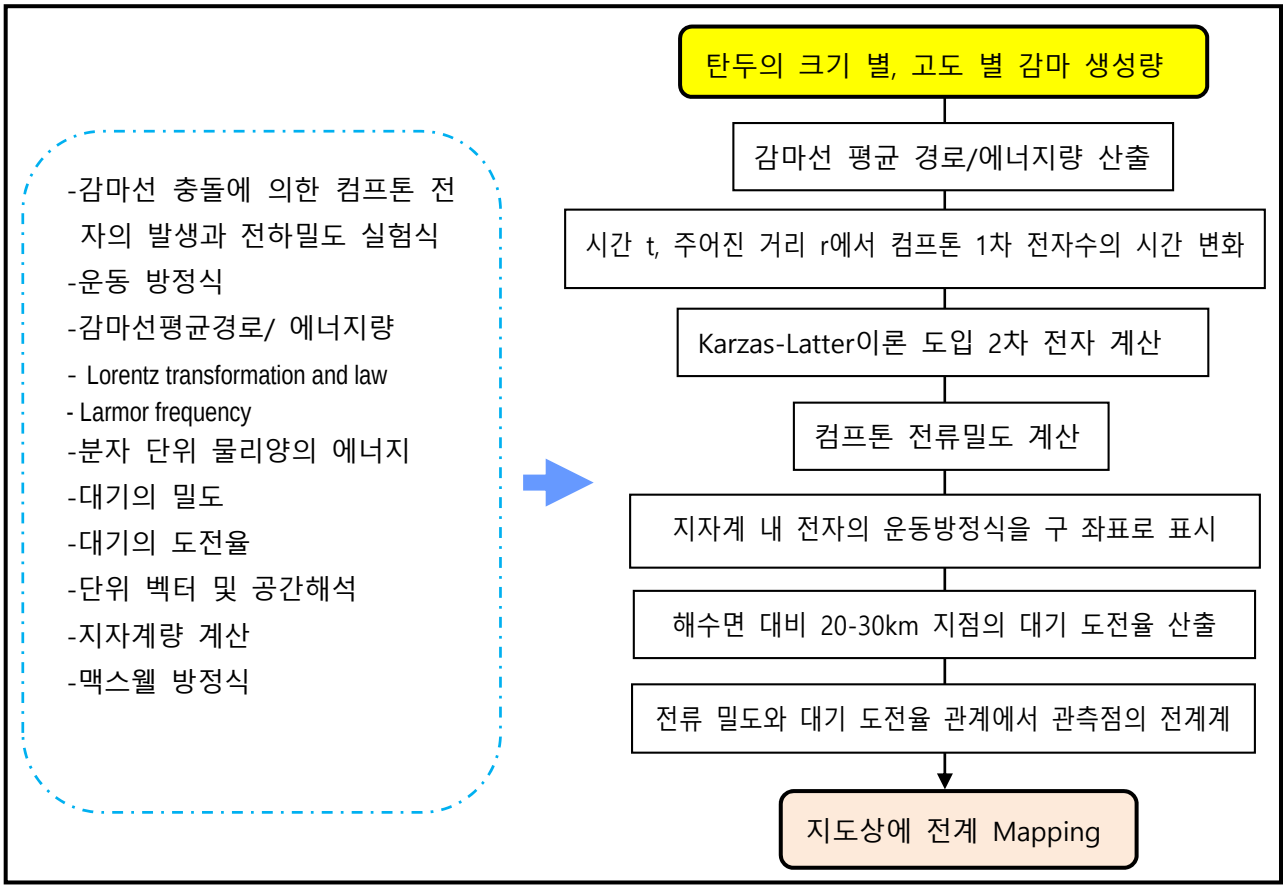
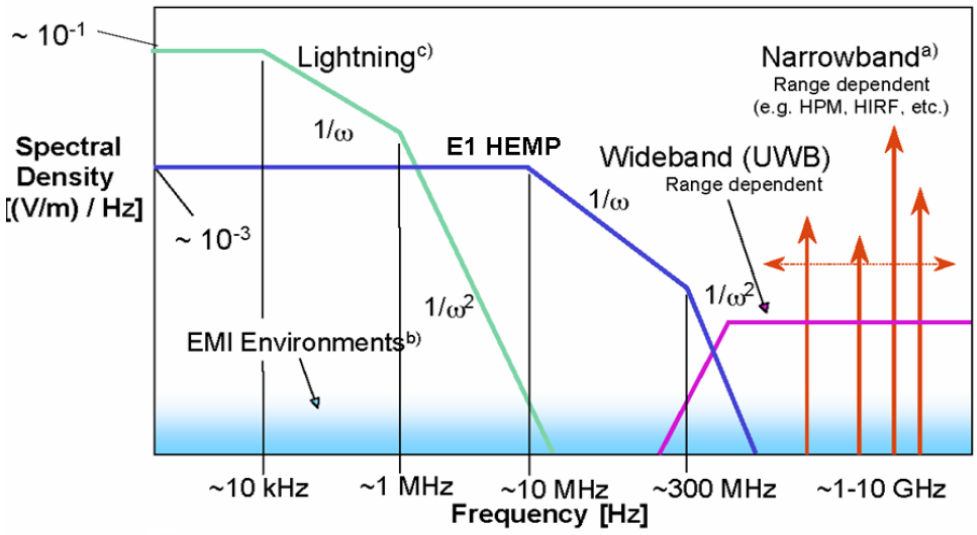


그림1. HEMP 발생 및 전달 구조 이론 분석 절차 간략

본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락 없이 무단 사용을 금합니다.

전계량 계산에서 중요한 것은 핵폭발 과정의 시간 분포함수 *f(t)*가 매우 중요한 역할을 하는데, 기존 발표된 Cord 별로 계산결과가 조금씩 다른 것을 알 수 있다. 만일 시간 분포함수 *f(t)*가 달라지면 감마선 분포가 달라져 지표상의 전계분포/Smile diagram이 달라지고 최대 전계값과 Tan지역의 전계비가 달라지게 된다. 전계량에 예측에 절대적으로 영향을 주는 것은 지구의 지자계 입사각도와 지상 20-30km에서 해수면 대비 대기의 도전율 분포가 절대적인 영향을 미친다.

.



a) narrow band extending from ~0,5 to ~ 5 GHz
b) not necessarily HPEM
c) significant spectral components up to ~10 MHz depending on range and application

그림2. 낙뢰, HEMP, UWB 신호의 주파수 분포비교
(IEC 61000-2-13참조)

본 시뮬레이션 결과와 EXEMP코드가 가장 권위 있다고 판단되어, Tan지역 전계값을 EXEMP코드와 비교하여 잘 일치하는 것을 확인하였다. 연산 코드에 따른 전계량 차이는 실제 방호시설의 설계와 구축에서 과전압 보호소자의 특성에 거의 영향이 없다고 보면 된다

2.2.2 낙뢰와 EMP신호의 전기적 차이점 및 북한 EMP공격이 한반도 주변국가에 미치는 영향

낙뢰에 대한 연구는 인류가 태어나면서부터 경외심을 갖게 되었으며 가장 연구가 깊고 오래되었다. 낙뢰와 E1 EMP의 차이점은 에너지량을 비슷하게 취급하고 있으나, 펄스의 상승시간이 EMP가 낙뢰에 비해 10^3정도 빨라 낙뢰가 us단위라면 EMP는 10ns(2-5ns)이하로 매우 빠른 상승시간특성을 갖는다. 상승시간이 빠르다는 것은 GHz대역까지 넓은 주파수 분포를 하고 있다는 것을 의미한다.

낙뢰의 경우 발생높이가 낮은 곳에서 발생 그 피해면적이 좁은 것에 비해 EMP는 반경 1,000km 정도 넓은 것이 특징이며 유도량의 전기적 특징은 표1과 같다.

EMP 발생 최대 전계값의 경우 IEC과 MIL STD에 약간의 차이가 있는데, EMP 파형 정의에 사용되는 수식이 2-3정도 소개되고 있다. EMP의 최대 전계가 50kV/m(60-70kV/m)라고 할 때 지자계의 영향으로 지표상 전계 세기는 북반구의 경우 남쪽으로 치우치게 되는데, 지표면 최대 합성 전계는 폭발고도 HOB(Height of Burst)의 남쪽 대략 1.4- 1.8배 거리에서 10kT의 경우 약 60kV/m 정도 검출되며, Tan/가시거리에서 26kV/m 정도, 수직의 경우 직하점 서쪽 2.5 x HOB 지점[5]에서 22kV정도 검출되고 파형의 상승시간은 2-5ns정도이다.

본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락 없이 무단 사용을 금합니다.

여기서 주목해야 할 것은 만일 북한이 서울상공 100km지점에 10kT의 핵탄두를 폭파시키는 경우 남한뿐만 아니라 한반도 주변 국가인 중국과 일본에도 크게 피해가 예상된다는 사실이다. 이 부분에 대해서는 별도 논문으로 발표될 예정이나 수직,수평 합성전계의 경우 일본의 경우 Tan/가시거리에서 10-30kV/m의 전계에 노출될 수 있으며, 중국의 경우 수직 전계가 Tan/가시 거리내에서 중파 안테나 등에 일본 보다 큰 피해가 예상된다.

그림2에서 보는 바와 같이 IEC에서는 EMP가 약300MHz 대역까지 주파수 분포를 하는 것으로 정의되어 있으나, MIL관련 논문에서 EMP 주세력 분포를 150MHz까지 보는 것이 특징이다. EMP 주파수 분포에 대해 150MHz 또는 300MHz까지 분포한다는 개념 차이는 사실 대책소자의 성능면에서 보면 크게 문제되지 않는다. 일반적으로 RF나 EMC분야를 전공한 분들이 신호해석을 하는데 주로 주파수 축에서 신호해석이 이루어 지지만, EMP는 시간축에서 해석되는 것이 특징으로, 특히 전계 검출센서의 구조와 검출 방법이 완전히 다르다.

EMP신호를 시간축에서 측정하는 것은 신호 자체가 일과성 신호로 상승시간이 빠르기 때문에 주파수축에서 측정하는 것은 FFT의 변환 시간의 한계 때문으로 판단된다. E1 EMP신호 발생기(Short pulse)의 출력단자는 주입 도선의 임피던스와 부하 임피던스에 의해 큰 영향을 받는다. 반면에 광대역 HPEM(High Power Electro Magnetic) 전자파 무기류는 저역은 Marx generator를 1GHz 미만은 고출력 증폭기를 사용하고 1GHz이상은 Magnetron이나 TWT등을 이용 수백 MW급 출력을 단극성 또는 복극성 신호를 반복적으로 출력되도록 개발되어 사용된다.

EMP의 대책수립에 있어 전도적 피해를 최소화 시키기 위해 과전압보호 소자를 사용하는데, 과전압 회로설계방법은 기본적으로 낙뢰 보호회로와 다른 특성을 갖도록 설계할 필요가 있다. 가장 중요한 것은 과전압보호소자의 응답속도, 전류내량, 정전용량, 과전압 보호소자 손상 시 대책 그리고 회로내 직렬보호소자의 구성에서 저항보다는 인덕턴스 성분을 삽입하는 것이 이상적이다.

EMP의 E1.E2,E3 펄스중에 변전소와 통신선, 전력선의 절연재, 분전 트랜스에 실제 화재나 손상을 입히는 것은 E3로 그 특성이 전압은 낮으나 20초 이상 지속되므로, 변압기 자성재료를 지자계 요란이 자기포화를 일으켜 주울 열에 의한 손상이 치명적이다. E1, E2는 전자부품이나 회로에 공간적인 유도경로를 통해 높은 전압을 유기시켜 프로세서 제어기기를 손상 또는 오동작 시킨다. 한편 전도적으로 결합된 EMP 펄스의 전압이 높으면 기기손상을 쉽게 일으키는 것으로 알고 있다. 그러나 필자의 실험적 연구결과[9)11)12)] E1과 같이 펄스 상승시간이 빠르고 폭이 좁은 펄스에 대해서 과전압 보호소자는 오히려 전압이 높을수록 더욱 정확하게 동작하는데 비해, 비교적 펄스 전압이 낮아 과전압 보호소자의 동작전압의 근처 전압에 대해 지속시간이 긴 경우 또는 소자의 필수 복구시간이 요구되므로 반복적인 펄스에 의해 과전압 보호소자는 치명적이다. 다만 과전압 보호소자는 반복적인 임펄스에 의해 그 성능이 가시적으로 판단 할 수 있을 만큼 현저하게 저하되어 절연저항이 낮아져 MCCB 등 전원 개폐기가 Trip 될 수 있고, 무엇보다도 EMP뿐만 아니라 낙뢰에도 동작한다는 사실에 유념 할 필요가 있다.

E3와 같이 전압이 낮으면서 지속시간이 긴 펄스에 의해 전력, 통신, 제어계통 설비가 전도적으로 유입된 EMP 신호에 의해 손상될 확률이 매우 높으므로 관련부품을 유효하게 설계할 필요가 있다. EMP에 의한 가공선 또는 지중매설 케이블의 유도 전기량에 대해서는 논문마다 차이가 많은데 참고문헌 6을 인용 표1로서 요약한다.

기기의 오동작 발생을 일으키는 E1, E2의 영향을 판단 할 때는 반드시 기기, 회로, 부품이 갖는 방사내성 레벨을 고려해야 오동작 유무를 판단할 수 있다. 방사내성 레벨에 대한 내용은 참고 문헌 9을 참조하기 바란다.

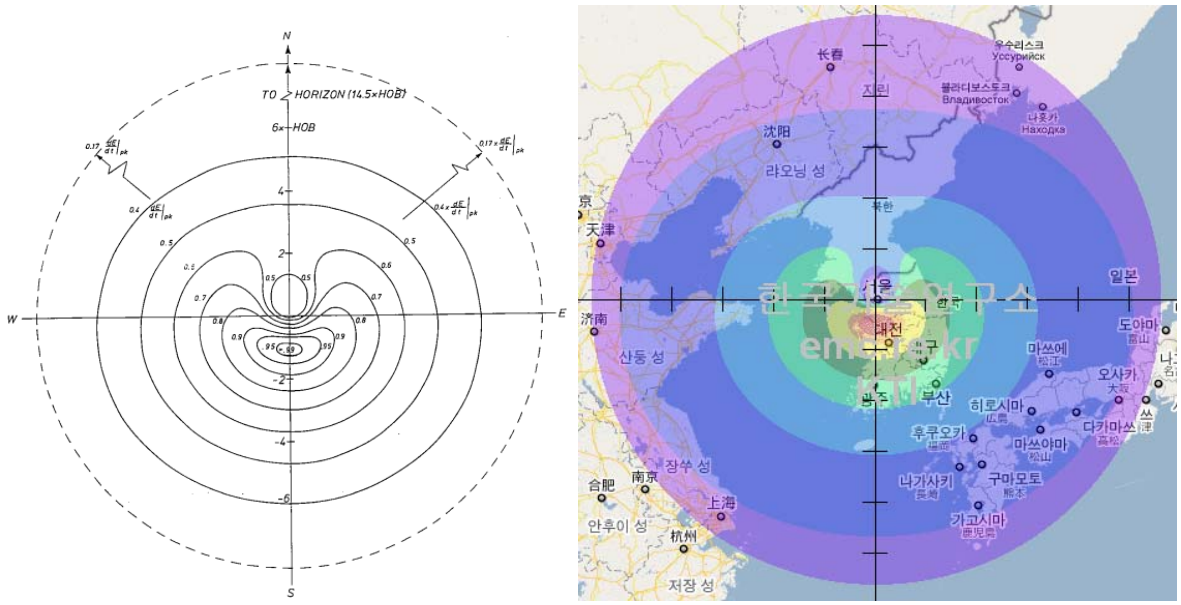
본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락 없이 무단 사용을 금합니다.

표1. EMP와 낙뢰의 전력선 유도량의 전기적 특징과 전기량[6)]

조 건	V_{max}[MV/m]	I_{max}[kA]	$\frac{dV}{dt}$[kV/ns]	$\frac{dI}{dt}$[A/ns]	$\int Idt^2$ [Coulomb]	$\int Idt$ [A^2-sec]	$\int IVdt$ [Joules]
길이가 긴 가공 전력선	8	14	40	100	10^{-2}	150	$6x10^4$
길이가 짧은 가공전력선	8	2.5	40	100	$2x10^{-3}$	5	$2x10^3$
지하매설 전력선	8	2.5	8	20	–	–	–
직격 낙뢰 최대 일반	100 10	100 25	0.8-8	2-100	40	$3.1x10^6$	$1.2x10^8$
간접 낙뢰 최대	6	15	–	–	4.5	$1.8x10^4$	$7x10^6$
* 전압계산은 일반 전력선 서지 임피던스가 400Ω 경우, 낙뢰 방전전압 예측은 정극성 초고전압이라 불리는 값으로 추정하지 않았으며, 대략 일반 낙뢰전압의 10배정도로 가정							

3. 주요 EMP시뮬레이션 결과 요약

그림1의 절차를 거쳐 개발된 EMP방호시설 설계를 위한 KTI CODE로 시뮬레이션 한 결과 중 당 소 기술보안을 고려하여 몇 가지만 소개한다.



a) 지자계각도 67인 미국 본토의 EXEMP 시뮬레이션 결과, V+H sum 전계

b) 지자계각도 67인 미국과 같은 조건에서 KTI Cord로 시뮬레이션 결과, V+H sum 전계

그림3. 미국 본토의 지자계 각도와 같은 조건에서 EXEMP코드와 당소 KTI Cord의 스마일 그래프 비교

본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락 없이 무단 사용을 금합니다.

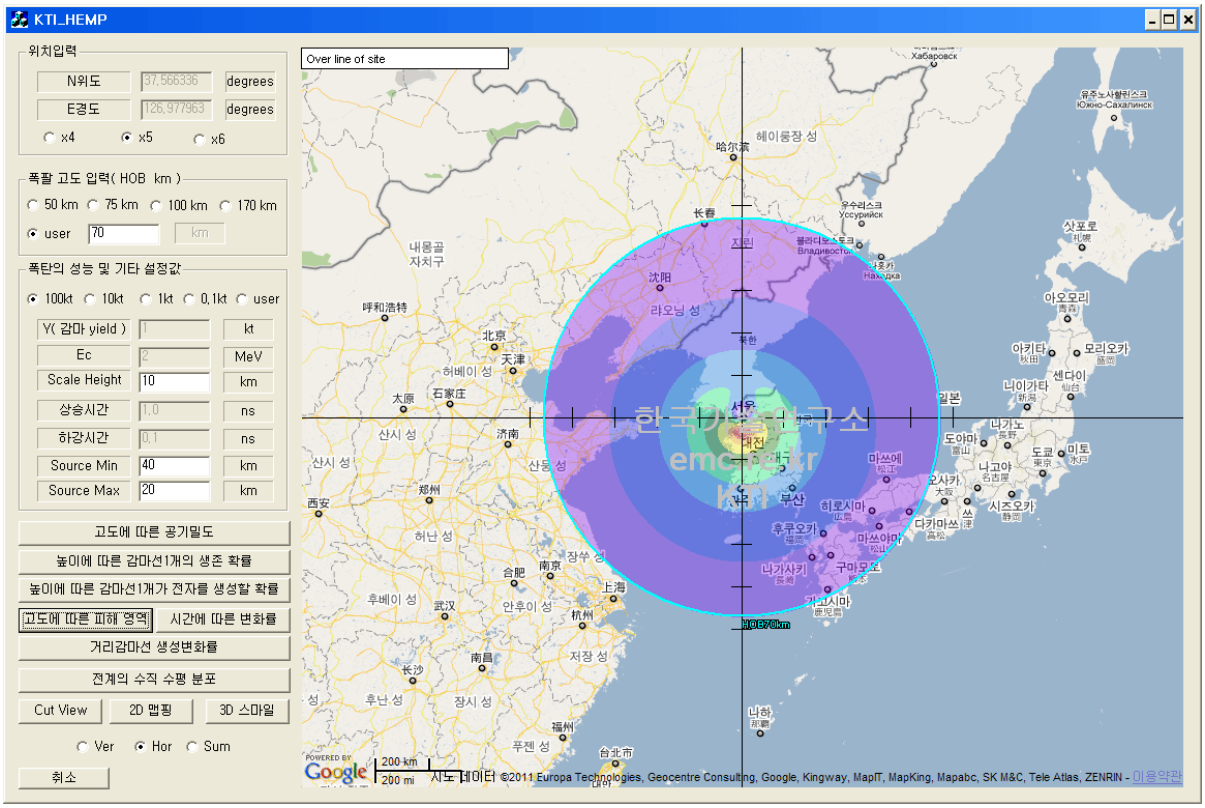


그림4. 한국의 자계각도(56도), 폭발고도/HOB 70km에서 수평 전계분포

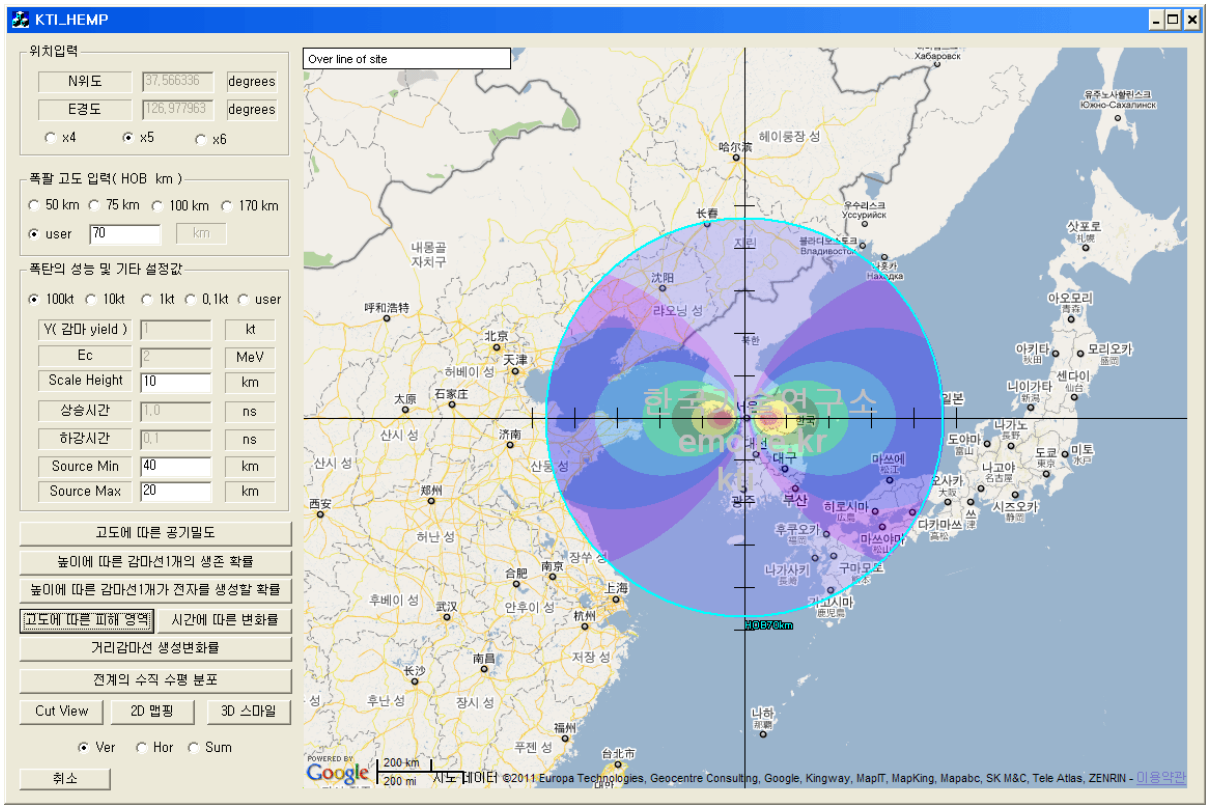


그림5. 한국의 자계각도(56도), 폭발고도/HOB 70km에서 수직 전계분포

그림3의 좌측은 미국의 EXEMP코드로 시뮬레이션 한 결과이며, 우측은 KTI Cord로 시뮬레이션 한 결과로 비교를 위해 미국의 지자계 각도로 같게 하여 비교하였다. 당소 시뮬레이션 결과와 정확하게 일치하는

본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락 없이 무단 사용을 금합니다.

것을 그림과 데이터상에서 확인 할 수 있었다.

그림4와 그림5는 서울상공 70km상공에서 10kTon 핵탄두가 폭발했을 때 한반도 주변국가에 미치는 영향을 당소 개발 툴로 시뮬레이션 한 것으로 최대점에서 최대 전계상승 비($\frac{dE}{dt}$)는 약 84.5kV/m이고 Tan 가까이는 14.3kV/m이다. 참고로 최대 전계는 약 60kV/m이고 0.8Tan에서는 약0.5Emax인 30kV/m 정도 된다. 이는 위 그림(4)와 그림(5)에서 보는 바와 같이 서울상공 70km에서 폭발시 중국의 동북 3성과 일본의 남서부 지역에 10-30kV/m의 전계가 영향을 줄 것으로 판단된다. 지자계 각도 차이에 의한 전자계 분포를 미국과 한국을 비교해 보면 smile diagram이 미국보다 한국이 남북으로 납작한 형태를 갖는데 이는 남한에 전계가 집속된다는 것을 의미한다.

본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락 없이 무단 사용을 금합니다.

4. EMP 방호시설 목적 및 설계/시공관련

4.1 방호시설의 목적 및 설계절차와 평가

EMP 방호시설이라 함은 (i) 고고도 전자파기파 뿐만아니라, (ii) 현대 전자정보전의 핵심인 HPEM(High power Electro Magnetics) 즉, 차량 탑재 MV/m 급 고출력 무의도 전자파를 전산시설 또는 전력제어 시설에 인가하여 기기를 오동작 또는 손상 시키는 고출력 무기, (iii) 정보누설방지(TEMPEST) 3 가지의 목적을 동시에 달성하기 위한 시설로서 위험도 측면에서 보면 고전적인 화생방 방호시설보다, 전산시설의 정보 보호 측면에서 보면 상위레벨에 있다. EMP 방호실 구축의 목적은 EMP 피폭 시 복구시간을 단축하고 피해 기기를 최소화하는데 있다.

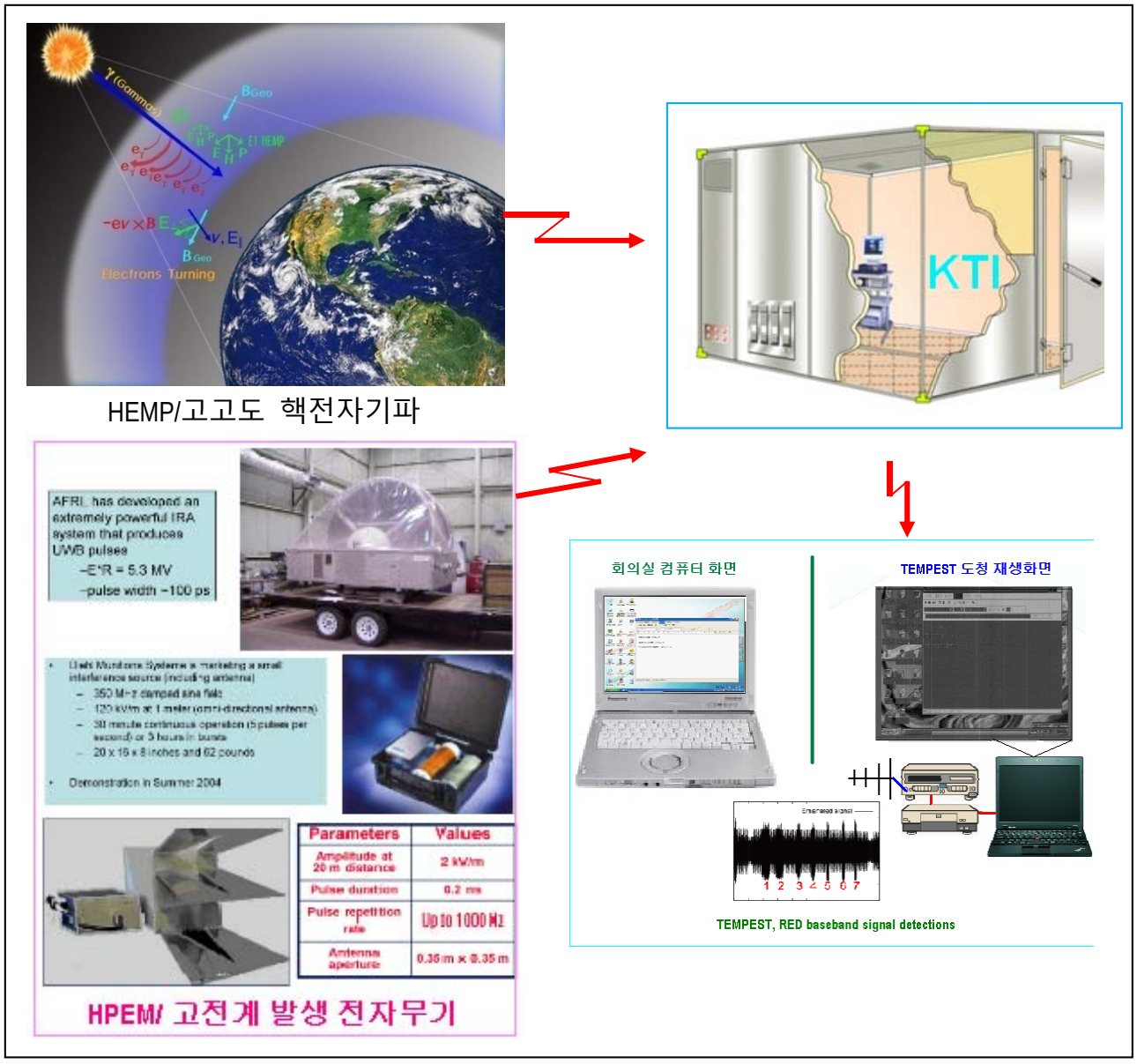


그림6. EMP 방호시설 구축 목적

본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락 없이 무단 사용을 금합니다.

EMP 방호시설의 최적 설계는 국내에서 EMP를 실제 시험할 수 있는 환경이 못되고, 성능평가 장비도 미국의 수출 규제품으로 접근이 용이하지 않기 때문에 미국 등에서 실시한 EMP시험결과와 연구 논문을 참고할 수밖에 없어 주로 컴퓨터 시뮬레이션에 의존하여 예측하고 설계하는 방법이 이상적이다. 특히 지하 터널 내 구축되는 방호시설의 경우 터널(암반과 흙) 자체의 차폐도 계산에 있어 재료정수로 해석하여야만 최적설계가 가능하기 때문에 반드시 시뮬레이션 툴의 도움이 필요하다. EMP 방호실은 기존 차폐실과 기본 구조는 유사하나 필터, 과전전압 보호회로, 접지체계는 전혀 다른 구조를 하고 있다. 특히 도어의 경우 차폐도도 중요하지만 출입의 편익성을 위해 도어개폐가 일반도어와 유사하게 편리해야 되기 때문에 차폐도를 분담시키고, 차폐도를 유지하기 위해 2중 도어를 권고 하고 있다. 차폐실의 입인구 구조 역시 자연적인 차폐도를 증가시키기 위해 "ㄱ", "ㄹ"자 구조를 권고하고 있는 것이 차이점이다. 방호시설의 경제적인 구축을 위해 중요한 것은 통신망의 계위에 따라 방호등급을 별도로 정해 공간전파에 대한 차폐도와 EMP의 전도 유도량에 대한 대응 방법을 구체적으로 제시하여 관리 할 필요가 있다. 예를 들어 위성망이 가장 상위레벨의 통신망이라고 위성망만 대책을 세워, 만일 EMP가 발생하여 위성망만 살아있다고 해서 국가 전체 통신망이 원활하게 이루어 진다고 볼 수 없다. 따라서 통신망의 계위에 따라 그리고 각 시설의 구조를 전문가의 도움을 받아 정밀하게 진단하고 분석하여 공간적, 전도적 대책을 경제적으로 마련하는 것이 요구된다. 참고로 공간적인 대책은 기존 건물의 차폐도를 향상시키는 방법이며, 전도적 대책은 보다 적극적인 방법을 채택하여 EMP에 대한 경제적인 대책을 수립할 필요가 있다. 현업에 종사하는 많은 분들의 관심이 높은 철근 콘크리트 골조의 차폐도에 대한 내용은 참고 문헌 10을 참조하기 바란다.

표2. HEMP 방호시설 설계/시공, 성능검사 계위

단계별 상세 내용	사전 검토	기본 설계	실시 설계	감리 시공
1. **HEMP 발생, 전달,에너지량, 유도 및 대책방법에 대한 기본 이해**, 신축 및 기존건물에 따른 방호능력 예측, 방호시설의 크기,전력 및 통신망 에 대한 전력량 예측과 통신 포트수,비상전원, 대상방호시설 선정, 외부 안테나처리, HEMP 검출장비, HEMP 대비 접지방법 등 전문가 자문 및 **컴퓨터 시뮬레이션**	0			
2. **접지설계** : 5 옴 미만, 접지망 구조설계 : 접지망 분배, 본딩, 접지선의 굵기/길이, 대지 도전율 측정, Clean접지선 인출 수 결정, 접지 Stud 형상지정 및 설치위치, 방호시설 하단 접지 등전위 Grid 설계, 철골조 접지처리 방법, 접지선간 연결방법 : 지하 및 콘크리트내는 용접, 지상 크램핑 콘크리트 강화용 철근재 본딩 간격, 지중 메쉬와 연결방법과 위치 선정, 메쉬와 접지봉간 용접, 접지봉의 개수 및 간격 결정, 배관재 본딩방법과 시방,	0			
3. **전원계통 HEMP 방호설계** : 전기용량 예측, 과전압 보호회로 설계요구, 전원필터 최소요구, 전력계위 설계, 비상전원의 용량설정, 절연트랜스 1-2차간 용량/잡음감쇠량, 옥내 배관 방법, 전원 차단기 용량설정, 전력 우회로, 휴즈 용량 및 차단시간 등 각 부분품의 MIL 요구사항 검토	0			
4. **데이터, 음성급 통신망 설계** : 광케이블의 회선수, 광장비 물량산출(음성, 영상, 데이터), Rack의 크기, 광장비의 HEMP 내성(MIL STD RS105,CS115,116) 등 기술적 요구 규격검토		0		
5. 외부인출 무선통신용 급전선(도파관, 동축), 소방, 급수,환기 등 HEMP 설계고려		0		
6. **방호시설 크기**(가로,세로,높이), 도어크기 및 개수 결정, 실선 인출용 도파관 길이결정		0		
7.**HEMP 감시 및 비상조치 장비** 등 소요물량 산출 및 소요부품의 전기적 spec작성, 설치 부품 별 HEMP 성능 요구 검사요구, Spare part 수량산출		0	0	
8. **발주** : 위 모든 내용이 포함된 기본 설계 요구를 종합하여 발주		0		
9. 시공자가 위 상세 내역을 근거로 **실시설계도 및 성능검사 계획서 작성** 제출/검토/승인			0	
10. **시공** : 시공중 설치되는 각각의 부분품에 대한 성능확인/ 공인시험기관 성적서				0
11. **필수 성능검사** : 1)SE, 2)Short Pulse, 3)Intermediate Pulse,4)CW immersion 총 4개항 *Long pulse의 경우 전원이나 통신선에 직렬로 속도가 빠른 열 휴즈가 삽입된 경우 생략가능 *성능검사 및 인수시험은 **ISO 17025 공인시험기관에** 의해 시험 평가되어야 한다.				0

본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락 없이 무단 사용을 금합니다.

4.2 EMP/HPEM 최적화 기본/실시 설계시 포함되어야 할 주요 내용

1) EMP 방호 시설 기본 설계를 위한 EMP 발생량(전력선, 통신 및 데이터) 예측 시뮬레이션

EMP 의 방호설비 설계를 위해서는 우선 탄두의 크기 별, 고도 별, 방호시설 구축 위치 별 EMP 발생 최대전계를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 추정한 후 각각의 목적에 맞게 방호시설의 공간 전자파 차폐 요구량 및 방호대상 장비의 EMP 전자파 내성 요구량을 결정할 수 있다. 포함되어야 할 내용으로는 탄두 별, 고도 별, 지역별 수평,수직 최대전계를 컴퓨터로 시뮬레이션 한 결과를 설계도에 첨부한다.

2) EMP, HPEM 기본 설계를 위한 유도계통(전도적, 공간적) 및 유도량 예측 시뮬레이션

앞서 구해진 해당지역의 최대 전계를 근거로 전력선, 통신선 등의 가공선 각도, 높이,길이에 따라 유도량을 예측 시뮬레이션 한다. 이의 목적은 방호시설이 설치되는 위치에서 EMP 에 의한 전도적 에너지량을 산출해 내고, 이에 맞는 과전압 보호소자의 계통설계, 고압계통 강압 트랜스의 Isolation 전도잡음 감쇠량, 2 차 isolation 트랜스의 전도잡음 감쇠량, 전원필터의 전도잡음 감쇠량의 목표치를 설정 할 수 있다.

3) 전원계통(전원 계위 별) EMP 방호 기본 설계 구조도

한전 인입선(예; 22.9Kv)- 강하 트랜스(예:6.6Kv)- 6.6kV-380V(3 상)/220V(단상-HEMP 용 전원필터- 2 차 차폐실간 전원계통도(건출물내 설계도면에 표기, UPS/비상발전기)를 그리고 각 계위 별 부품에 요구되는 잡음 차단 능력을 전기적 계수로 표기한다. 여기서 중요한 것은 경제적인 EMP 방호시설을 구축하기 위해 22.9kV- 6.6Kv 트랜스와 6.6Kv-380(3 상)/220V 는 저주파에서 80dB 이상 전도잡음 차단 특성을 가져야 한다.

380V/220V 의 용도별 분배에는 다시 잡음차단 트랜스를 이용하여 전력계통을 분리하고, 분리된 전기용량 별로 EMP 전원필터를 통해 2 차 차폐실의 벽면에서 인입시킨다.

이때, 각각의 트랜스 입력단 22.9kV-6.6kV, 6.6kV-380/220V 구간에는 동작전압의 약 2.5 배 전압에 크램핑되는 Arrestor 를 삽입하여 과전압 보호회로를 구성하고, 380/220V 용도별 분배 잡음차단 트랜스와 EMP 전원필터에는 Varistor 를 이용한 과전압 보호회로를 구성한다. Varistor 의 전류 내량은 약 1,500A 를 기준으로 설계하고 Hot-Gnd, Neu-Gnd 간은 면과 면이 붙는 구조로 접촉 저항은 극소화 시키고, ESL,ESR 은 최소화 되도록 설계 한다.

기본설계 구조도에는 계통도와 배관 및 본딩 조건을 상세히 명기하고, 각 계통상 부분품의 전기적 요구량을 도면 또는 별지에 상술해야 한다.

4) 통신계통(통신 계위 별) EMP 방호 기본설계 구조도

전원계통과 같이 통신계통도 광변환기 전원에 대한 상세, 계통배관 및 본딩 조건, 그리고 광케이블이 아닌 실선이 인입되는 경우 통신용 EMP 필터까지 계통도를 그리고 각각 부분품의 EMP 전기적 요구량을 명시한다.

5) 옥외용 안테나 EMP 방호 기본설계 구조도

옥외용 안테나가 있는 경우 급전선을 철저하게 배관하고, 동축용 어레스터의 접지 처리도를 명기한다. 만약, Waveguide 를 사용하는 경우 Waveguide 자체가 필터 기능이 있는 부분품이 사용될 수 있도록 명기한다.

본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락 없이 무단 사용을 금합니다.

6) 방호대상 전산시설의 EMP/ EMC 내성 전기적 요구량(시험규격포함)[13]

방호대상 전산시설의 전원별, 통신선별 적용할 MIL STD 461 또는 IEC 규격을 참조로 열에 제품명을 행에 요구규격 항목의 대상과 적용레벨을 기술한다.

7) 방호대상 전산 부대시설의 전원,통신, 제어 계통 HEMP/EMC 내성 전기적 요구량(시험규격포함)[13]

(대상 UPS,SCADA, 화생방시설 제어설비, 기타 방호대상기기 및 부속설비)
열에 제품명을 행에 요구규격 항목의 대상과 적용레벨을 기술 [8][9]

8) EMP 방호 접지계통 설계 구조도, 전기적 요구량

낙뢰용, 전원실 3 상 중성선용, 단상 2 차측 Net 용(FG), 과전압 보호소자용, 옥상 옥외 안테나용, 방호용 차폐실용(3 조 6 개소 이상) 등을 직접 지하 mesh 에서 분산, 직접 인출시킨 접지설계 구조도 및 접지선 굵기, 개수, 길이가 표시된 접지분야 도면 설계.

9) 안테나 급전선(통신, 재난방송 수신), 화생방 전원/제어선, 음성 대역(방송, 일반전화기, IP 전화기), 화재 검출 등 신호용 필터

이들 용도에 적합한 신호용 필터의 선택은 전문가의 도움을 받아 상당한 주의가 요구된다.

10) EMP 방호시설의 및 단위 부품별 확인시험, 인수시험 전기적 요구량 제시 및 시험방법과 절차

(합부 판정 기준 포함). SE, PCI(Short pulse, Intermediate pulse, 외부 안테나가 있는 경우 Charge line pulses, CW immersion test) 시험방법과 절차, 합부 기준, 확인시험/ 인수시험 대상품 지정, 공인시험기관 요구.

다만, Long pulse 의 경우 현실적으로 시험이 불가능하므로 Long pulse 시험을 대치 할 수 있거나, 충분한 대책방법을 이론적으로 설명하고 설계에 반영된 경우에만 생략 할 수 있다. 특히 인수시험 시 실부하에서 시험하는 경우 장비 손상에 따른 책임 한계를 명확하게 할 필요가 있다.

11) EMP/HPEM Monitoring 장비의 전기적 요구

설치 목적 : EMP 발생고도 및 위치 추적, 낙뢰와 EMP/HPEM 구분기능, 검출 전계 분석, 응급조치 예: jamming/ HPEM 의 발사위치 추적, 출력, 방사목적 분석, 과전압 보호소자 등 HEMP 방호시설 성능유지를 위한 감시, 비상조치

12) 방호 부분품의 spare parts 목록과 수량. 필요시, EMP/HPEM 방호 긴급 대응 절차서 작성제공

13) EMP, HPEM 의 공간적 방호시설(차폐룸)의 도면 및 전기.기계.물리 화학적 요구

차폐실 전체 구조도면, 차폐재료, 도금 두께, 요구 차폐량, 도어구조 및 크기, 등전위 유지를 위한 대책 제시. EMP 방호용 부품의 전기적 요구량 및 설치방법 제시(Isolation transformer, EMP 필터 등)

14) 과전압, 과전류 보호소자의 기본설계 구조도 및 전기적 요구(전류내량, 응답시간 등)[11][12]

전기계통, 신호/제어/안테나 계통의 EMP 과전압/과전류 보호회로 제시하고 각각의 보호소자의 전기적 요구량을 기본 설계도에 제시(전류 내량, 응답시간 등)

본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락 없이 무단 사용을 금합니다.

15) 방호실 차폐도 측정 거리/ 건물벽과 차폐벽면간 이격거리

MIL STD 188-125에서 권고하는 차폐도 측정거리는 송신측 약 2m, 수신측 약1m로 총 3m 거리에서 측정하는 것을 권고하고 있다. 3m란 거리는 원방계 조건을 만족하는 거리를 의미한다. 가까운 거리 즉, 근접계에서 차폐도를 측정하면 2가지 문제점이 발생될 수 있다. 하나는 송신 안테나의 전계 패턴이 불규칙해서 축방향에서 최대값이 얻어지지 않을 수 있는 것과 근접계에서 전계는 송신 안테나의 종류에 따라 $E \propto \frac{1}{r^2}$ 또는 $E \propto \frac{1}{r^3}$의 관계가 있는 반면 원방계는 $E \propto \frac{1}{r}$의 관계가 있어 측정거리 오차에 의한 측정값 변화가 근접계에서 커질 우려가 있기 때문에 차폐도 측정을 원방계에서 측정하도록 권고하는 것이다.

이론적으로 원방계 조건을 만족하는 국제적으로 통용되는 거리는 $\frac{2D^2}{\lambda}$ 또는 $\frac{2(d+D)^2}{\lambda}$ 이상의 거리를 원방계 거리로 정의된다. 여기서 D 또는 d는 송.수신 안테나 장경의 길이이다. 여기서 중요한 것은 만일 안테나의 크기를 작게 할 수 있다면 규격서에서 요구한 3m거리가 아닌 더 짧은 거리에서 SE를 측정해도 전혀 이론적으로 문제가 되지 않는다. 특히 최근에 개발된 MZ 광 전계센서는 50mm도 되지 않으면서 X,Y,Z축에서 함께 전계를 수신할 수 있기 때문에 건물벽과 차폐벽면간의 거리를 유지보수를 위한 최소거리 400-500mm로 해도 이론적으로 전혀 문제가 되지 않는다. 송신측 전계발생 방법 역시 최근에 MIL STD 461F, STANAG 4370, IEC 61000-4-21, RTCA DO 160F, EUROCAE WG14/33, SAE J1113-27 등 국제규격에서 인정하는 Mode stirred 방식으로 여진시키고 밖에서 MZ형 전계센서로 SE를 측정하면 측정시간을 단축시키면서 정확한 SE측정이 가능하다. 특히 용접방식 방호실의 경우 SELD방식으로 비파괴 검사와 차폐도 시험을 하기 때문에 벽면에서는 MZ 광 전계센서로 차폐도를 측정한 후, MIL STD 188-125에 따라 측정 거리를 확보 할 수 있는 경우 즉, 도어나 POE 부문에서 확인 시험하면 될 것이다.

국내에 어떤 무지한 사람이 차폐도 측정을 위해 EMP 방호실을 건물 벽면과 2m이상 확보하도록 강력하게 권고하고 있다는데 이는 고가의 건축물을 30%이상 낭비하면서 건설하라는 잘못된 생각이다.

그의 권고가 이론에 맞는다면 바닦면과 천정도 2m를 확보해야 되다는 말이 아닌가? 만일 외국의 EMC 또는 EMP 전문가에게 차폐도 측정을 위해 벽면만 2m 이격거리를 확보하여 시공한다고 하면 비웃음을 살 것이다.

뿐만 아니라 80dB차폐도 달성에 모든 것을 걸 필요가 전혀 없다. 비록 80dB를 인수시험에서 만족시킨 방호실이라도 도어를 20-100번만 여닫으면 5-20dB가 떨어진다. 다시말해 방호실 차폐도는 규격서 상에 80dB를 만족하도록 권고하고 있으나 그 차폐도가 저하되어 60dB가 되어도 EMP방호에 전혀 문제되지 않는다. 왜냐하면 EMP최대 전계값이 50kV/m이고, 방호 대상장비의 EMP 전계 내성이 10V/m라면 20 log (50x 10^3/ 10) =74dB 차폐도만 유지해도 방호 대상기기에 피해를 주지 않는다.

결론적으로 용접방식의 경우 용접시 SELD방식으로 이미 차폐도를 확인하였다면, 방호실내에서 Mode stirred 방식으로 여진시키고 외부에서 크기가 작은 MZ형 광전계 센서로 차폐도를 확인하고 나서 충분한 공간이 확보 되는 도어, POE를 중심으로 최종적으로 규격에 따라 차폐도를 시험하면 될 것이다. 따라서 건물벽과 차폐벽간의 거리는 600mm만 확보되어도 차폐도 시험, 유지보수를 위한 공간으로 충분하다. MIL STD 188-125 규격은 EMP 방호실 건설에 있어 권고사항으로 공학적 이론에 충실하고 경제성이 입증된다면 다른 규격을 이용해서 차폐도를 측정해도 전혀 문제되지 않는다.

최근 방호용 건물의 최적화 사용과 방호실의 성능 유지(HM/HS) 그리고 좁은 공간에서 EMP 방호실의 차폐도 측정을 위한 시험법으로 누설동축 케이블을 이용한 측정연구[15]가 제안되고 있다.

본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락 없이 무단 사용을 금합니다.

4.3 EMP 검출 및 비상조치 장비

우리가 현재 생활하고 있는 조건에서 고 고도 핵폭발이 일어나면, 미국은 인지 할 것이나, 우리나라는 일어난 자체를 인지하는데 많은 시간이 필요할 것이다. 그만큼 EMP는 사람에게는 무해하며 건축물에도 전혀 피해가 발생하지 않는다. 다만 달리던 자동차가 멈추고 자동화된 산업설비가 갑자기 멈추거나 화재가 발생 되며, 전력공급과 통신이 두절되고 전기발전, 송배전설비에 치명적인 피해를 입게 될 것이다. 비상전원이 없는 공장이나 사무실은 최소한 표2에서 보는 바와 같이 1.5개월 이상 최장 33개월 정도가 완전복구에 필요한 것으로 보고되고 있다.

표3. 워싱톤 상공에 HEMP가 발생했을 때 피해규모와 예상 복구시간

Infrastructure	Percentage of Capacity Damaged			Midpoint of Replacement Times (months)		
	Low Case	Mid Case	High Case	Low Case	Mid Case	High Case
Electric grid						
Transformers	10%	40%	70%	2.5	13.5	33.0
Other	30%	40%	50%	1.5	5.0	10.0
Communications systems						
Large	10%	20%	50%	4.0	18.0	27.0
Small	5%	20%	50%	2.0	12.0	17.0
SCADA						
All types	5%	20%	50%	1.5	5.0	10.0
Electronics						
Large	20%	45%	70%	4.0	12.0	17.0
Small	1%	2%	3%	1.5	5.0	10.0

Source: Instant Access Networks and Sage Policy Group, "Initial Economic Assessment of Electromagnetic Pulse (EMP) Impact upon the Baltimore-Washington-Richmond Region," September 10, 2007, Exhibit 2, p. 5, at [http://www.pti.org/docs-safety/EMPecon_9-07.pdf].

EMP가 발생한다면 어떤 장비로 검출하고 어떠한 비상조치를 취해야 할까? KTI의 **KMZ 200**모델은 장비 자체가 EMP에 대해 완벽한 보호기능을 갖추고 있다.

EMP 탐지장비는 배터리 구동전원을 사용하고, 고 전계 센서로서는 광 전계센서(MZ sensor)로 구현되어 MV/m까지 견딜 수 있도록 설계하였고, 공간적인 전계 뿐만 아니라 방사선도 검출 할 수 있는 기능, 전도적인 EMP신호 입력단의 과전압 회로의 손상을 자동으로 판단 할 수 있도록 설계 되였다.

뿐만 아니라 EMP의 발생고도 및 탄두의 크기를 알 수 있는 방향탐지기능을 가지고 있으며, EMP신호라고 판단되면 상용전원 상태를 자동 진단하여 이상 시 비상발전기를 구동하도록 하거나, 퓨즈가 단락되면 우회로를 만들어 준다.

또한 지하에 내장되어 있는 위성 안테나를 외부에 돌출시켜 자동으로 위성 신호을 잡도록 하고 국내외 통신망을 점검하는 기본 기능이 내장되어 있다. HEMP 방호시설의 유지 보수를 위한 망관리 기능도 내장되어 있다. Jamming이나 EMP과 같은 적군이나 테러단체가 고전계 방사무기 사용시 발사위치를 정확하게 지도 좌표상에 찾아 정밀타격이 가능하도록 신호의 주파수, 전계의 크기와 분포, 출력, 발사의도를 분석할 수 있는 기능 및 방향탐지 기능을 함께 가지고 있다.

본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락 없이 무단 사용을 금합니다.

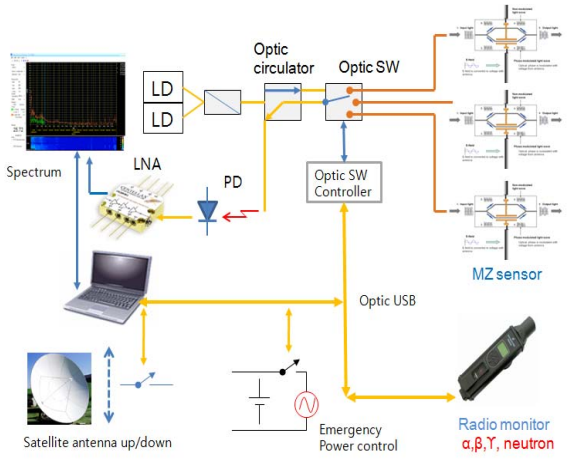


그림7. KTI가 개발한 KMZ 200 장비구성과 사양

Electrical specifications of the KMZ 200

- Full optical control & measuring system

-전계 측정범위 : 0.5mV/m-MV/m
(광 전계 센서, Orthogonal type/ X,Y Z axis)
-방향탐지 정확도 : 1도
-송신 출력 연산기능, 광 밀도변조 위상검출 방식
-주파수 범위 : 30Hz- 10GHz
- 방사선 측정범위
. Alpha flux density : 15-10^5[min·cm^2]
. Beta flux density : 6-10^5[min·cm^2]
. Gamma ray : 0.015-20[MeV]
. Neutron : 1.0-9.9[MeV]
- 정전시 1시간 이상 자기전원으로 성능유지가 가능
-MIL STD 461F RS 105, CS114, CS115, CS116 만족

4.4 EMP 방호실 설계를 위한 컴퓨터 시뮬레이션[7)]

EMP방호용 차폐실 설계에서 변수는 차폐재료, 재료의 두께, PAN type 또는 Panel type의 경우 공극의 간격, 패널의 개수, 둘레 길이 그리고 도전율과 투자율의 실효값 변화 등이 있고 용접방식의 경우 Pin hole이 있다면 홀의 형상, 재료의 두께, 홀의 개수, WBC와 하니컴의 물리적 구조, WBC내 유전체가 채워졌다면 유전체의 종류 등이 변수가 될 것이다.

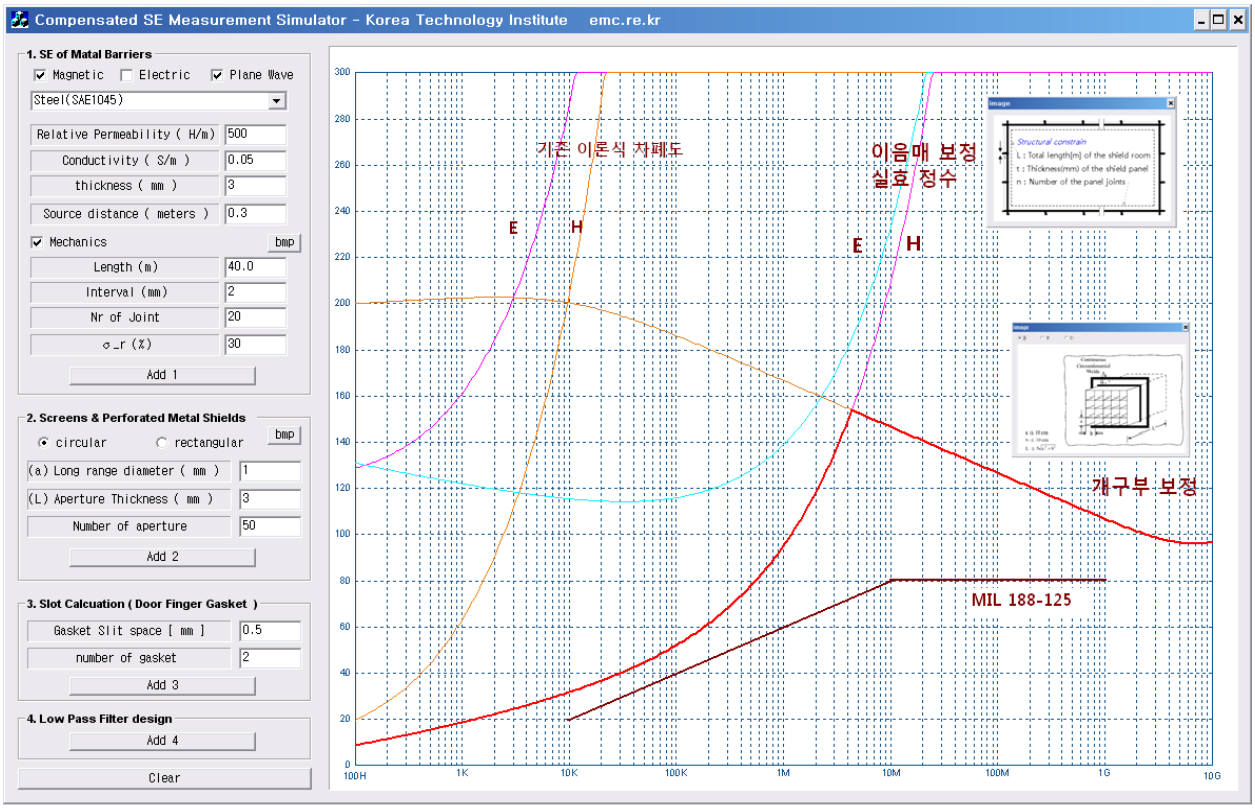


그림8. 평면파 차폐도 비교 :1)기존이론, 2)제안이론, 3) 개구부 보정

본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락 없이 무단 사용을 금합니다.

위 그림에서 곡선 1(좌측)은 재료정수만을 이용한 일반 차폐이론에 따른 차폐도이고, 곡선 2(중앙)는 팬이나 패널 타입의 방호실에서 이음매 보정 후 차폐도 변화이고, 곡선 3 은 WBC, 하니컴 등 개구부 보정을 거친 차폐도 예측 곡선이다. 곡선 3 의 경우 현장에서 차폐도 실제 측정 곡선과 매우 유사한 결과를 도출 할 수 있어 당소 개발 EMP 방호실 설계용 시뮬레이션 툴의 유효성이 증명된다.

4.5 다층 지하 구조물에서 흙과 암반의 종류에 따른 자연 차폐도 연산

EMP 방호실이 지하 터널에 설치되는 경우 다층구조의 흙과 암반으로 단층을 이룬다. 이때 다층 구조의 흙과 암반의 종류와 깊이는 굴착을 통해 알아 낼 수 있다. 다만 같은 흙, 같은 모래층, 같은 암반층이라도 투자율과 도전율 등 재료정수가 모두 달라 매우 복잡한 계산이 된다. 이를 해결하기 위해서 본 연산툴은 많은 실측 데이터를 통해 얻어진 결과를 통계적으로 처리하는 최소 자승법을 도입하여 차폐도를 연산하도록 개발되었다.

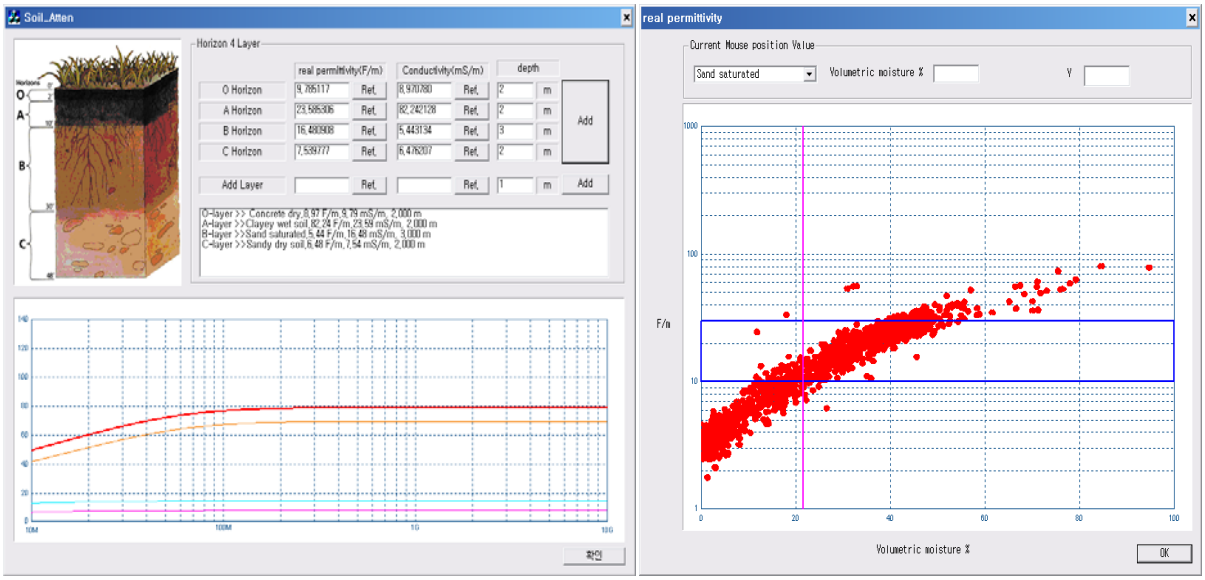


그림9. 다층 지하 구조물에서 흙과 암반의 종류에 따른 자연 차폐도 연산 결과

4.6 과전압 보호소자/회로 및 필터회로 설계[11)12)]

4.6.1 과전압 보호소자 요구조건

EMP과전압 보호소자가 갖추어야 할 조건으로 전류내량은 수천A까기 크고, 응답속도는 ns정도 빨라야 하며, 교체가 용이해야 한다는 것이다. 이 3가지 조건을 만족하는 소자로서는 어레스터와 바리스터를 2단으로 구성하거나 하나의 부품으로 구성해야 하는 경우 디스크 크기가 큰 ZnO계통이 바람직하다. 중요한 것은 EMP 전류가 5,000A까지 시험하므로 선이 아닌 면이 접속되도록 해야 한다는 것이다. 과전압 보호소자의 선정에 있어 기억해야 할 것은 순시 과전압의 크기 즉, 진폭은 크게 고려하지 않아도 되나 2-3회만 EMP 펄스를 인가 시험해도 해당 부품의 성능이 급격하게 저하되어 설계값을 만족시키지 못한다는 것에 유의해야 한다. 또한 ZnO의 동작시 절연파괴로 절연불량이 나면 전원투입이 안 될 수 있으므로 기계적 자기 개방기능이 요구된다.

본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락 없이 무단 사용을 금합니다.

그림10. MIL STD 188-125 부품 인수시험시 손상된 대형 ZnO, 필터 캐이스 외관

4.6.2 EMP용 전원 필터회로 설계 및 제작

EMP용 전원 필터회로에서 중요한 것은 전류내량, 응답시간, 자동복구능력과 사용회수 및 유지보수의 편리성 이다. 일반적으로 EMP 방호시설의 전기용량이 수백-수천 A에 이르기 때문에 부스바 형태의 굵은 전선에 인덕턴스를 증가시키는 것은 한계가 있어 비드 형태나 10 Turn미만의 인덕터와 관통형 컨덴서를 이용하여 설계한다. 그러나 회로적으로 보면, EMP신호 특성상 펄스의 상승시간이 약 10ns이하로 매우 빨라 과전압 보호소자가 정상적으로 동작하기 위해서는 부하측에 시간지연이 요구되므로 인덕턴스값은 수백 uH이상은 되어야 한다. HEMP 필터설계와 제작에 있어 저주파에서 요구 감쇠량을 만족시키는데 어려움이 있겠으나 주의만 기울이면 MIL STD 188-125를 만족하는 필터 설계 및 제작에는 어려움이 없다.

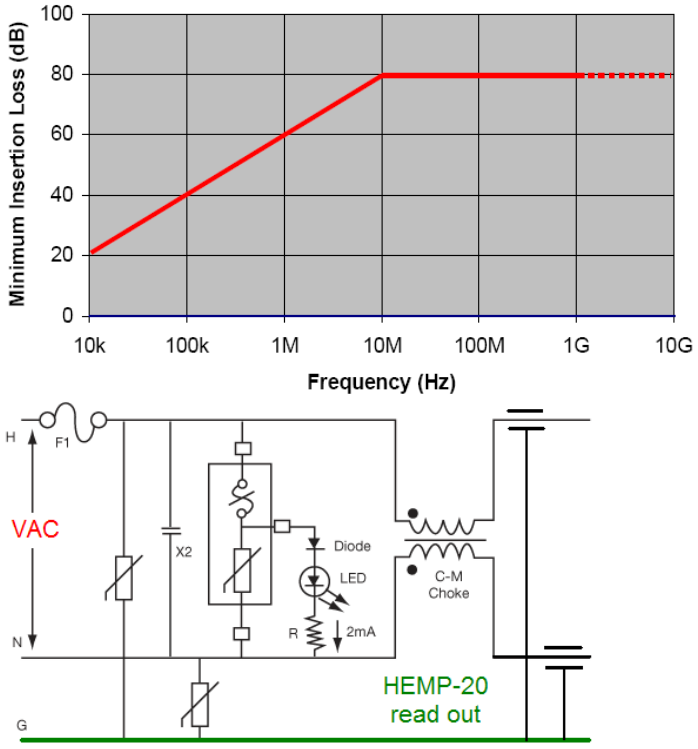


그림11. MIL 188-125 필터 성능요구, KTI 개발 HEMP 필터 기본회로(특허등록),

전원필터 설계에 있어 가장 중요한 것은 과전압 보호소자의 손상여부를 자동판단하는 기능과 교체가 용이해야 하며, 접지간 접촉이 면접촉 구조가 되도록 설계되어야 한다. 또한 어떤 경우든 부하측 임피던스가 과전압 보호회로측 임피던스에 비해 충분하게 높도록 설계되어야 한다. 다만, 과전압 보호소자의 선택에 있어 ZnO계열 바리스터를 사용하면 응답시간은 빨라지나, 전류내량의 한계, 부품 수명, 부품 성능저하가 뚜렷해지는 장단점이 있고 어레스터를 사용하면 응답시간을 제외하면 모두 ZnO 바리스터에 비해 성능이 우수하다. 따라서 회로구성 방법 즉, 필터의 후단에 절연트랜스가 삽입되어 있어 충분한 임피던스가

본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락 없이 무단 사용을 금합니다.

확보되면 어레스터를 사용하는 것이 이상적이고, 곧바로 보호대상 장비의 SMPS에 연결되는 경우에는 바리스터를 사용하는 것이 이상적이다. EMP보호용 과전압 보호소자는 자신을 희생하여 회로를 보호하는 부품으로 이는 EMP 신호뿐만 아니라 약 20회/년에 발생되는 낙뢰에도 동작하므로 성능이 저하되므로 주기적인 교체가 필요한데 Varistor의 경우 그림11과 같이 그 성능 상태를 표시해 주거나 절연 파괴시 보호회로의 삽입이 필요하다. EMP전원필터 선택시 주의해야 할 것으로 MIL STD 188-125에는 PCI시험만 요구되고 주파수별 감쇠량은 요구되어 있지 않으므로 반드시 다음 사항을 확인하여 만족하는 필터를 선택해야 TEMPEST, HPEM에 대한 대책으로 병용할 수 있다.

- MIL STD 220C에 따라 시험하여 MIL HDBK 1195의 요구 1GHz/18GHz까지 80dB 감쇠량이 확보된 제품
- EMP 필터내 삽입된 관통형 컨덴서의 내압이 EN 133200에 따라 Y2 5,000V 2초 내압을 만족하는 제품
- Varistor 절연 불량 시 기계적 차단회로 및 표시 기능이 있을 것
- 정격전류의 140%를 15분 동안 인가하여 온도상승이 없을 것
- 전 부하 조건에서 전압강하가 1% 미만일 것
- 정격 전류에서 25도 이상 온도 상승이 없을 것
- 과전압 보호소자의 교체 시간이 10초 이내 일 것

4.7 접지계통 설계[8)9)]

EMP 방호시설 설계, 시공 및 감리에 있어 가장 중요하고 전문가의 도움이 필요한 것이 접지 계통설계이다. EMP는 상승시간이 낙뢰에 비해 1,000배 이상 빠른 2-5ns가 되므로 주파수 영역에서는 GHz 성분을 가지고 있다. 특히 CW immersion 시험의 경우 금속간 접촉 저항의 합이 1Ω만 되어도 방호시설간 전위차가 5kV의 전위차가 발생하여 장비내, 장비간, 부품간에 방전이 발생될 수 있기 때문에 반드시 EMP 전문가의 Engineering을 받아 EMP방호시설 설계와 구축이 필요하다. EMP방호시설의 접지계통은 크게 접지저항, 접지선의 굵기, 강화용 철근의 본딩 방법과 간격, 접지체계, 건물접지와 분리방법, Raised floor 플로어의 접지방법, FG-dc(-)의 분리방법, 금속간 접촉저항 최소화 방법, Isolation trans의 접지처리방법, 배관 및 배선의 접지처리방법, 기능별 clean접지선 인출조수 등이 매우 중요하다. EMP 방호시설의 실질적인 성능은 접지설계에 달려있으므로 일반 건축물의 접지설계방법으로 EMP 접지계통 설계를 하게 되면 반드시 PCI/ long pulse시험에 불합격된다. 그림12에 당소가 제시하는 접지체계의 일부가 예시되어 있다.

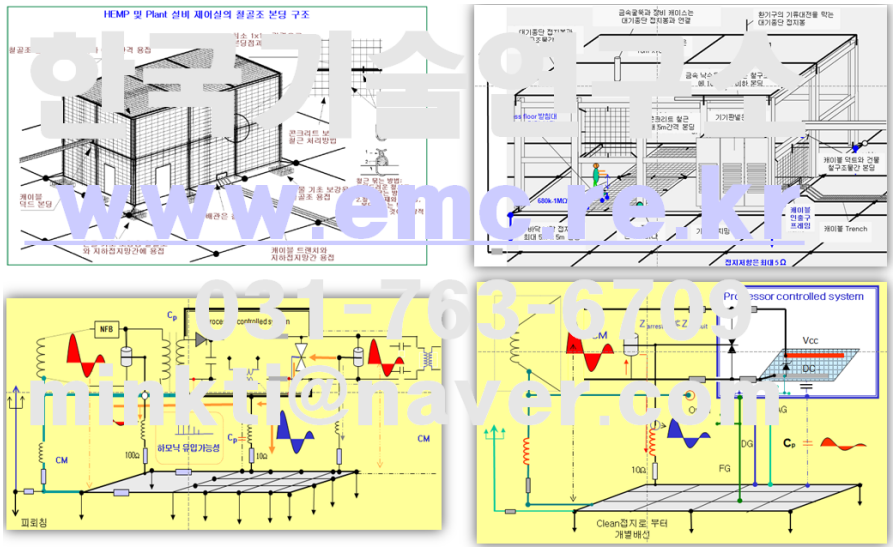
4.8 경제적이고 실용적인 전원계통 EMP 방호대책[10)]

현재의 방호시설의 전원 계통은 수전단 고압 변압기 전단에 필터를 삽입하는 것은 잘못된 설계방법이다.경제적인 전원계통 HEMP 방호설계는 간이 자기 차폐된 공간내 고압(예:22.9Kv-380V)- 저압계통에 사용되는 트랜스포머를 Isolation 구조로 설계하여 설치하고, 트랜스포머의 전단에는 어레스터 계통의 과전압 보호소자를 공급전압의 약2.5배로 설계 삽입한다. 그리고 저압부로 가는 전원선을 도금철관으로 완벽하게 배관설치하고 본딩한다.

저압 주 전원계통으로부터 다시 각각 시설용량에 맞는 Isolation 트랜스를 통해 전원을 공급하고, 마지막으로 공간방호시설인 차폐실에서 EMP용 전원필터(10ns내 동작하는 바리스터 계통 내장)를 통해 전원을 공급하도록 설계한다. 이들 각 계통의 전기적인 요구는 EMP 기본설계, 실시설계에서 구체적으로 도면과 함께 제시되어야 한다.

본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락 없이 무단 사용을 금합니다.

기본설계 및 실시설계가 불비하면 입찰 및 시공 단계에서 말 많은 공사가 될 수 있고, EMP설계는 일반 건축물 설계와 다르기 때문에 EMP 전문가에 의한 정밀한 설계서 및 시방 작성이 매우 중요한 의미를 갖는다.



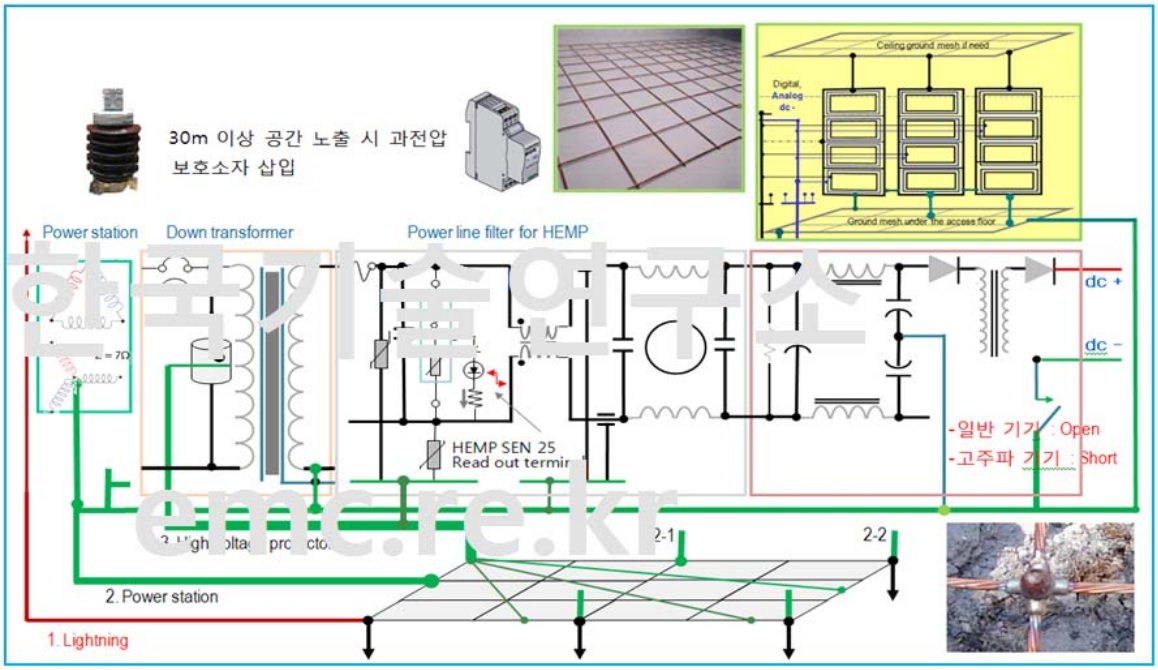


그림12. 접지의 계통설계 도면 일부

접지 계통설계에서 중요한 것으로 우선 초단 과전압 보호소자의 접지는 건물의 FG와 분리하여 지하 접지 메쉬에 직접 연결되도록 해야 FG와 dc-가 단락된 기기의 회로와 부품을 보호 할 수 있다. 지하나 매립상태에서 접지선의 연결은 반드시 용접되어야 하고 본딩의 접지선 연결은 2구 3조입 터미널을 사용해야 한다. 접지에 대해서는 너도 나도 잘 알고 있다고 생각 할 수 있으나 EMP 방호실 최적 설계에서 가장 어려운 접지 계통설계이다.

EMP 방호를 위한 접지계통 설계는 건축물 신축 시 한번 잘못하면 고칠 수 없기 때문에 전문가에 의해 정밀하고 세심하게 설계 되고 감리되어야 한다.

본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락 없이 무단 사용을 금합니다.

4.9 EMP 방호시설 인수시험과 성능검사 장비

MIL 188-125에 따른 인수시험과 성능검사항목은 차폐도 검사, Short pulse, Intermediate pulse, Long pulse, CW immersion test가 있는데 Long pulse(20 second)만 제외하고 모든 시험이 국내 시험기관에서 가능하다.

EMP 인수시험과 성능검사 시험은 근본적으로 일반 EMC시험과는 다르다. 다시 말해 EMC시험은 주파수 축에서 시험하는 반면, EMP시험은 시간축에서 시험되기 때문에 D-DOT, B-DOT, I-DOT, Balun, Integrator, Twinax 캐이블 등을 사용하며, 이들 센서의 교정방법 역시 많이 다르다.

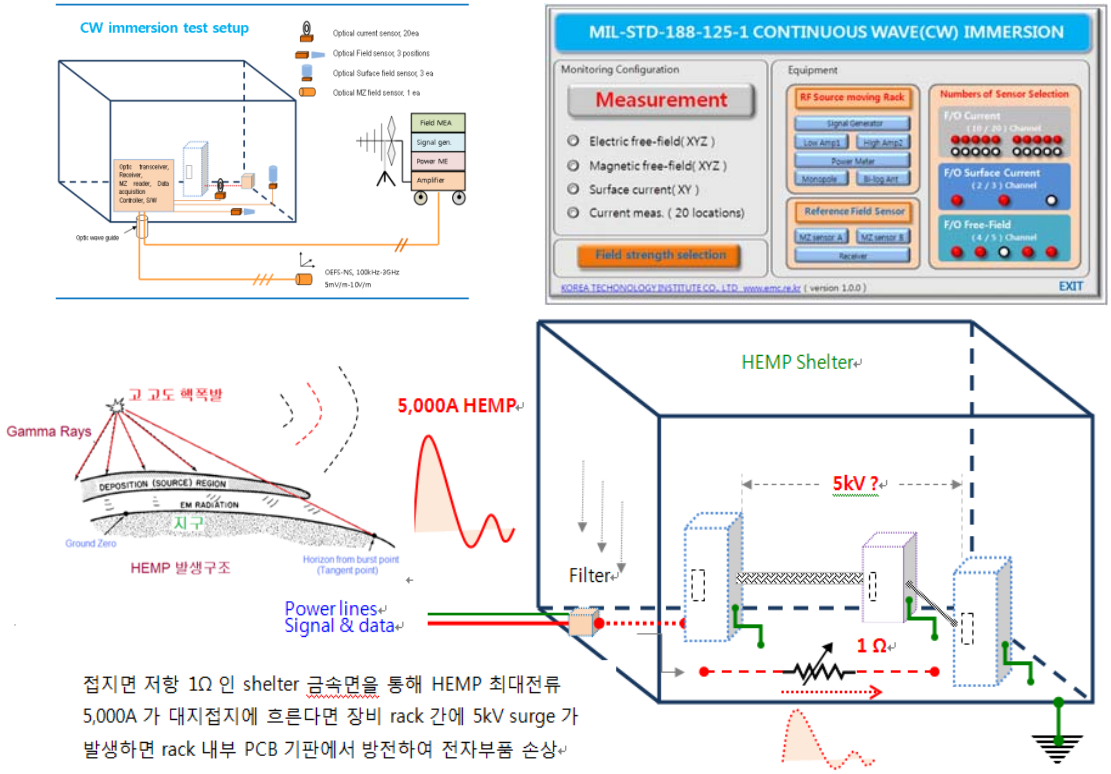


그림13. KTI가 개발한 CW immersion test 장비 구성과 S/W 및 CW시험 목적

EMP 전계측정용 D-dot센서를 대치할 기술적 Tip으로 현재 MZ형 광 전계센서가 상품화 되어 있기 때문에 이를 사용하는 것이 가장 이상적인 방법이다.

4.10 Solar storm과 HEMP E3 신호비교 및 전력용 Transformers가 손상되는 이론적 배경

결론적으로 최근에 문제되고 있는 Solar storm과 EMP의 E3 발생구조는 같다. 다만 에너지량이 다를 뿐이다.

Solar storm은 태양의 흑점발생에 의해 발생된 하전입자가 지자계를 교란시켜 발생하고, EMP는 고고도 핵폭발시 발생되는 감마선이 기층 분자를 전리시킨 전자가 지자계를 따라 남북을 오가면서 발생되는데, E3에 의한 Transformers 화재 원인은 80%정도 용량에서 운용되는 Transformers에 dc성 지자계 교란성분이 유도되어 코어의 포화에 의해 발생된다. 따라서 Solar storm이나 E3에 의한 전력용 Transformers의 화재발생을 해석할 때는 순수한 전류용량만으로 해석해서는 아니 된다.

본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락 없이 무단 사용을 금합니다.

4.11 EMP 방호실의 사후관리와 성능 감시장치 구성

EMP 방호실을 건설하는 것도 중요하지만 이의 사후관리에 주의를 기울일 필요가 있다. 특히 과전압 보호소자의 주기적 교체, 차폐 도어에 사용되는 핑거의 청소 및 주기적 교체 그리고 핑거와 접촉하는 도어 삽입면의 주기적 관리가 요구된다. 일 예로 어떤 방호실은 녹이 슬어 문이 여닫이에 어려움이 발생되자 아예 차폐문을 열어두고 근무하는 경우도 있었다. 이에 대응하기 위해 가장 이상적인 대책은 방호실 성능 감시장치를 처음부터 설치하는 것이 가장 이상적이다.

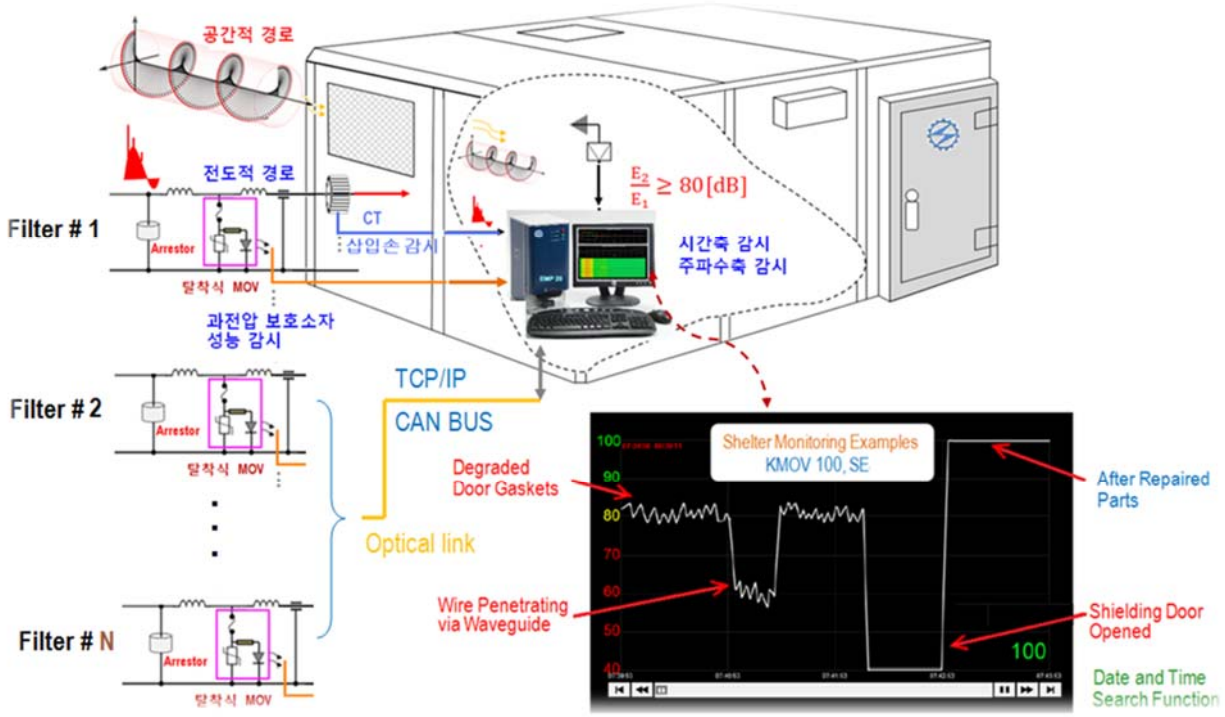


그림14. Model KMOV 100SE을 이용한 1개의 방호실 감시장치 구성도

5. 결론

본고는 EMP관련 전반적인 기술 동향에 대해 설명하였다. 다만 상세 이론에 관한 내용과 당소가 개발한 제품의 깊이 있는 기술적인 내용에 대해서는 회사 방침에 따라 상술하지 않았다.

EMP시설의 설계와 시공은 기존 차폐실과 유사 한 것으로 판단하기 쉬우나 전혀 다른 영역으로 취급하고 있으므로, EMP에 대한 시뮬레이션 툴을 갖추고 EMP를 깊게 이해하고 설계, 발주, 시공해야 충분한 성능을 발휘 할 수 있다. 특히 접지계통 설계는 기존 건축물의 접지 계통설계 구조와 다른 점이 많아 최적의 EMP방호시설 구축을 위해서는 반드시 EMP전문가의 설계 자문을 구해 방호시설을 설계, 시공, 감리가 이루어지도록 해야 한다. EMP 방호시설의 설계, 시공 감리, 성능평가 및 유지보수 방법과 절차는 각각의 단계마다 매우 주의를 기울일 필요가 있는데, EMP 방호시설은 일반시설과 다르게 우리 모두의 생존이 달려있기 때문이다.

앞으로 집중적인 연구가 필요한 것들은 통신망 계위와 통신 시스템의 구성에 따른 경제적인 EMP 방호설비 구축방법, 전력망에 미치는 영향과 대책 수립, 각종 국가 주요 산업시설에 대한 EMP 대책수립에 대한 체계적인 연구, EMP 방호시설 구축을 위한 최적의 접지망 구축방법에 대한 연구가 필요하다. IEC 61000-4-32를 보면 세계 17개국 45개 설비가 구축되어 있는 것을 알 수 있다. 특히 EMP에 직접적인 위험이 없는 이집트, 스위스 등 작은 국가까지도 EMP 방호설비 구축과 측정설비를 갖추고 있는데 우리나라

본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락 없이 무단 사용을 금합니다.

와 같이 EMP에 직접적으로 노출된 국가에서 관련 측정설비와 방호시설 구축이 제대로 되어 있지 않은 것은 안타까운 일이며, HEMP와 관련한 국제활동 즉, IEC, ITU에서 적극적인 활동이 이루어지도록 정부 및 전문가들의 적극적인 관심이 필요하다.

참고문헌

1) Louis W. Seiler "A calculation Model for high altitude EMP" 03.1975. Air force Institute of Technology, Wright- Patterson Air force base, Ohio
2) K.D Leuthâuser_ A complete EMP Environment generated by High altitude Nuclear Bursts" 10.1992. TN 363
3) W.J. Karzas and Richard Latter "Electromagnetic Radiation from a Nuclear Explosion in Space"The Physical Review, Vol. 126, No 6, June. 15, 1962, TN 27
4) W.J. Karzas and Richard Latter "Detection of the electromagnetic Radiation from nuclear Explosions in space" Oct. 1964, TN 40
5) Edward Savage etc "The early-time (E1) High altitude electromagnetic pulse and its impact on the US Power grid" Jan. 2010. Metatech R320, Oak Ridge National Laboratory"
6) EP 1110-3-2, Chapter 8. 31 Dec. 1990.
7) 민경찬, 김동일. "HEMP방호용 차폐실 최적설계를 위한 시뮬레이터 개발" 08. 2010. 한국인터넷방송통신학회 논문지 제10권 제4호.
8) 민경찬 "전자파 환경공학 제8장 접지편" 01. 2009, 한국기술연구소 발행
9) 민경찬/한국기술연구소 "KT 전진배치설비의 접지방식에 따른 낙뢰보호 특성변화에 관한 보고서" 02.2007
10) 정용관, 민경찬, " IWIT 2011 HEMP Workshop", 2011.03.10-03.11. 한국인터넷방송통신학회
11) 유승헌, 민경찬 "전자식 교환기의 낙뢰보호에 관한 고찰" 대한전자공학회 추계논문, 1987
12) 민경찬 "순시과전압 보호회로 설계 강의 자료 " 한국통신 품질보증단. 1989
13) 민경찬, 김동일 " 전자파 내성향상 기술에 관한 연구 " 한국해양대학교 박사학위 논문. 02. 1996
14) 민경찬, 정용관 " Effective HEMP Hardening Shelter design Tool, KTI EMP CORD" 2013 International Conference ISA, CEBU. April 26. 2013.
15) Thomas F. Podlesak* and Canh Ly Leaky Coaxial Cable as a Transmitting Antenna for HEMP Shielding Effectiveness Testing ". Journal of Directed Energy, 3, Spring 2009, 97-106 . U.S Army Research Laboratory.
16) GyungChan, Min, YeongKwan, Jung " Development of the HEMP Propagation Analysis and Optimal Hardening Shelter Design, Simulation Tool "KTI HEMP CORD" ASIAEM 2015 EMP Symposium, Paper Nr 123, Jeju. Korea Technology Institute Co. Ltd.