JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 18, No. 10 : 2331~2338 Oct. 2014

고 고도 전자기파(HEMP) 발생과 전파해석 및 방호실 최적 설계 Tool 개발

김동일[1] · 민경찬[2*]

Development of the HEMP Generation, Propagation Analysis, and Optimal Shelter Design Tool

Dong Il Kim[1] · Gyeong Chan Min[2*]

[1]Dept. of Radio Sciences & Eng., Korea Maritime Univ., Busan 606-791, Korea
[2*]Korea Technology Institute Co., Ltd, Gwangju-Shi, Gyungki-Do, 464-881, Korea

요 약

북한의 핵폭탄과 미사일 기술개발이 진전됨에 따라 고 고도 핵전자기파(HEMP)에 대한 위협이 새롭고 절박하게 인지되고 있는데, 일례로 이미 북한이 수개의 핵폭탄을 개발 보유하고 있으며 북한이 남한에 대한 핵탄두 운반 능력을 가지고 남한을 위협하고 있다. ITU K78, K81 그리고 IEC에서는 EMP/HEMP로부터 프로세서 내장 기기의 오동작을 줄이기 위해 항해・통신장비를 포함한 산업용 설비에 대한 대책을 권장하고 있으나, 이에 대한 의사시험은 1960-1990년대 미국공군무기연구소(USA/AFWL)의 논문들을 토대로 수행할 수 밖에 없다. 이 모의 시험결과는 모든 HEMP 관련 제품이 강력하게 수출을 통제하고 있기 때문에 북한의 위협에 직면한 남한으로서는 매우 중요한 연구 활동의 결과이다. 저자 등이 새롭게 개발한 HEMP cord는 HEMP의 발생과 전파현상 분석, 방호실 설계 툴, 흙과 암반으로 구성된 다층 구조에서 전자파 에너지의 감쇠량 그리고 HEMP 필터 설계 툴을 포함하고 있다. 특히 다층구조에서 전자파 감쇠량 연산 툴은 흙과 암반이 매우 다양한 특성을 가지고 있기 때문에 많은 실측 데이터를 바탕으로 최소자승법에 의하여 해석하였다.

Abstract

The HEMP threat may have acquired new, and urgent, relevance as the proliferation of nuclear weapons and missile technology accelerates of the North Korea, for example, is assessed as already having developed few atomic weapons, and is on the verge of North Korea already has missiles capable of delivering a nuclear warhead against South Korea. ITU K.78, K81 and IEC recommended its counter-measuring for the industrial facilities with navigation and sailing facilities in order to obviate the all of processor equipped system malfunctions from the EMP/HEMP but its simulation must only be done by the computer simulation which had studied on the 1960-1990 years USA/AFWL papers. This result has a significant activities to the South Korea being under the North Korea threat because all of HEMP related products was strongly limited for export. The HEMP cord which was developed newly by the KTI including the HEMP generation & propagation analysis, optimal shelter design tool, essential EM energy attenuation in multi-layered various soils and rocks and HEMP filter design tool. Especially, the least square fitting method was adopted to analysis for the EM energy attenuation in the soils and rocks because it has a various characteristics based on the many times field test reports.

키워드 : 고 고도 전자파 펄스, 고전력 전자기, 블라스트 높이, 컴프톤 리코일 및 광전자, 방호실 최적설계

Key words : HEMP : High Altitude Electro-Magnetic Pulse, HPEM : High Power Electro-Magnetics, HOB : Height of Blast, Compton Recoils and Photo Electronics, Optimal Shelter Design

접수일자 : 2014. 06. 10 심사완료일자 : 2014. 07. 02 게재확정일자 : 2014. 07. 15

* **Corresponding Author** Gyung Chan Min (E-mail: ktimin@chol.com, Tel:+82-31-763-6709)
Korea Technology Institute Co., Ltd, Gwangju-Shi, Gyungki-Do, 464-881, Korea

Open Access http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2014.18.10.2331 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

최근 북한의 핵실험과 미사일 개발 등에 의하여, GPS jamming과 같은 고출력 전자기파에 의한 위협이 증대되고 있으며, 국제기구인 ITU K.81, K.78 그리고 IEC SC 77C에서는 상용 시설에 대한 HEMP/HPEM에 대응하도록 권고하고 있다.

상용 국제규격의 제정 및 권고 목적은 선박의 항행설비 및 선박통신장비, 자동차, 산업용 제어설비 등과 같은 프로세서 내장 제어기기를 EMP로부터 보호하기 위한 것이다. 미국의 의회보고서[1]에도 북한의 HEMP 공격 가능성에 대한 우려를 하고 있어 이에 대한 국내 관심이 매우 높다. 만일 북한이 자기의 영공인 평양상공에서 고 고도 핵전자기파/HEMP 실험을 하는 경우, 남한의 달리던 자동차를 포함한 모든 산업용 프로세서 내장 제어설비에 치명적인 영향을 줄 수 있는 반면, 인명이나 건물 손상이 없으므로 국제적인 비난을 다소 피할 수 있고 지구 자장의 영향으로 발생된 전자기파는 남한에 큰 피해를 일으킨다. 본 논문에서는 이에 대한 방호시설 설계와 구축을 위해 우선 HEMP 발생과 전파구조를 해석하고, 방호실 설계를 위한 재료와 구조에 따른 차폐도 계산, 다층 지하 구조에서 자연 차폐도 계산, HEMP 전원 및 신호용 필터 설계 툴을 개발하였다.

고 고도 핵폭발에 의한 전자파 발생 구조 및 전파 해석은 매우 복잡한 이론과 물리적 해석이 필요하다. HEMP는 실제로 실험을 할 수 없고, 이와 관련된 제품 또는 연산 Tool에 대해 수출이 엄격히 제한되어 있어 HEMP 관련 컴퓨터 시뮬레이션 Tool의 국내 개발이 중요한 의미를 갖는다. 본 연구는 1960-1970년대 미 공군 무기 연구소와 관련 연구기관에서 수행된 고 고도 핵실험관련 연구 논문[2-5]을 토대로 연구· 개발하여 1975년에 개발된 “EXEMP cord”의 결과와 비교하여 유효성을 검증하였다. 방호실 설계 툴의 경우 기존 차폐이론에 따른 차폐도와 실측 차폐도간의 차이 나는 원인[6]을 거의 완벽하게 규명하여 이론값과 실측값이 잘 일치하는 결과를 얻었다. 흙과 암반으로 구성된 다층 지하 구조물에서 자연차폐도 연산 프로그램은 흙과 암반의 종류가 다양하여 정량화된 재료정수를 구하는데 한계가 있으므로, 흙이나 암반의 종류별로 미국에서 실측된 많은 데이터[7, 8]를 바탕으로 최소자승법으로 통계 처리하여 그 정확도를 높였다. HEMP 방호실용 전원 및 신호용 필터 설계를 위한 툴을 개발하였는데 그 특징은 L, C, R의 고주파적 등가회로[9-11]를 적용하여 정확한 설계가 가능하도록 개발되었다.

HEMP 발생과 전파구조 해석을 위한 이론으로 감마선 충돌에 의한 컴프톤 전자 발생과 전하밀도 실험식, 전자의 운동방정식, 감마선 평균경로/에너지량, Larmor 주파수, 분자단위 물리양의 에너지, 대기의 공기밀도와 도전율, 단위벡터 도입 및 공간 해석, 위·경도 별 지자계 세기의 계산 그리고 맥스웰방정식의 고주파 해석을 통해 각 지점의 전계의 세기를 계산하여 지도 위에 Mapping 하는 이론 및 기술이 적용되었다.

Ⅱ. 고 고도 전자기파의 해석

HEMP 발생과 전파구조 해석 절차[10]는 다음 그림 1과 같고, HEMP 파형은 DEXP[12]를 사용하였다. 30 km이상 고 고도에서 핵폭발이 일어나면 높은 에너지를 갖는 광양자(Photons)/감마선이 발생하고 감마선이 대기 상층권의 가스 등과 1차 충돌하여 외곽전자를 전리시킨다. 1차 충돌 후 진행속도가 남아 있는 감마선은 2차, … , n차 충돌 후 소산된다. 만약 $\ell = 0$ 이 폭발 시작 시간이라면 시간 ℓ에서 생성량은 $\alpha e^{\alpha \ell}$로 시간 T까지 증가하다 최대값에 이른 후 다음 식과 같이 지수 함수적으로 “0”으로 감소한다.

$$\sigma \beta e^{-\beta(t-T)+\alpha T} \quad (\alpha \gg \beta, \sigma \leq 1) \tag{1}$$

여기서, α는 감마 생성 비례상수로서 약 10^{-8}sec이다.

핵폭발 에너지 생성량의 약 0.03%가 감마선이라고 가정하면 감마선이 약 1 MeV의 평균 에너지를 가진 다고 할 때 7.5×10^{21} γ선이 kTon 당 (4×10^{19} ergs)가 생성된다. 하향 자유전자/ 컴프톤 전자는 지구의 지자기 자속을 따라 스프링 형태로 단위시간 동안 남북을 오가다 소멸되는데 이 전자 stream이 전류원 층(source 영역)을 매우 빠르게 형성한다. 지구의 측면에서 보아 소스영역을 중심으로 폭발점과 관측점까지 긴 타원형으로 간주하고 체적분 방식[13]으로 해석한다.

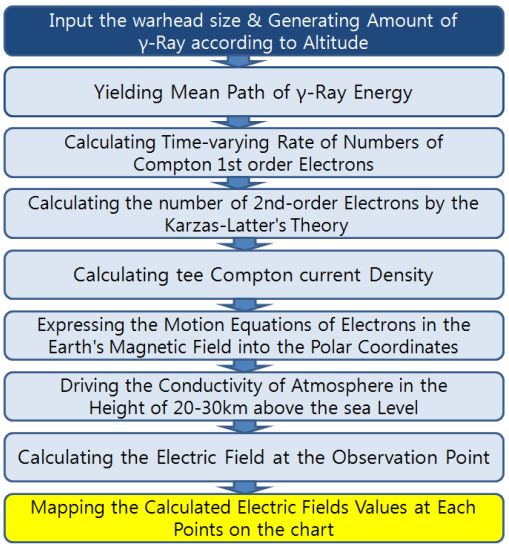


그림 1. HEMP의 발생과 전파해석의 절차
Fig. 1 Procedure of Generation of HEMP and Propagation Analysis

핵 폭발로 발생되는 감마선이 대기층을 통과하면서 생긴 전계를 E_1, 주로 2-n 차 충돌로 발생된 전계를 E_2, E_1에 의해 교란된 지구 자장이 원래 위치로 회복되면서 발생되는 E_3로 구분된다.

단위 시간당 핵폭발에 의해 방사되는 감마선이나 X 선의 개수는 다음 식으로 표현된다.

$$\widehat{N_t} = \frac{Y}{E} f(t) \tag{2}$$

여기서,

Y : 전자 전압 (eV)로 표시되는 핵폭발에 의한 감마 총 에너지 값

E : eV로 표시되는 평균 감마 에너지

$\frac{Y}{E}$: 핵폭발로부터 방사되는 감마선의 총수

이다.

$f(t)$ 는 감마선 방사의 시간 변수로서

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(t) = 1$$

폭발 점으로부터 θ, ϕ 방향에서 거리 r 만큼 떨어진 지점에서 생성된 1차 전자(Compton recoils and Photo electronics)의 비는

$$\overline{n}_{pri}(r,t) = g(r) \cdot f\left(t - \frac{r}{c}\right) \tag{3}$$

여기서, $g(r)$은 거리 r 에서 컴프톤 전자를 만들어 내는 감마선의 갯수로, 반지름 r 인 구의 중심에서 발산으로 표시된다.

$$g(r) = \frac{Y}{E} \frac{\exp[-\int_0^r \frac{dr'}{\lambda(\gamma)}]}{4\pi r^2 \lambda(\gamma)} \tag{4}$$

여기서, 적분자의 범위는 폭발 점으로부터 관측점까지이고, 감마는 평균 자유 경로장(Mean free path) $\lambda(\gamma)$는 식 (5)로 표현된다.

$$\lambda(\gamma) = \lambda_0 \exp(HOB - r\cos A)/s \tag{5}$$
$$= \lambda_{\gamma 0} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} \approx 3 \times 10^4 \cdot \frac{\rho_0}{\rho}$$

여기서, $\frac{\rho_0}{\rho}$: 해수면 공기밀도/ 해당 고도 공기 밀도이다.

공기밀도 계산에서는 0 - 1까지의 축적을 사용하며, 감마선에 의해 발생된 전자의 유동성(Mobility)이 결정되는데, 이것은 지면에 가까울수록 저항을 크게 받는다는 물리적 의미를 갖는다. 단위시간 t, 주어진 거리 r 일 때 컴프톤 전자수의 시간 변화율은 식 (3)의 미분식이다. Karzas-Later[4]의 해석 이론을 도입, 전자의 속도를 고려하여 2차 전자의 비를 구한다.

$$n_s(\tau) = \frac{qV_0}{R} \cdot g(r) \tag{6}$$
$$\int_{-\infty}^{\tau} [\int_0^{R/V_0} f(\tau' - \tau'' + \frac{x(\tau'')}{c}) d\tau''] d\tau'$$

다음에 Karzas-Latter 이론에 따라 컴프톤 전자의 속도를 상수로 간주하여 운동방정식으로 표현하고 3개의 방향을 갖는 구좌표[14]로 나타낸다.

소각도 추정법으로

$$\sin\omega\tau = \omega T,\ \cos\omega\tau = 1-\frac{\omega^2\tau^2}{2}$$

로 변환한 후, 3개 방향의 전류밀도 식을 구한다.

전류밀도와 전계의 상관식 $\boldsymbol{J}^s = \sigma\boldsymbol{E}$으로부터 컴프톤 전자와 도전율 관계식 (7)을 구한다.

$$\sigma(\tau) = \frac{e^2}{m\nu_c} n_s(\tau) \tag{7}$$

전류밀도, 전하량, 도전율 그리고 전장과 자장 간의 관계로 부터 맥스웰 방정식을 수립한 후, 복잡한 미분계수항을 거리에 따른 전류변화가 고주파에서 늦기 때문에 일정하다고 가정하여 간략화한 식[2]으로 표현한다. 이러한 가정은 전계와 전류가 단위 시간당 매우 빠르게 변하기 때문에 가정한 것으로 약 100 shake 동안은 유효하며 EXEMP cord를 제안한 문헌[3]에서도 고주파적 해석법을 채택하고 있다.

HEMP 발생과 전파에 관한 수식 전개는 너무 방대하여 본고에서는 가능한 과정을 설명하는데 목적을 두었으며, 물리, 기상, 원자력, 전기전자, 수학에서 활용되는 수많은 이론식을 응용해서 해석하므로 본 연구자 역시 많은 어려움이 있었다. 특히 연산을 위해 차원수를 일치시키거나, 같은 표기 부호를 다른 의미로 사용하고 있을 경우에는 각 계위 별로 충분한 이해를 필요로 하였으므로 본 시작품을 개발하기까지 많은 시간과 노력이 요구되었다.

Ⅲ. 장비의 개발

본 장비는 크게 4가지로 구분되는데, HEMP 발생과 전파 해석, 케이블의 유도 전압과 전류, 다층 토양 및 암반구조에서 자연 차폐도 연산, 그리고 HEMP 방호실 및 필터 설계 툴 등 효과적인 HEMP 방호 설계를 위하여 필요한 내용을 포함하고 있다. HEMP 발생과 전파해석 툴의 경우 약 10여 가지의 변수를 입력을 하고 수직, 수평 또는 이들의 합의 전계세기를 지도상에 2D 표현, 필요에 따라 3D 표현이 가능하도록 하였다. 그림 2는 개발한 시뮬레이터 디스플레이의 주화면을 나타낸다. 관측점에 따라 달라지는 변수는 임으로 가변 할 수 있도록 하였다.

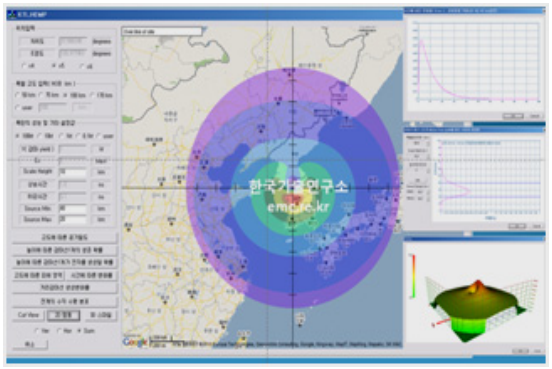
그림 2. 개발된 시제품의 주 화면
Fig. 2 Main Screen of the Developed KTI Tool

이의 연산 예는 그림 3(a)와 같다. 주요 입력 변수로는 탄두의 크기별 감마선 생성량, 감마선 생존시간, 폭발 고도별, 가공 케이블의 길이, 수직/수평 구조, 매설 깊이, 해수면 대비 공기밀도, 각 지역별 지자기 값, 위도와 경도 등을 입력하여 HEMP 발생 구조와 각 지역별 전계값을 연산하여 지도상에 표현 할 수 있도록 설계되었다. 또한 지도상에 유도된 전계값이 전력선, 통신선, 함정의 안테나 등과 같이 가공 케이블인 경우 각각의 유도량은 알 수 있도록 하여 HEMP 분야 설계자의 편리을 위해 만들어 졌으며, 그 내용은 그림 3(b)와 같다.

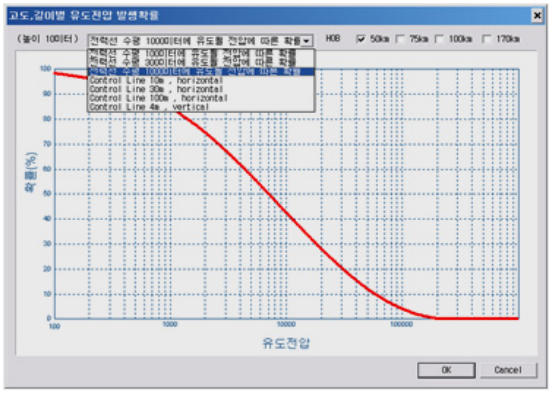
방호 대상기기가 지하구조물에 안에 설치되는 경우 흙과 암반으로 구성된 다층구조의 자연 차폐도를 연산할 수 있는 툴을 개발하였는데 그 예를 그림 4에 표시하였다.

본 연산 툴은 Kansas studies, Army study를 토대로 Smith and Arulanandan 모델[8] 등을 참고하여 재료정수를 이용한 차폐도 연산을 수행하도록 하였으며 입력변수는 흙의 종류, 습기 함유량, 암반의 종류, 이들 각각의 깊이 등을 입력 및 선택 할 수 있도록 구현하였다.

특히 토양이나 암반의 재료 형상과 조건 등이 다양하기 때문에 상황에 따라 정량화 시키는데 변화의 수가 대단히 많다.



(a)



(b)

그림 3. (a) HEMP 발생과 전자파 해석 툴 (b) 탄두의 크기와 직렬 케이블의 구조에 따른 유도 전압의 발생 확률
Fig. 3 (a) HEMP Generation and EM Wave Analysis Tool (b) Generating Probability of Induced Voltage according to warhead size and structure of serial cable

따라서, 실측 데이터를 최소자승법으로 통계적으로 처리하여 그 정확도를 높이고 선택의 폭을 넓게 하였다. 차폐도 계산의 이론적 배경은 실효 투자율과 도전율을 이용하는 방법으로 연산하였다. HEMP 방호실 최적 설계를 위한 차폐도 연산 툴의 경우, 지금까지 나와 있는 이론식에 의한 추정 결과와 실측값 간에 차이가 나는 원인을 밝혀, 본 툴의 연산 결과가 실측 차폐도 간에 비교적 정확하게 일치함을 확인하였다. 적용된 이론은, 우선 재료정수에 의한 차폐도 연산 결과에 판넬 식이나 팬 타입의 차폐 구조물이 가지는 이음매에 의한 실효 투자율, 실효 도전율의 변화분을 고려[6]하여 연산하고, 고주파 대역의 경우 Honey-comb의 구조, 기타 개구부, 필터가 가지는 감쇠 특성을 고려하여 연산한 결과 차폐도 실측값과 매우 근사하게 일치하는 것을 알 수 있었다.

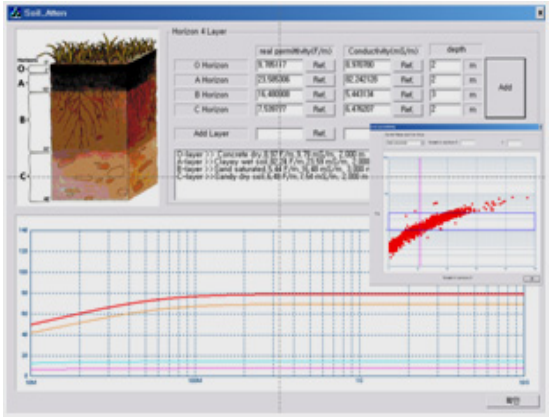


그림 4. 흙과 바위로 이루어진 다층 구조로부터 자연 차폐효과의 계산 툴
Fig. 4 Calculation Tool of Natural Shielding Effectiveness from Multi-layered Structure Composed of Soil and Rocks

나머지 필터설계를 위한 툴의 경우 기본 LPF 이론식에 L, C의 고주파 공진특성을 고려한 모델 회로를 적용하여 L과 C의 분포용량에 의한 영향 그리고 접촉저항의 중요성을 알 수 있도록 개발된 툴이다. 방호실 설계 툴의 예는 그림 5와 같다.

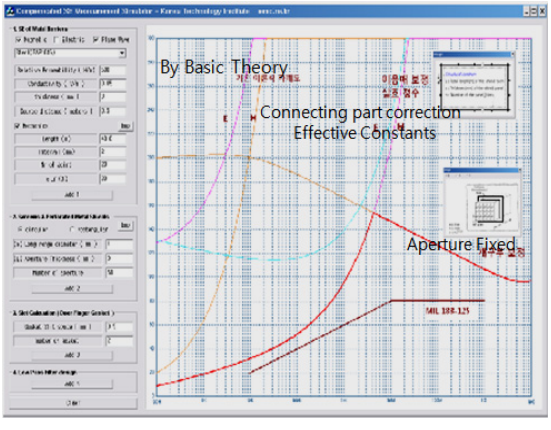


그림 5. HEMP에 대응하는 차폐실의 설계를 위한 툴 구조
Fig. 5 Tool Structure for Designing the Shield Room against HEMP

Ⅳ. 개발 제품의 실효성 검증

HEMP 발생과 전파해석 툴의 경우 K. D. $Lauth\hat{a}user$의 EXEMP cord를 이용하여 미국 지자기 조건에서 해석한 결과[3] 및 비교적 최근에 연구된 보고서[14]와 비교 검증하였는데, Tan 거리에서 0.17$E_{\max}$로 정확히 일치하는 것을 확인하였다.

그 결과는 다음 그림 6 및 그림 7과 같다. 시뮬레이션 결과[10], 10 kT 핵탄두가 광화문 상공 100 km 지점에서 폭발 시 남한뿐만 아니라 주변 중국과 일본에도 크게 영향을 미쳐, 오사카 20 kV/m, 후쿠오가 25.52 kV, 히로시카 24.27 kV/m의 전계 발생이 예상되며, 중국의 경우 에는 위해와 청도 지역에 약 25 kV/m, 상해에 20.19 V/m의 전계 발생이 예상 된다. 남한의 경우 천안과 평택 지역에 최대 47.6 kV/m, 부산이 32.5 kV/m의 전계 발생이 예상되는 반면 북한 지역은 최대 28 kV/m의 전계가 발생될 것으로 판단된다. 연산시간은 6-15초 정도이다. 토양과 암반으로 구성된 다층 구조의 자연 차폐도 연산 툴의 경우 조건이 허락하지 않아 실측하지는 못했으나, 연산/추정 방법으로 많은 실측 데이터를 통계 처리하여 얻은 결과를 최소자승법을 적용하여 연산하였으므로 충분한 실효성을 가지고 있을 것으로 판단된다.

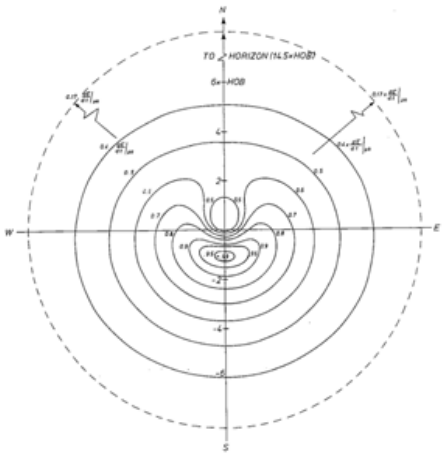


그림 6. 67°의 지자기를 가지는 미국의 EXEMP 코드에 의한 시뮬레이션 결과로서 V+H 합의 전계강도
Fig. 6 Elecric Field of V+H sum as Simulation Results by EXEMP cord in USA with Earth's Magnetic Angle of 67°

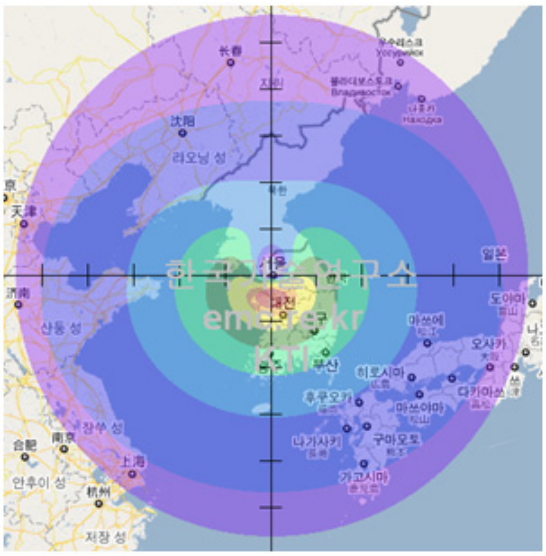


그림 7. 그림 6과 같은 조건에서 KTI HEMP cord에 의한 시뮬레이션 결과로서 V+H 합의 전계
Fig. 7 Elecric Field of V+H sum as Simulation Results by the KTI HEMP cord in the Same Condition of Fig. 6

방호실 최적설계용 툴의 경우 그림 5에서 보는 바와 같이 7 MHz 이하 저주파 대역에서는 개발자가 제안한 재료의 이음매 보정계수 적용 시 실측값과 일치하는 결과를 얻을 수 있었으며, 7 MHz 이상 고주파 대역의 경우 하니 컴 또는 광케이블 인입구에 의한 개구부 보정을 적용할 때 방호실 차폐도의 시뮬레이션 결과와 실측값 간에 일치하는 것을 확인 할 수 있었다. HEMP 방호용 필터 설계 툴(Developed Tool by KTI HEMP cord)의 경우 기존에 소개된 필터 설계 툴에 없는 L, C의 고주파 등가회로, 소스와 부하 임피던스를 등가회로로 적용하여 보다 실용적인 HEMP 및 TEMPEST용 필터 개발이 가능하였다.

본 개발 툴을 이용하여 당소는 국내 최초로 380 Vac/300 A급 전원 필터를 개발하여, MIL STD 188-125를 만족하는 공인 인증을 받는데 성공하였다. 뿐만 아니라 HEMP 음성/데이타, 제어용 필터 설계에 있어 가장 큰 문제점으로 부각된, 기기와 정합 문제 즉, 화재 경보기에 사용 시 삽입손실, 방송 스피커의 임피던스 문제, IP 전화기의 임피던스 문제, 재난방송 수신용 필터 개발 등에 있어 본 개발 툴을 유용하게 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

Ⅴ. 결 론

고 고도 핵폭발에 의한 지표면에서 전자계 해석은 Karzas-Latter의 모델링을 근거로 많은 부분을 가정적 기반 위에서 해석하고 있기 때문에 다소 무리가 있을 수 있으나, 본 논문에서는 복잡한 미분 항을 없애기 위해 고주파적 해석, 소각도 이론 등을 적용하여 정밀한 해석하였다.

토양과 암반으로 구성된 다층구조의 지하 구조물에서 자연차폐도 연산은 재료정수를 이용한 차폐도 연산 이론식에 의해 계산하였고, 재료의 다양성에 따른 오차를 줄이기 위해 많은 실측 데이터를 토대로 최소 자승법으로 연산하여 실효성을 높인 것이 특징이다. HEMP 방호실 최적 설계 툴의 경우 재료정수를 이용한 차폐 이론식[15]을 토대로 이음매 보정을 통한 실효정수의 적용, 개구부 보정방법, 필터의 삽입손실 보정 방법을 새롭게 적용하여 주파수 대역별 차폐도 연산결과와 실측값과 매우 근사한 것을 확인 할 수 있었다. 앞으로 개발 제품에 보완되어야 할 내용으로 200 m 이내의 지표면 폭발, 지표면과 2-20 km 이내의 저 고도 대류권 폭발에 따른 전계 변화의 계산법에 관한 추가적인 연구도 요망된다.

감사의 글

본 연구는 2014년도 '산학협동재단 신진교수연구비 지원사업' 및 '중소기업청 산학협력 도약기술개발사업'의 지원을 받아 이루어졌으며, 관계부처에 감사 드립니다.

REFERENCES

[1] Clay Wilson " High altitude electromagnetic (HEMP) and high power microwave(HPM) devices : Threat assessments", *CRS report for congress,* July 21, 2008.

[2] Louis W. Seiler, Jr "A calculational model for high altitude EMP", *Air force institute of technology,* Mar. 1975.

[3] K. D. Leuthusser "A complete EMP environment generated by high altitude nuclear bursts", TN 363, Oct. 1992.

[4] W. J. Karzas and Richard Latter "Electromagnetic adiation from a nuclear explosion in space" *The Physical Review,* Vol. 126, No 6, Jun. 15, 1962.

[5] W. J. Karzas and Richard Latter "Detection of the electromagnetic radiation from nuclear explosions in space", *TN 40,* Oct. 1964.

[6] G. C. Min & D. I. Kim, "A development of the Optimized Shielding Room Design Simulator for HEMP Protection," *The Inst. of Webcasting, Internet & Telecomm.*, 10(4), pp.121-126, Aug. 2010.

[7] John O. Curtis, "Electromagnetic power attenua- tion in soils", *Environment laboratory U.S army engineer research and development center.* ERDC/EL TR-05 -5, Aug. 2005.

[8] Smith, S. S. and Arunlanandan, K. "Relationship of electrical dispersion to soil properties", *Journal of the geotechnical engineering division, proceedings of the american society of civil engineers GT5, pp.* 591-604. 1981.

[9] Gyung Chan Min *EMC Engineering,* Chapter 3-6, pp. 103 - 133. pp. 171-216 KTI, Mar. 2008.

[10] Y. G. Jung, G. C. Min, *IWIT 2011 HEMP Workshop, The Inst. of Webcasting, Internet & Telecomm* 10-11, Mar. 2011.

[11] Y. G. Jung, G. C. Min, "Development of Protection Technique for High Altitude Nuclear EMP/HEMP," *Trends of Weekly Technology,* Focus, Vol. 1491, Apr. 15, 2011.

[12] D. V Gin, W.D Prather, C.E Baum "The relationship between NEMP standards and simulator performance specifications," *DTRA. Note 538,* 2009.

[13] C. Eng "The development of the time dependence of the nuclear EMP electric field", *U.S. department of energy by lawrence livermore national laboratory,* DE-AC52-07NA27344, Nov. 16, 2009.

[14] Edward Savage, J. Gilbert, W. Radasky "The early-time (E1) high altitude electromagnetic pulse and it's impact on the US power grid," *Metatech R320,* Jan. 2010.

[15] *EP 1110-3-2, Chapter 8,* Dec. 31, 1990.

김동일(Dong Il Kim)

- 한국해양대학교 졸업(공학사)
- 한국해양대학교 대학원 졸업(공학석사)
- 동경공업대학 전기전자공학과 대학원 졸업(공학박사)
- 산학협동상 대상, 과학기술진흥유공자 대통령표창 수상
- 한국전자파학회/한국항해항만학회 각 학술상 수상, 한국교육대상 수상
- IEEE EMC Korea Chapter Chairman 역임
- 정보통신부 주파수심의위원회 위원/전파자문위원회 위원장 역임
- 현재 한국전자파학회 명예회장(제6대 회장 역임)
- 현재 한국공학한림원 회원
- 현재 한국해양대학교 교수

※관심분야 : 고성능 · 다기능 전자파흡수/방열시트개발, EMI/EMC 대책, 마이크로파/밀리미터파, CATV전송회로의 설계 등

민경찬(Gyeong Chan Min)

- 광운대학교 통신공학과 학사
- 경희대학교 전자공학과 석사
- 한국해양대학교 전파공학과 공학박사
- 현재 주)한국기술연구소 소장
- 현재 사)한국인터넷 방송학회 부회장
- 현재 미래창조부 EMP 전문위원

※관심분야 : 전자파장해대책(EMI/EMC)