

# HEMP 상황 하 전술기동무선통신체계 안테나 유도전압 측정 및 분석

박경제 · 정길수<sup>†</sup> · 김정섭 · 박용우 · 박재현

## Measurement and Analysis of Antenna Induced Voltage for Tactical Mobile Wireless Communication System under HEMP Environment

Kyoung-Je Park · Kil-Soo Jeong<sup>†</sup> · Jung-Sup Kim · Yong-Woo Park · Jae-Hyun Park

### ABSTRACT

The situation of high-altitude electromagnetic pulses (HEMP) arises from high-altitude nuclear explosions. The HEMP situation can be simulated through the threat level investigation (TLI). In this paper, the induced voltage according to the antenna type of the tactical mobile radio communication system was measured and analyzed by TLI. Under the influence of HEMP, electronic equipment can be paralyzed or damaged. HEMP protection filters are commercially available for power lines and signal lines. However, commercialization of HEMP filters for antennas is insufficient, and even some of them exist for lightning protection. In order to make an appropriate HEMP protection filter according to the frequency and type of the antenna, the induced voltage was measured and the maximum induced voltage was analyzed through extrapolation. It was found that the measured induced voltage decreased as the frequency increased, such as in the HF, VHF and UHF bands of the measurement results.

**Key words** : Threat Level Illumination, High-Altitude Electromagnetic Pulse, Induced voltages

### 요약

고고도 전자기 펄스(HEMP)의 상황은 고고도 핵폭발로 인해 발생한다. HEMP 상황은 위협 레벨 조사(TLI)를 통해 HEMP 상황을 시뮬레이션 할 수 있다. 본 논문에서는 전술기동무선통신체계의 안테나 종류에 따른 유도 전압을 위협 레벨 조사로 측정 및 분석 하였다. HEMP의 영향을 받으면 전자 장비가 마비되거나 손상 될 수 있다. HEMP 방호 필터는 전원선 및 신호선용으로 상용화되어 있다. 그러나 안테나용 HEMP 필터는 상용화가 부족한 편이며 존재하더라도 낙뢰보호용으로 제작되어 있다. 안테나의 주파수와 종류에 따라 적절한 HEMP 방호 필터를 만들기 위해 유도 전압을 측정하고 외삽법을 통해 최대 유도 전압을 분석하였다. 측정 결과 HF, VHF, UHF 대역과 같이 주파수가 증가할수록 측정된 유도전압은 감소하는 것으로 나타났다.

**주요어** : 위협 레벨 조사, 고고도 핵 전자기 펄스, 유도 전압

## 1. 서론

EMP(Electromagnetic Pulse)는 핵폭발에 의해 발생하

는 다량의 전자기파이며 EMP 위협에서 가장 이슈가 되고 있는 부분은 고고도 핵 전자기 펄스 HEMP(High Altitude Electromagnetic Pulse)이다(Hoad 등, 2013). 이 HEMP는 순간적으로 수십 ns에서 수백 ms동안 고출력 전자기펄스를 발생하여 금속성 물질에 빠른 속도로 유기되어 영향권 내의 모든 전자기기, 통신장비의 기능 마비 또는 성능저하를 초래할 수 있다. 특히 임무의 계속성 보장이 요구되는 전술기동무선통신체계와 같은 무기체계에서는 HEMP에 대한 위협성과 관심이 높아지고 있다. 따라서 HEMP의 주요 위협요소에 대한 무기체계의

\* 본 논문은 국방과학연구소 주관의 전술기동무선통신체계 EMP 방호장치 설계/제작 및 시험지원 제작구매(UG190049ED)의 지원을 받아 수행됨

Received: 12 March 2021, Revised: 3 May 2021,

Accepted: 7 May 2021

<sup>†</sup> Corresponding Author: Kil Soo Jeong

E-mail: ksjeong@add.re.kr

The Korea Institute of Military Science and Technology

취약성을 분석하고 그에 따른 효과적인 방호대책을 마련해야 한다.

HEMP의 위협에 효율적으로 대처하기 위하여 크게 방사성 영향을 차단하는 차폐방법과 전도성 영향을 차단하는 필터 및 접지 등으로 구분 된다(Seo 등, 2014). HEMP 관련 규격 제정 작업도 IEC(International Electro technical Commission) 등의 민간 영역과 군사 규격(MIL-TD-188-25, MIL-STD-461)으로 나누어 지속적으로 전개 중이다(ICE61000-1-3, 2002; MIL-STD-461G, 2015). 그러나 HEMP에 대한 무선통신시스템의 보호를 위한 안테나선용 HEMP 방호 필터 평가방법은 현재 발행된 표준이 없으며, 안테나선용에 대한 HEMP 방호장치 설계 규격 또한 인가전류에 대한 정확한 수치가 표기되어 있지 않다(Sohn 등, 2020; Kim 등, 2020). 따라서 HEMP 방호 필터 평가방법 제정이 요구되는 상황이다.

얼마만큼의 위협 레벨 전류가 안테나에 들어오는지 측정 및 분석을 진행해야 사양에 맞는 안테나선 방호용 HEMP 필터를 제작할 수 있다. 위협 레벨 전류를 알기 위하여 전술기동무선통신체계 안테나의 용도 및 주파수에 따라 유도전압을 측정 및 분석하고 추후에 맞춤형 HEMP 방호용 필터를 제작할 예정이다.

본 논문에서는 HEMP 방호용 필터를 제작하기 위한 유도전압 측정 및 분석 수행내용을 수록하였다. 1장에서는 서론을 살펴보고 2장에서는 HEMP 파형 및 주파수 스펙트럼을 간단히 살펴본 후 3장에서는 시험 및 측정 방법, 4장에서는 안테나별 유도전압 및 유도전류 분석을 하였다. 마지막으로 5장에서는 결론을 기술하였다.

## 2. HEMP 파형 및 주파수 스펙트럼

HEMP는 전자기파로 전파되기 때문에 폭발지점으로부터 매우 멀리 떨어진 지점까지 영향을 준다. 핵폭발 도달 시간에 따라 초기 E1(Early-time) HEMP, 중기 E2(Intermediate-time) HEMP 및 말기 E3(Late-time) HEMP로 구분된다. Fig. 1은 이를 표현하여 나타낸 HEMP의 파형이고, Fig. 2는 주파수 범위에 따라 전계 강도를 나타낸다(Savage 등, 2010; IEC 61000-1-3, 2002). 주파수에 따라 전계 강도가 다르므로 맞춤형 방호시설 및 필터를 설계하여야 한다.

HEMP의 E1 구성요소는 매우 짧지만 강력한 전자기장이며 전도체에 매우 높은 전압을 유도할 수 있다. 장비의 제한 전압을 초과하여 손상이 발생하고 일반적인 서지 보호기는 컴퓨터와 통신 장치를 효과적으로 보호할

수 없을 정도로 빠르게 발생한다.

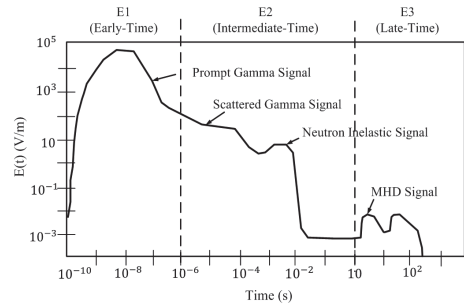


Fig. 1. HEMP Waveform

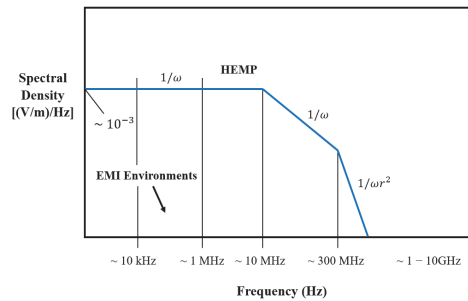


Fig. 2. HEMP Spectral density

E1 성분은 핵폭발에서 최고 10ns의 감마선이 대기의 원자에서 전자로 분리될 때 발생한다. 분리된 전자가 지구자기장에 의해 나선 운동을 하여 강력한 전자파의 형태로 지상에 도달하게 된다. 이때 폭발 점과 지구자기장의 각도에 따라 전계 강도가 달라진다. 폭발 점과 지구자기장의 각도가 클수록 전계 강도가 강해진다.

E2 성분은 산란된 감마선과 핵폭발로 인하여 발생한 중성자가 만들어내는 비탄력적 감마선을 통해 발생된다. 이 성분은 전자기펄스의 시작 후 약 1us에서 1s 사이 동안 유지된다. 번개에 의해 유도되는 전자기펄스와 비슷하다.

E3 성분은 수십 초에서 수백 초 사이에 나오는 펄스이며 핵폭발 후 지구의 자기장 회복에 따른 결과이다. 이는 태양에 의한 지자기 폭풍과 유사하다. 긴 전도체에 지자기 유도전류를 일으킬 수 있어 전력선 부품이 손상될 수 있다.

## 3. 시험 및 측정 방법

HEMP 방호시설에 대한 설계 및 시공방법 기술 및 성

능검증 방법 기술에 대한 군사규격은 MIL-STD-188-125 규격을 따르고 고정형 또는 이동형에 따라 1과 2로 구분된다. 규격에서 제시하는 HEMP 방호시설에 관한 규격은 차폐 효과(SE : Shielding Effectiveness), 연속파 유입(CWI : Continuous Wave Immersion), 전자파 펄스 주입(PCI : Pulse Current Injection), 위협 레벨 조사(TLI : Threat Level Illumination)가 있다.

차폐 효과는 복사성 침투를 방호하기 위한 방호시설의 차폐 효과를 측정하는 시험이고 연속파 유입은 방호시설 완공 후 내부기기가 모두 설치된 상태에서 최종 방호 능력을 확인하기 위해 연속적인 신호를 주입하는 시험이다. 전자파 펄스 주입은 전도성 침투를 방호하기 위한 필터에 강한 전류를 인가하여 필터의 안정성을 평가하는 시험이다. MIL-STD에서는 전자파 펄스 주입 시험과 관련하여 방호하고자 하는 선 종류에 따라 전류 인가 기준이 각각 다르게 명시되어 있다. 그중에서 전원선과 신호선 같은 경우에는 정확한 수치가 명시되어 있지만 안테나선의 경우는 Table. 1에서 알 수 있듯이 위협 레벨(Threat level)이라고 표기가 되어 있으나, 정확한 수치가 명시되어 있지 않다. 규격에서 제시하는 내용은 이러한 값을 결정하기 위해서는 외삽법(extrapolation)을 통한 예측값의 10배를 하여 인가하는 것을 의미한다(MIL-STD-188-125-1~2, 1998).

Table 1. Antenna line current injection

Class of Electrical POE/ Type of Injection <sup>1</sup>	Dominant Response Frequency (MHz)	Peak Short- Circuit Current (A)	Source Impedance (ohms)	Risetime ( $\mu$ s)	FWHM ( $\mu$ s)	Acceptance Test Resistance (ohms)
RF antenna line shield conductors						
Buried <sup>6</sup>						
Short pulse shield-to-ground <sup>9</sup>	Not Applicable	800	$\geq 60$	$\leq 2 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-7} \sim 5.5 \times 10^{-7}$	$10^2 Z_T$
Nonburied intrasite <sup>8</sup>						
Short pulse shield-to-ground <sup>9</sup>	Not Applicable	1,000	$\geq 60$	$\leq 2 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-7} \sim 5.5 \times 10^{-7}$	$10^2 Z_T$
Nonburied lone line <sup>8</sup>						
Short pulse shield-to-ground <sup>9</sup>	Not Applicable	5,000	$\geq 60$	$\leq 2 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-7} \sim 5.5 \times 10^{-7}$	$10^2 Z_T$
RF antenna line core conductors						
Short pulse core wire-to-shield	$^{11} \leq 30$	Threat level <sup>11</sup>	$\geq 60$	$\leq 2 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-7} \sim 5.5 \times 10^{-7}$	$10^2 Z_T$
Short pulse core wire-to-shield	$^{11} > 30$	Threat level <sup>11,12</sup>	$\geq 50$	$\leq 5 \times 10^{-5}$	Variable	$10^2 Z_T$

이러한 위협 레벨 결정은 HEMP 방호시설에 관한 규격 중 위협 레벨 조사 시험을 통하여 실제 안테나에 유기되는 전압이 얼마나 되는지 측정 및 분석을 통해 예측치를 결정한다. 위협 레벨 조사는 실제 HEMP 파형(E1 펄스)을 모사하여 시험대상에 인가한 후 HEMP에 대한 방호 성능을 평가하는 시험으로 가장 직관적인 시험이다(Yeo, 2019).

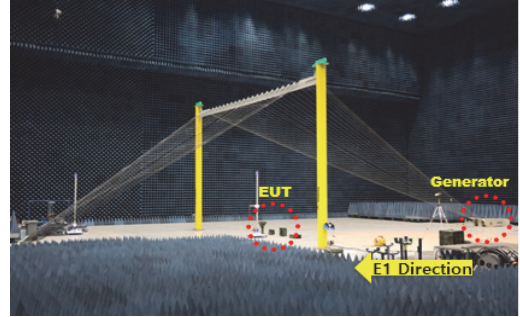


Fig. 3. HEMP Test facility

본 연구에서는 위협 레벨 조사 시험을 통하여 전술기동무선통신체계 안테나의 용도 및 주파수별 유도전압 측정 및 분석을 진행하였다. Fig. 3은 위협 레벨 조사 시험 환경을 나타낸다. 각각의 안테나와 연결된 차폐박스를 EUT(equipment under test)로 선정하였고 EUT를 E1 펄스 영역 안에 설치하고 펄스 발생기(Pulse Generator)를 이용하여 원하는 전계의 세기를 인가한다. 측정 시 외부 노이즈에 의하여 측정오차가 발생하는 것을 최소화하기 위하여 Fig. 4와 같이 외부 노이즈를 차단하고 정확한 측정을 하기 위한 차폐 상자를 제작하여 시험하였다. 차폐 상자 내부에는 Fig. 5와 같이 계측기 보호를 위하여 10dB Attenuator와 20dB Attenuator를 직렬 연결하여 30dB Attenuator를 구성하였고 전압측정을 위하여 광 변환기를 연결하였다.

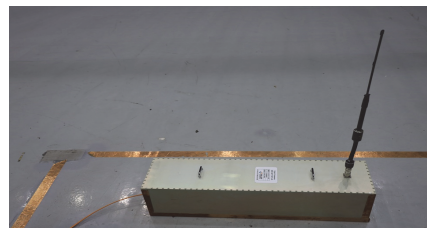


Fig. 4. Shielding box



Fig. 5. Inside the shielding box

전술기동무선통신체계 안테나의 용도와 주파수에 따라 구분하여 측정하였다. 안테나의 용도는 휴대, 차량, 함

정형으로 구분이 되어있고 주파수는 HF(High frequency), VHF(Very High frequency), UHF(Ultra High frequency) 대역이 있다.

시험방법은 차폐 상자에 안테나를 장착하여 E1 펄스를 1, 2, 5, 10kV/m 단계별로 인가한 후 수신부에 측정되는 유도전압을 측정하였다. Fig. 6은 수신부 계측기에 측정되는 값을 예시한 것이다. 안테나의 편파특성에 대한 영향성을 고려하여 수직과 수평 방향에 대한 측정을 수행하였다.

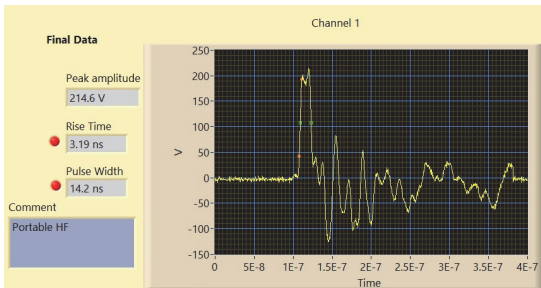


Fig. 6. Induced voltage measurement program

측정결과 수직 방향에 대한 안테나 유도전압 측정값이 수평 방향 대비 높은값으로 측정되어 수직 방향에 관한 결과치를 중점적으로 고려하여 측정 및 분석하였다.

안테나 용도 및 주파수에 따른 시험 환경은 Fig. 7과 같다. 각 10회씩 인가하여 안테나에 유기되는 전압 수치를 측정하였으며 평균치를 기록하였다. 측정된 자료를 토대로 외삽법을 적용하여 50kV/m 인가 시 예상 유도전압 및 전류를 도출하였다(Patent, 2020).

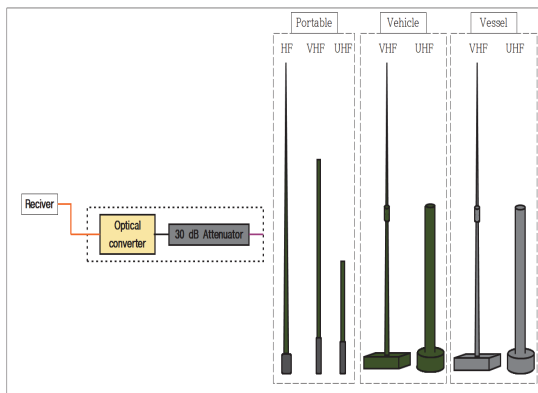


Fig. 7. Antenna test set-up

#### 4. 안테나별 유도전압 및 유도전류 분석

Table 2는 전술기동무선통신체계 안테나의 용도 및 주파수별 수직 방향 유도전압 측정결과를 나타낸다. 10kV/m 전계가 인가될 시 휴대형 HF, VHF, UHF대역에서는 1920, 938, 621V가 측정되었고 차량형 VHF, UHF대역에서는 1620, 608V가 측정되었다. 함정형 VHF, UHF에서는 1720, 724V가 측정되었다.

외삽법은 위와 같은 측정을 통해 얻은 데이터를 기반으로 그래프상 선형으로 일정하게 증가하는 측정지점의 마지막 부분을 기점으로 추세선을 연장해 예상값을 도출하는 기법이다. Table 2의 유도전압 데이터값을 바탕으로 추세선을 연장하여 50kV/m에서의 예상값을 Fig. 8 ~ 14와 같이 나타내었다. 휴대용 VHF대역은 5kV/m에서 포화(Saturation)가 되었다고 예측하여 5kV/m에서 추세선을 연장하여 나타내었다.

외삽법을 바탕으로 유도전압 예상값은 휴대형 HF, VHF, UHF대역에서는 9628, 6471, 3161V로, 차량형 VHF, UHF대역에서는 8248, 3108V로 예측된다. 또한, 함정형 VHF, UHF에서는 9239, 3670V로 예측된다.

Table 2. Average value of induced voltage measurement

	1kV/m	2kV/m	5kV/m	10kV/m
Portable HF Band	163V	318V	1,086V	1920V
Portable VHF Band	132V	246V	623V	938V
Portable UHF Band	68V	125V	322V	621V
Vehicle VHF Band	182V	336V	860V	1620V
Vehicle UHF Band	64V	118V	313V	608V
Vessel VHF Band	195V	367V	908V	1720V
Vessel UHF Band	78V	143V	362V	724V

유도전압 측정결과 및 외삽법 적용 결과값을 분석하면 휴대형 VHF대역 안테나는 5kV/m에서 포화가 되고 나머지 안테나들은 10kV/m 이상의 값에서 포화상태가 나타난다. Table 2에서 기록한 1, 2, 5, 10kV/m의 유도전압 측정값에 50, 25, 10, 5배를 하여 50kV/m로 환산 후 50kV/m 인가 시의 용도와 주파수별 안테나에 예상 유도전압을 Table 3에 나타내었다.

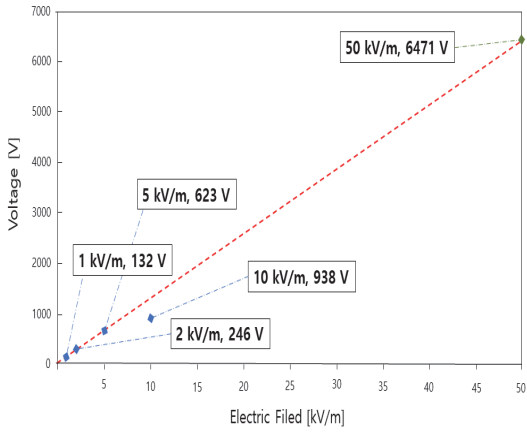


Fig. 8. Portable HF antenna

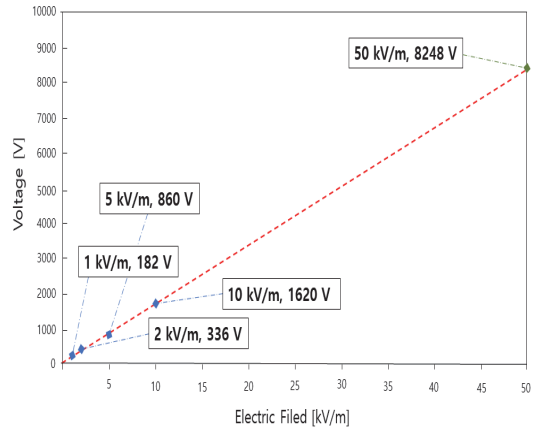


Fig. 11. Vehicle VHF antenna

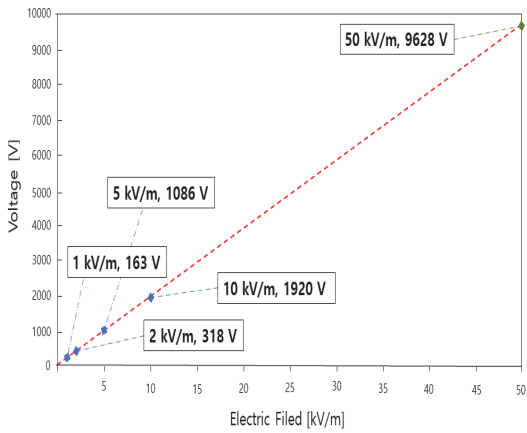


Fig. 9. Portable VHF antenna

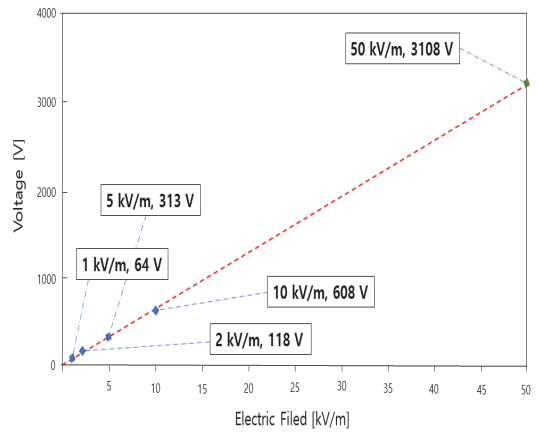


Fig. 12. Vehicle UHF antenna

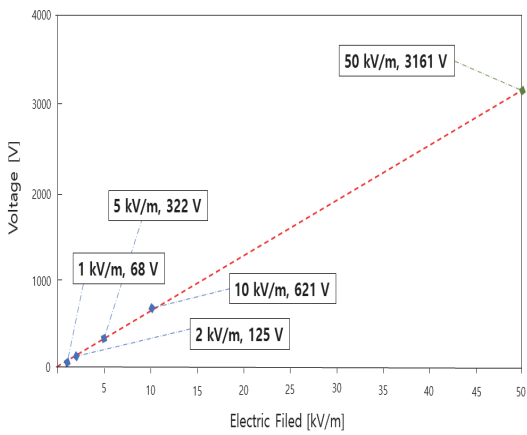


Fig. 10. Portable UHF antenna

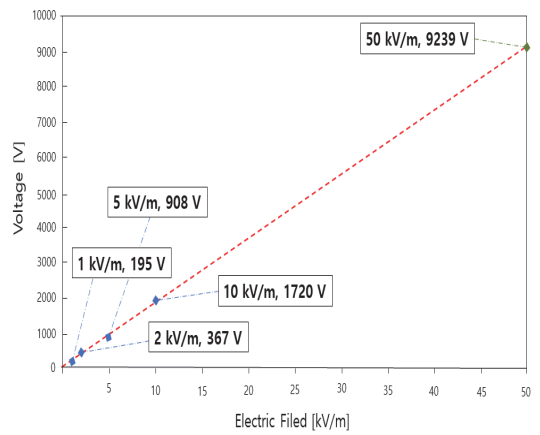


Fig. 13. Vessel VHF antenna



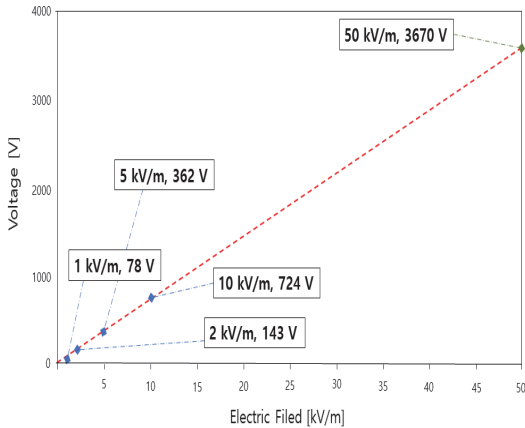


Fig. 14. Vessel UHF antenna

Table 3. Expected value when 50kV/m is applied by extrapolation

Expected value (50kV/m)	1kV/m	2kV/m	5kV/m	10kV/m
Portable HF Band	8135V	7945V	10860V	9600V
	163A	159A	217A	192A
Portable VHF Band	6590V	6138V	6228A	4690V
	132A	123A	125A	94A
Portable UHF Band	3385V	3128V	3215V	3103V
	68A	63A	64A	62A
Vehicle VHF Band	9120V	8398V	8601V	8100V
	182A	168A	172A	162A
Vehicle UHF Band	3210V	2968V	3127V	3009V
	64A	59A	63A	60A
Vessel VHF Band	9760V	9178V	9081V	8600V
	195A	184A	182A	172A
Vessel UHF Band	3875V	3578V	3619V	3622V
	78A	72A	72A	72A

유도전류는 유도전압을 안테나의 임피던스 값인 50Ω으로 나눈 값이다. 휴대형 HF, VHF, UHF대역에서는 최대 217A, 132A, 68A의 유도전류가 측정되었고 차량형 VHF, UHF대역에서는 최대 182A, 64A가 측정되었다. 마지막으로 함정형 VHF, UHF대역에서는 최대 195A, 78A가 측정되었다.

주파수에 따른 HEMP의 펄스특성은 50kHz에서 500MHz까지의 넓은 스펙트럼에 걸쳐 에너지를 분산시킨다. 그중에서도 펄스 에너지의 대부분은 10 ~ 100MHz의 주

파수 스펙트럼에 존재한다. Table 3의 측정된 유도전압 값을 분석해 보면 HF대역에서 VHF대역, UHF대역 순서대로 높아질수록 낮은 유도전압 값의 측정된 것을 알 수 있다.

이는 HEMP의 에너지가 상대적으로 낮은 주파수 10kHz ~ 100MHz 사이에 집중되기 때문이다. 안테나의 용도와 관계없이 UHF대역보다 낮은 HF대역과 VHF대역의 주파수 대역에서 유도전압 값이 크게 나타나며 100MHz 이후의 주파수 대역에서는 HEMP가 감소하는 파형이 나타나기 때문에 UHF대역에서는 유도전압 값이 낮아진다.

Table 4. Antenna line residual current

Class of Electrical POEs	Type of Injection	Type of Measurement	Peak Current (A)	Peak Rate of Rise (A/s)	Root Action (A√s)
Conduit Shields Signal and Low Current Power Buried or Nonburied Conduit Intermediate Current Power Buried or Nonburied Conduit High Current Power Buried or Nonburied Conduit	Conduit-to-ground	Bulk current	≤1.0	≤1×10 <sup>7</sup>	≤1.6×10 <sup>3</sup>
		Bulk current	≤1.0	≤1×10 <sup>7</sup>	≤1.6×10 <sup>2</sup>
		Bulk current	≤10	≤1×10 <sup>7</sup>	≤1.6×10 <sup>4</sup>
		Bulk current	≤10	≤1×10 <sup>7</sup>	≤1.6×10 <sup>4</sup>
RF Antenna Line Shield Drive Core Conductor (All RF Antenna Lines) Shield Conductor	Shield-to-ground	Wire current	≤0.1	No damage or performance degradation	
		Shield current	≤0.1	≤1×10 <sup>7</sup>	≤1.6×10 <sup>3</sup>
RF Antenna Line Core Conductor Drive Core Conductor (Receive-Only) Core Conductor (Transmit or Transceive) Shield Conductor	Wire-to-shield	Wire current	≤0.1	No damage or performance degradation	
		Wire current	≤1.0	No damage or performance degradation	
	Wire-to-shield	Shield current	≤0.1	≤1×10 <sup>7</sup>	≤1.6×10 <sup>3</sup>

Table 4는 MIL-STD-188-125에서 규정하는 안테나선의 잔류전류 만족 기준을 나타낸 것이다(MIL-STD-188-125-1~2, 1998). 안테나선의 잔류전류는 송수신 단의 경우 피크(Peak) 전류값을 1A 이하로 규정하고 있다. 유도전압 및 전류값이 가장 큰 안테나는 9600V, 192A로 휴대형 HF대역 안테나이고 가장 낮은 안테나는 3009V, 60A로 차량형 UHF대역 안테나이다. 최소 60A에서 최대 192A의 유도전류값이 측정되었다. 이러한 값의 유도전류가 전술기동무선통신체계의 안테나를 통해 침투할 경우 장비의 오작동 및 손상을 초래할 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 MIL-STD-188-125 규격을 토대로 안테나선의 용도 및 주파수별 HEMP 방호장치 설계를 위한 위협 레벨 선정 기법에 관한 연구를 수행하였다. 전술 무선통신체계 안테나의 용도 및 주파수 별로 E1 펄스를 인가하여 유도전압을 측정하였고 측정된 값을 토대로 외삽법을 적용하여 유도전압 및 전류를 예측하였다. 예측결

과 최저 60A ~ 최고 190A의 전류가 장비 내로 유입될 수 있음을 확인하였다. 안테나선용 HEMP 방호 필터 설계 시 전술무선통신체계 안테나의 용도 및 주파수에 따라 측정된 유도전류 결과값과 측정 시 변수를 고려한 마진을 반영하여 설계가 필요할 것으로 판단한다. 또한 본 연구 결과를 통해 통신장비 보호 기술 수립에 활용할 수 있을 것으로 사료 된다.

## References

1. R. Hoad and W. A. Radasky, "Progress in high-altitude electromagnetic pulse (HEMP) standardization," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, Vol. 55, No. 3, pp. 532 - 538, 2013.
2. M. Seo, S. Chi, Y. Kim, W. Park, H. Kang and C. Huh, "Electromagnetic Wave Shielding Effectiveness Measurement Method of EMP Protection Facility," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol. 25, No. 5, pp. 548~558, 2014.
3. IEC 61000-1-3, "IEC Standard, Electromagnetic Compatibility (EMC), Part 1-3 : General - The Effects of High-altitude EMP(HEMP) on Civil Equipment and Systems," 2002.
4. IEC 61000-2-9, "IEC Standard, Electromagnetic Compatibility (EMC), Part 2-9 : Description of HEMP Environment - Radiated Disturbance," 1996.
5. MIL-STD-188-125-1, "Department of Defense Interface Standard : High-altitude Electromagnetic Pulse(HEMP) Protection for Ground-based C4I Facilities Performing Critical, Time Urgent Missions, Part 1 - Fixed Facilities," Department of Defense, 1998.
6. MIL-STD-188-125-2, "Department of Defense Interface Standard : High-altitude Electromagnetic Pulse(HEMP) Protection for Ground-based C4I Facilities Performing Critical, Time Urgent Missions, Part 1 - Transportable Systems," Department of Defense, 1998.
7. MIL-STD-461G, "Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment," Department of Defense, 2015.
8. J. Sohn, Y. Park, D. Lee, J. Kim, K. Jeong, "A Study of Induced Current Measurement and Analysis on VHF Antenna for Tactical Mobile Communication System," 2020 Conference on the Korea Institute of Military Science and Technology, pp. 741-742, vol. 2020.
9. J. Kim, K. Jeong, "The Study of the HEMP Protection Methods for Operational Frequency Bands on Combat Net Radio System," 2020 Conference on the Korea Institute of Military Science and Technology, p.p. 1344-1345, vol. 2020.
10. E. Savage, J.Gilbert and W.Radasky, "The Early-Time (E1) High-Altitude Electromagnetic Pulse (HEMP) and Its Impact on the U.S. Power Grid", Metatech Corporation report, 2010
11. S. Yeo, "A Study on the Measurement Method of Test Waveform for System-level HEMP Immunity Test," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 22, No. 2, pp. 233-240, 2019.
12. Agency for Defense and Development, Republic of Korea, "Band Antenna EMP Filter Apparatus Having HEMP Protection Capability," Patent Application No. 10-2020-0188239, 2020.



**박 경 제** (ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-5672-1892> / [kjpark@i-spec.co.kr](mailto:kjpark@i-spec.co.kr))

2016 신라대학교 전자공학과 공학사  
2018 경북대학교 전자공학부 공학석사  
2018~ 현재 (주)아이스펙 선임매니저

관심분야 : EMI/EMC 대책 및 EMP 필터설계



**정 길 수** (ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-7824-6914> / [ksjeong@add.re.kr](mailto:ksjeong@add.re.kr))

1999 영남대학교 전자공학과 공학사  
2007 Toyohashi University of Technology 전자정보공학과 공학박사  
2007~ 2009 ATR 파동공학연구소 선임연구원  
2009~ 2011 한국전자통신연구원 선임연구원  
2011~ 현재 국방과학연구소 책임연구원

관심분야 : 무선통신 신호처리, EMP 방호기술



**김 정 섭** (ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-2266-6626> / [jungsup@add.re.kr](mailto:jungsup@add.re.kr))

1986 경북대학교 전자공학과 공학사  
1988 경북대학교 유선통신 공학석사  
2000 경북대학교 정보통신 공학박사  
1988~ 현재 국방과학연구소 수석연구원

관심분야 : 대전자전 통신, EMI/EMC 대책 및 필터설계



**박 용 우** (ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-5726-8268> / [pyw@add.re.kr](mailto:pyw@add.re.kr))

2016 충남대학교 산업공학과(공학석사)  
2012~ 현재 국방과학연구소 선임기술원

관심분야 : EMI/EMC, HEMP



**박 재 현** (ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-2555-0458> / [jhpark@i-spec.co.kr](mailto:jhpark@i-spec.co.kr))

1991 전북대학교 전자공학과 공학사  
1991~ 2003 기아자동차 기술연구소 과장  
1999~ 2012 CISPR/D 전문위원  
1999~ 현재 TC77C 전문위원  
2003~ 현재 (주)아이스펙 연구소장

관심분야 : EMI/EMC 대책 및 필터설계, EMP 필터 설계