

차폐망 및 접지형태에 따른 고출력 전자기 펄스에 대한 차폐성능 분석

Shielding Effectiveness Analysis for High Power Electromagnetic Pulses according to the Shielding Mesh and Grounding-System

안병진 · 박재현 · 정경진 · 주문노* · 우정민*

Byeong Jin Ahn · Jae Hyun Park · Kyung Jin Jung · Mun-No Ju* · Jeong Min Woo*

요 약

본 연구에서는 HPEM(high power electromagnetic) 펄스 발생장치를 이용하여 야외에 설치된 건물에 HPEM을 노출시켜 건물 창문의 차폐망 격자크기 및 접지형태에 따른 차폐성능을 분석하였다. 차폐망은 미설치, 격자크기가 각각 0.215 mm, 1.3 mm인 차폐망이 설치된 경우들을 비교하였다. 접지형태에 따라 비접지, Front-end 접지, Back-end 접지, Mesh 접지로 구분하여 차폐성능을 분석하였다. 접지가 되어 있는 경우, 주파수 영역 1 GHz 이상에서 HPEM 저감효과를 보였고, 차폐망이 있는 경우, 모든 주파수 영역에서 우수한 차폐성능을 보였다. 또한, 차폐망 격자크기가 0.215 mm인 경우에 1.3 mm인 경우보다 주파수 영역 650 MHz 이상에서 더 효과적인 차폐 성능을 보였다. 이를 근거로 HPEM으로부터 보호되어야 할 핵심설비에 대한 보호대책의 필요성을 입증하였다.

Abstract

In this study, a high-power electromagnetic (HPEM) pulse generator was used to radiate the HPEM pulse to a building installed outdoors, and the shielding effectiveness according to the shielding mesh grid size and the grounding system of the building were analyzed. The cases of the shielding mesh not installed and that of a shielding mesh with grid sizes of 0.215 mm and 1.3 mm installed were compared. The grounding system was divided into isolated, mesh grounded, front-end grounded, and back-end grounded according to the grounding system, and the shielding effectiveness was analyzed. In the case of grounding, the HPEM reduction effect was observed in the frequency range of 1 GHz or higher, and the shielding performance was excellent in all frequency ranges in the case of the shielding mesh. In addition, the shielding mesh grid size of 0.215 mm demonstrated more effective shielding performance in the frequency range of 500 MHz or higher than that of 1.3 mm. The results proved the necessity of protection measures for core facilities to be protected from HPEM pulses.

Key words: High Power Electromagnetic Pulse, Shielding Effectiveness, Shielding Mesh, Grounding-System

I. 서 론

고출력 전자기펄스(HPEM, high power electromagnetic pulse)는 짧은 시간에 강력한 펄스를 사용하여 레이더, 전

「본 연구는 국토교통부 건설기술연구사업(과제번호 : 20SCIP-B146646-03)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.」

(주)아이스펙(I-spec Co.)

*한국전기연구원 전력망연구본부 전기환경연구센터(Electrical Environment Research Center, Korea Electrotechnology Research Institute)

· Manuscript received December 1, 2020 ; Revised December 24, 2020 ; Accepted January 19, 2021. (ID No. 20201201-104)

· Corresponding Author: Jeong Min Woo (e-mail: woojm@keri.re.kr)

자제품, 내비게이션, 컴퓨터 및 전자 장치들을 오동작시키거나 물리적인 손상을 야기시킬 수 있다^{[1]~[5]}. 해당 특성을 활용하여 미래 전장에서 매우 큰 영향을 미칠 것으로 예상되어 잠재적인 공격 수단으로 활용될 수 있다. 인위적으로 발생시키는 HPEM은 크게 일회용 EMP 폭탄이나 재사용 가능한 EMP 발생장치로 구분될 수 있다. 최근 경량화된 재사용 가능한 EMP 발생장치를 이용하여 이동체에 탑재되는 사례가 보고되어 국가핵심보호설비에 대한 HPEM 보호대책이 필요하다^[6]. 이러한 HPEM은 크게 전면 도어 커플링(front-door coupling) 또는 후면 도어 커플링(back-door coupling)으로 침투 경로를 구분할 수 있다. 전면 도어 커플링 혹은 안테나, 센서 등과 같은 예측 가능한 경로로 들어오는 HPEM 침투는 일반적으로 다이오드 혹은 가스방전관을 이용하여 보호대책을 마련한다. 후면 도어 커플링은 건물구조체의 구멍, 틈새, 창문 등을 통해 예측하지 못한 경로로 HPEM이 침투된다. 자유공간에서 방사형 형태로 펄스로 전파되는 것을 철제 캐비넷, 차폐망, 전도성이 함유된 건물 외벽 등을 활용하여 억제한다. 그러나 기술개발에 따라 위협성이 올라간 HPEM에 노출되는 경우에 대비하여 이러한 침투 경로와 대비책에 대한 연구가 필요하다(그림 1).

이러한 HPEM 보호대책 중 접지는 과도 전류에 대한 경로를 제공한다. 일반적으로 접지는 과도 전류 입력 예상지점과 대지와의 거리를 최단거리로 잡는 방식으로 이루어진다. 하지만 주로 AC 60 Hz의 접지에 대하여 연구

되었고, HPEM과 같은 고주파수에서의 접지방식에 따른 연구결과는 아직 충분히 이루어지지 않았다.

본 연구에서는 야외에 설치된 건물에 대한 차폐성능을 평가하기 위해서 건물 창문의 차폐망 격자 크기 및 접지 형태에 따라 전자기 펄스 노출의 취약성을 시뮬레이션을 통해 경향성을 확인하고, 야외 실험을 수행하였다. 차폐망은 일반 가정집에서 많이 쓰이는 1.3 mm 격자크기와 시중에서 구할 수 있는 차폐망 제품 중 격자크기가 작은 0.215 mm인 경우를 미설치된 경우와 비교하였다. 또한 접지형태에 따라 비접지, Front-end 접지, Back-end 접지, Mesh 접지로 구분하여 건물 내부에서의 전자기 펄스 크기를 비교분석하였다. 앞서 상황별로 측정된 전자기 펄스를 시간 영역에서 비교하였고, 효율적인 HPEM 보호대책을 위해 주파수 대역에서도 비교하여 고출력 전자기 펄스에 대한 취약성을 분석하였다.

II. 고출력 전자기 펄스 발생기

HPEM 발생기는 광대역 주파수 특성을 가지며, 그림 2와 같이 배터리를 기반으로 하는 전원장치를 테슬라 변압기를 통해 승압시켜 막스 발생기(Marx generator), 펄스 형성 네크워크, 혼 안테나를 통해 펄스를 자유공간으로 방사시킨다. 상세 사양은 표 1에 나타내었다. 해당 펄스를 자유공간에서 TEM sensor를 통해 시간영역에서 측정하였고, 결과는 그림 3에서 확인할 수 있다. 해당 장치는 국내 HPEM 발생기 업체를 통해서 제공받았다^[7].

III. 시뮬레이션

접지 위치 및 차폐망 유무에 따른 HPEM의 차폐에 대

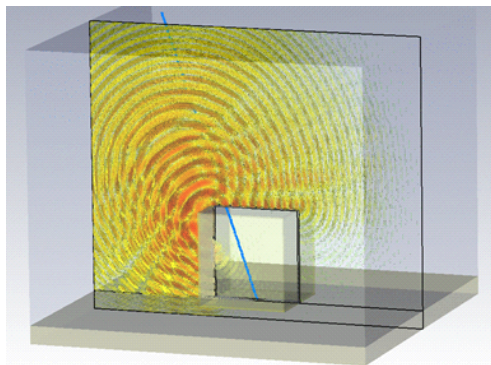


그림 1. 후면 도어 커플링 HPEM 침투경로 모식도
Fig. 1. Schematic diagram of back-door coupling HPEM pathways.

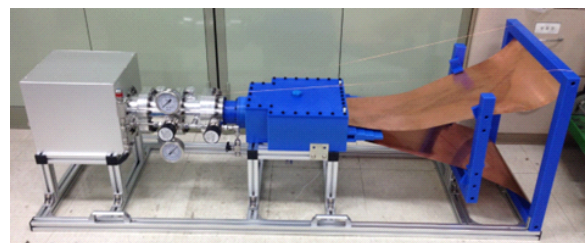


그림 2. HPEM 발생기
Fig. 2. HPEM generator.

표 1. HPEM 발생기 사양

Table 1. Specification of HPEM generator.

Parameters	Value
Far voltage (electric field×distance)	276.67 kV
Electric field deviation	9.5 %
Pulse direction	Directional TEM antenna
Pulse width	420 ps
Operation frequency regime	500 MHz~2.75 GHz
Pulse repetition rate	1~10 Hz
Electric field waveform	Doublet
Power source	Battery

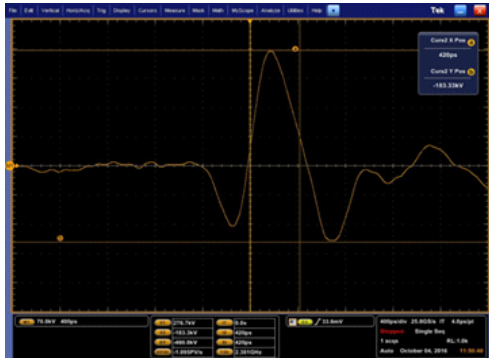


그림 3. HPEM 발생기 파형

Fig. 3. HPEM generator far-field waveform.

한 영향을 알아보기 위해서 삼차원 전계해석 프로그램인 CST Studio Suite를 사용하였다. 삼차원 공간은 가로×세로×높이를 각각 3.5 m로 설정하였고, 경계조건은 가로, 세로를 각각 PEC와 PMC로 설정하였다. 입력된 HPEM 파형은 EMP 발생기에서 실제 측정된 파형인 Mexican hat waveform을 따른다. 이는 아래의 식을 따른다.

$$\psi(t) = \frac{2}{\sqrt{3\sigma}\pi^{1/4}} \left(1 - \left(\frac{t}{\sigma} \right)^2 \right) e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

t 는 시간변수이고, σ 는 펄스폭 시간이다. 최대 전계값 276.67 kV, 펄스폭 420 ps를 가지는 시뮬레이션 입력 파형은 그림 4에서 확인할 수 있다. 해당 입력파형은 그림 3의 측정파형과 동일한 최대 전계값과 펄스폭을 가진다.

모델링한 차폐실은 가로, 세로, 높이를 각각 2.5m×2.5

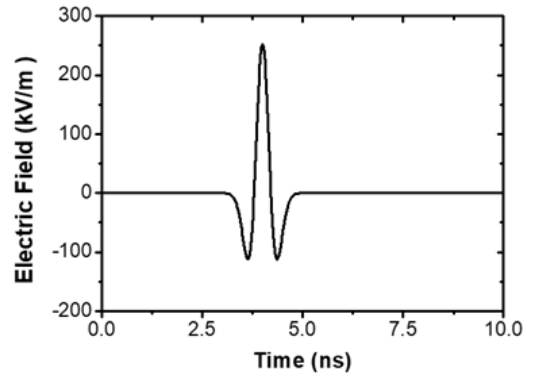


그림 4. 시뮬레이션 입력 파형

Fig. 4. Simulation input waveform.

m×2.5 m의 크기를 가진다. 차폐실 벽두께는 1 mm이며, 재료는 알루미늄이고, 전도도는 3.56×10^7 S/m이다. 전면 차폐실 중앙에 개구면 크기는 가로, 세로 각각 0.5 m이며, 높이는 개구면 중앙기준으로 1.25 m이다. 전면 개구면에는 상황에 따라 차폐망을 설정하였고, 알루미늄 차폐망의 와이어 굵기는 0.25 mm, 격자크기는 1.3 mm으로 하였다. 차폐실 하단에는 절연 매트 설정하여 비접지 상황을 가정하였다. 절연 매트 물질의 비유전율은 3.5, 절연 매트의 높이는 100 mm로 설정하였다. 대지의 전도도는 10^{-3} S/m, 비유전율은 2.44으로 하였다. 접지봉은 상황에 따라 각각 차폐실 전면 또는 후면 모서리 하단에 설정하였고, 직경은 10 mm이다. 접지봉 물성은 구리로 가정하여 전도도 5.96×10^7 S/m이며, 접지봉의 깊이는 차폐실과 대지가 연결될 수 있는 1 m로 하였다(그림 5).

접지 위치에 따른 차폐성능 영향을 알아보기 위해 시뮬레이션 상에서 전계 프로브를 차폐실 중앙에 위치하여 내부 결합 전계를 계산하였고, 프로브 높이는 1.25 m로

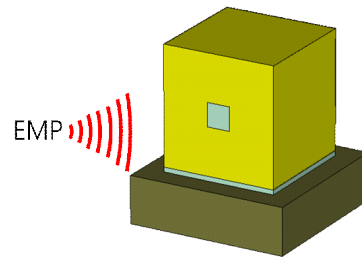


그림 5. 시뮬레이션 차폐실 모식도

Fig. 5. Schematic view of shielding room in simulation.

하였다. 접지 종류에 따른 모델링은 그림 6에서 확인할 수 있다. 접지 종류는 차폐실과 대지가 비접지되어 있는 경우, 차폐실과 대지가 전기적으로 연결되어있고 접지봉이 각각 차폐실 전면 또는 후면 모서리 하단에 위치한 경우, 차폐실 하단에 Mesh 망이 설치되어 있고, 접지봉을 통해 연결된 경우를 가정하였다. 그림 7에서 접지종류에 따라 시간 축에 따른 펄스파형을 확인할 수 있다. 내부 전계는 12 ns에서 최고값을 보였고, 비접지 상태에서는 53.85 kV/m, Front-end 접지에서는 53.4 kV/m, Back-end 접지에서는 55.53 kV/m, Mesh 접지에서는 52.69 kV/m으로 각각 계산되었다. Mesh 접지인 상태에서 가장 전계가 낮

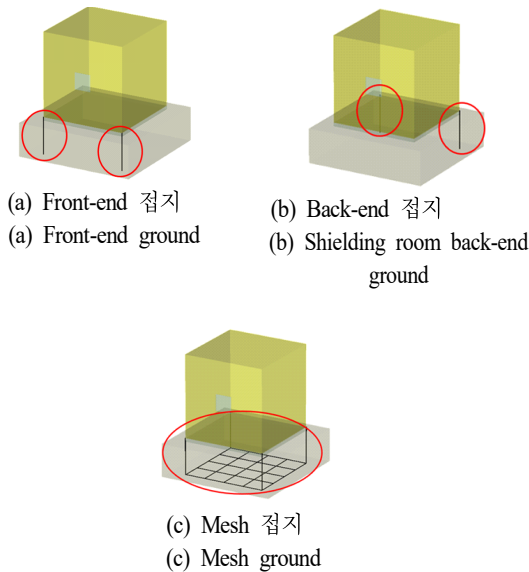


그림 6. 차폐실
Fig. 6. Shielding room.

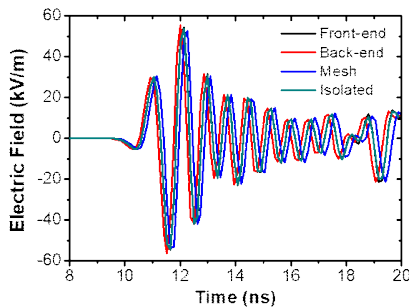


그림 7. 건물 내부 전계 파형
Fig. 7. Electric field waveform of inside the building.

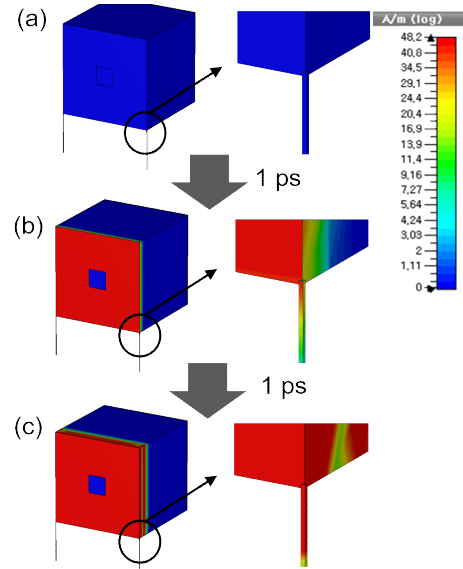


그림 8. 시간영역에서의 전류밀도분포. (a) HPEM 노출 직전, (b) HPEM 노출 시점, (c) HPEM 노출 시점 이후 1 ps 지난 시점

Fig. 8. Current density distribution in the time domain. (a) Immediately before the exposure of HPEM, (b) The time of exposure of HPEM, (c) 1 ps after the exposure of HPEM.

게 계산되었고, Back-end 접지에서는 가장 높게 계산되었으며, 그 차이는 1 kV/m이었다. 시간영역에서의 전류밀도분포를 그림 8에서 확인할 수 있다. HPEM 노출시점으로 부터 시간이 지남에 따라 접지봉의 전류밀도가 증가하여 대지를 통해 접지됨을 알 수 있다.

차폐실 전면 개구면에 차폐망이 설치되어 있는 상황을 가정하였고, 결과는 그림 9에서 확인할 수 있다. 전도성

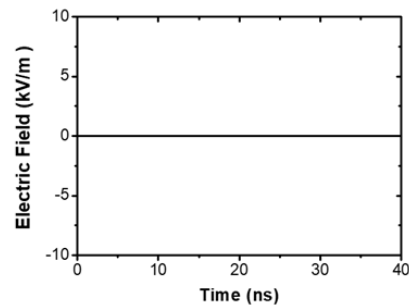


그림 9. 차폐망이 설치된 건물 내부 파형
Fig. 9. Inside waveform of shielding-mesh installed building.

을 가지는 차폐망 격자크기를 1.3 mm으로 한 경우, 내부에 침투하는 전계는 0으로 계산되었다. 이는 이상적인 경우로 가정되었고, 접지형태와 상관없이 내부 전계는 0으로 계산되었다.

IV. HPEM 위협성 평가 실험

실제 환경에서 HPEM 위협성을 평가하기 위해 시뮬레이션 조건과 비슷하게 하여 야외에서 실험을 수행하였다. HPEM 발생기는 앞서 그림 2와 표 1의 사양을 따르며, 그림 10과 같이 차폐실 내부와 HPEM 발생기 거리는 12 m로 두었다. 그림 11에 나타난 TEM sensor를 기반으로 하여 전계 측정은 IEEE Std. 299 국제규격을 참고하여 차폐실 내부에 벽면으로부터 각각 0.3 m 띄워서 TEM sensor

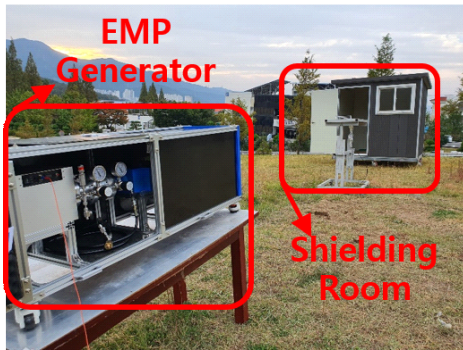


그림 10. HPEM 차폐 및 접지성능 평가시험 모습
Fig. 10. Picture of HPEM shielding and ground-system effect evaluation experiment.

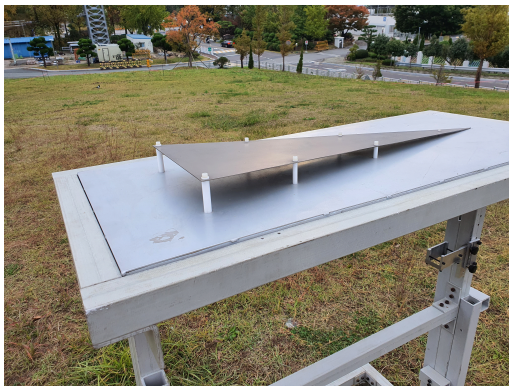


그림 11. TEM sensor 사진
Fig. 11. TEM sensor photograph.

를 설치하였다. TEM sensor 후단에는 고전압 감쇠기와 RF 감쇠기를 설치하였고, 외부환경에 대한 영향을 최소화하기 위해 E/O converter를 이용하였다. 측정용 장비인 오실로스코프는 광케이블로 연결된 E/O converter를 이용하여 파형을 측정하였다. 실험장소는 주변에 가공전선이 없는 한국전기연구원 내부 시험장에서 이루어졌다.

접지 형태 및 차폐망 설치에 따른 실험조건은 그림 12와 그림 13에서 확인할 수 있다. Front 접지와 Back 접지는 직경 1 cm, 길이 1 m 구리재질의 봉을 이용하였다. Mesh 접지는 길이 1 m, 가로 4 m, 세로 4 m, 간격 1 m로 총 16개의 격자를 가진다. 차폐실은 두께 1 mm의 알루미늄으로 이루어져 있으며, 가로, 세로 높이는 각각 2.5 m 이고, 지면으로부터 10 cm 이격되었으며 시뮬레이션 조건과 동일하다. 창문 크기는 가로, 세로 80 cm × 60 cm 이다.

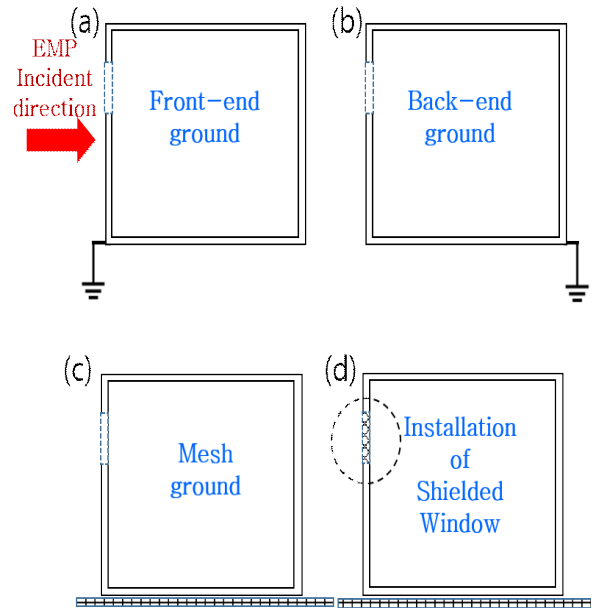


그림 12. 접지 형태 및 차폐망 설치에 따른 실험조건 모식도. (a) Front 접지, (b) Back 접지, (c) Mesh 접지, (d) 창문 차폐망 설치

Fig. 12. Schematic view of test conditions according to grounding system and shielding mesh installation. (a) Front-end ground, (b) Back-end ground, (c) Mesh ground, (d) Window Shielding Mesh installation.

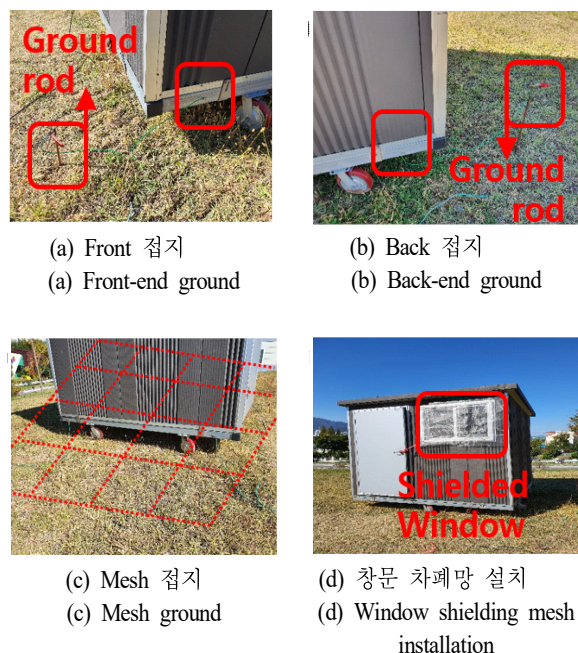


그림 13. 접지 형태 및 차폐망 설치에 따른 실험 사진
Fig. 13. Photograph of experiments according to grounding system and shielding mesh installation.

4.1 시간 영역

상세 실험조건 및 측정된 전계는 표 2에서 확인할 수 있다. 시간영역에서는 차폐망 설치시 접지형태에 따라 차폐실 내부에서 측정된 전계는 큰 차이가 없었다. 차폐망이 없는 경우는 차폐망이 있는 경우와 비교시 약 3배 이상 전계가 상승함을 알 수 있었다.

그림 14에서는 실험에 사용된 차폐망을 확인할 수 있다. 각자의 격자크기는 0.215 mm, 1.3 mm이었다. 그림 15에서는 차폐망의 격자크기 및 차폐망 유무에 따른 시간영역에서의 측정 전계를 그래프로 모식하였다. 해당 결과는 차폐실이 Mesh 접지된 상태이다. 차폐망이 없는 경우, 차폐실 내부에서 가장 큰 전계값을 보였다. 앞서 그림 9 시뮬레이션 결과에서는 차폐망이 설치된 경우, 내부 전계가 0으로 계산되었지만, 실제 측정에서는 차폐실의 구멍, 틈새 등을 통해 일정 수준의 전계값을 보였다. 또한 차폐망의 격자크기에 따른 측정 전계 차이는 적었다. 이는 저주파수영역에서 대부분의 전계분포를 보여주고 있는 HPEM 특성에 의한 것이다.

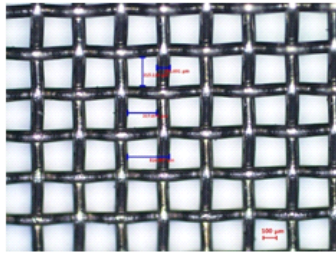
표 2. 실험조건에 따른 측정전계

Table 2. Measured electric field according to experimental conditions.

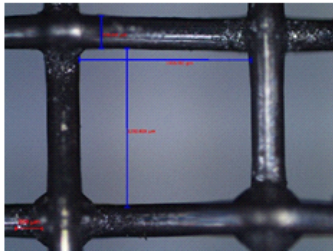
Experiment conditions		E-field, kV/m	
		Max.	Min.
Shielding room front-end ground	Shielding mesh not installed	13.57	-15.0
	RF shielding mesh installed at window	2.67	-4.78
	Anti-insect mesh installed at window	2.70	-4.55
Shielding room back-end ground	Shielding mesh not installed	11.95	-16.1
	RF shielding mesh installed at window	3.41	-3.38
	Anti-insect mesh installed at window	2.95	-4.29
Shielding room mesh ground	Shielding mesh not installed	11.03	-16.3
	RF shielding mesh installed at window	2.71	-3.62
	Anti-insect mesh installed at window	3.15	-5.22
Shielding room isolated	Shielding mesh not installed	11.7	-15.7
	RF shielding mesh installed at window	2.69	-4.99
	Anti-insect mesh installed at window	3.38	-4.54

4.2 주파수 영역

주파수 영역에서의 접지형태 및 차폐망 격자크기에 따른 차폐효과를 확인하기 위해 시간영역에서의 입력을 주파수 영역으로 푸리에 변환하였다. 그림 16에서는 접지형태에 따라 주파수 영역에서 측정된 전계를 확인할 수 있다. 주파수 1.2 GHz에서 비접지인 경우, 7.22 kV/m, Front-end 접지는 6.43 kV/m, Back-end 접지는 4.09 kV/m, Mesh 접지는 3.12 kV/m으로 각각 측정되었다. 1 GHz 이하에서는 접지형태에 따른 차폐효과 차이는 적었지만, 1 GHz 이상에서는 Mesh 접지인 경우 가장 큰 차폐효과를 보였고, 비접지인 경우에 가장 큰 전계가 측정되었다.



(a) 격자크기 0.215 mm
(a) Mesh size 0.215 mm



(b) 격자크기 1.3 mm
(b) Mesh size 1.3 mm.

그림 14. 차폐망 사진

Fig. 14. Shielding mesh photograph.

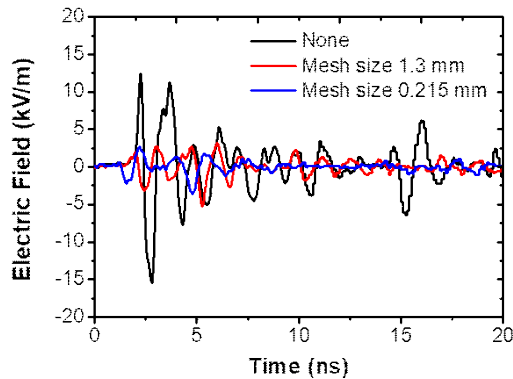


그림 15. 시간 영역에서의 차폐망 격자크기에 따른 측정 전계

Fig. 15. Measured electric field according to the grid size of the shielding mesh in the time domain.

Front-end 접지 및 Back-end 접지인 경우, 비접지보다 향상된 차폐효과가 있었다.

그림 17에서는 격자크기에 따른 주파수 영역에서의 측정된 전계를 확인할 수 있다. 해당 실험결과는 모두 Mesh

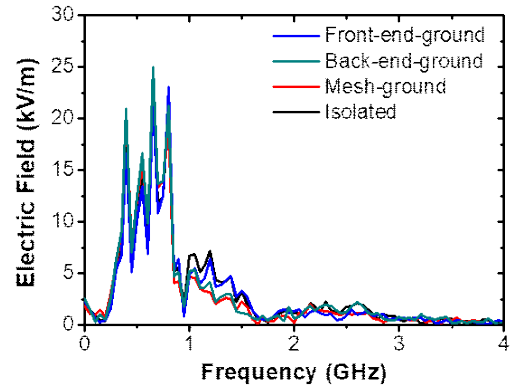


그림 16. 주파수 영역에서의 접지형태에 따른 측정전계
Fig. 16. Measured electric field according to the ground-system in the frequency domain.

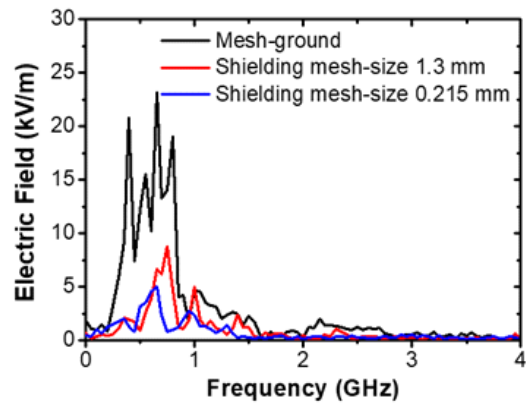


그림 17. 주파수 영역에서의 차폐망 격자크기에 따른 측정 전계

Fig. 17. Measurement electric field according to the grid size of the shielding mesh in the frequency domain.

접지된 경우이며, 격자크기 및 차폐망 유무에 따라 결과를 비교하였다. 차폐망이 있는 경우, 모든 주파수 영역에서 향상된 차폐효과를 보였다. 주파수 650 MHz에서 차폐망이 없는 경우 23.17 kV/m, 격자크기가 1.3 mm인 경우, 6.70 kV/m, 격자크기가 0.215 mm인 경우 4.98 kV/m으로 측정되었다. 차폐망의 격자크기가 0.215 mm인 경우 650 MHz 이상에서 격자크기가 1.3 mm인 경우보다 전계가 낮게 측정되었다. 격자크기가 작을수록 고주파수 대역에서는 향상된 차폐 성능을 보였다.

V. 결 론

본 논문에서는 야외에 설치된 차폐실에서 접지형태 및 차폐망 유무와 격자크기에 따른 차폐실 내부에서의 HPEM 차폐효과를 비교분석하였다.

(1) 접지형태는 비접지, Front-end 접지, Back-end 접지, Mesh 접지로 구분하였고, 시뮬레이션 시간영역 계산결과에서 Mesh 접지인 상태에서 가장 전계가 낮게 계산되었고, Back-end 접지에서는 가장 높게 계산되었으며, 그 차이는 1 kV/m이었다. 야외에서 실험한 결과, 시간영역에서는 접지형태에 따라 측정된 내부 전계는 큰 변화가 없었다. 하지만, 주파수 영역에서는 접지가 되어 있는 경우, 1 GHz 이상에서 HPEM 저감효과를 보였고, Mesh 접지가 가장 큰 차폐효과가 있었다.

(2) 차폐망은 격자크기 0.215 mm인 경우와 1.3 mm인 경우로 구분하였고, 설치 유무에 따른 차폐효과도 비교하였다. 시뮬레이션 상에서는 차폐망이 설치된 경우, 차폐실 내부 전계가 0으로 계산되었지만, 야외 실험에서는 일정 수준의 전계가 측정되었다. 시간 영역에서는 차폐망이 설치된 경우 차폐망이 없는 경우와 비교시 30 % 이하로 감소된 전계가 측정되었고, 격자 크기에 따른 차이는 적었다. 주파수 영역에서는 차폐망이 있는 경우, 없는 경우와 비교시 모든 주파수 영역에서 향상된 차폐 성능을 보였고, 차폐망의 격자크기가 0.215 mm인 경우 격자크기가 1.3 mm인 경우보다 주파수 대역이 650 MHz 이상부터 향상된 차폐 성능을 보였다.

References

[1] D. S. Kim, J. H. Choi, N. C. Park, S. I. Chan, and Y.

C. Jeong, "Analysis of semiconductor fault using DS(damped sinusoidal) HPEM injection," *Microelectronics Reliability*, vol. 88-90, pp. 411-417, Sep. 2018.

[2] S. Yi, Z. Du, "Thermal burnout effect of a GaAs PHEMT LNA caused by repetitive microwave pulses," *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 47, no. 10, pp. 4620-4627, Oct. 2019.

[3] R. Hao, X. Zhang, H. Gao, H. Wu, J. Cheng, and G. P. Li, "A novel high-altitude electromagnetic pulse(HEMP) protection circuit for RF applications," *Microelectronics Journal*, vol. 84, pp. 1-8, Feb. 2019.

[4] L. Nguyen, M. Caruso, M. Bergstrom, and D. McGaw, "Hybrid conductive concrete structures for EMP protection of resiliency critical infrastructure facilities," in *2018 IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal Integrity and Power Integrity(EMC, SI & PI)*, Long Beach, CA, 2018.

[5] V. Gurevich, "The problems of testing HEMP resilience of electronic equipment of automation, control and relay protection," *International Journal of Research Studies in Electrical and Electronics Engineering*, vol. 5, no. 3, pp. 14-22, 2019.

[6] A. Kalantarnia, A. Keshtkar, and A. Ghorbani, "Investigation of parameters affecting the level of perforated conductive enclosure protection against HEMP radiation using FDDM," *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 48, no. 6, pp. 2115-2124, Jun. 2020.

[7] Replex, "hpem-simulator" 2021. Available: http://www.replex.co.kr/18_hpem-simulator/

안 병 진 [(주)아이스팩/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-8877-7636>



2011년 2월 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)
2015년 8월~현재 : (주)아이스팩 선임연구원
[주 관심분야] EMP 필터/방호대책 설계, EMC/EMI Consulting

주 문 노 [한국전기연구원/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-3782-1828>



1994년 2월: 인하대학교 환경공학과 (공학사)
1996년 2월: 인하대학교 전기공학과 (공학석사)
2007년 2월: 한국해양대학교 전기공학과 (공학박사)
1996년~현재 한국전기연구원 전력망연구본부 전기환경연구센터 책임연구원

[주 관심분야] 초고압 전력설비의 친환경설계기술

박 재 현 [(주)아이스팩/연구소장]

<https://orcid.org/0000-0001-6173-9085>



1991년 2월: 전북대학교 전자공학과 (공학사)
1990년 12월~2003년 10월 : 기아자동차 기술연구소
1999년~현재: TC77C 전문위원
2003년 10월~현재: (주)아이스팩 연구소장
[주 관심분야] EMP 필터 설계, EMC/EMI Consulting

Consulting

우 정 민 [한국전기연구원/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-3604-3147>



2011년 2월: 경북대학교 전자공학부 (공학사)
2013년 8월: 광주과학기술원 정보통신공학부 (공학석사)
2016년 8월: 광주과학기술원 전기전자컴퓨터공학부 (공학박사)
2016년 7월~현재 : 한국전기연구원 전력망연구본부 전기환경연구센터 선임연구원

[주 관심분야] EMP 대책 설계, HVDC 전기환경, 초고주파공학, 메타물질, 화합물반도체

정 경 진 [(주)아이스팩/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-0270-9086>



2001년 2월: 경남대학교 전자공학과 (공학사)
2004년 2월: 경남대학교 전자공학과 (공학석사)
2004년 3월~2006년 5월: (주)한국성전 주임연구원
2006년 6월~2011년 12월: (주)DST 선임연구원

구원

2012년 1월~현재: (주)아이스팩 수석연구원

[주 관심분야] 재료 소재 연구, MOV/SPD 개발 및 제작