

방호 시설 크기에 따른 전계강도 및 차폐 효과 비교

강호재^{1,a}, 허창수¹, 방정주¹, 최진수², 박우철³

¹ 인하대학교 전기공학과 에너지변환연구실

² 국방과학연구소(ADD)

³ 한국화학융합시험연구원(KTR) EMP 실험실

Electric Field Strength and Shielding Effectiveness Comparison According to the Size of Shielding Facility

Ho-Jae Kang^{1,a}, Chang-Su Huh¹, Jeong-Ju Bang¹, Jin-Su Choi², and Woo-Chul Park³

¹ Department of Electrical Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

² Agency for Defense Development, Daejeon 305-600, Korea

³ EMP Department, Korea Testing & Research Institute (KTR), Yongin 449-825, Korea

(Received February 26, 2014; Revised March 11, 2014; Accepted March 12, 2014)

Abstract: In modern times, threat of high power electromagnetic wave is increasing. When the electrical grid and communication network are attacked by these high power electromagnetic wave, the whole infrastructure is paralyzed. To protect the infrastructure from these high power electromagnetic wave threat, the shielding facility that can block high power electromagnetic wave is constructed. Also shielding effectiveness evaluation about the constructed facility is important. But, because of space efficiency and saving of construction cost to construct the actual shielding facility, the shielding room wall is generally adjacent to exterior concrete structures. As space between shielding facility wall and concrete structures is very small, arranging the transmitting antenna exterior shielding facility is realistically difficult. Therefore, in this research, The shielding effectiveness measurement plan in the state of exterior narrow space of HEMP shielding facility is presented. And to apply this plan, The influence of shielding effectiveness according to the size of the shielding facility is analyzed.

Keywords: Shielding facility, Shielding effectiveness, HEMP, Chamber size, The transmitting antenna

1. 서 론

오늘날 현대사회는 기술의 발전으로 인하여 수많은

정보기기 및 전자기기 시스템들이 개발되고 사회 전반적인 분야에서 기기와 시스템들이 사용되고 있다. 하지만 이러한 대부분의 기기와 시스템들은 고출력 전자기파의 영향을 받을 경우 심각한 고장 및 파손이 발생할 수 있다 [1,2]. 또한, 전력, 통신, 금융 네트워크 등 사회 기간망이 복잡해지고, 전자 기기가 전자파의 영향에 더욱 취약하기 때문에 고출력 전자기파를 이용한 위성통신 교란, EMP 폭탄 등 신종 전자전무기의

a. Corresponding author; ghwo1028@nate.com

Copyright ©2014 KIEEME. All rights reserved.
 This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

활용 가능성이 높아져 잘못 활용될 경우 전자장비뿐만 아니라 전력망, 통신망 등 국가기간시설들을 한순간에 마비시켜 혼란을 야기시킬 수 있다 [3]. 이러한 고출력 전자기파의 위협으로부터 특수 목적 및 중요 시설의 보호를 위하여 고출력 전자기파를 차단할 수 있는 방호시설의 건설 및 전자기파 차폐 효과의 평가는 매우 중요하다. 현재 국내에서는 방사성 전자기파에 대한 HEMP 방호시설에 대한 대표적인 차폐시험 표준으로 MIL-STD-188-125-1과 IEEE-STD-299 두 가지를 적용하고 있다.

HEMP 방호시설의 건설은 콘크리트 구조물을 먼저 만들고 그 안에 HEMP 차폐를 건설하며 건설 공간의 효율성, 건설비용의 절감 때문에 외부 콘크리트 구조물에 인접하게 차폐룸의 벽면을 배치하는 것이 일반적이다. 때문에 EMP 방호시설 벽 표면과 외부 콘크리트 구조물 사이의 공간은 대략 10 cm에서 1 m까지 매우 좁아 규격에 의한 외부에 송신 안테나를 배치하는 차폐 효과 측정 방법의 적용에 어려움이 있다. 차폐 효과 시험을 위해 막대한 건설비용을 소모하면서 EMP 방호시설의 외부 공간을 확보하는 것에는 무리가 있기 때문에 EMP 방호시설의 외부 공간이 협소한 상태에서도 차폐 효과를 측정할 수 있는 방안을 확보할 수 있다면 방호시설 건설 시 공간의 효율성이 증가할 것으로 기대된다.

본 연구에서는 송·수신 안테나의 위치를 바꾸어서 차폐 효과 실험을 실시하였으며 챔버의 크기 및 구조가 차폐 효과에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험 방법

그림 1은 MIL-STD-188-125-1에 제시되어있는 방호시설의 차폐 효과 측정 방법을 나타내고 있다.

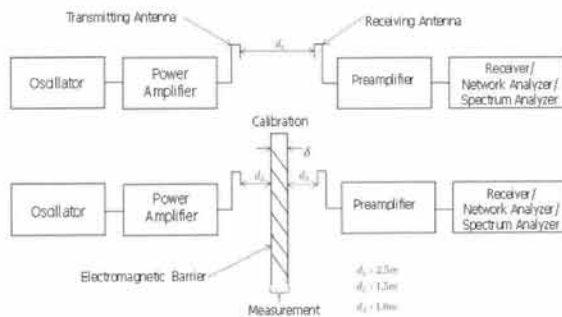


Fig. 1. Shielding effectiveness measurement configuration.

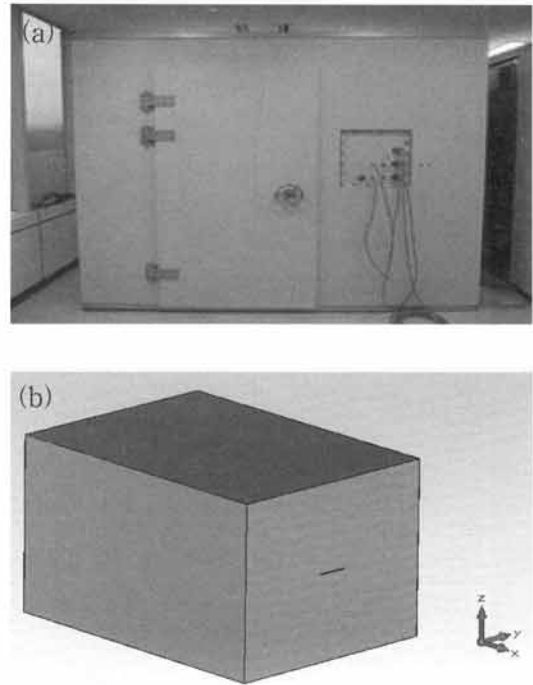


Fig. 2. Experiment configuration of chamber 1. (a) the actual shape of chamber 1 and (b) the simulation shape of chamber 1.

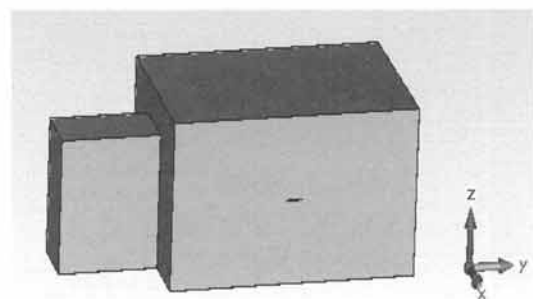


Fig. 3. Experiment configuration of chamber 2. (a) the actual shape of chamber 2 and (b) the simulation shape of chamber 2.

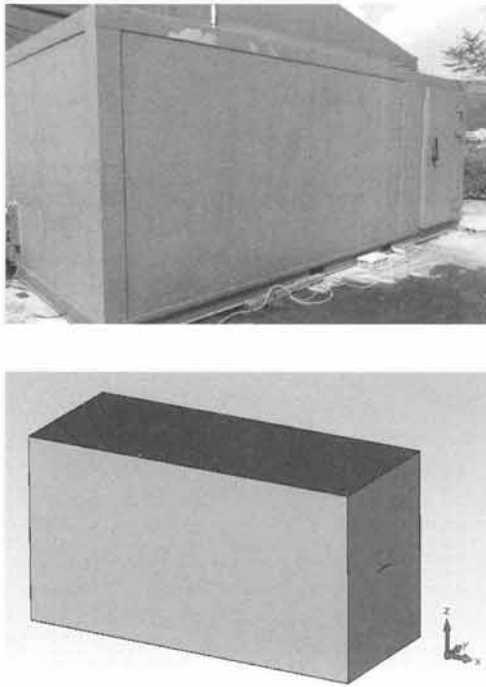


Fig. 4. Experiment configuration of chamber 3. (a) the actual shape of chamber 3 and (b) the simulation shape of chamber 3.

MIL-STD-188-125-1에서는 송신안테나와 챔버의 벽면 사이의 거리는 2.05 m, 챔버와 수신안테나의 거리는 1.00 m로 제시하고 있다. 하지만 송신안테나와 수신안테나의 위치를 바꿀 경우 수신안테나가 외부에 위치하여 약 1 m의 공간을 확보할 수 있기 때문에 공간의 효율성이 증가한다. 따라서 본 연구에서는 송·수신 안테나의 위치가 바뀌었을 경우 챔버의 크기 차폐 효과 측정에 미치는 영향을 분석하였다. 차폐 효과 시뮬레이션에 적용된 챔버는 세 종류이며 차폐 효과의 비교 분석을 위해 400×10 mm의 크기의 POE (point of entry) 적용하여 모델링하였다. 챔버에 사용되는 재료는 일반적인 방호시설에 적용되고 있는 STEEL-1010을 적용하였다.

그림 2는 챔버 1의 실제 사진과 시뮬레이션을 위한 모델링을 보여준다. 챔버 1의 크기는 2.9 m × 3.9 m × 2.4 m이고, 차폐벽의 두께는 2 mm이다. 실제 크기와 동일하게 모델링 하여 분석을 수행하였다.

그림 3의 챔버 2는 내실과 외부 차폐문과 연결이 되어 있는 전실로 구성되어 있으며 내실의 크기는 3.605 m × 5.985 m × 3.002 m이고, 전실은 1.194 m × 2.409 m × 2.392 m이다. 챔버 2의 두께는 챔버 1

과 동일하게 2 mm이다.

그림 4에서 제시하고 있는 챔버 3의 크기는 2.4 m × 6 m × 2.4 m이며 마찬가지로 실제 크기로 모델링하여 분석하였다. 제시된 세 가지 챔버들을 대상으로 하여 MIL-STD-188-125-1에서 규정하고 있는 차폐 효과 측정 방법에서 송·수신 안테나의 위치를 바꾸어 실험을 실시하여 전계 강도와 차폐 효과를 비교 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 5는 각 챔버를 대상으로 내부에 송신안테나가 위치하고 외부에 수신안테나가 위치할 경우 수신안테나에 측정되는 전계강도를 나타낸 것이다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 챔버 1에서는 900 MHz 부근에서 피크 값 6e-005 V/m이 측정되었고 평균적으로 3e-005 V/m가 측정된 반면에 챔버 2와 3에서는 피크 값 3e-005 V/m이고, 평균 1e-005 V/m를 나타내었다. 결과적으로 챔버의 크기가 커질수록 외부 수신안테나에 수신되는 전계강도의 크기가 감소되는 것을 볼 수 있다.

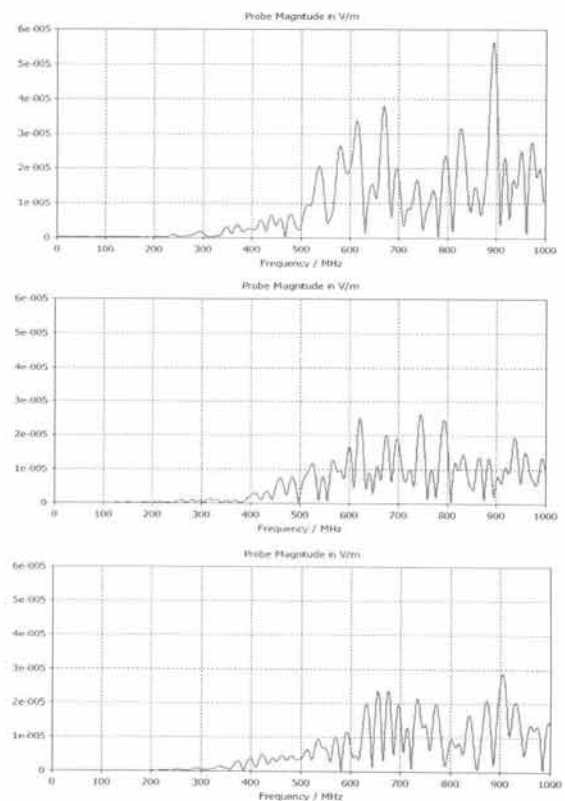


Fig. 5. Electric field strength received to chamber. (a) electric field strength of chamber 1, (b) electric field strength of chamber 2, and (c) electric field strength of chamber 3.

챔버 내부에 송신안테나가 위치할 경우 챔버 내부의 송신안테나에서 전자파가 방사되어 난반사나 다중반사가 발생한다. 챔버 내부에서 일어나는 흡수손실 a_A , 반사손실 a_R , 내부 반사손실 a_{IR} 을 감안하여 식으로 나타내면 [4,5], 식 (1)과 같다.

$$SE = a_R + a_A + a_{IR} \text{ dB} \tag{1}$$

여기서 제시하고 있는 차폐 효과는 금속벽을 통한 투과 정도와 금속면으로부터의 반사를 고려하며 전자파는 전자파와 챔버 사이의 임피던스 부정합 때문에 저 임피던스 챔버면으로부터 일부는 반사하고 일부는 차폐재 내부에서 흡수된 후 외부로 방출되게 된다. 만약 흡수손실이 작게 되면 다중반사가 일어나게 된다 [6]. 따라서 챔버의 크기가 작을수록 외부로 방출되는 전자파의 양이 많은 것을 알 수 있는데 이는 크기가 작은 챔버 내부에서는 난반사와 다중반사에 의해 방출되는 전자파의 양이 많은 반면 큰 챔버는 반사손실이 거의 없기 때문에 안테나의 전자파가 외부로 방출되는 양이 적다. 식 (1)은 손실 정도의 크기가 흡수손실과 반사손실이 반비례하는 식이다. 즉 내부에 반사손실이 크면 반대로 흡수손실의 정도가 커지게 때문에 그만큼 차폐 효과는 감소하게 된다.

그림 6은 각 챔버에서 측정된 전계강도를 바탕으로 현재 방호시설의 평가하는 항목 중의 하나인 차폐 효과를 나타낸 그래프이다. 위의 차폐 효과 식의 결론은 차폐 효과 값은 챔버가 존재했을 때의 전계강도와 챔버가 존재하지 않았을 경우의 calibration 전계강도를 챔버가 존재할 때 measure 값과 비교한 지표이다. 즉, 흡수손실과 반사손실을 모두 고려하여 최종적으로 차폐 효과를 산출할 때는 MIL-STD-188-125-1에서 제시하고 있는 차폐 효과 식처럼 표현이 될 수 있다 [7].

$$SE = 20 \log_{10} \frac{E_{calibration}}{E_{measured}} \tag{2}$$

그림 6은 주파수 범위 400 M~1 GHz의 차폐 효과를 보여준다. 차폐 효과는 그림 5에서 전계강도를 측정할 때 각 챔버의 전계강도와 다르게 차폐 효과가 거의 4 dB 이하로 적게 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 calibration에서의 값과 실제 측정값을 상대적으로 비교한 값이지만 위에서 적용한 세 개의 챔버는 공통적으로 적용된 POE를 제외하고는 다른 필터나

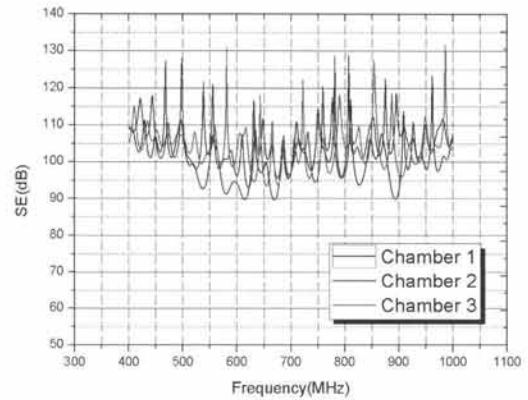


Fig. 6. Shielding effectiveness of the chambers.

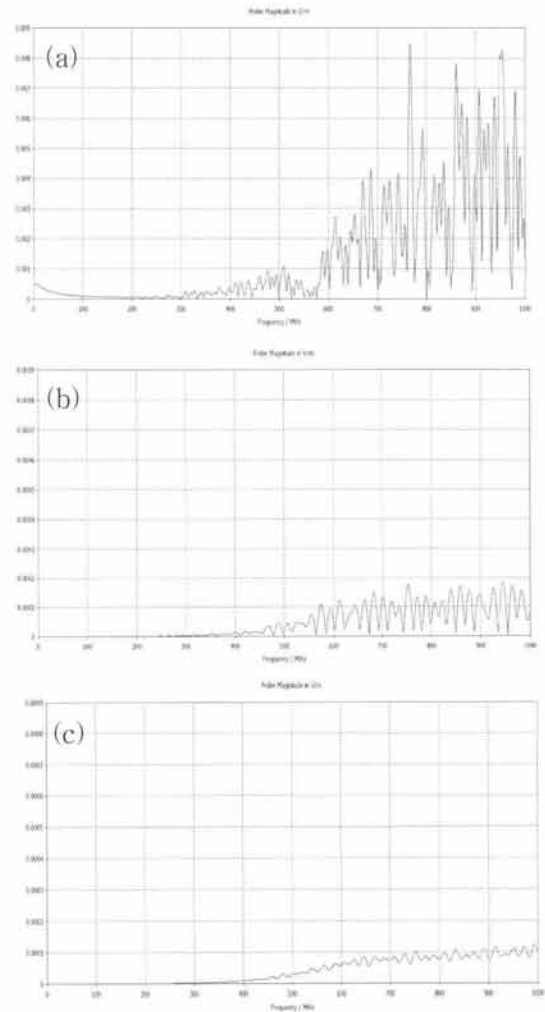


Fig. 7. Electric field strength comparison according to size of chamber. (a) electric field strength of 5 m³ chamber, (b) electric field strength 7 m³ chamber, and (c) electric field strength 9 m³ chamber.

허니콤, 도파관 등의 POE를 발생시킬 수 있는 시설 요소를 포함시키지 않았기 때문에 상당히 높은 차폐 효과가 나타나는 것을 볼 수 있다 [8-10].

위의 실험 결과를 통해 각 챔버들의 크기와 구조에 의한 결과를 도출하였지만 챔버 크기의 일정한 변화에 의한 전계강도와 차폐 효과의 변화를 관찰할 수 없다. 따라서 정육면체 구조의 챔버를 대상으로 일정한 크기의 변화에 따른 전계강도를 비교하기 위해 5 m³, 7 m³, 9 m³, 세 가지 크기의 챔버를 실험을 실시하였다.

그림 7은 10 k~1 GHz의 주파수 범위의 전계강도를 보여준다. 그림 7에서 볼 수 있듯이 챔버의 크기에 따른 전계강도 실험 결과는 챔버 1, 2, 3의 전계강도 비교결과와 동일하게 챔버의 크기가 커질수록 수신 안테나에서 수신되는 전계강도가 감소하는 것을 관찰할 수 있었다. 이를 통해 챔버의 크기가 커질수록 난반사나 다중반사의 영향이 차폐 효과 측정에 미치는 영향이 감소하는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 POE를 포함하고 있는 챔버를 모델링하여 챔버 내부에 송신안테나를 위치시키고 외부 수신안테나를 통해 전계강도와 그에 대한 차폐 효과를 비교한 실험을 실시하였다. 실험 결과 챔버의 크기가 커질수록 외부 수신안테나에서 측정되는 전계강도가 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한 이를 검증하기 위해 정육면체 챔버를 모델링하여 동일한 방법으로 실험한 결과 5 m³의 챔버는 0.009 V/m의 전계강도가 측정되었으며 7 m³, 9 m³의 챔버는 0.002 V/m의 전계강도가 측정되었다. 앞선 실험 결과와 마찬가지로 챔버의 크기가 커질수록 외부 수신안테나에서 측정되는 전계강도가 감소하였다.

상기의 결과들을 통해 챔버의 크기가 커질수록 난반사와 다중반사의 영향이 차폐 효과 측정에 미치는 영향이 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서 방호시설의 차폐 효과 측정 시 챔버의 크기가 클 경우 기존의 차폐 효과 측정 방법에서 송수신 안테나의 위치를 변경하여 차폐 효과를 측정할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 표준기술력향상사업(프로젝트번호-10042466)의 지원을 받아 수행되었음.

REFERENCES

- [1] S. Holt, J. Dickens, and J. Walter, *IEEE Trans. on Pulsed Power Conference*, 449 (2005).
- [2] S. I. Shkuratov, M. Kristiansen, J. Dickens, and A. Neuber, *IEEE trans on Pulsed Power Plasma Science*, 2, 959 (2001).
- [3] S. Y. Hyun, K. W. Lee, M. S. Kim, and J. G. Yook, *Journal of The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, 23, 384 (2012).
- [4] J. S. Yeon and H. S. Kim, *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, 5, 350 (2009).
- [5] J. H. Kim, J. H. Kim, W. S. Park, H. J. Lee, and K. J. Han, *Joint Technical Conference on Circuits Systems, Computers and Communications*, 18, 309 (1995).
- [6] P. V. Y. Jayasree, V. Baba, and B. P. Rao, *IEEE Trans on Electromagnetic Interference & Compatibility, INCEMIC 2008, 10th International Conference* (Bangalore, India, 2008) p. 463.
- [7] F. T. Belkacem, A. Boutar, M. Bensetti, M. Laour, and D. Moussaoui, *Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA) International Conference* (Saint Etienne du Rouvray, France, 2011) p. 881.
- [8] S. K. Lee, C. M. Seong, E. H. Kim, S. R. Ryu, J. H. Lee, and D. C. Park, *Journal of The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, 23, 652 (2012).
- [9] Y. Wang, X. Zhao, J. Chen, and X. Sun, *Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering (CMCE), 2010 International Conference* (Changchun, China, 2010) p. 527.
- [10] C. Erbas and S. Kent, *Electromagnetic Compatibility, EMC 2003, IEEE International Symposium* (Istanbul, Turkey, 2003) p. 343.