

HEMP 방호시설의 SE 평가방법의 비교

Comparison of SE Evaluation Methods for HEMP Shelters

정 연 춘 · 이 종 경* · 권 석 태*

Yeon-Choon Chung · Jongkyung Lee* · Suk-Tai Kwun*

요 약

HEMP 방호시설의 전자파 차폐 성능을 평가하는데 사용하고자 하는 두 시험 규격, IEEE Std. 299 및 MIL-STD-188-125-1은 동일한 방호시설임에도 불구하고, 각기 다른 시험 결과를 제공한다. 특히, 10 kHz~20 MHz 대역의 저주파 자기장 영역에서는 IEEE Std. 299 규격에 의한 시험 결과가 MIL-STD-188-125-1 규격에 비해 20~30 dB 정도 더 낮게 평가됨을 확인하였다. 이러한 결과는 두 규격에서 규정하고 있는 측정 조건이 상이함에 기인하며, 따라서 측정거리의 단축을 위해 IEEE Std. 299 규격을 적용할 경우에는 기존의 MIL-STD-188-125-1 규격에 근거하여 작성된 전자파 차폐 성능 요구는 재조정되어야 한다.

Abstract

Two test standards to be applied for evaluating shielding effectiveness of HEMP protection facilities, MIL-STD-188-125-1 and IEEE std. 299, provide different test results in spite of the same facility. In particular, at the frequency range of 10 kHz~20 MHz, it is confirmed that the test results by the IEEE Std. 299 are about 20~30 dB lower than the evaluated results by MIL-STD-188-125-1. These results are due to the different measurement conditions specified in the two test standards. Therefore, IEEE Std. 299 can be applied for the shortening of test distance, but the required SE performance based on MIL-STD-188-125-1 must be modified.

Key words: HEMP Shelter, Shielding Effectiveness, MIL-STD-188-125-1/2, IEEE std 299

I. 서 론

근래에 들어 북한의 핵 위협으로 인해 20~40 km 이상의 고도에서의 핵폭발에 의해 발생하는 HEMP(High-altitude Electromagnetic Pulse)에 대한 관심이 증대되고 있다. 이러한 위협에 대응하기 위해 다양한 방호시설이 구축되고 있으며, 또한 구축된 방호시설의 객관적인 검증에 대한 관심이 매우 높다. 이러한 검증에는 전자파 차폐 효과(SE: Shielding Effectiveness)와 펄스 전류 주입(PCI: Pulsed Current Injection) 시험이 주요한 평가항목이며, MIL-STD-188-125-1 방법이 널리 준용되고 있다^[1].

특히, 상기 군사 규격을 적용하여 전자파 차폐 효과 시험을 수행할 때, 송신안테나를 차폐 벽면으로부터 2.05 m 띄우도록 규정하고 있다. 그러나 이러한 측정거리는 지하 공간이나 기존 건물의 내부에 방호시설을 구축하고자 할 때, 유지 보수 및 사후 검증을 위해 충분한 여유 공간을 확보해야 하므로 과도한 구축 비용의 상승을 초래하는 애로사항이 되고 있다. 특히, 기존의 건물 내에 방호시설을 설치하고자 할 때, 이러한 여유 공간을 확보하기 위해서는 제한된 공간에서 방호시설의 크기를 축소할 수밖에 없으므로 방호시설의 효용성을 크게 떨어뜨리는 경향이 있다. 따라서 이러한 현실을 타개하기 위해 송·수신안테

「본 연구는 2012년도 서경대학교 교내연구비 지원에 의하여 이루어졌음.」

서경대학교 전자공학과(Department of Electronics, Seokyeong University)

*이엔알텍(E&R Tech.)

· Manuscript received September 1, 2014 ; Revised September 29, 2014 ; Accepted October 1, 2014. (ID No. 20140901-068)

· Corresponding Author: Yeon-Choon Chung (e-mail: ycchung@skuniv.ac.kr)

나 간의 거리가 보다 짧은 IEEE Std. 299 방법을 적용하거나, 또는 송·수신안테나의 위치를 바꾸려는 시도가 있다²⁾.

본 논문에서는 위에서 언급한 두 시험방법을 적용하여 HEMP 방호시설의 전자파 차폐 효과를 평가하였으며, 두 시험결과의 차이를 분석하였다. 이러한 결과로부터 두 방법을 적용할 때 반드시 고려해야 하는 사항을 이해하는데 도움을 줄 것으로 기대한다.

II. 시험 방법 및 시험 셋업

2-1 두 시험 규격의 비교

구조물의 전자파 차폐 효과는 차폐 재료의 특성, 개구부의 크기와 개수, 위치 등에 따라 결정되지만, 실제 SE 평가에서는 측정방법에 따른 오차가 측정 결과에 반영되어 나타나므로 서로 다른 시험 결과를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 현재 국내에서 적용에 논란이 되고 있는 두 시험규격, MIL-STD-188-125-1과 IEEE Std. 299을 대상으로 하였다³⁾⁴⁾.

이러한 두 시험규격은 최소 시험구역과 시험지점, 시험주파수 대역과 측정거리 등에서 차이가 있다¹⁾. IEEE Std. 299 규격에서는 9 kHz~20 MHz 대역에서 전자파 누설의 가능성이 큰 지점을 중심으로, 20~18 GHz 대역에서 수평 및 수직방향으로 일정 간격으로 평가하도록 규정되어 있다. 반면에, MIL-STD-188-125-1 규격에서는 전 시험주파수 대역에서 시험구역을 3.05 m×3.05 m의 단위 영역을 나누고, 그 중앙에서 측정하도록 규정하고 있다.

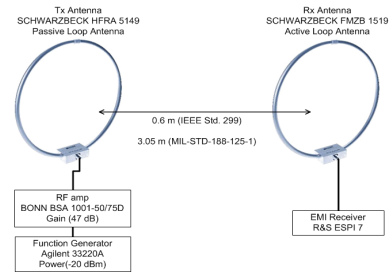
또한 IEEE Std. 299 규격에서는 9 kHz~20 MHz 대역에서 송, 수신 안테나를 차폐 벽면으로부터 각각 0.3 m, 20 MHz~1 GHz 대역에서는 송신 안테나를 차폐 벽면으로부터 최소 1.7 m, 수신 안테나를 차폐 벽면으로부터 최소 0.3 m 띄우도록 규정하고 있으며, 반면에 MIL-STD-188-125-1 규격에서는 10 kHz~1 GHz의 전 시험주파수 대역에 걸쳐 동일하게 송신 안테나와 차폐 벽면 간의 거리를 2.05 m, 수신 안테나와 차폐벽면간의 거리를 1.0 m 띄우도록 규정하고 있는데, 이러한 규정은 송신 안테나의 1/2 전력 빔폭(half power beam width) 내에 시험하고자 하는 차폐 벽면이 포함되도록 최소 시험구역과 측정거리를 규정한 것이다. 따라서 측정거리를 단축하고자 하면 최소 시험구

역도 줄어든다. 특히, MIL-STD-188-125-1 규격에서는 HEMP에 의해 지상에 도달하는 전자파는 원거리 장(far field) 특성을 가지므로 송신 안테나의 위치를 비교적 멀리 띄워 평면파로 모의되도록 규정한 것으로 이해된다.

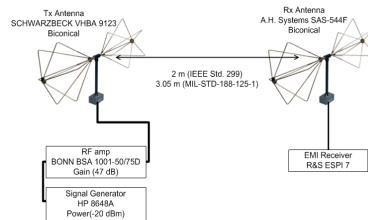
두 시험 방법 모두 송, 수신 안테나를 각각 차폐시설 외·내부에 설치토록 규정하고 있으며, 일종의 공진기로 동작하는 차폐시설 내부에서는 수신 안테나의 위치에 따라 읽히는 값이 다르므로, 수신 안테나를 반드시 기준 위치에서 적어도 ±0.5 m 움직여서 최대치를 읽도록 규정하고 있다.

2-2 시험 셋업

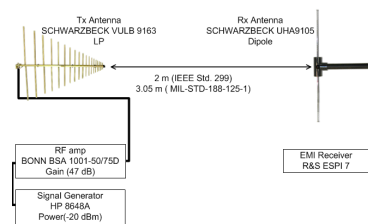
실제 시험에 사용된 측정시스템은 그림 1과 같으며, 전



(a) 10 kHz~20 MHz 대역
(a) 10 kHz~20 MHz band



(b) 20~200 MHz 대역
(b) 20~200 MHz band



(c) 200~1 GHz 대역
(c) 200~1 GHz band

그림 1. 전자파 차폐 측정 시스템의 구성
Fig. 1. SE measurement system.

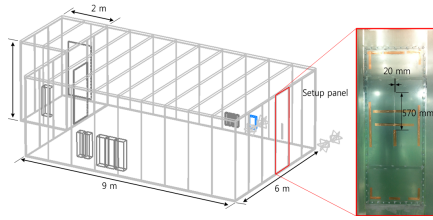


그림 2. 시험에 사용된 HEMP 방호시설과 셋업 패널
Fig. 2. HEMP shelter and setup panel under test.

치 증폭기(pre-amplifier) 등을 활용하여 자기장 영역에서는 60 dB 이상, 전기장 영역에서는 100 dB 이상의 충분한 동작영역(dynamic range)을 갖도록 구성되었다.

또한 두 시험규격에서 규정된 매우 많은 시험주파수에 대해 방대한 시험 데이터를 효과적으로 수집하고, 도식화하기 위해 NI 사의 LabVIEW를 이용하여 제작한 측정 자동화 프로그램을 사용하였다.

실제 시험은 크기가 6(W)×9(L)×3(H) [m] 크기의 충분한 차폐 효과를 갖는 검증된 HEMP 방호시설의 한쪽 벽면에 그림 2와 같은 두께 2 mm의 셋업 패널(setup panel)을 제작하여 설치하였는데, 셋업 패널의 중심에 폭이 20 mm이고, 길이가 570 mm인 수직 방향으로의 슬롯(slot)을 내어 전자파 차폐 효과의 특성 차이를 쉽게 비교할 수 있도록 하였다.

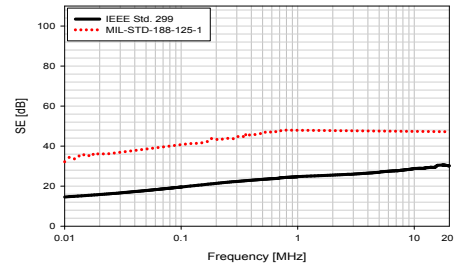
III 시험 결과 및 분석

3-1 시험 결과

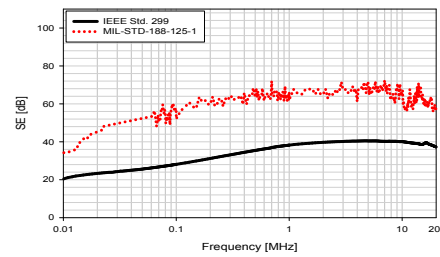
앞 절에서 기술한 측정방법과 측정시스템, 피시험시설에 대해 측정된 결과를 그림 3~5에 보였다. 이들 그림으로부터 두 시험 규격은 자기장 영역에서 20~30 dB의 차이를 보이고, 공진 영역 및 평면파 영역에서는 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있다.

3-2 결과 분석

전자파 차폐 효과는 투과 손실, 반사 손실, 내부 다중 반사 보정 항의 합으로 표현된다⁵⁾. 여기에서, 투과 손실은 차폐 재료의 특성에 의해 결정되고, 반사 손실은 입사하는 전자파와 차폐재료 간의 임피던스 부정합에 의존하며, 금속 재료에서 내부 다중 반사 효과는 대개 무시될 수 있다. 이러한 반사 손실은 입사하는 전자파의 파동 임피던스에 크게 의존하는데, 차폐 벽면이 송신 안테나로부터



(a) 수평 편파
(a) Horizontal polarizations



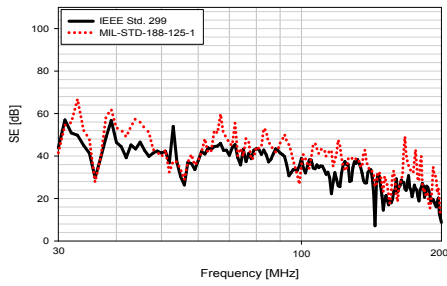
(b) 수직 편파
(b) Vertical polarizations

그림 3. 10 kHz~20 MHz 대역에서의 시험 결과
Fig. 3. Test results in the frequency range of 10 kHz~20 MHz.

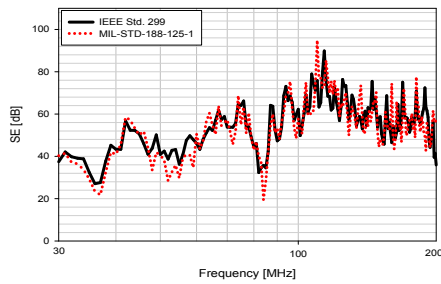
근거리 장(near field) 구역에 놓이게 되는 저주파 자기장 영역의 경우, 주파수가 증가하거나 루프 안테나부터 차폐 벽면까지의 거리가 멀어짐에 따라 파동 임피던스가 증가하고, 따라서 반사 손실이 증가하며, 결과적으로 전자파 차폐 효과가 증가한다.

그림 3에서 MIL-STD-188-125-1의 시험 결과가 IEEE Std. 299에 비해 20~30 dB 더 크게 나타난 결과는 차폐 벽면과 송신 안테나 간의 거리 차이에 의한 입사 전자파의 파동 임피던스의 차이에 의한 반사 손실의 차이에 기인하는 것으로 볼 수 있다. 반면에 그림 4와 그림 5에 보인 공진영역 및 평면파 영역의 시험 결과에서는 큰 차이를 보이지 않는데, 그 이유는 차폐 벽면이 입사 전자파로부터 원거리 장(far field)에 있고, 따라서 평면파로 모의할 수 있으며, 이때 파동 임피던스는 거리에 무관하게 일정한 값을 갖기 때문이다.

또한 수직편파에 대한 전자파 차폐 효과가 수평편파에 비해 전 시험주파수 대역에서 10~40 dB 정도 더 높은 이유는 슬롯에 유기되는 등가의 전기적 다이폴 모멘트의 편파와 송·수신 안테나의 편파 간의 편파 부정합 손실(polarization mismatch loss)에 의한 것으로 판단된다.



(a) 수평 편파
(a) Horizontal polarizations



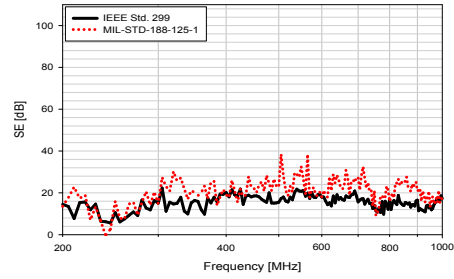
(b) 수직 편파
(b) Vertical polarizations

그림 4. 30~200 MHz 대역에서의 시험 결과
Fig. 4. Test results in the frequency range of 30~200 MHz.

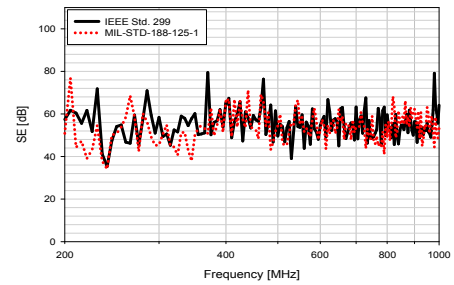
IV. 결 론

본 연구 결과를 통해 동일한 HEMP 방호시설임에도 불구하고, 측정조건이 다른 두 시험 규격에 의한 시험 결과는 서로 상이함을 알 수 있다. 특히, 10 kHz~20 MHz 대역의 저주파 자기장 영역에서는 IEEE Std. 299 규격에 의한 시험 결과가 MIL-STD-188-125-1 규격에 비해 20~30 dB 정도 더 낮게 평가됨을 확인하였다. 따라서 우리 군에서 구축하고자 하는 HEMP 방호시설의 성능 검증에 IEEE Std. 299 규격을 적용할 경우, 보다 가혹한 시험이 될 수 있다.

MIL-STD-188-125-1 규격은 본래 HEMP 위협에 대한 지상 C⁴I 체계의 방호를 목적으로 하며, 이와 다르게 IEEE Std. 299 규격은 일반적인 전자파 차폐시설의 성능을 평가하는 표준 시험방법을 규정한 것이다. 따라서 IEEE Std. 299 규격은 다양한 종류의 전자파 차폐시설의 성능 평가에 적용될 수 있지만, 평가 대상이 되는 각각의 시설은 목적에 맞게 별도로 규정된 차폐 성능을 적용해야 할 것으로 판단한다.



(a) 수평 편파
(a) Horizontal polarizations



(b) 수직 편파
(b) Vertical polarizations

그림 5. 200 MHz~1 GHz 대역에서의 시험 결과
Fig. 5. Test results in the frequency range of 200 MHz~1 GHz.

References

- [1] George H. Baker, Clinton R. Gordon, "Progress in the development of HEMP protection standards for C³I facilities", *Proc. of IEEE EMC Symp.*, pp. 52-53, Austin TX. 17-21 Aug. 1989.
- [2] Manjung Seo, Seongwon Chi, Youngjin Kim, Woochul Park, Hojae Kang, and Changsu 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, May 2014. (in Korean)
- [3] MIL-STD-188-125-1, "High-altitude electromagnetic pulse(HEMP) protection for ground-based C4I facilities performing critical, time-urgent missions part 1 fixed facilities", Apr. 2005.
- [4] IEEE-STD-299, "IEEE standard method for measuring the effectiveness of electromagnetic shielding enclosures", Feb. 2007.
- [5] Lawrence F. Babcock, "Shielding circuits from EMP", *IEEE Trans. on EMC*, vol. 9, no. 2, pp. 45-48, Sep. 1967.