

직사각형 루프 안테나를 이용한 차폐실의 자기장 차폐효과 측정 방법 개선

Improvement of Magnetic SE Measurement of Shielded Rooms Using Rectangular Loop Antennas

박 현 호¹ · 형 창 희^{*2} · 권 종 화^{*3}

Hyun Ho Park¹ · Chang Hee Hyoung^{*2} · Jong Hwa Kwon^{*3}

요 약

본 논문에서는 MIL-STD-188-125-1에서 제시된 저주파수 자기장 차폐효과 측정 방법의 문제점을 살펴보고, 그 문제점을 개선하기 위해서 직사각형 루프 안테나를 이용한 측정 방법을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 기존의 원형 루프 안테나를 사용했을 때보다 슬롯의 위치에 따른 차폐효과 차이를 줄일 수 있음을 확인하였고, 실험을 통해 검증하였다.

Abstract

This paper examines a disadvantage of low-frequency magnetic shielding measurement based on MIL-STD-188-125-1. A rectangular loop antenna is proposed as an improvement over conventional circular loop antennas for measuring magnetic shielding. Simulation and experiment are used to demonstrate that the proposed rectangular loop outperforms the circular loop for a more reliable shielding measurement at low frequency range.

Key words: Shielded Room, Circular Loop Antenna, Rectangular Loop Antenna, Slot, MIL-STD-188-125-1, Unit Test Area

I. 서 론

5G를 비롯한 무선통신기술의 발전으로 사회는 점점 더 스마트해지고 있지만, 다른 한편으로 정보통신기기를 한순간에 무력화할 수 있는 고출력 전자파(EMP)에 대한 우려도 커지고 있다. 따라서 발전소, 데이터센터 등과 같은 국가나 민간의 주요 기반시설에 대한 EMP 방호 및 전자파 차폐에 대한 필요성은 날로 커지고 있다.

EMP 방호를 위한 차폐 시설의 경우 MIL-STD-188-125-1에서 제시된 차폐효과 측정방법을 이용하여 차폐성능을 평가한다^{[1][2]}. 그림 1에서 보듯이 전체 차폐 시설을 3.05 m×3.05 m 크기의 단위시험영역으로 분할하고, 각 단위시험영역의 정중앙에 송신 및 수신 안테나를 위치시키고, 수직/수평 방향에 대해서 각각 측정을 수행한다. 이때 송신 안테나는 차폐실 밖에 놓이며, 차폐실 벽으로부터 2.05 m의 거리에 위치하게 된다. 수신 안테나는 차폐실 안에

「본 논문은 과학기술정보통신부의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 연구함 (No. 2017-0-00982)」

수원대학교 전기전자공학부(School of Electrical and Electronic Engineering, The University of Suwon)

*한국전자통신연구원 방송미디어연구소(Broadcasting & Media Research Laboratory, Electronics and Telecommunications Research Institute)

1: 교수(<https://orcid.org/0000-0001-8518-1151>), 2: 책임연구원(<https://orcid.org/0000-0002-9012-2217>), 3: 책임연구원(<https://orcid.org/0000-0002-2132-7403>)

· Manuscript received January 14, 2019 ; Revised February 1, 2019 ; Accepted March 10, 2019. (ID No. 20190114-006)

· Corresponding Author: Hyun Ho Park (e-mail: hypark@suwon.ac.kr)

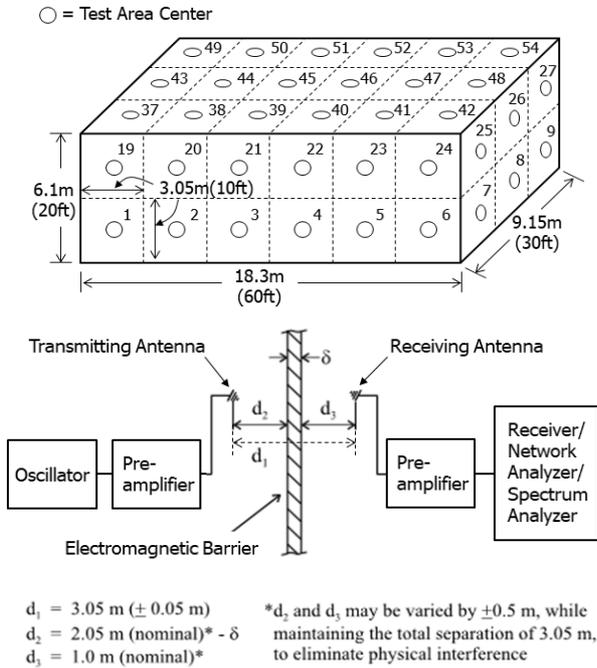


그림 1. MIL-STD-188-125-1의 차폐효과 측정방법^[1]
 Fig. 1. Shielding measurement method based on MIL-STD-188-125-1^[1].

놓이며, 차폐 벽으로부터 1.0 m의 거리에 위치하게 된다. 차폐실이 건물 내부에 놓인 경우, 차폐실 밖에 송신 안테나를 놓을 공간이 확보되지 않으면 측정이 어려울 수 있다. 이를 개선하고자 송신 안테나와 수신 안테나의 위치를 서로 바꾸는 방법이 제안되기도 하였다^[3].

차폐효과(shielding effectiveness: SE) 측정은 10 kHz~20 MHz의 저주파수 대역과 20~100 MHz의 공진주파수 대역, 그리고 100 MHz~1 GHz의 고주파수 또는 평면파 대역으로 나누어 각기 다른 종류의 안테나를 사용하게 된다. 저주파수 대역 자기장 차폐효과를 측정할 때는 주로 원형 루프 안테나를 사용하는데, 근역장 영역에서 측정하기 때문에 안테나의 크기와 안테나 간 거리에 따라 차폐효과 값이 달라질 수 있다. 또한 단위시험영역을 스캔하면서 측정할 경우, 그림 2와 같이 차폐실 벽에 존재할 수 있는 미지의 슬롯(틈)의 위치에 따라 상이한 차폐효과 값이 측정된다. 다시 말해 슬롯이 단위시험영역 정중앙에 놓인 경우에는 안테나와의 거리가 가까워 가장 낮은 차폐효과가 측정되지만, 만약 슬롯이 두 단위시험영

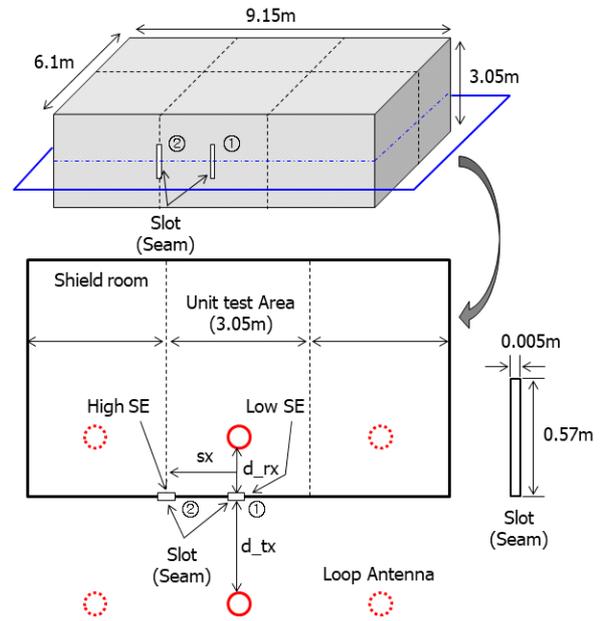


그림 2. MIL-STD-188-125-1의 자기장 차폐효과 측정방법의 문제점
 Fig. 2. Problem of Magnetic SE measurement based on MIL-STD-188-125-1.

역의 경계에 있는 경우 차폐효과는 가장 높은 값을 가지게 된다. 따라서 차폐실 벽에 동일한 크기의 슬롯(틈)이 있더라도 단위시험영역 내 어느 위치에 있느냐에 따라 측정되는 차폐효과 값이 달라지는 것이다. 이러한 차폐효과 차이(ΔSE)를 줄이기 위해서는 단위시험영역의 크기를 줄여서 촘촘하게 측정하면 되지만, 측정시간이 크게 증가하게 되는 단점이 있다.

본 논문에서는 이와 같은 MIL-STD-188-125-1의 문제점을 개선하기 위해서, 특히 저주파수 자기장 차폐효과 측정 시 단위시험영역을 줄이지 않고 루프 안테나 구조를 개선하여 차폐효과 차이를 줄일 수 있는 방법을 제시하였다. 시뮬레이션과 측정을 통해 그 효과를 검증하였다.

II. 직사각형 루프 안테나

시뮬레이션을 위해 사용한 차폐실의 크기는 그림 2에서 보듯이 9.15 m×6.1 m×3.05 m이며, 슬롯의 크기는 0.57 m×0.005 m이다. 슬롯이 단위시험영역 중심에 있을 때는 $sx=0$ m인 경우이고, 단위시험영역의 좌측 경계선에 있으

면 $s_x = -1.525$ m가 된다.

그림 3에서는 저주파수 자기장 차폐 측정 시 많이 사용되는 원형 루프 안테나와 본 논문에서 제안한 직사각형 루프 안테나 구조를 보여준다. 직사각형 루프 안테나의 경우, 폭(d)은 원형 루프 안테나의 직경(d)과 동일한 크기를 갖는 것으로 가정하였으며, $d = 0.515$ m로 설정하였다. 그 이유는 안테나의 폭이 커질 경우 차폐실 밖에 송신 안테나를 놓을 더 넓은 여유 공간이 필요한데, 이는 측정방법의 단점으로 작용할 수 있기 때문이다¹³.

그림 4에서는 슬롯의 위치에 따른 차폐효과를 시뮬레이션을 통해 계산하였다¹⁴. 우선 원형 루프 구조와 정사각형(square) 루프 구조($d=L$)에 의한 차폐효과 차이는 거의 동일함을 알 수 있다. 슬롯이 단위시험영역 중심에 있을 때($s_x = 0$ m)와 단위시험영역 경계에 있을 때($s_x = -1.525$ m)를 비교해 보면 16.1 dB의 차이가 있음을 알 수 있다. 따라서 실제 차폐실 벽에 존재할 수 있는 미지의 슬롯의 위치에 따라 측정된 차폐효과 값은 큰 차이를 보일 수 있

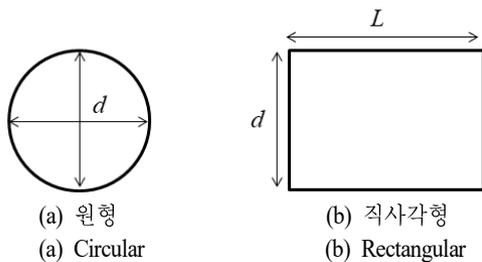


그림 3. 루프 안테나 구조
Fig. 3. Loop antennas.

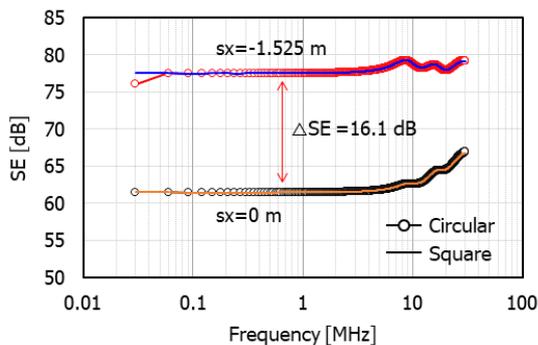


그림 4. 슬롯의 위치에 따른 차폐효과 차이(ΔSE)
Fig. 4. SE difference due to the slot position.

음을 말해준다.

그림 5에서는 직사각형 루프 안테나의 길이(L)가 증가함에 따라 슬롯이 단위시험영역 중심에 있을 때($s_x = 0$ m)와 단위시험영역 경계에 있을 때($s_x = -1.525$ m)의 차폐효과를 비교해 보았다. L 이 커짐에 따라 두 슬롯 위치에서의 차폐효과 차이(ΔSE)는 감소함을 알 수 있다. 표 1에는 1 MHz에서의 그 차폐효과 차이를 요약하였다. 직사각형 루프 안테나의 길이(L)가 폭(d)의 3배가 되면 정사각형 루프 안테나에 비해 약 2.7 dB 정도 차폐효과 차이를 줄일 수 있으며, 6배가 되면 약 8.8 dB까지 차폐효과 차이를 줄일 수 있다. 길이가 긴 직사각형 루프 안테나를 사용할 경우 차폐효과 차이가 줄어드는 이유를 살펴보면 그림 5에서 보듯이 슬롯이 단위시험영역 중심에 있을 때($s_x = 0$ m)는 직사각형 루프 안테나의 길이가 커질수록 차폐효과가 증가하는 반면, 슬롯이 단위시험영역 경계에 있을 때($s_x = -1.525$ m)는 길이가 증가할수록 오히려 차폐효과는 줄어든다. 따라서 슬롯의 위치에 따른 차폐효과 차이는 직사각형 루프 안테나의 길이가 증가할수록 줄어들게 되

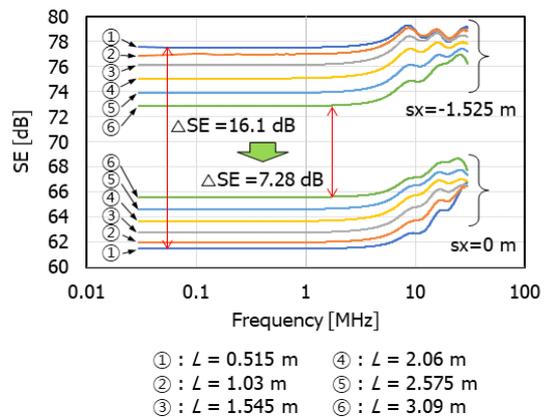


그림 5. 직사각형 루프 안테나의 길이에 따른 차폐효과
Fig. 5. SEs as varying the length of rectangular loop antenna.

표 1. 직사각형 루프 안테나의 길이에 따른 차폐효과 차이 (ΔSE)

Table 1. SE difference due to the length of rectangular loop antenna.

L (m)	0.515	1.03	1.545	2.06	2.575	3.09
ΔSE [dB]	16.1	15.0	13.4	11.4	9.29	7.28

는 것이다. 결론적으로 자기장 차폐효과 측정에 긴 직사각형 루프 안테나를 사용하면 동일한 크기의 슬롯이 단위시험영역 어디에 있든 차폐효과의 차이는 줄어들어 측정에 대한 신뢰도를 높일 수 있는 것이다.

III. 측정 검증

앞서 제안한 직사각형 루프 안테나의 효과를 측정을 통해서 검증하기 위해서 그림 6과 같이 소형 차폐실과 직사각형 루프 안테나를 제작하였다. 차폐실의 크기는 3 m × 2.5 m × 2.5 m이며, 슬롯의 크기는 0.57 m × 0.02 m로 하였다. 루프 안테나의 크기는 정사각형인 경우에는 0.5 m × 0.5 m이고, 직사각형의 경우에는 1.5 m × 0.5 m로 하여 길이를 3배로 증가시켰다. 차폐실 벽과 안테나의 거리는 MIL-STD-188-125-1에서 제시된 기준을 따랐다. 슬롯은 차폐실 정면의 정중앙에 고정되어 있으며, 슬롯의 위치 변경 대신 안테나를 슬롯 위치로부터 0.72 m 우측으로 이동하여 안테나 두 위치에서의 차폐효과를 측정하였다. 표 2에서는 1 MHz에서의 차폐효과 측정결과를 나타낸다. 슬롯이 안테나의 중심에 놓여있을 때($s_x=0$ m) 정사각형 구조보다 직사각형 구조가 더 높은 차폐효과를 가지며, 슬롯이 안테나의 중심에서 벗어날 때($s_x=0.72$ m)에는 두 구조의 차폐효과는 거의 비슷하게 측정되었다. 이는 그림 5의 시뮬레이션 결과와 동일한 특성임을 알 수 있다. 결과적으

표 2. 정사각형과 직사각형 루프 안테나의 차폐효과
Table 2. SEs of square and rectangular loop antennas.

Loop shape	Square ($L=d=0.5$ m)		Rectangular ($L=1.5$ m, $d=0.5$ m)	
	0	0.72	0	0.72
SE [dB]	45.70	49.96	47.19	49.91
Δ SE [dB]	4.26		27.2	

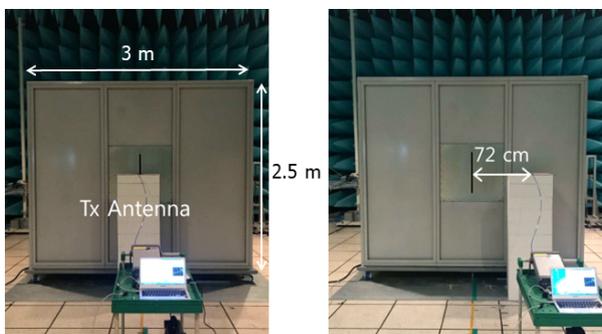
로 정사각형 루프 안테나는 4.26 dB의 차폐효과 차이(Δ SE)를 보이지만 직사각형의 경우에는 이보다 더 작은 2.72 dB의 차폐효과 차이를 보였다.

IV. 결론

EMP 방호시설의 표준 차폐측정 방법인 MIL-STD-188-125-1에서는 각 단위시험영역의 중심에 안테나를 놓고 차폐를 측정하도록 되어 있어, 미지의 슬롯이 단위시험영역 내 놓이는 위치에 따라 저주파수 자기장 차폐효과 값이 달라지는 문제점이 있다. 이를 개선하기 위해서 본 논문에서는 기존의 원형 루프 안테나 대신 직사각형 루프 안테나 구조를 제안하였으며, 직사각형 루프 안테나의 길이 길수록 슬롯의 위치에 따른 차폐효과 차이를 줄일 수 있음을 시뮬레이션과 측정을 통해 확인하였다.

References

- [1] 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.
- [2] 정연춘, 이종경, 권석태, "HEMP 방호시설의 SE 평가 방법의 비교," 한국전자과학회논문지, 25(11), pp. 1197-1200, 2014년.
- [3] 서만중, 지성원, 김영진, 박우철, 강호재, 허창수, "EMP 방호시설의 전자파 차폐효과 측정 방법," 한국전자과학회논문지, 25(5), pp. 548-548, 2014년 5월.
- [4] CST. (2012) Microwave Studio (MWS) [Online]. Available: <https://www.cst.com>



(a) 슬롯이 안테나의 중심에 놓일 때
(a) Slot is located at the center of antenna
(b) 안테나가 슬롯으로부터 0.72 m 떨어져 놓일 때
(b) Antenna is located at 0.72 m away from the slot

그림 6. 측정을 위해 제작된 차폐실과 안테나의 위치
Fig. 6. Fabrication of shield room for measurement.