

전자파 흡수체를 이용한 대형 함체의 차폐효과 개선

Improvement in Shielding Effectiveness of Large Enclosures Using Electromagnetic Absorbers

권종화¹ · 형창희² · 황정환³ · 박현호^{*4}

Jong Hwa Kwon¹ · Chang Hee Hyoung² · Jung-Hwan Hwang³ · Hyun Ho Park^{*4}

요 약

본 논문에서는 대형 차폐실에 있을 것으로 예상되는 미지의 개구로 침투된 전자파에 의해 차폐실 내에 정재파가 발생하고 이로 인해 차폐성능이 감소함을 분석하였다. 또한 차폐실 내에 전자파 흡수체를 배치하면 정재파가 감소하고 차폐성능이 개선될 수 있음을 3차원 수치해석을 통해 확인하였고 측정을 통해 검증하였다.

Abstract

This study analyzed that the penetration of electromagnetic waves through an unknown opening in a large enclosure generated standing waves within the enclosure, thereby reducing its shielding characteristics. A 3D numerical analysis confirmed that the shielding performance can be improved by using electromagnetic absorbers to reduce the standing wave. This was verified experimentally.

Key words: Absorbers, Enclosures, Standing Wave, Shielding Effectiveness

I. 서 론

외부의 의도성 또는 비의도성 전자파로부터 시스템이나 장비를 보호하기 위해서 일반적으로 도체로 된 함체를 많이 사용한다^{[1]~[3]}. 최근에는 군사시설을 비롯하여 발전소, 데이터센터, 금융기관 등과 같은 국가나 민간의 주요 기반시설을 고출력 전자파(EMP)로부터 보호하기 위해서 대형 차폐실이나 구조물 설치가 증가하고 있다^[4].

EMP 방호를 위한 차폐시설의 경우, MIL-STD-188-125-1에 제시된 차폐성능 기준은 20 MHz 이상의 주파수에서 80 dB 이상의 차폐효과를 요구한다^[5]. 대형 차폐실의 경우 높은 차폐성능을 구현하기 위해서 많은 부품과 비용이 소요된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 차폐성능을 조금 낮추더라도 저비용으로 빠르게 구축할 수 있는 저비용 경량 방호기술에 관한 연구가 필요하며^[6], 이를 통해 ICT 인프라 시설에 비용 대비 효율적인 차폐 구조물의

「이 논문은 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2020-0-00917 저비용 EMP 경량 방호 소재 · 부품 · 장치 및 시설 취약성 평가 핵심기술 개발)」

한국전자통신연구원 통신미디어연구소(Telecommunications & Media Research Laboratory, Electronics and Telecommunications Research Institute)

*수원대학교 전기전자공학부(School of Electric & Electronic Engineering, The University of Suwon)

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

3: 책임연구원(<https://orcid.org/0000-0002-6072-0443>), 4: 교수(<https://orcid.org/0000-0001-8518-1151>)

· Manuscript received September 28, 2021 ; Revised October 20, 2021 ; Accepted December 30, 2021. (ID No. 20210928-082)

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

적용이 확대될 필요가 있다.

한편, 차폐시설이나 차폐실과 같은 대형 차폐 구조물의 경우 시간이 흐름에 따라 생기는 마모나 크랙 등으로 인해 미지의 개구가 발생하여 차폐성능이 떨어지게 되고, 면적이 넓어서 유지보수도 쉽지 않다.

본 논문에서는 개구를 통해 침투한 전자파가 도체 함체 내에서 정재파를 형성해 차폐성능을 저하시키는 현상을 분석하고, 흡수체를 이용해 차폐 함체의 차폐성능을 개선하는 방법을 제시하였다. 3차원 수치해석과 측정을 통해 그 효과를 검증하였다.

II. 해석 구조 및 결과

개구가 있는 차폐 함체 내에서 발생하는 정재파에 의해 차폐성능이 감소하는 현상을 3차원 수치해석^[7]으로 분석하기 위해서 그림 1에 해석 구조를 나타내었다. 우선 그림 1(a)에서는 슬롯 형태의 개구가 있는 무한 도체 평판 구조를 나타내었다. 이때 슬롯의 크기는 $0.02\text{ m} \times 0.57\text{ m}$ 이고, 도체 평판의 두께는 3 mm 로 설정하였다. 그림 1(b)는 도체 함체의 정면에 동일 크기의 슬롯이 있는 구조를 보여준다. 이때 함체의 크기는 $3\text{ m} \times 2.5\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ 이다.

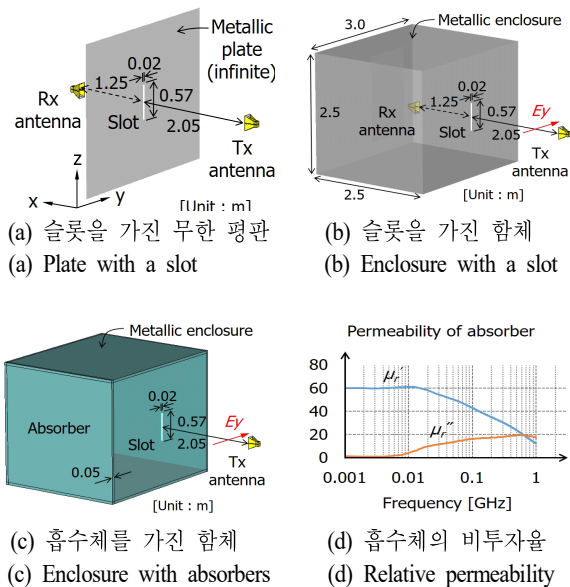


그림 1. 차폐효과 해석 구조
Fig. 1. Geometry for shielding simulation.

그림 1(c)에서는 도체 함체의 내벽에 5 cm 두께의 자성 흡수 시트가 부착된 경우를 나타낸다. 이때 자성 흡수 시트는 슬롯이 놓인 벽면을 제외한 다섯 면에 모두 부착되어 있다. 그림 1(d)에서는 수치해석에서 사용된 자성 흡수 시트의 주파수에 따른 비투자율 특성을 나타내었다. 저주파수에서 60 정도의 실수 비투자율을 가지며, 1 GHz 에 20 정도의 허수 비투자율을 가짐을 알 수 있다. 각 구조의 차폐 특성을 해석하기 위해서 전자파 송신 및 수신용 혼 안테나를 사용하였다^[8]. 송신 안테나는 함체 정면으로부터 2.05 m 떨어진 곳에 위치해 있으며, 수신 안테나는 함체의 중심에 놓여 있다. 이때 혼 안테나는 수평 성분의 전기장이 발생하도록 놓여 있다. 긴 슬롯이 함체의 수직 방향으로 놓여 있기 때문에 수평성분의 전기장이 입사될 경우 가장 낮은 차폐 특성을 보이게 된다.

그림 2에서는 1 GHz 에서 해석된 세 가지 구조의 전기장과 자기장 분포를 보여준다. 무한 도체 평판에 슬롯이 있는 경우에는 입사된 전자파가 슬롯에 의해 2차 발생원이 되어 구면파를 형성하면서 전기장과 자기장이 퍼져나가는 것을 알 수 있다. 이 경우 슬롯을 통해 침투된 전자파는 열린 구조로 인해 정재파를 형성하지 않고 전파

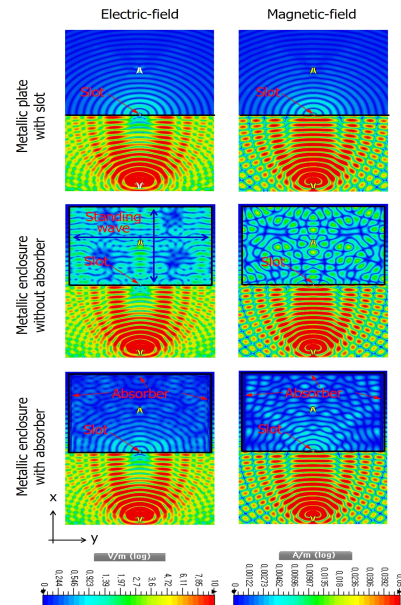
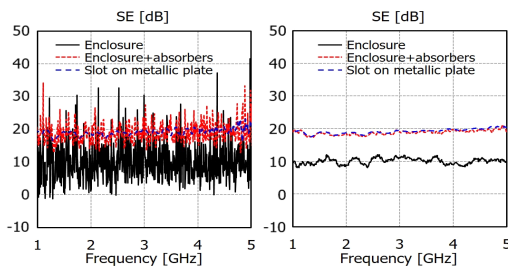


그림 2. 1 GHz 에서의 전기장과 자기장 분포
Fig. 2. Electric field and magnetic field distributions at 1 GHz .

하게 된다. 하지만 동일 슬롯이 있는 도체 합체의 경우를 보면 도체 벽에 의한 반사로 인해서 x축과 y축 방향으로 정재파가 형성된다는 것을 알 수 있다. 이러한 공진으로 인해 합체 내의 전기장과 자기장의 세기는 증가하였다. 세 번째 구조로 합체 내벽에 흡수체(시트)가 부착된 경우를 보면 도체 벽에서의 전자파 반사가 줄어들어 정재파가 현저히 감소하였음을 알 수 있고, 슬롯이 있는 무한 도체 평판 구조와 유사하게 슬롯에 의해 침투된 전자파가 구면파를 형성함을 알 수 있다.

그림 3에서는 세 가지 구조에 대해서 송·수신 혼 안테나를 통해 측정된 S_{21} 을 이용하여 5 GHz까지 차폐효과를 계산한 결과를 보여준다. 그림 3(a)를 보면 슬롯이 있는 도체 평판 구조의 경우 20 dB 수준의 차폐효과를 보였다. 도체 합체의 경우에는 매우 심한 공진 특성으로 인해 차폐효과 값이 주파수에 따라 0~30 dB 사이에서 급격히 변화함을 알 수 있다. 합체 내벽에 흡수체가 부착된 경우에는 공진 특성이 많이 줄었으며, 이로 인해 차폐효과의 변화폭도 줄어들었다. 도체 합체의 경우에 정확한 차폐효과 수준을 알아보기 위해서 그림 3(a)에서 측정된 값에 이동평균(moving average)을 취하여 그림 3(b)에서처럼 주파수에 따른 부드러운 차폐효과 값을 얻었다. 도체 합체의 경우 10 dB 수준의 차폐효과를 보임을 알 수 있고, 흡수체가 있는 경우에는 도체 평판 구조와 거의 동일한 20 dB 수준의 차폐효과를 가짐을 알 수 있다. 결론적으로 차폐실과 같은 도체 합체 내에 흡수체를 배치하면 합체 내 정재파를 감소시켜 차폐효과를 개선할 수 있음을 알 수 있다.



(a) 차폐효과 (b) 이동평균한 차폐효과
(a) Shielding effectiveness (SE) (b) Moving averaged SE

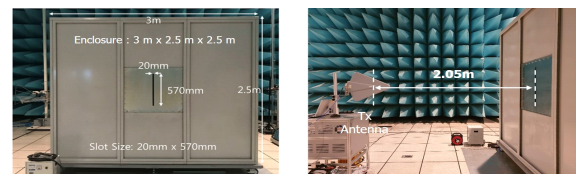
그림 3. 세 가지 구조의 차폐효과 비교

Fig. 3. Comparison of shielding effectiveness (SE) of three geometries.

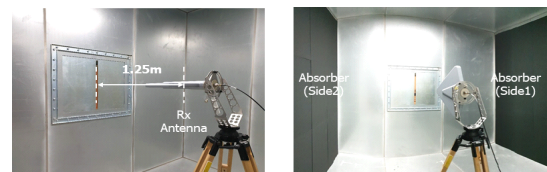
III. 측정 검증

차폐실 내에 흡수체를 이용하여 차폐효과를 개선하는 방법에 대해서 그 효과를 실험으로 검증하였다. 그림 4에서는 실험을 위해서 제작된 소형 차폐실과 송·수신 안테나의 배치, 그리고 차폐실 내벽에 부착된 흡수체를 보여준다. 차폐실과 차폐실 정면에 놓인 슬롯의 크기는 수치해석 모델과 동일하며, 혼 안테나 대신 실험에서는 광대역 로그주기 안테나를 사용하였다^[9]. 그림 4(d)에서 보듯이 흡수체는 차폐실의 양 쪽 측면에 부착되었다. 실험에 사용된 흡수체는 국내 E사의 유전체형 흡수시트이며^[10], 두께는 3 cm다. 차폐효과 측정은 안테나가 수평편파와 수직편파일 때에 대해 모두 진행하였다.

그림 5에서는 5 GHz까지 측정된 수평편파와 수직편파에 대한 차폐효과를 보여준다. 측정의 정확도를 검증하기 위해서 3차원 수치해석 결과와 비교하였다. 다만 측정에 사용된 흡수체의 물성에 대한 정보가 제공되지 않아 시뮬레이션에서는 수치해석 소프트웨어에서 제공되는 흡수체 모델 중 측정에서 사용된 흡수체와 유사한 특성의 모델을 사용하였다. 그림 5(a)는 수평편파의 차폐효과를 보여주는데, 흡수체가 있는 경우와 없는 경우에 대해서 모두 비교하였다. 측정 결과를 보면 흡수체가 없는 경우 차폐효과는 10 dB 수준이며, 흡수체가 있으면 약 17 dB



(a) 슬롯을 가진 차폐실 (b) 송신 안테나의 위치
(a) Shielded room with slot (b) Position of Tx antenna



(c) 차폐실 내 수신 안테나 (d) 차폐실 내 부착된 흡수체
(c) Rx antenna in room (d) Absorber on inner walls

그림 4. 슬롯의 위치에 따른 차폐효과 차이(Δ SE)

Fig. 4. SE difference due to the slot position.

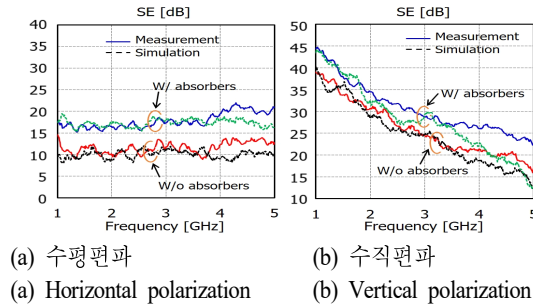


그림 5. 차폐효과의 비교

Fig. 5. Comparison of shielding effectiveness results.

표 1. 1~4 GHz에서의 흡수체에 의한 차폐효과 평균 개선량

Table 1. Average improved SEs by absorbers for 1~4 GHz.

Polarization	Numerical analysis	Measurement	Difference
Horizontal	7.19 dB	5.88 dB	1.31 dB
Vertical	4.02 dB	4.51 dB	0.49 dB

정도로 증가함을 알 수 있다. 따라서 흡수체를 사용함으로써 차폐실의 차폐효과가 약 7 dB 정도 증가하였다. 시뮬레이션 결과와 비교해 보면 1~4 GHz에서 두 결과가 잘 일치함을 알 수 있다. 그림 5(b)의 수직편파의 차폐효과를 보면, 수평편파에 비해 증가하였음을 알 수 있다. 흡수체가 없는 경우에는 측정 결과와 해석 결과가 잘 일치하지만, 흡수체가 있는 경우에는 2 GHz 이상의 주파수에서 해석 결과가 측정 결과보다 2~3 dB 높게 나타났다. 그러나 주파수에 따른 경향은 잘 일치함을 알 수 있다.

표 1에서는 1~4 GHz에서의 차폐효과 평균 개선량과 측정 대비 해석 오차를 비교하였다. 수평편파의 경우, 측정과 해석 결과의 오차는 1.31 dB이고 수직편파의 경우에는 0.49 dB의 오차가 발생함을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 개구를 통해 침투한 전자파가 도체 합체 내에서 정재파를 형성해 차폐성능을 저하시키는 현상을 분석하였고, 흡수체를 이용해 차폐 합체의 차폐성능을 개선할 수 있음을 3차원 수치해석을 통해 분석하였다. 실

제 소형 차폐실을 제작하였고 상용 흡수시트를 이용하여 차폐효과를 측정하였으며, 흡수시트를 이용한 차폐실의 성능 개선 효과를 검증하였다. 또한, 측정 결과는 해석 결과와 비교하여 그 신뢰성을 확인하였다.

References

- [1] C. R. Paul, *Introduction to Electromagnetic Compatibility*, 2nd ed. Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, 2006.
- [2] H. W. Ott, *Electromagnetic Compatibility Engineering*, 1st ed. Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, 2009.
- [3] J. H. Kwon, C. H. Hyoun, J. H. Hwang, and H. H. Park, "Impact of absorbers on shielding effectiveness of metallic rooms with apertures," *Electronics*, vol. 10, no. 3, p. 237, Feb. 2021.
- [4] National Radio Research Agency, "Study on impact and countermeasures of high power electromagnetic fields on information and communication infrastructure," Naju, Korea, Dec. 2014.
- [5] *High-altitude Electromagnetic Pulse(HEMP) Protection for Ground-Based C4I Facilities Performing Critical, Time-Urgent Missions, Part 1 Fixed Facilities*, MIL-STD-188-125-1, Apr. 2005.
- [6] K. J. Lee, "Technical trend on high electromagnetic field," Information and Communication Newspaper. Available: <https://www.koit.co.kr/news/articleView.html?idxno=73382>
- [7] CST Microwave Studio (MWS), "CST STUDIO SUITE," 2020. Available: <https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/cst-studio-suite/>
- [8] A. H. Systems, "Double ridge guide horn antenna, SAS-571." Available: <https://www.ahsystems.com/catalog/SAS-571.php>
- [9] Rohde & Schwarz, "Log-periodic broadband antenna, R&S@HL040E." Available: https://www.rohde-schwarz.com/kr/product/hl040e-productstartpage_63493-58518.html
- [10] E-SONG EMC, "EMI Absorber Sheet," Available: https://www.esongemc.com/kr/page/product/m02/EMI_Absorber_Sheet.php