

금속성 함체의 개구부에 적용된 자성 및 복합 흡수체에 의한 차폐효과

Shielding Effectiveness Imparted by a Magnetic and Composite Absorber Placed on the Inner-Side of Aperture of Metallic Enclosure

권종화¹ · 형창희² · 황정환³ · 박현호^{4*}Jong Hwa Kwon¹ · Chang Hee Hyoung² · Jung-Hwan Hwang³ · Hyun Ho Park^{4*}

요 약

본 연구는 금속성 함체에 개구부가 있는 경우에도 차폐효과를 유지하거나 개선하기 위해 자성 흡수체를 포함한 복합 흡수체를 적용하는 방법을 제시하였다. 제안된 구조는 흡수체를 개구부가 있는 함체 면의 안쪽에 배치하는 것으로, 함체 내부로 들어오는 전자파는 개구부 안쪽에 배치된 흡수체에 의해 1차적으로 줄어들고, 다음으로 흡수체가 함체의 공진 특성을 감소시켜 전기장 세기를 줄이게 되고 결과적으로 차폐효과가 향상된다. 3차원 수치해석을 통해 제안한 구조가 함체의 차폐효과를 개선함을 확인하였다.

Abstract

This study introduces a method of using a composite absorber, including a magnetic absorber, to maintain or improve shielding effectiveness, even if the metallic enclosure has unintentional and intentional apertures. The proposed structure places absorbers on the inner side of an enclosure's aperture. The electric fields entering the enclosure through the aperture primarily decrease as they pass through the absorber, degrading the resonance characteristics of the enclosure by an inner absorber, thereby reducing the electric field strength within an enclosure and consequently improving the shielding property. A 3D numerical analysis confirmed the improved shielding property of the enclosure.

Key words: Shielding Effectiveness, Enclosures, Aperture, Magnetic Absorber, Dielectric Absorber

I. 서 론

전자파 차폐는 다양한 형태의 전자파 위협으로부터 전기·전자 장비를 보호하기 위한 중요한 기술 중 하나로 알려져 있으며, 특히 핵 전자파 펄스 등 고출력 전자파 위협에 대한 대책으로 가장 많이 사용되고 있다. 일반적으로 전자파 차폐는 전도성 물질을 사용하여 제작되며, 가능한 어떠한 틈도 없도록 설계되어야 한다. 그러나 장비나 시설의 유지관리를 위해 필요한 개구부와 더불어 제작

과정이나 운용 중에 의도치 않게 개구부들이 발생할 수 있으며, 이러한 개구부는 차폐 성능에 영향을 미친다. 개구부가 금속성 함체의 차폐 성능에 미치는 영향과 관련하여 많은 연구가 수행되었다^{[1]~[3]}.

일반적으로 금속성 함체의 전자파 차폐효과는 사용된 금속성 물질 자체에 의한 차폐효과, 다양한 형태의 틈을 통한 누설 효과, 그리고 함체 공진으로 내부에 형성되는 정재파에 의한 효과로 구성된다. 식 (1)에서와 같이 반사 손실 R, 흡수손실 A, 다중 반사손실 B에 의한 차폐효과는

「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 전파연구본부 (Radio Research Division, 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 March 6, 2024 ; Revised March 15, 2024 ; Accepted March 22, 2024. (ID No. 20240306-003S)

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

금속성 물질에 의한 영향이고, 누설이나 공진 현상에 의한 차폐효과는 금속성 합체의 구조에 의한 영향이다^[3].

$$\text{차폐효과} = \underbrace{A + R + B}_{\text{물질 효과}} - \underbrace{\text{누설 효과}}_{\text{(개구 효과)}} - \underbrace{\text{정재파 효과}}_{\text{(합체 공진 효과)}} \quad (1)$$

실제로 금속성 구조물에는 어떤 형태의 개구부가 존재하면 전자파가 내부로 들어가고, 이로 인해 내부에서는 공진이 발생한다. 또한, 개구부의 모양과 크기에 따라 개구 자체의 공진이 발생하며, 이는 내부로 투과되는 전자파의 증가로 이어진다. 따라서 구조에 의한 전자파의 영향을 최소화하기 위해서는 개구부를 최소화하고, 내부에서 발생하는 정재파를 감소시켜야 한다.

본 논문에서는 비의도성 개구부가 존재하는 경우에도 금속성 합체의 차폐효과를 개선하기 위해 자성 흡수체를 포함한 복합 흡수체를 활용한 구조를 제안하고 검증하였다. 개구부를 갖는 합체의 내부에 자성 또는 복합 흡수체를 배치하여 개구부를 통해 들어오는 전자파를 흡수하고, 합체 내부로 들어간 전자파에 의한 정재파를 줄이는 방법을 제안하였다. 제안된 구조는 CST MSW(microwave studio)^[4]를 이용한 3차원 수치해석을 통해 검증하였다.

II. 해석 구조

본 연구에서는 개구부를 갖는 금속성 합체의 차폐 특성을 개선하기 위하여 합체의 개구부가 있는 면 내부에 자성 및 복합 흡수체를 배치하는 구조를 제안하고, 전자파 차폐 특성을 분석하였다. 본 연구에서 사용된 구조는 그림 1에서와 같이 수직으로 뚫린 $0.1 \times 0.01 \text{ m}^2$ 크기의 개구부를 갖는 합체($0.5 \times 0.6 \times 0.8 \text{ m}^3$)이다. 입사장은 개구부

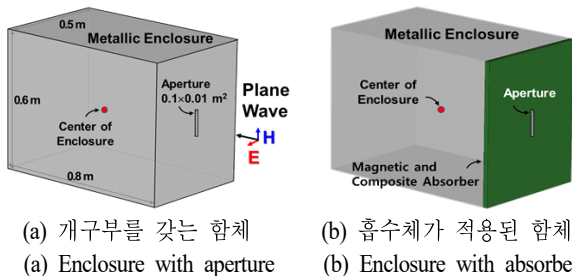
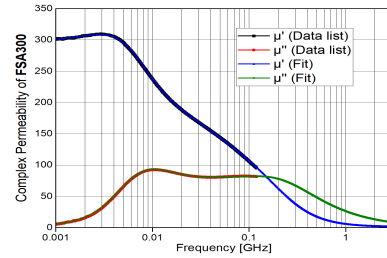
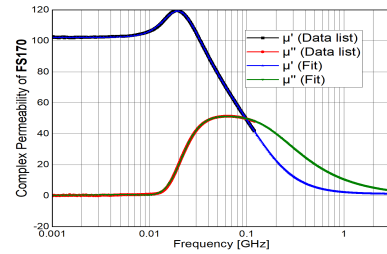


그림 1. 흡수체를 적용한 개구부를 갖는 금속성 합체의 차폐효과 해석 구조

Fig. 1. Geometry for assessing the shielding effectiveness of metallic enclosures with apertures utilizing absorber.



(a) FSA300^[6]



(b) FS170^[7]

그림 2. 자성 흡수물질의 복소 투자율

Fig. 2. Complex permeability of magnetic absorbing materials.

방향과 수직인 수평 편파의 전기장을 갖고, 합체 방향으로 진행되는 평면파를 사용하였다. 합체 중심에서 1 MHz ~ 3 GHz 주파수대역에서 전기장을 계산하였다.

기존 연구^[2]에서는 GHz 대역에서 전자파 저감 특성을 갖는 유전 흡수체를 합체 내부에 배치하여 1 GHz 이상 주파수대역에서 차폐효과 개선 효과를 확인하였다. 본 연구에서는 1 GHz 이하 대역을 포함한 전체 주파수대역에서 차폐효과를 개선하기 위해 유전 흡수체와 자성 흡수체로 구성된 복합 흡수체를 배치하고, 차폐 성능을 확인하였다. 본 연구에서는 유전 흡수체로는 Laird사 제품^[5]을 사용하였고, 저주파수 대역 차폐 성능을 개선하기 위해서 Laird사, GSS사^[6], DMEGC사^[7]의 자성 흡수체를 사용하였다. Laird 흡수체의 복소 유전율과 투자율은 CST MWS에서 제공되며, GSS 및 DMEGC 자성 흡수체의 복소 투자율은 측정을 통해 추출하였으며, 그 값은 그림 2에 나타내었다. 흡수체에 의한 차폐효과 개선 특성을 확인하기 위해 흡수체 종류, 흡수체 두께, 그리고 흡수체 배치 방법 등에 대해 수치해석을 통해 계산하고 분석하였다.

III. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 논문에서는 자성 흡수체를 포함한 복합 흡수체가

적용된 임의의 개구부를 갖는 함체의 차폐효과를 CST MWS^[4]를 이용하여 검증하였다. 또한 함체가 없는 경우와 비교하여 개구부를 갖는 차폐 함체에 흡수체를 배치한 경우의 차폐효과를 확인하기 위해 식 (2)를 이용하였다.

$$SE = 20 \log \left(\frac{E_{w/o Enc}}{E_{w Enc Abs}} \right) = -20 \log E_{w Enc Abs} \quad (2)$$

여기서 $E_{w/o Enc}$ 는 함체가 없는 경우, $E_{w Enc Abs}$ 는 흡수체가 내장된 개구부를 갖는 함체가 있는 경우에 함체 중심에서의 전기장 세기이다. 본 논문에서는 흡수체 영향에 대한 상대적 비교를 위해 $E_{w/o Enc}$ 를 1 V/m로 설정하였다.

개구부를 갖는 차폐 함체에서 개구부가 있는 함체 면의 안쪽에 두께가 20 mm인 자성 흡수체(FSA300, FS170, MF190)를 배치하고, 함체의 중심에서 전기장 세기를 확인하였다. 그림 3은 자성 흡수체 종류에 따른 함체 중심에서의 차폐효과를 보여준다. 함체 내부 공진에 의한 전기장의 진폭을 줄여 차폐 성능 개선 여부를 분석하기 위해 이동평균(moving average) 데이터(실선)도 같이 표시하였다. 자성 흡수체를 적용하면 저주파수 대역을 포함하여 전체 주파수대역에서 약 20~40 dB 정도 차폐효과가 개선됨을 보여준다. 특히 FSA300과 FS170를 적용하면 첫 번째 공진 주파수 영역에서 약 40 dB 정도 감쇠됨을 확인하였다.

유전 흡수체와의 비교를 위해 20 mm 두께의 유전 흡수체(Eccosorb LS 26)와 자성 흡수체(FSA300)를 적용한 경우의 차폐효과를 계산하였다. 그림 4와 같이 두 흡수체 모두 차폐효과가 개선된다. 700 MHz 대역 이상에서는 유전 흡수체의 차폐효과가, 700 MHz 이하(특히 공진주파수

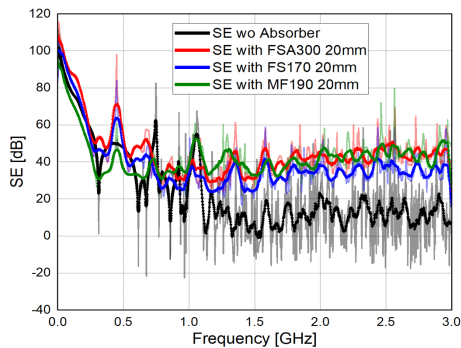


그림 3. 자성 흡수체 종류에 따른 차폐효과
Fig. 3. SE according to the type of magnetic absorber.

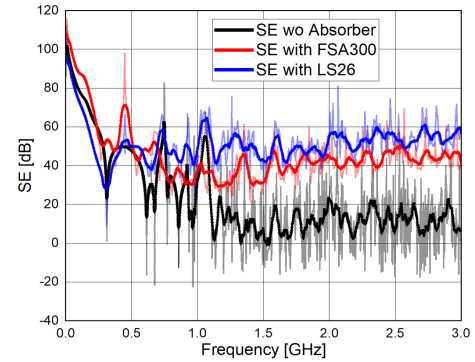


그림 4. 유전 및 자성 흡수체 적용에 따른 차폐효과
Fig. 4. SE due to dielectric and magnetic absorber.

대역)에는 자성 흡수체의 차폐효과가 좀 더 우수하다.

기본적으로 개구부가 있는 함체 면의 내부에 흡수체를 배치하면 개구부를 통해 함체 내부로 들어오는 전기장이 흡수체를 통과하면서 줄어들게 되는데, 이는 흡수체의 물성과 두께에 따라 영향을 받는다. 이를 확인하기 위해 자성 흡수체(FSA300)의 두께를 조정(10~50 mm, 10 mm 단위)하면서 함체 중심에서의 전기장으로부터 차폐효과를 계산하였다. 그림 5와 같이 주파수가 높아질수록, 그리고 흡수체의 두께가 두꺼워질수록 내부에 생성되는 전기장 세기도 줄어들어 차폐효과가 개선된다. 이는 주파수와 두께에 따라 흡수성능이 커지는 흡수체 특성과 일치한다.

다음으로 함체 내부에 자성 흡수체의 배치 조건에 따른 영향을 분석하였다. 흡수체를 개구부가 있는 면에 배치한 경우와 개구부가 있는 면의 반대쪽에 배치한 경우를 비교하였다. 자성 흡수체는 20 mm 두께의 FSA300를 사용하였다. 그림 6과 같이 흡수체를 개구부가 있는 면에

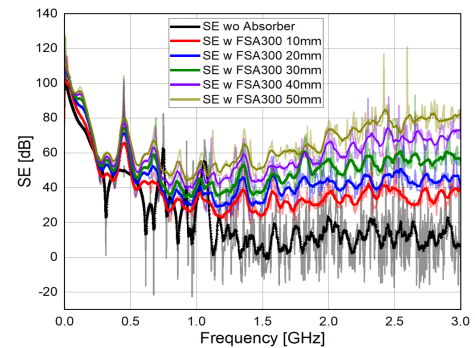


그림 5. 자성 흡수체 두께에 따른 차폐효과
Fig. 5. SE according to the thickness of magnetic absorber.

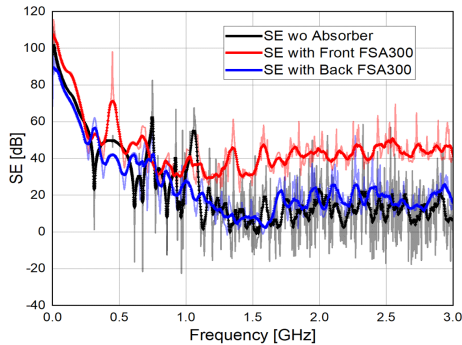


그림 6 자성 흡수체 배치에 따른 차폐효과

Fig. 6. SE according to the placement of magnetic absorber.

배치하는 것이 차폐효과에 큰 영향을 준다. 이는 개구부를 통해 합체 내부로 들어오는 전기장이 흡수체를 통과 하면서 감소되고 합체의 공진 특성도 내부에 배치된 흡수체에 영향으로 줄어들어 결과적으로 차폐효과가 개선 되는 것으로, 유전 흡수체를 적용한 경우^[2]와 일치한다.

자성 흡수체는 GHz 이하 주파수대역, 특히 공진 주파수대역에서의 전자파를 줄여 차폐를 개선하는 특성을 보인다. 그러나 GHz 이상 주파수대역에서는 기존 유전 흡수체 대비 전자파 저감 효과가 상대적으로 작아 보인다. 그래서 전체 대역에서 차폐효과 개선을 위해 유전 흡수체와 자성 흡수체를 동시에 적용하는 구조를 제안하였다. 유전 흡수체는 Laird에서 제공하는 Eccosorb LS 26을, 자성 흡수체는 GSS사의 FSA300을 사용하였다. 그림 7은 각 10 mm 두께의 자성 및 유전 흡수체가 동시에 적용된 구조(복합 흡수체)와 20 mm 두께의 자성 및 유전 흡수체가

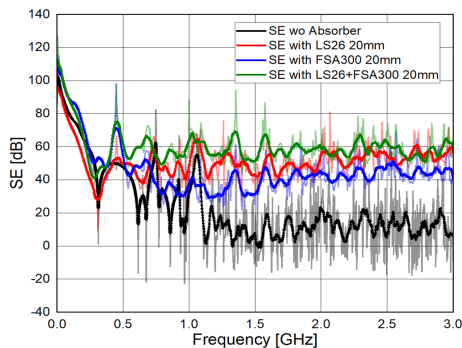


그림 7. 복합 흡수체와 단일 흡수체의 차폐효과 비교

Fig. 7. Comparison of SE of composite absorber and single absorber.

각각 적용된 경우의 차폐효과를 보여준다. 해석 결과와 같이 첫 번째 공진대역을 제외한 전체 주파수대역에서 복합 흡수체를 사용한 경우의 차폐효과가 단일 흡수체를 사용한 경우보다 개선됨을 확인할 수 있다. 자성 및 유전 흡수체의 배치 순서에 따른 차폐효과 영향에 관한 해석 결과 차이는 크지 않았다.

IV. 결 론

본 연구에서는 금속성 합체에 임의의 개구부가 있는 경우에도 차폐효과를 유지 또는 개선하기 위해 자성 흡수체를 포함한 복합 흡수체를 사용한 구조를 제안하고 검증하였다. 본 연구에서 제안된 복합 흡수체를 적용하면 합체의 개구부를 통해 내부로 들어오는 전자파는 흡수체를 지나면서 줄어들고, 내부 흡수체가 합체의 공진 특성으로 정재파가 형성되는 것을 감소시켜 전기장 세기를 줄여 결과적으로 차폐효과가 유지 또는 향상된다. 제안한 구조는 3차원 수치해석을 사용하여 차폐효과가 개선됨을 확인하였다.

References

- [1] H. H. Park, H. J. Eom, "Electromagnetic penetration into a rectangular cavity with multiple rectangular apertures in a conducting plane," *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 42, no. 3, pp. 303-307, Aug. 2000.
- [2] J. H. Kwon, C. H. Hyung, J. H. Hwang, and H. H. Park, "Enhancement in shielding effectiveness by electromagnetic absorbers applied to aperture of metallic enclosure," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 34, no. 5, pp. 409-414, May 2023.
- [3] H. W. Ott, *Electromagnetic Compatibility Engineering*, 1st ed. Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, 2009.
- [4] CST Microwave Studio(MWS), "CST Studio Suite," 2024. Available: https://uk.mathworks.com/products/connections/product_detail/cst-microwave-studio.html
- [5] Laird, "EccosorbTM LS," 2023. Available: <https://www.laird.com>
- [6] GSS, "Global sourcing supplier for you: We are always with you," 2022. Available: <https://www.gsskorea.com>
- [7] DMEGC, "World magnetic capital," 2023. Available: <https://www.chinadmegc.com/?lang=en>