

금속성 함체의 개구부에 적용된 전자파 흡수체에 의한 차폐효과 개선

Enhancement in Shielding Effectiveness by Electromagnetic Absorbers Applied to Aperture of Metallic Enclosure

권종화 · 형창희 · 황정환 · 박현호*

Jong Hwa Kwon · Chang Hee Hyoung · Jung-Hwan Hwang · Hyun Ho Park*

요 약

본 연구는 흡수체를 사용하여 개구부가 있는 함체의 차폐효과를 개선하는 방법을 제시하였다. 흡수체는 개구부가 있는 함체의 내부에 배치되어 개구부를 통해 입사하는 전자파가 흡수체를 통과하면서 감쇠되고, 함체의 공동효과로 발생하는 전자파 역시 흡수체에 의해 감소되어 차폐효과가 향상된다. 제시한 구조는 3차원 수치해석을 통해 차폐효과가 개선됨을 확인하였다.

Abstract

This study introduced a method for enhancing the shielding effectiveness of an enclosure with apertures using an absorber. The absorber was installed on the inner surface of the aperture of the enclosure and attenuated incident electromagnetic waves as they passed through it. Furthermore, the absorber reduced the standing waves generated inside the enclosure owing to the cavity effect, improving shielding effectiveness. A 3D numerical analysis confirmed that the proposed structure enhanced the shielding effectiveness of the enclosure.

Key words: Metallic Enclosures, Shielding Effectiveness, Absorber, Standing-Wave, Leakage

I. 서 론

전자파 차폐는 고출력 전자파를 포함한 다양한 형태의 전자파 위협으로부터 기기를 보호하기 위해 가장 널리 사용되는 대책 기술이다. 전자파 차폐는 일반적으로 전도성 물질을 사용하여 전자파가 통과하지 않도록 하며, 가능한 어떠한 틈도 없도록 제작되어야 한다. 그러나 기기의 성능 구현 및 유지를 위해 사용되는 개구부는 물론 제

작상에서 원치 않게 발생하는 다양한 틈들이 존재한다. 이러한 의도성 및 비의도성 개구부는 구조물의 차폐 성능에 영향을 미치며, 개구부를 갖는 금속성 함체의 차폐 효과에 관한 많은 연구가 수행되었다^{[1]~[4]}.

일반적으로 금속성 함체의 전자파 차폐효과는 그림 1과 같이 차폐 재료 자체에 의한 효과, 다양한 형태의 개구부를 통한 누설 효과, 그리고 금속성 함체의 공진으로 발생하는 정재파 효과에 의해 결정된다. 식 (1)에서 전자파

「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 Electrical & Electronic Engineering, The University of Suwon)

· Manuscript received March 19, 2023 ; Revised April 7, 2023 ; Accepted April 25, 2023. (ID No. 20230319-022)

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

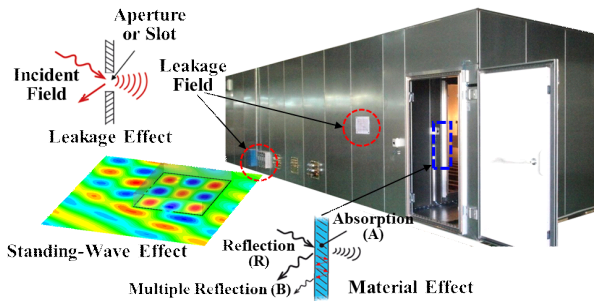


그림 1. 개구부를 갖는 금속성 함체의 전자파 차폐 메커니즘
Fig. 1. Electromagnetic shielding mechanism of metallic enclosure with apertures.

반사(R), 흡수(A), 다중반사(B)에 의한 차폐는 차폐 재료의 물질에 의한 영향이고, 누설과 정재파에 의한 차폐는 차폐 함체의 물리적 구조에 의한 영향이다^{[5][6]}.

$$SE = A + R + B - \text{Leakage Effect} - \text{Standing Wave Effect} \quad (1)$$

개구부를 갖는 금속성 함체의 경우 전체적인 차폐효과는 재료에 의한 영향보다는 구조에 의한 영향이 중요하다. 즉, 개구부를 갖는 함체의 경우 개구부를 통한 전자파의 침투 정도와 금속성 함체의 공진 특성이 차폐효과에 주로 영향을 미친다. 따라서 차폐효과 개선을 위해서는 개구부를 통해 침투되는 전자파를 줄이고 동시에 함체 공진으로 내부에서 생성되는 전자파를 줄여야 한다.

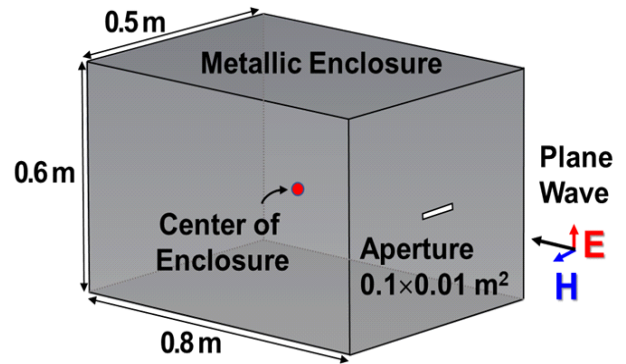
본 논문에서는 흡수체를 사용하여 개구부를 갖는 함체의 차폐효과를 개선하기 위한 구조를 제안하고 검증하였다. 본 논문에서는 함체의 개구부가 있는 면에 흡수체를 배치하여 개구부를 통해 입사된 전자파가 흡수체를 통과하면서 감쇠되고, 함체 내부로 들어간 전자파에 의해서 함체 내에서 정재파가 형성되는 것을 또한 흡수체가 줄여줘 결과적으로 함체의 차폐효과가 개선하는 방법을 제시하였다. 제시한 구조는 3차원 수치해석을 통해 그 효과를 검증하였다.

II. 해석 구조

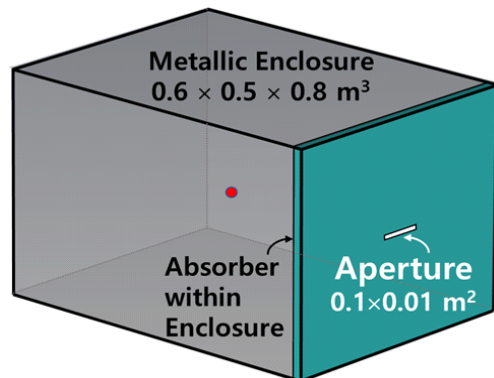
금속성 구조물에 어떠한 형태든 개구부(aperture)가 존재하면 전자파는 내부로 들어가고, 내부로 들어간 전자파

는 금속성 구조물의 물리적 구조에 따라 내부에서 공진이 발생한다. 또한, 개구부 모양과 크기에 따라서 개구 자체의 공진이 발생하며, 개구부의 공진주파수에서는 구조물 내부로 투과되는 전자파가 증가한다. 따라서 구조에 의한 전자파 영향을 줄이기 위해서는 개구부를 최소화하고, 동시에 내부에 공진으로 발생하는 정재파를 줄여줘야 한다.

본 연구에서는 개구부를 갖는 금속성 함체에 흡수체를 배치하는 방법에 따른 차폐효과 영향을 분석하였다. 본 연구에서 사용된 구조는 그림 2에서와 같이 수평으로 긴 형태의 개구부($100 \times 10 \text{ mm}^2$)를 갖는 함체($600 \times 500 \times 800 \text{ mm}^3$)이다. 입사장은 수직 방향의 전기장을 갖고 함체 방향으로



(a) 개구부를 갖는 함체
(a) Enclosure with aperture



(b) 흡수체가 개구부 안쪽 면에 부착된 함체
(b) Enclosure with absorber attached to inner surface of aperture

그림 2. 개구부를 갖는 금속성 함체의 차폐효과 해석 구조
Fig. 2. Geometry for shielding simulation of metallic enclosure with aperture.

입사하는 평면파를 사용하고 함체 중심에서의 전기장을 계산하였다. 해석 주파수대역은 30 MHz~3 GHz이다.

기존 연구에서는 함체 내부의 공진 효과를 줄이기 위해 개구부가 있는 곳을 제외한 함체 내부 벽에 흡수체를 배치하였으나^{[3],[4]}, 본 연구에서는 개구부가 있는 면의 함체 내부에 흡수체를 배치하였다. 개구부를 통해 함체 내부로 들어오는 전자파를 줄이고 동시에 함체 공진으로 발생하는 정재파 효과를 줄이기 위해 흡수체를 함체의 개구부가 있는 면에 배치하였다. 흡수체에 의한 차폐효과 개선 효과를 확인하기 위해 흡수체의 종류, 두께, 그리고 배치 방법 등에 대해 검토하였다.

III. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 논문에서 제시한 흡수체를 이용하여 개구부를 갖는 금속성 함체의 차폐성능을 CST MWS를 이용한 3차원 전자기장 해석으로 검증하였다^[7]. 본 연구에서는 삽입손실과 공진 억제에 위해 사용되는 폴리우레탄 기반 흡수체인 Eccosorb LS 시리즈 흡수체^[8]를 사용하였으며, CST MWS에서는 Eccosorb LS 시리즈 흡수체의 물성인 복소 유전율 모델을 제공한다.

본 연구에서는 개구부가 있는 함체 구조 대비 흡수체를 적용한 경우의 차폐효과를 확인하기 위해 차폐효과 개선 정도를 ΔSE 로 표기하고 식 (2)와 같이 정의하였다.

$$\Delta SE = 20 \log \left(\frac{E_{without\ Absorber}}{E_{with\ Absorber}} \right) \quad (2)$$

그림 3에서는 흡수체를 개구부 안쪽에 배치한 경우 흡수체 종류(LS-22, LS-24, LS-26)에 따른 함체 중심에서의 전기장 변화를 보여준다. 공진에 의한 효과를 줄여 차폐효과 개선 정도를 확인하기 위해 이동평균(moving average) 데이터도 실선으로 같이 표시하였다.

개구부가 있는 면의 내부에 흡수체를 배치함으로써 함체 내 공진 효과는 줄어들었고 전기장 세기도 전반적으로 감소되었다. 1 GHz 이상에서는 흡수체를 적용했을 때 약 40 dB(LS-26 기준) 정도 줄어들며, 흡수체의 흡수성능이 좋을수록 차폐효과도 개선됨을 확인할 수 있다. 표 1은 흡수체가 적용되었을 때 공진주파수에서 차폐효과 개

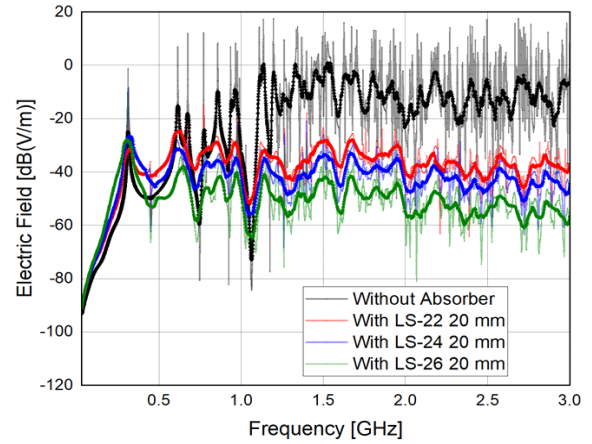


그림 3. 흡수체 종류에 따른 전기장 세기

Fig. 3. Electric field strength according to the type of absorber.

표 1. 흡수체 종류에 따른 주파수별 차폐효과 개선 정도

Table 1. ΔSE by frequency according to the type of absorber.

Absorber	No Abs	LS-22		LS-24		LS-26	
	E-field	E-field	ΔSE	E-field	ΔSE	E-field	ΔSE
1 st Freq. 312 MHz	-1.23	-10.52	9.29	-8.59	7.36	-13.92	12.69
2 nd Freq. 614 MHz	6.95	-15.87	22.82	-28.13	35.08	-40.85	47.8
3 rd Freq. 675 MHz	12.01	-17.80	29.81	-29.05	41.06	-35.38	47.39

선 정도를 보여준다. LS-24의 경우 ΔSE 는 함체의 1st, 2nd, 3rd 공진주파수에서 각각 7.36 dB, 35.08 dB, 41.06 dB이다. 흡수체의 사용은 1 GHz 이상에서 확연히 차폐성능 개선에 효과가 있지만, 1 GHz 이하 공진주파수에서도 효과가 있음을 알 수 있다.

흡수체를 개구부가 있는 함체의 내부에 배치하면 개구부를 통해 입사되는 전기장이 흡수체에 의해서 줄어들게 되는데, 이는 흡수체의 흡수성능과 더불어 흡수체의 두께에도 영향을 받는다. 이를 확인하기 위해 흡수체(Eccosorb LS-26)의 두께를 10 mm, 20 mm, 그리고 30 mm로 조정하면서 함체 내부에서의 전기장을 계산하였다. 그림 4는 흡수체의 두께 변화에 따른 함체 중심에서의 전기장 변화

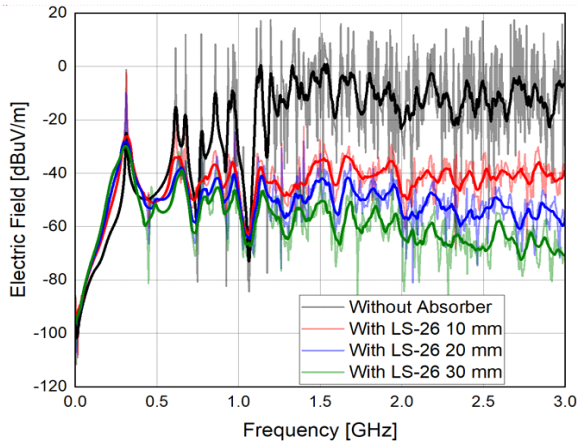


그림 4. 흡수체 두께에 따른 전기장 세기
Fig. 4. Electric field strength according to the thickness of absorber.

를 보여준다. 흡수체의 두께가 커질수록, 그리고 주파수가 높아질수록 함체 내부에 생성되는 전기장의 세기도 줄어든다. 이는 두께와 주파수에 따라 흡수성능이 커지는 흡수체 특성과 일치한다.

일반적으로 함체에 존재하는 비의도성 개구부의 위치를 사전에 파악하기는 어렵다. 따라서 비의도성 개구부에 의한 차폐 함체의 성능 저하를 줄이기 위해서는 함체 내부의 모든 면에 흡수체를 배치하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 흡수체를 개구부가 있는 면을 포함한 함체 내부의 모든 면에 배치하고 개구부를 통해 함체 내부에 형성되는 전기장 세기를 계산하였다. 그림 5는 LS-26 흡수체를 개구부가 있는 면에만 배치한 경우와 함체 내부의 6면 모두에 배치한 경우를 함체 중심에서의 전기장 세기를 비교한 그림이다. 흡수체를 개구부 면에 배치하면 개구부를 통해 침투하는 전기장을 1차적으로 감소시키고, 함체의 물리적 구조에 의해 생성되는 공진에 의한 전기장 세기도 줄어들어 결과적으로 차폐효과가 더욱 더 개선되는 효과가 발생한다. 6면 모두에 흡수체를 배치하게 되면 공진 효과를 훨씬 더 줄여주는 효과가 있다. 결과적으로 6면 모두에 흡수체를 배치하는 경우에는 흡수체가 없는 기존 함체 구조 대비 약 50 dB 이상 차폐효과가 개선되는 효과를 얻을 수 있다.

그림 6에서는 함체 내부 6면에 흡수체를 배치한 경우 흡수체 종류(LS-22, LS-26)에 따른 전기장 변화를 보여준

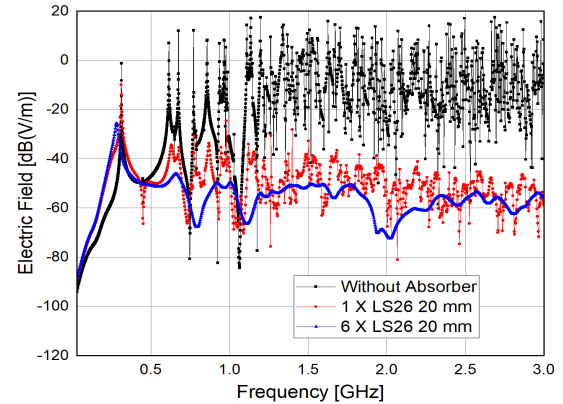


그림 5. 흡수체 배치에 따른 전기장 세기
Fig. 5. Electric field strength according to the placement of absorber.

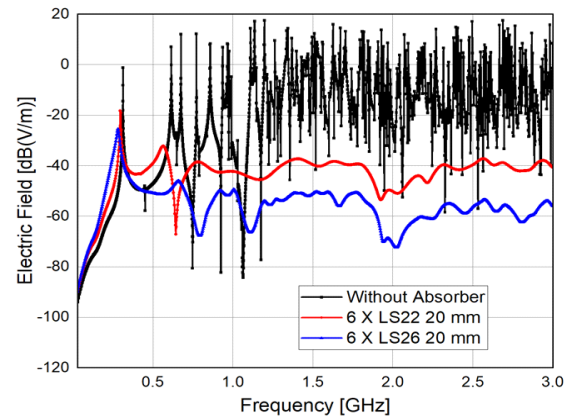


그림 6. 함체 6면에 배치하는 흡수체 종류에 따른 전기장 세기
Fig. 6. Electric field strength according to the type of absorber placed on the six sides of enclosure.

다. 그림 4에서와 마찬가지로 흡수체 성능이 좋아질수록, 그리고 주파수가 높아질수록 내부에 생성되는 전기장의 세기도 줄어, 결과적으로 차폐효과가 개선됨을 보여준다.

IV. 결 론

금속성 차폐 구조는 전자파 방해로부터 기기를 보호하기 위해 사용되는 대표적인 대책 기술이다. 차폐 구조는 전자파의 완전한 차단을 위해 가능한 어떠한 틈도 없도록 해야 하지만 다양한 형상의 개구부가 존재한다. 이러한 개구부에 의해서 차폐 구조의 성능은 낮아진다.

본 연구는 흡수체를 사용하여 개구부가 있는 함체의 차폐효과를 개선하는 방법을 제시하였다. 흡수체를 개구부가 있는 함체의 내부에 배치하여 개구부를 통해 입사하는 전자파를 감쇠시키는 동시에, 금속성 함체의 공동효과로 발생하는 전자파도 흡수체에 의해 감소되어 차폐효과가 향상된다. 제안한 구조는 3차원 수치해석을 통해 차폐효과가 개선됨을 확인하였다. 기존 연구에서는 흡수체를 개구부가 없는 면에 배치한 경우에 약 8 dB의 차폐효과 개선 효과가 있었으나, 흡수체를 개구부가 있는 면에 배치한 경우에는 흡수체 종류에 따라 다르지만 약 20 dB 이상의 차폐효과 개선 정도를 확인하였다. 이는 개구부가 있는 면에 흡수체를 배치한 경우 흡수체를 통한 전기장 저감 효과와 함체 내부에서 공진 현상을 낮추는 효과에 의한 것으로 보인다. 특히, 개구부의 위치를 알고 있는 경우에는 개구부가 있는 면에만 흡수체를 배치해도 차폐효과 개선이나 비용 측면에서 상당한 효과가 있다. 흡수체를 이용하여 금속성 함체의 차폐효과를 더 높이기 위해서는 흡수체의 물성과 최적 배치 방법 등에 관한 추가 연구가 필요할 것이다.

References

[1] H. H. Park, H. J. Eom, "Electromagnetic penetration into a rectangular cavity with multiple rectangular apertures in a conducting plane," *IEEE Transactions Electromagnetic*

Compatibility, vol. 42, no. 3, Aug. 2000.

- [2] A. Rabat, P. Bonnet, K. E. K. Drissi, and S. Girard, "An analytical evaluation of the shielding effectiveness of enclosures containing complex apertures," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 147191-147200, Oct. 2021.
- [3] J. H. Kwon, C. H. Hyung, J. H. Hwang, and H. H. Park, "Impact of absorbers on the shielding effectiveness of metallic rooms with apertures," *Electronics*, vol. 10, no. 3, p. 237, Jan. 2021.
- [4] J. H. Kwon, C. H. Hyung, J. H. Hwang, and H. H. Park, "Improvement in shielding effectiveness of large enclosures using electromagnetic absorbers," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 33, no. 2, pp. 164-167, Feb. 2022.
- [5] C. R. Paul, *Introduction to Electromagnetic Compatibility*, 2nd ed. Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, 2006.
- [6] H. W. Ott, *Electromagnetic Compatibility Engineering*, 1st ed. Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, 2009.
- [7] Dassault Systemes, "CST studio suite: Electromagnetic field simulation software," 2020. Available: <https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/cst-studio-suite/>
- [8] Laird, "RF/Microwave Absorbers & Dielectric Materials." Available: <https://www.laird.com/products/absorbers>

권 중 화 [한국전자통신연구원/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-2132-7403>



1994년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
1999년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)
2010년 2월: 연세대학교 전기전자공학 (공학박사)
2021년 9월~2022년 8월: Missouri University of Science and Technology Visiting Scholar

1999년 1월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원
[주 관심분야] EMC 대책 기술 및 표준화, 기능 안전 EMC, 고출력 전자파 방호대책 및 측정·평가 기술

형 창 희 [한국전자통신연구원/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-9012-2217>



1996년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학사)
1998년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학석사)
2013년 2월: 한국과학기술원 정보통신공학과 (공학박사)
1999년 3월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원

[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 대역 회로 설계, 전자기파 에너지 하베스팅, 전자파 취약성 평가 기술

황 정 환 [한국전자통신연구원/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-6072-0443>



1998년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)

2000년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)

2016년 2월: 한국과학기술원 정보통신공학과 (공학박사)

2000년 1월~현재: 한국전자통신연구원

책임연구원

[주 관심분야] EMP, EMC/EMI, 전자파 인체영향 무선채널 모델

박 현 호 [수원대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0001-8518-1151>



1999년 8월: 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학박사)

1999년 9월: 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원

2006년 6월: 삼성전자 글로벌기술센터 수석연구원

2012년 9월~현재: 수원대학교 전기전자

공학부 교수

[주 관심분야] EMI/EMC 대책 기술, 전자파 차폐 기술, 전자파 해석 기술, SI/PI 설계 기술