

구축함에 탑재되는 통합마스트의 RCS 저감 구조 설계

Design of RCS Reduction Structure of Integrated Mast on the Destroyer

이 종 학*, 라 영 은*, 이 건 민*, 장 주 수**★

Jong-Hak Lee*, Young-Eun Ra*, Keon-Min Lee*, Ju-Su Jang**★

Abstract

This paper presents a technique using a multilayered dielectric coating to reduce the radar cross section (RCS) value of an integrated mast mounted in a destroyer. The proposed multilayer structure has the advantage of being easy to fabricate because the dielectric constant is defined so that a general dielectric that does not contain a magnetic component that requires high dielectric constant or is frequently used for blocking electromagnetic wave absorption can be used. After applying the proposed multi-layer dielectric structure to the integrated mast shape, the simulation results show that the RCS reduction performance is 10.9dB at 6GHz, 11.95dB at 12GHz, and 11.63dB at 18GHz compared to the structure without the multilayer structure.

요 약

본 논문에서는 구축함에 탑재되는 통합 마스트의 RCS(Radar Cross Section) 값을 저감시키기 위해 다층 구조로 되어있는 유전체 코팅을 이용한 기법을 제시한다. 제시된 다층 구조는 특별히 고유진율을 요구하거나 전자기파 흡수 차단에 많이 사용되는 자성체성분을 포함하지 않은 일반적인 유전체를 사용할 수 있도록 유전율의 범위를 정했기 때문에 제작에 용이하다는 장점이 있다. 제시된 다층 유전체 구조를 통합 마스트 형상에 적용시킨 후 시뮬레이션을 진행한 결과 다층 구조가 없는 구조물과 비교하여 6GHz에서 10.9dB, 12GHz에서 11.95dB, 18GHz에서 11.63dB의 RCS 저감 성능이 있는 것을 확인하였다.

Key words : RCS, Multilayer, Dielectric coating, Integrated Mast, Stealth

1. 서론

현대 전자전은 상대방의 정보를 정확하게 파악하는 것을 시작으로 하고 있으며 이러한 역할을 수행하는 레이더 기술과 이를 방어하는 레이더 단면적(RCS) 저감기술이 함께 발전하고 있다[1]. 특히 바다위에 존재하는 함정의 경우 레이더 단면적 값이

높다면 탐지될 확률이 증가하기 때문에 스텔스 기술을 이용해 값을 낮출 필요가 있다[2]. 함정의 레이더 단면적 값을 낮추기 위해서는 기존에 설치되던 레이더나 통신장비와 같은 전자장비 등을 소형화, 모듈화하여 특정 공간에 설치함으로써 레이더 단면적을 낮추는 통합 마스트(IMM : Integrated Mast Module) 시스템에 대한 연구가 진행되고 있으며

* LIG Nex1

** MOASOFT

★ Corresponding author

E-mail : jsjang@moasoftware.co.kr, Tel : +82-2-420-3203

Manuscript received Mar. 6, 2020; revised Mar. 19, 2020; accepted Mar. 20, 2020.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이를 사용하는 것이 보편화 되고 있다[3][4]. 그러나 이러한 시스템을 사용한다고 하더라도 기본적인 전자장비의 크기 및 전자파 간섭을 최소화하기 위한 공간은 유지되어야 하기 때문에 통합마스트의 크기는 유지될 수밖에 없다 따라서 통합마스트의 형상을 레이더 단면적이 낮은 값을 가지도록 설계하거나 전자기파 흡수체를 이용한 레이더 단면적 값을 낮추는 연구를 진행해야 할 필요가 있다 [5][6].

본 논문에서는 앞서 언급한 두 가지 방법 중 흡수체를 이용해 통합마스트의 레이더 단면적 값을 낮출 수 있는 다단 코팅 기법에 대해 제시하였다.

II. 본론

1. 레이더 단면적(RCS : Radar Cross Section)

레이더 단면적은 레이더에서 송신한 전자파가 표적물에 의해 산란되어 돌아오는 산란파의 전력과 입사파 전력의 비율로 나타내며, 다음과 같이 표현된다[7].

$$\sigma = \lim_{r \rightarrow \infty} 4\pi r^2 \frac{|E_s|^2}{|E_i|^2} \quad (1)$$

여기서 r 은 표적까지의 거리를 나타내며 E_i 는 레이더에서 송신한 전자파가 표적에 입사되는 입사파, E_s 는 표적에서 산란되어 레이더 방향으로 돌아오는 산란파를 의미한다.

2. 시뮬레이션 및 비교군 설정

레이더 단면적 값을 낮추는 방법은 크게 두 가지로 분류된다[8]. 첫 번째 방법은 전자기파의 난반사를 이용하는 방법이며 두 번째 방법은 전자파를 흡수하는 방법이다. 두 가지 방법 모두 장단점이 존재하며 그 내용은 다음 표와 같다.

Table 1. Stealth Technique Comparison.

표 1. 스텔스 기법 비교

	Diffuse Reflection Shape	Absorber Paint
Advantages	Permanent	Can be applied immediately (Paint, coating)
Disadvantages	Design needs to consider performance from development stage.	Maintenance required

그림 1은 다층 구조의 유전체 코팅을 하는 경우 유전율에 따른 감쇠효과의 차이를 관찰하기 위해 각각 다른 순서로 층을 구성한 다단 유전체 코팅에 전자기파가 입사하는 방향을 나타낸 그림이다.

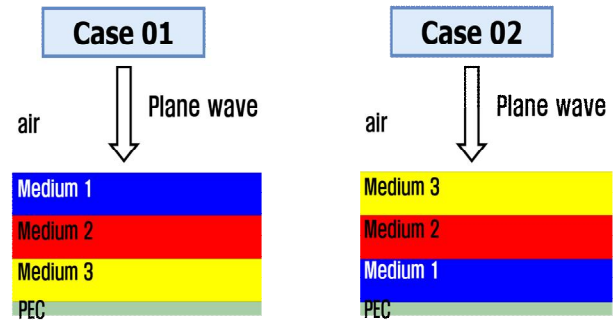


Fig. 1. Multilayered dielectric coating.

그림 1. 다단 유전체 코팅

시뮬레이션 설정은 그림 1에서 설명한 case 1과 case 2, 결과 비교를 위해 medium1과 medium3으로만 구성된 단층구조로 이뤄진 구조체에 평면파를 입사하여 반사계수를 해석하는 방식으로 진행하였으며 해석 주파수는 2~18GHz이다. 코팅에 사용되는 유전체는 유전율과 $\tan\delta$ 에 변화를 주기 위해 임의의 값을 설정해 사용했으며 유전율과 $\tan\delta$ 이 PEC에 가까워질수록 높아지게 설계된 case 1과 낮은 값으로 변화하는 case 2, PEC 면에 단층 코팅만 추가된 medium1과 medium3를 해석하여 반사계수를 비교하였다[9]. 이때 임의로 정한 유전체의 유전율은 medium1이 $4-j*4$, medium2가 $3-j*1.5$, medium3이 $2.5-j*0.5$ 을 가지도록 설정하였다. 시뮬레이션에서 유전체 층의 두께는 다단 유전체일 경우 각각의 유전체 층이 가지는 두께는 1mm로 총 3mm의 두께를 가지며 단층 유전체구조는 하나의 유전체가 3mm의 두께를 가지도록 설정하여 다층구조와 단층구조의 두께가 동일하도록 설정해 시뮬레이션을 진행하였다.

3. 시뮬레이션 결과 분석

그림 2는 다단 코팅을 적용했을 때 감쇠되는 전자기파 반사계수를 보여준다. 평면파 입사조건의 해석 결과를 통해 확인할 수 있는 것은 단층구조보다 다층 구조가 흡수율이 높으며 그 배열 방법에 따라 흡수 효율이 달라질 수 있다는 것이다.

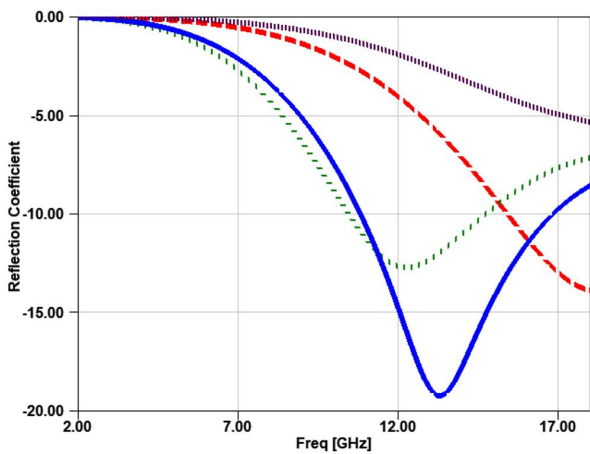


Fig. 2. Comparison of reflection coefficients according to dielectric structure.

그림 2. 유전체 구조에 따른 반사계수 비교

다단 유전체 구조의 RCS 저감 성능을 확인하기 위해 시뮬레이션을 진행하였으며 그림 3에 시뮬레이션에 사용한 설정에 관해 나타냈다. model 1은 가장 일반적인 형태의 마스트이며 model 2는 구조적으로 RCS를 저감시킨 형태, case01과 case02는 앞서 평면파의 정면 입사를 시뮬레이션 했던 구조를 그대로 model1에 적용시킨 형태 마지막으로 그림에는 나타내지 않았지만 상대적으로 감쇠 성능이 좋았던 medium1을 이용한 단 층 구조 이렇게 5개의 형상을 비교 분석하였다.

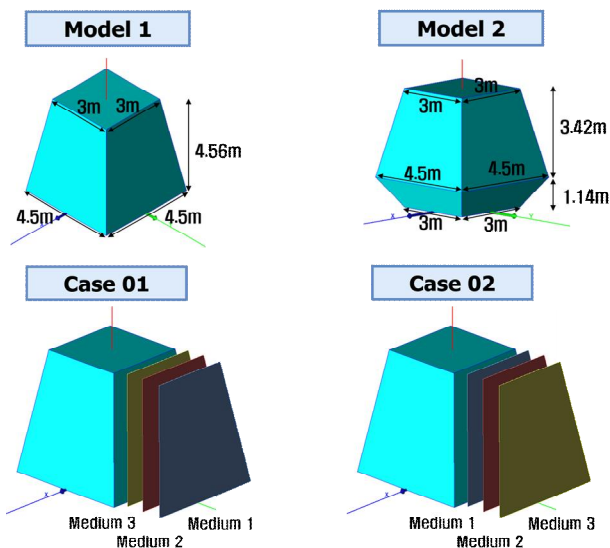
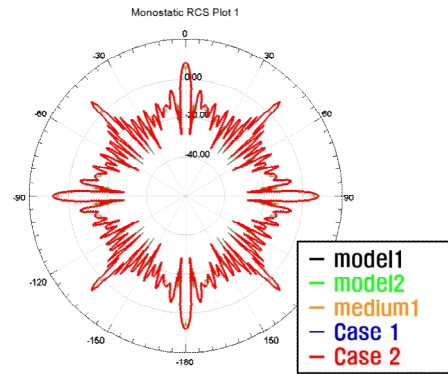


Fig. 3. Mast shape for simulation comparison.

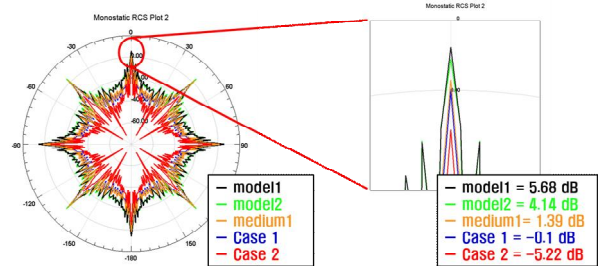
그림 3. 시뮬레이션 비교를 위한 마스트 형태

그림 4는 2GHz, 6GHz, 12GHz, 18GHz의 주파수에서 시뮬레이션으로 분석한 결과를 나타낸 그림

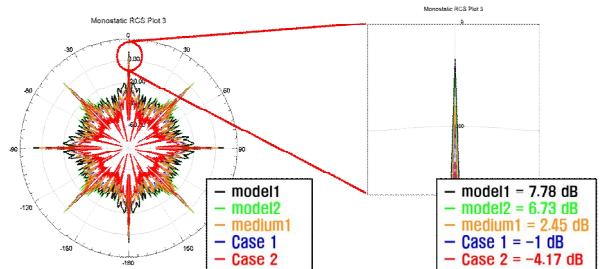
이다. 그림을 통해 확인 할 수 있는 것은 예상했던 바와 같이 단층 흡수체 구조보다 다단 흡수체 구조가 더 RCS 저감에 효과적이라는 것과 정면에서 평면파가 입사 되었을 때 더 좋은 성능을 보이던 case1보다 case2가 더 좋은 감쇠 성능을 보인다는 것이다. 이러한 현상이 발생하는 이유는 경사진 평면에 전자기파가 입사될 때 상대적인 유전율의 크기 차이에서 발생하는 굴절 현상 때문인 것으로 사료된



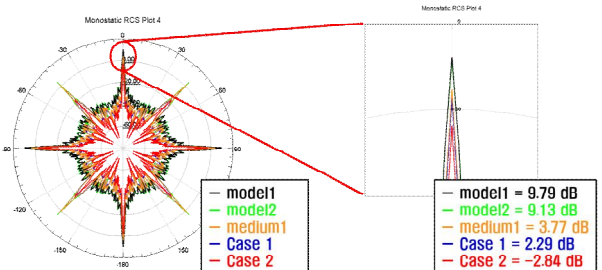
(a) RCS comparison at 2 GHz



(b) RCS comparison at 6 GHz



(c) RCS comparison at 12 GHz



(d) RCS comparison at 18 GHz

Fig. 4. RCS abatement performance comparison.

그림 4. RCS 저감 성능 비교

다. 2GHz 해석결과는 상대적으로 낮은 주파수로 인해 구조체를 감싸고 있는 유전체 코팅의 두께 및 유전율로 인해 발생하는 손실이 상대적으로 낮기 때문에 결과에 큰 차이를 보이지 않는 것을 확인할 수 있지만 6GHz에서 10.9dB, 12GHz에서 11.95dB, 18GHz에서 11.63dB의 RCS 감쇠 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

그림 5는 마스트 형상의 RCS 저감에 가장 좋은 성능을 보인 case2의 다단 유전체 두께를 최적화한 결과를 나타낸 그림이다. 최적화는 Ansys 사의 HFSS에 내장되어있는 GA(genetic algorithm)를 사용해 진행했으며 2019R2.1 버전을 사용해 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션에 사용한 유전체 설정은 동일하며 다단 유전체 층 두께의 합이 앞선 시뮬레이션과 동일한 3mm를 유지하도록 최적화 조건을 제한하였다. 최적화 결과 3단의 유전체가 동일한 두께로 되어있던 기존 형상에 비해 medium1은 1.71mm, medium2는 0.05mm, medium3은 1.23mm의 두께를

가지는 형상이 되어 중간층의 두께가 얇아지고 중간층의 끝 쪽 유전체 층이 두꺼워지는 결과를 얻었다. 이와 같은 결과는 다단구조가 2중구조일 때 RCS 감쇠 효과가 더 좋을 수 있다는 것을 의미하지만 시뮬레이션에 사용된 유전체의 유전율 및 $\tan \delta$ 가 시뮬레이션 해석의 편의를 위해 설정된 값이기 때문에 발생하는 효과일 수도 있는 것으로 생각된다. 따라서 실존하는 유전체의 유전율을 반영한 최적화를 차후 진행할 필요가 있다.

III. 결론

본 논문에서는 구축함에 탑재되는 통합마스트의 RCS 저감 구조를 설계하기 위해 다층 유전체 구조를 제시하였다. 시뮬레이션에 사용된 유전체의 유전율과 $\tan \delta$ 는 시뮬레이션을 용이하게 하기 위해 임의의 값을 사용했지만 특별히 높은 유전율을 가지거나 자성체의 성격을 가지지 않는 유전체로 설정하여 시뮬레이션을 진행했으며 그 결과 단층으로 이루어진 구조보다 다층으로 이루어진 구조가 RCS 저감에 더 뛰어난 성능을 보인다는 것을 확인하였다. 또한 최적화를 통해 RCS 저감성능을 개선할 수 있음을 확인하였다. 본 연구를 바탕으로 추후 실제 유전체의 특성을 반영하여 다층 구조의 RCS 저감 기법을 개발한다면 상대적으로 낮은 비용으로 높은 RCS 저감효과를 얻을 수 있는 최적화된 통합마스트의 RCS 저감 구조를 설계할 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] I. P. Hong and I. G. Lee, "Comparisons of RCS Characteristic of Spherical Frequency Selective Surfaces with FSS Element Arrangement," *Journal of IKEEE*, Vol.16, No.4, pp.328-334, 2012. DOI: 10.7471/ikeee.2012.16.4.328
- [2] Khan, Jawad, Wenyang Duan, and Salma Sherbaz., "Radar cross section prediction and reduction for naval ships," *Journal of Marine science and application*, Vol.11, No.2, pp.191-199, 2012. DOI: 10.1007/s11804-012-1122-5
- [3] H. P. Seo and K. H. Lee, "Integrated Mast Applied for Improving Stealth Ship Performance,"

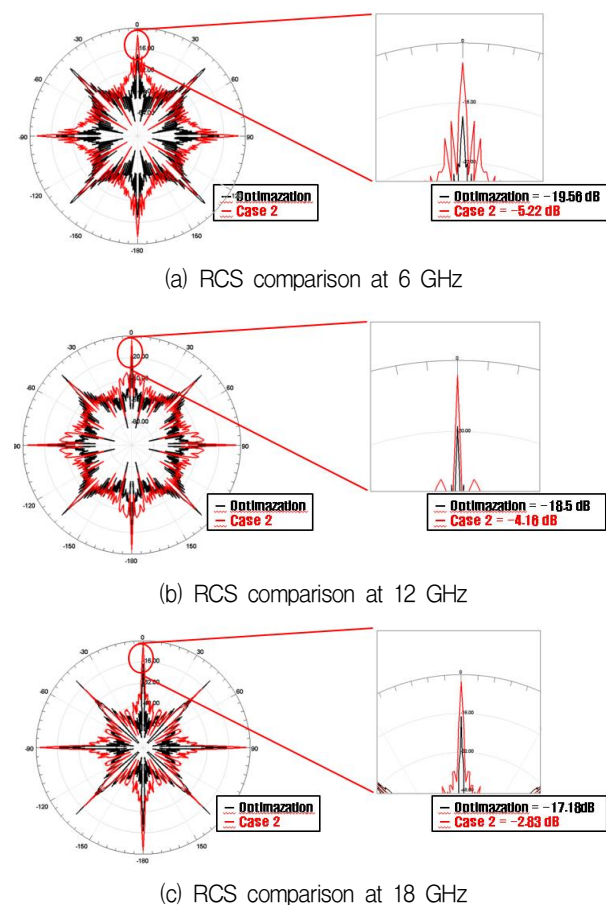


Fig. 5. Comparison of RCS Reduction Performance with Optimized Structure.

그림 5. 최적화된 구조에 의한 RCS 저감 성능 비교

Korea Association of Defense Industry Studies, Vol.22, No.3, pp.27-46, 2015.

[4] C. Savage and A. Kimber, "When is a mast a mast? The impact of integrated masts on platform design and classification," *RINA Warship*, 2010.

[5] H. K. Shin et al., "Analysis of Radar Cross Section of the Integrated Mast Module for Battleship," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol.28, No.7, pp.584-587, 2017.

DOI: 10.5515/KJKIEES.2017.28.7.584

[6] B. J. An, S. K. Seo "A Study on the Setting Procedure of Standard Value and Design Target Value for the RCS Reduced Design for Naval Ships," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol.26, No.6, pp.581-588, 2015. DOI: 10.5515/KJKIEES.2015.26.6.581

[7] Mwerrill I. Skolnik, *Introduction to Radar Systems 3rd Edition*, Mc Graw hill, 2002.

[8] J. T. Hwang, "Development of Stealth Design Systems for Naval Ship," MS. dissertation, Seoul National Univ. pp.61-64, 2016.

[9] <https://www.ansys.com/>

Keon-Min Lee (Member)



2012 : B.S. degree in Mechanical Engineering, Hongik University.
2012~ : Research Engineer, LIG Nex1

Ju-Su Jang (Member)



1993 : M.S. degree in Mathematics, Carnegie Melon University.
2004 : Ph.D. in Philosophy in Economics, Dankook University.
1998~ : CEO, MOASOFT

BIOGRAPHY

Jong-Hak Lee (Member)



2000 : B.S. degree in Electrical Engineering, Ajou University.
2009 : M.S. degree in Mechanical Engineering, Yonsei University.
2000~ : Research Engineer, LIG Nex1

Young-Eun Ra (Member)



2007 : B.S. degree in Mechanical Engineering, Hanyang University.
2019 : M.S. degree in Mechanical Engineering, Yonsei University.
2007~ : Research Engineer, LIG Nex1