

## 레이더반사면적 감소를 위한 폐위형 마스트 특성 연구

권현웅\* · 홍석윤\*\* · 황준태\*\* · 정승진\*\* · 김종철\*\*\* · 송지훈\*\*\*\*†

\* 거제대학교 조선해양공학과, \*\* 서울대학교 조선해양공학과, \*\*\* 국방과학연구소, \*\*\*\* 전남대학교 조선해양공학전공

## A Study on Enclosed Mast Characteristics for Radar Cross-Section Reduction

Hyun-Wung Kwon\* · Suk-Yoon Hong\*\* · Joon-Tae Hwang\*\* · Seung-Jin Jeong\*\* · Jong-Chul Kim\*\*\* · Jee-Hun Song\*\*\*\*†

\* Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Koje College, Geoje-si 53325, Korea

\*\* Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

\*\*\* Naval System R&amp;D Institute, Agency for Defense Development, Changwon-si 51678, Korea

\*\*\*\* Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

**요 약** : 함정에 있어서 레이더반사면적은 함정의 생존성과 직결되는 요소로써, 이에 대한 감소설계가 필요하다. 함정의 RCS에 영향을 주는 요소로써, 상부구조물, 함포, 레이더 등이 있다. 레이더의 경우 그 형상이 복잡하여 RCS 감소설계가 어려운 실정이다. 본 논문에서는 레이더의 RCS를 줄이기 위한 최신 기법 중의 하나인 폐위형 마스트에 대해 살펴보고 폐위형 마스트에 적용되는 주파수 선택 표면(Frequency Selected Surface: FSS)의 특성을 파악하였다. FSS의 형상에 따른 가용 가능한 주파수에 대해 일반적인 레이더와 폐위형 마스트의 RCS 비교를 통해 폐위형 마스트의 RCS 감소 성능을 확인하였고, 해석 고각별, 구조물의 경사별 RCS 해석을 통해 특성을 파악하였다. 일반적인 레이더의 경우 복잡한 형상으로 인하여 높은 RCS 값을 갖는 반면 폐위형 마스트의 경우 단순한 형상으로 인해 낮은 RCS 값을 갖는 것을 확인하였다.

**핵심용어** : 레이더반사면적, 레이더, 감소 설계, 폐위형 마스트, 주파수 선택 표면

**Abstract** : Radar Cross Section (RCS) is a factor directly related to survivability, and a design to reduce the presence of this factor is needed. The upper structure, guns, radar and so on are related to warship RCS, but radar RCS reduction is difficult because of complex shapes involved. In this paper, an enclosed mast, which is one modern method for reducing radar RCS, and the characteristics of an applied Frequency Selected Surface (FSS) are analyzed. The RCS reduction ability of an enclosed mast has been confirmed by comparing RCS analysis results for a general radar with that of an enclosed mast for available frequency according to FSS shape. The characteristics of the enclosed mast have also been studied by analyzing the elevation angle and slope of the mast. General radar RCS was high because of its complex shape, but low RCS was shown for the enclosed mast model, which had a simpler shape.

**Key Words** : Radar Cross Section, Radar, Reduction design, Enclosed mast, Frequency Selected Surface

## 1. 서 론

함정, 항공기, 미사일 등의 현대 무기체계는 레이더를 이용하여 상대방에 대한 정보를 획득한다. 따라서 레이더에 의해서 탐지되는 레이더 반사면적(RCS: Radar cross section)을 감소시키기 위한 방안을 설계에 적극 반영되고 있다. RCS 특성은 구조물의 기하학적인 형상에 의해 결정되고 Urick에

의해 이론식이 정립되었다(Urick, 1983). 복합 구조물에 적용하기 위한 수치해석 기법으로 키르히호프 근사법을 이용한 RCS 해석이 수행되고 있다(Schneider et al., 2003; Choi et al., 2005; Kwon et al., 2014a)

RCS를 줄이는 방안으로 크게 RAS(Radar Absorbing Structures) 기법과 RAM(Radar Absorbing Materials) 기법이 있다. RAS 기법은 구조 변경 및 형상 변경을 통하여 평면반사를 감소시키거나 코너반사를 감소시켜 RCS를 줄이는 기법이고(Kwon et al., 2014b), RAM 기법은 형상 변경이 용이하지 않을 경우 전파 흡수체 적용을 통해 RCS를 줄이는 기법이다(Knott et

\* First Author : khw1@koje.ac.kr, 051-680-1554

† Corresponding Author : jhs@jnu.ac.kr, 061-659-7156

al., 1993; Hwang et al., 2015). 그러나 일반적으로 전파 흡수체의 적용은 중량 및 비용 증가 등으로 제한적 요소를 내재하고 있다. 그러므로 RCS 감소 방안을 복합 구조물 설계에 효율적으로 적용하기 위해서는 구조와 형상 변경에 따른 RCS 특성 분석이 필요하다.

합정의 RCS에 영향을 미치는 요소로써, 상부구조물, 함포, 레이더 등이 있다. 상부구조물, 함포 등의 경우 RAS 기법을 통하여 기울어진 형상을 적용하여 RCS를 감소시키고 있으나, 레이더의 경우 형상 변경이 어려운 실정이다. 레이더와 같이 복잡한 구조물의 경우 다양한 코너반사 효과로 인하여 비교적 큰 RCS 값을 보이고 있다. 이를 줄이기 위해 전파 흡수체를 적용하고 있으나 그 효과는 적은 편이다.

최근에는 합정의 레이더에 의한 RCS 감소를 위하여 폐위형 마스트와 통합마스트를 적용하고 있다. 이들 마스트는 기존의 레이더를 단순한 형태의 구조물로 은폐하여 RCS를 감소시킨다. 이 경우 폐위형 마스트 레이더가 사용하는 주파수는 굴절이나 흡수, 반사가 되지 않고 잘 투과시켜야 하고, 사용하지 않는 주파수는 모두 반사되도록 설계해야하므로 주파수 선택 표면(FSS: Frequency Selective Surface)으로 처리해야 하는 어려움이 있으나 기존의 레이더를 그대로 사용할 수 있는 장점이 있다. 통합마스트는 마스트 외벽에 평면 레이더를 설치하여 복잡한 레이더를 단순 형상의 마스트로 변환하여 RCS를 감소시키는 장점이 있으나 기존의 레이더를 사용할 수 없고, 평면 레이더에 대한 신호 연구도 필요하다.

본 논문에서는 복합 구조물의 RCS를 해석할 수 있는 프로그램, RACSAN(Kwon et al., 2014a)을 이용하여 기존 레이더의 RCS 감소를 위한 폐위형 마스트에 적용되는 FSS의 특징에 대해 살펴보고 이를 적용한 폐위형 마스트의 RCS 감소 효과 및 특성을 분석하였다.

## 2. 이론

### 2.1 레이더반사면적(RCS)

RCS는 레이더에서 방사된 전자파가 물체에 반사되어 되돌아온 크기를 면적의 단위로 나타낸 값이다. RCS 식은 다음과 같이 표현할 수 있다(Knott et al., 1993).

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

여기서,  $E_i$ 는 레이더에서 송신한 전자파가 표적에 입사되는 입사파,  $E_s$ 는 표적에서 산란되어 레이더 방향으로 되돌아오는 산란파,  $R$ 은 레이더와 표적 사이의 거리를 의미한다.

### 2.2 주파수 선택 표면(FSS)

기존 레이더 구조물의 경우 다양한 탐지 센서, 안테나, 케이블 등이 외부에 설치가 되어 있어 높은 RCS 값을 보이고 있다. 이를 줄이기 위해서 단순한 사다리꼴 형태의 6면체로 이루어진 마스트를 이용하여 기존의 레이더를 폐위한 폐위형 마스트와 단순 마스트 구조물에 평면레이더를 설치한 통합마스트가 있다.

폐위형 마스트의 경우 아군 합정의 레이더 주파수는 굴절이나 흡수, 반사가 되지 않고 잘 투과시켜야 하고, 사용하지 않는 주파수는 모두 반사되도록 설계해야하므로 주파수 선택 표면(FSS: Frequency Selective Surface)으로 처리해야 한다. FSS의 특성을 보이는 것은 Fig. 1과 같이 도체의 패턴이 주기적으로 반복되어 특정 주파수 전파의 공진으로 인해 유전율의 변화가 생기게 되고 그에 따라 해당 주파수의 전파가 반사 또는 투과되는 원리이다.

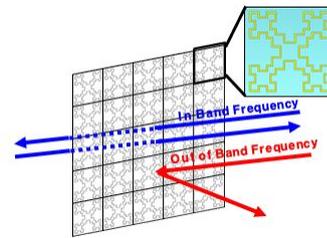


Fig. 1. Outline of Frequency Selective Surface.

#### 2.2.1 주파수 선택 표면 등가회로

FSS는 전파의 공진효과로 인해 특정 주파수 대역의 전파가 투과 또는 반사되는 성질을 가지고 있다. 이러한 성질을 전기회로 이론에서의 인덕턴스와 캐패시턴스로 치환함으로써 구현할 수 있는데 이를 표현한 것이 등가회로이다.

Fig. 2와 같이 인덕턴스(Inductance, L)는 전류의 변화에 의한 전자기유도로 생기는 역기전력의 비율을 의미하고 그 크기는 아래의 식과 같다.

$$L = \mu n^2 A l [H], \quad (2)$$

여기서,  $\mu$ 는 투자율,  $n$ 은 단위길이 당 감은 횟수,  $A$ 는 단면적,  $l$ 은 길이 그리고  $H$ 는 자기장을 나타낸다.

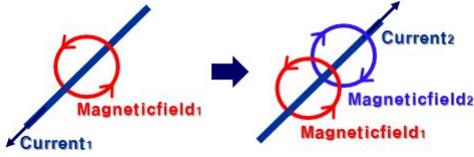


Fig. 2. Outline of Inductance.

FSS 형상에서 이와 같은 성질을 보이는 부분은 Fig. 3에서 빨간색 화살표로 표현된 도체 부분의 길이이다.

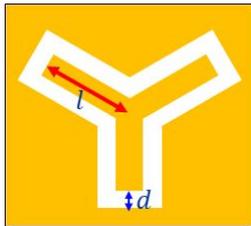


Fig. 3. Shape of Tripole FSS.

여기서  $l$ 은 FSS의 pole의 길이를 나타내고,  $d$ 는 pole과 천공간의 간격을 나타낸다.

Fig. 4와 같이 캐패시턴스(Capacitance,  $C$ )는 극판에 전압을 가해주었을 때 극판에 축적되는 전하량의 비율을 의미하고 그 크기는 아래의 식과 같다.

$$C = \epsilon \frac{S}{d} [F], \quad (3)$$

여기서  $\epsilon$ 은 유전율,  $S$ 는 극판의 면적,  $d$ 는 극판의 간격,  $F$ 는 전압을 나타낸다.

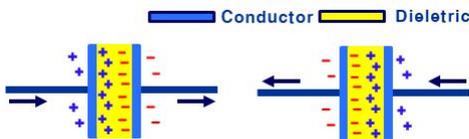


Fig. 4. Outline of Capacitance.

### 2.2.2 대역 통과 필터(Band Pass Filter)

인덕턴스와 캐패시턴스의 조합으로 이루어진 등가회로의 전체 임피던스( $Z$ )는 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$Z = j\omega C + \frac{1}{j\omega L} \quad (4)$$

여기서  $j$ 는 복소수,  $\omega$ 는 주파수를 나타낸다.

임피던스 값이 0이 되는 주파수, 즉 FSS에서 공진이 일어나는 주파수의 값은 아래와 같다.

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \quad (5)$$

식(4)를 이용하여 해당 주파수의 transmission coefficient를 구하는 식은 다음과 같다.

$$|T| = \frac{4\omega CZ_0}{4\omega^2 C^2 Z_0^2 + 4(1 - \omega^2 LC)^2} \quad (6)$$

### 2.2.3 주파수 선택 표면 Scattering

전파가  $z$ 축에 수직하고 무한히 얇은 FSS를 통과한 후 진행하는 투과파에 대한 자기장의 포텐셜은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} A_x(x,y) \\ A_y(x,y) \end{bmatrix} = G(x,y) \times \begin{bmatrix} J_x(x,y) \\ J_y(x,y) \end{bmatrix}, \quad G = \frac{e^{jk_0 r}}{4\pi r} I \quad (7)$$

여기서  $A$ 는  $J$ 에 의해 발생하는 자기장의 포텐셜,  $J$ 는 전파로 인해 FSS 상에 유도된 전류밀도,  $k_0$ 는 free space wave number,  $I$ 는 identity tensor이다.

유도된 자기장으로 인해 FSS로부터 산란되는 전기장  $E_s$ 는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} E_s(x) \\ E_s(y) \end{bmatrix} = \frac{1}{j\omega\epsilon_0} \times \begin{bmatrix} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + k_0 & \frac{\partial^2}{\partial x\partial y} \\ \frac{\partial^2}{\partial x\partial y} & \frac{\partial^2}{\partial y^2} + k_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_x \\ A_y \end{bmatrix}, \quad (8)$$

## 3. 폐위형 마스트 RCS 해석

### 3.1 FSS 특성 분석

폐위형 마스트의 표면에 처리된 FSS 특성에 대해 분석하였다. FSS는 Fig. 5와 같은 tri-pole 모델을 사용하였고, 크기  $9 \text{ mm} \times 9 \text{ mm} \times 24.38 \text{ mm}$ 로 Foam-도체판-유전체판-Foam으로 구성되어 있다. Foam의 두께는  $12 \text{ mm}$ 이고, 도체판의 형태는 천공을 가진 tri-pole의 형태로 두께는  $0.35 \text{ mm}$ 이고 각 pole의 길이  $4.15 \text{ mm}$ , 폭  $1 \text{ mm}$ 이고 천공 간격은  $0.8 \text{ mm}$ 이다. 유전체판의 두께는  $0.35 \text{ mm}$ 이다.

Fig. 6과 7은 pole의 길이 및 두께 변화에 따른 전자기파의 투과손실을 나타낸다. Table 1과 2는 길이 및 두께 변화에 따라 Resonance frequency의 변화를 나타내고 있다. 이에 따라 FSS를 투과할 수 있는 주파수 대역이 달라지고 있다. 길이변

레이더반사면적 감소를 위한 폐위형 마스트 특성 연구

화에 따라 Resonance frequency의 변화가 크게 발생하나, 두께 변화에 따라서는 변화가 거의 없는 것을 확인할 수 있다. Fig. 8과 9는 도체판과 유전체판의 두께 변화에 따른 결과를 나타내고 있다. Table 3과 4에서 알 수 있듯이 두 판의 경우 두께 변화에 따른 Resonance frequency의 변화가 거의 없다. 또한, Fig. 10은 Foam의 두께 변화에 따른 전자기파의 투과손실에 대해 살펴보았다. Table 5에서 보여지는 바와 같이 Foam의 두께 변화에 따라 Resonance frequency가 변화되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 FSS의 길이 및 Foam의 두께 등을 바꾸면 Resonance frequency가 크게 변화하고 그 외에는 거의 변화하지 않는다는 것을 알 수 있고, 이에 따라 투과시키고자 하는 주파수를 선택할 수 있고, 그 외의 주파수는 FSS를 투과하지 못하고 반사하게 된다.

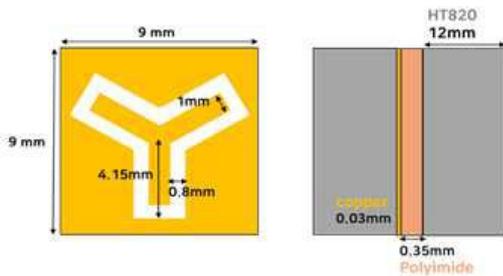


Fig. 5. Property of FSS.

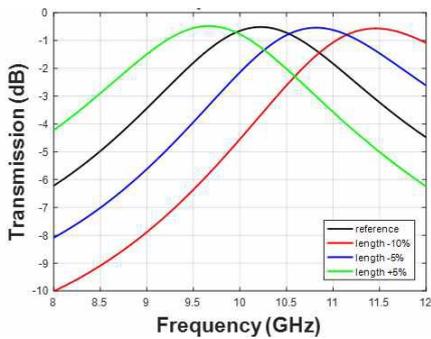


Fig. 6. Transmission of meta material for length variation.

Table 1. Resonance frequency according to length variation

	Resonance frequency
Length 90 %	11.46 GHz
Length 95 %	10.82 GHz
Reference	10.23 GHz
Length 105 %	9.66 GHz

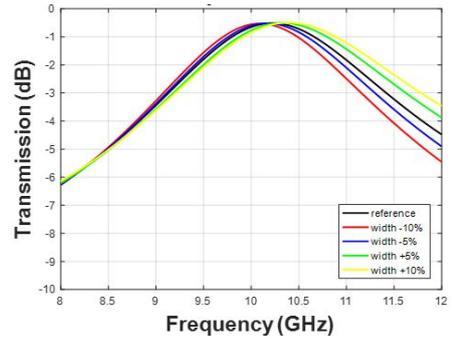


Fig. 7. Transmission of meta material for width variation.

Table 2. Resonance frequency according to width variation

	Resonance frequency
Width 90 %	10.09 GHz
Width 95 %	10.17 GHz
Reference	10.23 GHz
Width 105 %	10.31 GHz
Width 110 %	10.39 GHz

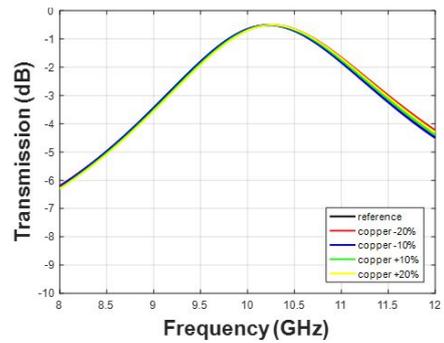


Fig. 8. Transmission of meta material for conductor thickness variation.

Table 3. Resonance frequency according to conductor thickness variation

	Resonance frequency
Conductor thickness 80 %	10.26 GHz
Conductor thickness 90 %	10.22 GHz
Reference	10.23 GHz
Conductor thickness 110 %	10.24 GHz
Conductor thickness 120 %	10.26 GHz

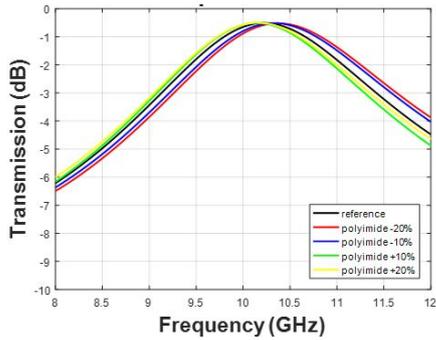


Fig. 9. Transmission of meta material for dielectric thickness variation.

Table 4. Resonance frequency according to dielectric thickness variation

	Resonance frequency
Dielectric thickness 80 %	10.38 GHz
Dielectric thickness 90 %	10.33 GHz
Reference	10.23 GHz
Dielectric thickness 110 %	10.16 GHz
Dielectric thickness 120 %	10.13 GHz

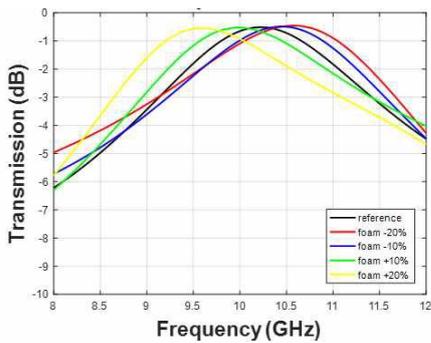
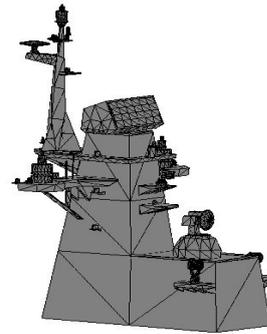


Fig. 10. Transmission of meta material for foam thickness.

Table 5. Resonance frequency according to foam thickness

	Resonance frequency
Thickness 80 %	10.58 GHz
Thickness 90 %	10.45 GHz
Reference	10.23 GHz
Thickness 110 %	9.98 GHz
Thickness 120 %	9.59 GHz

Fig. 6-10을 통해서 Fig. 5의 tri-pole 모델은 투과가능한 주파수가 10.23GHz 임을 알 수 있다. 따라서 10.23 GHz의 주파수에 대하여 폐위형 마스트의 RCS 특성을 분석하였다. 일반적인 레이더와 폐위형 마스트에 대해 RCS를 해석하여 폐위형 마스트의 RCS 감소 효과에 대해 살펴보았고, 고각 및 형상 변화에 따른 RCS 특성에 대해 분석하였다. 일반 레이더 모델은 Fig. 11에 알 수 있듯이 8.2 m×4 m×13.6 m 모델로 10,305개의 요소로 구성되어 있고, 폐위형 마스트 모델은 8.2 m×8.2 m×13.6 m 모델을 8,343개의 요소로 모델링하였다.



(a) General radar model



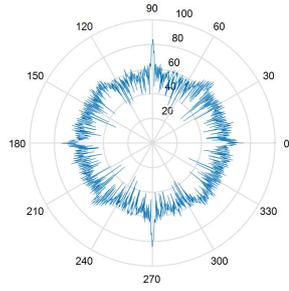
(b) Enclosed mast model

Fig. 11. RCS analysis model.

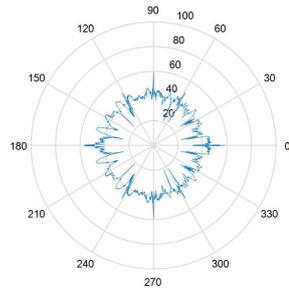
### 3.2 RCS 비교

함정의 위협 고각은 유도탄의 공격패턴에 따라 결정되는데, 최근 개발된 유도탄들은 대부분 종말 호밍단계에서 Sea-skimming 공격패턴을 취하고 있기 때문에 고각 0도가 주요 위협 각도가 된다. 따라서 주파수가 10.23 GHz일 때, 고각 0도에서 일반 레이더와 폐위형 마스트의 RCS를 비교하였다. Fig. 12에서 알 수 있듯이 일반적인 레이더의 경우 다양한 형상의 장비들로 구성되어 있기 때문에 전 방위각에서 고르게 높은 RCS 값을 가짐을 알 수 있다. 이에 반해 폐위형 마스트의 경우 단순한 형태로 구성되어 있기 때문에 Table 6에서 확인 할 수 있듯이 일반적인 레이더에 비해 낮은 RCS 값을 가짐을 확인할 수 있다.

레이더반사면적 감소를 위한 폐위형 마스트 특성 연구



(a) RCS of general radar model



(b) RCS of enclosed mast/sensor model

Fig. 12. RCS analysis comparison of general radar model and enclosed mast model where the elevation angles is 0 degree.

Table 6. Mean RCS analysis comparison of general radar model and enclosed mast model where the elevation angles is 0 degree

	General radar	Enclosed mast/sensor
RCS(dBsm)	19.5	2.1

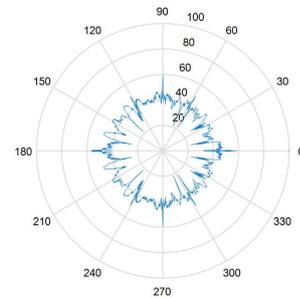
3.3 고각별 RCS 해석

일반적으로 함정의 위협 고각은 0도이나 항공기나 유도탄이 대상표적을 공격할 때 탐색 및 표적 탐지 단계에서 상대적으로 원거리에서 탐색이 이루어지기 때문에 0~10도 부근이 함정의 피탐지 주 위협고각이 된다. 따라서 Fig. 11의 폐위형 마스트의 고각별 RCS 해석을 위하여 10.23 GHz의 전자파가 방위각 0도부터 360도까지 0.2도 간격으로 입사할 경우에 고각을 0도에서 10도까지 2도 간격으로 변화시키면서 RCS 해석을 수행하였다.

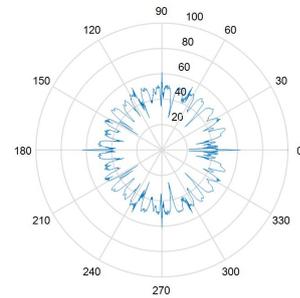
Fig. 13은 해석 고각에 따른 RCS 해석 결과를 나타내며, 고각이 증가함에 따라 RCS 평균값이 증가 하는 것을 확인할 수 있다. 폐위형 마스트의 경우 경사각이 11도이므로 Table 7에서 확인할 수 있듯이 고각이 올라갈수록 하부면에 수직입사하게 되어 RCS 평균값이 증가하는 것을 알 수 있다.

Table 7. Mean RCS analysis results of enclosed mast model by elevation angles

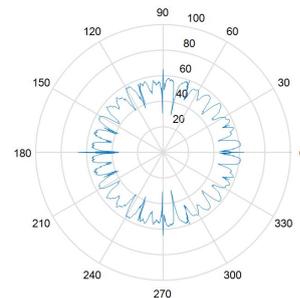
Angle	0°	2°	4°	6°	8°	10°
RCS(dBsm)	2.1	7.4	14.7	17.9	20.0	21.5



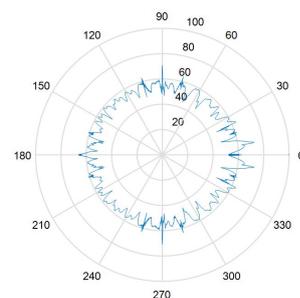
(a) 0 degree



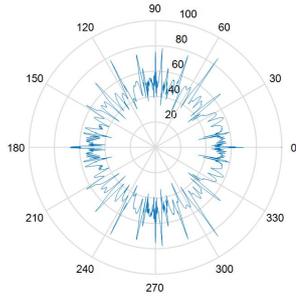
(b) 2 degree



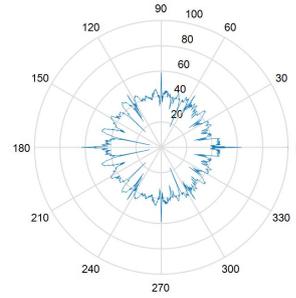
(c) 4 degree



(d) 6 degree

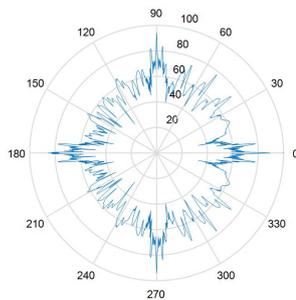


(e) 8 degree



(b) 14 degree

Fig. 14. RCS analysis results of enclosed mast model where the angles are (a) 8 degree and (b) 14 degree.



(f) 10 degree

Fig. 13. RCS analysis results of enclosed mast model where the elevation angles are (a) 0 degree, (b) 2 degree, (c) 4 degree, (d) 6 degree, (e) 8 degree, (f) 10 degree.

### 3.4 경사각별 RCS 해석

Fig. 11의 폐위형 마스트의 경사각은 11도로, 이를 기준으로 -3도와 +3도 변경하여 RCS 해석을 수행하였다.

Fig. 14는 Fig. 11에 나타낸 폐위형 마스트의 경사각을 8도와 14도로 변경한 RCS 해석 결과를 나타낸다. Table 8은 경사각별 RCS 값을 나타낸다. 폐위형 마스트의 경사각이 3도 낮아짐에 따라서 RCS 평균값이 0.1 dBsm 증가 하는 것을 확인 할 수 있다. 또한, 경사각이 3도 증가함에 따라서 RCS 평균값이 0.2 dBsm 감소하는 것을 확인 할 수 있다. 경사각이 감소할수록 신호가 수직입사에 가깝게 되므로 RCS 값이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

Table 8. Mean RCS analysis results of enclosed mast model by angles

Angle	8 °	11 °	14 °
RCS (dBsm)	2.2	2.1	1.9

### 3.5 크기별 RCS 해석

Fig. 11의 폐위형 마스트의 크기는 8.2 m × 8.2 m × 13.6 m로 이를 기준으로 95%와 105%로 크기를 변경하여 RCS 해석을 수행하였다.

Table 9는 크기별 RCS 값을 나타낸다. 폐위형 마스트의 크기가 5% 작아짐에 따라 RCS 평균값이 0.4 dBsm 감소하는 것을 확인 할 수 있다. 또한, 크기가 5% 증가함에 따라서 RCS 평균값이 0.3 dBsm 증가하는 것을 확인 할 수 있다.

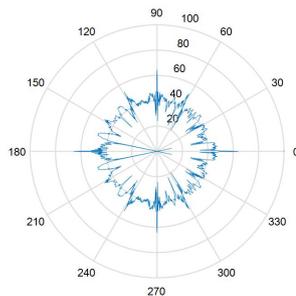
Table 9. Mean RCS analysis results of enclosed mast model by size

Angle	95 %	Reference	105 %
RCS (dBsm)	1.7	2.1	2.4

## 4. 결론

본 논문에서는 복합 구조물의 RCS를 해석할 수 있는 프로그램, RACSAN을 이용하여 RCS 감소기법 중의 하나인 폐위형 마스트에 대해 RCS 해석을 수행하고, 특성을 분석하였다.

폐위형 마스트 구성을 위한 FSS에 대해 살펴보고 길이, 두께 변화 및 도체판, 유체판과 Foam의 두께 변화 등에 따른 FSS의 투과손실 특성에 대해 살펴보았다. 이를 통해 길이, 두께 및 도체판, 유체판과 Foam의 두께 변화를 통해 가용하



(a) 8 degree

자고 하는 주파수는 투과 시키고 그 외의 주파수에 대해서는 반사를 일으키는 FSS 구조 특징에 대해 살펴보았다.

일반적인 레이더와 폐위형 마스트에 대하여 RCS 해석을 수행하였다. 일반적인 레이더의 경우 복잡한 형상으로 인하여 높은 RCS 값을 갖는 반면 폐위형 마스트의 경우 단순한 형상으로 인해 낮은 RCS 값을 갖는 것을 확인하였다.

폐위형 마스트의 고각별 해석 결과 고각이 0도에서 10도까지 높아짐에 따라 RCS 평균값이 19.4 dBsm 증가하는 것을 확인하였다. 그리고, 폐위형 마스트의 경사각이 8도에서 14도까지 증가함에 따라 RCS 평균값이 0.3 dBsm 감소하는 것을 확인하였다. 또한, 폐위형 마스트의 크기 변화에 따른 RCS 증감 변화를 확인하였다. 따라서, 본 연구 결과들을 활용하여 향후 함정 레이더의 RCS를 감소시키기 위해서는 실내공간을 고려하여 가능한 한 폐위형 마스트의 경사각을 높이고, 크기를 줄이는 것이 필요할 것으로 판단된다.

향후에는 특정 주파수가 아닌 광대역 주파수에서 적용 가능한 FSS 구조에 대한 연구와 통합마스트 적용을 위한 평면 레이더 신호 처리에 대한 연구가 필요하다.

## 후 기

본 연구는 차세대함정첨단함형 특화연구실과 서울대학교 해양시스템공학연구소(RIMSE) 및 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었습니다(2015R1D1A1A01060387, 2016R1D1A1A09918294).

## References

- [1] Choi, Y. H., K. C. Shin, J. S. You, J. S. Kim, W. H. Joo, Y. H. Kim, J. H. Park, S. M. Choi and W. S. Kim(2005), Numerical Modeling and Experimental Verification for Target Strength of Submerged Objects, *Journal of Ocean Engineering and Technology*, Vol. 19, No. 1, pp. 64-70.
- [2] Hwang J. T., S. Y. Hong, H. W. Kwon, J. C. Kim and J. H. Song(2015), Analysis of Radar Cross Section for Naval Vessels with Metamaterials and Radar Absorbing Materials, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 21, No. 6, pp. 737-743.
- [3] Knott, E. F., J. F. Shaeffer and M. T. Tuley(1993), *Radar Cross Section*, 2nd Edition, Artech House, Boston· London, pp. 183-224.
- [4] Kwon, H. W., S. Y. Hong and J. H. Song(2014a), Development of radar cross section analysis program for complex structures, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 20, No. 4, pp. 435-442.
- [5] Kwon, H. W., S. Y. Hong, K. K. Lee, J. C. Lee, I. C. Na and J. H. Song(2014b), Analysis of Radar Cross Section for Advanced Naval Vessels, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 20, No. 5, pp. 593-600.
- [6] Schneider, H. G., R. Berg, L. Gilroy, I. Karasalo, I. MacGillivray, M. T. Morshuizen and A. Volker(2003), *Acoustic Scattering by a Submarine: Results from a Benchmark Target Strength Simulation Workshop*, ICSV10, pp. 2475-2482.
- [7] Urick, R. J.(1983), *Principles of underwater sound*, 3<sup>rd</sup> Edition, McGraw-Hill, New York, pp. 291-327.

Received : 2017. 09. 04.

Revised : 2017. 10. 22.

Accepted : 2017. 10. 28.