

## 첨단 함형의 레이더 반사면적 해석

권현웅\* · 홍석윤\*\* · 이광국\*\*\* · 김종철\*\*\*\* · 나인찬\*\*\*\*\* · 송지훈\*\*\*\*\*†

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

## Analysis of Radar Cross Section for Advanced Naval Vessels

Hyun-Wung Kwon\* · Suk-Yoon Hong\*\* · Kwang-Kook Lee\*\*\* · Jong-Chul Kim\*\*\*\*  
· In-Chan Na\*\*\*\*\* · Jee-Hun Song\*\*\*\*\*†

\* Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Koje College Geoje-si 656-701, Korea

\*\* Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

\*\*\* Department of Naval Architecture, Ocean and IT Engineering, Kyungnam University, Changwon-si 631-701, Korea

\*\*\*\* Naval System R&D Institute, Agency for Defense Development, Changwon-si 645-600, Korea

\*\*\*\*\* Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

**요 약 :** 본 연구에서는 첨단 함형에 레이더 반사면적 감소기술을 적용하고 특성을 분석하였다. 특히, 레이더 반사면적에 영향을 주는 요소, 레이더 반사면적을 최소화 하는 방안, 표적의 특수 재질 물성에 대한 레이더 반사면적의 변화 영향을 고찰하였다. DDG-1000 type 첨단 함형의 함정 고각별 레이더 반사면적 해석 결과 고각이 10도 높아짐에 따라서 RCS 평균값이 23.91 dBsm 증가하는 것을 확인하였다. 또한, 함정 상부구조물의 경사각이 6도 증가함에 따라서 RCS 평균값이 1.27 dBsm 감소하는 것을 확인하였다. 마지막으로 상부구조물 앞면과 뒷면에 전파흡수체를 부착한 경우 RCS 평균값이 2.27 dBsm 감소 하는 것을 확인하였다.

**핵심용어 :** 레이더 반사면적, 첨단 함형, 형상화, 전파흡수체, 다중반사 효과

**Abstract :** In this paper, Radar cross section (RCS) calculations of advanced naval vessels model with RCS reduction methods are simulated and RCS results are discussed. Especially, this paper are mainly focusing on the facts influencing on RCS, the ways minimizing RCS and material characteristics of RCS changing-rate. RCS analysis results are given for a DDG-1000 type advanced naval vessels, which show that as the elevation angle increased 10 degree, the mean RCS value increased 23.91 dBsm. Also, as the superstructure angle increased 6 degree, the mean RCS value reduced 1.27 dBsm. Finally, the radar absorbing material attachment at the front and back superstructure have been reduced 2.27 dBsm in terms of mean RCS value.

**Key Words :** Radar cross section, Advanced naval vessels, Shaping, Radar absorbing material, Multi-bounce effect

### 1. 서 론

최근 함정들은 고성능 전자 장비를 기반으로 첨단화되었으며, 적의 탐색 장비에 감지될 확률을 감소시키는 스텔스 기술(stealth technology)은 함정의 생존성(survivablity) 향상에 있어서 가장 중요한 기술 중 하나이다. 스텔스 기술은 적의 레이더, 적외선 탐지기, 음향 탐지기 등의 탐지로부터의 은

폐 기술을 의미한다.

레이더 반사면적(RCS; radar cross section)은 레이더에서 방사된 전자파가 물체에 반사되어 되돌아온 크기를 면적의 단위로 나타낸 값으로(Knott et al., 1993), 함정의 스텔스 성능과 생존성을 평가하는 주요 설계인자이다. 이러한 RCS는 스텔스 형상설계(shape design) 및 RCS가 큰 함정의 주요 부위에 대한 전파흡수체(radar absorbing material) 도포, 함정 마스트에 스텔스 구조물 설치 등 레이더에 의한 피탐 확률을 줄이는 직접적인 스텔스 기법 적용은 물론 전자전장비의 탑재, 선택적 주파수 투과 구조의 적용 등 차함에서 방사되는 전자

\* First Author : khw1@snu.ac.kr, 02-880-7331

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

과 양을 최소화하는 간접적 방법의 적용으로 감소시킬 수 있다. 형상설계는 RCS 감소를 위한 가장 효과적인 방법으로 구조물의 외부형상이 전자파를 입사방향 이외의 방향으로 반사 또는 산란시키도록 설계한다. 스텔스 형상설계를 통해서 큰 수준에서의 RCS를 감소시킬 수 있지만, 이는 함정의 초기설계 단계에서만 적용될 수 있다. 따라서, 형상설계 이후에는 함정의 형상을 변경하는데 어려움이 따르므로 전파흡수체를 적용해 형상설계의 적용이 제한되는 부분에 대해 RCS를 추가적으로 감소시킨다.

전파흡수체는 재료의 전자기 특성 및 전자파의 진행특성을 이용해 입사된 전자파를 흡수 또는 상쇄시킨다. 전파흡수재료는 2차 세계대전부터 개발, 사용되었으며 전자기파의 흡수특성을 나타내는 손실첨가제(lossy filler)를 고무시트와 같이 변형이 쉬운 모재에 혼합시켜 제작한다(Saville, 2005). 전파흡수체의 전자파흡수성능에 영향을 미치는 주요 변수로는 전자파의 주파수(frequency), 입사각도(incident angle), 편파조건(polarization)과 흡수층(absorbing layer)의 전자기 물성(electromagnetic property), 두께 및 구조형상이 있다. 이 중 주파수, 입사각도, 편파조건 및 구조형상은 설계를 위한 조건으로 정해지며, 주요한 설계 변수는 흡수층의 전자기물성인 유전율(permittivity), 투자율(permeability) 및 두께로 축소된다. 전파흡수체는 지금까지 Dallenbach layer, Salisbury screen 등 다양한 형태로 개발되었으며(Knott et al., 1993), 최근에는 유전자 알고리즘(genetic algorithm)를 이용하여 광대역 전파흡수성능을 나타내는 다층형 전파흡수체를 설계하기 위한 다목적함수 최적설계 기법들이 적용되고 있다(Michielsen et al., 1993; Weile et al., 1995; Chambers and Tennant, 1996; Park et al., 2004; Goudos, 2007; Kim et al., 2007).

과거에 건조된 함정들은 RCS 감소를 위한 기법을 전혀 적용하지 않았기 때문에 일반적으로 함정의 크기가 커짐에 따라 함정의 RCS 또한 커졌으나 최근 건조되는 함정들은 설계 단계에서부터 RCS 감소를 위해 많은 사항을 검토, 반영하므로 물리적 크기에 비례해서 함정의 RCS가 커지는 것은 아니다(Park, 2004). 현재 설계단계에서 함정의 RCS 평가는 물리광학법, 기하광학법 등의 고주파수 이론을 기반으로 한 수치해석기법에 의존하고 있다(Kwon et al., 2014).

본 연구에서는 복합 구조물의 RCS를 해석할 수 있는 프로그램, RACSAN(Kwon et al., 2014)을 이용하여 최근 건조되어진 첨단 함형에 RCS 감소기술을 적용하고 특성을 분석하였다. 특히, RCS 감소에 활용될 수 있는 전파흡수체 설계 방법을 구현하여 표적의 특수 재질 물성에 대한 RCS의 변화 영향을 고찰하였다.

## 2. 이 론

### 2.1 레이더 반사면적(RCS)

RCS는 레이더에서 방사된 전자파가 물체에 반사되어 되돌아온 크기를 면적의 단위로 나타낸 값이다. RCS는 대상물과 동일한 크기의 전자파를 반사하는 구(sphere)의 투영면적(projected area)으로 정의되며, 다음과 같이 레이더에서 송신된 전자파가 목표물에 의해 산란되어 되돌아오는 산란파의 전력과 송신 전자파의 전력의 비율로 표현될 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.

식(1)의 RCS 정의를 이용하여, 복잡한 표적의 RCS 해석은 전체 표적을 기하학적으로 단순한 형태를 갖는 여러 개의 요소로 나누어서 각각의 RCS를 해석한 후 이를 합하여 전체 RCS를 구하며 이는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sqrt{\sigma}_{total} \approx \sum \sqrt{\sigma}_{element} \quad (2)$$

### 2.2 RACSAN

임의의 형상을 갖는 복합 구조물에 대한 RCS를 해석하기 위해서 RACSAN(RAdar Cross Section ANalysis program)을 이용하였다(Kwon et al., 2014). 본 프로그램은 기하광학법(GO)을 이용하여 다중 반사 시 경로와 유효면적(effective area)을 계산하고 최종 반사면에서는 물리광학법(PO)을 이용하여 RCS를 해석한다.

RACSAN의 구성은 임의의 형상을 갖는 복합 구조물의 주요 방위각 및 고각에 대한 내/외부 단반사 및 다중반사 RCS 해석 모듈, RCS 반사신호 시간패턴 해석 모듈, 전파흡수체 반사/투과계수 해석 모듈로 구성되어 있다.

### 2.3 RCS 대퓷값 정의

RCS 해석에 적용할 대퓷값은 대상 위협 각도 범위 내에서 평균값(mean value), 중간값(median value), 최대값(maximum value) 등으로 정의할 수 있다.

- 평균값 - 함정 전 방위각의 산술평균한 RCS 값
- 중간값 - 함정 전 방위각의 값을 오름차순으로 정렬했을 때 중간위치의 RCS 값
- 최대값 - 함정 전 방위각의 최대 RCS 값

선택 기준에 따라 성능 평가에 차이가 있을 수 있는데, 수신 신호의 강도를 통계적인 관점에서 확률로 판단할 경우에는 대푯값을 평균값으로 정의하는 것이 타당하다. 또한, RCS 측정 장비의 데이터 처리방법 및 레이더 표적 탐지원리를 고려해도 평균값으로 정의하는 것이 타당하다. 평균값의 의미는 평방미터로 정의된 RCS에서 평균을 취한 후 dBsm을 계산해야 한다. 중간값의 경우 방위각의 가장 많은 영역이 중간값 근처에 위치하고 있으므로 위협 각도 측면에서 볼 때 유용한 대푯값이다.

2.4 다층형 전파흡수체 설계

2.4.1 유전율(permittivity), 투자율(permeability)

전자파(electromagnetic wave)는 전자기적 특성이 다른 매질 (medium)을 만나면 반사와 투과 현상이 발생되며, 이러한 특성은 매질의 전기적, 자기적 특성을 나타내는 유전율과 투자율에 의하여 결정된다. 유전율은 물질이 전기력을 함유할 수 있는 크기(capacity)를 의미하고, 투자율은 매질에 따른 자속 (magnetic flux)의 통과하기 쉬운 정도를 의미한다(Cheng, 1993).

$$\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' \quad (3)$$

$$\mu_r = \mu_r' - j\mu_r'' \quad (4)$$

여기서,  $\epsilon$ 는 유전율,  $\mu$ 는 투자율을 나타낸다. 아래 첨자  $r$ 은 공기 중의 유전율과의 비를 나타낸다. 식(3)의 실수항은 전기력을 함유할 수 있는 크기, 허수항은 열로 손실되는 에너지의 크기를 나타낸다. 또한, 식(4)의 실수항은 자기가 물체를 통과할 수 있는 정도, 허수항은 자성손실을 의미한다.

2.4.2 전자파 전송행렬

다층형 전파흡수체의 경우 표면에서의 입력임피던스는 전송선로 이론을 적용하여 각 흡수층 경계에서의 입력임피던스를 순차적으로 계산하여 행렬식으로 정리한 전자파 전송행렬이 적용된다(Collin, 1992).

Fig. 1은  $n$ 층으로 구성되어 있는 다층형 전파흡수체 내부의 각 층 경계에서 전자파의 반사, 투과 현상을 나타내며,  $R_i$ 와  $T_i$ 는 각 층의 경계에서의 반사계수와 투과계수,  $\theta_i$ 는 각 층의 전기적길이(electric length),  $c_i$ 는 표면에서 두께방향으로 진행하는 전자파,  $b_i$ 는 각 층에서 반사되어 진행하는 전자파를 의미한다.

Fig. 1의 두 번째 층으로 입사하는 입사파  $c_2$ 와 반사파  $b_2$ 를 이용하여 첫 번째 층의 입사파  $c_1$ 과 반사파  $b_1$ 을 다음과 같이 행렬식으로 나타 낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} c_1 \\ b_1 \end{bmatrix} = \frac{1}{T_1} \begin{bmatrix} e^{j\theta_1} & R_1 e^{-j\theta_1} \\ R_1 e^{j\theta_1} & e^{-j\theta_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_2 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서,  $\theta_i = k_i l_i$ 이며  $l_i$ 는  $i$ 번째 층의 두께,  $k_i$ 는 전자파상수이다. 두 번째 층과 세 번째 층 경계에서의 반사, 투과는 식(5)와 동일하게 두 번째 층과 세 번째 층의 계수들을 사용하여 나타낼 수 있으며, 이러한 과정을 확장하면 다층형 전파흡수체의  $n$ 층 표면에서 반사, 투과되는 전자파는 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} c_1 \\ b_1 \end{bmatrix} = \prod_{i=1}^n \frac{1}{T_i} \begin{bmatrix} e^{j\theta_i} & R_i e^{-j\theta_i} \\ R_i e^{j\theta_i} & e^{-j\theta_i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{n+1} \\ b_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{n+1} \\ b_{n+1} \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서,  $2 \times 2$  행렬  $A_{ij}$ 를 전자파전송행렬이라고 한다.

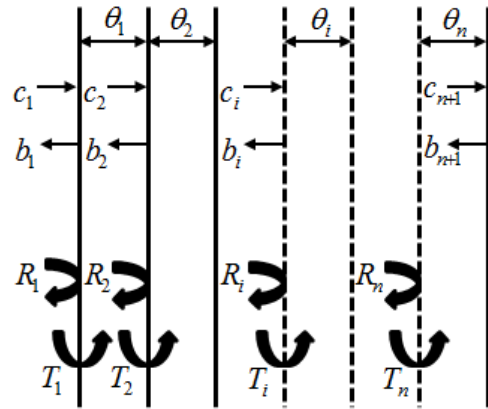


Fig. 1. The reflection and transmission in the multi-layer wave absorber.

다층형 전파흡수체에서 반사되는 전자파의 세기는 반사계수로 나타낼 수 있다. Fig. 1의 최종 마지막 층의 오른쪽에서 입사하는 전기장이 존재 하지 않을 경우 반사는 일어나지 않는다. 즉,  $b_{n+1} = 0$ 을 만족할 때, 반사계수는 다음식을 통해 구할 수 있다.

$$R = \frac{b_1}{c_1} = \frac{A_{21}}{A_{11}} \quad (7)$$

다층형 전파흡수체 적용을 통한 반사계수의 변화를 고려한 RCS 계산식은 식(2)를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sqrt{\sigma}_{total} \approx \sum R \sqrt{\sigma}_{element} \quad (8)$$

### 3. 첨단 함형의 RCS 해석

복합 구조물의 RCS를 해석할 수 있는 프로그램, RACSAN (Kwon et al., 2014)을 이용하여 최근 건조되어진 첨단 함형에 RCS 감소기술을 적용하고 특성을 분석하였다. 해석 모델은 Fig. 2에 나타낸 길이 180m, 폭 24.6 m, 흘수 8.4 m, 만재배수량 14,064 tons의 DDG-1000 type 함정을 4,065개의 요소로 모델링하여 RCS 해석을 수행하였다.

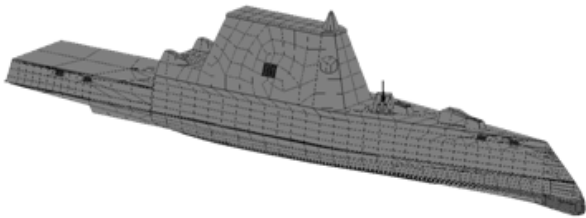
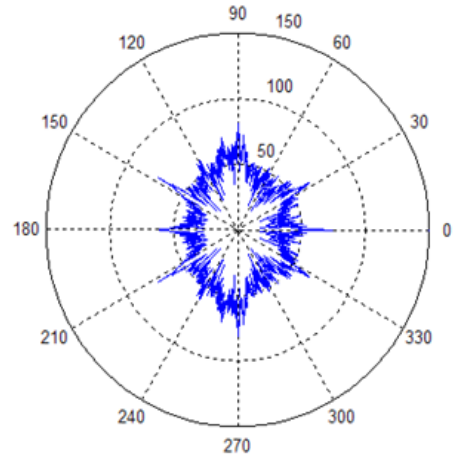


Fig. 2. DDG-1000 type advanced naval vessels model.

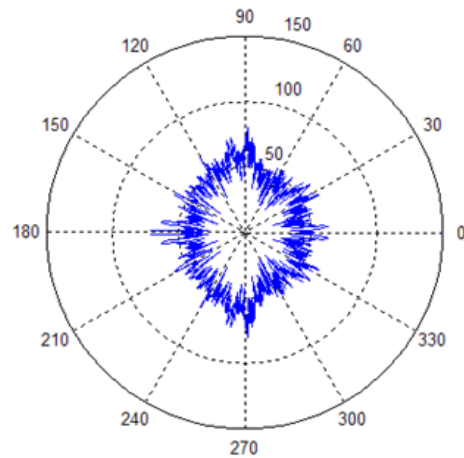
#### 3.1 고각별 RCS 해석

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. 또한, 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. 2의 함정 고각별 RCS 해석을 위하여 4GHz의 전자파가 방위각 0도부터 360도까지 0.2도 간격으로 입사할 경우에 고각을 0도에서 10도까지 2도 간격으로 변화시키면서 RCS 해석을 수행하였다.

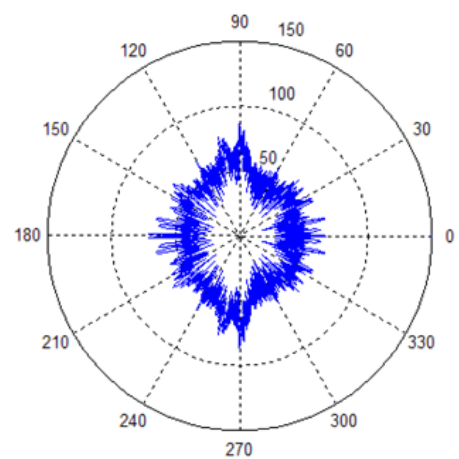
Fig. 3은 Fig. 2에 나타낸 함정의 고각 0도와 6도 그리고 10도의 경우 RCS 해석 결과를 나타내며, 고각이 10도 높아짐에 따라서 RCS 평균값이 23.91 dBsm 증가 하는 것을 확인 할 수 있다. 특히, 고각이 4도 이상부터 RCS 평균값이 크게 증가하는 것을 확인 할 수 있다. Table 1은 Fig. 2에 나타낸 함정의 고각을 0도에서 10도까지 2도 간격으로 증가시키면서 해석한 RCS 평균값들이다. 예상했던바와 같이 고각이 높아질수록 RCS 평균값이 증가하는 것을 확인 할 수 있다.



(a)



(b)



(c)

첨단 함형의 레이더 반사면적 해석

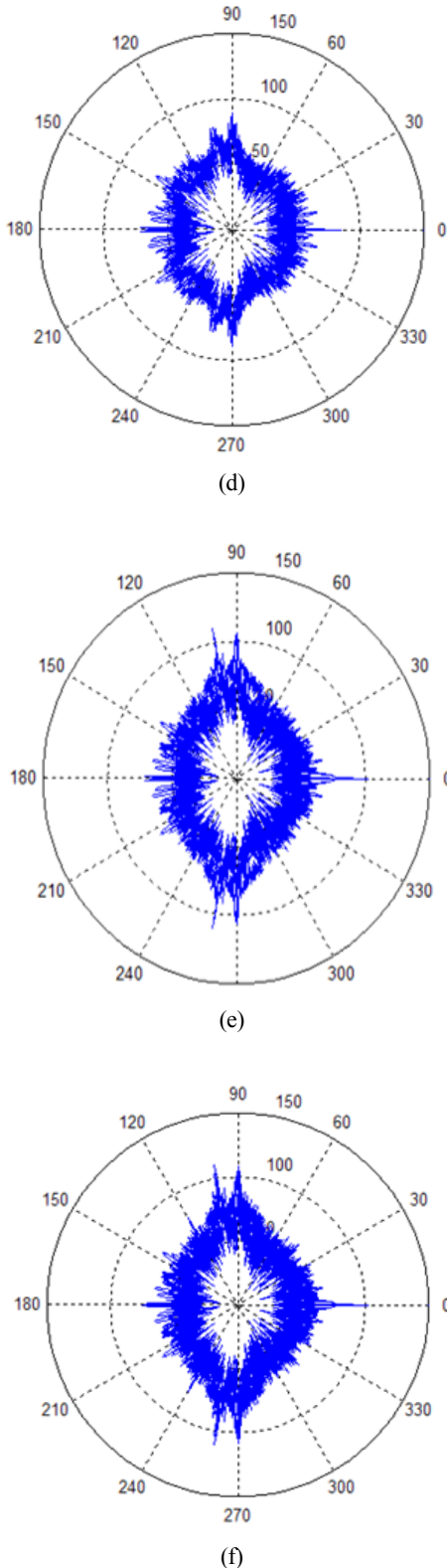


Fig. 3. RCS analysis results of DDG-1000 type advanced naval vessels model where the elevation angles are (a) 0 degree, (b) 2 degree, (c) 4 degree, (d) 6 degree, (e) 8 degree, (f) 10 degree.

Table 1. Mean RCS analysis results of DDG-1000 type advanced naval vessels model by elevation angles

Angle	0°	2°	4°	6°	8°	10°
RCS(dBsm)	13.46	15.71	19.50	21.23	34.06	37.37

3.2 상부 구조물의 경사각별 RCS 해석

함정의 스텔스 설계에서 가장 기본적이고 중요한 방법은 형상 설계이다. 산란과가 크게 발생하는 구조물들을 살펴보면, 표적으로부터 산란되는 전자파의 에너지는 그 표적면의 법선 방향으로 가장 크게 분포한다.

함정의 상부 구조물은 선체보다 RCS에 미치는 영향이 크다. 따라서, 상부 구조물의 설계는 다음과 같은 원칙에 따라 설계되어야 한다.

- 경사각을 가지는 평판이 사용되어야 하며 평판의 방향은 희생각으로 설정된 주요위치를 지향해야 한다.
- 면을 구성하는 모든 평판은 동일한 경사각 각도를 적용하여 불연속을 최소화해야 하며 코너 반사 구조를 피해야 한다.
- 평판의 경사각은 요구되는 RCS 수준에 따라 경사각을 결정 할 수 있다.

위의 설계 원칙에 따라 Fig. 2의 함정 상부구조물 경사각별 RCS 해석을 위하여 4 GHz의 전자파가 방위각 0도부터 360도 까지 0.2도 간격으로 입사할 경우에 상부구조물 경사각을 변화시키면서 RCS 해석을 수행하였다. Fig. 2의 함정 상부구조물의 경사각은 19도로, 이를 기준으로 -3도와 +3도 변경하여 RCS 해석을 수행하였다.

Fig. 4는 Fig. 2에 나타낸 함정의 상부구조물 경사각을 16도와 22도로 변경한 RCS 해석 결과를 나타낸다. 상부구조물의 경사각이 3도 낮아짐에 따라서 RCS 평균값이 0.76 dBsm 증가 하는 것을 확인 할 수 있다. 또한, 상부구조물의 경사각이 3도 증가함에 따라서 RCS 평균값이 0.51 dBsm 감소 하는 것을 확인 할 수 있다. Table 2는 Fig. 2에 나타낸 함정 상부구조물 경사각을 16도에서 22도까지 3도 간격으로 증가시키면서 해석한 RCS 평균값들이다. 예상했던바와 같이 상부구조물 경사각이 증가할수록 RCS 평균값이 감소하는 것을 확인 할 수 있다.

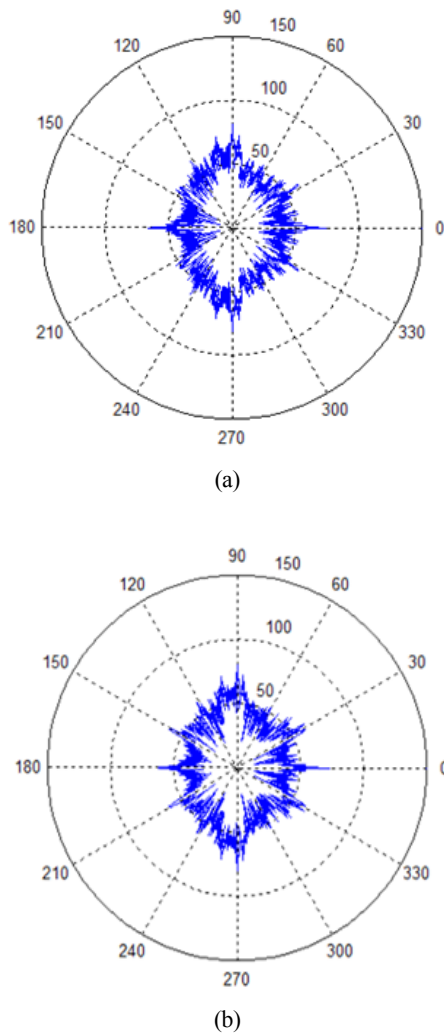


Fig. 4. RCS analysis results of DDG-1000 type advanced naval vessels model where the superstructure angles are (a) 16 degree and (b) 22 degree.

Table 2. Mean RCS analysis results of DDG-1000 type advanced naval vessels model by superstructure angles

Angle	16°	19°	22°
RCS(dBsm)	14.22	13.46	12.95

### 3.3 전파흡수체 적용에 따른 RCS 해석

함정의 형상 설계만으로 충분한 RCS 감소를 만족하기 어려운 경우 2.3절의 이론들을 기반으로 한 전파흡수체의 적용을 고려해 볼 수 있다. 손실이 큰 물질로 되어 있는 전파흡수체는 입사하는 전자파 에너지를 손실에 의한 열 에너지로 변환하는 물질이다. 전파흡수체는 협대역에서 손실을 극대화한 형태와 광

대역에서 손실 특성과 주파수 특성을 적절히 조화시킨 형태가 있다. 협대역 전파흡수체는 탑재장비 또는 구조물간에 발생 할 수 있는 특정 대역에서 다중반사를 줄이기 위해 사용하거나, 위협 주파수가 특정 주파수에서 알려져 있을 경우 사용할 수 있으며, 광대역 전파흡수체는 불특정 위협 주파수에서 존재하는 RCS를 줄이기 위해 사용한다. 따라서, Fig. 2의 함정에 전파흡수체 배치에 따른 RCS 감소 효과를 살펴 보기 위하여, 먼저 Fig. 2의 함정에 대해 RCS 해석을 수행하고 기여도가 높은 부분에 대하여 협대역 전파흡수체를 적용하고 RCS 해석을 수행하였다.

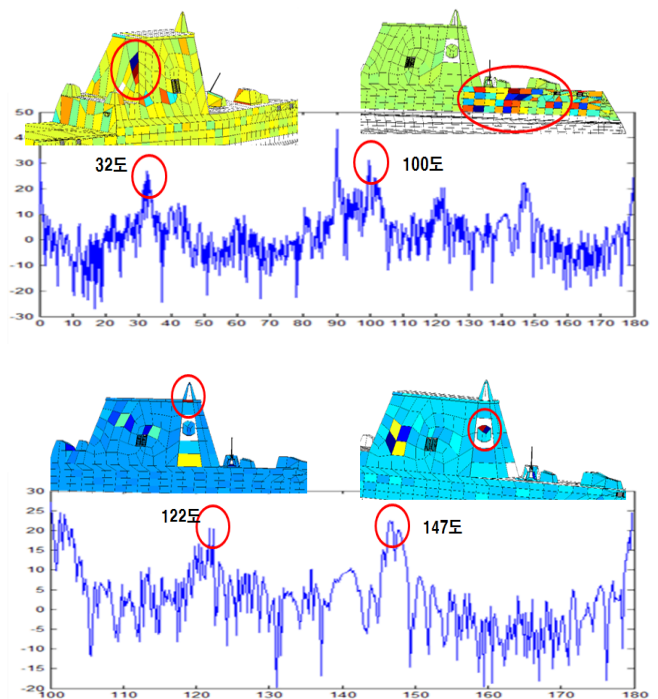


Fig. 5. RCS contribution rate analysis results of DDG-1000 type advanced naval vessels model.

Fig. 5는 Fig. 2의 함정에 4 GHz의 전자파가 방위각 0도부터 360도까지 0.2도 간격으로 입사할 경우에 각각의 방위각별 RCS 기여도 분석 결과이다. 일반적인 함정의 희생각 이외에 32도, 100도, 122도, 147도에서 RCS가 큰 값이 발생하는 것을 알 수 있는데 각각의 각도에서 RCS가 크게 나오도록 기여하는 요소를 나타내었다. 붉은색으로 표시된 구역이 RCS가 큰 값을 나타내는 요소이다. 함정과 같은 대형 구조물은 전 방위각에서 RCS를 감소시키는데 많은 어려움이 있다. 따라서, 함정의 형상 설계시 RCS 감소가 현실적으로 불가능한 함수, 함미, 좌현, 우현 방향으로 일정 범위를 희생각으로 정의하는 것이 일반적이다. 희생각에서는 RCS 감소를 우선하지 않고, 오히려 반사에너지를



희생각 방향으로 모이도록 유도하여 형상설계를 수행한다. 또한, Fig. 5의 RCS 기여도 분석을 통해서 3.2절에서 언급된 것처럼 함정의 상부구조물이 선체보다 함정의 RCS가 큰 값이 나오도록 기여를 하고 있는 것을 알 수 있다. 특히 상부구조물의 옆면이 아니라 앞면과 뒷면에서의 RCS 기여도가 큰 값을 나타내는 것을 확인 할 수 있다.

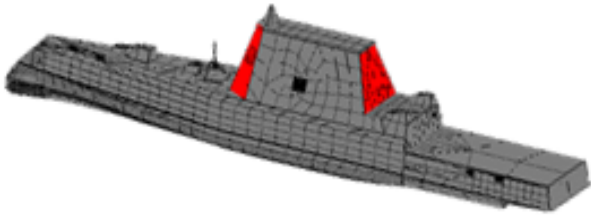


Fig. 6. DDG-1000 type advanced naval vessels model with the radar absorbing materials at the front and back structure.

Fig. 5의 결과로부터 Fig. 6에서 보는 것처럼, Fig. 2의 함정 상부구조물 앞면과 뒷면에 전파흡수체를 부착한 경우에 대하여 RCS 해석을 수행하였다. 전파흡수체의 주요 재료특성은 유전율( $\epsilon_r = 15$ ), 투자율( $\mu_r = 0.09 - 1.66j$ ) 및 두께( $t = 1.1mm$ )를 적용하였다(Michielsen et al., 1993).

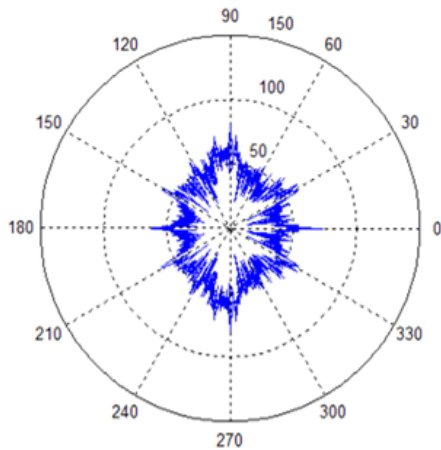


Fig. 7. RCS analysis results of DDG-1000 type advanced naval vessels model after applying the radar absorbing material at the front and back superstructure.

Fig. 7은 Fig. 6에 나타난 함정의 상부구조물 앞면과 뒷면에 전파흡수체를 부착한 경우에 대한 RCS 해석 결과를 나타낸다. 상부구조물 앞면과 뒷면에 전파흡수체를 부착한 경우에 Fig. 3(a)의 전파흡수체 적용 전의 결과에 비해서 RCS 평균값이

2.27 dBsm 감소 하는 것을 확인 할 수 있다. 따라서, 함정의 형상 설계만으로 RCS 감소를 만족하기 어려운 경우에는 Fig. 5의 RCS 기여도 분석을 통해서 RCS가 크게 나타나는 요소에 전파흡수체를 적용하는 것이 RCS 감소에 효과적인 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 복합 구조물의 RCS를 해석할 수 있는 프로그램, RACSAN을 이용하여 최근 건조되어진 첨단 함형(DDG-1000 type)에 RCS 감소기술을 적용하고 특성을 분석하였다. 특히, 함정의 형상 설계만으로 RCS 감소를 만족하기 어려운 경우에 활용 될 수 있는 전파흡수체 설계 방법을 구현하여 표적의 특수 재질 물성에 대한 RCS의 감소 효과를 분석하였다.

함정 고각별 해석 결과 고각이 10도 높아짐에 따라서 RCS 평균값이 23.91 dBsm 증가하는 것을 확인하였다. 또한, 함정 상부구조물의 경사각이 6도 증가함에 따라서 RCS 평균값이 1.27 dBsm 감소하는 것을 확인하였다. 마지막으로 RCS 기여도 분석을 통해서 RCS가 크게 나타나는 상부구조물 앞면과 뒷면에 전파흡수체를 부착한 경우 RCS 평균값이 2.27 dBsm 감소하는 것을 확인하였다. 따라서, 본 연구 결과들을 활용하여 차세대 함정 첨단 함형 설계에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단한다.

향후에는 전파흡수체에 사용되는 스텔스 특수도료에 대한 추가 연구와 실측 자료에 대한 비교 연구가 추가 연구 수행이 요구된다.

#### 후 기

본 연구는 차세대함정첨단함형 특화연구실의 지원으로 수행되었습니다.

#### References

- [1] Chambers, B. and A. Tennant(1996), Optimized design of Jaumann radar absorbing materials using a genetic algorithm, IEEE proc. radar, sonar, navig., Vol. 143, No. 1, pp. 23-30.
- [2] Cheng, D. K.(1993), Fundamentals of Engineering Electromagnetics, Addison-Wesley, Massachusetts, pp. 272-330.
- [3] Collin, R. E.(1992), Foundations for microwave engineering, McGraw-Hill, pp. 72-219.

- [4] Goudos, S. K.(2007), A versatile software tool for microwave planar radar absorbing materials design using global optimization algorithms, *Materials and Design*, Vol. 28, pp. 2585-2595.
- [5] Kim, K. H., D. S. Cho and J. H. Kim(2007), Broad-band Multi-layered Radar Absorbing Material Design for Radar Cross Section Reduction of Complex Targets Consisting of Multiple Reflection Structures, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 44, No. 4, pp. 445-450.
- [6] Knott, E. F., J. F. Shaeffer and M. T. Tuley(1993), *Radar Cross Section*, 2nd Edition, Artech House, Boston ·London, pp. 183-224.
- [7] Kwon, H. W., S. Y. Hong and J. H. Song(2014), 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.
- [8] Michielssen, E., S. M. Sajer, S. Ranjithan and R. Mittra (1993), Design of lightweight, broad band microwave absorbers using genetic algorithms, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*, Vol. 41, No. 6/7, pp. 1024-1031.
- [9] Park, H. S., I. S. Choi, J. K. Bang, S. H. Suk, S. S. Lee and H. T. Kim(2004), Optimization design of radar absorbing materials for complex target, *Journal of electromagnetic waves and applications*, Vol. 18, pp. 1105-1117
- [10] Park, T. Y.(2004), A study on RCS prediction code for battleship, MS. Dissertation, POSTECH, pp. 29-61.
- [11] Saville, P.(2005), A review of radar absorbing material, TM 2005-003, Defence R&D Canada-Atlantic, pp. 7-23.
- [12] Weile, D. S., E. Michielssen and D. E. Goldberg(1995), Genetic algorithm design of pareto optimal broadband microwave absorbers, *IEEE Trans. electromagn. compat.*, Vol. 38, No. 3, pp. 518-525.

---

원고접수일 : 2014년 09월 16일

원고수정일 : 2014년 10월 01일

게재확정일 : 2014년 10월 28일