

장파봉파가 해상표적의 RCS에 미치는 영향에 대한 수치해석

김국현^{†*}, 조대승^{**}, 김진형^{**}, 이정관^{*}

(주)한진중공업 특수선설계팀^{*}, 부산대학교 조선해양공학과^{**}

Numerical Analysis on the Effect of Long-crested Wave to the RCS of Marine Target

Kookhyun Kim^{†*}, Dae-Seung Cho^{**}, Jin-Hyeong Kim^{**} and Jeong-kwan Lee^{*}

Special Ship Design Team, Hanjin Heavy Industries and Constructions Co. Ltd.^{*}
Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University^{**}

Abstract

RCS effects of long-crested wave surfaces to marine targets are numerically analyzed using a 4-path model and a direct analysis method, developed based on physical optics and a combined method of physical optics/geometric optics, respectively. Reflectivity of long-crested wave surfaces is described with "Fresnel reflection coefficients". The MPM(modified Pierson-Moskowitz) ocean spectrum is adopted to simulate long-crested waves in the direct analysis method. A numerical analysis of a benchmark model assures the validity of both methods. The direct analysis method is applied to the RCS calculation of electromagnetically large marine targets, which are vertically oriented or slanted to the long crested wave surfaces randomly generated with various significant wave heights. The long-crested wave surface much highly increases the RCS of the marine target, but those effects are decreased as the significant wave height grows up. At low elevation angle, the vertical model has entirely high RCS comparing slanted model, and the RCS of vertical flat plate is the highest on the calm sea surface, while those of slanted flat plates are the lowest on the calm sea surface. The RCS of marine targets on continuously-varying sea surface is more coherent at lower elevation angles, as well.

※Keywords: Radar cross section(RCS), Long-crested wave(장파봉파), Marine target(해상표적), Four-path model(4-경로 모델), Direct analysis method(직접해석방법)

1. 서론

수상함정은 대표적인 군사용 해상표적으로서, 적 레이더 또는 레이더센서를 장착한 대함미사일에 대한 생존성 향상을 위해 각종 RCS(Radar Cross Section) 감소기술을 적용하고 있다. 이를 위해 설계단계에서부터 RCS 해석을 수행하고 그에 따른 적절한 감소대책을 수립하고 있으나, 해수면의 다중반사효과와 해상표적의 운동특성은 설계단계에서 고려하지 않는 것이 일반적이다. 반면, 실 해역에서 해상표적의 RCS는 자체 운동 특성과 끊임없이 변화하는 해수면에 의해 크게 영향을 받게 된다. 특히 실 해역에서 적 위협세력과 조우하는 경우 수상함정의 자체 RCS 특성뿐 아니라 해수면 반사에 의한 RCS 증감 효과 또한 작전 측면에서 매우 중요한 인자가 된다. 따라서 이에 대한 정량적인 해석방법에 대한 연구가 필요하다.

해수면으로 인한 다중경로 효과를 포함한 해상 표적에 대한 RCS 해석방법으로는 4-경로 모델(4-path model)과 직접해석방법(direct analysis method)이 있다. 4-경로 모델은 해수면이 무한평면이고 해수면과 해상표적 간에 레이더파가 네가지 경로를 통해서만 전달된다고 가정하는 방법이다. 이 방법은 해석이 용이하다는 장점이 있으나 해수면을 무한 평면으로만 모델링 하므로 실 해역에서의 해수면 형상을 고려할 수 없는 단점이 있다. 반면, 직접해석방법은 4-경로모델과는 달리 실제 해상 스펙트럼을 이용해 해수면 형상을 모델링하므로 해수면 형상에 의한 산란현상을 보다 현실성 있게 해석할 수 있다.

상기의 방법들은 해석적 방법, 모멘트법, 물리광학법, 기하광학법 등 각종 전자기파 산란해석이론을 기반으로 하는데, 수상함정과 같은 대형 복합구조물의 RCS 해석에는 고주파수 해석기법인 물리광학/기하광학 혼합방법이 가장 보편적으로 사용되고 있다.

Lohrmann(2001)은 해상표적을 점 산란자들의 집합체로 간주하고 4-경로 모델을 적용하여 해상 표적의 RCS 해석을 수행하였으며, Anastassiou(2002)는 물리광학법에 근거한 4-경로 모델을 이용하여 무한평면상에 존재하는 표적에 대한 RCS

해석을 수행하였다. 또한, Burkholder 등(2001)은 반복 물리광학(iterative physical optics)법에 근거한 직접해석방법을 이용해 3차원 해상표적에 대한 RCS 해석을 수행한 바 있다.

본 연구에서는 4-경로 모델과 직접해석방법을 이용해 해수면에 의한 다중 반사 경로 효과를 포함한 해상표적에 대한 RCS 해석을 수행하였다. 또한, 전자기파 산란해석 이론으로는 4-경로 모델의 경우 물리광학법을, 직접해석방법에 대해서는 물리광학/기하광학 혼합방법을 적용하였다.

본 연구에서 구현한 4-경로 모델과 직접해석방법의 검증을 위해 무한 해수면 상에 놓인 사각 평판으로 구성된 기준모델에 대한 RCS 해석을 수행하고, 그 결과를 Anastassiou(2002)의 결과와 비교하였다. 또한, 해상 스펙트럼을 이용해 해수면을 장파봉파(long-crested wave)로 모델링하고 그 위에 놓여 있는 수직 또는 경사평판에 대한 RCS 해석을 수행하여 유의파고에 따른 RCS 특성변화를 평가하였다.

2. 해상표적의 RCS 해석

해상표적은 레이더파에 직접 조사되기도 하지만, 해수면에 의해 간접 조사되기도 한다. 또한, 바람과 같은 외력에 의해 해수면과 해상표적은 끊임없이 운동을 하게 되며, 이에 따라 해상표적 자체 RCS 값도 변동하게 된다. 이에 본 연구에서는 이러한 해수면에 의한 RCS 증감효과를 4-경로 모델과 직접해석방법을 적용하여 평가하였다.

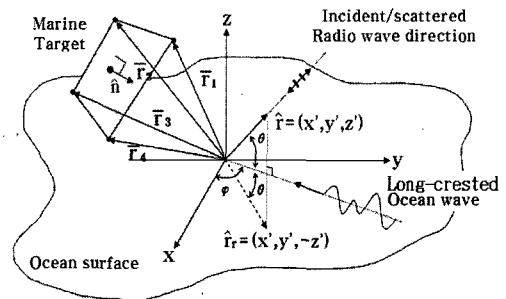


Fig. 1 A marine target on a rough ocean surface illuminated by RADIO wave.

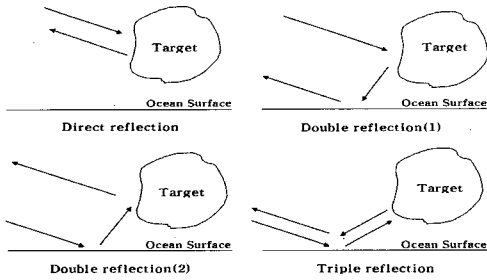


Fig. 2 Four-path model

2.1 4-경로 모델

Fig. 1에 나타난 바와 같이 불규칙한 해수면 위에 표적이 놓인 경우, 해수면은 통계학적인 관점에서 등가 반사계수를 갖는 무한평면으로 간주할 수 있다. 이 경우, 원거리로부터 입사되는 레이더 파는 Fig. 2에 보인 바와 같은 4가지 경로를 통해 입사 및 반사된다고 가정할 수 있으며, 해상표적에 대한 HH 및 VV-편파 RCS σ_{HH} 와 σ_{VV} 는 식 (1)과 같이 산정할 수 있다(Anastassiou 2002).

$$\sigma_{ii} = \frac{k^2}{\pi} \left| \hat{r} \cdot \hat{n} I(2\hat{r}) + (\hat{r} + \hat{r}_r) \cdot \hat{n} I(\hat{r} + \hat{r}_r) R_{ii} + \hat{r}_r \cdot \hat{n} I(2\hat{r}_r) R_{ii}^2 \right|^2, (ii = HH, VV) \quad (1)$$

여기서, $k(=2\pi/\lambda, \lambda: \text{파장})$ 는 레이더파의 파수이며, R_{HH} 와 R_{VV} 는 각각 HH 및 VV-편파에 대한 해수면의 프레넬 반사계수(Fresnel reflection coefficients)를 의미한다. 또한, \hat{r} 은 레이더파의 입사/반사 방향에 대한 단위벡터를, \hat{r}_r 은 \hat{r} 의 평균해수면(x-y 평면)에 대한 대칭벡터를 나타내며, \hat{n} 는 표적면의 단위 법선벡터이다.

한편, 해상표적이 Fig.1에 보인 바와 같은 동일 평면상의 4개의 점으로 구성되는 완전도체 평면인 경우, $I(2\hat{r}), I(\hat{r} + \hat{r}_r), I(2\hat{r}_r)$ 은 식 (2)와 같이 산정할 수 있다.

$$I(\bar{v}) = \frac{j}{k(\bar{v} - \bar{v} \cdot \hat{n}\hat{n})^2} \cdot \sum_{q=1}^4 \left[\bar{v} \times \hat{n} \cdot (\bar{r}_{q+1} - \bar{r}_q) \right] \cdot \sin c \left\{ \frac{k}{2} \bar{v} \cdot (\bar{r}_{q+1} - \bar{r}_q) \right\} \cdot \exp \left\{ \frac{jk}{2} \bar{v} \cdot (\bar{r}_{q+1} + \bar{r}_q) \right\} \quad (2)$$

여기서, \bar{v} 는 식 (1)의 $2\hat{r}, \hat{r} + \hat{r}_r, 2\hat{r}_r$ 에 대응하는 변수벡터이며, j 는 단위허수, k 는 레이더 파수, \bar{r}_q 는 표적면을 구성하는 q-번째 점에 대한 위치벡터이다.

2.2 직접해석방법

직접해석방법은 4-경로모델과는 달리 해수면을 해상스펙트럼을 이용해 모델링하고 반사특성을 지정하여 해상표적과 함께 RCS 해석을 수행하는 방법이다.

본 연구에서는 해수면을 특정 방위각으로 입사하는 장파붕파로 가정하고 식 (3)의 ITTC에서 권고한 MPM(Modified Pierson-Moskowitz) 스펙트럼(Fossen 1994)을 적용하여 그 형상을 정의하였다.

$$S(\omega) = -\frac{4\pi^3 H_s^2}{\omega^5 T^4} \cdot \exp\left(-\frac{16\pi^3}{\omega^4 T^4}\right) \quad (3)$$

여기서, $s(\omega)$ 는 장파붕파의 파워 스펙트럴 밀도 함수(power spectral density function)이며, H_s 는 유의파고, ω 는 장파붕파의 원주파수, T 는 지배파주기(dominant wave period)를 의미한다.

한편, RCS 해석은 수상함정, 잠수함 등과 같은 대형표적의 산란파해석에 적합한 것으로 알려진 물리광학/기하광학 혼합방법을 적용하였다(김국현 등 2005). 이는 해상표적면을 유한개의 평면으로 표현하고, 이로부터 단일반사, 다중반사 등이 발생하는 산란평면인 가시면과 가상면을 산정해 각각의 RCS 기여도로부터 해상표적 RCS를 계산하는 방법이다.

Fig. 1에 나타난 바와 같이 장파붕파의 입사방향벡터와 해상표적에 대한 법선벡터가 레이더파의 입사평면(incident plan)상에 존재하는 경우, 기하학적인 특성으로 인한 분극(depolarization)현상은 나타나지 않는다. 또한, 해상표적이 완전도체이고 유한개의 산란평면으로 대별되는 경우, HH 및 VV-편파 RCS는 식 (4)에 의거하여 구할 수 있다.

$$\sigma_{ii} = \frac{k^2}{\pi} \left| \sum_{m=1}^M \left\{ \left(\prod_{n=1}^N R_{ii}^n \right) I_m \right\} \right|^2, (ii = HH, VV) \quad (4)$$

여기서, k 는 레이더파의 파수를, M 은 총 산란평

면 수를, N 은 해당 산란평면 산정시 해수면에 대한 총 반사차수, R_n^* 은 n -번째 해수면반사에 대한 ii -편파 프레넬 반사계수를 나타낸다. 또한, I_m 은 해상표적을 구성하는 m -번째 산란평면에 대해 레이더파 입사 반대방향을 z' -축으로 하는 직각좌표계로 변환할 경우에 대한 위상적분식으로 식 (5)와 같이 산정할 수 있다.

$$I_m = \int_{S_m} e^{jkz'} dx' dy' \quad (5)$$

여기서, S_m 은 단일반사의 경우 가시면에 해당하며, 다중반사의 경우 가상면에 해당하는 산란평면으로, 조대승 등(2003)이 제안한 적응 삼각형 빔 방법을 이용하여 산정할 수 있다.

2.3 해수면에 대한 프레넬 반사계수 산정

무한수심에서의 해수면은 유전율(permittivity)과 투자율(permeability)을 갖는 단일경계면으로 간주할 수 있다. 또한, 단일경계면으로 입사되는 레이더파의 반사특성은 Fig. 3에 나타난 전기장 또는 자기장의 분극특성에 따라 식 (6) 및 식 (7)과 같은 분극별 프레넬 반사계수로 구할 수 있다 (Klement et al 1988).

$$R_E = \frac{\sqrt{\mu/\epsilon} \cos \alpha - \sqrt{1 - 1/(\mu\epsilon) \sin^2 \alpha}}{\sqrt{\mu/\epsilon} \cos \alpha + \sqrt{1 - 1/(\mu\epsilon) \sin^2 \alpha}} \quad (6)$$

$$R_H = \frac{\sqrt{\epsilon/\mu} \cos \alpha - \sqrt{1 - 1/(\mu\epsilon) \sin^2 \alpha}}{\sqrt{\epsilon/\mu} \cos \alpha + \sqrt{1 - 1/(\mu\epsilon) \sin^2 \alpha}} \quad (7)$$

여기서, R_E 와 R_H 는 각각 전기장과 자기장 분극에 대한 프레넬 반사계수를 의미하는 복소수로서, 해수면이 완전도체인 경우 각각 -1 과 1 의 값을 갖는다. 또한, ϵ 과 μ 는 공기에 대한 해수면의 비유전율(relative permittivity)과 비투자율(relative permeability)을 각각 나타내는 복소수이며, α 는 해수면에 대한 레이더파의 입사각도이다.

한편, 앞서 언급한 바와 같이 장파봉파의 입사 방향벡터와 해상표적면의 법선벡터가 레이더파의 입사평면에 있는 경우, 해수면의 기하학적 특성 또는 재료 특성으로 인한 분극현상은 발생하지 않

으며, 식 (1)과 식 (3)의 R_{HH} , R_{VV} 는 각각 식 (6)과 식 (7)의 R_E , R_H 와 같은 값이 된다.

3. 수치해석 예 및 고찰

4-경로 모델과 직접해석방법의 검증을 위해 Fig. 4에 나타난 기준모델(benchmark model, Anastassiou 2002)에 대한 RCS 해석을 수행하였다. 기준모델은 높이가 폭이 입사되는 레이더파의 2 파장에 해당하는 정사각형 완전도체 평판이 무한평면 상에 그 중심이 10 파장 떨어져 수직으로 서있는 경우이며, 이때 무한평면에 대한 ϵ 과 μ 는 각각 $80 - 70i$ 와 1 이다.

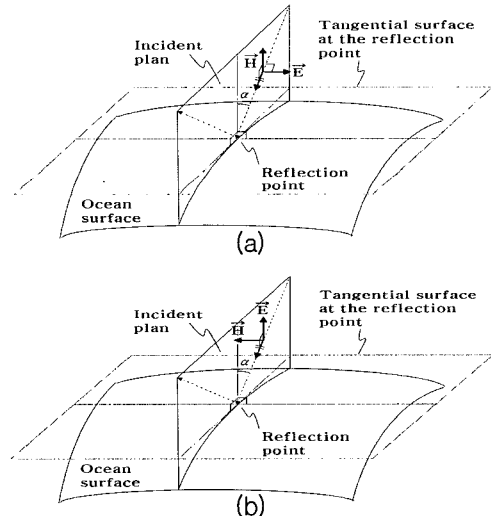


Fig. 3 Definition of polarizations: (a)E-polarization (b)H-polarization

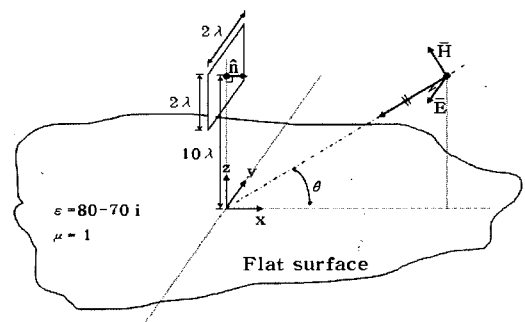


Fig. 4 Vertically oriented square plate model on an infinite surface.

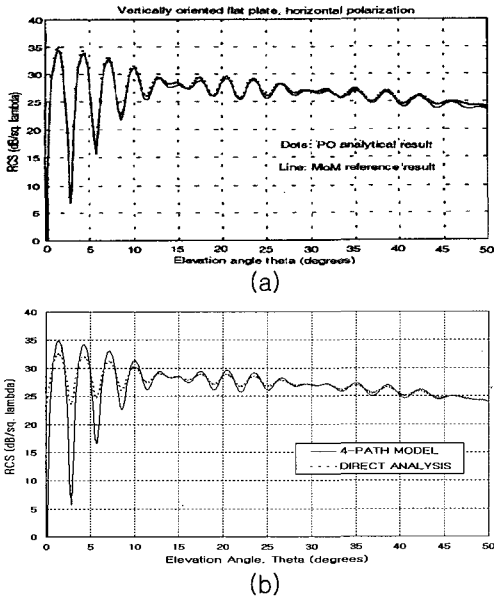


Fig. 5 RCS analysis results(HH-polarization) of a benchmark model(the square plate model on an infinite surface) by (a) Anastassiou(2002) and (b) present code.

Fig. 5는 기준모델에 대한 해석결과를 파장의 제곱으로 무차원화하여 Anastassiou(2002)의 결과와 함께 나타낸 것이다. 이로부터 4-경로 모델을 적용한 해석결과는 Anastassiou의 결과와 정확히 일치하고 있으며, 직접해석방법을 적용한 결과 또한 대부분의 고각에서 잘 일치하고 있다. 그러나 직접해석방법에 의한 결과가 일부 고각에서 4-경로 모델의 결과와 1~2dB 정도의 차이를 보이는데, 이는 본 연구에서 적용한 물리광학/기하광학 혼합방법이 기하광학법을 적용해 다중반사면을 추적하고 최종반사면에 대해서만 물리광학법을 적용하여 Fig. 2에 나타낸 3차반사 효과를 고려하지 못하기 때문이다. 그러나 이와 같은 오차는 해상표적의 크기가 커지거나 레이더 주파수가 높아지면 감소할 것으로 사료된다.

실제 해상상태에 따른 해상표적의 RCS 변화특성을 관찰하기 위해 Fig. 6에 나타낸 해수면 상에 경사각이 각기 다르게 놓여 있는 해상표적들에 대한 RCS 해석을 수행하였다. 해상표적은 높이와 폭이 각각 9m인 사각형으로서 그 경사각은 각각

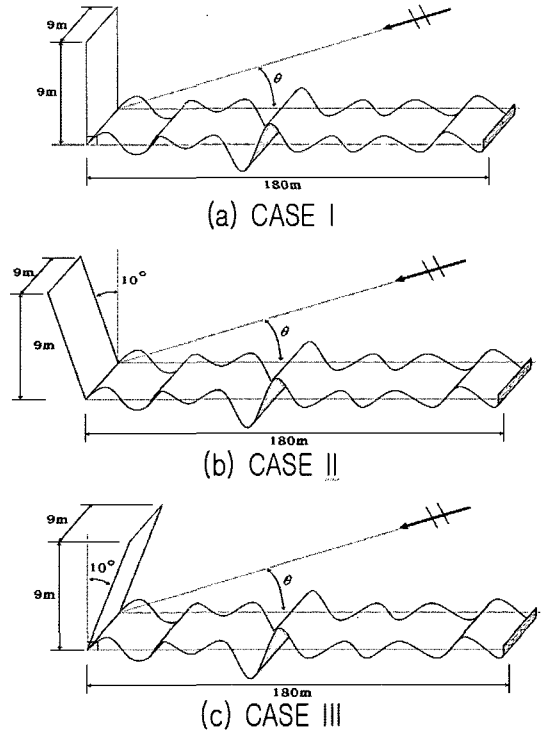


Fig. 6 Large square plate model on a long-crested wave surface; (a) vertically oriented plate, (b) +10 degrees slanted plate, and (c) -10 degrees slanted plate.

0도(CASE I), 10도(CASE II), -10도(CASE III)이며, 해수면의 길이는 해상표적의 20배에 해당하는 180m로 설정하였다.

해수면의 비유전율과 비투자율은 기준모델에서 정의한 것과 동일하며, 해수면 형상은 식 (3)을 이용해 지배파 주기가 7초, 유의파고(significant wave height)가 0m, 1m, 3m, 5m, 7m인 경우에 대해 장파봉파로 모델링하였다. 직접해석방법을 이용해 레이더 주파수가 10GHz인 경우 고각 1도 간격으로 각 유의파고별로 RCS 해석을 수행한 결과를 해상표적 자체 RCS 값과 함께 Fig. 7 및 Fig. 8에 나타내었다.

Fig. 7은 CASE I에 대한 해석결과로서, 유의파고 0m에서는 Fig. 5의 기준모델에 대한 해석결과와 같이 해수면과 해상표적의 전형적인 이중반사 구조 특성을 보이며, 4-경로 모델과 직접해석방법

에 의한 해석결과가 고각 3도 미만을 제외하고는 서로 잘 일치하고 있으며, Fig. 5의 기준모델에 대한 해석결과에서 나타나는 오차는 보이지 않는다. 이는 기준모델과는 달리 해상표적의 크기가 레이더 파장보다 충분히 크기 때문이다. 그러나, 고각 3도 미만에서는 4-경로 모델과 직접해석방법에 의한 해석결과와의 차이가 발생하는데 이는 해수면을 무한평면이 아닌 유한평면으로 모델링했기 때문이며, 해수면의 길이를 충분히 크게 모델링할수록 그 오차는 감소할 것으로 사료된다. 따라서, 본 연구에서 구현한 직접해석방법은 해수면을 충분히 큰 유한 평면으로 모델링할 경우 수상함정과 같은 대형 해상표적에 대한 RCS 해석에 적합할 것으로 판단한다.

한편, Brewster angle에 해당하는 고각 5도 근방에서 W-편파성분이 HH-편파성분에 비해 낮게 나타나고 있다. 또한, 해수면 반사효과로 인해 해

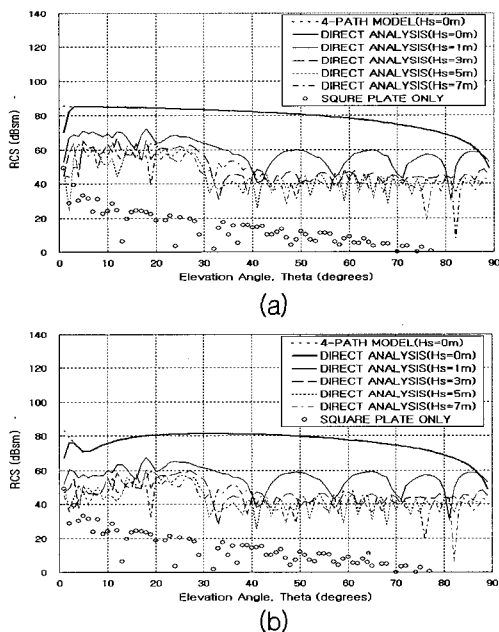


Fig. 7 RCS analysis results, based on both of 4-path model and direct analysis methods, of the vertically oriented large square plate model on an long-crested wave surface(CASE I); (a) HH-polarization, (b) VV-polarization.

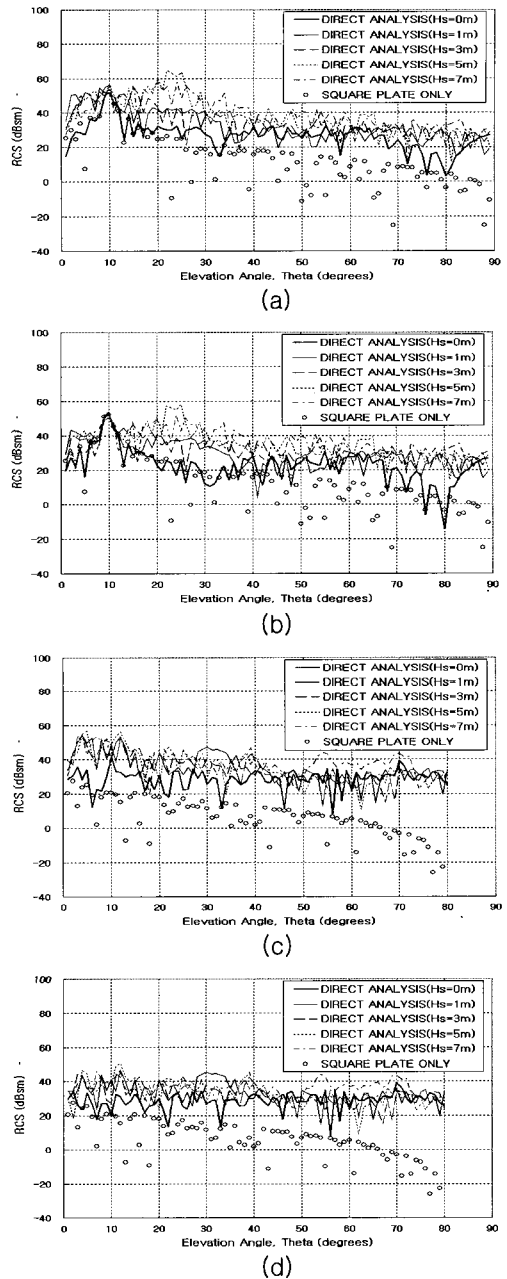


Fig. 8 RCS analysis results, based on the direct analysis methods, of the 10 degrees slanted large square plate models on an long-crested wave surface; (a) CASE II (HH), (b) CASE II(VV), (c) CASE III(HH), (d) CASE III(VV-polarization).

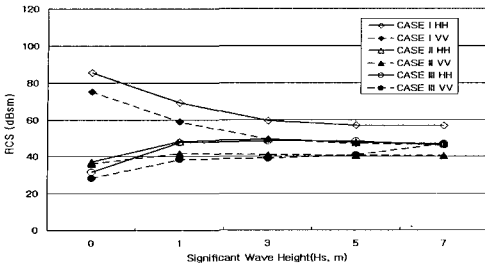


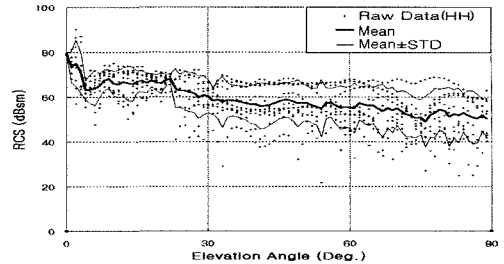
Fig. 9 RCS mean values of RCS re-analysis results, based on the direct analysis method, between 3 and 15 degrees of elevation angles for three cases in Fig. 6.

상표적의 RCS가 해상표적 자체 RCS에 비해 크게 증가하며, 유의 파고가 높아질수록 그 효과가 점차 작아짐을 확인할 수 있다.

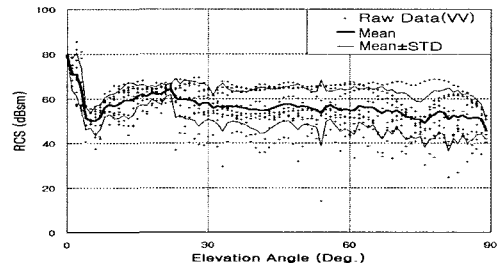
Fig. 8은 직접해석방법으로 수행한 CASE II와 CASE III에 대한 해석결과를 나타낸 것이다. 이로 부터 해상표적이 경사각을 가지면 해수면 반사에 의한 RCS 증가효과가 CASE I에 비해 전반적으로 작게 나타나고, 유의파고 높이 변화에 따른 RCS 값의 변화가 전혀 다른 양상을 보이고 있음을 확인할 수 있다.

해상표적의 경사각 적용에 따른 RCS 변화에 대한 보다 면밀한 검토를 위해 주요 위협고각 범위에 해당하는 낮은 고각(3~15도)에 대해 0.1도 간격으로 직접해석방법을 이용해 재해석을 수행하였으며, 그 평균 RCS 값을 Fig. 9에 나타내었다. 이로부터 경사각 적용과는 무관하게 Brewster angle에 의한 영향으로 HH-편파성분 RCS 값이 VV-편파성분 RCS 보다 작게 나타나고, 전반적으로 유의파고가 작을수록 경사각 적용에 의한 RCS 감소효과가 크게 나타남을 확인할 수 있다.

CASE I의 경우 유의파고가 높아짐에 따라 RCS 값은 점차 작아지고 있으나, CASE II와 CASE III의 경우, 유의파고 1m에서는 유의파고 0m에서보다 오히려 RCS값이 증가하다가 그 이상의 유의파고에서는 큰 변화를 보이지 않는다. 이는 RCS 감소를 위한 경사각 적용 등의 형상화기법이 평평한 해수면에서 매우 효과적이라 하더라도 거친 해상에서는 해수면 형상의 불확실성으로 인해 그 효과가 저하될 수 있음을 의미한다.



(a)



(b)

Fig. 10 RCS analysis results, the mean values and mean value \pm standard deviations, of vertically oriented flat plate (CASE I) with 10 random surface : (a) HH- and (b) VV-polarization.

한편, 실시간으로 변화하는 해수면 형상으로 인한 해상표적의 RCS 변화를 고찰하기 위하여 CASE I의 해석모델에 대해, 유의파고가 1m인 10개의 임의(random) 해수면 형상을 정의하고 주파수 10GHz에서 RCS를 해석한 결과의 평균값(Mean)과 평균값 \pm 표준편차(Mean \pm STD)를 Fig. 10에 나타내었다. 이로부터 해상표적의 RCS는 해수면 형상에 따라 크게 변화하며, 고각이 높을수록 변동량이 크게 나타남을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 해수면이 해상표적의 RCS에 미치는 영향을 살펴보기 위해 수상함정과 같은 대형 복합구조물의 RCS 해석에 적합한 물리광학/기하광학 혼합방법을 기반으로 4-경로 모델과 직접해석방법을 정립하고, 기준모델에 대한 RCS 해석을 수행하여 제시한 해석방법들의 정확도를 검증하였다.

또한, 실 해역과 유사한 환경에서의 해상표적의 RCS 특성을 살펴보기 위해 MPM 해양파 스펙트럼을 이용해 장파봉파 해수면을 모델링하고, 그 위에 놓인 수직 또는 특정 경사각을 갖는 평판에 대한 RCS 해석을 수행하여 해상표적의 경사각 적용에 따른 RCS 감소효과가 해수면 특성에 따라 다르게 나타남을 확인하였다. 아울러, 실시간으로 변화하는 해수면 형상에 따라 RCS 값의 변화가 심하며, 고각이 높을수록 변동량이 큼을 확인하였다.

한편, 본 연구에서는 해수면을 장파봉파로 가정하고 그 영향을 검토하였으나, 보다 사실적으로 해수면 효과를 평가하기 위해서는 단파봉파(short-crested wave)에 대한 영향 검토가 필요하다. 이 경우 레이더파의 분극현상으로 인한 특성 변화를 고려하기 위한 추가적인 연구가 필요하다. 또한, 실시간으로 변화하는 실제 해수면과 해상표적에 대한 보다 정도 높은 RCS 해석을 위해서는 Monte Carlo 등의 통계학적인 접근방법에 대한 추가적인 연구가 요구된다.

후 기

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- 김국현, 김진형, 조대승, 2005, "Object Precision 방법을 이용한 복합 구조물의 RCS 해석," 대한조선학회 논문집, 제 42권, 제 2호, pp. 159-164.
- 김국현, 김진형, 조대승, 2005, "복합구조물의 RCS 저감을 위한 효율적 산란중심 해석에 관한 연구," 대한조선학회 논문집, 제 42권, 제 4호, pp. 421-426.
- 김국현, 조대승, 김종철, 2005, "수중표적에 대한 고주파수 음향산란 해석," 대한조선학회 논문집, 제 42권, 제 5호, pp. 518-523.
- 조대승, 성상경, 김진형, 최재호, 박일권, 2003, "적응 삼각형 빔 방법에 의한 실내음장 해석," 한국소음진동공학회 논문집, 제 13권, 제 3호, pp.

217-224.

- Anastassiou, H. T., 2002, "Radar Cross Section of a Perfectly Conducting, Flat, Polygonal Plate over Dielectric, Lossy Half Space: a Closed Form, Physical Optics Expression," Proceedings of IX-th International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory, pp. 505-507.
- Burkholder, R. J., Janpugdee, P., and Colak, D., 2001, Development of Computational Tools for Predicting the Radar Scattering from Targets on a Rough Sea Surface, The Ohio State Univ., ElectroScience Laboratory, Final Report 735231-3.
- Fossen, T. I., 1994, Guidance and Control of Ocean Vehicles, John Wiley & Sons, p 66.
- Klement, D., Preissner, J., and Stein V., 1988, "Special Problems in Applying the Physical Optics Method for Backscatter Computation of Complicated Objects," IEEE Trans. Ant. Prop., Vol. 36, No. 2, pp. 228-237.
- Lohrmann, D. R., 2001, Radar Cross Sections of Distributed Targets Low over Water in the Presence of Multipath Reflections, Naval Research Laboratory, NRL/FR/5747--01-10006.



< 김 국 현 >



< 조 대 승 >



< 김 진 형 >



< 이 정 관 >