

6 자유도 모델에 기반한 운항중인 함정의 3차원 RCS 측정 및 분석 기법

곽상열^{*,1)} · 정회인¹⁾

¹⁾ 국방과학연구소 제6기술연구본부

Measurement and Analysis for 3-D RCS of Maritime Ship based on 6-DOF Model

Sang-yell Gwak^{*,1)} · Hoi-in Jung¹⁾

¹⁾ The 6th Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 10 April 2018 / Revised 28 May 2018 / Accepted 22 June 2018)

ABSTRACT

The RCS value of maritime ship is indicator of ship's stealth performance and it should be particularly measured for navy ship to ensure survivability on the battlefield. In the design phase of the navy ship, a RCS prediction should be performed to reduce RCS value and achieve ROC(Required Operational Capability) of the ship through configuration control. In operational phase, the RCS value of the ship should be measured for verifying the designed value and obtaining tactical data to take action against enemy missile. During the measurement of RCS for the ship, ship motion can be affected by roll and pitch in accordance with sea state, which should be analyzed into threat elevation from view point of enemy missile. In this paper, we propose a method to measure and analyze RCS of ship in 3-dimensions using a ship motion measuring instrument and a fixed RCS measurement system. In order to verify the proposed method, we conducted a marine experiment using a test ship in sea environment and compared the measurement data with RCS prediction value which is carried by prediction SW(CornerStone™) using CAD model of the ship.

Key Words : Radar Cross Section(레이더반사단면적), Maritime Ship(해상 함정), 6-DOF(6-자유도)

1. 서론

레이더 반사 단면적(RCS: Radar Cross Section)은 레

이더로 반사되어 수신되는 파장의 강도를 나타내는 가상의 영역이다^[1]. 함정에서 RCS는 함정 고유의 스텔스 성능을 나타내는 지표이고 작전 운용에 있어 피격성을 나타내기 때문에 이를 줄이기 위한 대책이 최근 많이 연구되고 있다^[2]. 이러한 이유로 함정의 설계에서부터 RCS 감소 대책을 수립하고 이를 정확히 예

* Corresponding author, E-mail: gwaksy@add.re.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

측하여 목표치에 맞게 함정을 건조하기 위해 노력하고 있다³⁾. 이러한 예측방법에는 CAD 모델을 이용한 해석기반 예측 기법과 축소모델을 이용한 측정기반 예측기법이 있다^{4,5)}. 특히 CAD 모델을 이용한 시뮬레이션 방법의 경우 매우 저렴한 비용으로 데이터를 얻을 수 있기 때문에 RCS 예측에 많이 적용되고 있다⁶⁾. 하지만 이는 운항 중에 나타나는 해수면 클러터(Clutter) 및 다중경로(Multipath) 신호를 고려하지 않은 예측기법으로, 운용중인 함정에 대한 스텔스 성능을 파악하기 위해서는 실제 운항중인 함정에 대한 RCS 측정이 필요하다⁷⁾. 현재 국내에서는 운용중인 함정에 대해 RCS를 측정하는 장비를 보유하고 있지만 이를 이용하여 함정의 고유 특성을 나타내기 위해서는 레이더에 반사되는 강도를 후처리하는 과정이 필요하다.

본 논문에서는 함정의 6 자유도 자료를 획득하여 이를 이용한 운용 함정의 3차원 RCS 분석 기법에 대해 기술한다. 이때 6 자유도는 주로 항공기에서 사용되는 운동체의 6개 운동방향을 나타낸다. 이 중 3 자유도는 3개의 축을 중심으로 한 회전 운동을 나타내고, 나머지 3 자유도는 중심축들의 위치를 나타낸다. 본 논문에서 사용되는 6 자유도는 위도, 경도, 고도의 위치 정보와 Roll, Pitch, Heading의 회전 정보로 나타내었다. 측정 장비에서 측정된 함정의 SNR은 함정의 위치 정보인 위/경도, 고도를 이용하여 RCS 값으로 보정된다. 이 RCS 값과 시간 동기화된 Heading 정보는 측정 장비에서 바라본 함정의 방위각을 계산하고 방위각에 따른 2차원 RCS 분석을 수행하게 된다. 나아가 함정의 자세 정보인 Roll, Pitch를 추가 분석하고 벡터 투영기법을 사용하여 방위각/고각에 따른 RCS 값을 3차원으로 분석하는 기법을 제안한다. 제안한 기법을 검증하기 위하여 고정된 RCS 측정 장비로 운항중인 함정의 RCS와 자세 정보를 측정, 분석하고 CAD 모델 기반 해석 기법의 결과와 비교하였다.

2. 운항중인 함정의 2차원 RCS 측정 및 분석 방안

운항중인 함정의 RCS는 고정된 측정 장비를 이용하여 측정되며 함정이 제자리에서 방위각만을 변경하는 것은 어렵기 때문에 원을 그리는 선회기동을 하며 측정하게 된다. 고정된 측정 장비는 표적을 추적하여 함정의 레이더 반사 강도를 측정하고 후처리 과정을 통해 SNR을 계산하게 된다. SNR은 함정의 자이로 데

이터나 외부 GPS 장비로 측정된 함정의 위치 정보와 시간 동기화되어 RCS 값으로 보정된다. 이때 함정의 방위각을 계산하는 기법이 포함되어 방위각에 따른 RCS 변화를 분석하게 된다.

2.1 함정의 위치 및 Heading 정보를 이용한 방위각 계산 기법

측정 장비에서는 함정에서 반사되어 오는 신호의 강도를 측정하여 SNR을 계산하게 된다. 이는 GPS 시간을 기준으로 정렬되게 되고 정확한 RCS 값을 구하기 위해 함정의 위치 데이터를 이용하게 된다. 각 SNR 값에 해당되는 함정 GPS 데이터 위/경도, 고도를 이용하여 측정 장비 기준 X, Y, Z 좌표를 구한다. 이 좌표를 이용하여 측정 장비와 함정간의 거리 D 를 구하게 되고 식 (1)로 해당 시간의 RCS를 계산하게 된다.

$$RCS(t) = SNR(t) + D(t)^4 - Q \quad [dB] \quad (1)$$

이때 Q 는 RCS 측정 장비의 교정 결과 값으로, 고정된 RCS 값을 가지는 교정 치구를 측정한 뒤 식 (2)를 이용하여 역연산된 값이다.

$$Q = \frac{SNR \cdot D^4}{RCS_{\text{교정}}} \quad (2)$$

이와 같은 정밀 교정 수행 및 RCS 측정 절차는 Fig. 1과 같다. RCS를 계산하기 위해서는 SNR뿐만 아니라 안테나 이득 및 환경 변수 등을 고려해야하지만 외부 교정을 이용하여 RCS를 측정하게 되면 복잡한 계산법을 간단하게 계산할 수 있는 장점이 있다⁸⁾. 이렇게 GPS 위치를 이용하여 계산된 RCS 값은 Fig. 2와 같이 시간에 따른 RCS 값으로 나타낼 수 있다. 하지만 이는 함정의 RCS 변화를 표현할 뿐 이를 함정의 고유 특성으로 인식하기에는 어려움이 있다. 그렇기 때문에 함정의 자이로나 GPS 데이터를 이용하여 방위각을 계산하고 2차원으로 함정의 RCS를 분석할 필요가 있다. Fig. 3은 함 자세 데이터와 RCS 측정데이터를 이용하여 2차원 RCS를 계산하는 절차를 나타낸 것이다.

함정에서 측정된 헤딩(Heading : ψ) 값은 함정을 기준으로하기 때문에 측정 장비 기준으로 바라본 방위각을 식 (3)을 이용하여 계산해야 한다⁹⁾.

$$Aspect = 360 - \psi + \tan^{-1}\left(\frac{X_T}{Y_T}\right) \quad (3)$$

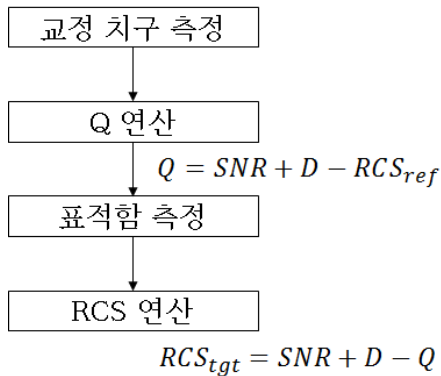


Fig. 1. Flow chart for calibration and measurement of RCS

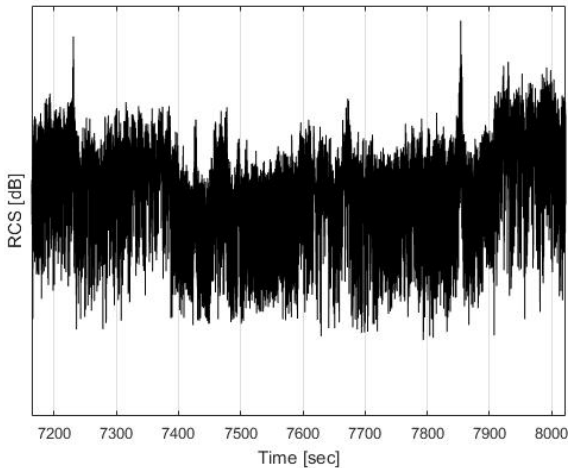


Fig. 2. Example of RCS over time

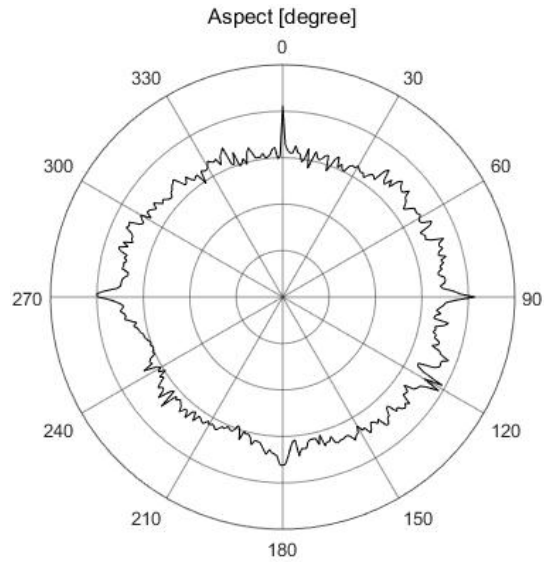


Fig. 4. Example of RCS over aspect angle

이때 X_T 와 Y_T 는 측정 장비를 기준으로 본 표적의 좌표이고, Heading의 양의 방향은 시계방향이다. 이렇게 분석한 2차원 RCS는 Fig. 4와 같이 도시될 수 있으며 방위각 변화에 따른 함정 고유의 RCS 특성을 나타내는데 효과적이다. 하지만 측정 장비가 바라보는 각도에 따라 변하는 RCS 값은 방위각뿐 만 아니라 고각 변화에도 영향을 받게 된다. 이렇게 2차원 RCS 분석은 고각에 따라 달라지는 RCS를 고려하지 않은 측정치로 다각적인 분석을 위해서는 6 자유도 모델을 해석한 3차원 RCS 분석이 필요하다.

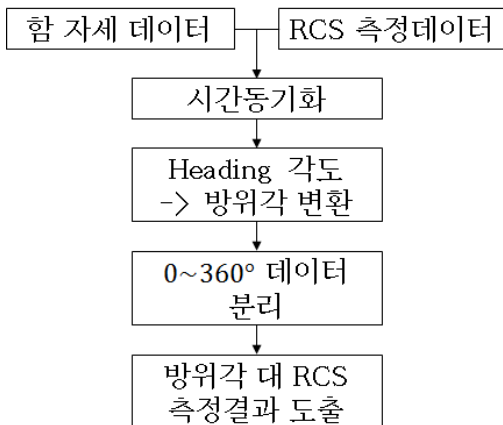


Fig. 3. Flow chart for 2-D RCS calculation

3. 운항중인 함정의 3차원 RCS 측정 및 분석 방안

레이더에서 함정을 바라보는 방위각 및 고각에 따라 함정의 형상과 반사정도가 달라지기 때문에 이에 따라 함정의 RCS 값도 변화하게 된다. 이렇게 변화하는 함정의 RCS 값은 위협인자가 식별하는 위치에 따라 달라지는 함정의 스텔스 성능을 나타내기 위해 필요한 특성이다. 함정을 바라보는 고각은 위협인자와 함정의 위치뿐만 아니라 함정의 자세에 따라 달라지므로 함정의 위치 및 자세 정보를 획득하여 분석하는 과정이 필요하다. 이때 함정에서 측정되어야 하는 정보는 위도, 경도, 고도, Heading, Roll, Pitch 정보로 이 정보들을 융합하여 고각으로 표현하는 기법을 제안한다.

3.1 함정의 6 자유도를 이용한 고각 계산 기법

함정의 Heading이 0°일 때 정북방향에서 바라본 함정의 고각은 오로지 Pitch 정보에만 영향을 받게 된다. 이에 반해 Heading이 90°일 때는 Roll 정보만의 영향을 받아 고각이 변화하게 된다. 그렇기 때문에 함정의 고각을 계산하기 위해서는 3가지 자세 정보를 모두 분석해야한다. 또한, 함정을 바라보는 레이더의 위치는 항상 정북일 수 없기 때문에 2장에서 소개한 기법을 바탕으로 Heading을 보상하여 분석하게 된다.

먼저 함정의 고각을 간단히 계산하기 위해 함정을 가상의 벡터나 방향성을 가진 평면으로 대체한다. 그 후 함정에서 측정된 6 자유도 자료 중 자세 자료(Roll : θ , Pitch : ϕ , Heading : ψ)를 이용하여 함정에 해당하는 가상의 벡터나 평면을 회전시키게 된다. 이때 사용되는 회전 행렬은 식 (4)과 같고, Roll의 방향은 우현이 위로 갈 때, Pitch의 방향은 선수가 내려갈 때 양의 방향이다.

$$RX \cdot RY \cdot RZ \tag{4}$$

$$RX = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\phi) & -\sin(\phi) \\ 0 & \sin(\phi) & \cos(\phi) \end{bmatrix}$$

$$RY = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & 0 & \sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{bmatrix}$$

$$RZ = \begin{bmatrix} \cos(\psi) & -\sin(\psi) & 0 \\ \sin(\psi) & \cos(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

함정의 자세와 똑같이 회전된 벡터나 평면은 함정의 위/경도, 고도 정보를 이용하여 계산된 X, Y, Z 좌표로 평행 이동하게 된다. 이렇게 계산된 함정에 해당하는 회전된 평면과 측정 장비(R)의 위치관계를 표현하면 Fig. 5와 같다. 함정의 위치 정보를 이용하여 벡터 \vec{r} 을 구할 수 있고, 함정의 평면 정보를 이용하여 법선 벡터인 \vec{n} 을 계산하게 된다. 이 두 개의 벡터가 구성하는 각(α)은 식 (5)를 이용하여 구하게 되고 측정 장비와 함정이 이루는 고각은 $90^\circ - \alpha$ 로 계산하게 된다.

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{\vec{r} \cdot \vec{n}}{|\vec{r}| |\vec{n}|}\right) \tag{5}$$

이 고각 정보는 방위각 정보와 함께 RCS 측정데이터와 시간 동기화되어 함정의 3차원 RCS 특성을 나타

내게 된다. 고각 정보가 포함된 3차원 RCS 데이터베이스는 고각 별로 RCS 평균값이나 고각을 고정시킨 함정의 방위각 대 RCS 특성으로 분석될 수 있다. 또한, 모든 방위각과 고각 정보에 해당하는 RCS를 3차원으로 도시하여 한 눈에 함정의 RCS 특성을 파악하는 용도로 분석이 가능하다.

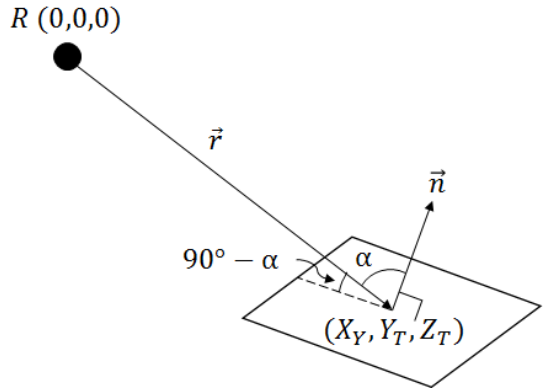


Fig. 5. Geometric structure of measurement system and ship

4. 해상 실험 데이터를 이용한 함정의 RCS 분석

3차원 RCS 측정 및 분석기법의 성능을 검증하기 위하여 운항중인 선박에 대해 RCS 측정 시험을 수행하였다. 방위각 변화에 따른 RCS 측정치를 분석하기 위하여 총 4회의 선회를 수행하였고, 고각 정보의 다양화를 위해 선회 방향은 시계방향과 반시계방향 두 가지로 진행하였다. 정확한 RCS 측정을 위하여 측정 장비는 선회하는 함정을 안테나의 최대이득 방향과 일치하도록 추적하여야 한다. 이를 위해 안테나 방향과 일치시킨 CCD 카메라를 통해 사용자가 조이스틱(Joystick)을 이용하여 함정을 수동으로 추적하며 해상 시험을 수행하였다.

RCS 해석치의 경우 3D CAD 모델을 기반으로 RCS 값을 예측하는 CornerStone SW를 사용하였다. CornerStone은 국내에서 자체 개발한 소프트웨어로 전자파 산란 해석 기법을 이용하여 항공기 또는 함정 고유의 RCS를 예측하는 프로그램이다¹⁰⁾. 이 프로그램은 현재 많은 국내 함정을 대상으로 RCS 해석치를 제공하고 있기 때문에 측정치와 비교할 수 있는 신뢰성을 확보하고 있다고 판단하여 이 SW의 해석치를

사용하였다. 이때 사용된 3D CAD 모델은 표면을 삼각형 격자로 분할하여 총 816,490개 격자로 함정을 표현한 모델을 사용하였다. 또한, 해석 편차는 측정에 사용된 것과 마찬가지로 VV 편파를 사용하여 해석하였다. 해석치의 경우 배가 흔들리는 조건이 아닌 고정된 상태에서 레이더의 고각이 변경되어 RCS를 측정할 환경이기 때문에 측정 환경과 완벽히 일치하는 상황은 아니나 대략적인 형태는 유사할 것으로 판단된다.

4.1 함 자세 측정 방안

함 자세를 획득하기 위한 방안으로 함에서 보유중인 자세 측정 장비를 사용할 수 있지만 다양한 함정을 측정하기 위해서 통일된 측정 및 저장 방식의 자료가 필요하다. 그렇기 때문에 외부의 GPS 신호를 이용한 이동식 자세 측정 장비를 Fig. 6과 같이 설치하였다. 이 장비는 자료 저장 주기를 설정할 수 있고 시험도중 주기적인 자체 교정을 실시하여 보다 정확한 자세 정보를 제공해준다. 함 자세를 측정하는 원리는 두 개의 GPS 안테나를 이용하여 위도, 경도, 고도 등의 위치 자료를 획득하고 이들의 차를 이용하여 수평방향과 수직방향의 기울기를 측정한다. 이때 수평방향의 기울기는 Heading 값이 되고, 수직 방향의 기울기는 함정과 이루는 각도에 따라 Roll 이나 Pitch를 표현하게 된다. 3차원 RCS를 분석하기 위해서는 Roll과 Pitch 정보 모두 필요하기 때문에 총 4개의 GPS 안테나를 이용하여 2쌍의 함 자세 측정 장비를 수직으로

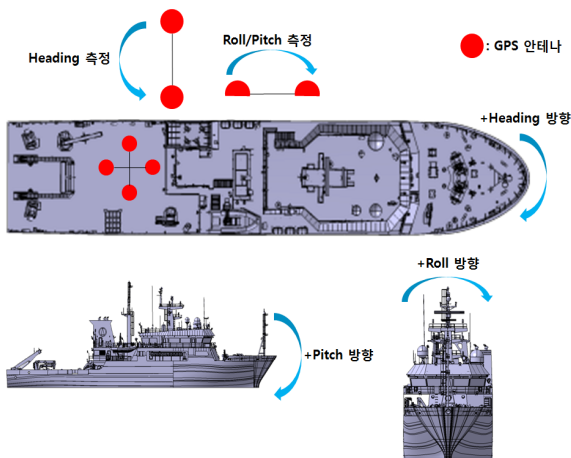


Fig. 6. CAD models of measurement ship and configuration of 6-DOF measurement equipment

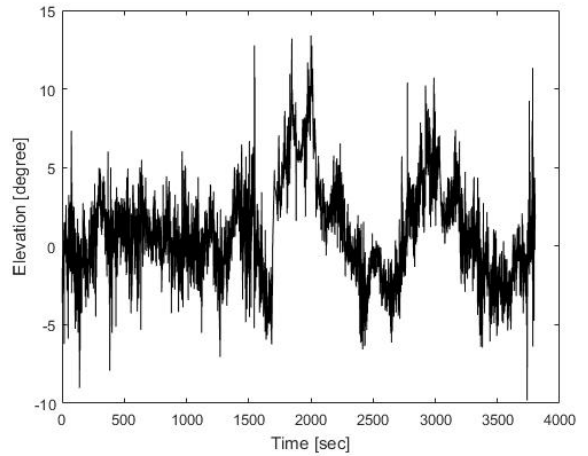


Fig. 7. Elevation calculated Heading, Roll, Pitch

구성하였다. 자세 측정 주기는 0.2초로 설정하였고, 0.02초 마다 SNR 값이 출력되는 RCS 측정 장비와의 시간 동기화를 위하여 각 자세 정보에 보간법을 적용하여 사용하였다.

해상 시험동안 얻은 Heading, Roll, Pitch 데이터를 이용하여 계산된 고각은 Fig. 7과 같다. 방위각은 0° ~ 360°를 모두 측정하였고, 함 기울기에 따라 변하는 고각의 경우 -5° ~ 5°의 데이터가 대다수를 차지하고 있다. 3차원 분석에서는 0° 이하의 데이터는 고려하지 않고 0° ~ 5°에 해당하는 RCS 값만을 이용하여 분석하였다.

4.2 3차원 RCS 분석과 해석치 비교를 통한 검증

RCS 측정 장비에서 출력된 SNR 값을 식 (1)을 이용하여 시간에 따른 RCS 값을 계산하였다. 이후 함정의 위치 정보와 Heading을 이용하여 Fig. 8과 같이 1도 간격 방위각에 따른 RCS를 계산하였다. 다수의 RCS 측정치는 평균으로 대푯값을 구하였다. 그 결과 함정을 우현에서 바라볼 때 RCS가 가장 큰 것을 확인할 수 있고 해석치와 마찬가지로 45°, 170° 부근에서 RCS 값이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이에 반해 270° 부근의 RCS 해석치는 매우 높게 나타나지만 측정치의 경우 주변 방위각보다 약간만 높게 나오는 것을 확인할 수 있다. Fig. 9는 해상 상태(Sea State)에 따라 변화하는 방위각 270° 부근의 RCS 해석치를 도시한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 해상상태가 올라가면 RCS 해석치는 감소하게 되고, 크기는 약 20[dB]까지 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. Fig. 8은 해

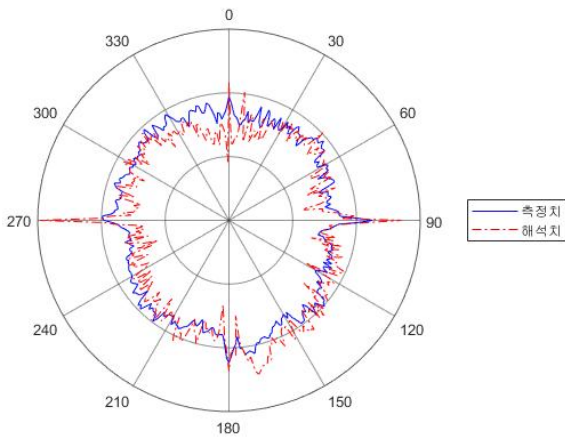


Fig. 8. RCS over aspect angle of experiment

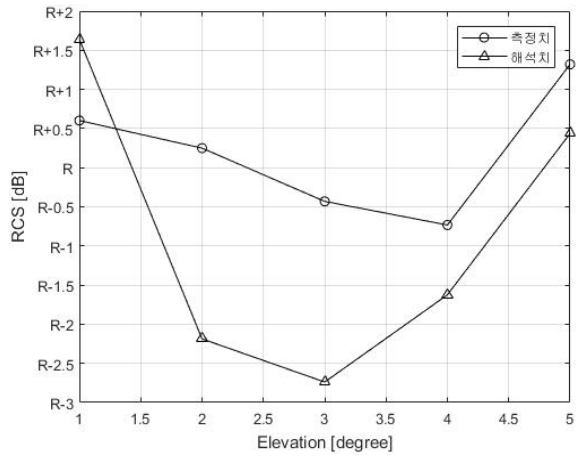


Fig. 10. RCS average over elevation angle of experiment

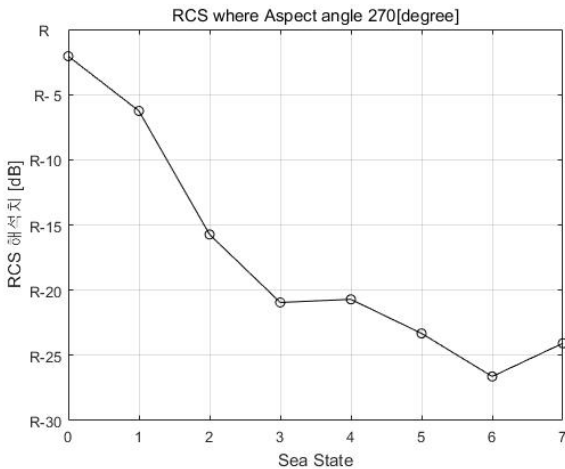


Fig. 9. RCS over sea state where 270 aspect angle

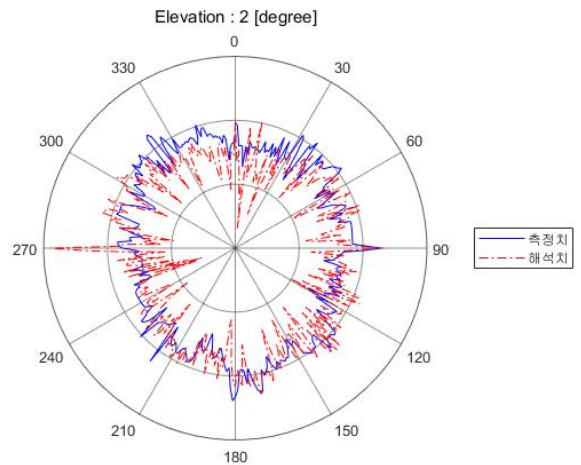


Fig. 11. RCS over aspect angle when elevation angle 2°

상 시험 당시의 환경을 바탕으로 하여 해상 상태 2를 가정하고 그림을 도시한 것으로 방위각 270°를 측정할 당시 해상 상태가 변하여 RCS 측정치에 영향을 준 것으로 추측된다. 이러한 2차원 RCS 분석의 경우 모든 고각에 대한 RCS를 평균값으로 나타내었기 때문에 정확한 분석이라고 표현할 수 없다.

3차원 RCS 분석을 위해 측정 장비에서 바라본 함정의 고각을 계산하였다. 고각은 1도 간격으로 RCS 측정치와 동기화하였으며 다수의 RCS 측정치는 평균으로 대푯값을 구하였다. Fig. 10은 선박의 CAD 모델을 활용한 RCS 해석치와 해상 실험 데이터를 분석한 측정치를 고각에 따른 평균값으로 비교한 그림이다. 해석치와 측정치를 비교하였을 때 특정한 고각에서

RCS가 감소되는 것을 확인할 수 있으며 다시 RCS 값이 증가하는 특성을 보여주고 있다. 이는 특정 고각에서 함정의 RCS 값을 크게 하는 Corner가 적어짐을 의미하고 본 함정만이 가지고 있는 고유한 특성으로 볼 수 있다. 이처럼 함정의 RCS 값은 바라보는 고각에 따라 변화하게 되고, 분석에 있어서 고각 정보를 포함하여 방위각에 따른 RCS 값으로 도시할 필요가 있다.

Fig. 11은 해석치와 측정치의 RCS 값 차이가 가장 크게 발생하는 고각 2°에서의 RCS 값을 방위각에 따라 그린 것이다. 측정 RCS 값이 비교적 크게 보이지만 방위각에 따라 형성되는 RCS 형상은 유사한 것으로 확인된다. 특히 45°, 140°, 310° 부근에서 큰 RCS

값을 나타내는 것과 195° 부근에서 RCS 값이 작아지는 현상은 해석치와 비교하여 함정의 RCS 특성을 잘 표현한다고 볼 수 있다. Fig. 11과 같이 기존의 방법대로 방위각에 따른 RCS 값을 고각을 고정시킨 상태에서 도시할 수 있지만, Fig. 12와 같이 측정된 모든 고각/방위각에 대해 RCS를 3차원으로 도시할 수도 있다. 이 그림의 경우 해당 함정에 대한 RCS 특성을 한번에 확인할 수 있는 장점이 있지만, 함정의 기울기의 다양성이 충분하지 않을 경우 빈 공간이 생기게 되는 단점이 있다. Fig. 13은 다른 방향에서 본 3차원 RCS 측정값이다. 함정의 방위각 270° 부근에서 고각 데이터가 충분하지 않아 빈 공간이 생기는 것을 확인할 수 있다. 이를 방지하기 위해서는 선회 횟수를 늘리고

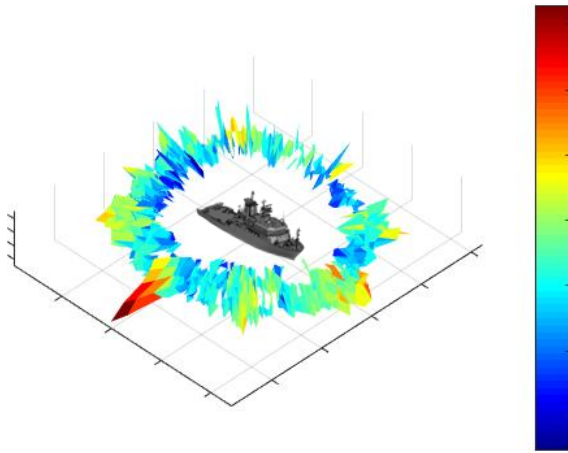


Fig. 12. 3D RCS from 45°

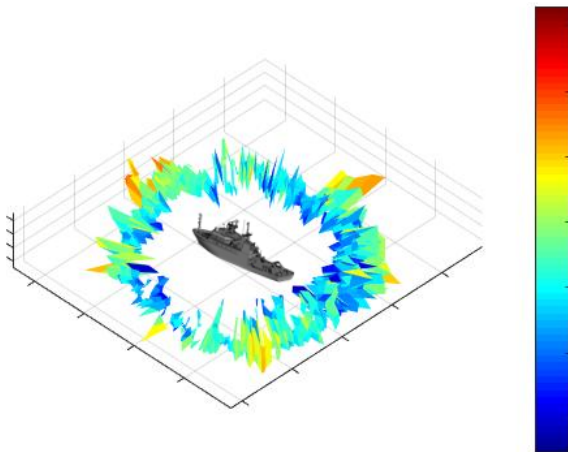


Fig. 13. 3D RCS from 225°

선회 속력을 변화하여 Roll, Pitch 분포가 다양하게 측정되게 해야 한다. 이렇게 분석된 방위각/고각 별 RCS 값은 여러 가지 도시방법에 따라 다양하게 활용 가능할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 논문은 운항중인 함정에 대해 RCS를 측정하고 함정의 6 자유도 자료를 이용하여 3차원 RCS를 분석하는 기법을 제안하였다. 함정이 가지고 있는 RCS 특성은 레이더가 바라보는 각도에 따라 달라지고 이를 도시하기 위해서는 함정의 자세 및 위치 정보를 이용한 분석이 필요하다. 제안한 기법은 RCS 측정과 동시에 GPS 시간 동기화된 함 자세 및 위치 정보를 저장하여 후처리를 통해 3차원 RCS 분석을 수행한다. 함정의 6 자유도 측정 자료는 함정의 위치와 자세를 나타내고 측정 장비와의 벡터 표현으로 함정의 방위각 및 고각을 계산하게 된다. 이를 이용하여 생성된 3차원 RCS 데이터베이스를 다양한 방법으로 도시하여 함정의 스텔스 성능을 표현할 수 있게 하였다. 또한, 제안한 기법을 검증하기 위해 CAD 기반 RCS 해석치가 있는 선박을 이용하여 해상 실험을 실시하였고 측정치와 해석치가 유사한 특성을 도출한다고 판단하였다.

본 논문에서 비교한 선박의 RCS 해석치의 경우 모델링된 해상위에 선박을 고정으로 위치시켜 선박의 움직임을 모사하지 않았다. 그렇기 때문에 추후 연구에서는 실제 해상에서 일어날 수 있는 함정의 자세 변화를 모델링하여 RCS 해석을 한 뒤 해상 실험 측정치와 비교하는 연구가 필요하다. 또한, 함정의 위협요소가 함정에 다가오면서 변화하는 고각 정보를 바탕으로 RCS 측정치 변화를 분석하여 함정의 생존성에 기여할 수 있는 연구를 향후 계속 진행하고자 한다.

References

- [1] EUGENE F. KNOTT, "RADAR CROSS SECTION MEASUREMENTS," Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 1-5, 1993.
- [2] B. Ahn, "A Study on the Recent Analysis Method for the RCS Reduction for Naval Ships," The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering

- and Science, Vol. 25, No. 3, pp. 333~338, 2014.
- [3] B. Ahn, S. 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.
- [4] G. Kim, H. Choi, K. Kwon, "Overview on Recent Technologies for RCS Characterization," The Journal of Korean Institute of Metals and Materials, Vol. 19, No. 6, pp. 34~41, 2006.
- [5] H. Kim, "Estimation and Measurement for RCS of Military Target," The Proceeding of the Korea Electromagnetic Engineering Society, Vol. 11, No. 4, pp. 16-25, 2000.
- [6] K. Kwon, J. Yoo, M. Chung, T. Yoon, "A Development of the Analysis Technique for Radar Target Signature and the Software Using RCS/ISAR," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 7, No. 17, pp. 88-99, 2004.
- [7] H.-H. Fuchs, H. Essen, G. Lindquist, "Influence of Atmospheric Propagation in the Maritime Boundary Layer on the Measured RCS of Ships," Progress in Biomedical Optics and Imaging, Vol. 7476, p. 747604, 2009.
- [8] C. Larsson, M. Gustafsson, G. Kristensson, "Calibration Methods for Wideband Forward RCS Measurements," Proceedings of the Fourth European Conference on Antennas and Propagation, pp. 1-5, 2010.
- [9] E. Kim, "Measurement and Analysis for Radar Glint Effect of Maritime Target," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 17, No. 4, pp. 521-530, 2014.
- [10] Anycasting Software, <http://www.anycastsoftware.com:32102/software/RTS.asp>