

## 무인수상정의 RCS 해석 및 감소 방법에 대한 연구

한민석\*, 유재관\*\*, 홍순국\*\*\*

## A Study on the RCS Analysis and Reduction Method of Unmanned Surface Vehicles

Min-Seok Han\*, Jae-Kwan Ryu\*\*, Soon-Kook Hong\*\*\*

**요약** 본 논문에서는 10m급 무인수상정의 RCS 해석과 함께 RCS 증가 요인을 분석하고 RCS 감소 방안을 도출하였다. 기하학적 형상을 변형시키는 성형기법을 통해 레이더 단면적을 감소시킬 수 있고, 이것을 스텔스 무인수상정 개발에 활용할 수 있음을 확인한다. RCS 감소를 위해 기존의 Top Mast 부분을 함미부분으로 1m 이동시키고 경사각 5도를 준 후 0.5 m 아래로 이동시킨 다음 중앙과 주변 반사 구조물에 대한 영향을 최소화시키기 위해 주변에 Guided Wall 을 추가 설치하였다. 기존 모델과의 RCS 해석 값을 비교 분석한 결과 모든 고각에 대해 감소 대책이 적용된 모델이 기존 모델보다 -3.79 dB 이상 낮아진 것을 알 수 있으며, 최대 대푯값은 기존 모델 고각 0도의 12.74 dB에서 6.32 dB로 낮아졌다. 특히, 희생각 영역을 제외한 영역에서 강한 산란 현상이 상당부분 제거된 것을 확인할 수 있다. 또한, Guide wall을 추가한 -5m ~ 2 m 부분의 경우 반사되는 신호가 최대 20 ~ 40 dB 이상 개선되어 2D ISAR 영상에 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 무인수상정 RCS 분석은 거리방향 프로파일 분석과 ISAR 영상 분석을 통해 문제 위치를 분석, 식별하는 과정을 설명하였으며, 그에 대한 문제를 해결할 수 있는 RCS 감소 방안을 함께 제시하였다.

**Abstract** In this paper, the RCS analysis of the 10m unmanned surface vehicles was performed, and the factors of RCS increase were analyzed. Modeling techniques by transforming a geometric shape can reduce the RCS area, which can be used to develop stealth unmanned surface vehicles. In order to reduce the RCS, the existing Top Mast part was moved 1m to the tail part, the 5 degree tilt angle was moved below 0.5 m, and additional guided walls were installed to minimize the influence on the center and surrounding corner reflecting structures. As a result of comparing and analyzing the RCS analysis value with the existing model, it can be seen that the reduced countermeasure model is -3.79 dB lower than the existing model for all elevations. In particular, it can be seen that the strong scattering phenomenon is substantially removed in the region except the sacrificial angle region. In addition, it can be seen that in the case of -5m to 2m where the guide wall is added, the reflected signal is improved up to 20 to 40 dB or more, so that it does not appear on the 2D ISAR image. RCS analysis of unmanned surface vehicles explained the process of analyzing and identifying problem location through distance profile analysis and ISAR image analysis.

**Key Words** : Inverse Synthetic Aperture Radar, Radar Cross Section, Range Profile, Stealth Technology, Unmanned Surface Vehicles.

---

This Paper was supported by Research Fund of LIGNex1 and Republic of Korea Naval Academy in 2019.

\*Department of Electrical and Electronics Engineering, Republic of Korea Naval Academy

\*\*R&D Center for Future Technology, LIGNex1

\*\*\*Corresponding Author : Department of Mechanical System Engineering, Republic of Korea Naval Academy (hsk753@gmail.com)

Received August 11, 2019

Revised August 21, 2019

Accepted August 24, 2019

## 1. 서론

최근 해군의 연안작전에 대한 패러다임의 변화에 따라 무인수상정에 대한 관심이 증대하고 있으며, 이에 대한 개발 또한 활발히 이루어지고 있다. 무인수상정(USV: Unmanned Surface Vehicles)은 유인체계 대비 지속성, 융통성 및 높은 생존성을 보유하고 있어 인명피해 위협을 최소화하고, 특히 육·해·공군이 동시에 운용되는 작전환경에서 효과적으로 운용 가능한 체계이며 유/무인 복합체제로 협력 운용하여 전투력 시너지를 극대화 할 수 있다. 이러한 이유로 무인수상정은 국방 분야에서 활용가치가 지속적으로 증가되고 있으며, 현재 국내/외에서 다양한 임무를 가지는 무인수상정 및 기반 기술이 개발되어 운용 중에 있다 [1][2].

무인수상정의 기술은 플랫폼, 자율운항, 원격통제, 임무수행 및 진 회수 기술로 크게 분류할 수 있다. 이 중 플랫폼 기술은 유인선박과 상당 부분 공통되는 기술이나 유인선박보다 소형이면서 고속, 고내항 성능을 가져야하고 무인수상정 개발 시 요구 성능에 따라 결정되는 설계인자들 중 스텔스 성능은 무인수상정의 생존성 및 은밀성을 보장하는 성능이며 주로 감시정찰 임무 또는 침투임무에 필수적인 요소이다.

무인수상정의 레이더유효단면적(RCS: Radar Cross Section)은 hull 형상과 상부구조물 형상, 그리고 탑재장비 형상으로 결정된다. Hull 형상은 무인수상정의 속도 및 안정성, 그리고 적재량 및 특수 임무에 따라 결정되는 사항이며, 주로 해수면에서 경사가 적용된 형태이기 때문에 상부구조물 형상이나 탑재장비 형상에 비해 RCS 영향성은 낮다고 할 수 있다. 해외 사례를 보면 무인수상정의 상부는 일정한 기울기를 가지도록 경사가 적용된 형태를 취하고 있으며 RCS 감소 범위를 주로 함의 전면부분(함수방향: forward projection)의 RCS 감소에 집중하고 있다 [3],[4].

본 논문에서는 무인수상정에 대한 RCS 분석을 통해 문제위치를 파악하고 문제위치 식별 내용을 기준으로 주요 RCS 감소 대책 적용 가능성을 검토하였다. 또한, RCS 감소 방안 적용 전/후 거리방향 프로파일 및 2D ISAR 영상을 비교 분석하여 희생각 영역을 제외한 영역에서의 강한 산란 현상이 상당부분 제거된 것을 확

인하였다. 모든 고각에 대해 감소 대책이 적용된 모델이 기존 모델보다 -4.54 dB 이상 낮아진 것을 알 수 있으며, 최대 대푯값은 기존 모델 고각 0도의 12.63 dB에서 6.42 dB로 낮아졌으며, 가장 큰 감소 효과를 보이는 고각은 9도로써 기존 모델의 9.77 dB에서 2.88 dB로 총 -6.88 dB만큼 낮아지는 것을 알 수 있다.

## 2. RCS 해석 및 감소 설계 이론

### 2.1 RCS 기본 이론

RCS는 레이더에서 송신한 전자파가 표적물에 산란되어 돌아오는 산란파의 전력과 송신 전자파의 전력의 비율로 표현될 수 있으며 표적물이 레이더 방향으로 산란시키는 전자파의 양에 관계 된다 [5]. RCS를 나타내는 수식은 다음과 같다.

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

이때  $E_s$  는 반사파의 전계강도이고,  $E_i$  는 입사파의 전계 강도이다. RCS가 레이더에서 송신하는 전자파의 크기나 레이더와 표적물과의 거리에 따라 다른 값을 가질 경우 표적물의 특성을 나타내는 고유한 값이라고 보기 어려우므로, 거리에 따른 전자파의 발산 면적을 보정하여 송신 전자파나 거리와는 무관한 값으로 정의한다. RCS를 결정하는 요소는 주파수, 편파, 레이더 송수신기 일치여부(Monostatic Radar/Bistatic Radar)와 같은 레이더 자체 특성과 표적 크기, 형상, 재질, 그리고 관측각도에 의해 결정된다.

RCS를 단면적, 재질과 형상에 따라서 변화하는 물체의 RCS로 단순화하면 아래와 같은 수식으로 표현될 수 있다.

$$\sigma(RCS) = A_p \times \Gamma \times D \quad (2)$$

위 식에서  $A_p$  는 입사방향으로 투영된 표적에 대한 단면적이고,  $\Gamma$  는 표적의 반사율(reflectivity),  $D$  는 지향성(directionality)을 나타내며 표적의 형상에 따라서 달라지는 반사특성을 대변한다. 위 식의 각 항목은 스텔스 기술에서 사용되는 단면적 최소화, 전자기파 흡수

체 및 RCS 감소형상 적용과 개념적으로 잘 대응되는 것을 알 수 있다. 또한 스텔스 무인수상정을 설계할 때 작은 산란체를 모두 제거하고, 큰 면으로 단순한 모양을 만드는 것은 이러한 이유 때문이다.

## 2.2 전자파 수치해석 이론

고주파 해석법은 군사 표적과 같이 파장에 비해 매우 큰 구조의 산란문제를 해결하는데 적합하며 주파수가 높아질 경우 전자파의 특성이 빛의 특성과 유사해진다는 가정을 이용하여 전자파 산란 문제를 해석하는 방법으로 무인수상정의 RCS 분석에 적합한 알고리즘으로 알려져 있다. 복합 임무가 부여되는 무인수상정의 경우 건조 단계에서 설계 변경이 자주 발생하기 때문에 매 설계 변경에 대한 RCS 분석 및 영향 검토가 필요하다. 이때 RCS 해석 소요 시간은 표적의 형상 및 크기에 따라 달라지지만, 해석 기법에 의해서도 많은 영향을 받는다. 따라서 무인수상정에 대한 RCS 해석 및 감소대책을 성공적으로 수행하기 위해서는 정확하면서도 매우 빠른 해석 기법이 필수적이다. 본 논문에서는 이에 적합한 해석 기법으로 SBR(Shooting and Bouncing Rays) 기법을 활용할 수 있는 환경을 제공하는 Ansys Electronics Tool [6] 을 활용하여 분석을 진행하였다. SBR 해석 기법은 GO(Geometrical Optics) 방법의 한 가지로서 광선 추적을 통해 전파 경로와 각 반사면의 특성을 분석하여, 편파를 고려한 전파 현상을 계산 한다 [7].

## 2.3 RCS 데이터 분석 방법

첫째, RCS 데이터를 분석하기 위해서 일반적으로 Polar 포맷과 Rectangular(XY) 포맷으로 표현하게 되는데, Polar plot의 경우, 전방위각을 원으로 표현하여 입사각에 따른 RCS를 이미지화 하면서 최대값을 갖는 방위각을 파악하는데 유리하고, Rectangular plot은 RCS 최대값(Peak Value)을 구별하기 쉽다.

둘째, 레이더는 음향센서와 마찬가지로 송신된 신호를 시간에 대하여 관측하여 표적의 위치를 탐지하는 센서이며, 시간에 대한 반사 신호를 거리방향 프로파일(Range Profile)이라고 한다. 거리방향 프로파일을 활용하면 표적의 위치를 특정할 수 있을 뿐만 아니라, 해

상도가 높은 경우에 표적의 각각 다른 부위에서 반사되는 신호의 강도까지 분석할 수 있다.

셋째, 레이더 영상은 전자파에 의한 표적의 반사 특성을 공간적으로 보여주는 것으로, 이러한 레이더 영상을 얻는 방법에는 여러 가지가 있으나 이들 중 표적의 반사 특성을 효과적으로 나타내는 방법이 역 합성 개구 레이더(ISAR: Inverse Synthetic Aperture Radar)영상 기법이다 [8]. 무인수상정 RCS의 횡 방향과 높이 방향에 대한 시각화는 특정 주파수와 방위각에 대한 무인수상정의 2D ISAR영상을 이용해서 무인수상정에서 발생하는 산란점 위치를 찾을 수 있다. 2D ISAR 영상은 Mono-static RCS 데이터를 요구조건(영상 해상도, 표적크기)에 맞춰서 주파수와 방위 방향에 관한 해석하여, FFT(Fast Fourier Transform) 또는 MP(Matrix Pencil)방법을 이용해, 종방향과 횡방향으로 RCS 데이터를 재배치하는 것이다.

## 2.4 RCS 감소 설계 절차

수치 해석적 무인수상정의 RCS를 줄이는 기법(Stealth Technology)에는 크게 두 가지가 있다.

첫째는 무인수상정의 기하학적 형상을 변형시키는 성형기법(Shaping)이다. 이는 무인수상정의 RCS 예측과 증상 분석을 통해 무인수상정의 주된 산란 부위와 산란 메커니즘을 분석하여 무인수상정의 형상을 적절히 변화시킴으로써 전자파가 산란되지 않거나 산란된다 하더라도 레이더 방향이 아닌 다른 방향으로 산란시켜 레이더가 무인수상정을 탐지 못하도록 하는 기법이다 [9]. 먼저 무인수상정 설계 CAD 모델의 RCS를 해석하고, 각 주파수/고각별 방위각에 대한 RCS 해석 결과를 분석한 후 RCS를 증가시키는 위치를 식별한다. CAD 모델 상에서 산란점 또는 높은 RCS를 발생시키는 구조물을 확인 후, 모델 변경 같은 RCS 감소 대책 적용을 통해 RCS 감소 설계를 수행한다 [4].

둘째는 표적물 표면에 전자파 흡수체인 RAM(Radar Absorbing Material)과 같은 물질을 도포하여 전자파를 산란되지 않도록 하는 코팅 기법이다 [10]. 하지만 흡수체의 적용은 시공이 쉽지 않을 뿐만 아니라, 원하는 흡수 성능을 얻기 위해서는 0.1 mm 단위의 두께 제어가 필요하므로, 엄격한 제작 공정 관

리와 사후 관리가 필요하기 때문에 운용 및 유지가 매우 어렵다.

### 3. RCS 해석 및 문제위치 분석

#### 3.1 RCS 해석 조건 설정

표 1. RCS 해석조건  
Table 1. RCS Analysis Condition

Item	Analysis Condition
Frequency	4, 8 GHz
PR/ISAR Resolution	0.15 m
Elevation Angle	0~10° (1 degree spacing)
Azimuth Angle	0~360° (1 degree spacing)
Polarization	HH, VV
Tx/Rx Match	Monostatic
Sea Level Effect	Not Considered
Shaking Motion	Not Considered
Analysis Technique	SBR
Multiple Reflections	3

본 논문에서 수행한 무인수상정의 RCS 해석은 일반적인 수상함정의 RCS 해석과 동일하게 참고문헌 [4]의 해석조건을 이용하여 수행한다. 표 1에 RCS 해석 조건을 정리하였다. RCS 대푯값 계산은 특정 고각에 대한 방위각 RCS의 dB평균(기하평균)을 계산하여 제시하였으며, 계산 시 회생각(Cardinal Point)영역을 제외한 방위각별 RCS의 대푯값을 산출하였다. 또한, 회생각 영역은 일반적인 수상함 RCS 해석 시와 동일하게 함수/함미 정방향 (0°/270°)를 기준으로 ± 45° 영역으로 설정하였다.

#### 3.2 CAD 모델 제작

RCS 해석에 사용된 무인수상정의 크기는 10(길이) m × 3.4(폭) m × 4.42(높이) m 이다. 시뮬레이션에 사용된 주파수는 4GHz 와 8GHz를 사용하였고 다중반사는 3차까지 예측하였다. 그림 1은 본 논문에서 RCS 분석을 위해 사용한 CAD 모델을 나타내주고 있다. (a)와 (b)는 방위각 평면과 고각 평면에 대한 정의를 나타내고 있으며 이를 바탕으로 RCS 해석에 사용된 3차원 CAD 모델을 (c)에 보여주고 있다.

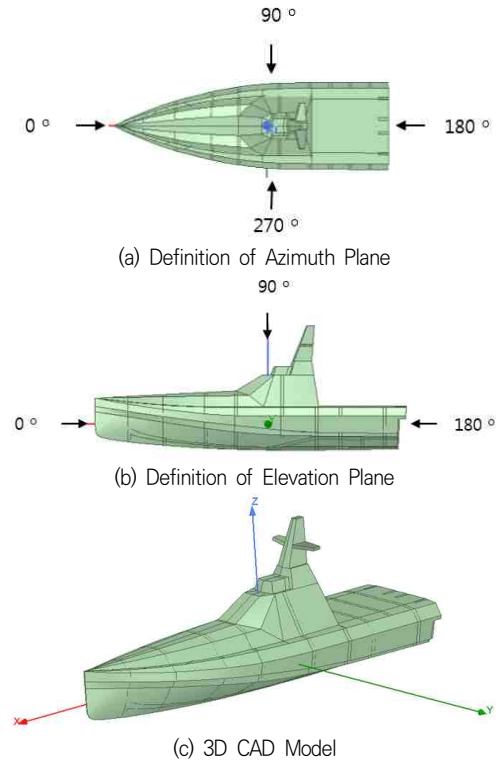


그림 1. RCS 해석을 위한 평면 정의 및 3D CAD 모델.  
Fig. 1. Definition of Plane and 3D CAD Model for RCS Analysis.

#### 3.3 고각별 방위각 RCS 해석 결과

표 2. 고각별 dB 평균 RCS (단위, dBsm)  
Table 2. dB Average RCS by Elevation (Unit, dBsm)

	HH 편파		VV편파	
	4 GHz	8 GHz	4 GHz	8 GHz
0	12.74	13.12	12.83	13.18
1	9.18	11.28	9.22	9.27
2	7.88	9.35	7.84	7.81
3	6.47	8.62	6.52	6.54
4	6.85	7.74	6.88	6.89
5	7.24	6.82	7.32	7.35
6	7.52	6.05	7.58	7.54
7	8.04	5.84	8.12	8.14
8	8.78	6.26	8.85	8.87
9	9.82	6.57	9.88	9.82
10	10.72	7.12	10.78	10.84

고각 0°에서 10°까지 1° 간격으로 주파수 4GHz

와 8GHz에 대해서 전방위각 RCS 해석을 실시하였고 분석한 결과를 바탕으로 표 2 에는 HH편파/ VV편파의 모든 해석 주파수에 대한 고각별 RCS 대푯값(dB 평균)을 정리하였다.

### 3.4 문제 위치 분석

4 GHz와 8 GHz 주파수에 대해서 거리방향 프로파일 및 ISAR 영상 분석을 통해 무인수상정의 RCS 증가 요인을 식별하였다. 고각 0°의 방위각 RCS 그래프를 확인해 보면, 넓은 영역에서 나타나는 형태는 특정 위치에서 발생하는 다중반사에 의한 영향으로 볼 수 있다. 넓은 영역 안에 포함되는 특정 방위각을 아래 그림 2과 같이 3개의 구역을 선택하고, 그림 3과 그림 4에 각 지점에 대한 거리방향 프로파일 분석과 ISAR 영상 분석을 수행하였다. 고각 0°, 방위각 293°와 72°에서 무인수상정 오른쪽과 왼쪽 후방에 설치된 마스트와 벽면이 90° 코너 반사 형태를 이루어 해당 위치에서 상대적으로 큰 RCS가 발생한 것으로 확인되었다.

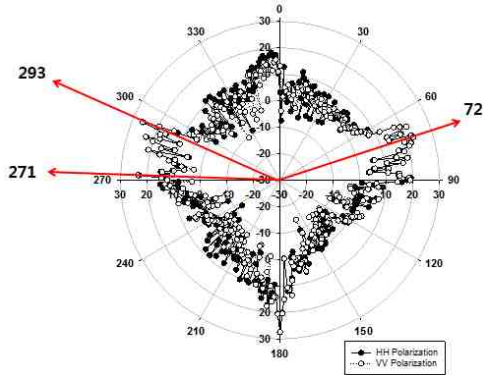


그림 2. 고각 0도 RCS 그래프와 RCS 증가 위치 선택  
Fig. 2. RCS Graph of Elevation 0 degree and Selection of RCS Increment Location.

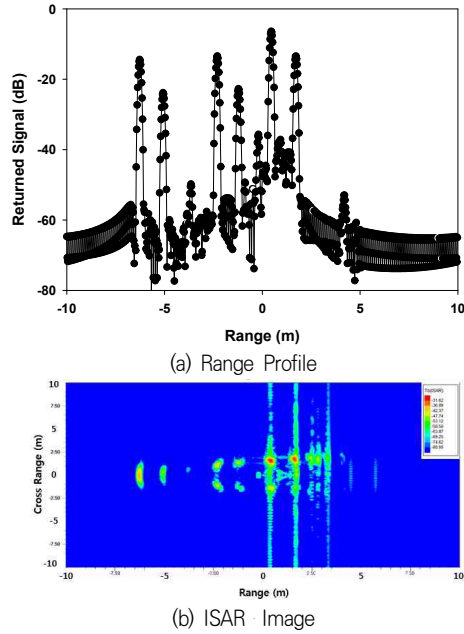


그림 3. 거리방향 프로파일 및 ISAR 영상 분석 (4 GHz)  
Fig. 3. Analysis of Range Profile and ISAR Image (4 GHz).

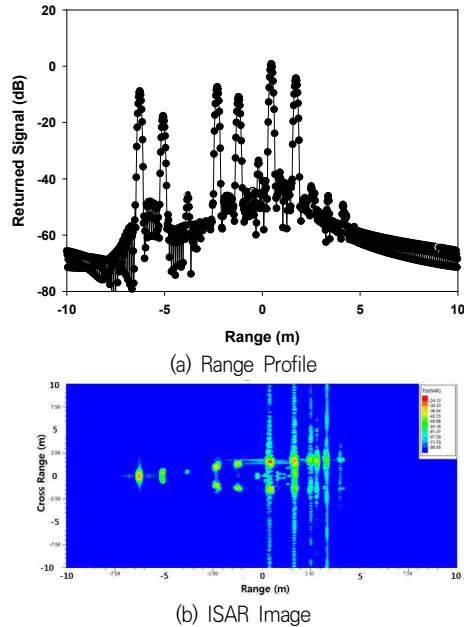


그림 4. 거리방향 프로파일 및 ISAR 영상 분석 (8 GHz)  
Fig. 4. Analysis of Range Profile and ISAR Image (8 GHz).

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 RCS 감소 대상 및 방안 연구

표 5. RCS 감소 대상 및 방안  
Table 5. RCS Analysis Condition

No	Object/ Location	Method of RCS Reduction
1	Top mast	1.5 m shift
2	Top mast	5 degree tilt
3	Top mast	0.5 m shift
4	Center 90 degree Corner Reflect Structure	Guided wall added
5	Side 90 degree Corner Reflect Structure	Guided wall added

\* 세부내용 참고) 그림 5  
\* Detail Information Reference) Fig. 5

RCS 감소 대상은 앞서 소개한 RCS 해석을 위해 사용된 CAD 모델 및 문제위치 식별 내용을 기준으로 주요 RCS 감소 대책을 적용하였다. 먼저 RCS 감소 방안 적용을 위해 해석 결과에서 감소 설계가 필요한 대상 및 위치를 선정하였다. RCS 감소 방안이 적용된 부분은 총 5가지로 요약할 수 있으며, 주요 RCS 증가요인과 이에 따른 감소 방안은 표 5와 같이 나타내었다. 또한 최종 수정된 모델에 대해 RCS 해석을 통해 기존 모델과의 RCS 해석 값을 비교 분석하였다.

### 4.2 RCS 감소 방안 모델 제작

그림 5는 앞서 수행한 무인수상정의 RCS 감소방안을 토대로 RCS 감소방안 적용 전/후 3D CAD 모델을 비교해서 나타내고 있다. RCS 감소를 위해 기존의 Top Mast 부분을 함미부분으로 1m 이동시키고 경사각 5°을 준 후 0.5 m 아래로 이동시킨 다음 중앙과 주변 반사 구조물에 대한 영향을 최소화시키기 위해 주변에 Guided Wall을 추가 설치하였다. 무인수상정의 경우 복합 임무 수행을 위해 레이더, 라이다, 주/야간 카메라, 다양한 복합 항법장치들을 탑재하고 있기 때문에 이들의 영향을 최소화하기 위해 구조 변경 시

장착 위치는 최대한 그대로 유지한 채 구조 변경이 이루어 졌다. 또한 RCS 해석을 위해 3차원 CAD모델 표면을 삼각형 격자로 분할하였으며, 이때 격자의 개수는 총 150,428개이다. 또한 RCS 감소 설계 모델 또한 Ansys Electronics 시뮬레이션 Tool에서 제공하고 있는 SBR+ 해석 기법을 활용하였다 [13].

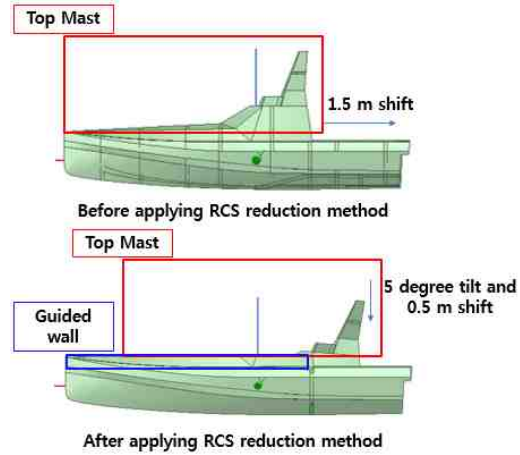


그림 5. RCS 감소방안 적용 전/후 3D CAD 모델 비교  
Fig. 5. Comparison of 3D CAD Model before and after applying RCS reduction method

### 4.3 RCS 감소 방안 적용 전/후 해석 결과 비교 분석

그림 6과 7은 고각 0도에서 RCS 감소 방안 적용 전/후 거리방향 프로파일 및 2D ISAR 영상을 나타낸다. 앞에서 언급한 내용들을 바탕으로 RCS 감소 방안 적용 전/후 해석 결과를 비교 분석하면 희생각 영역을 제외한 영역에서의 강한 산란 현상이 상당부분 제거된 것을 확인할 수 있다. 특히, Guide wall을 추가한 5m ~ 2 m 부분의 경우 반사되는 신호가 최대 20 ~ 40 dB 이상 개선되어 2D ISAR 영상에 나타나지 않는 것을 알 수 있다.

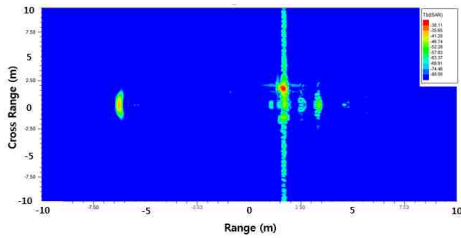
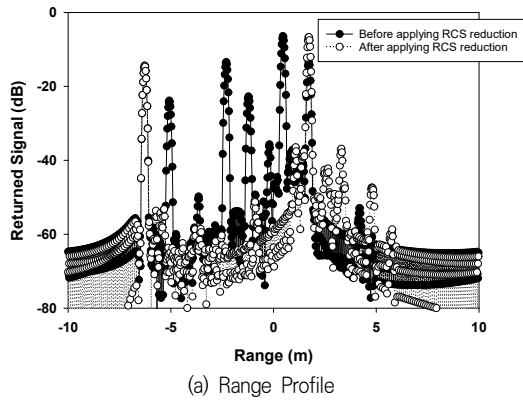


그림 6. RCS 감소방안 적용 전/후 거리방향 프로파일 및 RCS 감소방안 적용 후 ISAR 영상 분석 (4 GHz)  
 Fig. 6. Analysis of Range Profile and ISAR Image (4 GHz).

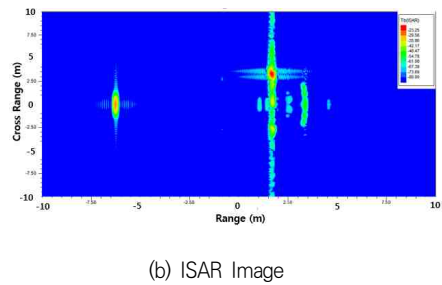
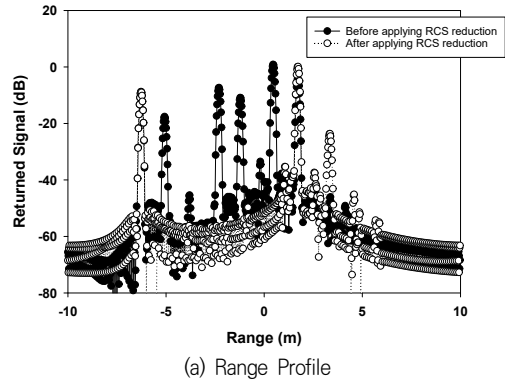


그림 7. RCS 감소방안 적용 전/후 거리방향 프로파일 및 RCS 감소방안 적용 후 ISAR 영상 분석 (8 GHz)  
 Fig. 7. Analysis of Range Profile and ISAR Image (8 GHz).

표 6. RCS 감소방안 적용 전/후 해석결과 비교 (HH편파, dB평균)

Table 6. Comparison of Analysis Results Before and After Applying RCS Reduction Method (HH Polarization, dB Average)

Elevation Angle	dB Average (4 GHz)			dB Average (8 GHz)		
	Model(A)	Model(B)	Difference(B-A)	Model(A)	Model(B)	Difference(B-A)
0	12.74	6.32	-6.42	13.12	6.88	-6.24
1	9.18	4.38	-4.8	11.28	6.34	-4.94
2	7.88	3.21	-4.67	9.35	4.72	-4.63
3	6.47	1.62	-4.85	8.62	4.35	-4.27
4	6.85	1.84	-5.01	7.74	2.64	-5.1
5	7.24	2.12	-5.12	6.82	2.12	-4.7
6	7.52	2.84	-4.68	6.05	2.05	-4
7	8.04	2.68	-5.36	5.84	1.56	-4.28
8	8.78	2.35	-6.43	6.26	2.34	-3.92
9	9.82	2.84	-6.98	6.57	2.78	-3.79
10	10.72	4.12	-6.6	7.12	2.84	-4.28

표 6을 보면 알 수 있듯이 모든 고각에 대해 감소 대책이 적용된 모델이 기존 모델보다 -3.79 dB 이상 낮아진 것을 알 수 있으며, 최대 대푯값은 기존 모델 고각 0도의 12.74 dB에서 6.32 dB로 낮아졌으며, 가장 큰 감소 효과를 보이는 고각은 9도로써 기존 모델의 9.82 dB에서 2.84 dB로 총 -6.98 dB만큼 낮아지는 것을 알 수 있었다. 본 논문에서 RCS 해석에 사용된 무인수상정의 경우 전력화 단계가 아닌 개발단계에서 최적화된 구조 및 형상이 변경된 결과가 아니기 때문에, 향후 RCS 설계 목표치 및 기준치를 정립하고 해당 사항에 대해 무인수상정의 위협세력 분석 및 피탐지거리 분석, 최적화된 구조 및 전자파 흡수체 적용을 통한 RCS 감소 등에 대한 추가적인 연구가 진행될 예정이다.

## 5. 결론

본 논문에서는 10m급 무인수상정의 RCS 해석과 함께 RCS 증가 요인 분석을 위해 거리방향 프로파일, 2차원 ISAR 영상 및 전파반사경로 분석 방법을 이용하여 확인하였다. 또한, RCS 감소 방안을 도출, 적용하여 RCS 감소방안이 적용된 3D CAD 모델을 제작하였으며, 이에 따른 RCS 해석을 수행하고 기존 모델과의 RCS 해석 값을 비교 분석 하였다. 고각 0°에서 10°까지 1° 간격으로 주파수 4GHz와 8GHz에 대해서 전방위각 RCS 해석을 실시하였고 분석한 결과를 바탕으로 문제위치 식별을 위해 polar 그래프를 이용하여 주요 방위각을 선정한 후 거리방향 프로파일, 2차원 ISAR 영상과 전파반사경로 분석을 수행하였다. 분석 결과, 가장 큰 산란을 야기하는 구조는 중앙부의 90도 코너 반사 구조였으며, 이외에도 마스트의 전체적인 형상, 임무장비 및 측면 구조물 등 다양한 산란 원인을 분석하였다.

분석 결과를 토대로 총 5가지의 RCS 감소 방안을 마련하였으며 이를 적용한 RCS 감소 방안 모델을 제작한 후, 주파수 4GHz 와 8 GHz 환경에서 이에 대한 RCS 해석을 수행하였다. 기존 모델과 RCS 감소 방안이 적용된 형상의 RCS 비교 결과 모든 고각에 대해 감소 대책이 적용된 모델이 기존 모델보다 -3.79 dB 이

상 낮아진 것을 알 수 있으며, 최대 대푯값은 기존 모델 고각 0도의 12.74 dB에서 6.32 dB로 낮아졌으며, 가장 큰 감소 효과를 보이는 고각은 9도로써 기존 모델의 9.82 dB에서 2.84 dB로 총 -6.98 dB만큼 낮아지는 것을 알 수 있었다. 특히, Guide wall을 추가한 -5m ~ 2 m 부분의 경우 반사되는 신호가 최대 20 ~ 40 dB 이상 개선되어 2D ISAR 영상에 나타나지 않는 것을 알 수 있다.

현재 무인수상정의 경우 전력화 단계가 아닌 개발단계이기 때문에, RCS 설계 목표치 및 기준치가 정립되지 않은 상황이므로 향후 해당 사항에 대해 무인수상정의 위협세력 분석 및 피탐지거리 분석, 전자파 흡수체 적용에 의한 RCS 감소와 같은 추가적인 연구가 진행될 예정이다.

## REFERENCES

- [1] J. Jung and J. Kye, "Aspect a Future War and Development of Weapon-system", The 8<sup>th</sup> Conference on National Defense Technology, pp. 306-318, July, 2012.
- [2] USA Department of Navy, "The Navy Unmanned Surface Vehicle(USV) Master Plan", pp. 1-94, July, 2007.
- [3] 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, March, 2014.
- [4] B. Ahn and 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, June, 2015.
- [5] M. Jang, R. Myong, I. Jang, and D. Lee, "A Hybrid RCS Analysis Code



Based on Physical Optics and Geometrical Optics", Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Science, Vol.42, No.11 pp. 958-967, November, 2014.

[6] Ansys Electronics and Electromagnetic Suite Release 19.1. [Online]. Available : www.ansys.com

[7] M. Jang, R. Myong, I. Jang, and D. Lee, "A Hybrid RCS Analysis Code Based on Physical Optics and Geometrical Optics", Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Science, Vol.42, No.11 pp. 958-967, November, 2014.

[8] D. Song, B. Yang, and R. Myong, "Effect of IR Reduction Design on RCS of UCAV", Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Science, Vol.46, No.4 pp. 297-305, November, 2014.

[9] H. Shin, S. Lee, D. Park, J. Shin, M. Chung, S. Park, and Y. Park , "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, July, 2017.

[10] J. Hwang, S. Hong, H. Kwon, and J. Song, "Analysis of Stealth design for naval vessels with wide band metamaterials", Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol.21, No.11, pp. 2206-2212, November, 2017.

저자약력

한 민 석(Min-Seok Han)

[정회원]



- 2005년 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 졸업 (석사)
- 2011년 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 졸업 (박사)
- 2013년 ~ 2016년 : KAIST (제스마트)융합시스템연구단 연구교수
- 2016년 ~ 2018년 : 오산대학교 전자과 교수
- 2019년 ~ 현재 : 해군사관학교 전기전자공학과 교수

〈관심분야〉 RCS, 5G, ICT Convergence Platform

유 재 관(Jae-Kwan Ryu)

[정회원]



- 2009년 : JAIST 로봇공학과 졸업 (박사)
- 前) Research Center for Trustworthy 연구원
- 2009년 ~ 현재 : LIG넥스원 미래기술연구소 수석연구원

〈관심분야〉 지능형 국방로봇, RCS, 무인수상정

홍 순 국(Soon-Kook Hong)

[정회원]



- 1992년 : 해군사관학교 기계공학과 졸업 (공학사)
- 2005년 : 서울대학교 기계항공공학부 졸업 (석사)
- 2010년 : University of California 기계항공공학과 졸업 (박사)
- 2010년 ~ 현재 : 해군사관학교 기계시스템공학과 교수

〈관심분야〉 무기체계, RCS, 무인수상정, 스텔스