

사각과 원형의 삼각 전파반사기의 RCS 측정 및 해석 Measurement and Analysis of the RCS of Square and Circular Retroreflectors

장지성¹, 양찬수², 오이석¹

Ji-Seong Jang¹, Chan-Su Yang², Yisok Oh¹

홍익대학교 전자정보통신공학과¹

한국해양연구원²

E-mail : wave_geba@yahoo.com

요약

본 논문에서는 제작이 간편하고, 저렴하며, 설치가 용이한 Trihedral corner reflector를 연결하여 전방향(omni-directional)에서 전파를 입사방향으로 반사하도록 전파반사기를 설계한다. Scale-down된 사각(square) 형태와 원형(circular) 형태의 Retroreflector를 제작하고, RCS(radar cross section)의 각도별 패턴 특성을 측정하여 이론적, 수치 해석적 계산과 비교한 결과를 보인다. 측정된 RCS 절대 값과 패턴을 이론식 및 시뮬레이션 수치 해석 값과 비교하여 데이터의 적정성을 분석한다.

I. 서론

위성 SAR 영상 분석을 이용하여 선박의 위치를 추적할 필요가 있고, 인위적으로 선박에서의 전파반사 크기를 높일 수 있는 방법이 있는지에 대한 연구가 필요하다. 인위적인 Reflector들에는 Luneberg lens reflector, trihedral corner reflector, dihedral corner reflector, active transponder 등이 사용된다^[1]. Luneberg lens reflector는 전방향에서 전파를 입사방향으로 균일하게 반사하는 장점이 있으나 가격이 비싸고, 무거운 단점이 있다. 만일 편파와 입사각도가 결정된 경우에는 증폭기를 이용한 active transponder를 이용하면 작고 가벼운 구조로도 큰 RCS 값을 얻을 수 있으나, 움직이는 선박의 경우에는 편파별 입사각도별로 여러 대를 설치해야 하는 단점이 있다.

Corner reflector는 Luneberg lens reflector에 비교해서 전방향 반사 특성이 좋지 않지만 제작이 간편하고, 가격이 저렴하며, 설치가 용이한 장점이 있다. 또한, active transponder에 비해서는 여러 주파수에서 사용가능하고, 역시 저렴하고, 제작과 설치가 간편한 장점이 있다. Trihedral corner reflector를 연결하여 전방향 (omni-direction)에서 전파를 입사방향으로 반사하도록 하는 Retroreflector를 설계하여 전방향 반사특성을 보완 하였다^[2]. 이를 통해 선박의 위치 추적에 사용되기에 적절한 Corner Reflector를 제시하였다.

II. 측정 및 측정 결과

측정에 사용된 C-밴드 (5.3 GHz) scatterometer는 그림 1과 같이 구성된다.

송수신기로 network analyzer를 사용하고, OMT(orthogonal mode transducer)가 부착된 안테나시스템을 갖고 있어서 VV-, VH-, HV-, VV-편파 특성을 측정할 수 있는 완전편파용 scatterometer이다^[3]. Time-gating 기능을 사용하여 마치 무반향실에서의 측정처럼 전파 잡음을 제거할 수 있으며, 턴테이블을 이용하여 0도부터 360도까지 정확하게 RCS 패턴을 측정할 수 있다. 또한 network analyzer에 노트북을 GPIB케이블로 연결하여 프로그래밍을 통해 자동으로 데이터를 수집할 수 있다. Retroreflector의 bore-sight($\theta=54.74^\circ$)를 안테나가 정확히 바라보게 해야 하고, ϕ (-90° 에서 90° 까지) 방향으로 이 전파반사기의 RCS 패턴 측정 결과를 분석하고, 90° 간격으로 같은 패턴이 반복됨을 보인다. 이때에 안테나와 reflector까지의 거리는 2.7m이다.

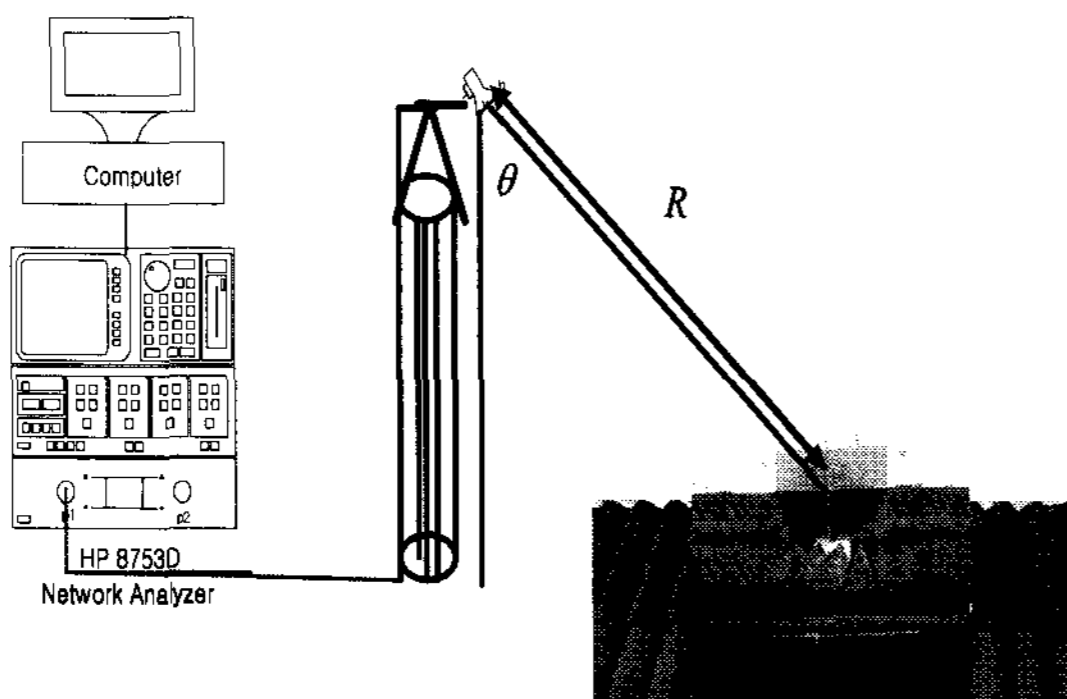


그림 1. 측정 시스템

측정 결과는 그림 2와 그림 3과 같다. 그림 2는 반쪽 변의 길이가 15 cm인 square-type trihedral retroreflector (STR)의 RCS를 VV-, HH-, VH-와 HV-편파에서 측정한 결과를 보인다. 이론적으로는 교차편파의 값이 없어야하나, 실제 reflector에서는 변과 모서리의 영향으로 교차편파가 측정되며, 가역정리를 만족시키므로 측정된 VH-편파 RCS는 HV-편파의 값과 같다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 $+45^\circ$ 와 -45° 에서는 STR의 RCS 특성을 보이지만, 0도 (정면) 근방에서는 Dihedral의 RCS 특성을 보

인다. VV-편파는 비교적 각도별 RCS의 변화가 적어 최고와 최저값의 차이가 10 dB 이내이지만, HH-편파의 경우에는 15 dB의 고저차를 보이는데, 이것은 dihedral의 영향이 HH-편파에서 더 심하기 때문인 것으로 보인다. 그림 3은 반경이 10 cm 인 circular-type trihedral retroreflector(CTR)의 RCS를 수평 각도를 -90° 에서 $+90^\circ$ 까지 변경하며 측정한 결과이며, VV-편파의 최고와 최저값 차이가 대략 5 dB이어서 각도에 따른 변화가 적으나, HH-편파는 무려 22dB의 고저차를 가지므로, 원형의 경우 HH-편파에서는 전방향 반사기로 사용하기에는 적절치 않고, 다른 방식을 선택하는 게 좋을 것으로 보인다.

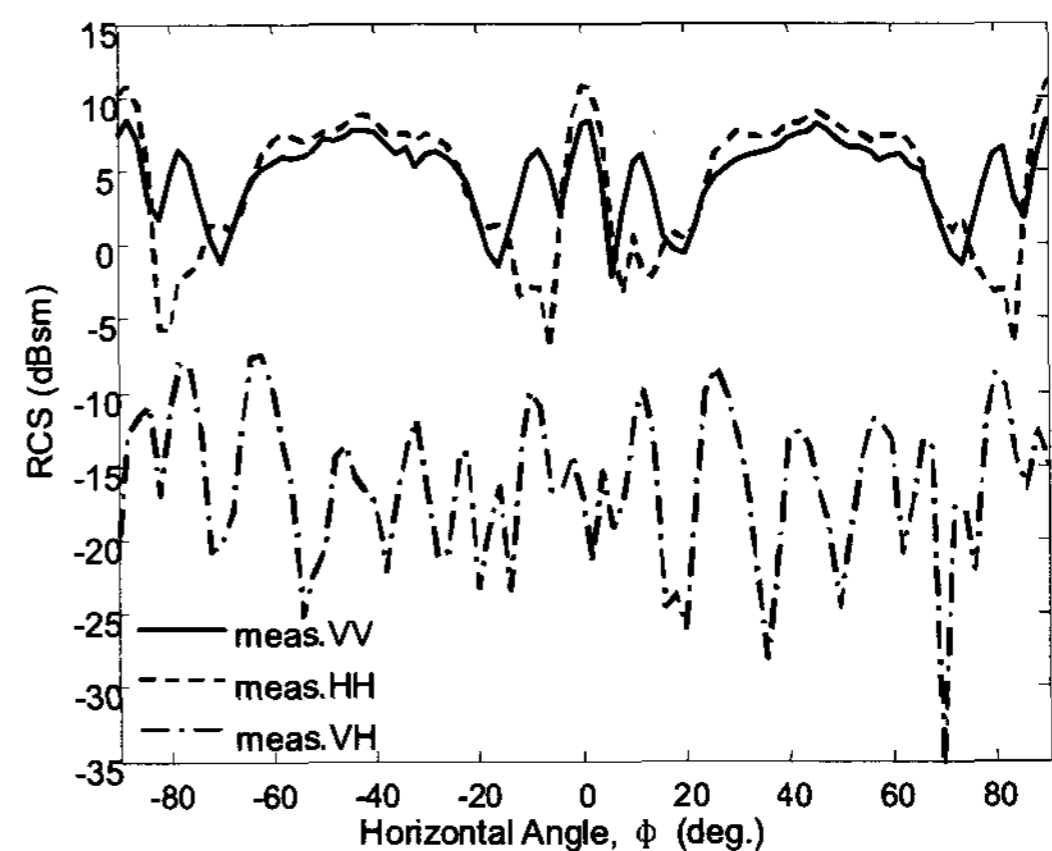


그림 2. 사각형 Retroreflector의 RCS 측정 결과.

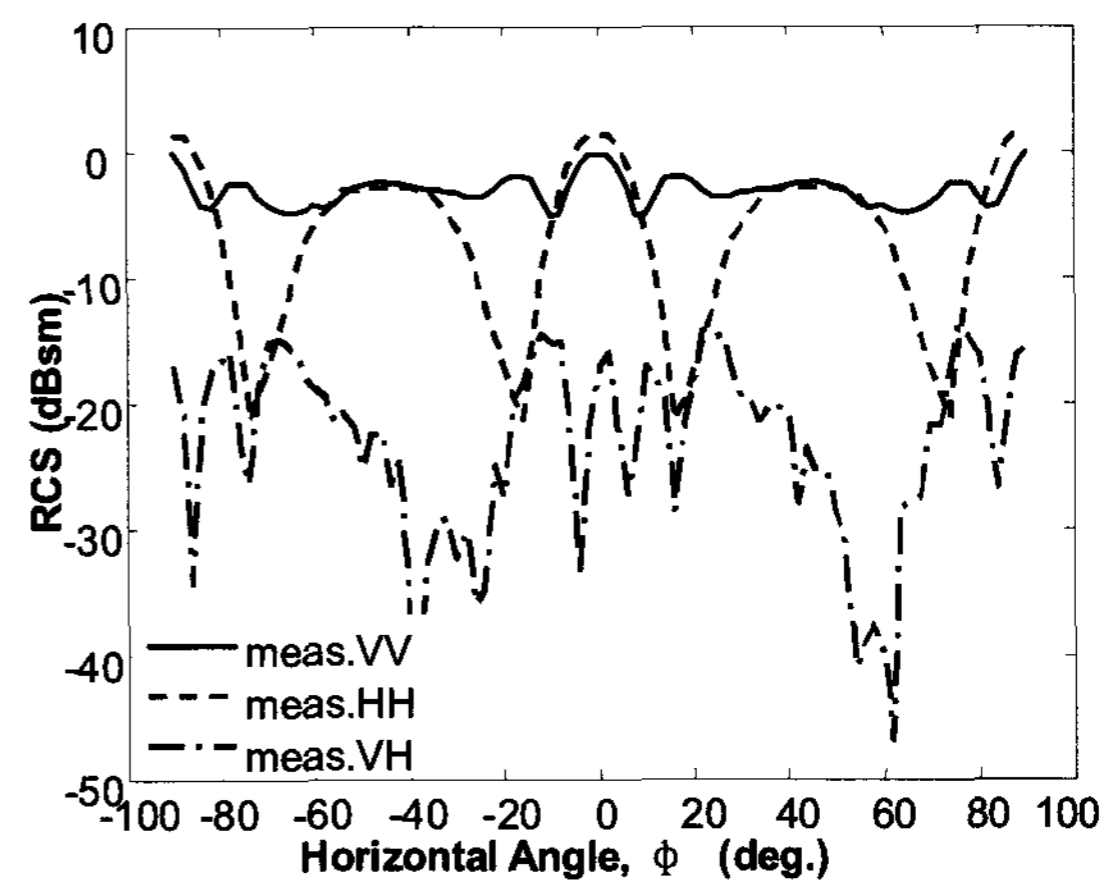


그림 3. 원형 Retroreflector의 RCS 측정결과.

III. 이론식 및 시뮬레이션

Corner Reflector(CR)에 대해서는 많은 연구를 통하여 측정 및 이론식들이 있다^[1]. 그러나 본 논문에서 제안한 변형된 CR형태의 retroreflector에 대한 RCS를 정확하게 계산하는 간단한 이론식은 얻을 수 없으므로, STR의 경우에 $\phi=0^\circ$ 와 $\pm 90^\circ$ 근방의 각도에서는 dihedral corner reflector(DCR)로 이 외의 각도에서는 square trihedral corner reflector(STCR)로 계산하였다.

즉, $-10^\circ \leq \phi \leq 10^\circ$ 에서는 DCR RCS 계산식인 (1)을 사용하고, 그 밖의 각도에서는 STCR RCS 계산식인 (2)를 사용하였다^[4].

$$\sigma_{DCR} = \frac{16\pi l^4 \sin^2 \psi}{\lambda_0^2} \left[\frac{\sin(\beta l \sin \phi)}{(\beta l \sin \phi)} \right]^2 \quad (1)$$

$$\sigma_{STCR} = \frac{4\pi l^4}{\lambda_0^2} \cos^2 \theta (4 - \cot \phi)^2 \quad (2)$$

여기서 $\psi = \pi/4 + 35.26\pi/180$ 이다. 그림 4는 STCR과 DCR의 RCS 이론식의 RCS를 보여주고 있으며, STCR과 DCR 두 그래프를 더하면 retroreflector의 이론적 RCS를 얻어 낼 수 있다.

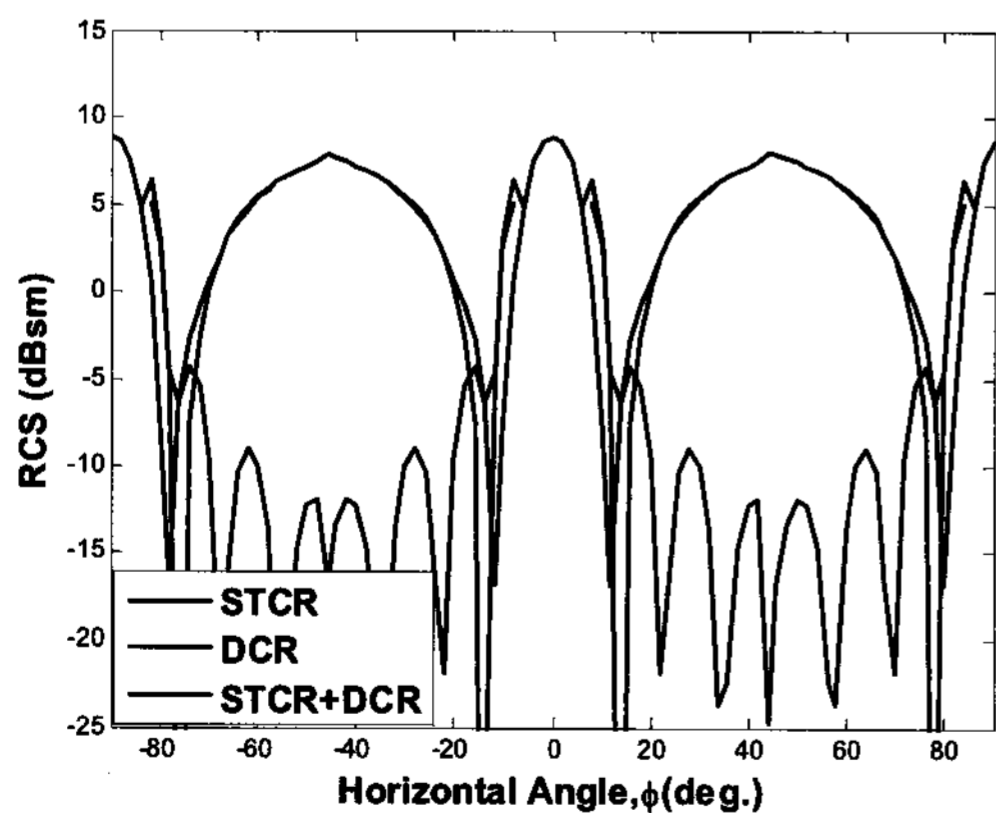


그림 4. STCR과 DCR의 이론식

더욱 정확하게 비교하기 위하여 상용의 high frequency structure simulator (HFSS) 시뮬레이션 tool을 사용하여 retroreflector의

RCS 특성을 분석 하였다. HFSS tool을 사용하여 단일 DCR과 단일 STCR의 특성을 분석하여 $\phi=0^\circ$ 주변에서 Dominant 영역을 구분하였고, 이를 통해 이론식을 보완 하였다.

그림 5는 STR의 VV-편파 RCS에 대한 측정값, 이론값과 HFSS 수치적 계산 값을 비교한 그림이다. 주요 해석 영역부근인 $\phi = \pm 45^\circ$ 주변에서는 비교 값들 사이에 0.5 dB이하의 오차를 보였으며, $\phi=0^\circ$ 에서는 1.5 dB이하의 차이를 보였다. $\phi = \pm 8^\circ$ 부근의 side lobe들은 STR의 세로 방향의 모서리에 의해 DCR특성이 dominant한 영역에서 STCR의 영향이 나타난 것이다. 모서리의 두께가 작아진다면 side lobe의 크기가 작아지며, 폭도 좁아지는 것을 HFSS 계산에서 확인하였다. 그림 2에서 HH편파가 VV편파에 비해 1 dB가량 높은 이유는 가로방향의 모서리의 두께에 의한 것으로서, 두께가 작아지면 HH편파와 VV편파의 차이는 작아진다.

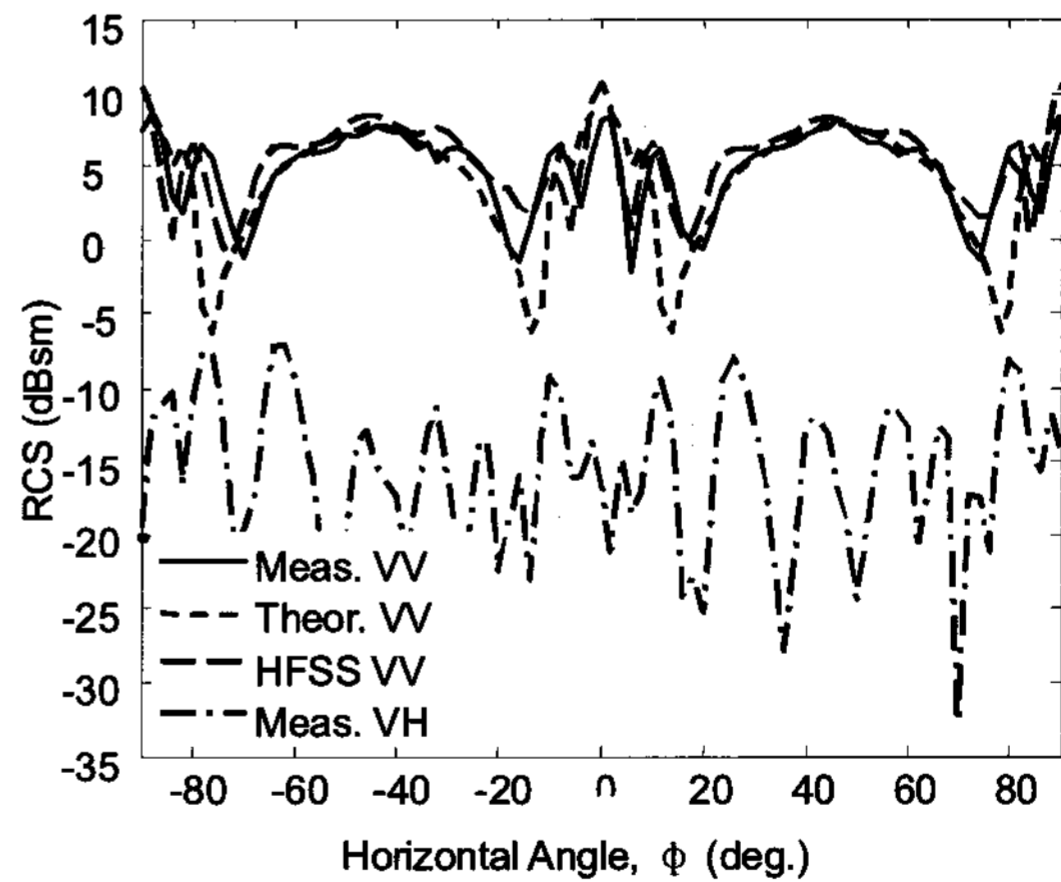


그림 5. STR의 VV-편파 RCS의 측정값, 이론값과 HFSS 계산 값과 VH-편파 RCS 측정값.

CTR (원형의 반사기)의 경우에 bore-sight ($\theta = 54.7^\circ, \phi = 45^\circ$)에서의 RCS값은 (3)과 같다^[2].

$$\sigma_{CTR} = \frac{15.6l^4}{\lambda_0^2} \quad (\text{m}^2) \quad (3)$$

STR의 bore-sight ($\theta = 54.7^\circ, \phi = 45^\circ$)에서의 RCS는 다음과 같고,

$$\sigma_{STR} = \frac{12\pi l^4}{\lambda_0^2} \quad (\text{m}^2) \quad (4)$$

이 식을 이용하면 주파수별 반사기 크기별로 bore-sight에서의 RCS를 계산할 수 있고, 수평각에 따른 RCS 패턴은 그림 2와 5에서 보인 패턴과 유사할 것이다. 그림 6에서 반사기의 크기가 0.15 cm일 때에 C-밴드(5.3 GHz)에서의 RCS 값은 대략 7.8 dBsm이며, 이 값은 그림 2와 5의 $\pm 45^\circ$ 일 때의 값과 같다. 예를 들어, 반사기의 크기가 1 m일 경우에는 40.7 dBsm으로 크게 증가한다. 따라서 RCS가 작은 선박의 경우에는 retroreflector를 설치하여 선박 탐지에 도움을 줄 수 있게 된다. 선박은 크기, 재질과 구조에 따라 판이하게 다른 RCS 값을 주며, 선박에서의 전파 반사는 금속면이 dihedral 구조를 가질 경우 정면에서 크게 작용하며, 선박과 바다표면이 이루는 dihedral 구조도 큰 반사를 일으킬 수 있을 것이다. 이 경우에는 풍향과 풍속에 따른 바다표면의 거칠기 영향을 받을 것으로 보인다.

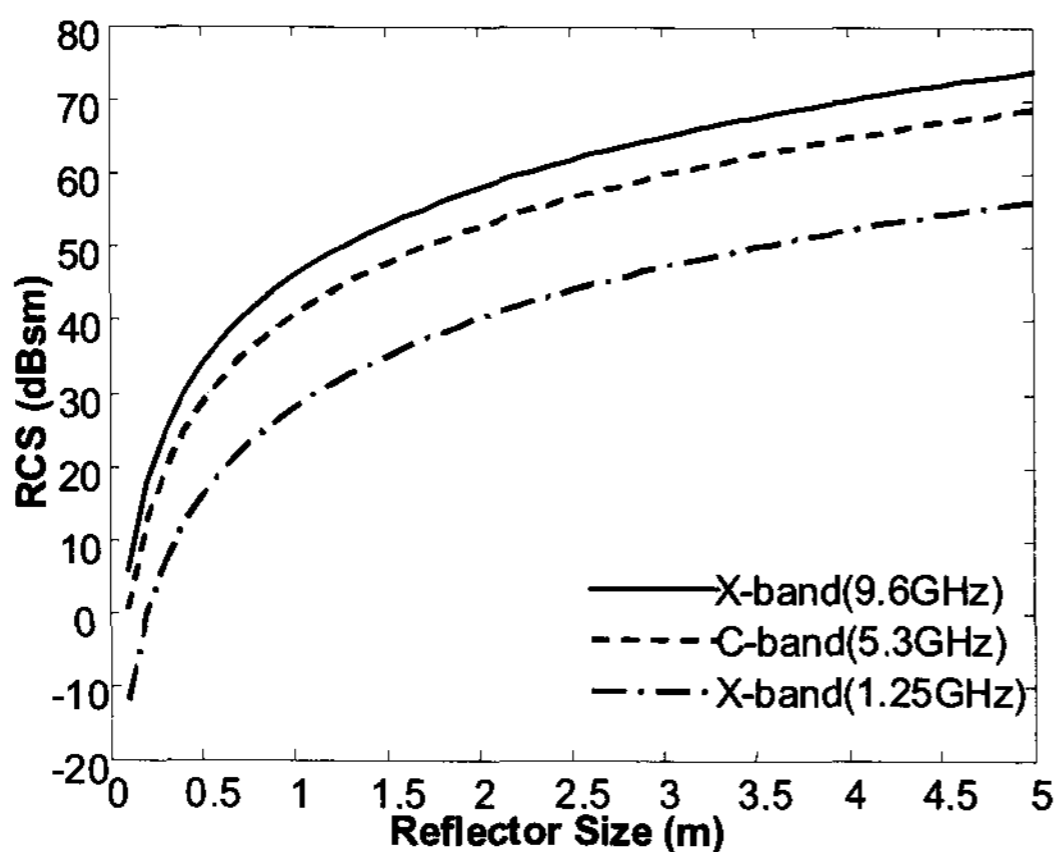


그림 6. L-, C-, X-밴드에서의 반사기 크기별 RCS 계산 값.

IV. 결론

위성 SAR 영상 분석을 이용하여 선박의 위치를 추적할 필요에 의해 제안된 prototype의 retroreflector를 제작 하였고, 이 반사기의 RCS 패턴을 C-밴드 (5.3 GHz) scatterometer 시스템으로 측정하였다. 또한, 측정값을 이론식 및 시뮬레이션 수치 해석 값과 비교하여 적절성을 분석해 보았다. 주요 해석 부근인 $\phi = \pm 45^\circ$ 에서 측정 값과 비교 값의 차이는 사각형과 원형 모두 HH-편파와 VV-편파에서 1 dB이하를 보였으며, $\phi = 0^\circ$ 에서는 비교 값과 2 dB 이하의 차이를 보였다.

본 연구에서 측정하고 계산한 0.15 cm의 prototype 반사기의 RCS는 bore-sight에서 7.8 dBsm이지만 이 크기가 1 m가 되면 40.7 dBsm으로 크게 증가하는 것을 볼 수 있었다.

참고 문헌

- [1] G.T. Ruck, D. E. Barrick, W.D. Stuart, and C. K. Krichbaum, *Radar Cross Section Handbook vol. 2*, Plenum Press, 1970.
- [2] N. Levanon, *Radar Principles*, John Wiley, 1988.
- [3] 홍진영, 오이석, "식물층에서의 편파별 후방 산란 측정과 산란 모델의 비교" 한국전자파 학회논문지 17호, pp. 804-810, Sep, 2006.
- [4] C. A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetic*, John Wiley, 1989.