

## 지표면 영향을 고려한 삼각 전파 반사기의 RCS 분석

## Analysis for the RCS of a Trihedral Corner Reflector with Consideration of the Effect of Front Surface

신종철 · 권순구 · 오이석 · 김세영\* · 전병태\*

Jong-Chul Shin · Soon-Koo Kweon · Yisok Oh · Se-Young Kim\* · Byeong-Tae Jeon\*

## 요 약

위성 SAR(Synthetic Aperture Radar)를 정확하게 보정하기 위해서는 검보정에 사용되는 삼각 전파 반사기(Trihedral Corner Reflector: TCR)의 RCS(Radar Cross Section)를 정확하게 계산해야 한다. 본 연구에서는 TCR이 설치된 지표면이 TCR의 RCS 값에 얼마나 영향을 미치는지를 알아보기 위해서 지표면에서의 반사파와 TCR 모서리에서의 회절파를 이론적으로 계산하여 검보정 사이트의 지표면 상태에 따른 RCS 변화를 분석하였다. 지표면 반사파를 구하기 위해 지표면에 대한 PO 반사 계수를 이용하였으며, PO 반사 계수는 지표면 상태 변수인 거칠기와 유전율에 대한 함수이다. 중심 주파수 9.65 GHz에서 지표면 위에 설치된  $10 \lambda$  크기 TCR의 RCS 값은 공기 중의 TCR에 비해 0.46 dB 변화가 발생하였고, 이 변화는 지표면의 상태 및 TCR 크기에 따라 크게는 1.55 dB 정도의 차이가 날 수 있다. 지표면 영향에 따른 TCR의 RCS 값은 지표면의 거칠기가 작고 유전율이 클수록 크며, 중심 주파수가 낮고 TCR의 크기가 작을수록 크게 발생하였다.

## Abstract

The radar cross section(RCS) of a trihedral corner reflector(TCR) should be accurately computed when it is used as an external calibration target for a satellite synthetic aperture radar(SAR) calibration campaign. This paper presents the RCS analysis on a trihedral corner reflector which is installed on a calibration site, using the wave reflection from the rough surface and the wave diffraction from the TCR edges. The results in this paper show quantitatively the effect of the front surface on the RCS of a TCR. The difference of the RCS between a TCR in air and a TCR on a ground surface is computed by including the interaction term which consists of the edge diffraction from the TCR edges and the surface reflection from the front rough surface. The reflection coefficient of a randomly rough surface is a function of the surface roughness and dielectric constant of the surface. The RCS of  $10 \lambda$  size TCR on a ground is 0.46 dB higher than TCR in air at 9.65 GHz, and this can reach at maximum 1.55 dB depending on a surface condition and TCR size. The effect of the front surface on the RCS of a TCR increases, as the surface roughness decreases, the soil moisture increases, and the size of TCR in wavelength decreases.

Key words : RCS of TCR, SAR, Front Surface

「본 논문은 국방광역감시 특화연구센터 프로그램의 일환으로 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었음(No.2012-09-007).」

홍익대학교 전자정보통신공학과(Department of Electronic Information and Communication Engineering, Hongik University)

\*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· Manuscript received February 27, 2012 ; Revised April 3, 2012 ; Accepted April 16, 2012. (ID No. 20120227-019)

· Corresponding Author : Yisok Oh (e-mail : yisokoh@hongik.ac.kr)

## I. 서 론

삼각 전파 반사기(TCR)는 위성 SAR(Synthetic Aperture Radar)의 외부 보정에 사용되는 대표적인 보정 목표물이다. SAR 영상에서 TCR의 RCS(Radar Cross Section)를 추출하는데 있어서 여러 가지 에러 요인이 발생하는데, 이러한 오차 요인을 최소화하기 위해 많은 연구가 진행되었다<sup>[1]</sup>. 특히 SAR 검보정 사이트에 설치한 TCR의 지표면과의 상호 작용으로 인한 RCS 변화가 오차 요인으로 제기되었다<sup>[2]</sup>.

TCR과 지표면과의 상호 작용으로 인한 오차 요인은 입사한 전파가 지표면에서 반사되어 TCR의 모서리에서 회절되는 RCS 성분과 TCR의 모서리에서 회절된 후 지표면에서 반사되어 후방 산란하는 RCS 성분이 대표적이다. 일정 기간 사이에 TCR을 이용하여 SAR 영상에서 RCS를 추출하면 각각 다른 RCS 값이 추출되는 경우가 발생하는데, 이는 일정 기간이 지속되면서 지표면의 상태가 달라지고, 달라진 지표면 상태에 따라 지표면에 의한 영향으로 TCR의 RCS 값이 달라지어 차이가 발생할 수 있다. 또한, 바다에서 배의 정확한 RCS를 측정하기 어려운 이유 중 바다에서 파도와 배 사이의 상호작용이 포함되는데, 향후 이 영향을 고려하면 보다 정확한 RCS를 측정할 수 있을 것으로 본다. 지표면과 TCR 사이 상호 작용을 확인하기 위해 지표면의 상태 변화 요소인 지표면의 거칠기와 유전율에 따라 모서리에서 회절되는 성분의 영향을 분석하면 정확한 위성 SAR 보정이 가능할 것으로 기대된다.

본 논문에서는 TCR이 설치된 지표면이 TCR의 RCS 값에 얼마나 영향을 주는지 알아보기 위해, 지표면에서의 반사파와 TCR 모서리에서의 회절파를 이론적으로 계산한다. 지표면에서의 반사파는 지표면의 거칠기와 유전율의 함수인 PO(Physical Optics) 반사 계수를 이용한다<sup>[4]</sup>. 그리고 TCR 모서리에서 회절할 때 회절 성분은 GTD(Geometrical Theory of Diffraction)를 이용하여 구한다<sup>[5]</sup>. 계산한 값을 이용하여 지표면의 상태 변수인 거칠기와 유전율을 변화시켜가면서 지표면에 의한 TCR의 RCS 영향을 정량적으로 확인하였다. 또한, 입사하는 전계의 중심 주파수와 TCR 크기의 변화에 따른 지표면의 의한 영향을 분석하였다.

## II. 지표면 위 TCR의 RCS 계산

TCR은 SAR의 절대 보정에 사용되는 보정 목표물로서 이론적 RCS와 SAR 영상에서 추출한 RCS 값과 차이를 이용하여 보정계수를 계산한다. 여기서 보정계수 계산에 오차를 주는 여러 요인들이 있는데, 그 중에서 이론적 RCS 계산의 오차에서 오는 요인도 있다. 이론적 RCS 계산의 오차를 주는 요인으로 지표면과 TCR 모서리와의 영향이 대표적이다<sup>[2]</sup>. 지표면에 놓인 TCR의 RCS 계산은 공기 중의 RCS 성분과 지표면 반사파와 TCR 모서리 회절 성분의 합으로 구할 수 있다.

공기 중의 TCR의 이론적 RCS는 TCR에서 발생하는 3가지 경우의 단일 반사, 6가지 경우의 이중 반사, 6가지 경우의 삼중 반사 그리고 3개의 각 모서리에서의 회절 성분을 모두 합한 RCS이다<sup>[3]</sup>. 식 (1)은 공기 중의 TCR 전체 RCS를 구하기 위한 동일 편파 산란 행렬을 구성하는 성분을 보여준다.

$$S_{in\ air} = S_{1,pp} + S_{2,pp} + S_{3,pp} + S_{edge,pp} \quad (1)$$

여기서,

$$S_{1,pp} = \sum_{n=1}^3 s_n$$

$$S_{2,pp} = \sum_{n=1}^3 \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq n}}^3 s_{mn}$$

$$S_{3,pp} = \sum_{l=1}^3 \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq n}}^3 \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq n, m}}^3 s_{lmn}$$

$$S_{edge,pp} = \sum_{n=1}^3 l_n$$

지표면 위에 설치된 TCR의 RCS는 식 (2)를 통해 계산할 수 있다.

$$S_{grnd} = S_{in\ air} + S_{r-d} + S_{d-r} \quad (2)$$

여기서 위 식에서 계산한 산란 행렬 성분  $S_{grnd}$ 에서 RCS는 식 (3)을 통해 계산할 수 있다.

$$\sigma_{pq} = 4\pi |S_{grnd}|^2 \quad (3)$$

지표면과 TCR 모서리의 다중 반사에 의한 영향을 고려하기 위해서는 식 (2)에서처럼 입사한 전파

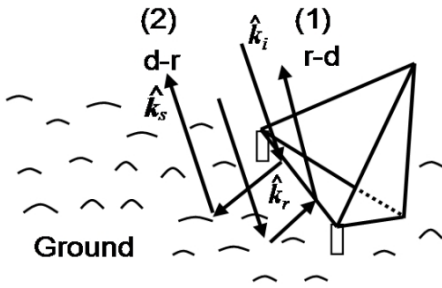


그림 1. 지표면 위에 설치된 TCR 구조  
Fig. 1. Geometry of TCR installed on a ground.

가 지표면에서 반사된 후 TCR 모서리에서 회절되는 성분  $S_{r-d}$ 와 TCR의 모서리에서 회절된 후 지표면에 반사되는 성분  $S_{d-r}$ 를 계산해 주어야 한다.

그림 1은 지표면에 의한 영향을 확인하기 위한 TCR이 지표면 위에 설치되었을 때의 구조를 보여준다. Case (1)은 전계가 입사했을 때 지표면에서 반사된 후 TCR 모서리에서의 회절되는 경우이고, Case (2)는 TCR 모서리에서 회절된 후 지표면에서 반사되어 산란되는 경우를 보여준다. 여기서  $\hat{k}_i$ 는 입사하는 전계와 자계의 전파 벡터이고,  $\hat{k}_r$ 은 지표면에서 반사하는 전파 벡터이며,  $\hat{k}_s$ 는 후방 산란하는 전파 벡터이다.

지표면에서 반사되는 전계를 구하기 위해 PO를 이용한 PO 반사 계수를 적용하였다<sup>[4]</sup>. PO 반사 계수는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있으며, 일반적인 지표면의 입력 변수인 지표면의 거칠기  $ks$ 와 지표면의 유전율에 대한 함수이다. 여기서  $k$ 는 전파 상수,  $s$ 는 표면 RMS(Root-Mean-Square) 높이를 의미한다.

$$R_p^{PO} = R_{p00} e^{-2(ks \cos \theta)^2} \quad (4)$$

여기서,

$R_{p00}$ : Fresnel 반사 계수

그림 2와 3은 지표면의 유전율이 3일 때, 거칠기 변화에 따른 PO 반사 계수의 결과이다. 거칠기가 큰  $ks > 1$  경우에는 반사 계수는 거의 0에 가까운 값을 가져 거칠기가 큰 경우에는 맞지 않으나, 일반적으로 위성 SAR의 검보정 사이트로 SNR(signal-to-noise) level이 낮은 산란 특성이 균일한 지역을 사용하기 때문에 검보정 사이트로 가능한 지표면에서 PO 반

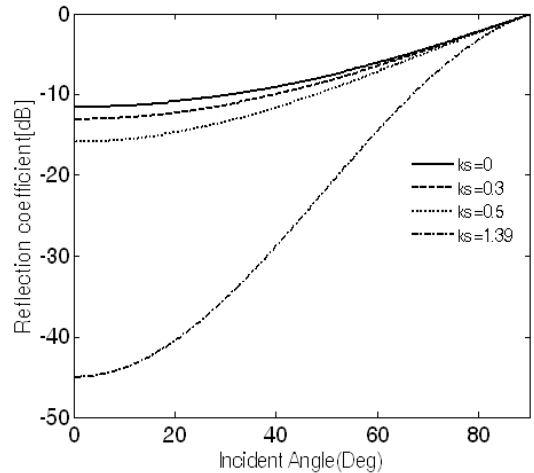


그림 2. 거칠기 변화에 따른 PO 반사 계수(H-pol)  
Fig. 2. PO reflection coefficients depending on roughness of surface for H-pol.

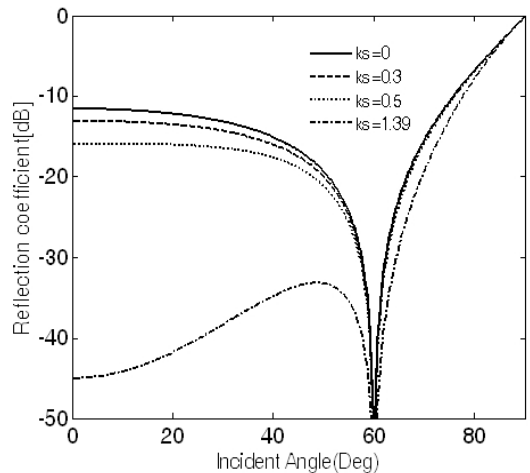


그림 3. 거칠기 변화에 따른 PO 반사 계수(V-pol)  
Fig. 3. PO reflection coefficients depending on roughness of surface for V-pol.

사 계수를 적용할 수 있다.

PO 반사 계수를 이용하여 지표면에서 반사되어 TCR로 입사하는 전계와 TCR 모서리에서 회절되어 지표면에서 반사되는 전계를 구할 수 있다. 여기서 TCR 모서리에서의 회절 성분은 GTD를 적용하여 구할 수 있다. PO 반사 계수와 GTD를 이용하여 최종적으로 지표면 반사파와 TCR 모서리 회절파 성분의 RCS를 구하는 식을 구할 수 있다.

식 (5)는 Case 1과 Case 2를 모두 고려한 지표면 반

사파와 TCR 모서리 회절 성분의 RCS를 구하기 위한 편파별 산란 행렬을 보여준다. 여기서  $\hat{l}_2$ 는 TCR의 밑면에 대한 모서리의 위치 벡터이고,  $m=1, 2$ 는 각 경우에 해당하는 변수이다.

$$S_{grnd,pq} = -\sqrt{\frac{j\beta}{2\pi}} R_p^{PO} \sum_{m=1}^2 I_m [C_{1m} + C_{2m}] \quad (5)$$

여기서,

$$C_{1m} = (\hat{q}_{im} \cdot \hat{\beta}'_o) D_{sm} \cdot (\hat{k}_{sm} \times \hat{k}_{sm} \times \hat{l}_2) \cdot \hat{p}_{sm}$$

$$C_{2m} = (\hat{q}_{im} \cdot \hat{\phi}'_o) D_{hm} \cdot (\hat{k}_{sm} \times \hat{l}_2) \cdot \hat{p}_{sm}$$

$$I_m = l \frac{\sin X_m}{X_m}$$

$$X_m = \frac{kl}{2} (\hat{k}_{im} - \hat{k}_{sm}) \cdot \hat{l}_2$$

여기서  $D_{sm}$  과  $D_{hm}$ 은 UTD(Uniform Theory of Diffraction) 회절계수에서 fresnel integral term이 생략된 수평 회절계수와 수직 회절계수로서 식 (6)과 같이 입사 회절계수와 반사 회절계수의 차와 합으로 구할 수 있고, 회절계수 계산에 사용된 time convention은  $\exp(j\omega t)$ 가 사용되었다<sup>[5],[6]</sup>. 그림 4는 산란 행렬과 회절계수를 구하기 위한 파라미터를 정의하는 구조를 보여준다.

$$\begin{aligned} D_{sm} &= D_m^i - D_m^r \\ D_{hm} &= D_m^i + D_m^r \end{aligned} \quad (6)$$

여기서,

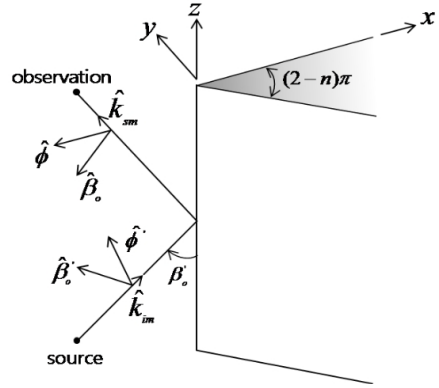
$$D_m^i \cong -\frac{e^{-j0.25\pi}}{2n\sqrt{2\pi k} \sin \beta'_{0m}} \left[ \cot \left( \frac{\pi + (\phi_m - \phi'_m)}{2n} \right) + \cot \left( \frac{\pi - (\phi_m - \phi'_m)}{2n} \right) \right]$$

$$D_m^r \cong -\frac{e^{-j0.25\pi}}{2n\sqrt{2\pi k} \sin \beta'_{0m}} \left[ \cot \left( \frac{\pi + (\phi_m + \phi'_m)}{2n} \right) + \cot \left( \frac{\pi - (\phi_m + \phi'_m)}{2n} \right) \right]$$

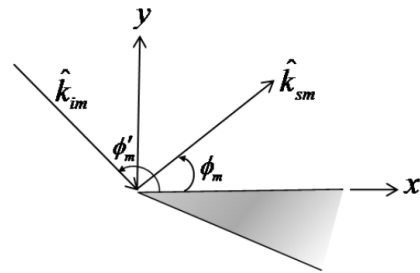
$$\phi_m = \frac{\pi}{2} + \cos^{-1} \left\{ \hat{n} \cdot \frac{\hat{k}_{sm} - (\hat{k}_{sm} \cdot \hat{l}_2) \hat{l}_2}{|\hat{k}_{sm} - (\hat{k}_{sm} \cdot \hat{l}_2) \hat{l}_2|} \right\}$$

$$\phi'_m = \frac{\pi}{2} + \cos^{-1} \left\{ -\hat{n} \cdot \frac{\hat{k}_{im} - (\hat{k}_{im} \cdot \hat{l}_2) \hat{l}_2}{|\hat{k}_{im} - (\hat{k}_{im} \cdot \hat{l}_2) \hat{l}_2|} \right\}$$

$$\beta'_{0m} = \cos^{-1} [\hat{k}_{im} \cdot \hat{l}_2]$$



(a) 모서리에서의 회절에 대한 구조  
(a) Geometry for diffraction by an edge



(b) 회절계수에서의 입사 방향과 산란 방향  
(b) Incident and diffracted direction for diffraction coefficients

그림 4. TCR의 모서리 회절 성분을 구하기 위한 구조  
Fig. 4. Geometry to calculate edge diffraction of TCR.

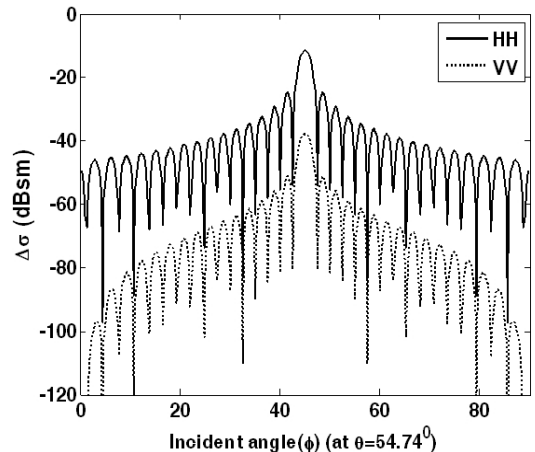


그림 5. TCR의 RCS에 미치는 모서리 회절 영향  
Fig. 5. Effect of RCS of TCR affected by edge diffraction.

식 (3), (4)를 통해 구한 산란 행렬을 이용하여 지표면에서의 반사파와 TCR 모서리에서의 회절파 성

분의 RCS 패턴을 구했다. 그림 5는 중심 주파수 9.65 GHz, 지표면의 거칠기인  $ks$ 는 0.1, 유전율은  $7-j2$ 로 설정한 후  $\phi$  방향에 대한  $10\lambda$  크기의 TCR의 RCS에 미치는 모서리 회절 영향을 보여 준다.

TCR의 정면인  $\phi$  방향으로  $45^\circ$ 에서 VV-편파에서 RCS 값이  $-40.26$  dBsm으로 HH-편파에서  $-12.14$  dBsm보다 매우 낮는데, 이는 실제로 TCR의 밑면 모서리가 지표면에서 수평으로 위치해 있기 때문에 수직 편파 성분이 수평의 모서리에서 회절되어 산란되는 성분이 작다. 이 결과를 통해 지표면 위에 TCR을 설치할 경우, HH-편파에서 지표면에 의한 성분이 TCR의 전체 RCS 변화에 영향을 주고, VV-편파에서는 지표면에 의한 성분이 TCR의 RCS 변화에 영향을 거의 주지 않는 것을 확인할 수 있다. 또한,  $\phi$  방향으로 정면 구간에서 지표면에 의한 영향이 크게 발생한다.

그림 6은 HH-편파에 대한 공기 중의 TCR의 RCS 패턴과 지표면에 의한 영향을 고려한 지면 위의 TCR의 RCS 패턴을 비교한 그림이다. 정면인  $\phi$  방향으로  $45^\circ$ 에서 지면 위의 TCR의 RCS 값은  $16.59$  dBsm이고, 공기 중의 TCR의 RCS 값은  $16.13$  dBsm으로  $0.46$  dB의 차이를 보여준다. 이 차이가 TCR의

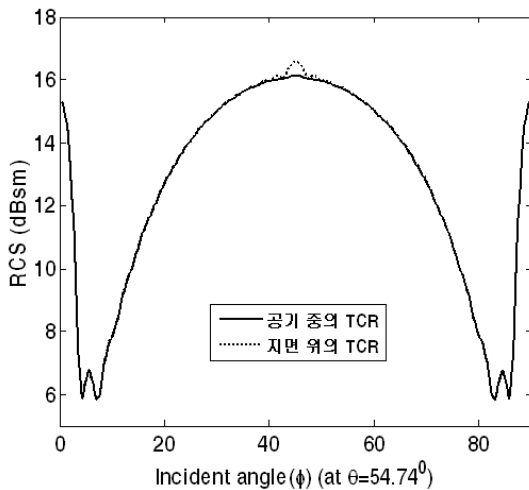


그림 6. 지표면 반사파와 TCR 모서리 회절 성분을 합한 지면 위의 TCR의 RCS 패턴과 공기 중의 TCR의 RCS 패턴 비교(HH-편파)

Fig. 6. Comparison of RCS pattern of TCR in air with TCR on a ground surface including wave reflection and diffraction(HH-polarization).

이론적 RCS 계산에 영향을 주는 지표면과 TCR 모서리와의 영향이다.

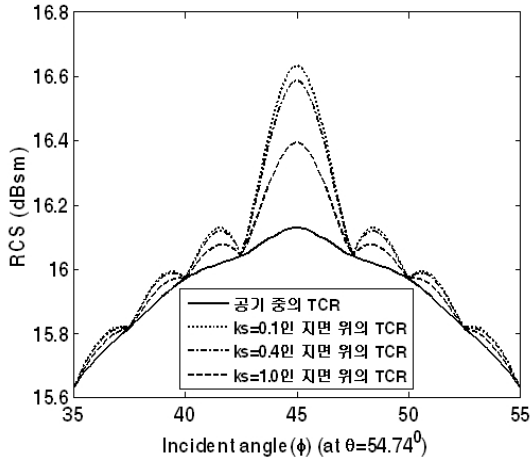
### III. 지표면에 따른 TCR의 RCS 변화 분석

본 장에서는 이론적으로 구한 지표면 반사파와 TCR 모서리에서의 회절과 성분이 실제 검보정 사이트로서 가능한 지표면에 대해서 지표면의 거칠기와 유전율을 변화에 따라 TCR의 전체 RCS에 얼마나 영향이 주는지 확인한다. 또한, 중심 주파수와 TCR 크기 변화에 따른 지표면에 의한 RCS 변화에 대해서도 분석한다.

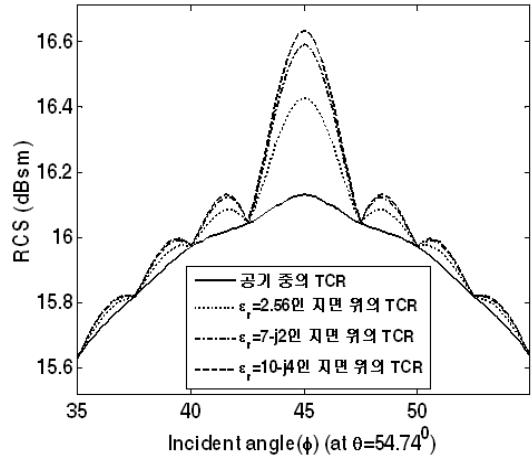
그림 7은 지표면 거칠기 변화에 따른 지표면 위의 TCR의 RCS와 공기 중의 RCS를 비교 분석한 결과이다. 그림 7(a)는 유전율  $10-j4$ 를 갖는 지표면에 대해서 중심 주파수 9.65 GHz와  $10\lambda$  크기 TCR에서의 RCS 패턴 결과이다. 거칠기가 0.1인 평탄한 지표면 위의 TCR의 RCS 값은  $16.64$  dBsm으로 공기 중의 RCS 값  $16.13$  dBsm보다 약  $0.51$  dB 높은 값은 가지며, 거칠기가 1.0인 거친 지표면에서는 약  $0.27$  dB 높은 값을 가지는 것을 확인할 수 있다.

그림 7(b)는 위와 같은 유전율을 갖는 지표면에서 거칠기 변화에 따른 지표면에 의한 RCS 변화를 중심 주파수와 편파별로 비교 분석한 결과이다. HH-편파의 경우는 9.65 GHz에서 지표면의 거칠기가 커질수록 RCS 변화가  $0.51\sim 0.17$  dB까지 감소하고, 5.3 GHz에서는  $0.87\sim 0.3$  dB까지 감소하는 것을 알 수 있다. VV-편파에서 지표면에 의한 RCS 변화가 거의 없는 것을 확인할 수 있다. 이는 지표면의 거칠기가 작은 균일한 지표면일수록 전방 산란되는 성분이 많아져 TCR의 모서리와 지표면과의 영향이 크게 발생한다는 사실과 일치함을 확인할 수 있다. 또한 위 결과로부터 동일한 크기의 TCR의 경우 중심 주파수가 낮을수록 지표면에 의한 영향이 커지는 것도 확인할 수 있다.

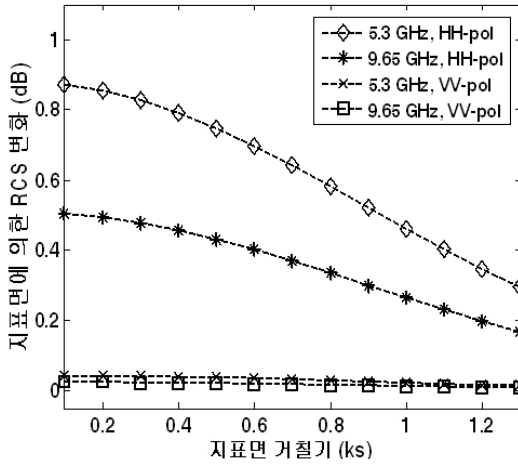
그림 8은 지표면의 유전율을 변화에 따른 지표면 위의 TCR의 RCS와 공기 중의 RCS를 비교한 결과이다. 그림 8(a)는 거칠기 0.1을 갖는 균일한 지표면에 대해서 중심 주파수 9.65 GHz와  $10\lambda$  크기 TCR에서의 RCS 패턴 결과이다. 경우에 의해 수분이 많은



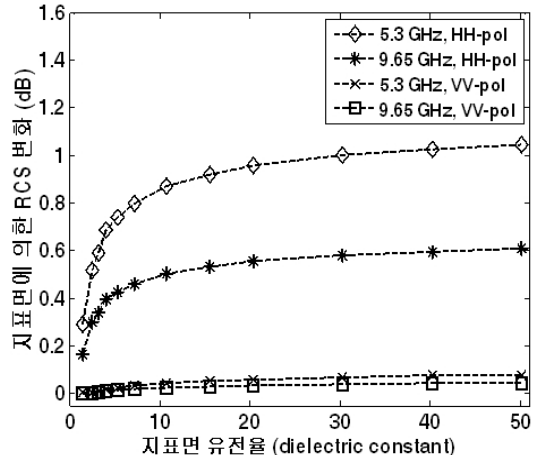
(a) 9.65 GHz,  $10 \lambda$  TCR(HH-편파)  
 (a) 9.65 GHz,  $10 \lambda$  TCR(HH-polarization)



(a) 9.65 GHz,  $10 \lambda$  TCR(HH-편파)  
 (a) 9.65 GHz,  $10 \lambda$  TCR(HH-polarization)



(b) 지표면에 의한 RCS 변화  
 (b) Effect of RCS by a front surface



(b) 지표면에 의한 RCS 변화  
 (b) Effect of RCS by a front surface

그림 7. 지표면 거칠기(ks) 변화에 따른 TCR의 RCS 패턴

Fig. 7. RCS pattern of TCR depending on surface roughness.

유전율이  $10-j4$ 인 지표면의 경우, 지면 위의 TCR의 RCS 값은 16.64 dBsm으로 공기 중의 RCS보다 0.51 dB 차이가 발생하며, 유전율이 2.56인 메마른 땅의 경우, RCS 값은 16.43 dBsm으로 0.3 dB 차이가 발생함을 확인할 수 있다.

그림 8(b)는 지표면의 유전율 변화에 따른 지표면에 의한 RCS 변화를 중심 주파수와 편파 별로 비교한 결과이다. 그림 7(b) 결과와 유사하게 VV-편파에서는 지표면에 의한 RCS 영향이 거의 없음을 확인

그림 8. 지표면 유전율 변화에 따른 TCR의 RCS 패턴  
 Fig. 8. RCS pattern of TCR depending on dielectric constant of surfaces.

할 수 있다. HH-편파에서는 유전율이 증가할수록 9.65 GHz에서 0.16~0.61 dB까지 영향이 증가하고 5.3 GHz에서는 0.3~1.05 dB까지 영향이 커지는 것을 확인할 수 있다. 위 결과에서 볼 수 있듯이 유전율이 높은 지표면일수록 지표면에서 전방 산란되는 성분이 많아져 지표면과 TCR 모서리에서 회절되는 성분이 많아지고, 이로 인해 지표면에 의한 RCS 영향이 크게 발생하는 것을 확인할 수 있다.

그림 9는 위성 SAR의 검보정 사이트로서 가능한 지표면 상태에서 파장에 따른 TCR의 크기에 대하여

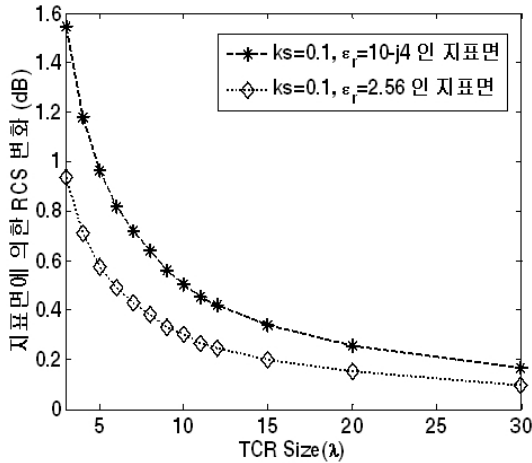


그림 9. TCR 크기에 따른 지표면 영향  
Fig. 9. Effect of a front surface depending on TCR size.

지표면에 의한 RCS 변화를 보여 준다. 거칠기가 균일하고 강우에 의해 수분이 많은 지표면의 경우 3 λ 크기의 TCR에서 지표면에 의한 영향은 최대 1.55 dB 발생하고, 30 λ 크기에서는 0.17 dB 발생한다. 또한, 균일하고 메마른 땅의 경우에는 3 λ 크기에서 지표면에 의한 영향은 0.94 dB이고, 30 λ 크기에서는 0.1 dB 발생한다. 그림 9에서 볼 수 있듯이 TCR의 크기가 커질수록 지표면 반사파와 TCR의 모서리 회절의 영향이 크지 않지만, 크기가 작은 TCR의 경우에는 0.5~1.5 dB까지 지표면에 의한 영향을 받을 수 있다.

표 1은 그림 6~8에서 분석한 지면 위에 TCR이 설치된 경우, 지표면 상태 및 TCR 크기에 따른 지표면에 의한 RCS 변화를 정량적으로 정리한 표이다.

표 1. 지표면 상태 및 TCR 크기에 따른 지표면에 의한 영향

Table 1. The effect of a front surface depending on surface condition and TCR size.

거칠기 (ks)	유전율	지표면에 의한 RCS 변화[dB]		
		3 λ TCR	10 λ TCR	30 λ TCR
0.1	2.56	0.94	0.3	0.1
	10-j4	1.55	0.51	0.17
1.0	2.56	0.5	0.16	0.05
	10-j4	0.83	0.27	0.09

거칠기가 작고 유전율이 높은 지표면 상태에서 TCR의 크기에 따라 0.17~1.55 dB까지 지표면에 의한 영향이 발생하는 것을 알 수 있고, 지표면 상태에 따라서 지표면에 의한 10 λ TCR의 RCS 변화는 0.16~0.51 dB 정도 발생하는 것을 확인할 수 있다.

거칠기가 작고 강우에 의해 수분이 많은 지표면에서 중심 주파수 9.65 GHz일 때 지표면과 TCR의 모서리 회절 성분은 0.51 dB이 발생하고, 5.3 GHz일 때 위와 동일한 크기의 TCR에서는 0.87 dB이 발생한다. 이러한 지표면에 의한 영향은 TCR의 전체 RCS 값에 크게 영향을 주지 않는 것으로 보이나, 1 dB 이내의 오차 정확도를 필요로 하는 실제 위성 SAR의 검보정 시 오차 요인을 줄일 수 있는 요소로 작용할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 위성 SAR의 정확한 외부보정을 위한 지표면 반사파와 TCR 모서리 회절 영향 분석 이론식을 정립하였다. 정립된 이론식을 바탕으로 지표면의 상태 입력 변수인 거칠기와 유전율 변화에 따른 영향을 정량적으로 분석하였다. 위성 SAR의 검보정 사이트로서, 가능한 지표면에 대해 지표면의 거칠기가 작은 평평한 지표면과 강우에 의해 수분이 많은 지표면에서 지표면과 TCR 모서리 회절 영향이 크게 발생하고, 또한 중심 주파수가 낮고 TCR의 크기가 작을수록 영향이 크게 발생하는 것을 확인하였다. 지표면에 의한 영향은 SAR의 검보정 시 1 dB 이내의 오차 정확도를 고려했을 때 정확도를 높일 수 있는 요인으로 볼 수 있다.

TCR을 이용한 위성 SAR의 절대 보정 시 지표면의 거칠기와 수분 함유량을 분석하여 지표면과 TCR 모서리 회절 영향을 계산하면 보정 오차를 줄일 수 있어 보다 정확한 보정 상수를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 산란 특성이 균일한 지표면에서 SAR 검보정을 실시하는 경우, 지표면과 TCR의 영향을 고려해야 하는 점에서 보정 오차를 최소화할 수 있는 검보정 사이트의 특성을 정립해야 할 필요성이 있다. 또한, 여기에서 연구하지 못한 여러 다양한 지면 상태와 TCR 상태에 대해서도 향후에 더 연구할 필요가 있다.

참 고 문 헌

[1] K. Sarabandi and T. C. Chiu, "Optimum corner reflectors for calibration of imaging radars", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 44, no. 10, pp. 1348- 1361, Oct. 1996.

[2] K. Sarabandi, L. E. Pierce, Yisok Oh, M. C. Dobson, F. T. Ulaby, A. Freeman and P. Dubois, "Cross-calibration experiment of JPL AIRSAR and truck-mounted polarimetric scatterometer", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 32, no. 5, pp. 975-985, Sep. 1994.

[3] 권순구, 윤지형, 오이석, "SAR 영상 보정용 삼각 전파 반사기의 정확한 RCS 추출", *한국전자과학 회논문지*, 21(9), 2010년 9월.

[4] R. D. De Roo and F. T. Ulaby, "Bistatic specular scattering from rough dielectric surfaces", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 42, no. 2, pp. 220-231, Feb. 1994.

[5] C. A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetics*, John Wiley & Sons, Inc., USA, 1989.

[6] D. A. McNamara, *Introduction to the Uniform Geometrical Theory of Diffraction*, Artech House, USA, 1990.

신 종 철



2006년 2월: 홍익대학교 전자전기 공학부 (공학사)  
 2006년 1월~2010년 9월: GM 대우 Auto & Technology  
 2010년 9월~현재: 홍익대학교 전자 정보통신공학과 석사과정  
 [주 관심분야] SAR 검보정 및 영상 분석, 마이크로파 원격탐사

김 세 영



1991년 2월: 단국대학교 전자전기 공학부 (공학사)  
 1993년 2월: 단국대학교 전자전기 공학과 (공학석사)  
 1993년 3월~현재: 국방과학연구소 선임연구원  
 2010년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)  
 [주 관심분야] 레이더 및 영상 레이더 초고주파 시스템 등

권 순 구



2007년 2월: 홍익대학교 전자전기 공학부 (공학사)  
 2009년 2월: 홍익대학교 전자정보 통신공학과 (공학석사)  
 2009년 3월~현재: 홍익대학교 전자 정보통신공학과 박사과정  
 [주 관심분야] 전파 산란, 마이크로 파 원격탐사, SAR 영상분석

전 병 태



1986년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
 1988년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)  
 1993년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)  
 1993년 2월~현재: 국방과학연구소 책임연구원  
 [주 관심분야] 영상 레이더 및 초고주파 시스템

오 이 석



1993년 12월: University of Michigan, Ahn Arbor 전기공학 및 컴퓨터과학과 (공학박사)  
 2006년~2008년: Chair, IEEE GRS Korea Chapter  
 1994년~현재: 홍익대학교 전자전기 공학부 교수

2009년~현재: IEEE Fellow  
 [주 관심분야] 전파 산란, 마이크로파 원격 탐사, 레이더, 안테나