

지구곡률을 고려한 레이더 수신신호 계산 방법 및 실험적 검증

Calculation of Radar Echo Signal above Spherical Earth and Its Experimental Validation

고일석 · 권세웅* · 이종현* · 이기원* · 선 웅*

Il-Suek Koh · Sewoong Kwon* · Jong-hyun Lee* · Kiwon Lee* · Woong Sun*

요 약

표적이 지구표면 위 낮은 위치에 존재하고, 레이더로부터 멀리 떨어져 있는 경우, 표적에서 반사되어 돌아오는 레이더 수신 신호를 계산하는 기존방법의 정확도를 고찰한다. 표적으로부터 산란되어 돌아오는 레이더 신호를 예측하기 위해, 회절과 효과를 무시한 4-ray 모델을 사용한다. 이론적으로 계산 가능한 전파전파 예측에 필요한 파라미터를 이용하여, 지구의 곡률을 고려하는 레이더의 수신 신호를 계산하는 방법을 구현하고, 이를 실험으로 검증한다.

Abstract

When a target locates at low altitude over a curved earth surface and far away from a radar, we examine the accuracy of the conventional formulations to compute the radar echo signal. The 4-ray model is used to calculate the scattering by the target to consider the ground plane effect. In this paper, the diffracted wave is not included. Based on the required parameters able to be calculated by known equations for the estimation of the wave propagation phenomena, the radar echo signal is computed and verified by comparing with measured data sets.

Key words: Radar Echo Signal, Spherical Earth, 4-Ray Model

I. 서 론

지구곡률을 고려한 전파전파 연구는 Hertz가 전파를 대서양을 건너 전송한 후부터 연구된 오래된 분야이다. 특히, 레이더가 군사적으로 중요해진 이후, 레이더 운영 범위를 확장하려는 분야에서 지구 곡률을 고려한 전파전파 연구는 매우 중요한 역할을 하였다^{[1][2]}. 주로 지구는 매끄러운(smooth) 표면을 가정한 이상적인 구로 모델링한다. 이때 중요한 전파전파 메커니즘은 레이더에서 표적으

로 직접 전송되는 직접파, 지구 표면에 의한 반사파, 그리고 만약 표적이 지표면 근처나 음영지역에 있는 경우 중요한 회절파 등이 있다^[3]. 직접파는 지구 존재에 영향을 받지 않아 쉽게 계산할 수 있다. 지구 반사파는 평평한 표면에 대한 전파전파 현상은 많이 연구되어, 이를 사용하여 근사하는 방법을 많이 사용해 왔다^[4]. 만약 주파수가 높은 레이저를 사용하는 경우, 표적과 레이더 사이 거리가 작아 평평한 지구모형을 사용한다^[5]. 이때 Norton에 의해 제안된 스페이스파(space wave)를 고려하면 지표면 근

인하대학교 전자공학(Department of Electronics Engineering, Inha University)

*LIGNex1 연구개발본부 ISR연구센터(LIG Nex1)

· Manuscript received August 10, 2015 ; Revised September 25, 2015 ; Accepted September 30, 2015. (ID No. 20150810-055)

· Corresponding Author: Il-Suek Koh (e-mail: ikoh@inha.ac.kr)

처에 위치한 표적의 경우에도 전파전파 현상을 높은 정확도로 계산할 수 있다. 회절과인 경우, 대규모 원통 산란 계산방법에 사용하는 UTD(Uniform Theory of Diffraction)을 이용하여 예측할 수 있다⁶⁾. 그러나, 실제 환경에서는 표면 거칠기가 존재하여 회절과의 영향은 크게 줄어든다. 그러므로 본 논문에서는 회절과는 고려하지 않고, 직접파와 반사파만 고려한다.

지구곡률과 대기의 덕팅(ducting) 현상을 모두 고려하여 전파전파 현상을 예측하는 경우, 문제의 복잡도 때문에 주로 수치방법을 사용한다. 많이 사용하는 수치방법으로 FDTD(Finite Difference Time Domain) 또는 PE(Parabolic Equation) 기반 방법, UTD를 사용하는 방법 등이 있다²⁴⁾⁷⁾. 이중 FDTD나 PE기반 방법은 정확도가 높으나, 거대 문제에 사용하기에는 여러 제한점이 존재한다. 그러므로 장거리 레이더인 경우, 덕팅을 고려하기 위해 UTD와 같은 방법을 사용한다. 그러나 본 연구에서는 지구곡률 효과를 고려하는 전파전파 모델을 제안이 목적이므로, 대기의 덕팅현상은 고려하지 않는다.

II절에서는 반사파를 정확하게 계산하기 위한 수식을 유도하고, III절에서는 표적의 산란파를 계산하는 4-ray 방법을 설명한다. 마지막으로 IV절에서 L-band에서 실험 결과와 예측된 결과를 비교하여 제안된 모델의 정확도를 검증한다.

II. Formulation of Reflection Point on Earth Surface

지구곡률을 고려하기 위해 지구를 반지름이 R 인 구로 모델링 한다. 지구의 반지름은 6,378.137 km로 알려져 있으나, 실제 전파전파인 경우 대기의 굴절효과에 의해 지구반경은 더 커 보인다. 이 효과를 지구 반지름을 $R = 6,378.137 \cdot k$ 로 가정하여 고려할 수 있다. 여기서 k 는 지구 위도에 따라 달라지고, 한반도인 경우 4/3을 주로 사용한다¹¹⁾²⁴⁾⁷⁾. 그림 1은 본 논문에서 고려하는 레이더운영 시나리오이다. 레이더와 표적이 지구 표면에서 각각 h 와 h_f 위에 놓여 있고, 표적이 일정한 궤도로 비행하고 있다. 레이더의 안테나빔이 표적에 정확히 향하고 있는 경우, 레이더에 표적으로부터 반사되어 들어오는 신호를 계산한다. 이때, 표적과 레이더 안테나 빔은 하나의 평면에 놓

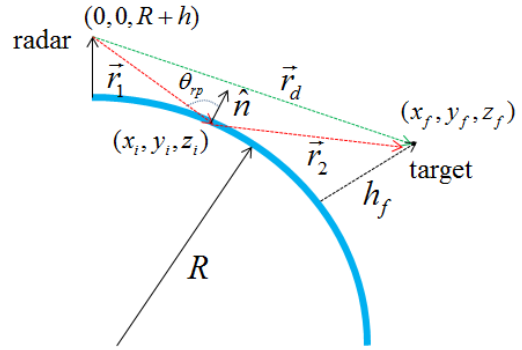


그림 1. 고려하는 레이더 운영 시나리오
Fig. 1. Considered radar operation scenario.

이게 되고, 이 평면을 국지적으로 x-y 평면으로 가정하면 $y_f = y_i = 0$ 로 둘 수 있다. 지구표면의 반사점 (x_i, y_i, z_i) 을 정확하게 예측하는 것이 레이더 반사 신호 예측에 매우 중요하다. 정확하게 예측하는 식은 알려져 있지 않고, 여러 근사화 방법들이 알려져 있다¹¹⁾.

그림 2는 레이더 수신신호를 계산하는데 필요한 파라미터, θ_{rp} , $r_1 = |\vec{r}_1|$ 그리고 $r_2 = |\vec{r}_2|$ 를 계산하는데 사용하는 기하를 보여준다. 여기서 $\theta = \theta_1 + \theta_2$ 는 코사인 법칙을 이용하여, $\theta = \cos^{-1} \frac{(R+h)^2 + (R+h_f)^2 - r_d^2}{2(R+h)(R+h_f)}$ 로 계산할 수 있다. 그림 2에 사인법칙을 적용하면 다음과 같은 두 개의 방정식을 얻을 수 있다.

$$\frac{R}{R+h} = \frac{\sin \theta_3}{\sin \theta_{rp}}, \quad \frac{R}{R+h_f} = \frac{\sin \theta_4}{\sin \theta_{rp}} \quad (1)$$

$R \gg h, h_f, r_d$ 이므로 $\theta_1 \approx \theta_2 \approx 0$ 이고, $\theta_3 \approx \theta_4 \approx \pi/2$ 이다. 사인함수들을 Taylor 급수로 전개를 하면, 식 (1)을 다음과 같이 근사화할 수 있다.

$$\frac{R}{R+h} \approx \frac{1 - \frac{1}{2} \theta_3'^2}{1 - \frac{1}{2} (\theta_3' + \theta_1)^2}, \quad \frac{R}{R+h_f} \approx 1 - \frac{1}{2} \theta_2^2 - (\theta_3' + \theta_1) \theta_2 \quad (2)$$

여기서, $\theta_3' = \theta_3 - \frac{\pi}{2}$ 이다. 식 (2)를 연립하여 풀면 $\theta_3' =$

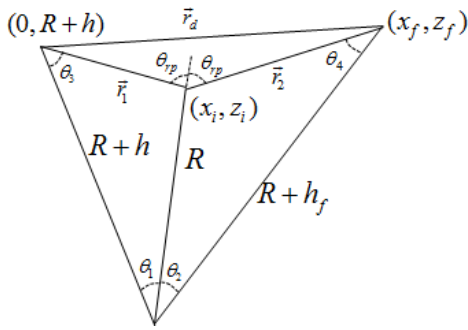


그림 2. 반사점 계산을 위한 기하
Fig. 2. Geometry for calculation of reflection point.

$-\frac{1}{2}\theta - \frac{1}{\theta} \left(\frac{h}{R} + \frac{h_f}{R+h_f} \right)$ 를 구할 수 있다. 이를 이용하면, $\theta_{rp} = \frac{\pi}{2} + \theta_3' - \frac{1}{\theta_3'} \frac{h}{R}$ 를 계산할 수 있다. 또 표적에 직접 전송되는 신호와 지구표면에서 반사되는 신호의 경로차(path difference)는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \Delta r &= r_1 + r_2 - r_d = \frac{(r_1 + r_2)^2 - r_d^2}{r_1 + r_2 + r_d} \\ &= \frac{4r_1r_2}{r_1 + r_2 + r_d} \sin^2(\theta_1 + \theta_3') \end{aligned} \quad (3)$$

식 (2)의 해의 정확도는 대부분 경우 충분히 높으나, 만약 표적이 레이다에서 멀리 떨어져 레이다 수평선(radar horizon)근처에 있는 경우 부정확해진다. 이때 식 (1)을 연립하여 수치적으로 푸는 경우, 정확도가 낮아질 수 있어, 연립방정식이 아닌 하나의 방정식을 구할 필요가 있다.

우선 반사점에서 $\hat{n} = \frac{1}{R} [x_i \hat{x} + (z_i + R) \hat{z}]$ 은 gradient를 이용하여 계산할 수 있다. \vec{r}_1 와 \vec{r}_2 는 다음과 같이 표현 가능하다.

$$\vec{r}_1 = (x_i, z_i - h), \vec{r}_2 = (x_f - x_i, z_f - z_i)$$

표적의 위치와 반사점은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} (x_f, z_f) &= ((R+h_f)\sin\theta, (R+h_f)(\cos\theta-1)+h_f), \\ (x_i, z_i) &= (R\sin\theta_1, R(\cos\theta_1-1)). \end{aligned} \quad (4)$$

스넬의법칙(Snell's law)에 의해 $\vec{r}_2 = \vec{r}_1 - (2\hat{n} \cdot \vec{r}_1)\hat{n}$

으로 표현이 가능하므로, 식 (4)와 \vec{r}_2 의 두 표현식을 이용하면 θ_1 에 대한 방정식을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} &2 \left(1 + \frac{h}{R} \right) [\sin\theta_1 + \cot\theta(\cos\theta_1 - 1)] \sin\theta_1 + \cos\theta_1 \\ &- 1 - \frac{h}{R} + \left[\alpha_f \left(1 + \frac{2h}{R} \right) + \beta_f \frac{h}{R} \right] \sin\theta_1 = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 $\alpha_f = \frac{\cos\theta-1}{\sin\theta} + \frac{h_f}{R}\beta_f$ 이고, $\beta_f = \frac{1}{(1+h_f/R)\sin\theta}$ 이다. 식 (5)의 해는 수치적으로 안정적으로 구할 수 있고^[8], 이를 이용하여 θ_{rp} 는 다음과 같이 계산이 가능하다.

$$\sin\theta_{rp} = \frac{R+h}{r_1} \sin\theta_1.$$

레이다가 해수면 위 226 m에 놓여 있고, 표적이 그림 3과 같이 움직이는 경우에 대해 유도된 식의 정확도를 검증한다.

두 가지 방법의 계산정확도는 $r_d - \sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2\cos(2\theta_{rp})}$ 를 계산하여 검증할 수 있다. 이상적인 경우는 0이다. 식 (5)를 수치적으로 푸는 경우, 차이는 모든 항로에서 대략 $10^{-6}m$ 이하이다. 식 (2)의 근사해의 차이는 그림 4가 보여준다.

그림 4에서 보듯이 차이를 무시할 수 없다. 특히 차이가 가장 큰 경우는 레이다 수평선에서 발생하므로, 레이다 수평선근처 표적의 신호크기를 예측하기 위해서는 수치방법을 사용해야 한다.

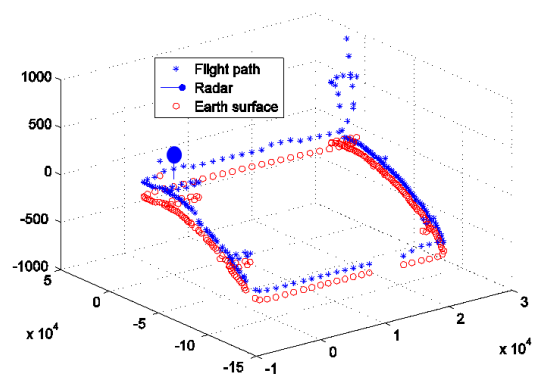


그림 3. 표적, 레이다의 위치
Fig. 3. Coordinates for radar and target.

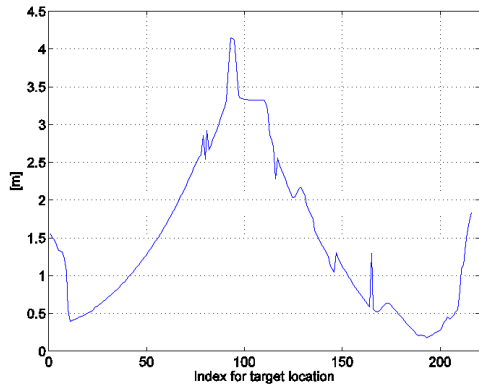


그림 4. 근사해의 $r_d - \sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2 \cos(2\theta_{rp})}$
 Fig. 4. $r_d - \sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2 \cos(2\theta_{rp})}$ for approximate solution.

III. 4-Ray Model

지표면 위에 표적의 산란을 계산하는 경우, 지표면의 효과를 고려해야 정확한 산란값을 예측할 수 있다. 그러나, 지표면 효과를 정확하게 예측하는 것은 매우 어렵다. 본 논문에서 고려하는 경우와 같이 표적이 지표면 위 높은 곳에 위치하는 경우, 4-ray 모델이라 알려진 GO(Geometrical Optics) 방법을 많이 사용한다. 4-ray 모델에서는 4가지 중요한 산란 메커니즘을 가정한다: 1. 표적에 직접 입사하는 파에 대한 산란파가 다시 직접 레이더로 돌아오는 신호, 2. 지표면 반사파에 의한 산란파가 직접 레이더로 돌아오는 경우, 3. 표적에 직접 입사하는 파에 대한 산란파가 지표면에 반사되어 돌아오는 신호, 마지막으로, 4. 지표면 반사파에 의한 산란파가 다시 지표면에 반사되어 돌아오는 신호 등, 이 네 가지 메커니즘은 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$E = \frac{e^{2ik_0r_d}}{r_d^2} \left[G_1(G_2S_1 + R_hG_2S_2e^{ik_0\Delta r}) + G_2R_h e^{ik_0\Delta r}(G_1S_2 + R_hG_2S_3e^{ik_0\Delta r}) \right] \quad (6)$$

여기서 r_d 는 그림 2에서 보듯이, 레이더와 표적 사이의 거리이고, Δr 은 직접파와 반사파의 경로차이다(식 (3)). G_1 과 G_2 는 각각 직접파와 지구 표면 반사파에 대한 레이다 안테나 이득(gain)이다. 그리고, $S_i(i=1, 2, 3)$ 은 표적

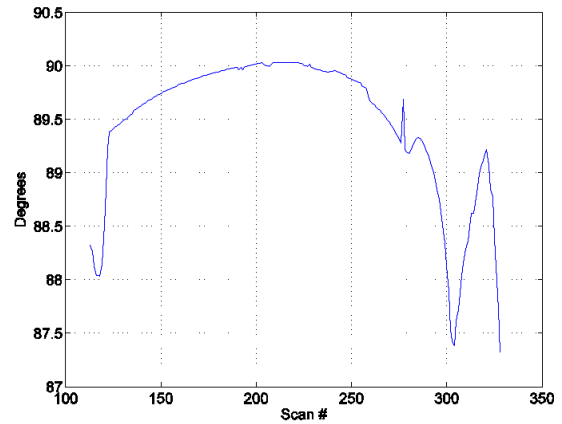


그림 5. 지표면에 대한 입사각
 Fig. 5. Incidence angle on earth surface.

의 산란행렬이다. 본 논문에서는 $S_i = 1$ 을 가정했다. R_h 은 지표면의 반사계수(reflection coefficient)이다^[9]. 그림 3 경로에 대한 지구표면 입사각은 그림 5에서 보듯이 거의 90°이다.

지구 표면은 매끄럽지(smooth) 못하고 거칠기(rough)가지고 있다. 거친 표면의 반사계수는 매끄러운 표면보다 적어지며, 이를 정확하게 계산하는 것은 매우 어렵다. 특히, 입사각이 90°에 가까운 경우 계산의 정확도는 매우 낮아진다. 이런 경우 많이, 사용하는 반사계수 해석식은 다음과 같다^[10].

$$R_r = R_h e^{-2(k_0\sigma \sin\theta_{rp})^2} I_0[2(k_0\sigma \sin\theta_{rp})^2]. \quad (7)$$

여기서 σ 는 지구 표면의 rms 높이(height)이고, $I_0(\cdot)$ 는 제1종 변형 베셀함수이다^[11]. 그리고, 지구곡률에 의해 에너지가 퍼지는 효과를 고려하기 위해 반사계수를 다음과 같이 수정된다.

$$R_{r_d} = R_r D \quad (8)$$

여기서 D 는 divergence factor로 알려져 있다^[11]. 이때, 실험결과를 바탕으로 Δr 이 $\lambda/4$ 보다 적은 경우, $D = 1$ 로 가정하는 것이 보다 정확하다고 알려져 있다^[12]. 그러므로, 식 (6)에서 R 을 R_{r_d} 로 치환하면 최종 레이더 수신신호 식을 얻을 수 있다.

IV. Validation

제안된 신호계산방법을 검증하기 위해 실 레이더 측정 결과와 식 (6)의 결과를 비교하였다. 식 (6)을 계산하는데 필요한 파라미터들은 실제 측정값을 사용하였다. 레이더 안테나 패턴의 3 dB 빔폭(beamwidth)은 약 3°이다. 레이더의 편파(polarization)은 h-pol.로 고정되어 있어, 지표면의 반사계수는 h-pol. 공식을 사용한다^[9]. 주파수는 L밴드를 사용하였다.

먼저 그림 3의 항로경우이고, 이 경우 표적이 바다표면 위에서 움직이는 경우로, 바다표면의 유전율은 알려진 실험식을 사용하여 계산한다^[13]. 소금함유량(C)과 해수온도는 각각 5와 20°로 가정한다. 그림 6은 표적에 입사하는 입사파의 표적 위치에 따른 변화이다. 그림 6에서 보듯이, 레이더 수평선 근처에 표적이 존재하면 직접파와 지표면 반사파의 간섭에 의해 표적에 전달되는 에너지가 감소하고, 음영지역(shadow boundary)에 존재하면 입사파가 존재하지 않는다. 그림 7은 측정된 데이터와 계산결과와 비교를 보여준다. 비교를 위해 계산결과에 전송파위인 290 dB를 더했다. 그림 7에서 보듯이, 레이더 수평선 근처에서는 실험결과가 예측된 결과와 차이를 보이나, 전반적으로 잘 일치함을 알 수 있다. 레이더 수평선 근처에서는 회절과 같은 효과를 고려해야 한다. 바다표면 거칠기를 조절하면 반사파의 효과가 적어져 간섭 현상이 적어

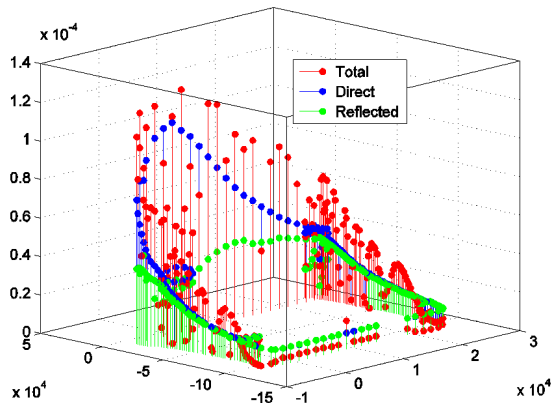


그림 6. 표적에 입사하는 두 신호: 직접파, 반사파
Fig. 6. Incident waves on target: direct incident, reflected incident waves.

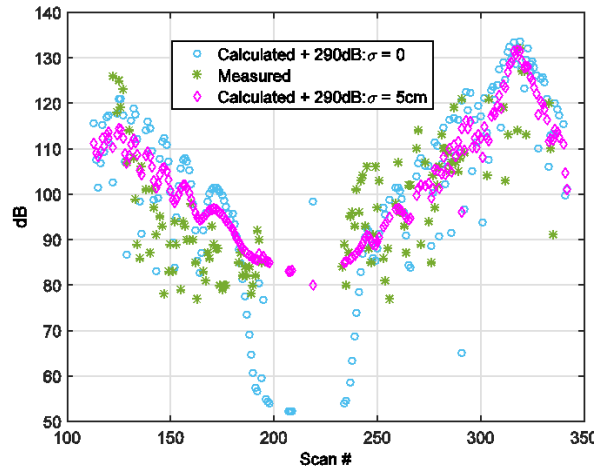


그림 7. 항로 1에 대한 측정데이터와 비교
Fig. 7. Comparison of measured and simulated data for flight path 1.

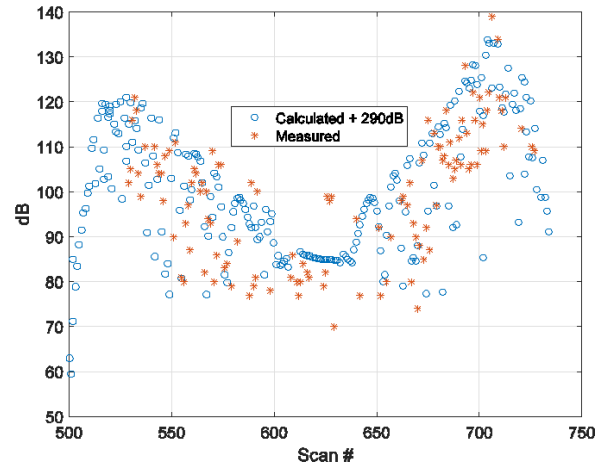
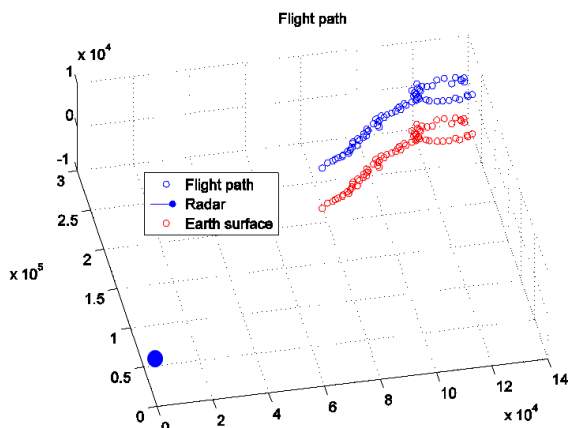


그림 8. 항로 1에 대한 측정데이터와 비교: 61 m 높은 표적
Fig. 8. Comparison of measured and simulated data for flight path 1: 61 m higher than Fig. 7.

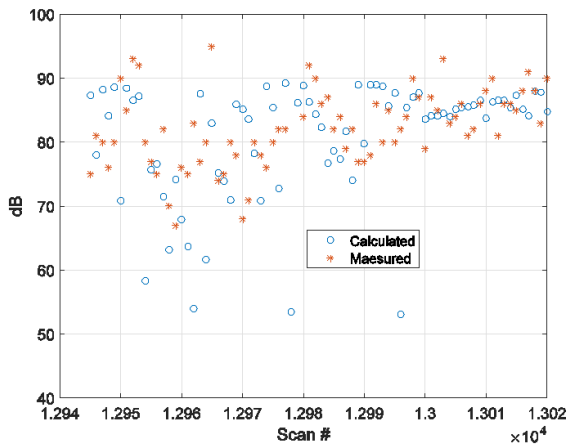
지고, 이 경우 계산결과의 정확도가 조금 높아짐을 알 수 있다. 그러나, 실제 거칠기를 측정하지 않아 다음 결과들은 모두 $\sigma = 0$ 로 가정하였다. 정확도에 영향을 미치는 요소를 모두 고려하는 것은 실질적으로 불가능하다. 그러나, 그림 7에서 보듯이, 중요 파라미터를 고려하여 어느 정도 정확도가 있는 예측은 가능하다. 그림 8은 표적이 그림 3과 같은 항적을 따라 움직이고, 높이만 61 m 높아

진 경우의 결과이다. 레이더 수평면 근처 결과만 비교하였다. 높이가 높아 전 경우보다, 두 결과가 보다 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

다음은 표적이 육지 위를 비행하는 경우로 비행체의 높이가 그림 3의 경우에 비해 높아 음영지역이 존재하지 않는다. 이때 지표면 유전율은 지표면이 흙이라 가정하고, $3+0.1i$ 를 사용하였다^[13]. 지구표면에 입사하는 입사각이 거의 90° 이므로, 유전율에 따라 반사계수가 크게 바뀌지 않는다. 그림 9는 이 경우에 대한 항로와 측정데이터 비



(a) 비행경로
(a) Flight path



(b) 수신신호
(b) Echo Signal

그림 9. 항로 2에 대한 측정데이터와 비교.
Fig. 9. Comparison of measured and simulated data for flight path 2.

교를 보여준다. 그림 9인 경우, 높이가 높아 표적이 모두 레이더 수평면에 위에 존재한다. 그러므로 모든 항로에서 레이더 신호를 수신할 수 있고, 예측된 결과와 일치함을 알 수 있다. 그림 9 결과의 상대오차를 "(계산값-측정값)/측정값"으로 정의를 하면 상대오차의 평균값은 0.33이고, 표준편차는 1.24이다. 표적의 산란계수를 정확하게 알 수 없는 것이 오차가 발생하는 큰 원인으로 사료된다.

V. Conclusions

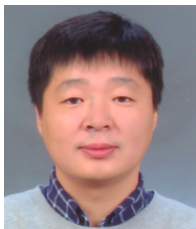
지구 곡률을 고려하기 위해 지구를 매끄러운 표면을 갖는 이상적인 구로 모델링하고, 지구 위에 레이더와 표적이 놓여있는 경우를 고려한다. 표적이 레이더 수평선 근방에 있는 경우, 근사화된 수식은 반사파와 직접파의 경로차를 정확하게 예측하지 못해 큰 오차를 보인다. 그러므로, 이 경우 수치방법으로 경로차를 정확하게 계산해야 하고, 필요한 수식을 본 논문에서 제안하였다. 제안된 방법과 GO 방법 기반 4-ray 방법을 이용하여 표적에서 산란되어 돌아오는 신호를 계산하였다. 계산된 결과를 실험을 통해 정확도를 검증하였다.

References

- [1] D. E. Kerr, *Propagation of Short Radio Waves*, McGraw-Hill, New York, 1951.
- [2] L. Sevgi, F. Akleman, and L. B. Felsen, "Groundwave propagation modeling: Problem-matched analytical formulations and direct numerical techniques", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 44, no. 1, pp. 55-75, Feb. 2002.
- [3] J. R. Wait, *Electromagnetic Waves in Stratified Media*, Oxford, Pergamon, 1962.
- [4] R. E. Collin, "Hertzian dipole radiating over a lossy earth or sea: Some early and late 20th-century controversies", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 46, no. 2, pp. 65-79, Apr. 2004.
- [5] 유승오, "레이저 추적기를 이용한 저고도 비행체 추적 기법 연구", *한국전자과학회논문지*, vol. 26, no. 6, pp. 572-580, 2015년 6월.

- [6] T. B. A. Senior, J. L. Volakis. "Approximate boundary conditions in electromagnetics", *Iet*, no. 41. 1995.
- [7] A. Serpil, "SEKE: A computer model for low altitude radar propagation over irregular terrain", *IEEE Trans. on Antenna Propagat.*, vol. AP-34, no. 8, pp. 1013-1023, Aug. 1986.
- [8] W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, and B. P. Flannery, *Numerical Recipes in C*, Cambridge university press, Cambridge, 1996.
- [9] L. Tsang, J. A. Kong, and R. T. Shin, *Theory of Microwave Remote Sensing*, New York, Wiley, 1985.
- [10] A. R. Miller, R. M. Brown, and E. Vegh, "New derivation for the rough-surface reflection coefficient and for the distribution of sea-wave elevations", *Proc, IEE-H*, vol. 131, pp. 114-116, Apr. 1984.
- [11] M. Abramowitz, I. A. Stegun, *Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables*, Wiley, New York, 1972.
- [12] W. Ellison, A. Balana, G. Delbos, K. Lamkaouchi, L. Eymard, C. Guillon, and C. Prigent, "New permittivity measurement of seawater", *Radio Sci.*, vol. 33, pp. 639-704, Jun. 1974.
- [13] Recommendation ITU-R P. 527-3, "Electrical Characteristics of the surface of the earth", 1992.

고 일 석



1992년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1994년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1994년 1월~1996년 4월: LG전자연구원
 2002년 8월: The University of Michigan at Ann Arbor 전기 및 전산과 (공학박사)
 2004년 3월~현재: 인하대학교 전자공학과 교수
 [주 관심분야] Theoretical Electromagnetic, Numerical Analysis, Channel Modeling

이 중 현



1997년 2월: 부산대학교 전자공학과 (공학사)
 1999년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 2005년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 2005년 1월~현재: LIG 넥스원 ISR 연구센터 수석연구원
 [주 관심분야] 레이더, 배열신호처리, 병렬신호처리

권 세 응



1999년 2월: 연세대학교 전파공학과 (공학사)
 2002년 2월: 연세대학교 전기컴퓨터공학과 (공학석사)
 2009년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)
 2009년 7월~현재: LIG 넥스원 ISR 연구센터 수석연구원
 [주 관심분야] 능동위상배열레이더, 전파전파 등

이 기 원



2000년 2월: 충남대학교 전기공학과 (공학사)
 2002년 8월: 충남대학교 전기공학과 (공학석사)
 2002년 7월~현재: LIG 넥스원 ISR 연구센터 수석연구원
 [주 관심분야] 레이더 체계설계, 안테나, 신호처리 등

선 응



1986년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학사)

1988년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학석사)

2003년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)

1988년 2월~2000년 6월: 국방과학연구소

선임연구원

2009년 3월~현재: LIG 넥스원 ISR 연구센터 수석연구원

[주 관심분야] 레이더, SAR, 신호처리 등