

## 항공기 레이더를 이용한 지면클러터 반사계수 계산 방법과 모의 지면클러터 신호 생성 모델 개발

### Development of Ground Clutter Reflectivity Calculation Methods and Simulated Ground Clutter Signal Generation Models Using Airborne Radars

김태형 · 전형원 · 박성호 · 박준태 · 정채현 · 박준현 · 배준형\*

Tae-Hyung Kim · Hyeong-Won Jeon · Sung-Ho Park · Joon-Tae Park ·  
Chae-Hyun Jung · June-Hyune Park · Junhyeong Bae\*

#### 요 약

항공기 레이더를 항공기에 적재하여 획득한 실제 항공기 항법 정보 및 레이더 빔 조향 정보 등을 이용하여 지상과 해상클러터 반사계수를 계산하는 방법과 항공기 레이더의 모의 지상/해상클러터 신호를 생성하는 모델을 제시한다. 해상 및 지상지역에서 항법 및 레이더 운용 정보와 지상/해상클러터 신호를 획득하였고, 제시한 방법으로 계산한 지상/해상클러터 반사계수 값을 기존 연구의 지상/해상클러터 반사계수 모델의 값과 비교하였다. 그리고 제시한 모의 지상/해상클러터 신호 생성 모델로 생성한 지상/해상클러터 신호와 비행시험을 통해 획득한 실제 지상/해상클러터 신호를 비교하여 제안한 모의 지상/해상클러터 신호 생성 모델의 유효성을 확인하였다.

#### Abstract

We present a ground clutter reflectivity calculation method and a signal generation model of the simulated sea/land clutters of airborne radars using real navigation and radar operation information. The navigation and radar operation information were obtained by loading airborne radar on aircraft. The real navigation information and real sea/land clutters were obtained in the sea and land regions, and sea/land clutter reflectivity values calculated using the presented method were compared with the values of sea/land clutter reflectivity models of earlier studies. We confirmed the validity of the proposed sea/land clutter generation model by comparing real and simulated sea/land clutters.

Key words: Ground Clutter Reflectivity, Measured Ground Clutter, Simulated Ground Clutter, Airborne Radar, Flight Test

#### I. 서 론

항공기용 펄스 도플러 레이더를 항공기에 적재하고, 레이더 빔을 방사하여 비행시험을 하였다. 이런 비행시험

을 통해 획득한 실제 항공기 항법 정보 및 레이더 운용/빔 조향 정보, 레이더 클러터 반사 신호 등의 데이터를 활용하여 지상/해상클러터 반사계수를 계산하는 방법과 항공기 레이더의 모의 지면클러터 신호 생성 모델을 개발

LIG넥스원(주) (LIG Nex1 Co., Ltd.)

\*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· Manuscript received April 13, 2021 ; Revised May 10, 2021 ; Accepted June 17, 2021. (ID No. 20210413-006S)

· Corresponding Author: Tae-Hyung Kim (e-mail: thkim07@gmail.com)

하였다. 본 논문에서는 실측 데이터를 이용하여 지상/해상클러터 반사계수의 값을 계산하고, 그 계산 값을 기존 연구의 반사계수 값과 비교한다. 그리고 실측한 지상/해상클러터 신호 획득 결과와 제시한 방법으로 모의한 지상/해상클러터 신호 생성 결과를 비교하여 제시한다. 항공기 항법 및 빔 조향 정보 등을 이용하고, 실제 측정하여 획득한 지면과 안테나 빔 방사 지역의 지형 정보 등을 이용하여 지상과 해상의 클러터를 보다 세밀히 모사하는 모의 지상/해상클러터를 생성하여 보았다. 또한 실제 안테나 패턴 및 레이더 파라메타를 반영하여 제안한 신호 생성 모델이 실제 지면클러터를 잘 모의하도록 하였다. 실제 측정한 지면클러터와 모의 지면클러터와의 유사성 비교를 통해 지면클러터 신호 생성 모델 파라메타의 적절성 및 본 논문에서 제시한 지면클러터를 모사하는 지면클러터 신호 생성 모델의 유효성을 확인하였다.

## II. 지면클러터 분석/모의를 위한 비행시험 데이터

지상/해상클러터 획득을 위한 비행시험 환경은 펄스 도플러 레이더를 항공기에 설치하고, 안테나 송신 신호를 방사하여 지상/해상클러터 신호 및 항공기 항법 및 레이더 운용 정보를 획득하는 시험을 하였다. 실제 획득한 지면클러터의 반사계수 계산과 지면클러터 모의를 위해서는 항공기 및 레이더 측면에서 항공기 플랫폼의 NED (north, east, down) 속도, LLA(latitude, longitude, altitude) 위치, RPY(roll, pitch, yaw) 자세 등의 항공기 항법 정보와 항법장치대비 항공기 내에서 레이더가 설치된 위치 정보, 레이더 시스템 파라메타(전송주파수, 전송전력, 안테나 패턴 정보 등), 레이더 운용 PRI(pulse repetition interval)와 파형 정보, 레이더 안테나의 빔 조향 방향 정보 등이 필요하다. 이 외에 빔을 방사하고 비행한 지역의 지면 정보가 필요하다. 지상의 산악, 도로, 논 등의 지형 정보 및 지면 해발고도, 해상의 해상 상태 정보 등이다.

## III. 비행시험 데이터를 이용한 지면클러터 반사계수 계산 방법과 모의 지면클러터 신호 생성 모델 설계

그림 1의 과정으로 비행시험에서 버스트(burst) 단위로

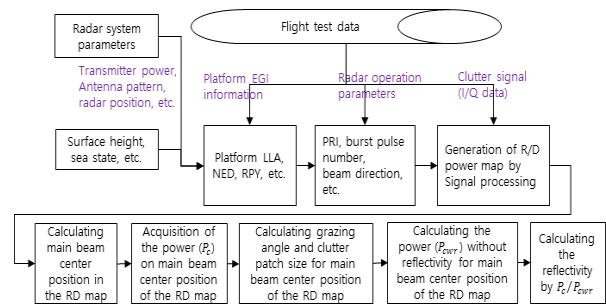


그림 1. 비행시험 데이터를 이용하여 지면클러터 반사계수를 계산하는 과정

Fig. 1. The process of calculating the ground clutter reflectivity using flight test data.

획득한 클러터 신호로부터 지면클러터 반사계수를 계산한다. 그림 1의 과정에서 볼 수 있듯이 비행시험 데이터에서 한 버스트의 RD(Range/Doppler) 맵<sup>[1,2]</sup>을 구하고(그림 1의 ‘generation of RD power map by signal processing’), 주엽클러터 중심에 해당하는 지점(그림 1의 ‘calculating main beam center position in the RD map’)의 클러터 전력( $P_c$ )을 획득한다(그림 1의 ‘acquisition of the power  $P_c$  on main beam center position of the RD map’). 주엽클러터 중심의 클러터 전력  $P_c$ 는 식 (1)과 같다.

$$P_c = C_K \frac{G_T G_R \lambda^2 N^2 W_{PCR} \Delta S \sigma_0}{R_c^4 L}$$

$$P_{cwr} = C_K \frac{G_T G_R \lambda^2 N^2 W_{PCR} \Delta S}{R_c^4 L} \quad (1)$$

여기서  $G_T$ 와  $G_R$ 은 안테나 빔의 송신과 수신 이득을 나타내며,  $R_c$ 는 주엽클러터 중심 지면과 안테나 사이의 거리,  $L$ 은 전력 손실,  $\lambda$ 는 전송파장,  $N$ 는 한 버스트의 펄스수,  $W_{PCR}$ 는 펄스 압축비,  $\Delta S$ 는 해당 전력의 레이더 클러터 신호를 반사하는 클러터 패치(patch)의 넓이,  $\sigma_0$ 는 구하고자 하는 클러터 반사계수를 나타낸다. 그리고  $C_K$ 는 이외에 레이더 신호전력을 결정하는 레이더 시스템의 파라메타 값들을 모두 포함하는 레이더 시스템 상수를 나타낸다.  $L$ 은 거리  $R_c$ 에 해당하는 대기 손실과 신호처리 손실 및 빔 조향에 의한 이득 손실 등을 포함한다. 식 (1)에서 RD 맵의 주엽클러터 중심 지점에 해당하는 지면클러터 반사계수  $\sigma_0$ 를 제외한 전력 값은  $P_{cwr}$ 를 나타낸다.

$P_{clutter}$ 의 값은 플랫폼 항법 정보와 빔 조향 방향 정보, 파형 운영 정보 등을 이용하여 계산할 수 있다.  $P_{clutter}$ 을 계산한 후 식 (1)에서  $\sigma_0 = P_c/P_{clutter}$ 를 이용하여 지면클러터 반사계수 값을 계산한다.  $P_{clutter}$ 의 계산을 위한  $R_c$ 와 RD 맵에서 주엽클러터 중심 위치 계산 및 주엽클러터 중심 위치에 해당하는 지면 패치의 면적  $\Delta S$ 의 계산은 참고문헌 [3]을 참고하였다.  $\Delta S$  및  $R_c$  등의 계산의 편의성을 위해 안테나 빔 조향 방향 및 플랫폼의 항법 정보 등을 그림 2(a)와 같이 정의되는 클러터좌표계에서 그림 2(b)와 같이 표현한다<sup>[3]</sup>. 그림 2(b)에서  $\vec{V}_a$ 는 플랫폼 속도,  $R_a$ 는 플랫폼 고도,  $R_j$ 는 지구의 등가반경(effective radius), 지면지점  $c$ 는 안테나 주엽빔의 중심이 조향하는 지면지점,  $-\theta$ 는 안테나 빔 조향의 고각,  $\varphi$ 는 안테나 빔 조향의 방위각,  $\vec{V}_c$ 는 빔 조향 중심 방향의 플랫폼 속도(주엽클러터 중심 속도), 그리고  $\alpha$ 는 빔 조향 방향(주엽클러터 중심)에 대한 지표각(grazing angle)을 나타낸다. 그림 2(b)와 같은 클러터좌표계에서의 안테나 빔 조향방향 표현(고각  $\theta$ , 방위각  $\varphi$ )을 위해서는 안테나좌표계에서의 빔 조향 값을 플랫폼의 RPY 자세 정보를 반영하여 NED좌표계의 값으로 변환하고, 다시 NED좌표계에서 클러터좌표계로의 값으로의 변환이 필요하다. 빔 조향 고각과 식 (2)로부터 지표각  $\alpha$  및 거리  $R_c$ 를 구할 수 있다<sup>[3]</sup>(그림 1의 ‘Calculating grazing angle and clutter patch size for main beam center position of the RD map’).

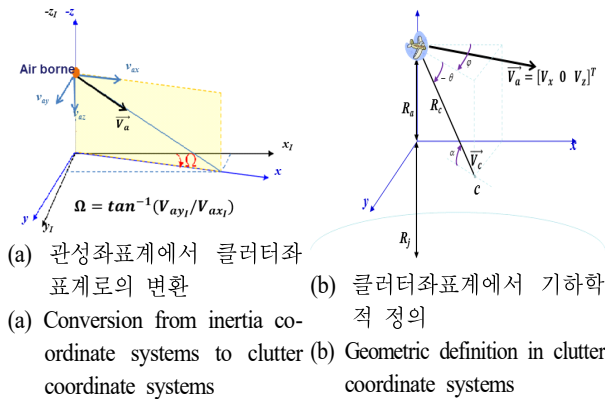


그림 2. 클러터 관련 계산을 위한 클러터좌표계  
 Fig. 2. Clutter coordinate systems for clutter-related calculations.

$$\alpha = \cos^{-1}(\cos(\theta)(R_a + R_j)/R_j)$$

$$R_c = -R_j \sin(\alpha) + \sqrt{(R_a + R_j)^2 + R_j^2 \sin^2(\alpha) - R_j^2} \quad (2)$$

$P_{clutter}$ 의 계산에 필요한 지면 패치의 면적  $\Delta S$ 의 계산은 한 RD 맵을 형성하는 한 버스트 파형의 거리 해상도와 방위 해상도(파형의 도플러 해상도에 의해 결정됨) 등을 이용하여 이루어진다. 그림 3은  $\Delta S$ 를 나타낸다<sup>[3]</sup>.  $\Delta S$ 의 계산을 위한  $\Delta\varphi$ 의 계산은 식 (3)으로 이루어진다<sup>[3]</sup>(그림 1의 ‘Calculating grazing angle and clutter patch size for main beam center position of the RD map’).

$$\Delta\varphi(V_c) = \cos^{-1}(A_1(V_c)) - \cos^{-1}(A_2(V_c))$$

$$A_1(V_c) = \min(1, \max(-1, \cos(\varphi(V_c - \Delta v/2))))$$

$$A_2(V_c) = \min(1, \max(-1, \cos(\varphi(V_c + \Delta v/2)))) \quad (3)$$

여기서  $V_c$ 는 클러터 패치 방향의 플랫폼 속도 값을 나타내며,  $V_c = V_x \cos(\theta) \cos(\varphi) - V_z \sin(\theta)$ 로 구해진다( $V_x$ 와  $V_z$ 는 그림 2(b)에서 보듯이 플랫폼 속도  $\vec{V}_a$ 의  $x$ 축과  $z$ 축 성분임).  $\cos(\varphi(V_c))$ 는 앞의  $V_c$ 를 구하는 식에서  $V_c$  변수를 가정하여  $\cos(\varphi(V_c)) = (V_c + V_z \sin(\theta))/V_x \cos(\theta)$ 로 다시 표현한 식이다.  $\Delta v$ 는 파형의 속도 해상도를 나타내며,  $\Delta v = \lambda \Delta f / 2$ 이다.  $\Delta f$ 는 파형의 도플러 해상도를 나타내며,  $\Delta f = f_{PRF} / N$ 이다.  $f_{PRF}$ 는 파형의 PRF(pulse repetition frequency) 값을 나타낸다. 즉, 식 (3)은 RD 맵에서 도플러 쪽의 한 셀에 해당하는 방위 해상도를 파형의 속도 해상도를 이용한  $\varphi(V_c - \Delta v/2)$ 와  $\varphi(V_c + \Delta v/2)$ 와의 차이로 구한 것이다. 다시 말해서 식 (3)의  $\Delta\varphi(V_c)$ 는 클러터 패치 방향의 플랫폼 속도가  $V_c$ 인 지점에 해당하는

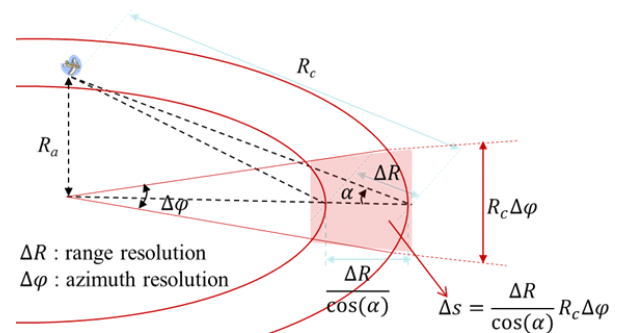


그림 3. 클러터 패치의 면적 계산  
 Fig. 3. Calculation of areas of clutter patch.

RD 맵의 한 도플러 셀의 방위 해상도를 나타낸다(그림 1의 ‘Calculating the power  $P_{cwr}$  without reflectivity for main beam center position of the RD map’). 비행시험으로 획득한 클러터 신호에 의한 RD 맵과 식 (1), 식 (2), 식 (3), 그리고  $P_c/P_{cwr}$ 을 이용해서 주엽클러터 중심 영역에 해당하는 지면의 지표각  $\alpha$ 에 해당하는 지면클러터 반사계수  $\sigma_0(\alpha)$ 를 구할 수 있는 것이다(그림 1의 ‘Calculating the reflectivity by  $P_c/P_{cwr}$ ’).

비행시험 데이터에서 확보한 버스트 단위의 항법 정보 및 레이더 운용 정보로 지면 클러터 신호를 모의한다면 앞에서 설명한 그림 2와 그림 3의 기하학적 정의와 식 (2) 및 식 (3)이 그대로 사용될 수 있다<sup>[3]</sup>. 클러터 신호 모의를 위해 먼저 클러터좌표계에서 관심거리 영역의 지면을 쪼개어 클러터 패치를 형성하고, 그 클러터 패치의 면적과 방향  $(\varphi, \theta)$  및 LLA좌표 위치 값을 저장한다. 클러터 패치를 형성할 때는 거리 해상도와 파형의 도플러 해상도를 고려하여 그림 3과 식 (3) 등을 이용하여 관심거리 영역의 지면을 쪼개어 형성한다. 그리고 클러터 좌표계에서 생성한 클러터 패치의 위치 값은 플랫폼 자세 및 위치 정보를 이용하여 LLA좌표계의 값으로 변환한다. 이렇게 클러터 패치의 위치와 그 면적 정보가 형성되었으면 그 다음으로 플랫폼의 항법 정보와 레이더 운용 정보로 플랫폼 이동과 빔 조향을 모의하여 펄스 단위로 각 클러터 패치에서의 레이더 반사 신호  $C_p(t)$ 를 식 (4)와 같이 모의하고, 각 클러터 패치에 대한 모의 신호를 더하여 지면클러터 신호를 모의한다<sup>[1],[2]</sup>.

$$C_p(t) = A_c g_{T(\varphi_a, \theta_a)}(\varphi_c, \theta_c) g_{R(\varphi_a, \theta_a)}(\varphi_c, \theta_c) e^{(-2j\pi f t_c)} e^{(2j\pi f_d t)} \\ A_c = \sqrt{\frac{C_k G_T G_R \lambda^2 \sigma_0}{R_c^4 L}} \sqrt{E_{rnd}(\Delta s)} e^{(2\pi j U_{rnd})} \Pi(t - t_c) \quad (4)$$

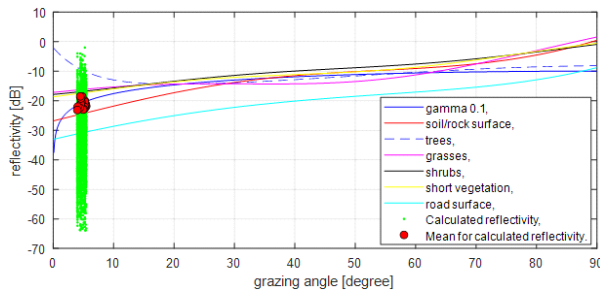
여기서  $g_{T(\varphi_a, \theta_a)}(\varphi_c, \theta_c)$ 는 안테나좌표계 기준 빔 조향 방향  $(\varphi_a, \theta_a)$ 의 정규화된(normalized) 안테나 송신 패턴에서 클러터 패치 방향  $(\varphi_c, \theta_c)$ 에 대한 이득이며,  $g_{R(\varphi_a, \theta_a)}(\varphi_c, \theta_c)$ 는 빔 조향 방향  $(\varphi_a, \theta_a)$ 의 정규화된 안테나 수신 패턴에서 클러터 패치 방향  $(\varphi_c, \theta_c)$ 에 대한 이득 값이다. 안테나 좌표계 기준 빔 조향 방향  $(\varphi_a, \theta_a)$ 은 비행시험 데이터에서 얻을 수 있으며, 안테나좌표계 기준 클러터 패치의 방

향  $(\varphi_c, \theta_c)$ 은 클러터 패치를 형성할 때 저장해둔 클러터 좌표계 기준 클러터 패치 방향 정보를 NED좌표계의 값으로 변환하고, 다시 플랫폼의 자세(RPY) 정보를 반영하여 안테나좌표계에서의 값으로 변환하여 구한다.  $f$ 는 송신주파수,  $t_c$ 는 송신 신호가 안테나에서 출발하여 클러터 패치에서 반사되어 다시 수신되는 시간으로서  $t_c = 2R_c/D$ 이고, 여기의  $R_c$ 는 안테나와 클러터 패치사이의 거리로서 식 (2)와 클러터 패치 형성 때 저장해둔 클러터좌표계 기준 클러터 패치 고각 방향 정보를 사용하여 구할 수 있으며,  $D$ 는 광속도이다.  $f_d$ 는 클러터 패치 방향의 도플러로서  $f_d = 2v_c/\lambda$ 이며, 클러터 패치의 도플러 속도  $v_c$ 는 다음 과정으로 구한다. 먼저 플랫폼의 ECEF(earth-centered, earth-fixed)좌표 값을 플랫폼 LLA좌표에서 획득하고, 클러터 패치의 LLA좌표 값을 ECEF좌표계 값으로 변환하여 ECEF좌표계에서 플랫폼 기준 클러터 패치 방향으로의 단위 벡터를 계산한다. 이 방향 단위 벡터를 NED좌표계 값으로 변환하고, 플랫폼 NED속도와의 내적을 계산하여 도플러 속도  $v_c$ 를 구한다. 식 (4)의  $A_c$ 의  $\sigma_0$ 는 지면클러터 반사계수 값이며, 참고문헌 [4], [5], [6] 및 [7]에서 기술되어 있는 지상과 해상의 여러 반사계수 모델들을 사용할 수 있다. 지면클러터 반사계수 모델 사용을 위해서는 해당 클러터 패치에 대한 지표각을 구해야 하며, 이는 식 (2)를 사용하여 구한다. 식 (4)의  $A_c$ 의  $\Delta s$ 는 해당 클러터 패치의 면적이며,  $E_{rnd}(\Delta s)$ 는 평균  $\Delta s$ 를 가지는 지수분포의 난수 값이다(exponential random number). 지수분포의 난수 값을 사용한 이유는 클러터신호 크기의 변칙적인 성질을 반영하기 위해서다. 식 (4)의  $A_c$ 의  $U_{rnd}$ 는 0과 1 사이의 균일분포 난수 값이며(uniformly distributed random number),  $e^{(2\pi j U_{rnd})}$ 를 사용한 이유는 클러터신호 위상의 변칙적인 성질을 반영하기 위해서다.  $\Pi(t - t_c)$ 는 송신 펄스 파형의 포락선(envelope)  $\Pi(t)$ 의  $t_c$  만큼의 시간지연을 나타낸다.

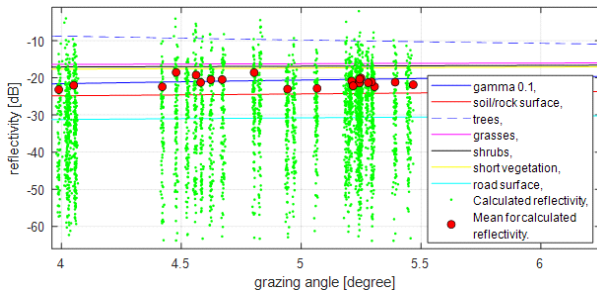
#### IV. 지면클러터 반사계수 계산 결과 및 모의 지면클러터 신호 생성 결과

본 논문에서 기술한 방법으로 지면클러터 반사계수를 구해 보았다. 지상 지역의 비행 데이터와 클러터 신호를

수집하기 위하여 지상 지역을 비행하면서 빔을 평지의 흙 및 도로 등이 있는 영역에 조향하였다. 그림 4는 수집한 비행시험 데이터를 이용하여 계산한 지상클러터 반사계수 값을 나타낸다. 그림 4(a)의 그림은 지표각  $0^\circ$ 에서  $90^\circ$ 까지 여러 지상클러터 반사계수 모델<sup>[4],[5],[7]</sup>에서의 값과 계산한 지상클러터 값을 비교한 것이다(그림 4에서  $\gamma 0.1$ 은 constant  $\gamma$  모델에서  $\gamma$  값을 0.1로 사용한 모델이다). 그림 4(b)의 그림은 그림 4(a)에서 지표각 약  $4^\circ$ 에서  $5.5^\circ$  영역을 확대한 그림이다. 비록 제한된 비행시험 데이터와 지표각에서 계산한 값이지만 그림 4에서 보듯이 계산한 지상클러터 반사계수 값은 soil/rock surface 또는 constant  $\gamma 0.1$  모델과 유사하다. 빔 조향 방향이 평지의 흙 및 도로 등이 있는 영역인 것을 고려하면 유효한 결과를 얻은 것을 알 수 있다. 해상지역의 비행시험 데이터와 클러터 신호를 수집하기 위하여 해상



(a) 지표각  $0^\circ$ 에서  $90^\circ$ 까지의 비교  
(a) Comparison for grazing angles between  $0^\circ$  to  $90^\circ$

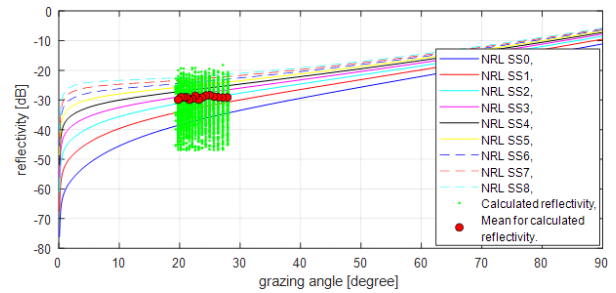


(b) 지표각  $4^\circ$ 에서  $5.5^\circ$ 까지의 비교  
(b) Comparison for grazing angles between  $4^\circ$  to  $5.5^\circ$

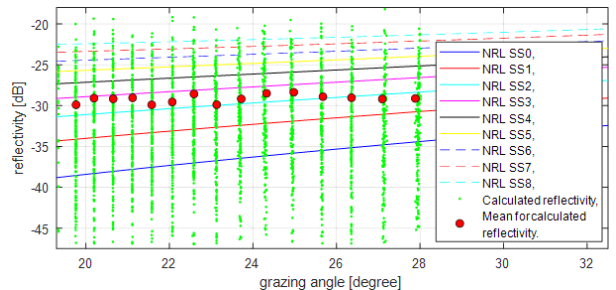
그림 4. 지상지역 비행시험에서 확보한 데이터에 대한 반사계수 계산 결과

Fig. 4. Results of reflectivity calculations for data obtained in the flight test of land areas.

지역을 비행하면서 빔을 해상영역에 조향하였다. 한국기상청 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr>)에서 해상상태 정보를 수집하여 해상 비행시험 지역의 비행시험 때의 해상상태가 해상상태 2(sea state 2) 또는 3 정도임을 알 수 있었다<sup>[5]</sup>. 그림 5는 수집한 비행시험 데이터를 이용하여 계산한 해상클러터 반사계수 값을 나타낸다. 그림 5(a)의 그림은 지표각  $0^\circ$ 에서  $90^\circ$ 까지 해상에 관한 NRL(naval research lab.) 해상클러터 반사계수 모델<sup>[6]</sup>에서의 값과 계산한 해상클러터 값을 비교한 것이다(NRL SS0는 해상상태 0 모델, NRL SS1은 해상상태 1모델 등을 나타낸다). 그림 5(b)의 그림은 그림 5(a)에서 지표각 약  $19^\circ$ 에서  $28^\circ$  영역을 확대한 그림이다. 비록 제한된 비행시험 데이터와 지표각에서 계산한 값이지만 그림 5에서 보듯이 계산한 해상클러터 반사계수 값은 NRL SS2 또는 NRL SS3 모델과 유사하다. 해상 클러터 수집 당시의 해상상태 정보를



(a) 지표각  $0^\circ$ 에서  $90^\circ$ 까지의 비교  
(a) Comparison for grazing angles between  $0^\circ$  to  $90^\circ$



(b) 지표각  $19^\circ$ 에서  $28^\circ$ 까지의 비교  
(b) Comparison for grazing angles between  $19^\circ$  to  $28^\circ$

그림 5. 해상지역의 비행시험에서 확보한 데이터에 대한 반사계수 계산 결과

Fig. 5. Results of reflectivity calculations for data obtained in the flight test of sea areas.



고려하면 유효한 결과를 얻은 것을 알 수 있다.

본 논문에서 기술한 방법으로 모의 지면클러터 신호를 생성해 보았다. 그림 6은 지상지역의 시험 데이터를 획득하기 위해 비행한 시나리오를 보인다. 지면클러터 신호 모의는 한 버스트 단위로 수행하였으며, 시나리오는 그림 6에서 보듯이 도로 및 논/밭이 있는 지역 위의 특정 해발 고도에서 특정 비행 속도로 비행하면서 산악지역 쪽으로 안테나 빔을 고각  $0.54^\circ$ 로 하여 조금 위의 방향으로 조향했다(안테나 빔 조향 방위각은 약  $60^\circ$ ). 그리고 비행지역의 지상의 해발고도는 약 100 m 정도였다. 그림 7에서는 그림 6의 시험 데이터로 한 버스트의 지상클러터 신호를 모의하여(식 (4)로서 지상클러터 신호를 모의하고, 레이더 시스템 파라메타를 반영한 잡음 신호도 모의하여 합하였다.) RD 맵을 형성하고 해당 비행시험 데이터의 지상클러터 신호로 RD 맵을 형성한 것과 비교하였다. 그림 7(b)의 지상지역 지상클러터 모의에서 constant gamma 0.1의 반사계수 모델(그림 4 참고)을 사용하였다. 그림 7의 비교에서 보듯이 제안한 모의 지면클러터 신호 생성 모델의 유효성을 확인할 수 있다. 그림 8은 해상지역의 비행시험 데이터를 획득하기 위해 비행한 시나리오를 보인다. 한국기상청 기상자료개방포털에서 해상상태 정보를 수집하여 그림 8의 시험 지역의 시험 때의 해상상태가 해상상태 2 정도임을 알 수 있었다<sup>[5]</sup>. 해상클러터 신호 모의는 한 버스트 단위로 행하였으며, 시나리오는 그림 8에서 보듯이 해상 위의 특정고도에서 특정속도로 비행하면서 해상지역 쪽으로 안테나 빔을 고각  $-4.6^\circ$ 로 하여 아래 방향으로 조향했다(안테나 빔 조향 방위각은 약  $0^\circ$ ). 그림 9에서는 그림 8의 비행시험 데이터로 한 버스트의 해상클러터 신호를 모의하여(식 (4)로서 해상클러터 신호를 모의하고 레이더 시스템 파라메타를 반영한 잡음 신호도

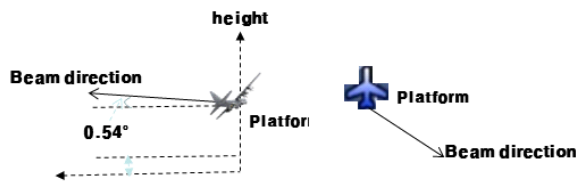
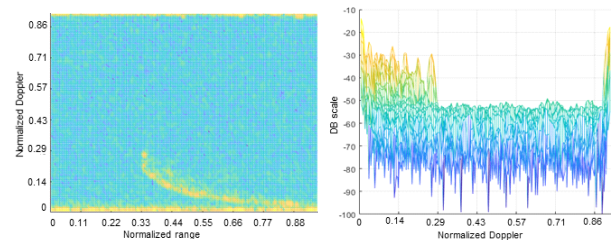
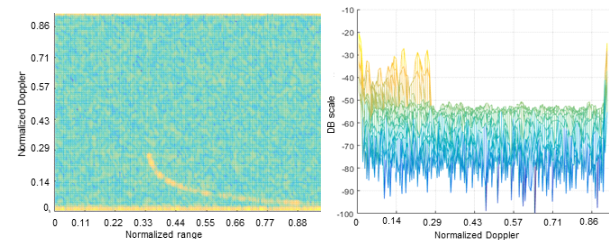


그림 6. 지상 비행시험 데이터를 수집한 비행 시나리오  
Fig. 6. Flight scenario that collects land's flight test data.



(a) 왼쪽은 실제 지상클러터의 RD 맵이며, 오른쪽은 이 RD 맵의 yz축 방향 뷰(view)

(a) The left is the RD map of real clutter signals and the right is the yz-axis view of this RD map



(b) 왼쪽은 모의 지상클러터의 RD 맵이며, 오른쪽은 이 RD 맵의 yz축 방향 뷰

(b) The left is the RD map of simulated clutter signals and the right is the yz-axis view of this RD map

그림 7. 지상지역의 실제 지상클러터와 모의 지상클러터 신호의 비교

Fig. 7. Comparison between real clutter and simulated clutter signals of land.

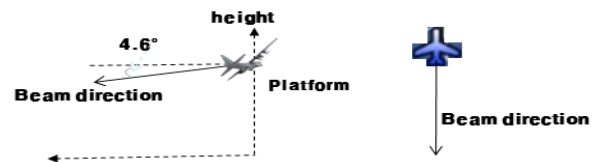
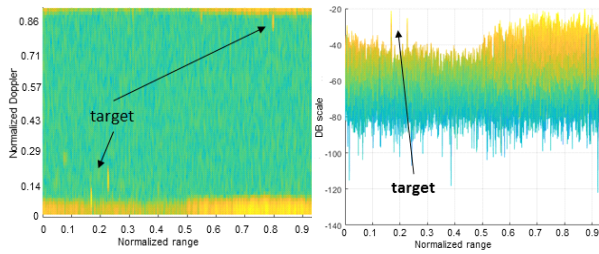


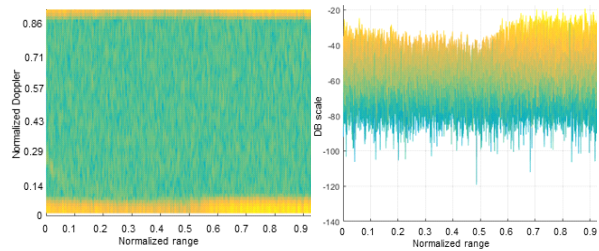
그림 8. 해상 비행시험 데이터를 수집한 비행 시나리오  
Fig. 8. Flight scenario that collects sea's flight test data.

모의하여 합하였다.) RD 맵을 형성하고 해당 비행시험 데이터의 해상클러터 신호로 RD 맵을 형성한 것과 비교하였다. 그림 9(b)의 해상지역 지면클러터 모의에서 NRL SS2의 반사계수 모델(그림 5 참고)을 사용하였다. 그림 9(a)의 RD 맵에는 기희표적이 보이고 있다.

이것은 그림 8의 비행시험 때에 어선 등의 표적이 탐지된 것이며, 그림 8의 비행시험 데이터로 해상클러터 신호를 모의할 때 표적신호는 모의하지 않았다. 그림 9의 비



(a) 왼쪽은 실제 해상클러터의 RD 맵이며, 오른쪽은 이 RD 맵의 xz축 방향 뷰(view)  
(a) The left is the RD map of real clutter signals and the right is the xz-axis view of this RD map



(b) 왼쪽은 모의 해상클러터의 RD 맵이며, 오른쪽은 이 RD 맵의 xz축 방향 뷰  
(b) The left is the RD map of simulated clutter signals and the right is the xz-axis view of this RD map

그림 9. 해상지역의 실제 해상클러터와 모의 해상클러터 신호의 비교

Fig. 9. Comparison between real clutter and simulated clutter signals of sea.

교에서 보듯이 제안한 모의 지면클러터 신호 생성 모델의 유효성을 확인할 수 있다.

## V. 결 론

항공기 레이더를 이용한 지면클러터 반사계수를 계산하는 방법과 항공기 레이더의 모의 지면클러터 신호를 생성하는 모델을 제시하였다. 항공기 레이더를 항공기에 적재하고 빔을 방사한 비행시험을 통해 획득한 실제 항

공기 항법 정보 및 레이더 빔 조향 정보, 지면클러터 신호 등을 이용하여 실제 지형의 지면클러터 반사계수를 구해 보았다. 또한 지면클러터 신호를 모의해 보았다. 기존연구의 지면클러터 반사계수 모델과의 비교를 통해 제안한 지면클러터 반사계수 계산 방법의 유효성을 확인하였다. 또한 실제 지면클러터 신호에 대한 RD 맵과 모의 지면클러터 신호에 대한 RD 맵의 비교를 통해 제안한 항공기 레이더의 모의 지면클러터 신호 생성 모델의 유효성을 확인하였다.

## References

- [1] B. R. Mahafza, *Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB*, 2nd ed. Boca Raton, FL, Chapman & Hall/CRC, 2005.
- [2] M. A. Richards, *Fundamentals of Radar Signal Processing*, New York, NY, McGraw-Hill, 2005.
- [3] T. H. Kim, E. H. Kim, and S. J. Kim, "Time-domain model of surface clutter for airborne phase-array radar," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 24, no. 7, pp. 730-736, Jul. 2013.
- [4] F. T. Ulaby, M. C. Dobson, *Handbook of Radar Scattering Statistics for Terrain*, Norwood, MA, Artech House, 1989.
- [5] M. I. Skolnik, *Radar Handbook*, 3rd ed. New York, NY, McGraw-Hill, 2008.
- [6] V. Gregers-Hansen, R. Mital, *An Improved Empirical Model for Radar Sea Clutter Reflectivity*, Washington, DC, Naval Research Lab., Apr. 2012.
- [7] J. B. Billingsley, *Low Angle Radar Land Clutter*, Norwich, NY, SciTech, 1991.

# 김 태 형 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-5296-2389>



1999년 3월: 부산대학교 전자공학과 (공학 석사)  
2007년 3월: 부산대학교 전자공학과 (공학 박사)  
2010년 11월: 국방과학연구소 연구원  
2010년 12월~현재: LIG넥스원(주) 레이더 연구소 수석연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리, 레이더 시스템, 패턴인식 등

# 정 채 현 [LIG넥스원/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-5836-3715>



2008년 2월: 충남대학교 전기정보통신공학과 (공학사)  
2010년 2월: 한국과학기술원 전자전기공학과 (공학석사)  
2010년 1월~현재: LIG넥스원(주) 선임연구원

[주 관심분야] 레이더시스템, 마이크로파

탐색기 등

# 전 형 원 [LIG넥스원/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-3618-3000>



2006년 3월: 한밭대학교 정보통신공학과 (공학사)  
2008년 8월: 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학석사)  
2008년 9월~현재: LIG넥스원(주) 선임연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리, 레이더시

스템 M&S 등

# 박 준 현 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-2750-6688>

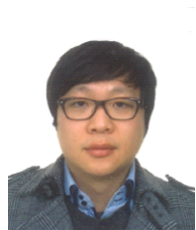


1996년 2월: 홍익대학교 전자공학과 (공학 석사)  
1996년 3월~현재: LIG넥스원(주) 레이더연구소 수석연구원

[주 관심분야] 능동 위상 배열 레이더, 항공기 레이더, 레이더 신호처리 등

# 박 성 호 [LIG넥스원/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-5368-3242>



2006년 3월: 경상대학교 제어계측공학과 (공학사)  
2008년 8월: 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학석사)  
2008년 9월~현재: LIG넥스원(주) 선임연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리, 레이더시

스템 M&S 등

# 배 준 형 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-9374-6386>



2005년: 경북대학교 전자전기공학부 (공학사)  
2008년: The University of Arizona, Electrical and Computer Engineering (공학석사)  
2013년: The University of Arizona, Electrical and Computer Engineering (공학박사)

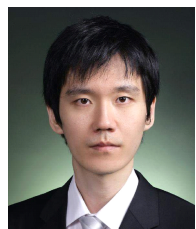
사)

2013년 12월~현재: 국방과학연구소 선임연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리, 레이더 시스템 등

# 박 준 태 [LIG넥스원/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-7895-1792>



2011년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학 석사)  
2011년 3월~현재: LIG넥스원(주) 레이더연구소 선임연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리, 레이더 시스템, 능동 위상 배열 레이더 등