

# 모노스테틱 등가 모델을 활용한 바이스테틱 SAR 영상 형성에 관한 연구

## Bistatic Synthetic Aperture Radar Imaging Using a Monostatic Equivalent Model

유보현 · 강병수 · 이명준 · 김경태

Bo-Hyun Ryu · Byung-Soo Kang · Myung-Jun Lee · Kyung-Tae Kim

### 요 약

본 논문에서는 송신 레이더와 수신 레이더가 분리된 바이스테틱(bistatic) 환경에서 합성 개구면 레이더(synthetic aperture radar: SAR) 영상을 형성하는 기법에 관하여 서술한다. 바이스테틱 SAR는 모노스테틱(monostatic) SAR에 비해 다양한 SAR 영상 획득 시나리오를 형성할 수 있기 때문에 기존의 모노스테틱 SAR의 한계를 극복할 수 있다. 그러나 현재까지 국내에서 바이스테틱 SAR 영상 형성과 관련된 연구가 매우 미진한 상황이다. 이에 따라 본 논문에서는 바이스테틱 기하구조에서의 레이더 수신 신호를 모델링하고, 이를 모노스테틱 등가 모델(equivalent model)을 활용하여 바이스테틱 SAR 영상을 형성하는 방법에 관하여 서술한다. 본 논문에서는 바이스테틱 기하구조에서의 모의시험을 통해 본 논문에서 서술된 바이스테틱 SAR 영상 형성 기법의 효용성을 검증한다.

### Abstract

In this paper, we propose a method to generate SAR(synthetic aperture radar) images for bistatic radar. The bistatic SAR can overcome several limitations of monostatic SAR, because the former can be applied to a variety of scenarios, compared to the latter. However, no study has been conducted on bistatic SAR imaging so far. In this paper, we propose a method to generate bistatic SAR images using the monostatic equivalent model and conventional monostatic SAR imaging algorithms. Simulations using airborne SAR in the bistatic geometry validated the efficacy of the proposed method.

Key words: Synthetic Aperture Radar(SAR), Bistatic Radar, Bistatic SAR, SAR Imaging

### I. 서 론

합성 개구면 레이더(synthetic aperture radar: SAR)는 저궤도 위성이나 항공기, 무인기 등의 탑재체에 장착되어 표적 혹은 관심 영역의 반사도(reflectivity map)를 형성하

는 레이더이다<sup>[1]</sup>. SAR는 기존의 광학 센서와 달리 주야에 관계없이 관측 가능하고, 기상 환경에 영향을 받지 않으므로 국방 및 민수 분야에서 다양하게 활용되고 있다.

SAR는 영상 획득 시나리오에 따라 송/수신 레이더가 일치하는 모노스테틱(monostatic)과 송/수신 레이더가 분

포항공과대학교 전자전기공학과(Department of Electrical Engineering, Pohang University of Science and Technology)

· Manuscript received May 28, 2018 ; Revised June 29, 2018; Accepted August 14, 2018. (ID No. 20180528-060)

· Corresponding Author: Kyung-Tae Kim (e-mail: kkt@postech.ac.kr)

리된 바이스테틱(bistatic) 및 멀티스테틱(multistatic) SAR로 구분된다. 여기서 바이스테틱은 서로 다른 하나의 송/수신 레이더로 구성된 기하구조를, 멀티스테틱은 다수의 송신 레이더와 다수의 수신 레이더로 구성된 기하구조를 의미한다.

현재까지의 SAR 신호처리 연구는 모노스테틱 기반으로 수행되었다<sup>[1]~[4]</sup>. 그러나 모노스테틱 SAR의 경우, 송/수신 레이더가 일치하는 모노스테틱 기하구조와 안테나 빔 폭의 제한으로 관측 영역이 제한적이다. 또한 모노스테틱 SAR는 레이더 가시선 방향으로의 반사 신호가 작은 저피탐(stealth) 표적 혹은 관심 영역에 대한 SAR 영상 형성이 어렵다는 단점이 있다<sup>[5]</sup>. 따라서 모노스테틱 SAR는 좁은 관측 영역 및 제한된 지표 정보로 인하여 응용 분야의 확대에 한계가 발생한다. 이와 달리 멀티스테틱 SAR는 다수의 송신 레이더와 다수의 수신 레이더를 활용하여 다양한 SAR 영상 획득 시나리오를 형성하고, 보다 넓은 영역을 효과적으로 관측함으로써 기존의 모노스테틱 SAR의 단점을 극복할 수 있다. 멀티스테틱 SAR는 상기 특징으로 농작물 및 산림 분야, 도로 관리 및 교통량 감시, 지진 등의 재난 관리 및 감시 정찰 분야와 같은 응용 분야에 활용되고 있다<sup>[6]</sup>.

바이스테틱 SAR는 멀티스테틱 SAR에 비해 넓은 영역을 관측할 수 없지만, 송/수신 레이더가 분리되어 위치 선정이 자유롭기 때문에 다양한 바이스테틱 SAR 영상 획득 시나리오를 형성할 수 있다<sup>[7],[8]</sup>. 즉, 바이스테틱 SAR는 바이스테틱 기하구조로 기존의 모노스테틱 SAR의 제한적인 지표 정보의 한계점을 극복할 수 있고, 멀티스테틱 SAR가 수행되기 위한 선행 단계이므로 반드시 연구되어야 하는 분야이다. 이에 현재까지 미국과 독일 등의 선진국에서는 바이스테틱 및 멀티스테틱 SAR 신호처리 연구를 활발히 수행하고 있으나<sup>[6]~[8]</sup>, 국내에서는 오메가-케이(omega-K) 기법을 활용한 바이스테틱 SAR 영상 형성 연구<sup>[9]</sup>만이 수행된 상황이다. 또한 상기 참고 문헌 [9]의 논문에서는 고정된 송신 안테나와 다수의 수신 안테나를 갖는 물리적 배열 구조를 가정하여 바이스테틱 기하구조를 설정하였으나, 이는 송/수신 레이더가 분리되어 이동하는 일반적인 바이스테틱 SAR 기하구조와 달라 일반적인 바이스테틱 SAR 영상 형성에 적용되

기 어렵다는 단점을 갖는다. 이에 본 논문에서는 송/수신 안테나가 분리되어 이동하는 일반적인 바이스테틱 SAR 기하구조에서의 바이스테틱 SAR 영상 형성에 관한 연구를 수행하였다.

본 논문에서 수행한 바이스테틱 SAR 영상 형성 기법은 모노스테틱 등가 모델(equivalent model)을 활용한다. 모노스테틱 SAR 영상과 마찬가지로, 초점이 맞는 바이스테틱 SAR 영상을 형성하기 위해선 바이스테틱 기하구조에서의 송/수신 레이더와 표적 사이의 거리 변화를 적절히 보상하는 과정이 필요하다. 상기 모노스테틱 등가 모델은 바이스테틱 기하구조의 SAR 시스템을 레이더 모노스테틱 기하구조에서의 SAR 시스템으로 변환한다<sup>[8]</sup>. 즉, 바이스테틱 SAR 수신 신호를 등가의 모노스테틱 SAR 수신 신호로 변환하고, 이어 기존의 모노스테틱 SAR 영상 형성 기법을 활용하여 바이스테틱 SAR 영상을 형성한다.

본 논문의 2장에서는 바이스테틱 기하구조에서 수신되는 레이더 신호를 정의하고, 바이스테틱 SAR 수신 신호를 등가의 모노스테틱 SAR 수신 신호로 변환한다. 이어 기존의 모노스테틱 SAR 영상 형성 기법을 활용하여 바이스테틱 SAR 영상 형성 과정을 수행한다. 3장에서는 모의시험을 수행하고, 바이스테틱 기하구조에서 수신된 바이스테틱 SAR 수신 신호를 이용하여 형성된 바이스테틱 SAR 영상과 모노스테틱 SAR 영상을 비교 분석한다. 최종적으로 상기 모의시험 결과를 통해 서술된 기법으로 초점이 맞는 바이스테틱 SAR 영상을 형성함을 확인한다.

## II. 바이스테틱 SAR 수신 신호 모델링

송신 레이더와 수신 레이더가 분리된 바이스테틱 SAR 영상 형성 기하구조는 그림 1과 같다. 여기서 방위 방향은 항공기의 진행 방향(y), 거리 방향은 이에 수직인 방향(x)으로 정의된다.

송신 레이더가 고도  $H_T$ 에서  $V_T$ 의 속도로 이동하고, 수신 레이더가 고도  $H_R$ 에서  $V_R$ 의 속도로 이동할 때, 표적(P)이 거리 및 방위 방향으로의 초기 위치  $(x_0, y_0)$ 에 위치한다면 송/수신 레이더와 표적 사이의 거리  $R_{bi}(\eta)$ 는 식 (1)과 같이 정의된다.

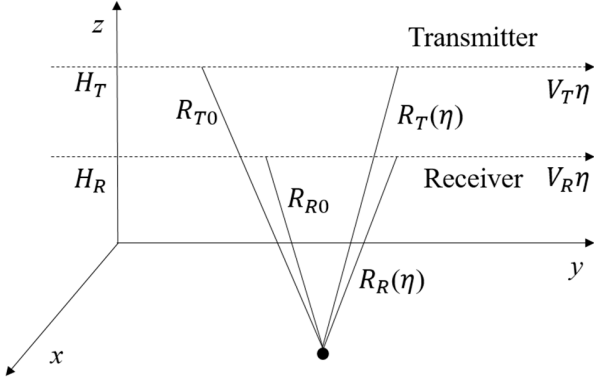


그림 1. 바이스테틱 SAR 영상 형성 기하 구조  
Fig. 1. Bistatic SAR geometry.

$$R_{bi}(\eta) = R_T(\eta) + R_R(\eta) \\ = \sqrt{x_0^2 + (y_0 - V_T \eta)^2 + H_T^2} + \sqrt{x_0^2 + (y_0 - V_R \eta)^2 + H_R^2} \quad (1)$$

여기서  $\eta$ 는 슬로우 타임(slow-time) 변수,  $R_T(\eta)$ 는 송신 레이더와 표적 사이의 거리 변화량,  $R_R(\eta)$ 은 수신 레이더와 표적 사이의 거리 변화량이다.

이때, 일반적으로 송신 레이더와 표적 사이의 초기 거리  $R_{T0} = \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + H_T^2}$ 와 수신 레이더와 표적 사이의 초기 거리  $R_{R0} = \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + H_R^2}$ 가 매우 크기 때문에 식 (1)의 거리 변화 성분은 테일러 급수 전개(Taylor-series expansion)에 의하여 식 (2)와 같이  $\eta$ 에 대한 다항식으로 근사된다<sup>[2]</sup>.

$$R_{bi}(\eta) \cong R_{T0} - \frac{y_0 V_T}{R_{T0}} \eta + \frac{V_T^2}{2R_{T0}} \eta^2 + \\ R_{R0} - \frac{y_0 V_R}{R_{R0}} \eta + \frac{V_R^2}{2R_{R0}} \eta^2 \quad (2)$$

상기 식 (2)의 결과를 통해 송신 레이더와 표적 사이의 거리 변화량  $R_T(\eta)$ 과 수신 레이더와 표적 사이의 거리 변화량  $R_R(\eta)$ 을 식 (3)과 같이 정의한다.

$$R_T(\eta) = R_{T0} - \frac{y_0 V_T}{R_{T0}} \eta + \frac{V_T^2}{2R_{T0}} \eta^2, \\ R_R(\eta) = R_{R0} - \frac{y_0 V_R}{R_{R0}} \eta + \frac{V_R^2}{2R_{R0}} \eta^2 \quad (3)$$

만약 상기 바이스테틱 기하구조에서의 거리 변화량  $R_{bi}(\eta)$ 이 레이더 모노스테틱 기하구조에서의 거리 변화량  $R_{mo}(\eta)$ (식 4)에 대응된다면, 바이스테틱 SAR 수신 신호를 모노스테틱 SAR 수신 신호로 변환하는 모노스테틱 등가 모델을 활용하여 바이스테틱 SAR 영상을 형성할 수 있다<sup>[7]</sup>.

$$R_{mo}(\eta) = 2\sqrt{x_0^2 + (y - V)^2 + H^2} \\ \cong 2R_0 - \frac{2yV}{R_0} \eta + \frac{V^2}{R_0} \eta^2 \quad (4)$$

여기서  $R_0 = \sqrt{x_0^2 + y^2 + H^2}$ 는 임의의 모노스테틱 기하구조에서의 레이더와 표적 사이의 초기 거리,  $y$ 는 표적의 방위 방향으로의 초기 위치,  $V$ 와  $H$ 는 각각 레이더 플랫폼의 속도와 고도이다.

이때, 식 (4)의 변수 ( $R_0, y, V, H$ ) 값은 상기 등가모델에 따라 식 (2)의  $R_{bi}(\eta)$ 와 식 (4)의  $R_{mo}(\eta)$ 을 비교하여 ( $R_{mo}(\eta) = R_{bi}(\eta)$ ) 아래의 식 (5)와 같이 획득한다.

$$R_0 = \frac{R_{T0} + R_{R0}}{2}, y = \frac{R_{T0} + R_{R0}}{2\sqrt{R_{T0}R_{R0}}} y_0, \\ V = \frac{R_{T0}V_R + R_{R0}V_T}{2\sqrt{R_{T0}R_{R0}}}, H = \sqrt{R_0^2 - x_0^2 - y^2} \quad (5)$$

식 (5)의 결과에 따라 바이스테틱 SAR 시스템은 등가의 모노스테틱 SAR 시스템으로 변환할 수 있으며, 이는 바이스테틱 기하구조에서의 송/수신 레이더 플랫폼의 속도 ( $V_T, V_R$ )와 표적까지의 초기 거리 ( $R_{T0}, R_{R0}$ )에 의해 결정됨을 확인할 수 있다.

이때, 송신 레이더와 수신 레이더가 같은 속도로 움직인다면 ( $V_T = V_R$ ) 상기 식 (5)는 아래의 식 (6)과 같이 근사된다.

$$R_0 = \frac{R_{T0} + R_{R0}}{2}, y = \alpha y_0, V = \alpha V_T \quad (6)$$

여기서  $\alpha = \frac{R_{T0} + R_{R0}}{2\sqrt{R_{T0}R_{R0}}}$ 는 모노스테틱 등가 모델에서 사용되는 바이스테틱 스케일링(scaling) 변수이며, 상기  $\alpha$  값은 산술/기하 평균 조건에 의하여 항상 1보다 크거나 같은 값을 갖는다.

모노스테틱 등가 모델로 활용하여 거리 셀 천이 보상 (range cell migration compensation: RCMC)이 수행한 신호  $s(\eta)$ 는 식 (7)과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} s(\eta) &= \exp [j\phi(\eta)] \\ &= \exp \left[ j \frac{4\pi f_0}{c} R_{bi}(\eta) \right] = \exp \left[ j \frac{4\pi f_0}{c} R_{mo}(\eta) \right] \\ &= \exp \left[ j \frac{4\pi f_0}{c} \left( R_0 - \frac{yV}{R_0} \eta + \frac{V^2}{2R_0} \eta^2 \right) \right] \end{aligned} \quad (7)$$

여기서  $f_0$ 는 중심 주파수,  $c$ 는 빛의 속도이다.

기존의 모노스테틱 SAR 영상 형성 알고리즘 중 range-Doppler algorithm(RDA)와 chirp-scaling algorithm(CSA)은 식 (8)의 위상 성분을 방위 시간  $\eta$ 에 대한 선형 주파수 변조(linear frequency modulation: LFM) 신호로 가정하고 방위 방향으로 정합 필터(matched filter)를 수행함으로써 초점이 맞는 SAR 영상을 형성한다<sup>[1][2]</sup>. 상기 정합 필터는 아래의 식 (8)과 같이 정의되며, 이는 모노스테틱 등가 모델( $V, R_0$ )에 의해 결정된다.

$$H(\eta) = \exp \left[ j \frac{4\pi f_0}{c} \frac{V^2}{2R_0} \eta^2 \right] \quad (8)$$

식 (8)의 정합 필터를 수행하여 식 (9)와 같은 바이스테틱 SAR 영상  $s_{SAR}(\eta)$ 을 형성한다.

$$s_{SAR}(\eta) = s(\eta)H(\eta) = \exp \left[ -j \frac{4\pi f_0}{c} \frac{yV}{R_0} \eta \right] \quad (9)$$

식 (9)의 결과에 따라 모노스테틱 등가 모델을 활용하여 바이스테틱 SAR 신호를 모노스테틱 SAR 신호로 변환하고, RDA와 CSA와 같은 기존의 모노스테틱 SAR 영상 형성 기법을 수행하여 초점이 맞는 바이스테틱 SAR 영상을 형성함을 확인할 수 있다.

### III. 모의시험 결과

본 절에서는 앞서 기술된 바이스테틱 SAR 영상 형성 과정과 관련한 모의시험에 대하여 서술한다. 본 모의시험에서는 바이스테틱 기하구조에서 표적에 해당하는 점 산란원에 반사되어 수신되는 SAR 신호를 모델링하고, 상기 바이스테틱 SAR 신호를 모노스테틱 등가 모델을

활용하여 변환한 후 기존의 모노스테틱 SAR 영상 형성 기법인 RDA를 활용하여 바이스테틱 SAR 영상을 형성하였다.

본 모의시험에서 수행한 SAR 운용모드는 스포트라이트 (spotlight) SAR이며, 송신 파형은 LFM 신호이다. 모의시험에서 사용한 상세 변수는 표 1에 기술되어 있다. 본 논문에서는 서로 다른 바이스테틱 각도 및 송/수신 레이더의 속도를 갖는 기하구조에서의 모의시험을 수행하고, 각 기하구조에서 형성된 바이스테틱 SAR 영상의 품질을 분석하여 서술된 바이스테틱 SAR 영상 형성 기법의 효용성을 검증한다.

#### 3-1 바이스테틱 각도 14.67° ( $V_T = V_R$ )

본 절에서는 바이스테틱 각도 14.67°가 형성되는 바이스테틱 SAR 기하구조에서, 송/수신 레이더의 속도가  $V_T = V_R = 100$  m/s로 일치하는 환경에서 모의시험을 수행하였다. 상기 바이스테틱 SAR 기하구조의 상세 변수는 표 2에 기술되어 있다. 본 논문에서 서술된 바이스테틱 SAR 영상 형성 기법은 표 2의 바이스테틱 SAR 시스템을 식 (9)의 과정을 통해 표 3의 등가의 모노스테틱 SAR 시스템으로 변환한다. 그림 2는 표 2의 바이스테틱 기하구조에서 수신된 SAR 신호에 본 논문에서 서술된 모노스테틱 등가 모델을 활용하여 형성한 바이스테틱 SAR 영상의 결과이다. 그림 2의 결과에 따라 표적이 초기 위치 ( $x_0 = 5.095$  km,  $y = 0$ )에 올바르게 위치하며, 거리 및 방위 방향으로 싱크 (sinc) 함수의 형태를 보임을 확인할 수 있다.

그림 3은 표 2의 바이스테틱 기하구조에서 수신된 바

표 1. 모의시험 변수

Table 1. Simulation parameters.

Simulation parameters	Values
Carrier frequency $f_0$	1 GHz
Frequency bandwidth $B$	128 MHz
Pulse width	1 us
Pulse repetition frequency(PRF)	3 kHz
Coherent processing interval(CPI)	0.4 s
Signal-to-noise ratio(SNR)	20 dB

표 2. 바이스테틱 기하구조 설정

Table 2. Parameters for bistatic geometry.

Bistatic geometry parameters	Values
Velocity of transmitter(TX) $V_T$	100 m/s
Velocity of receiver(RX) $V_R$	100 m/s
Operating altitude of TX $H_T$	7 km
Operating altitude of RX $H_R$	13 km
Initial position of TX	(-20 m, 0, 7 km)
Initial position of RX	(-20 m, 0, 13 km)
Bistatic angle	14.67°
Initial position of target( $x_0, y_0$ )	(5.095 km, 0)

표 3. 모노스테틱 등가 모델 기하구조

Table 3. Parameters for monostatic equivalent model's geometry.

Parameters for monostatic equivalent model	Values
Bistatic scaling coefficient $\alpha$	1.0287
Velocity of radar $V$	102.87 m/s
Altitude of radar $H$	10 km
Initial position of target( $x_0, y$ )	(5.095 km, 0)

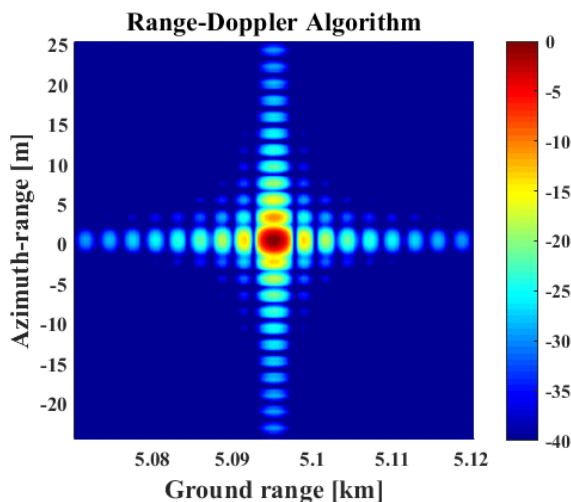


그림 2. 모노스테틱 등가 모델을 활용하여 형성된 바이스테틱 SAR 영상

Fig. 2. Bistatic SAR image using the monostatic equivalent model.

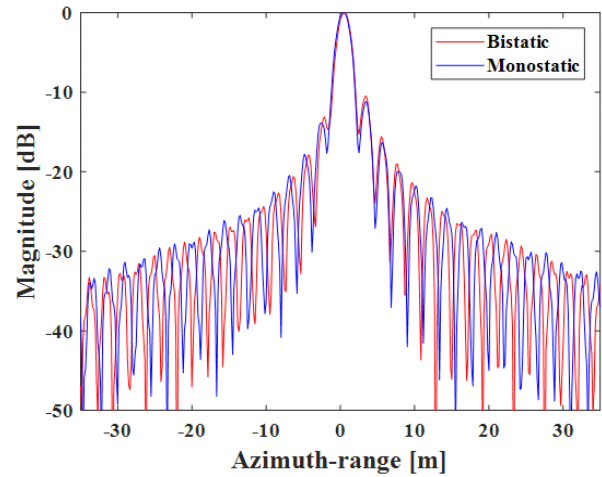


그림 3. 방위 방향으로의 PSF

Fig. 3. PSFs in the azimuth direction.

이스테틱 SAR 수신 신호에 모노스테틱 등가 모델을 활용하여 형성한 바이스테틱 SAR 영상과 표 3의 모노스테틱 기하구조에서 수신된 모노스테틱 SAR 수신 신호에 모노스테틱 SAR 영상 형성 기법을 활용하여 형성한 모노스테틱 SAR 영상의 방위 방향으로의 점산란강도함수 (point spread function: PSF)를 도시한 결과이다. 여기서 붉은색 PSF는 표 2의 바이스테틱 SAR 기하구조에서의 PSF, 파란색 PSF는 표 3의 모노스테틱 SAR 기하구조에서의 PSF이다. 이때, 상기 PSF의 해상도, 최대 부엽 레벨 (peak-to-sidelobe ratio: PSLR), 누적 부엽 레벨(integrated sidelobe ratio: ISLR)과 같은 품질 지표 결과는 표 4에 기술되어 있다.

그림 3, 표 4의 결과에 따라 모노스테틱 등가 모델로 변환한 바이스테틱 SAR 수신 신호는 실제 모노스테틱 SAR 수신 신호와 매우 유사하며, 이의 품질에서 큰 차이를 보이지 않음을 확인할 수 있다.

표 4. SAR 영상의 품질 지표

Table 4. Quality parameters of SAR images.

	Bistatic SAR	Monostatic SAR
Resolution	0.457 m	0.451 m
PSLR	-13.08 dB	-13.85 dB
ISLR	-10.08 dB	-10.02 dB

3-2 바이스테틱 각도  $16.48^\circ (V_T \neq V_R)$

본 절에서는 바이스테틱 각도  $16.47^\circ$  가 형성되는 바이스테틱 SAR 기하구조에서 송/수신 레이더의 속도가  $V_T = 200 \text{ m/s}$ ,  $V_R = 150 \text{ m/s}$ 로 서로 다른 환경에서 모의시험을 수행하였다. 상기 바이스테틱 SAR 기하구조의 상세 변수는 표 5에 기술되어 있다. 본 논문에서 서술된 바이스테틱 SAR 영상 형성 기법은 표 5의 바이스테틱 SAR 시스템을 표 6의 등가의 모노스테틱 SAR 시스템으로 변환한다. 그림 4는 표 5의 바이스테틱 기하구조에서 수신된 SAR 신호에 본 논문에서 서술된 모노스테틱 등가 모델을 활용하여 형성한 바이스테틱 SAR 영상의 결과이다. 상기 결과에 따라 표적이 초기 위치( $x_0 = 7.643 \text{ km}$ ,  $y = 0$ )에 올바르게 위치하며, 초점이 맞는 SAR 영상이 형성됨을 확인할 수 있다.

그림 5는 표 5의 바이스테틱 기하구조에서 수신된 바

표 5. 바이스테틱 기하구조 설정

Table 5. Parameters for bistatic geometry.

Bistatic geometry parameters	Values
Velocity of transmitter(TX) $V_T$	200 m/s
Velocity of receiver(RX) $V_R$	150 m/s
Operating altitude of TX $H_T$	8 km
Operating altitude of RX $H_R$	16 km
Initial position of TX	(-40 m, 0, 12 km)
Initial position of RX	(-30 m, 0, 18 km)
Bistatic angle	$16.48^\circ$
Initial position of target ( $x_0, y_0$ )	(6.114 km, 0)

표 6. 모노스테틱 등가 모델 기하구조

Table 6. Parameters for monostatic equivalent model's geometry.

Parameters for monostatic equivalent model	Values
Bistatic scaling coefficient $\alpha$	1.0355
Velocity of radar $V$	181.94 m/s
Altitude of radar $H$	12 km
Initial position of target ( $x_0, y$ )	(6.114 km, 0)

이스테틱 SAR 수신 신호에 모노스테틱 등가 모델을 활용하여 형성한 바이스테틱 SAR 영상과 표 6의 모노스테틱 기하구조에서 수신된 모노스테틱 SAR 수신 신호에 모노스테틱 SAR 영상 형성 기법을 활용하여 형성한 모노스테틱 SAR 영상의 방위 방향으로의 PSF를 도시한 결과이다. 전 절의 경우와 마찬가지로 붉은색 PSF는 표 5의 바이스

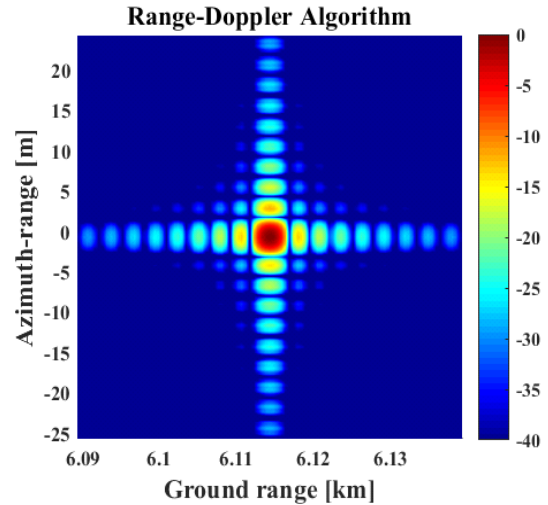


그림 4. 모노스테틱 등가 모델을 활용하여 형성된 바이스테틱 SAR 영상

Fig. 4. Bistatic SAR image using the monostatic equivalent model.

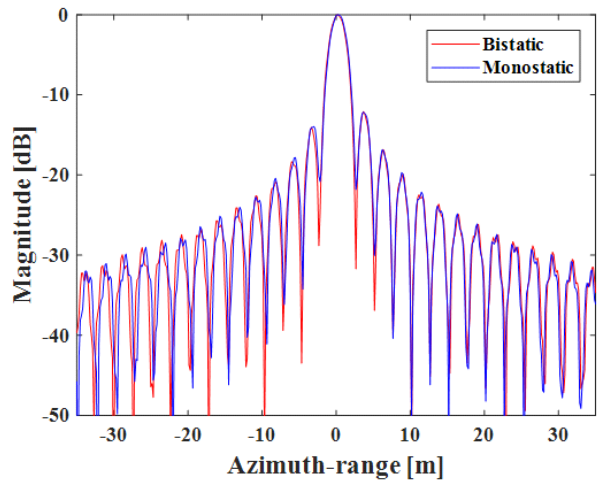


그림 5. 방위 방향으로의 PSF

Fig. 5. PSFs in the azimuth direction.

표 7. SAR 영상의 품질 지표  
Table 7. Quality parameters of SAR images.

	Bistatic SAR	Monostatic SAR
Resolution	1.1 m	1.1 m
PSLR	-13.72 dB	-13.68 dB
ISLR	-10.21 dB	-10.11 dB

태틱 SAR 기하구조에서의 PSF, 파란색 PSF는 표 6의 모노스테틱 SAR 기하구조에서의 PSF 결과를 의미한다. 이때, 상기 PSF의 품질 지표 결과는 표 7에 기술되어 있다.

그림 5와 표 7의 결과에 따라 바이스테틱 각도 16.48°, 송/수신 레이더의 속도가 다른 환경에서도 바이스테틱 SAR 신호는 실제 모노스테틱 SAR 신호와 매우 유사한 품질을 보임을 확인할 수 있다. 즉, 3-1과 3-2의 서로 다른 바이스테틱 기하구조의 모의시험 결과에 따라 본 논문에서 서술된 모노스테틱 등가 모델을 활용한 바이스테틱 SAR 영상 형성 기법이 다양한 바이스테틱 기하구조에서 고품질 바이스테틱 SAR 영상을 형성함으로써 상기 모노스테틱 등가 모델이 바이스테틱 SAR 영상 형성에 활용됨을 확인할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 바이스테틱 기하구조에서 SAR 수신 신호를 분석하고, 이를 모노스테틱 SAR 수신 신호로의 변환하는 모노스테틱 등가 모델을 활용하여 바이스테틱 SAR 영상을 형성하는 연구를 수행하였다. 현재까지 SAR 신호처리 연구는 모노스테틱 기반으로 수행되어 왔으나, 모노스테틱 SAR는 이의 기하구조 및 안테나 빔 폭의 제한으로 좁은 관측 영역 및 제한된 지표 정보를 가져 응용 분야에 한계가 발생한다. 상기 문제들은 SAR 영상 획득 시나리오를 변화시켜 해결할 수 있기 때문에 바이스테틱 및 멀티스테틱 SAR가 연구되어야 한다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 현재까지 국내에서의 바이스테틱 SAR 영상 형성에 관한 연구가 매우 미진한 상황이었다. 이에 따라 본 논문에서는 모노스테틱 등가 모델을 활용한 효과적인 바이스테틱 SAR 영상을 형성 기법에 관하여 서술하였다.

본 논문에서 서술된 모노스테틱 등가 모델은 바이스테틱 SAR 시스템이 레이더 모노스테틱 SAR 시스템에 대응될 수 있다고 가정한다. 이에 따라, 바이스테틱 기하구조에서 수신된 바이스테틱 SAR 신호를 모노스테틱 SAR 신호로 변환하고, 기존의 모노스테틱 SAR 영상 형성 기법을 활용하여 바이스테틱 SAR 영상을 형성한다. 본 논문에서는 서술된 모노스테틱 등가 모델의 효용성을 증명하기 위하여 바이스테틱 각도, 송/수신 레이더의 속도 및 초기 위치가 다른 바이스테틱 SAR 기하구조를 설정하고, 상기 기하구조 하에서의 모의시험을 수행하여 기술된 기법이 초점이 맞는 바이스테틱 SAR 영상을 형성함을 확인하였다. 또한 본 논문에서는 상기 방식으로 형성된 바이스테틱 SAR 영상과 일반적인 모노스테틱 SAR 영상을 비교하였으며, 이를 통해 서술된 모노스테틱 등가 모델의 효용성을 검증하였다. 이와 더불어 향후 상기 기술된 바이스테틱 SAR 영상 형성 기법을 기반으로 다양한 바이스테틱 SAR 영상 형성 기법에 대한 연구를 수행할 예정이다.

#### References

- [1] M. Soumekh, *Synthetic Aperture Radar Signal Processing with MATLAB Algorithms*, John Wiley & Sons, 2005.
- [2] I. G. Cumming, F. H. Wong, *Digital Processing of Synthetic Aperture Radar*, Artech House, 2005.
- [3] C. H. Gierull, "Bistatic synthetic aperture radar," Defence R&D Canada, Ottawa, ON, Tech. Rep. DRDC-OTTAWA-TR-2004-190, pp. 31-41, 2004.
- [4] G. Krieger, "Advanced bistatic and multistatic SAR concepts and applications," in *European Conference on Synthetic Aperture Radar(EUSAR)*, May 2006, pp. 1-100.
- [5] 강병수, 유보현, 김경태, "바이스테틱 ISAR 영상 형성을 위한 회전운동보상 기법 연구," 한국전자과학회논문지, 28(8), pp. 670-677, 2017년 8월.
- [6] G. Krieger, H. Fiedler, and A. Moreira, "Bi-and multistatic SAR: Potentials and challenges," in *Proceedings in EUSAR*, 2004, vol. 34, pp. 365-370.
- [7] 최지환, 신한섭, 김대오, 김태형, "최근 바이스테틱 레이더 기술동향," 항공우주산업기술동향, 13(1), pp. 160-

165, 2015년.

[8] X. Weijie, Z. Jianjiang, "A raw signal simulator for bistatic SAR," *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 22, no. 4, pp. 434-443, 2009.

[9] 조병래, 선선구, 이정수, 박규철, 하중수, "파수 영역에서 모노스테틱 변환을 이용한 바이스테틱 개구합성 레이다 영상화기법 연구," *한국전자과학회논문지*, 24(2), pp. 207-213, 2013년 2월.

유 보 현 (포항공과대학교/석박사통합과정)



2015년 2월: 포항공과대학교 전기전자공학과 (공학사)  
 2015년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 통합과정  
 [주 관심분야] 레이다 영상, 레이다 신호처리

이 명 준 (포항공과대학교/박사과정)



2014년 8월: 한동대학교 전산전자공학부 (공학사)  
 2015년 3월~2017년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)  
 2017년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 박사과정  
 [주 관심분야] 레이다 영상, 레이다 신호처리, 이동 표적 탐지

강 병 수 (국방과학연구소/선임연구원)



2012년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학사)  
 2014년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)  
 2014년 3월~2018년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)  
 현재: 국방과학연구소(ADD) 선임연구원

[주 관심분야] 레이다 영상, 레이다 신호처리

김 경 태 (포항공과대학교/교수)



1994년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)  
 1996년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)  
 1999년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)  
 2002년 3월~2011년 2월: 영남대학교 전자공학과 교수

2012년 9월~2017년 12월: 레이다/IR 표적식별 특화연구실 실장  
 2011년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 교수  
 2018년 3월~현재: 무인감시정찰기술연구센터 센터장  
 [주 관심분야] 레이다 표적인식, 레이다 영상, 레이다 신호처리, 패턴인식, 전자기수치해석 및 RCS