지상 운용 회전형 SAR 시험용 시스템 연구

Ground-Based Rotational SAR System for Field-Experiments

황지환 · 권순구 · 신종철 · 오이석

Ji-Hwan Hwang · Soon-Gu Kwon · Jong-Chul Shin · Yisok Oh

요 약

본 연구에서는 C-밴드 대역 지상 운용 회전형 SAR 시스템에 대한 시험 결과를 선보인다. 회전형 SAR 시스템은 지상과 우주 공간 상에서 운용될 수 있는 미래의 회전형 SAR 시스템을 위한 시험대(test-bed)로써, 지표면 및 낮은 깊이의 지표면 속 목표물로부터의 전자파 산란을 영상화하기 위해 설계되었다. 또한, 생성된 SAR 영상과 시험결과를 본 논문에서 선보인다. 회전형 SAR 시스템은 네트워크 분석기(Agilent 8753E)를 기반으로 한 HPS(Hongik Polarimetric Scatterometer) 시스템과 수평 회전팔(1.6 m)로 구성된다. 설계/제작된 시스템을 이용하여 다양한 목표물 설정 지역에서 SAR 영상을 획득하였다. 회전형 SAR 시스템을 검증하기 위해서 FDTD(Finite Difference Time Domain) 알고리즘을 이용한 SAR 영상 생성 과정을 모의 실험하였으며, 실제 측정 결과를 이용한 SAR 영상을 비교 분석하였다. 설계/제작된 회전형 SAR 시스템은 5 GHz의 중심 주파수로 운용되며, 해상도 조절을 위해 대역폭을 0.5~2 GHz 범위 내에서 변화시켜 SAR 영상을 분석하였다.

Abstract

A C-band ground-based rotational SAR system is presented in this paper. The rotational SAR system is a test-bed for future rotational SAR systems which can be deployed in space and on a tower. The test-bed system is designed for imaging the electromagnetic scattering from earth surfaces and buried targets. This paper also presents the examination results of the generated SAR images. This rotational SAR system is basically consisted of the network-analyzer based HPS(Hongik Polarimetric Scatterometer) and a horizontally rotating arm. Several SAR images were obtained using the rotational SAR system for various target areas. To verify this system, we simulated the SAR images for the rotational SAR using the FDTD algorithm and compared between the measured and simulated SAR images. The rotational SAR system is operated at the center frequency of 5 GHz and various frequency bandwidth within 0.5~2 GHz to change the resolution of SAR images.

Key words : Ground-Based Rotational SAR, FDTD, HPS(Hongik Polarimetric Scatterometer)

I. 서 론

다양한 주파수 대역의 전파를 적용한 원격 탐사 기법 중 SAR(Synthetic Aperture Radar) 시스템을 이용한 지표면 산란 특성 분석 및 레이더 영상 획득 분

석 연구는 최근 그 활용 분야가 매우 넓어 많은 연구가 진행되고 있다^[1]. 또한, SAR 시스템은 등속 운동이 용이한 위성 또는 비행체 등에 탑재되는 경우가 일반적이며, 지상에서 운용되기 위한 목적으로 차량과 같은 이동 수단에 탑재되어 운용되어지기도 한

「본 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음(No. 2011-0000087).」

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

· 논문 번호 : 20110823-091

· 교신저자 : 오이석(e-mail : yisokoh@hongik.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2011년 10월 13일

다^{[2],[3]}.

다양한 종류의 SAR 시스템과 운용 모드는 대규모 영역의 레이더 영상 획득을 목적으로 하며, 그 시스템 규모가 특정 소규모 연구만을 위한 연구 목적에 비효율적인 측면이 있어, 운용 편의성을 높이고 소규모의 다양한 비교 연구를 위한 시험용 시스템 개발이 필요하게 되었다. 기존 SAR 시스템의 이동 수단을 축소하고 단순화시키는 방법으로 시험용 SAR 시스템의 규모를 줄일 수 있으며, 이때 측정용 안테나의 물리적인 이동을 위한 레일(rail) 시스템과 여러 개의 안테나를 나열하고 스위칭하는 전기적인 이동 방법^[3] 등이 이용될 수 있다. 하지만, 지표면 산란 특성을 연구하기 위한 목적과 이에 따른 실외 실험환경을 고려할 때, 시스템 이동 및 설치가 상대적으로 어려운 레일 시스템이나 다수의 안테나를 나열하는 방법은 다양한 형태의 연구 목표물 측정에 많은 제약이 따르게 된다.

따라서 본 연구에서는 지표면 산란 특성 비교·분석 연구를 위한 설치와 운용 편의성을 높인 회전형 SAR 시험용 시스템의 설계 연구와 이를 이용한 시스템 성능 분석 결과를 선보인다.

II. 회전형 SAR 시스템

회전형 SAR 시험용 시스템은 설치 및 운용 공간을 최소화하기 위해서 기존의 레일 시스템 대신 측정용 안테나를 HPS(Hongik Polarimetric System) 시스템^[4]의 머리 부분에 1.6 m 길이의 보조 팔을 이용하여 고정시키고, 지상으로부터 약 1~6 m 높이에서 수평 회전운동을 하도록 설계하였다. 측정용 안테나는 보조 팔에 의해 원호를 따라 이동을 하게 되며, 이는 지면에 설치되어 시험용 SAR 시스템을 이동시키는 레일 시스템을 대체하는 효과가 있어 시스템 운용 공간을 획기적으로 줄일 수 있고, 측정 시스템의 이동 편의성을 높이게 된다. 그림 1은 지상 운용 회전형 SAR 시스템의 구성도이다. 시스템 구성은 광대역(1~18 GHz) 특성을 갖는 2개의 송수신 ridged-horn 안테나(Schwarzbeck社, BBHA 9120D)와 C-밴드 대역의 송수신 신호를 처리하는 네트워크 분석기(Agilent社 8753E, 최대 출력 10 dBm)와 시스템 운용 및 데이터 처리를 위한 전용 GUI(Graphic User In-

그림 1. 지상 운용 회전형 SAR 시스템 구성도

Fig. 1. Configuration of the ground-based circular SAR system.

terface) 프로그램 등으로 구성되어진다.

2-1 회전형 SAR 시스템 구성

일반적인 지상 운용 SAR 시스템의 이동 궤적은 시험 영역의 공간적 제약과 시스템 이동 편의성 등으로 인해 넓은 개구면 합성이 어렵고, 상대적으로 좁은 합성 개구면(synthetic aperture)을 이용한 영상 생성 과정을 거치게 된다. 이때, 동일한 이동 거리의 합성 개구면을 얻기 위해 본 연구에서는 보조 팔($R_0 = 1.6$ m) 위에 장착된 측정용 안테나를 원호의 궤적을 따라 수평 방향으로 회전시킴으로써 합성 개구면을 얻게 된다. 이는 기존의 circular SAR 시스템을 응용한 것으로 원호의 이동 궤적을 따라 동심원의 내부가 아닌 외부를 관측하도록 구성한 것이 된다^[4].

그림 2. 회전형 SAR 시스템 개념도

Fig. 2. Concept view of the circular SAR system.

식 (1)은 기존의 SAR 신호 모델을 수식화한 것으로 $f(x, y)$ 는 임의의 (x, y) 좌표 상에 놓인 목표물의 특성 함수(target function)를 나타낸 것이며, 송신 펄스 $p(t)$ 와 전파의 이동 시간(t , fast-time) 그리고 안테나 높이(Z_c)와 위치 함수(u , slow-time)를 각각 나타낸다^[4].

$$s(t, u) = \int_y \int_x f(x, y) p[t - t_{offset}] dx dy, \quad (1)$$

여기서,

$$t_{offset} = \frac{2\sqrt{x^2 + (y - u_i)^2 + Z_c^2}}{c}$$

식 (2-3)은 회전형 SAR 신호 모델을 수식화한 것으로 안테나 위치 함수(u_i)를 안테나 회전 반경과 회전각(ϕ_i)으로 대체할 수 있으며, 안테나의 회전 반경과 중심으로부터 목표물 위치를 R_0 과 R_g 로 각각 나타낸다. 또한, 식 (2-3)은 각각 시간 영역과 주파수 영역에서의 신호를 수식화한 것이다.

$$s(t, \phi) = \int_y \int_x f(x, y) p[t - t_{offset}] dx dy, \quad (2)$$

$$s(\omega, \phi) = P(\omega) \int_y \int_x f(x, y) g_\theta^*(\omega, x, y) dx dy \quad (3)$$

여기서,

$$t_{offset} = \frac{2\sqrt{X^2 + Y^2 + Z_c^2}}{c},$$

$$g_\phi(\omega, x, y) = \exp[j2k\sqrt{X^2 + Y^2 + Z_c^2}],$$

$$X = (x - R_g \cos \phi'), \quad Y = (y - R_g \sin \phi')$$

2-2 회전형 SAR 영상 생성

회전형 SAR 시스템으로부터 얻어진 레이더 신호 $s(t, \phi)$ 를 이용한 영상 생성을 위해 일반적으로 back projection 기법으로 널리 알려진 TDC(Time Domain Correlation) 알고리즘을 적용하였다^[5]. 식 (4)는 시간 영역에서 ij -번째 위치의 목표물과 matched filter와의 correlation을 구하는 과정을 수식화한 것이다. 식 (5)는 주파수 영역으로 변형된 수식을 나타낸다.

$$f(x_i, y_j) = \int_u \int_t s(t, \phi) p^*[t - t_{ij}(\phi')] dt du \quad (4)$$

$$= \int_u \int_\omega s(\omega, \phi) P^*(\omega) \exp[j\omega t_{ij}(\phi')] d\omega du \quad (5)$$

여기서

$$t_{ij} = \frac{2\sqrt{X^2 + Y^2 + Z_c^2}}{c},$$

$$X = (x_i - R_0 \cos \phi'), \quad Y = (y_j - R_0 \sin \phi')$$

(*) complex conjugate

따라서 회전형 SAR 시험용 시스템으로부터 시간 또는 주파수 영역의 신호 모두를 이용해 SAR 영상을 생성할 수 있게 된다.

2-3 시스템 해상도

회전형 SAR 시스템의 해상도는 기존의 일반적인 선형 SAR 시스템(strip-map)의 해상도와 비교될 수 있으며, 식 (6)은 기존 시스템의 range(Δx)/cross-range(Δy)의 이론적 해상도를 나타낸 것이다. 이때, BW는 시스템의 주파수 대역폭을 의미한다. 식 (7)은 회전형 시스템을 위한 이론적 해상도이며, range(ΔR) 해상도는 기존 시스템과 같은 특성을 갖고, 회전각에 의한 cross-range($\Delta \phi$) 해상도는 회전 반경(R_0)과 지면으로부터의 전파 입사각(θ_z)으로 표현될 수 있다^{[5],[6]}.

$$\Delta x = \frac{c}{2} \frac{\pi}{\omega_0} = \frac{c}{4BW}, \quad \Delta y = \frac{\pi}{2k} = \frac{\lambda}{4} \quad (6)$$

$$\Delta R \approx \Delta x, \quad \Delta \phi = \frac{\pi}{2k \cos \theta_z R_0} \quad (7)$$

회전형 SAR 시스템은 구조적 특성상 안테나가 회전 궤적의 외부로 향하게 되어 안테나 빔이 발산하는 특성이 있어 중심점으로부터 멀어질수록 목표물의 cross-range 방향 퍼짐 현상이 커지게 된다^[5].

III. FDTD 기법을 이용한 모의 실험

회전형 SAR 시험용 시스템 및 SAR 영상 생성 검증을 위해 FDTD(Finite Difference Time Domain) 수

치 해석 기법을 이용하여 모의 실험을 수행하였다. 또한, 모의 실험을 통해 검증된 영상 생성 기법을 제작된 시스템 성능 검증을 위해 적용하였다. 회전형 SAR 시스템의 모의 실험 결과는 동일한 조건에서 기존의 SAR 시스템과 비교되었으며, 효율적인 모의 실험을 위해서 수치 해석 영역을 near-zone($1 \times 1 \text{ m}^2$)에 해당하는 소규모 영역으로 설정하였다. SAR 영상 생성에 관한 모의 실험은 일반적으로 잘 알려진 Yee's 알고리즘을 이용한 FDTD 기법을 이용하였으며^[7], 레이더 신호 생성을 위한 해석 시간 및 SAR 영상 복원 시간 등을 고려해 영역 내 3개의 목표물을 식별하기 위한 모의 실험을 구성하였다.

그림 3은 FDTD 기법을 이용한 레이더 신호 생성 및 SAR 시스템 모의 실험 결과를 보여준다. 그림 3(a)는 SAR 시스템 모의 실험을 위한 FDTD 기법의 해석 영역과 설정을 나타낸 것으로, 해석 영역은 x-

축과 y-축 방향으로 각 101개의 cell로 구성되며, 해석 영역 내부에 3개의 금속 목표물을 위치시켰다. 해석 영역의 최외곽면은 absorbing boundary로 설정하여 경계면에서의 반사파를 최소화 시켰으며, 송신부는 하단 점선(□: 회전형, ○: 선형 궤적)으로 표기된 궤적을 따라 각각 이동한다. 이때, 목표물에서 반사되는 신호를 수신하기 위해서 수신부는 송신부와 인접한 cell에 위치시켜 송신부 이동 궤적을 따라 함께 이동시켜 monostatic SAR 시스템을 모의 실험하였다. 또한, 송신부를 고정하고 수신부만을 이동하는 bistatic 시스템도 가능하나, 시스템 운용 효율 등을 고려하여 본 연구의 회전형 SAR 시험용 시스템에서는 monostatic 시스템으로 한정된 시험 결과들을 선보인다.

그림 3(b)와 (c)는 기존 방식과 회전형의 궤적을 갖는 SAR 시스템의 모의 실험 결과이며, 3개의 목표

(a) FDTD 기법 설정
(a) Simulation setup of FDTD

(b) 선형 궤적의 SAR 영상
(b) SAR image with linear trace

(c) 회전형 SAR 영상
(c) Rotational SAR image

(d) 레이더 신호 생성 및 처리
(d) Radar signal generation and process

(e) 선형 궤적의 SAR 신호
(e) Signals of SAR with linear trace

(f) 회전형 SAR 신호
(f) Signals of rotational SAR

그림 3. FDTD 기법을 이용한 레이더 신호 생성 및 SAR 시스템 모의 실험
Fig. 3. Radar signal generation and SAR system simulations using FDTD.

물이 그림 3(a)와 일치하는 위치에서 각각 존재함을 알 수 있다. 그림 3(d)에서는 모의 실험에 사용된 송신 펄스와 수신 신호를 나타낸다. 송신 펄스 $p(t)$ 는 Gaussian 펄스를 이용하였으며, 펄스폭은 50 time-steps(~ 16.6 psec/time-step)이다. 목표물까지의 왕복 시간을 고려해 최대 시간은 800 time-steps로 설정하였다. $s(t, u)$ 는 목표물로부터 반사된 신호를 나타내며, $s_w(t, u)$ 는 수신 신호 중 송신부로부터 직접 전달된 신호를 rectangular window를 이용해 제거한 신호이다. 이때, 송신부로부터 직접 전달된 수신 신호의 크기가 목표물로부터 반사된 신호보다 매우 큼을 알 수 있다.

그림 3(e)~(f)는 FDTD를 이용하여 3개의 목표물로부터 반사된 수신 신호를 나타낸 것으로 SAR 영상 생성을 위한 입력 데이터(raw-data)로 활용하였다. $s_w(t, u)$ 는 기존 선형 SAR 시스템의 수신 신호를 나타내며, $s_w(t, \phi)$ 는 회전형 채적을 갖는 SAR 시스템의 수신 신호를 나타낸다.

IV. 시스템 성능 검증

설계/제작된 회전형 SAR 시험용 시스템은 네트워크 분석기를 기반으로 한 시스템으로 송수신 안테나를 별도로 사용하여 신호처리 시 시간 영역에서의 송수신 신호 분리를 위한 신호처리 복잡도를 낮췄으며, 측정용 안테나는 광대역 특성을 갖는 ridged-horn 안테나(BBHA 9120D)를 사용하여 중심 주파수 5 GHz (HPBW E-51.7°/H-35.8°)에서 2 GHz 이상의 대역폭을 회전형 SAR 시스템에 적용할 수 있다.

그림 4의 (a)는 자체 제작된 지상 운용 회전형 SAR 시험용 시스템의 외형으로 송수신 안테나의 이격거리는 45 cm이며, 보조 팔의 회전 반경은 최대 1.6 m이다. 또한, 안테나 높이는 자체 지지대(6 m)를 이용하여 최대 높이 6 m 자세 유지가 가능하다. 시스템 동작 특성 분석을 위해 실내·실외 측정을 병행하였으며, 모의 실험을 통해 검증된 회전형 SAR 영상 복원 과정을 성능 분석을 위해 동일한 방법을 적용/분석하였다. 그림 4(b)는 성능 분석을 위한 목표물 설정 예를 보여준다.

4.1 시간 영역 특성 분석

(a) 지상 운용 회전형 SAR 시험용 시스템
(a) Prototype of ground-based rotational SAR system

(b) 성능 측정을 위한 목표물 설정
(b) Target setup for performance measurement

그림 4. 지상 운용 회전형 SAR 실험 구성

Fig. 4. Composition of ground-based rotational SAR system for field-experiments.

그림 5. 시간 영역의 거리 방향 신호 특성

Fig. 5. Range profile in time-domain.

시스템 성능 분석을 위한 기본 설정으로 안테나 높이 1.3 m, 회전 반경 1 m, 중심 주파수 5 GHz와 대역폭 최대 2 GHz, 지면으로부터 입사각 30° 그리고 회전각(ϕ)은 $\pm 10 \sim 20^\circ$ 범위, 1° 간격으로 설정하였다. 이때, 시험용 목표물로 삼각 전파 반사기(10/20/30

cm)와 금속구(지름 30 cm) 등이 이용되었다^[8].

그림 5는 시스템 동작 특성을 확인하기 위해 단일 목표물에 대한 시간 영역의 거리 방향 신호를 분석한 것이다. 23 nsec 지점에 안테나가 존재하며, 25.3 nsec 지점에서 송/수신 안테나의 간섭 영향을 확인할 수 있었다. 47.2 nsec 지점의 목표물은 30 cm 크기의 삼각 전파반사기를 이용한 것이며, 우측 부분의 시간 지연 효과는 네트워크 분석기와 측정용 안테나 사이에 3 m 케이블($3 \text{ m} \times 2/c(\text{광속})=20 \text{ nsec}$)과 부속장치들에 의한 것이며, 신호처리 과정에서 이 부분을 뺀 순수한 전파 이동 거리를 고려해야 한다. 또한, 약 33 ns 부분은 안테나와 지면과의 수직 방향으로의 반사 특성이 반영된 것이며, 그 특성이 실험에 영향을 줄 만큼 큰 경우에는 range-filtering 등을 이용한 처리가 필요할 수 있다.

4-2 SAR 영상 최적화

그림 6은 (x, y) 좌표와 (r, ϕ) 좌표를 적용한 SAR 영상 생성 시 영상의 왜곡 정도와 효율성 등을 비교하기 위한 실험으로 앞선 시스템 설정으로 5 m 범위의 시험영역 내 단일 목표물(CR 30 cm)을 측정한 결과이며, 회전각(ϕ)은 $\pm 15^\circ$ 범위이다.

$$x_i = R_g \cos \phi', \quad y_j = R_g \sin \phi' \quad (8)$$

좌표 변환을 이용한 SAR 영상 생성을 위해 식 (5)에서 SAR 영상 내 ij -번째 픽셀(x_i, y_j) 위치를 식 (8)을 이용한 (R_g, ϕ') 형태로 변형하여 부채꼴 형태의 영상을 생성하였다. 제안된 회전형 SAR 시스템은 목표물의 거리가 멀수록 안테나의 빔이 퍼지는 효과를 갖게 되어 불필요한 영역의 영상처리 시간을 줄일 수 있는 부채꼴 형태의 영상 생성이 보다 더 효율적일 수 있게 된다. 또한, 목표물의 IRF(Impulse Response Function)를 이용한 좌표 변환에 의한 영상 왜곡특성 분석에는 의미 있는 차이가 발생하지 않았다.

그림 7은 앞선 단일 목표물에 대한 실험과 같은 방법으로 안테나로부터 2.5 m/3.5 m/4.5 m, 중심각으로부터 $0^\circ/+8^\circ/-2^\circ$ 위치에 금속구(지름 30 cm)와 직각변 길이가 20 cm, 30 cm인 삼각 전파 반사기를 각각 위치시켰다. 그림 7의 (a)는 생성된 영상의 상대

(a) (x, y) 좌표
(a) (x, y) coordinates

(b) (r, ϕ) 좌표
(b) (r, ϕ) coordinates

그림 6. 단일 목표물의 SAR 영상
Fig. 6. SAR image of single target.

적 합성 전력의 크기를 각 픽셀별로 나타낸 것이며, 그림 7의 (b)와 (c)는 목표물을 식별하기 위해 적합한 합성 전력 범위를 변화시킨 것으로 각각 -30 dB 로부터 10 dB 의 범위와 -10 dB 로부터 20 dB 의 범위로 설정한 SAR 영상을 비교한 것이다.

4-3 SAR 영상 해상도

회전형 SAR 시스템의 $\text{range}(\angle R)/\text{cross-range}(\angle \phi)$ 해상도 변화와 목표물 식별 성능을 비교하기 위해서 측정 시스템의 대역폭을 0.5 GHz 에서 2 GHz 로 변화시켜 그 결과를 분석하였다. 그림 8의 (a)는 풀발에 3개의 삼각 전파 반사기($10/20/30 \text{ cm}$)를 위치시킨 시험 설정을 보여준다. 그림 8(b)~(d)는 시스템 대역폭을 각각 2 GHz , 1 GHz 그리고 0.5 GHz 로 설정한 영

(a) SAR 영상 내 각 픽셀의 크기
(a) Amplitude of each pixel in SAR image

(b) 낮은 범위의 픽셀을 포함한 SAR 영상
(b) SAR image including low amplitude pixels

(c) 높은 범위의 픽셀을 이용한 SAR 영상
(c) SAR image using high amplitude pixels

그림 7. 다중 목표물의 SAR 영상
Fig. 7. SAR images of multi-targets.

상으로 각각의 해상도를 영상 내 목표물의 IRF를 추출하여 최대값으로부터 3 dB 낮은 지점을 분석하였다. 표 1은 각 대역폭별 SAR 영상으로부터 얻어진 해상도(ΔR , $\Delta \phi$) 분석 결과이며, 확인된 해상도는

표 1. 해상도 분석 결과
Table 1. Results of image resolution.

	위치(r, ϕ')	해상도 ($\Delta R, \Delta \phi$)	
		이론값	측정값
대역폭 2 GHz	1) 목표물 1 (3.5 m, 2°) 2) 목표물 2 (4 m, 5°) 3) 목표물 3 (8 m, -2°)	3.7 cm, 1°	1) 3.9 cm, 1.7°
대역폭 1 GHz			2) 4.5 cm, 2.1°
			3) 8 cm, 2.7°
		7.5 cm, 1°	8.5 cm, 2.9°
8.8 cm, 2.2°			
9.5 cm, 3.9°			
대역폭 0.5 GHz	(8 m, -2°)	15 cm, 1°	18 cm, 3.2°
			16 cm, 2.5°
			17 cm, 2.2°
비고	* 대역폭 제한된 동일한 시험 설정 적용 ** 안테나 회전각 오차 $\pm 0.05^\circ$		

이론값과 비교해 cross-range 해상도에서 상대적으로 큰 차이를 보였다. 이는 수폴층에 의한 다중 산란 및 배경 간섭 효과 그리고 회전 궤적 오차 성분 등으로 기인된 목표물의 IRF 퍼짐 현상으로 나타난 결과이다.

V. 결 론

본 논문에서는 다양한 전자파 산란 연구를 위한 지상 운용 회전형 SAR 시험용 시스템을 제안하였으며, 설계/제작된 시스템을 이용한 SAR 영상 생성 결과를 제시하였다. 또한, FDTD 수치 해석 기법을 적용한 모의 실험을 통해 SAR 시스템 검증을 위한 레이다 신호를 생성하였고, 제안된 회전형 SAR 시스템의 목표물 식별 능력을 기존 시스템과의 비교를 통해 검증하였다.

광대역 안테나와 네트워크 분석기를 이용한 C-밴드($f_0=5$ GHz, BW=최대 2 GHz) 대역의 UWB(Ultra-wide Band) 신호 생성과 보조 팔(최대 1.6 m)을 적용해 기존의 레일 시스템을 대체한 회전형 SAR 시스템은 제한된 플랫폼 내에서 SAR 영상 획득이 가능하여 이동과 운용이 편리한 새로운 SAR 시스템 모델이 될 것으로 기대된다.

(a) 실외 측정을 위한 목표물 설정
(a) Target setup for field experiment

(b) 대역폭 2 GHz
(b) Bandwidth 2 GHz

(c) 대역폭 1 GHz
(c) Bandwidth 1 GHz

(d) 대역폭 500 MHz
(d) Bandwidth 500 MHz

그림 8. 시험 지역 내 SAR 영상 및 해상도 비교

Fig. 8. SAR image of field-experiment region and comparison of resolutions.

참 고 문 헌

- [1] Jong-Sen Lee, Tomas L. Ainsworth, "An overview of recent advances in polarimetric SAR information extraction: algorithms and applications", *Proceeding of International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pp. 851-854, 2010.
- [2] Kiyo Tomiyasu, "Tutorial review of synthetic aperture radar(SAR) with applications to imaging of the ocean surface", *Proceeding of IEEE*, vol. 66, no. 5, May 1978.
- [3] 선선구, 조병래, 박규철, 남상호, "무인 차량 탑재형 전방 관측 영상 레이더 가능성 연구", *한국전자과학회논문지*, 21(11), pp. 1285-1294, 2010년 11월.
- [4] 황지환, 이경엽, 박성민, 오이석, "X-밴드용 완전 편파 scatterometer 설계", *한국전자과학회논문지*, 20(12), pp. 1308-1315, 2009년 12월.
- [5] Mehrdad Soumekh, *Synthetic Aperture Radar Signal Processing with Matlab Algorithm*, John Wiley & Sons, Inc., 1999.
- [6] Bu-chin Wang, *Digital Signal Processing Techniques and Applications in Radar Image Processing*, John Wiley & Sons, Inc., pp. 194-275, 2008.
- [7] Matthew N. O. Sadiku, *Numerical Techniques in Electromagnetics*, CRC Press, pp. 177-186, 2001.
- [8] G. T. Ruck, D. E. Barrick, W. D. Stuart, and C. K. Krichbaum, *Radar Cross Section Handbook*, Plenum Press, New York, USA, 1970.

황 지 환

2001년 2월: 홍익대학교 전파공학과 (공학사)
2003년 2월: 홍익대학교 전파통신공학과 (공학석사)
2003년 4월~2006년 5월: LG전자 단말연구소 연구원
2009년 3월~현재: 홍익대학교 전자

정보통신공학과 박사과정
[주 관심분야] 전파 산란, 마이크로파 원격 탐사, 안테나

신 중 철

2006년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)
2006년 1월~2010년 8월: GM대우 Auto & Technology
2010년 9월~현재: 홍익대학교 전자정보통신공학과 석사과정
[주 관심분야] SAR 검보정 및 영상

분석, 마이크로파 원격탐사

권 순 구

2007년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)
2009년 2월: 홍익대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)
2009년 3월~현재: 홍익대학교 전자정보통신공학과 박사과정
[주 관심분야] 전파 산란, 마이크로

파 원격 탐사, SAR 영상분석

오 이 석

1982년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학사)
1988년 12월: University of Missouri-Rolla 전기 및 컴퓨터공학과 (공학석사)
1993년 12월: University of Michigan, Ann Arbor 전기공학 및 컴퓨

터과학과 (공학박사)

1997년~2001년: 대한원격탐사학회 상임이사

2001년~2008년: 한국전자과학회 상임이사

2006년~2008년: Chair, IEEE GRS Korea Chapter

2009년~2010년: Stanford University 방문교수

1994년~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 교수

2009년~현재: IEEE Fellow

[주 관심분야] 전파 산란, 마이크로파 원격 탐사, 레이더, 안테나