

# TOPS 위성 SAR 모드 시스템 구현 및 성능 평가 연구

강서리\*, 송정환\*, 김범승\*, 김현철\*, 이우경\*

## SPACEBORNE TOPS SAR SYSTEM MODELING AND PERFORMANCE ANALYSIS

Seo-Li Kang\*, Jeong-Hwan Song\*, Bum-Seung Kim\*, Hyeon-Cheol Kim\* and Woo-Kyung Lee\*\*

### 요 약

전통적인 스캔모드는 과거 Envisat이나 Radarsat 위성 등에서 사용되면서 환경 감시 및 관측 분야에 높은 효율성을 지닌 영상 획득을 수행하였으나 해상도의 저하 및 안테나 패턴의 왜곡으로 인해 영상 품질 저하 문제가 지적되어왔다. 최근 이러한 스캔 모드 영상의 단점을 극복하기 위한 새로운 운용 모드로서 TOPS SAR 기법이 제안되어 운용단계에 접어들었다. TOPS 모드는 단일 위성에서 높은 품질의 광역 관측 레이더 영상을 제공하지만 이를 실제로 구현하기 위해서는 매우 복잡한 시스템 설계 능력이 요구된다. 본 논문에서는 TOPS 모드의 원리에 대해 소개하고, 모의 실험을 통하여 TOPS 모드의 동작을 구현한다. SAR 원시데이터를 가상으로 생성한 후 방위방향 안테나 패턴을 스캔 모드와 비교하여 TOPS 모드에서 스캔모드의 단점인 영상 품질 왜곡이 억제됨을 보인다.

**Key Words** : SAR(Synthetic Aperture Radar), TOPS(Terrain Observation by Progressive SAR) mode, Wide-swath coverage, Scanning mode

### ABSTRACT

Conventional ScanSAR mode has been adopted in Envisat or Radarsat and played an important role to acquire wide swath SAR images for environmental surveillance. However, it suffers from the undesirable scalloping effect caused by non-homogeneity of antenna pattern while the image resolution is sacrificed. In recent years, TOPS mode has been suggested and put into use to overcome the disadvantages of the conventional scanning mode. Although TOPS mode is able to produce wide-swath SAR image in a short time interval, it demands highly complicated system design knowledge. In this paper, we present the operation principle of TOPS mode and a full SAR simulation is performed to generate TOPS SAR raw data. Azimuth antenna pattern is modified during TOPS mode operation and it is shown that the undesired scalloping effect is suppressed in the generated SAR image.

## I. 서 론

최근 Cosmo-SkyMed, TerraSAR-X와 같은 1m급의 고 해상도 SAR 영상을 이용할 수 있게 됨에 따라 정교한 관측 정보 획득이 가능해지고, 미세한 변화탐지 및 3차원 정보 추출 연구가 활발하게 수행되고 있다. 목표물 세부 식별이 필요한 경우 서브미터 급의 고해상도 영상이 필요하지만, 자연 재해나 국토측량 등의 목적으로 활용되는 경우에는 해상도 보다 넓은 지역에 대한 짧은 재방문 주기가 더욱 중요한 요소가 될 수 있다.

일반적으로 SAR 영상의 해상도는 목표물에 대한 관측 시간에 비례한다. 스포트라이트 모드는 일반적인 스트리프맵 모

드에 비해 관측 시간을 늘려서 고해상도를 획득한다. 반면 안테나 빔 패턴의 관측 영역이 일정하게 제한되어 있으므로 총 관측 영역은 줄어든다. 반대로 광역 스캔 모드에서는 목표물에 대한 관측 시간을 줄여 해상도가 저하되지만, 관측 영역을 확장하여 재방문 주기가 짧아지는 광역 관측 모드로 사용된다.

전통적인 스캔 모드의 경우 안테나 패턴의 불균일성에 기인한 스칼러핑(scalloping) 영상 품질 저하현상이 발생한다 [1]. 또한 안테나 지향각과 패턴 정보 오차로 인해 지형 정보의 왜곡 발생에 취약하다. 이러한 현상들은 중·저해상도 관측 목적으로 사용되는 경우에는 큰 문제가 되지 않지만, 정밀한 관측을 하는 경우 장애요인으로 작용한다.

※ 본 연구는 미래창조과학부에서 시행한 다목적실용위성6호 개발사업의 지원으로 수행하였음.

\*한국항공대학교 항공전자공학과 위성전자시스템연구실 (gemstone0319@gmail.com, jhsong1979@gmail.com, wklee@kau.ac.kr)

접수일자 : 2014년 5월 10일, 수정완료일자 : 2014년 6월 10일, 최종 게재 확정일자 : 2014년 6월 13일

스캔모드 영상의 단점을 극복하기 위한 새로운 기술로 최근 TOPS(Terrain Observation by Progressive SAR) 모드 운용기법이 제안되었다. TOPS 모드는 기존의 스캔 모드와 동일한 광역 관측을 수행하면서, 안테나 빔 조향을 제어하여 영상 품질의 단점을 극복하는 기술이다. 독일의 DLR에서는 TOPS 모드 신호처리 및 Interferometry 적용을 수행하여 TerraSAR위성의 TOPS 시범 모드를 운용하여 영상 획득을 수행하였다[1]. 또한 최근 유럽 ESA에서 발사한 Sentinel-1 SAR 위성에는 TOPS 모드가 기본으로 채택되어 운용되고 있다. 스캔 모드의 영상의 단점을 극복하고자 개발된 TOPS 모드는 기존의 알고리즘의 적용이 불가능하기 때문에 TOPS 신호 특성에 적합한 프로세서에 대한 연구가 필요하다. TOPS 모드 신호처리를 수행하기 위한 기법으로는 정합 필터와 방위 데이터 사전처리의 두 단계를 수행하는 도플러 스펙트럼 알고리즘을 이용하는 Full-aperture multi-channel 기법[2], Stolt가 제안한 RMA(Range Migration Algorithm) 프로세서를 변형한 기법[3], 넓은 영상의 대역폭을 이용하기 위해 방위 블록의 데이터 처리 기법을 스포트라이트 기법처럼 이용하여 각 sub-aperture를 구분한 뒤 각각을 도플러 중심에 따라 수행하는 ECS(Extended Chirp Scaling) 기법[4] 등이 있다. 각각의 신호 처리 기법들은 장단점이 있지만 대체로 계산이 복잡하고 레이다 영상에 따라 품질 변화가 발생한다. 향후 국내에서 발사 운용될 SAR 위성에는 TOPS 모드가 기본으로 장착될 예정이므로 이에 대한 연구 및 기술 축적이 절대적으로 필요하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 TOPS 모드의 원리에 대해 소개하고, 시뮬레이션을 통하여 TOPS 모드의 원시데이터를 생성하여 기존 스캔 모드와의 차이를 비교한다. TOPS 모드 데이터를 신호처리하기 위한 기법을 도입하고 이를 활용하여 간단한 점표적 영상을 생성한다. 방위방향 안테나 패턴을 모사하고 스캔 모드와의 결과를 상호 비교하여 위성 SAR에서 TOPS 모드가 운용될 경우 상대적으로 고품질의 영상 성능을 획득할 수 있음을 보인다.

## II. TOPS 모드의 원리

TOPS 모드는 스캔 모드의 단점인 스캘러핑 현상과 위성 진행 방향으로 영상의 SNR 값이 변화되는 단점을 극복하기 위해 도입된 위성 SAR 영상 관측모드이다. 기존의 스캔모드에서는 목표물의 위치에 따라 서로 다른 안테나 패턴이 적용됨으로써 영상의 품질이 일정하게 유지되기 어려웠으나 TOPS 모드에서는 모든 표적을 동일한 방위 안테나 패턴으로 관측함으로써 스캘러핑 현상을 제거하고 일정한 SNR을 갖는 영상 품질을 유지한다. 그림 1은 이를 위해 위성 안테나의 빔패턴이 표적 영역을 선회하는 과정을 묘사한다. 위성 SAR로부터 멀어지는 방향으로 구간을 나누어서 sub-swath

영역을 지정할 수 있는데 그림 1에서는 총 3개의 sub-swath를 갖는 경우를 보여준다. TOPS 모드는 첫 번째 sub-swath에서 버스트(burst)의 마지막 부분까지 안테나 관측각을 변화시키며 두 번째 sub-swath로 향한다. 이러한 방식으로 관찰하다 마지막 sub-swath이후 첫 번째 sub-swath로 돌아가므로 동일 sub-swath의 버스트 간에 빈 공간이 존재하지 않도록 설계되어 있다. 그림 1에서는 위성의 이동 위치에 따라 안테나가 지향하는 지점이 다른 sub-swath에 놓여져 있음을 보인다.

스캔 모드의 단점인 스캘러핑 현상이란, 방위방향으로 연속적인 영상을 형성할 경우 영상에 포함되는 표적의 에너지가 위치에 따라 다르게 나타나는 것을 의미한다. TOPS모드에서는 안테나 빔 조향을 제어하여 모든 표적에서 일정한 안테나 빔 에너지가 전달되도록 함으로써 스캘러핑 현상을 제거한다. 이를 위해 안테나 빔 회전을 통해 각 표적에 방위 안테나 패턴을 동일하게 조정하여 영상의 질을 향상시켜 동일한 SAR 점표적 결과값을 갖는다. TerraSAR-X로 관측한 스캔 모드와 TOPS 모드를 분석한 결과, 스캔 모드에서는 1.2dB정도의 스캘러핑 현상이 발생하였으나, TOPS 모드에서는 0.3dB정도의 스캘러핑 현상이 발생하여 일반적인 모드에서의 영상 수준으로 억제되었다[6]. 이러한 안테나 빔 제어 과정에서 SAR 영상 획득 데이터는 매우 복잡한 과정으로 생성되고 따라서 SAR 영상을 생성하는 신호 처리 과정에는 기존의 일반적인 알고리즘과는 차별되는 방식이 적용되어야 한다. 다음 장에서는 이러한 신호 처리를 수행하기 위한 선행 작업으로 TOPS 모드에서의 원시 데이터가 생성되는 과정을 설명한다.

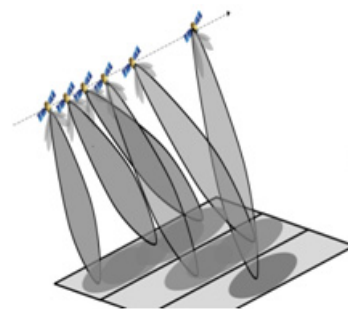


그림 1. TOPS 운용 모드

## III. TOPS 모드 원시데이터 생성

TOPS 모드를 구현하기 위해서는 기존의 스트립맵 모드와 스캔 모드에 추가적인 요소를 반영해야 한다. 추가적인 요소로는 점표적 수신 신호에 대한 안테나 패턴 변화(AAP: Azimuth Antenna Pattern), 안테나 지향각 및 조향 시간의 변화(Timeline) 설정이 있다. TOPS 모드의 운용 동작은 스캔 모드에서 사용되는 burst 패턴 모드와 유사한데 이러한 펄스 형태의 독립된 빔에 적용되기에 적합한 알고리즘으로

는 SPECAN 알고리즘이 있다[7]. 본 논문에서는 SPECAN 알고리즘을 기준으로 하여 원시데이터 및 신호 처리 알고리즘을 구현한다.

### 3.1 시스템 변수 설정 및 점표적 설정

모의 실험을 위한 SAR 시스템 변수 및 TOPS와 스캔 모드에서의 신호 생성 변수를 각각 표 1과 표 2와 같이 설정하였다. SAR 위성의 시스템 변수는 기존 X-band에서 운용되면서 세계 최초로 TOPS 모드를 구현한 TerraSAR 위성을 기준으로 설정하였다.

표적으로는 그림 2에 보여진 바와 같이 안테나 빔폭에 충분히 들어오는 범위에서 일정한 간격으로 위치한 7개의 점 표적으로 설정하였다. 이를 이용하여 각각 TOPS 모드와 스캔 모드에 대해 원시 데이터를 생성하였고 그 결과는 그림 3과 그림 4에 보여진 형태로 나타난다. 스캔 모드에서는 영상 생성 길이가 200 샘플이고 TOPS 모드에서는 400 샘플로 늘어나는데 이는 안테나 빔 조향으로 인해 동일 지점에 대한 관측 시간이 늘어났기 때문이다.

표 1. SAR 시스템 변수

변수	값
파장( $\lambda$ )	5.66[cm]
이동 속도( $V_s$ )	6800.00[m/s]
표적 노출 시간( $T_a$ )	0.54[sec]/3.64[km]
고도 $R_0$	700km
안테나 길이 ( $L$ )	5m

표 2 TOPS 모드 & 스캔 모드 변수

	TOPS 모드 변수	스캔 모드 변수
안테나 조향 주기 ( $T_r$ ) [sec]	3.05	0.41
Burst 길이( $T_b$ ) [sec]	1.08	0.13
표적 펄스 지속 시간( $t$ ) [sec]	0.16	0.13
안테나 조향 길이[km]	19.67	1.90
[shrink factor] $\alpha$	3.41	

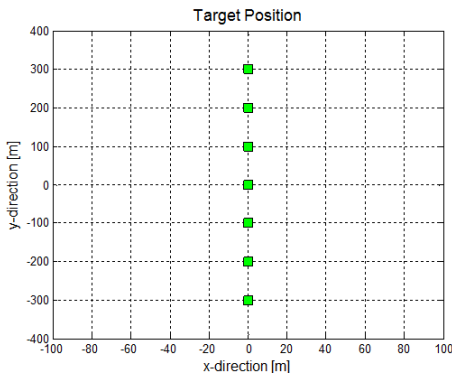


그림 2 TOPS 모드 & 스캔 모드 표적위치설정

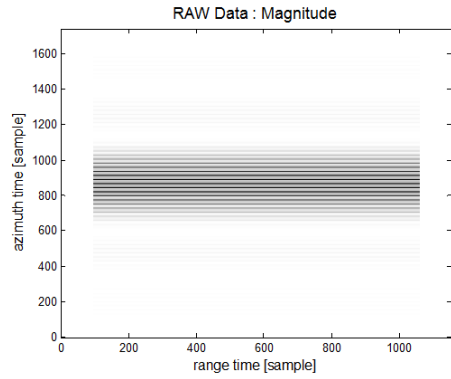


그림 3. TOPS 모드 원시데이터 생성

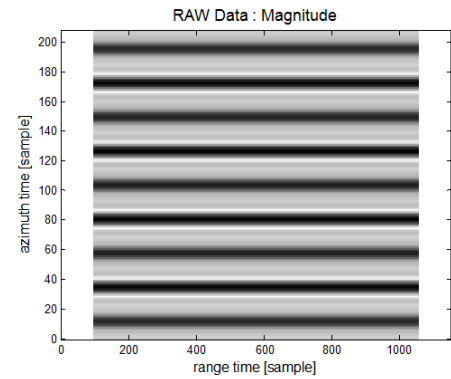


그림 4. 스캔 모드 원시데이터 생성

### 3.2 방위방향 안테나 패턴 설정

TOPS모드에서 거리 방향의 안테나 패턴은 기존 모드와 차이가 없으나 방위방향으로는 안테나의 조향 변화에 따라 다른 형태를 갖게 되며 수식으로는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$G_{ar}(\varphi(\tau)) \approx G_0 \text{sinc}^2 \left[ \frac{L}{\lambda} \left( \frac{V_s \tau}{R_0} - K_\varphi \tau \right) \right] \equiv G_0 \text{sinc}^2 \left[ \frac{\alpha L}{\lambda} \frac{V_s \tau}{R_0} \right] \quad (1)$$

여기서  $K_\varphi$ 는 송신 신호의 주파수 기울기이고  $\alpha$ 는 shrink factor 로 불리는 시스템 변수이며 안테나의 조향 이동에 따라 실제적으로 안테나 패턴이 줄어드는 효과를 반영하는 상수이고, 식(2)로 표현된다.

$$\alpha = 1 + \frac{R_0 |K_\varphi|}{V_s} \gg 1, \quad K_\varphi < 0 \quad (2)$$

각 표적은 안테나의 지향 방향에 따라 다른 각도로 조향되며, 이는 고정된 안테나의 방법과 동일하지만  $\alpha$ 로 인해 유효 안테나 길이가 감소하게 된다.  $\alpha$ 는 TOPS 모드 안테나의 조향 속도에 의해 결정된다. 이는 스트리프맵 모드에서 표적 노출 시간이 줄어드는 것과 동일한 영향을 미치며, 이로 인해 획득되는 도플러 주파수 대역이 감소하게 된다.

본 논문에서는 안테나 패턴 시뮬레이션을 수행하여 데이

터 획득시간(burst time)동안 각각의 표적에 적용되는 방위 방향 안테나 패턴을 생성하였다. 그림 5에서는 스캔 모드에서 6개의 서로 다른 표적이 받는 안테나 빔 패턴을 보여주는 데 표적의 위치에 따라 서로 다른 형태의 빔이 적용됨을 알 수 있다.

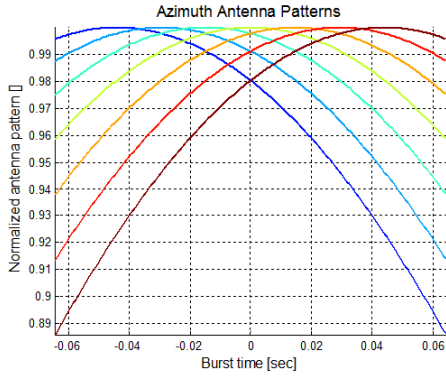


그림 5. 스캔 모드 7개 표적의 안테나 패턴

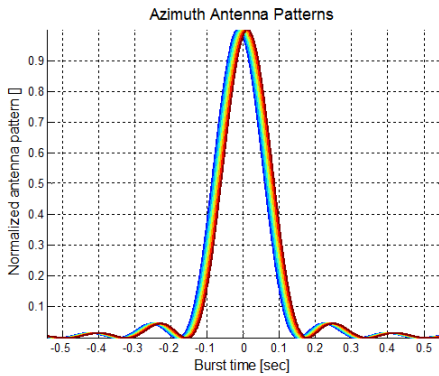


그림 6. TOPS모드 7개 표적의 안테나 패턴

각각의 표적들은 영상에서는 서로 다른 에너지를 갖는 점들로 표현되고 이는 스캘러핑이라는 품질 저하로 이어진다. 반면 그림 6에서는 TOPS 모드에서 동일한 6개의 점표적 안테나 패턴을 각각 보여주는데 위치와 상관없이 일정한 안테나 패턴을 갖고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 TOPS 모드에서는 표적의 위치와 상관없이 영상의 품질이 일정하게 유지될 수 있음을 예측할 수 있다.

### 3.3 안테나 빔 폭 설정

버스트 구간에서의 전체 대역폭은 버스트 간격 내에 존재하는 단일 표적의 대역폭과 동일해야 한다. TOPS 모드의 총 표적 조명구간은  $\alpha$ 가 포함되는 것을 제외하고는 고정된 안테나를 지닌 스트리프맵 SAR와 동일한 PRF를 지닌 것으로 설정할 수 있다. 안테나 빔폭이 작을 경우 도플러 대역이 줄어들기 때문에 ambiguity 현상을 억제할 수 있지만, 반면 해상도 저하 문제가 발생한다. 따라서 안테나 빔폭을 적절히 제어하여 스트리프맵 SAR 모드와 동일한 해상도를 얻을 수 있도

록 하고 이에 따른 영상 품질의 변화를 측정해야 한다.

### 3.4 SPECAN 알고리즘 수행결과

SAR 원시 데이터 생성 알고리즘을 적용하여 TOPS 모드의 원시데이터와 스캔 모드의 원시데이터를 생성하였고 이에 대해 SAR 신호처리를 수행하였다. 그림 7의 (a), (b)는 각각의 모드에서 생성된 원시데이터를 보여준다. 적용된 SAR 신호 처리 알고리즘은 기존 ScanSAR 영상에 적용되는 SPECAN 방식이며 이는 burst 방식으로 획득된 SAR 원시데이터에 적용하기가 용이하다. 방위방향의 연속적인 영상을 생성할 경우, 스캔모드에서는 각 표적의 에너지가 위치에 따라 다르게 나타나는 스캘러핑 현상이 나타남을 확인할 수 있으며, 이는 그림7의 (c)와 같다. 반면, TOPS 모드에서는 표적의 위치와 무관하게 동일한 에너지를 가짐을 확인할 수 있었으며 이는 다음 그림(d)와 같다. 이는 TOPS 모드에서는 유효 안테나 길이와 도플러 주파수 대역이 감소하여 버스트 구간 동안 각 표적에 동일한 안테나 패턴이 적용되기 때문이다.

## IV. 결론

최근 스캔모드 영상의 단점인 스캘러핑 현상을 극복하기 위한 새로운 기술로 TOPS(Terrain Observation by Progressive SAR) 모드 운용기법이 제안되었다. 본 논문에서는 TOPS 모드 구현을 하기 위해 방위방향 안테나 패턴 및 타임라인을 설정하였으며, 시뮬레이션을 통하여 TOPS 모드의 원시데이터를 형성하였다. 또한, 방위방향 안테나 패턴을 스캔 모드와 비교하여 TOPS 모드에서 스캘러핑 현상이 발생하지 않음을 확인하였으며 이는 기존의 스캔 모드와 비교하여 TOPS 모드의 우월한 성능을 보여주는 지표라고 할 수 있다.

TOPS 모드가 성공적으로 운용될 경우, 단일 위성으로 다수의 SAR위성을 동시에 운용하는 효과를 얻을 수 있어 위성 개발의 비용 절감 및 운용 효율성 측면에서도 매우 높은 효과를 얻을 것으로 기대되고 있다. 향후 국내에서도 TOPS 모드 구현에 대한 수요가 자연스럽게 제기될 것으로 전망되며 이미 다목적위성 5호가 발사된 시점에서 이에 대한 타당성을 검토하는 것은 다음 위성 SAR 임무를 수립하기에 앞서 선행되어야 할 과정이라고 할 수 있다. 본 논문의 안테나 시스템 해석 기술은 추후 TOPS 모드에 대한 연구가 수행되어 차기 위성 TOPS 모드 시스템 설계 및 임무 조건 작성 시 유용한 자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

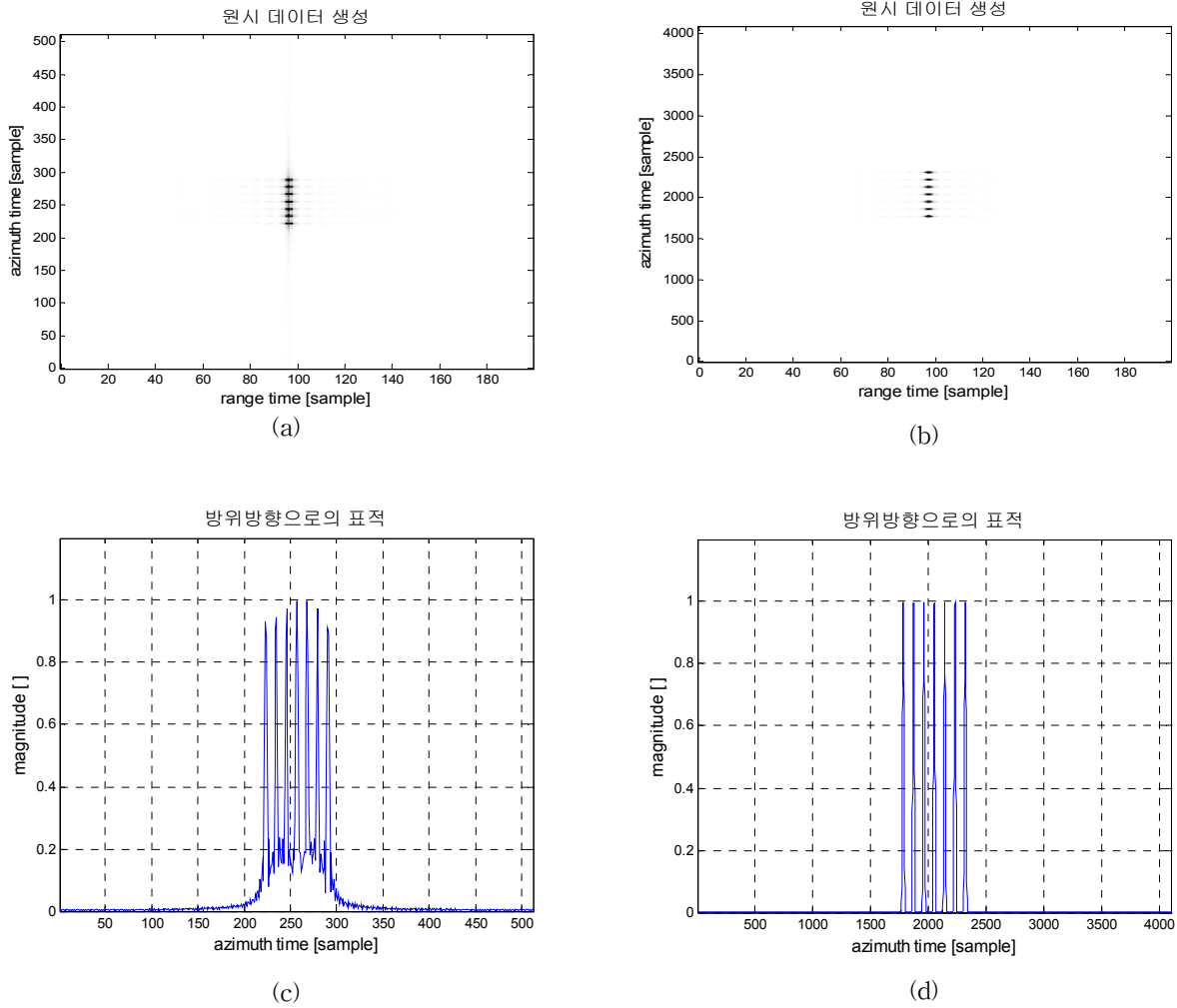


그림 7. SPECAN 알고리즘 수행결과 (a)스캔 모드 점표적 영상, (b)TOPS 모드 점표적 영상 (c)스캔 모드 방위 방향으로의 표적 (d)TOPS 모드 방위 방향으로의 표적

### 참 고 문 헌

- [1] Pau Prats, Adriano Meta, Rolf Scheiber, Josef Mittermayer, Alberto Moreira and Jesus Sanz-Marco, "A TOPSAR Processing Algorithm Based on Extended Chirp Scaling: Evaluation with TerraSAR-X Data", Synthetic Aperture Radar (EUSAR), 2008 7th European Conference on
- [2] Pingping Huang, Shenyang Li, and Wei Xu, "Investigation on Full-Aperture Multichannel Azimuth Data Processing in TOPS", IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS, VOL. 11, NO. 4, APRIL 2014
- [3] Jun Yang, Guangcai Sun, Mengdao Xing, Member, IEEE, Xiang-Gen Xia, Yi Liang, and Zheng Bao, "Squinted TOPS SAR Imaging Based on Modified Range Migration Algorithm and Spectral Analysis", Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE (Volume:11, Issue: 10) October, 2014.
- [4] Pau Prats, Rolf Scheiber, Josef Mittermayer, Adriano Meta, and Alberto Moreira, "A SAR Processing Algorithm for TOPS Imaging Mode Based on Extended Chirp Scaling", Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007. IGARSS 2007. IEEE International
- [5] Jan G. Cumming and Frank H. Wong, "Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data. Artech House, 2005
- [6] Meta, Adriano, "TerraSAR-X TOPSAR and ScanSAR comparison", Synthetic Aperture Radar (EUSAR), 2008 7th European Conference on 2-5 June 2008.
- [7] 송정환, 이우경, 김동현, "SPECAN 알고리즘의 이용한 Radarsat-1 ScanSAR Quick-look 신호 처리 및 검증 알고리즘 구현", 대한원격탐사학회지 제26권 제2호, pp.75-86

저자

강 서 리 (Seo-Li Kang)



- 2013년 8월 : 한국항공대학교 전자 및 항공전자공학과 (학사졸업)
- 2013년 9월~현재 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (석사과정)

<관심분야> : 위성전자 레이다 탑재체, SAR 신호처리, SAR 영상처리, 인공위성 시스템

송 정 환 (Jung-Hwan Song)



- 2007년 2월 : 한국항공대학교 전자 및 항공전자공학과 (학사졸업)
- 2010년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (석사졸업)
- 2010년 3월~현재 : 한국항공대학교 항공전자공학과(박사과정)

<관심분야> : SAR 신호처리, 영상처리, 위성전자 레이다 탑재체

김 범 승 (Bum-Seung Kim)



- 2014년 2월 : 한국항공대학교 전자및항공전자공학과 졸업
- 2014년 3월~현재 : 한국항공대학교 항공전자공학과 대학원 석사과정

<관심분야> : Synthetic Aperture Radar, Satellite Communication and Application

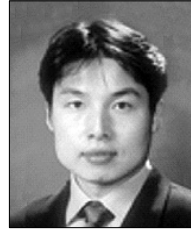
김 현 철 (Hyeon-Cheol Kim)



- 2014년 2월 : 한국항공대학교 전자및항공전자공학과 졸업
- 2014년 3월~현재 : 한국항공대학교 항공전자공학과 대학원 석사과정

<관심분야> : Synthetic Aperture Radar, Satellite Communication and Application

이 우 경 (Woo-Kyung Lee)



- 1990년 2월 : KAIST 전기및전자공학과 (학사졸업)
- 1994년 2월 : KAIST 전기및전자공학과 (석사졸업)
- 2000년 12월 : 런던대학교(UCL) 전기전자공학과 (박사졸업)

- 1999년 9월 : KAIST 인공위성센터 연구교수
- 2003년 1월 : 삼성종합기술원 책임연구원
- 2004년 9월~현재 : 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 부교수

<관심분야> : 인공위성 시스템, 위성전자 레이다 탑재체